

高浜発電所 4 号炉

ポンプの技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

関西電力株式会社

高浜4号炉のポンプのうち、評価対象機器である安全重要度分類審査指針におけるクラス1、2の機器、高温・高圧の環境下にあるクラス3の機器および常設重大事故等対処設備に属する機器を型式、内部流体、材料等でグループ化し、同一グループ内の複数の機器の存在を考慮して、重要度、温度等の観点から代表機器を選定した。

これらの一覧表を表1に、機能を表2に示す。

本評価書においては、これら代表機器について技術評価を行うとともに、代表機器以外の機器について技術評価を展開している。本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考えている。

なお、本評価書における分解点検には、定期的を実施する分解点検に加え、状態監視や傾向監視等の結果に基づき計画、実施する分解点検を含んでいる。

また、点検等で確認した結果、異常が認められた場合は速やかに対策を施すこととしており、異常が認められた場合に対策を実施する旨の記載は省略している。

さらに、設置してから分解点検等の実績がない場合も、保全計画が定められていれば「確認している」等と表記している。

本評価書ではポンプの型式等を基に、以下の2つに分類している。

- 1 ターボポンプ
- 2 1次冷却材ポンプ

なお、1次冷却材ポンプは斜流ポンプであり、ターボポンプに属することになるが、安全上重要な機器であり、かつ補修・取替が容易でないことを考慮し、ターボポンプと分けて単独で評価している。

また、タービン動補助給水ポンプおよびタービン動主給水ポンプにおけるタービンは「タービンの技術評価書」にて、ポンプモータは「ポンプモータの技術評価書」にて、1次冷却材ポンプの基礎部は「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

表1 高浜4号炉 主要なポンプ

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準				代表機器の選定	
型式	流体	材料		重要度*4	使用条件			代表機器	選定理由
					運転状態	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)		
ターボポンプ たて置斜流	1次冷却材	ステンレス鋼	1次冷却材ポンプ(3)	PS-1、重*6	連続	約 17.2	約 343	◎	
	海水	ステンレス鋼	海水ポンプ(3)	MS-1、重*6	連続	約 0.7	約 50	◎	
ターボポンプ 横置うず巻	1次冷却材 ほう酸水	低合金鋼	充てん/高圧注入ポンプ(3)*1	MS-1、重*6	連続 (充てん時) 一時 (高圧注入時)	約 18.8	約 150	◎	重要度、温度
		ステンレス鋼	燃料取替用水ポンプ(2)	MS-2	一時	約 1.4	約 95		
			ほう酸ポンプ(3)	MS-1、重*6	連続	約 1.0	約 95		
			格納容器スプレイポンプ(2)	MS-1、重*6	一時	約 2.7	約 150		
			余熱除去ポンプ(2)	MS-1、重*6	連続 (余熱除去時) 一時 (低圧注入時)	約 4.1	約 200		
		恒設代替低圧注水ポンプ(1)	重*6	一時	約 2.7	約 95			
	ヒドラジン水	炭素鋼	原子炉補機冷却水ポンプ(5)*2	MS-1、重*6	連続	約 1.2	約 95	◎	
	給水	炭素鋼	補助蒸気ドレンタンクポンプ(4)*3	高*5	連続	約 0.5	約 100	◎	重要度
		ステンレス鋼	タービン動補助給水ポンプ(1)	MS-1、重*6	一時	約 11.3	約 40		
			電動補助給水ポンプ(2)	MS-1、重*6	一時	約 11.3	約 40		
			タービン動主給水ポンプ(2)	高*5	連続	約 9.9	約 200		
			電動主給水ポンプ(1)	高*5	一時	約 10.2	約 200		
			タービン動主給水ブースタポンプ(2)	高*5	連続	約 3.7	約 200		
			電動主給水ブースタポンプ(1)	高*5	一時	約 3.7	約 200		
			復水ブースタポンプ(3)	高*5	連続	約 4.1	約 80		
スチームコンバータ給水ポンプ(2)			高*5	連続	約 1.5	約 100			
第1段湿分分離加熱器ドレンポンプ(4)			高*5	連続	約 3.1	約 235			
湿分分離器ドレンポンプ(2)	高*5		連続	約 2.1	約 200				
燃料取替用水タンク補給用移送ポンプ(1)	重*6	一時	約 1.0	約 40					
ターボポンプ たて置うず巻	給水	炭素鋼	低圧給水加熱器ドレンポンプ(3)	高*5	連続	約 2.8	約 80	◎	

*1：ケーシングは低合金鋼(ステンレス鋼内張り)、主軸はステンレス鋼、羽根車はステンレス鋼鋳鋼。

*2：ケーシングは炭素鋼鋳鋼、主軸はステンレス鋼、羽根車はステンレス鋼鋳鋼。

*3：ケーシングは鋳鉄、主軸はステンレス鋼、羽根車はステンレス鋼鋳鋼。

*4：機能は最上位の機能を示す。

*5：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*6：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

表 2 (1/2) 高浜 4 号炉 主要なポンプの機能

ポンプ	機能
1 次冷却材ポンプ	原子炉で発生した熱エネルギーを蒸気発生器へ運ぶために、1 次冷却材を強制循環させる。
海水ポンプ	1、2 次系熱交換器等へ冷却水として海水を送る。
充てん／高圧注入ポンプ	1 次冷却系統より取り出し浄化した後に水質を調整した 1 次冷却材を、再び 1 次冷却系統に送る。また、事故時の炉心冷却のため、燃料取替用水タンクのほう酸水を炉心に注入する。
燃料取替用水ポンプ	燃料取替用水タンクのほう酸の浄化・温度維持のため、ほう酸水を循環させる。
ほう酸ポンプ	1 次冷却材中のほう酸濃度を調整することを目的として、ほう酸水を充てん／高圧注入ポンプ吸込側へ供給する。
格納容器スプレイポンプ	事故時の格納容器内圧上昇緩和、抑制のため、ほう酸水を格納容器内にスプレイする。
余熱除去ポンプ	原子炉を停止した後の 1 次冷却系統顕熱、炉心の崩壊熱および 1 次冷却系統を均一に冷却する目的で運転する 1 次冷却材ポンプの発生熱を除去し、1 次冷却系統を降温させる。 また、冷却材喪失事故時には安全注入系統の作動と並行して燃料取替用水タンクのほう酸水を炉心に注入する。
恒設代替低圧注水ポンプ	設計基準事故対処設備の機能が喪失した場合に、原子炉を冷却および原子炉格納容器の圧力、温度、放射性物質濃度の低下ならびに原子炉格納容器下部の溶融炉心の冷却のため、ほう酸水を炉心および格納容器内に注水する。
原子炉補機冷却水ポンプ	1 次冷却系、非常用炉心冷却系および残留熱除去系等で発生した熱を除去するため、冷却水としてヒドラジン水を循環させる。
補助蒸気ドレンタンクポンプ	1 次系補助蒸気ドレンをスチームコンバータ給水タンク等へ送る。
タービン動補助給水ポンプ	事故時等の炉心停止後初期の炉心崩壊熱を除去するため、補助給水を蒸気発生器 2 次側へ供給する。
電動補助給水ポンプ	事故時等の炉心停止後初期の炉心崩壊熱を除去するため、補助給水を蒸気発生器 2 次側へ供給する。
タービン動主給水ポンプ	脱気器タンクの給水を蒸気発生器へ送水する。
電動主給水ポンプ	脱気器タンクの給水を蒸気発生器へ送水する。
タービン動主給水ブースタポンプ	タービン動主給水ポンプの有効吸込ヘッドを確保する。
電動主給水ブースタポンプ	電動主給水ポンプの有効吸込ヘッドを確保する。
復水ブースタポンプ	復水処理装置からの復水を復水系統へ送る。
スチームコンバータ給水ポンプ	給水をスチームコンバータへ供給する。

表 2 (2/2) 高浜 4 号炉 主要なポンプの機能

ポンプ	機能
第 1 段湿分分離加熱器ドレンポンプ	湿分分離加熱器第 1 段加熱器で生じたドレンを高圧給水ヒータ側へ送る。
湿分分離器ドレンポンプ	湿分分離器で生じたドレンを脱気器へ送水する。
燃料取替用水タンク補給用移送ポンプ	設計基準事故対処設備の機能が喪失した場合に、原子炉の冷却等のための水源を確保するため、復水タンク水を燃料取替用水タンクに移送する。
低圧給水加熱器ドレンポンプ	低圧給水加熱器で生じたドレンを復水系統へ送る。

1 ターボポンプ

[対象機器]

- ① 海水ポンプ
- ② 充てん／高圧注入ポンプ
- ③ 燃料取替用水ポンプ
- ④ ほう酸ポンプ
- ⑤ 格納容器スプレイポンプ
- ⑥ 余熱除去ポンプ
- ⑦ 原子炉補機冷却水ポンプ
- ⑧ 補助蒸気ドレンタンクポンプ
- ⑨ タービン動補助給水ポンプ
- ⑩ 電動補助給水ポンプ
- ⑪ タービン動主給水ポンプ
- ⑫ 電動主給水ポンプ
- ⑬ タービン動主給水ブースタポンプ
- ⑭ 電動主給水ブースタポンプ
- ⑮ 復水ブースタポンプ
- ⑯ スチームコンバータ給水ポンプ
- ⑰ 第1段湿分分離加熱器ドレンポンプ
- ⑱ 湿分分離器ドレンポンプ
- ⑲ 低圧給水加熱器ドレンポンプ
- ⑳ 恒設代替低圧注水ポンプ
- ㉑ 燃料取替用水タンク補給用移送ポンプ

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	4
2.1 構造、材料および使用条件	4
2.2 経年劣化事象の抽出	21
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	34
3. 代表機器以外への展開	37
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	37
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	38

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜 4 号炉で使用されているターボポンプ（1 次冷却材ポンプを除く）の主な仕様を表1-1に示す。

これらのポンプを型式、内部流体および材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すターボポンプを詳細な型式に分類すると、以下の 2 つの型式に分類される。

① 斜流ポンプ（たて置）

羽根車から吐き出される流れが主軸の中心線を軸とする円すい面内にあるポンプ。

② うず巻ポンプ（横置およびたて置）

羽根車から吐き出される流れが主として主軸に垂直な面内にある遠心ポンプの 1 種であり、羽根車の吐出し側に直接うず巻形ケーシングをもつ。

この型式毎に、さらに内部流体・材料を分離基準として考えると、表1-1に示すとおり、合計 5 つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) たて置斜流ポンプ（内部流体：海水）

このグループには海水ポンプのみが属するので、海水ポンプを代表機器とする。

(2) 横置うず巻ポンプ（内部流体：1 次冷却材、ほう酸水）

このグループには充てん／高圧注入ポンプ、燃料取替用水ポンプ、ほう酸ポンプ、格納容器スプレイポンプ、余熱除去ポンプおよび恒設代替低圧注水ポンプが属するが、重要度が高く、最高使用温度が高い余熱除去ポンプを代表機器とする。

(3) 横置うず巻ポンプ（内部流体：ヒドラジン水）

このグループには原子炉補機冷却水ポンプのみが属するので、原子炉補機冷却水ポンプを代表機器とする。

(4) 横置うず巻ポンプ（内部流体：給水）

このグループには補助蒸気ドレンタンクポンプ、タービン動補助給水ポンプ、電動補助給水ポンプ、タービン動主給水ポンプ、電動主給水ポンプ、タービン動主給水ブースタポンプ、電動主給水ブースタポンプ、復水ブースタポンプ、スチームコンバータ給水ポンプ、第1段湿分分離加熱器ドレンポンプ、湿分分離器ドレンポンプおよび燃料取替用水タンク補給用移送ポンプが属するが、重要度が高いタービン動補助給水ポンプを代表機器とする。

(5) たて置うず巻ポンプ（内部流体：給水）

このグループには低圧給水加熱器ドレンポンプのみが属するので、低圧給水加熱器ドレンポンプを代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 ターボポンプの主な仕様

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準			代表機器の選定		
				重要度*4	使用条件		代表機器	選定理由	
型式	流体	材料	運転状態		最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)			
ターボポンプ たて置斜流	海水	ステンレス鋼	海水ポンプ(3)	MS-1、重*6	連続	約 0.7	約 50	◎	
ターボポンプ 横置うず巻	1次冷却材 ほう酸水	低合金鋼	充てん/高圧注入ポンプ(3)*1	MS-1、重*6	連続(充てん時) 一時(高圧注入時)	約 18.8	約 150	◎	重要度、温度
		ステンレス鋼	燃料取替用水ポンプ(2)	MS-2	一時	約 1.4	約 95		
			ほう酸ポンプ(3)	MS-1、重*6	連続	約 1.0	約 95		
			格納容器スプレイポンプ(2)	MS-1、重*6	一時	約 2.7	約 150		
			余熱除去ポンプ(2)	MS-1、重*6	連続(余熱除去時) 一時(低圧注入時)	約 4.1	約 200		
		恒設代替低圧注水ポンプ(1)	重*6	一時	約 2.7	約 95			
	ヒドラジン水	炭素鋼	原子炉補機冷却水ポンプ(5)*2	MS-1、重*6	連続	約 1.2	約 95	◎	
		炭素鋼	補助蒸気ドレンタンクポンプ(4)*3	高*5	連続	約 0.5	約 100	◎	重要度
	給水	ステンレス鋼	タービン動補助給水ポンプ(1)	MS-1、重*6	一時	約 11.3	約 40		
			電動補助給水ポンプ(2)	MS-1、重*6	一時	約 11.3	約 40		
			タービン動主給水ポンプ(2)	高*5	連続	約 9.9	約 200		
			電動主給水ポンプ(1)	高*5	一時	約 10.2	約 200		
			タービン動主給水ブースタポンプ(2)	高*5	連続	約 3.7	約 200		
			電動主給水ブースタポンプ(1)	高*5	一時	約 3.7	約 200		
			復水ブースタポンプ(3)	高*5	連続	約 4.1	約 80		
スチームコンバータ給水ポンプ(2)			高*5	連続	約 1.5	約 100			
第1段湿分分離加熱器ドレンポンプ(4)			高*5	連続	約 3.1	約 235			
湿分分離器ドレンポンプ(2)	高*5	連続	約 2.1	約 200					
	燃料取替用水タンク補給用移送ポンプ(1)	重*6	一時	約 1.0	約 40				
ターボポンプ たて置うず巻	給水	炭素鋼	低圧給水加熱器ドレンポンプ(3)	高*5	連続	約 2.8	約 80	◎	

*1: ケーシングは低合金鋼(ステンレス鋼内張り)、主軸はステンレス鋼、羽根車はステンレス鋼鋳鋼。

*2: ケーシングは炭素鋼鋳鋼、主軸はステンレス鋼、羽根車はステンレス鋼鋳鋼。

*3: ケーシングは鋳鉄、主軸はステンレス鋼、羽根車はステンレス鋼鋳鋼。

*4: 機能は最上位の機能を示す。

*5: 最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*6: 重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の5種類のポンプについて技術評価を実施する。

- ① 海水ポンプ
- ② 余熱除去ポンプ
- ③ 原子炉補機冷却水ポンプ
- ④ タービン動補助給水ポンプ
- ⑤ 低圧給水加熱器ドレンポンプ

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 海水ポンプ

(1) 構造

高浜4号炉の海水ポンプは、たて置単段斜流式ポンプであり、3台設置されている。

主軸には耐食ステンレス鋼、羽根車には耐食ステンレス鋼鋳鋼、吐出管にはステンレス鋼鋳鋼を使用しており、それぞれ海水に接液している。

軸封部には海水の漏れを防止するため、グランドパッキンを使用している。

高浜4号炉の海水ポンプの構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の海水ポンプの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

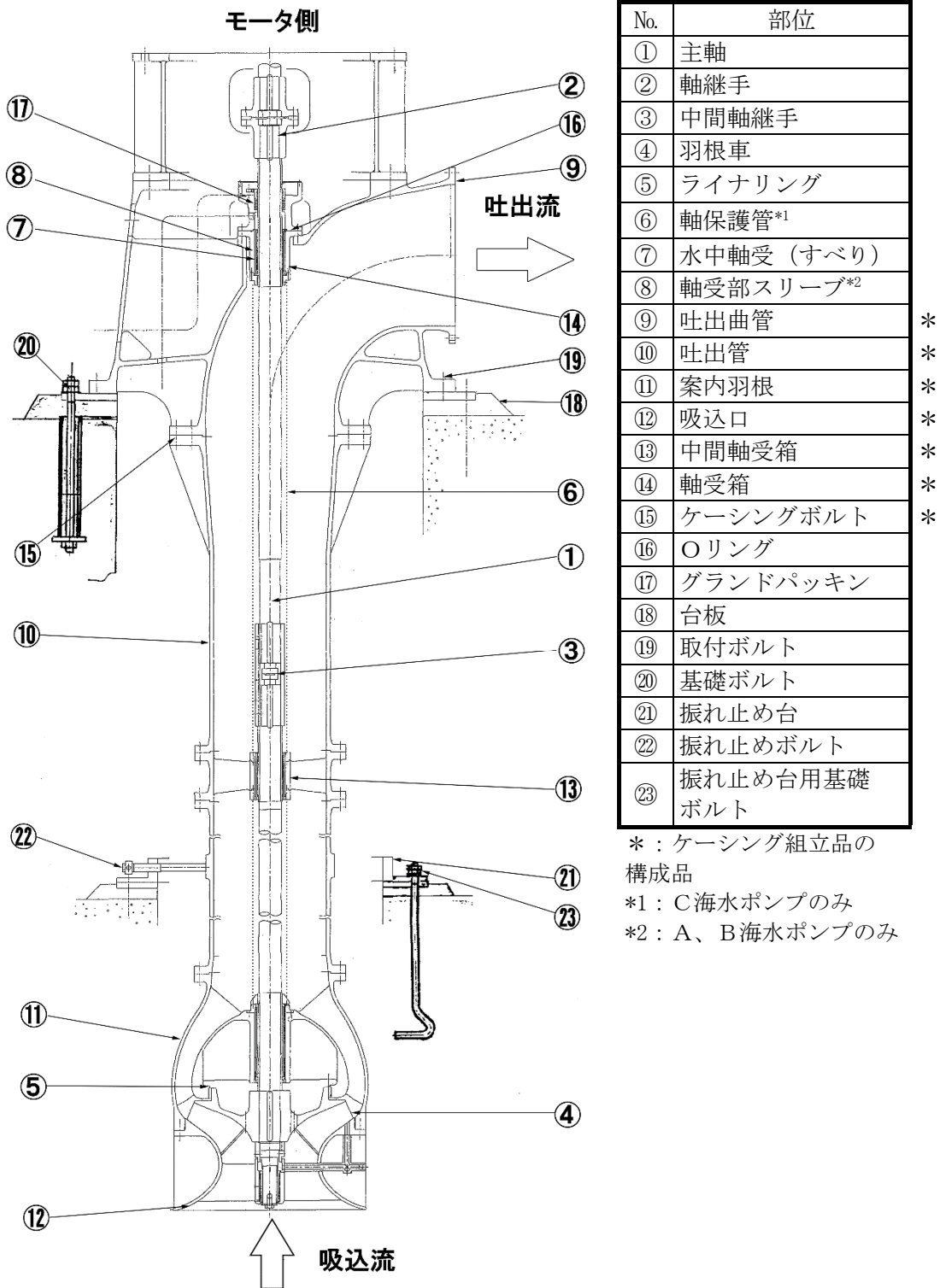


図2.1-1 高浜4号炉 海水ポンプ構造図

表2.1-1 高浜4号炉 海水ポンプ主要部位の使用材料

部位	材料
主軸	耐食ステンレス鋼
軸継手	炭素鋼
中間軸継手	耐食ステンレス鋼
羽根車	耐食ステンレス鋼鋳鋼
ライナリング	消耗品・定期取替品
軸保護管（C海水ポンプ）	消耗品・定期取替品
水中軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
軸受部スリーブ（A、B海水ポンプ）	消耗品・定期取替品
吐出曲管、吐出管、案内羽根、吸込口	ステンレス鋼鋳鋼
中間軸受箱、軸受箱	ステンレス鋼鋳鋼
ケーシングボルト	ステンレス鋼
Oリング	消耗品・定期取替品
グランドパッキン	消耗品・定期取替品
台板、取付ボルト、基礎ボルト	ステンレス鋼
振れ止め台	ステンレス鋼鋳鋼
振れ止めボルト、振れ止め台用基礎ボルト	ステンレス鋼

表2.1-2 高浜4号炉 海水ポンプの使用条件

最高使用圧力	約0.7MPa [gage]
最高使用温度	約50℃
内部流体	海水

2.1.2 余熱除去ポンプ

(1) 構造

高浜4号炉の余熱除去ポンプは、横置単段うず巻式ポンプであり、2台設置されている。

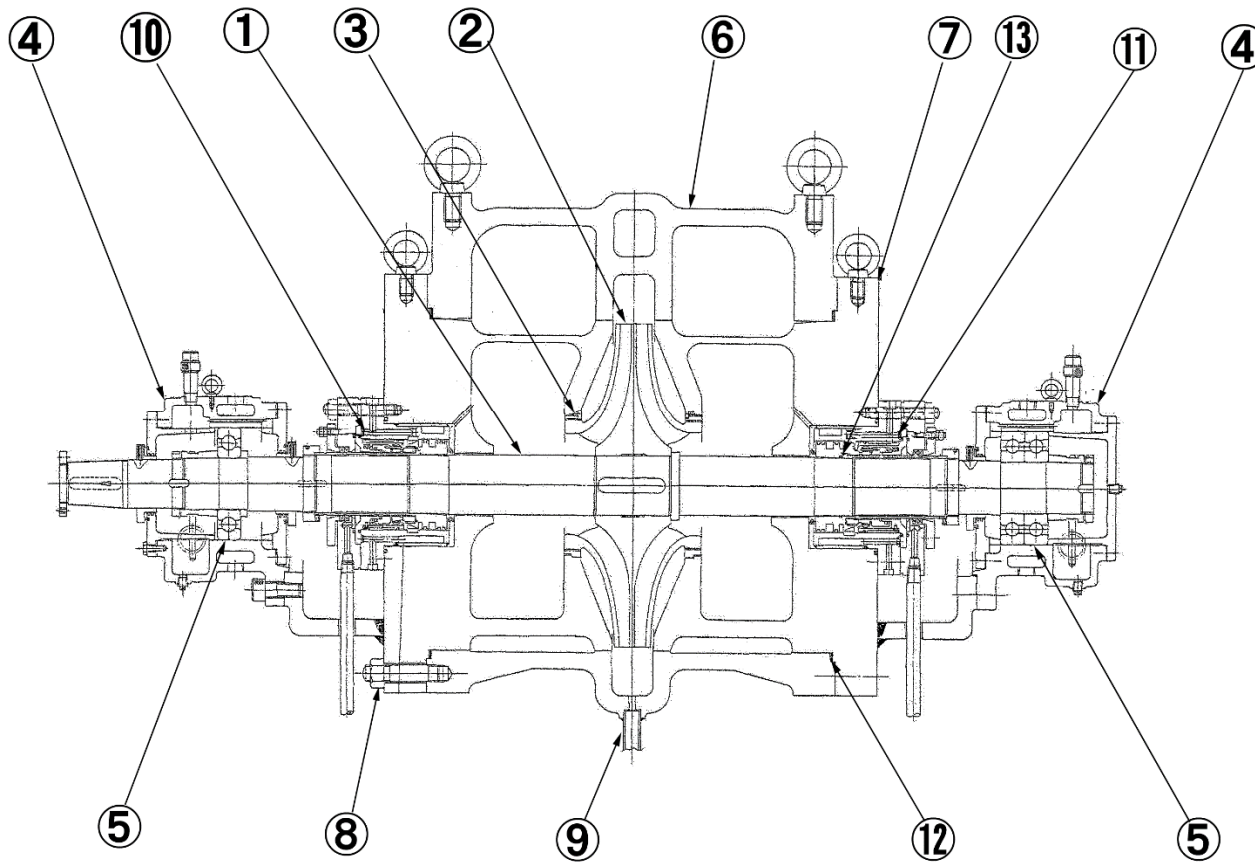
主軸にはステンレス鋼を使用し、羽根車およびケーシングにはステンレス鋼鋳鋼を使用しており、それぞれ1次冷却材またはほう酸水に接液している。

軸封部には1次冷却材またはほう酸水の漏れを防止するため、メカニカルシールおよびグランドパッキンを使用している。

高浜4号炉の余熱除去ポンプの構造図を図2.1-2に示す。

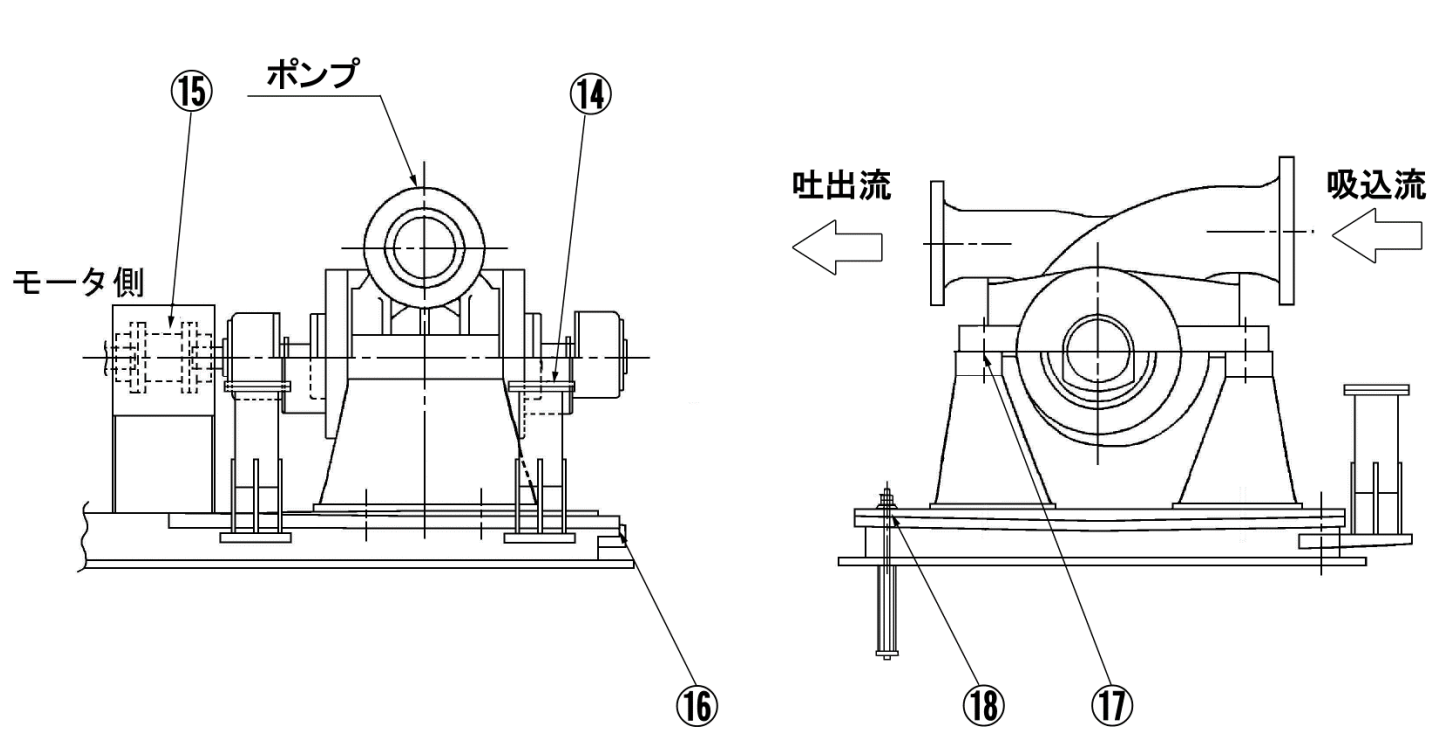
(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の余熱除去ポンプの使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



No.	部位
①	主軸
②	羽根車
③	ライナリング
④	軸受箱
⑤	軸受 (ころがり)
⑥	ケーシング
⑦	ケーシングカバー
⑧	ケーシングボルト
⑨	ケーシングドレン管
⑩	メカニカルシール
⑪	グランドパッキン
⑫	ガスケット
⑬	Oリング

図2.1-2(1/2) 高浜4号炉 余熱除去ポンプ本体構造図



No.	部位
⑭	メカニカルシールクーラ
⑮	軸継手
⑯	台板
⑰	取付ボルト
⑱	基礎ボルト

図2.1-2(2/2) 高浜4号炉 余熱除去ポンプ全体図

表2.1-3 高浜4号炉 余熱除去ポンプ主要部位の使用材料

部位	材料
主軸	ステンレス鋼
羽根車	ステンレス鋼鋳鋼
ライナリング	消耗品・定期取替品
軸受箱	鋳鉄
軸受（ころがり）	消耗品・定期取替品
軸継手	炭素鋼
ケーシング、ケーシングカバー	ステンレス鋼鋳鋼
ケーシングボルト	低合金鋼
ケーシングドレン管	ステンレス鋼
メカニカルシールクーラ	ステンレス鋼
メカニカルシール	消耗品・定期取替品
グランドパッキン	消耗品・定期取替品
ガスケット	消耗品・定期取替品
Oリング	消耗品・定期取替品
台板、取付ボルト、基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-4 高浜4号炉 余熱除去ポンプの使用条件

最高使用圧力	約4.1MPa [gage]
最高使用温度	約200℃
内部流体	1次冷却材、ほう酸水

2.1.3 原子炉補機冷却水ポンプ

(1) 構造

高浜4号炉の原子炉補機冷却水ポンプは、横置単段うず巻式ポンプであり、5台設置されている。

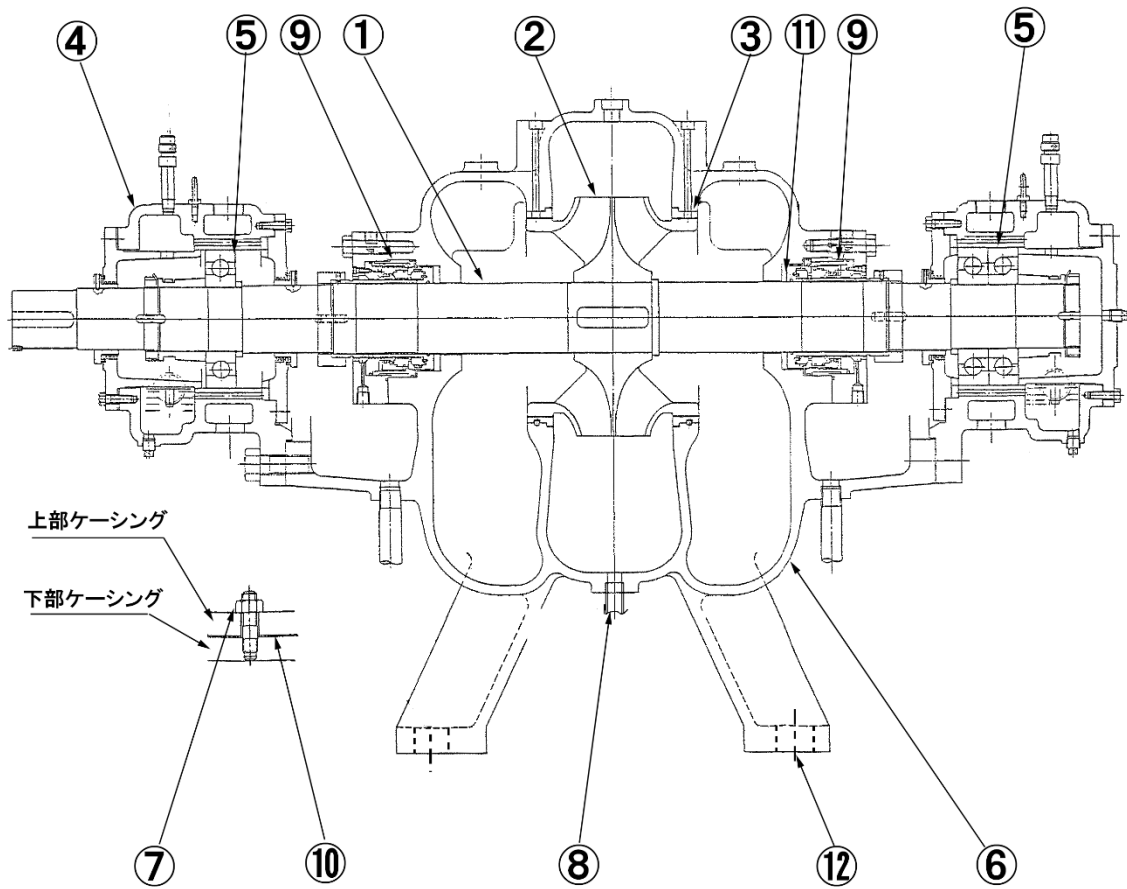
主軸にはステンレス鋼、羽根車にはステンレス鋼鋳鋼を使用し、ケーシングには炭素鋼鋳鋼を使用しており、それぞれヒドラジン水に接液している。

軸封部にはヒドラジン水の漏れを防止するため、メカニカルシールを使用している。

高浜4号炉の原子炉補機冷却水ポンプの構造図を図2.1-3に示す。

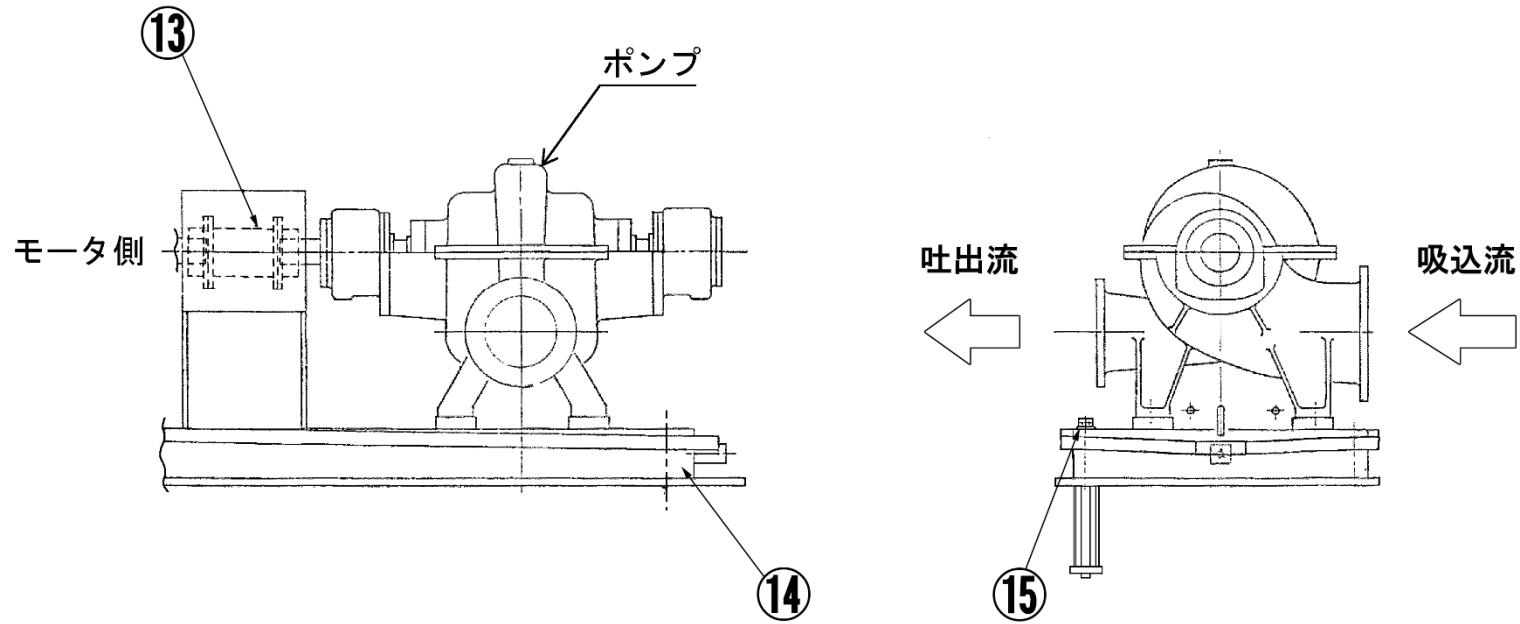
(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の原子炉補機冷却水ポンプの使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。



No.	部位
①	主軸
②	羽根車
③	ライナリング
④	軸受箱
⑤	軸受 (ころがり)
⑥	ケーシング
⑦	ケーシングボルト
⑧	ケーシングドレン管
⑨	メカニカルシール
⑩	ガスケット
⑪	Oリング
⑫	取付ボルト

図2.1-3(1/2) 高浜4号炉 原子炉補機冷却水ポンプ構造図



No.	部位
⑬	軸継手
⑭	台板
⑮	基礎ボルト

図2. 1-3(2/2) 高浜4号炉 原子炉補機冷却水ポンプ全体図

表2.1-5 高浜4号炉 原子炉補機冷却水ポンプ主要部位の使用材料

部位	材料
主軸	ステンレス鋼
羽根車	ステンレス鋼鋳鋼
ライナリング	消耗品・定期取替品
軸受箱	鋳鉄
軸受（ころがり）	消耗品・定期取替品
軸継手	炭素鋼
ケーシング	炭素鋼鋳鋼
ケーシングボルト	低合金鋼
ケーシングドレン管	炭素鋼
メカニカルシール	消耗品・定期取替品
ガスケット	消耗品・定期取替品
Oリング	消耗品・定期取替品
台板、取付ボルト、基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-6 高浜4号炉 原子炉補機冷却水ポンプの使用条件

最高使用圧力	約1.2MPa [gage]
最高使用温度	約95℃
内部流体	ヒドラジン水

2.1.4 タービン動補助給水ポンプ

(1) 構造

高浜4号炉のタービン動補助給水ポンプは、横置多段うず巻式ポンプであり、1台設置されている。

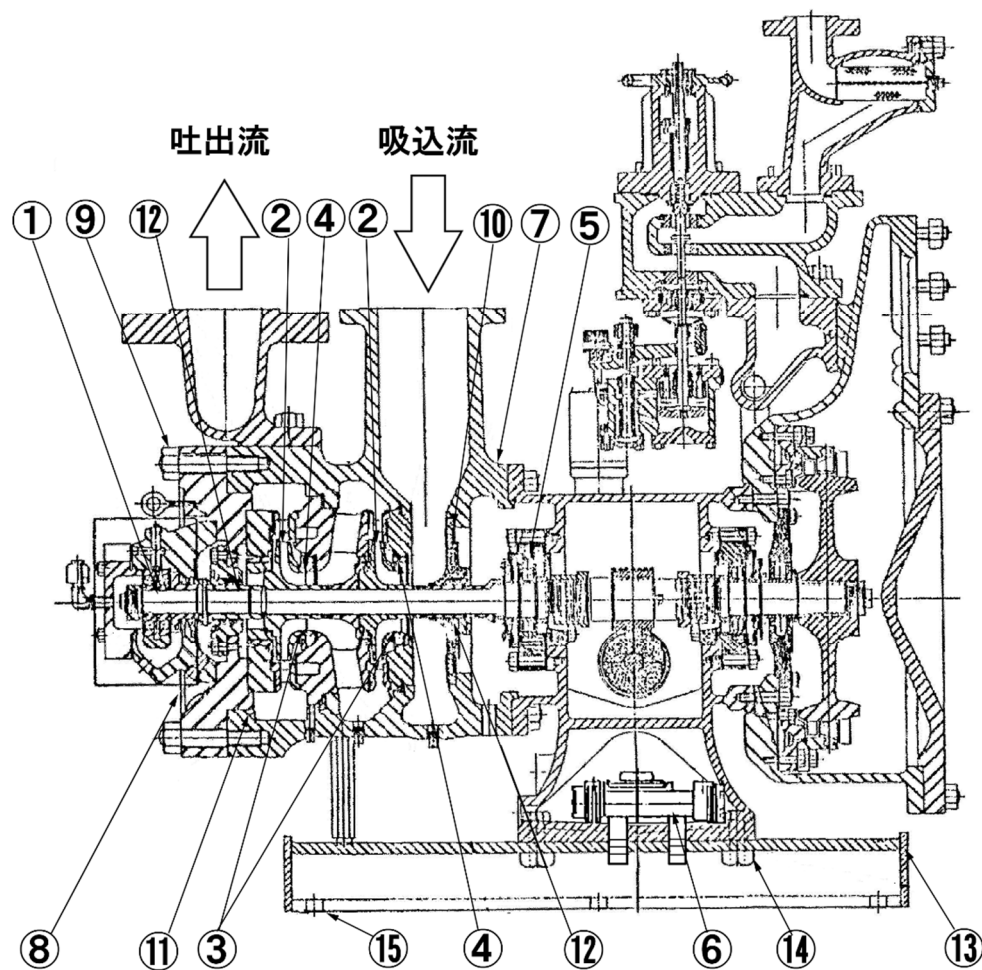
主軸には低合金鋼を使用し、羽根車およびケーシングにはステンレス鋼鋳鋼を使用しており、それぞれ給水に接液している。

軸封部には給水の漏れを防止するため、グランドパッキンを使用している。

高浜4号炉のタービン動補助給水ポンプの構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉のタービン動補助給水ポンプの使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。



No.	部位
①	主軸
②	羽根車
③	羽根車リング
④	ケーシングリング
⑤	軸受 (ころがり)
⑥	潤滑油ユニット
⑦	ケーシング
⑧	ケーシングカバー
⑨	ケーシングボルト
⑩	ガスケット
⑪	Oリング
⑫	グランドパッキング
⑬	台板
⑭	取付ボルト
⑮	基礎ボルト

図2.1-4 高浜4号炉 タービン動補助給水ポンプ構造図

表2.1-7 高浜4号炉 タービン動補助給水ポンプ主要部位の使用材料

部位	材料
主軸	低合金鋼
羽根車	ステンレス鋼鋳鋼
羽根車リング	消耗品・定期取替品
ケーシングリング	消耗品・定期取替品
軸受（ころがり）	消耗品・定期取替品
潤滑油ユニット	鋳鉄
ケーシング	ステンレス鋼鋳鋼
ケーシングカバー	炭素鋼鋳鋼
ケーシングボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
Oリング	消耗品・定期取替品
グラントパッキン	消耗品・定期取替品
台板、取付ボルト、基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-8 高浜4号炉 タービン動補助給水ポンプの使用条件

最高使用圧力	約11.3MPa [gage]
最高使用温度	約40℃
内部流体	給水

2.1.5 低圧給水加熱器ドレンポンプ

(1) 構造

高浜4号炉の低圧給水加熱器ドレンポンプは、たて置多段うず巻式ポンプであり、3台設置されている。

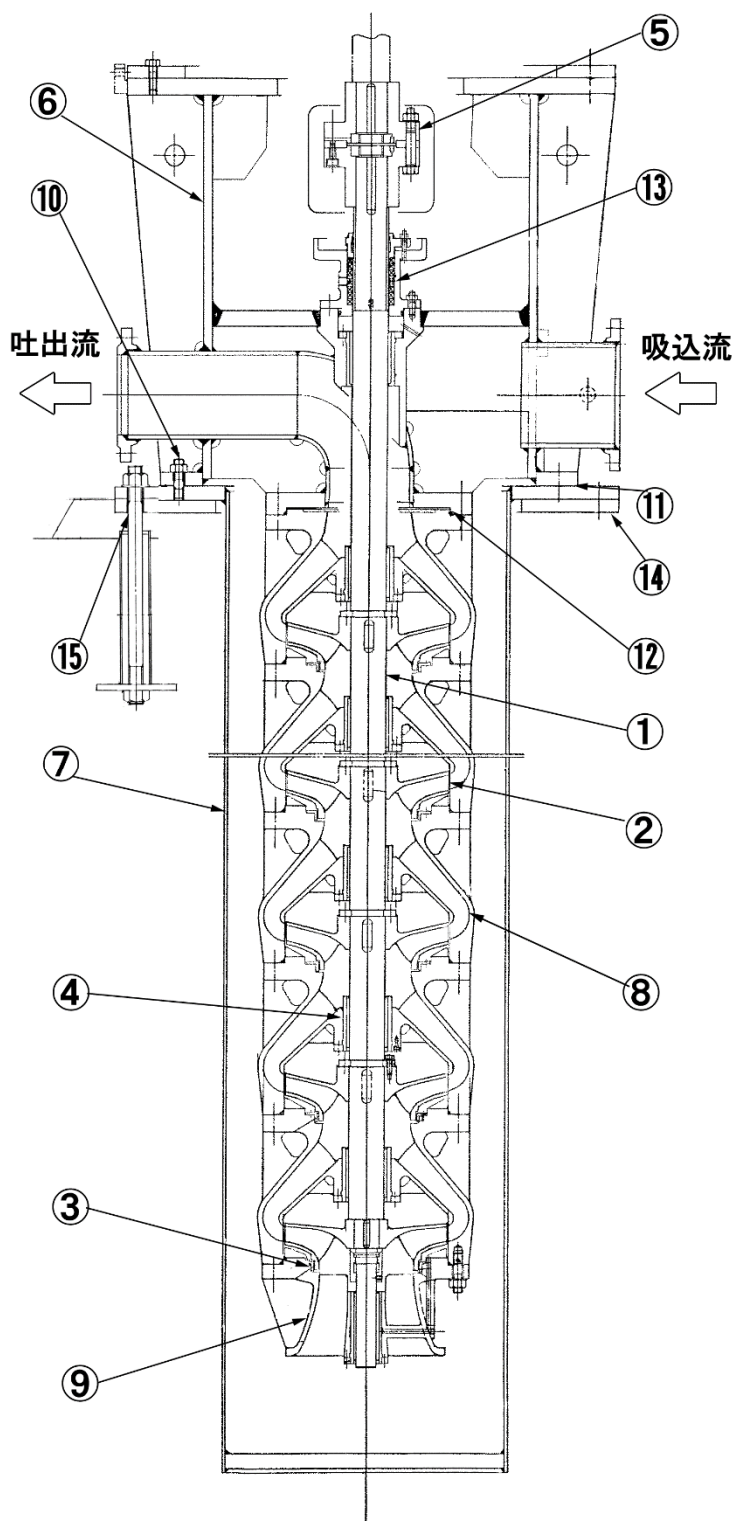
主軸にはステンレス鋼、羽根車にはステンレス鋼鋳鋼、吐出・中間ボウルには炭素鋼鋳鋼、吸込ベルには鋳鉄を使用し、外部ケーシングには炭素鋼を使用しており、それぞれ給水に接液している。

軸封部には給水の漏れを防止するため、グランドパッキンを使用している。

高浜4号炉の低圧給水加熱器ドレンポンプの構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の低圧給水加熱器ドレンポンプの使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。



No.	部位
①	主軸
②	羽根車
③	ライナリング
④	水中軸受 (すべり)
⑤	軸継手
⑥	ケーシング
⑦	外部ケーシング
⑧	吐出・中間ボウル
⑨	吸込ベル
⑩	ケーシングボルト
⑪	ガスケット
⑫	Oリング
⑬	グランドパッキン
⑭	ソールプレート
⑮	基礎ボルト

図2.1-5 高浜4号炉 低圧給水加熱器ドレンポンプ構造図

表2.1-9 高浜4号炉 低圧給水加熱器ドレンポンプ主要部位の使用材料

部位	材料
主軸	ステンレス鋼
羽根車	ステンレス鋼鋳鋼
ライナリング	消耗品・定期取替品
水中軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
軸継手	炭素鋼
ケーシング、外部ケーシング	炭素鋼
吐出・中間ボウル	炭素鋼鋳鋼
吸込ベル	鋳鉄
ケーシングボルト	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
Oリング	消耗品・定期取替品
グランドパッキン	消耗品・定期取替品
ソールプレート、基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-10 高浜4号炉 低圧給水加熱器ドレンポンプの使用条件

最高使用圧力	約2.8MPa [gage]
最高使用温度	約80℃
内部流体	給水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

ターボポンプの機能である送水機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① ポンプの容量－揚程確保
- ② バウンダリの維持
- ③ 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

ターボポンプ個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) ケーシング（ケーシングカバーを含む）の疲労割れ [余熱除去ポンプ]

プラントの起動・停止時等に発生する内部流体のステップ状の大きな温度変化により、特に肉厚が大きく拘束されているケーシング、ケーシングカバーにおいては、材料に疲労が蓄積する可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 主軸の摩耗 [共通]

ころがり軸受を使用しているポンプについては、軸受と主軸の接触面で摩耗が想定される。

軸受定期取替時の軸受引き抜きの際に主軸表面にわずかな線形模様が生じることもあり、主軸表面をサンドペーパーで仕上げる方策も考えられる。この場合、主軸表面にわずかな摩耗が発生し、主軸と軸受スリーブ間で微小すき間が生じ、運転中にフレットングによる摩耗が発生する可能性がある。

しかしながら、これを防止するため主軸表面の仕上げは行わない運用としており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

すべり軸受を使用しているポンプについては、軸受と主軸の接触面で摺動摩耗が想定される。

しかしながら、設計段階において主軸と軸受間に潤滑剤を供給し、膜を形成させて流体潤滑状態となるように考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(2) 主軸等接液部の腐食（孔食他）〔海水ポンプ〕

主軸、吸込口および振れ止め台等はステンレス鋼またはステンレス鋼鋳鋼であり、海水接液部において孔食他の腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時などの目視確認により各部の腐食の有無もしくは塗装の劣化の有無を確認し、腐食の状況により寸法計測を実施し、腐食進行程度の把握を行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 主軸の高サイクル疲労割れ〔共通〕

ポンプ運転時には主軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下で繰返し応力を受けると、段付部等の応力集中部において高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、ポンプ設計時には高サイクル疲労を考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

国内PWRプラントで発生したターボポンプ主軸折損に係るトラブルについては、当該ポンプの内部流体に空気が流入したこと等が関与しており、高浜4号炉については内部流体に空気が流入しない系統構成であること等を確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、巡視点検時の振動確認（通常運転時の振動状態と差異がないことの触診による確認）、試運転時および機能確認時における振動確認（変位、速度、加速度の測定等）ならびに分解点検時の応力集中部に対する目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(4) 主軸のフレット疲労割れ [余熱除去ポンプ、原子炉補機冷却水ポンプ]

ポンプ運転時の主軸に外部荷重に起因する繰返し曲げ応力が作用したとき、その応力の働いている方向や大きさによっては、主軸等に疲労割れが生じる可能性があり、焼きばめにより羽根車が固定されている主軸においてフレット疲労割れが想定される。

1986年10月、玄海1号炉の余熱除去ポンプ主軸において、フレット疲労による疲労割れが発生している。

しかしながら、高浜4号炉については「金属材料疲れ強さの設計資料（日本機械学会）」から最も厳しい下限線を 10^{11} 回まで外挿し設定した疲労限と曲げ応力振幅との比較により評価した結果、曲げ応力振幅は疲労限を下回っており、フレット疲労割れが問題となる可能性はないと判断している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、巡視点検時の振動確認（通常運転時の振動状態と差異がないことの触診による確認）、試運転時および機能確認時における振動確認（変位、速度、加速度の測定等）により、機器の健全性を確認している。

(5) 羽根車の腐食（キャビテーション） [共通]

ポンプの内部では流速と圧力が場所により大きく変化するが、ある点の圧力がその液温における飽和蒸気圧まで低下すると、その部分の液体が沸騰し、蒸気泡の発生と崩壊が起こることが想定される。

しかしながら、キャビテーションを起こさない条件はポンプおよび機器配置設計段階において考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 軸継手の摩耗 [余熱除去ポンプ、原子炉補機冷却水ポンプ]

歯車型軸継手は、歯面によりトルクを伝達するため摩耗が想定される。

しかしながら、歯面はグリス封入により潤滑し、摩耗が発生しがたい環境であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(7) 軸受箱の腐食（全面腐食） [余熱除去ポンプ、原子炉補機冷却水ポンプ]

軸受箱は鋳鉄であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

一方、内面については内部流体が油で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(8) 潤滑油ユニットの外側からの腐食（全面腐食） [タービン動補助給水ポンプ]

潤滑油ユニットは鋳鉄であり、外側からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(9) 潤滑油ユニットの内面からの腐食（全面腐食）〔タービン動補助給水ポンプ〕

潤滑油ユニットは鋳鉄であり、内部流体が冷却水および潤滑油で、冷却水は飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）であり、長期間の使用により内面からの腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。また、潤滑油は腐食が発生しがたい環境である。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(10) ケーシング等の腐食（全面腐食）〔原子炉補機冷却水ポンプ、低圧給水加熱器ドレンポンプ〕

ケーシング、外部ケーシング、ケーシングドレン管および吐出・中間ボウルは炭素鋼鋳鋼または炭素鋼、吸込ベルは鋳鉄であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

一方、内面については内部流体がヒドラジン水（防錆剤注入水）またはpH等を管理した脱気水（給水）で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

- (11) ケーシングカバーの外側からの腐食（全面腐食） [タービン動補助給水ポンプ]

ケーシングカバーは炭素鋼鋳鋼であり、外側からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (12) ケーシングカバーの内側からの腐食（全面腐食） [タービン動補助給水ポンプ]

ケーシングカバーは炭素鋼鋳鋼であり、内部流体が飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）水であり、長期間の使用により内側からの腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (13) ステンレス鋼使用部位の応力腐食割れ [余熱除去ポンプ]

ケーシング（ケーシングカバーを含む）はステンレス鋼鋳鋼、ケーシングドレン管はステンレス鋼であり、ステンレス鋼の使用部位については応力腐食割れが想定される。

しかしながら、定期検査時に飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）の流体が流入する際は流体温度が低い（最高でも80℃程度）ため、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

また、定期検査後のプラント起動時には1次冷却材中の溶存酸素濃度低減のための運転操作を実施するため、高温（100℃以上）で使用する場合は溶存酸素濃度が0.1ppm以下に低減された流体となっていることから、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(14) ケーシングボルトの腐食（全面腐食）〔海水ポンプを除く〕

ケーシングボルトは炭素鋼または低合金鋼であり、ガスケットまたはＯリングからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、巡視点検時等の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

(15) 台板および取付ボルト等の腐食（全面腐食）〔海水ポンプを除く〕

台板、ソールプレートおよび取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(16) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔海水ポンプを除く〕

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケット、Ｏリング、グランドパッキン、メカニカルシールおよび軸受（ころがり）は分解点検時に取替える消耗品であり、ライナリング、羽根車リング、ケーシングリング、軸保護管、軸受（すべり）および軸受部スリーブは分解点検時の目視確認や寸法計測の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/5) 高浜4号炉 海水ポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
ポンプの容量一揚程確保	主軸		耐食ステンレス鋼	△	△*1	△*2					*1：孔食他 *2：高サイクル疲労割れ *3：キャビテーション
	軸継手		炭素鋼								
	中間軸継手		耐食ステンレス鋼		△*1						
	羽根車		耐食ステンレス鋼鋳鋼		△*1 △*3						
	ライナリング	◎	—								
	軸保護管（C海水ポンプ）	◎	—								
	水中軸受（すべり）	◎	—								
	軸受部スリーブ（A、B海水ポンプ）	◎	—								
バウンダリの維持	吐出曲管		ステンレス鋼鋳鋼		△*1						
	吐出管		ステンレス鋼鋳鋼		△*1						
	案内羽根		ステンレス鋼鋳鋼		△*1						
	吸込口		ステンレス鋼鋳鋼		△*1						
	中間軸受箱		ステンレス鋼鋳鋼		△*1						
	軸受箱		ステンレス鋼鋳鋼		△*1						
	ケーシングボルト		ステンレス鋼		△*1						
	Oリング	◎	—								
	グランドパッキン	◎	—								
機器の支持	台板		ステンレス鋼								
	取付ボルト		ステンレス鋼								
	基礎ボルト		ステンレス鋼								
	振れ止め台		ステンレス鋼鋳鋼		△*1						
	振れ止めボルト		ステンレス鋼		△*1						
	振れ止め台用基礎ボルト		ステンレス鋼		△*1						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/5) 高浜4号炉 余熱除去ポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
ポンプの容量-揚程確保	主軸		ステンレス鋼	△		△*1 △*2				*1：フレットイング 疲労割れ *2：高サイクル疲労割れ *3：キャビテーション	
	羽根車		ステンレス鋼鋳鋼		△*3						
	ライナリング	◎	-								
	軸受箱		鋳鉄		△						
	軸受（ころがり）	◎	-								
	軸継手		炭素鋼	△							
ハウンドリ の維持	ケーシング		ステンレス鋼鋳鋼			○	△				
	ケーシングカバー		ステンレス鋼鋳鋼			○	△				
	ケーシングボルト		低合金鋼		△						
	ケーシングドレン管		ステンレス鋼				△				
	メカニカルシールクーラ		ステンレス鋼								
	メカニカルシール	◎	-								
	グランドパッキン	◎	-								
	ガスケット	◎	-								
	Oリング	◎	-								
機器の支持	台板		炭素鋼		△						
	取付ボルト		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/5) 高浜4号炉 原子炉補機冷却水ポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食 割れ	熱時効	劣化		
ポンプの 容量－揚程 確保	主軸		ステンレス鋼	△		△ ^{*1} △ ^{*2}					*1：フレットイング 疲労割れ *2：高サイクル疲労 割れ *3：キャビテーション
	羽根車		ステンレス鋼鋳鋼		△ ^{*3}						
	ライナリング	◎	－								
	軸受箱		鋳鉄		△						
	軸受（ころがり）	◎	－								
	軸継手		炭素鋼	△							
バウンダリ の維持	ケーシング		炭素鋼鋳鋼		△						
	ケーシングボルト		低合金鋼		△						
	ケーシングドレン管		炭素鋼		△						
	メカニカルシール	◎	－								
	ガスケット	◎	－								
	Oリング	◎	－								
機器の支持	台板		炭素鋼		△						
	取付ボルト		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/5) 高浜4号炉 タービン動補助給水ポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食 割れ	熱時効	劣化		
ポンプの 容量－揚程 確保	主軸		低合金鋼	△		△*1				*1：高サイクル疲労 割れ *2：キャビテーション	
	羽根車		ステンレス鋼鋳鋼		△*2						
	羽根車リング	◎	－								
	ケーシングリング	◎	－								
	軸受（ころがり）	◎	－								
	潤滑油ユニット		鋳鉄		△(内面) △(外面)						
バウンダリ の維持	ケーシング		ステンレス鋼鋳鋼								
	ケーシングカバー		炭素鋼鋳鋼		△(内面) △(外面)						
	ケーシングボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	－								
	Oリング	◎	－								
	グランドパッキン	◎	－								
機器の支持	台板		炭素鋼		△						
	取付ボルト		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(5/5) 高浜4号炉 低圧給水加熱器ドレンポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
ポンプの容量-揚程確保	主軸		ステンレス鋼	△		△*1				*1：高サイクル疲労割れ *2：キャビテーション	
	羽根車		ステンレス鋼鋳鋼		△*2						
	ライナリング	◎	—								
	水中軸受（すべり）	◎	—								
	軸継手		炭素鋼								
バウンダリの維持	ケーシング		炭素鋼		△						
	外部ケーシング		炭素鋼		△						
	吐出・中間ボウル		炭素鋼鋳鋼		△						
	吸込ベル		鋳鉄		△						
	ケーシングボルト		炭素鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	Oリング	◎	—								
グラウンドパッキン	◎	—									
機器の支持	ソールプレート		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 ケーシング（ケーシングカバーを含む）の疲労割れ[余熱除去ポンプ]

a. 事象の説明

ケーシングは、プラントの起動・停止時等に熱過渡を繰返し受けるため、疲労が蓄積する。

b. 技術評価

① 健全性評価

ケーシングの健全性評価にあたっては、「日本機械学会 設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007)」に基づき評価を行った。

評価対象部位を図2.3-1に示す。

また、使用環境を考慮した疲労については、「日本機械学会 環境疲労評価手法(JSME S NF1-2009)」に基づき評価した。

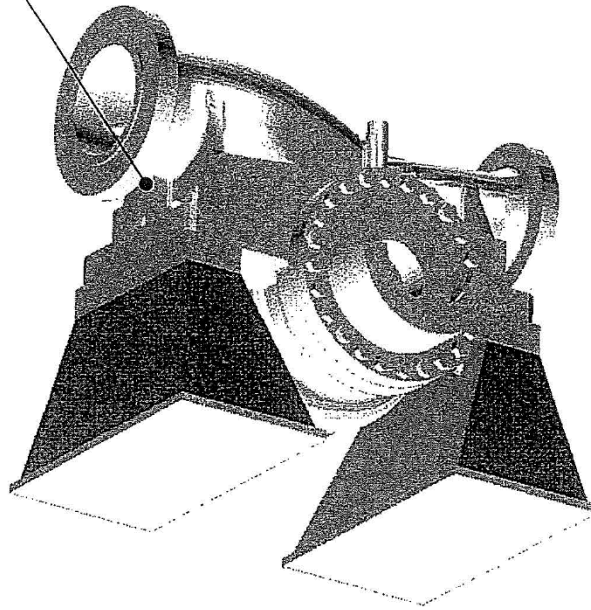
疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。

なお、運転期間延長認可申請に伴う評価として、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的*に設定した過渡回数とした。

*：評価条件として、2020年度以降の過渡発生頻度は実績の1.5倍以上を想定した。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

疲労評価対象部位（外面）



環境疲労評価対象部位（内面）

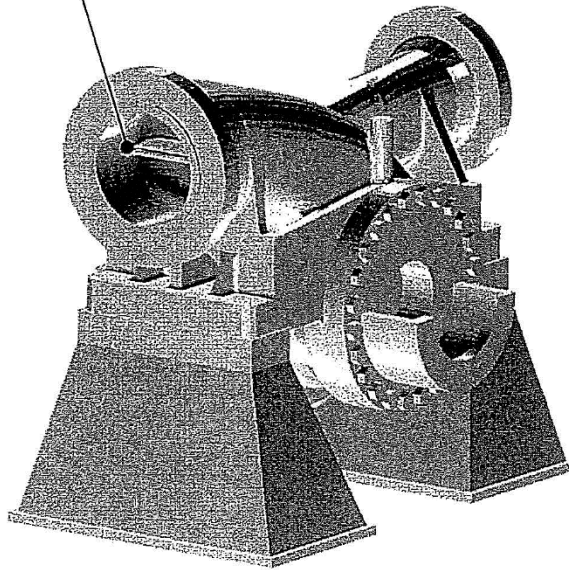


図2.3-1 高浜4号炉 余熱除去ポンプ ケーシングの疲労評価対象部位

表2.3-1 高浜4号炉 余熱除去ポンプ ケーシングの疲労評価に用いた過渡回数

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動	35	71
停止	34	71
1次系漏えい試験	31	65

表2.3-2 高浜4号炉 余熱除去ポンプ ケーシングの疲労評価結果

評価対象部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値：1以下)	
	設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
ケーシング (ステンレス鋼鋳鋼)	0.026	0.082

② 現状保全

ケーシングの疲労割れに対しては、定期的にケーシング内面全体の目視確認により、有意な割れがないことを確認している。

さらに、高経年化技術評価に合わせて、実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、疲労割れ発生の可能性はないと考える。

ただし、疲労評価は、実績過渡回数に依存するため、今後も実績過渡回数を把握し評価する必要がある。

また、疲労割れは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

ケーシングの疲労割れについては、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認する。

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① 充てん／高圧注入ポンプ
- ② 燃料取替用水ポンプ
- ③ ほう酸ポンプ
- ④ 格納容器スプレイポンプ
- ⑤ 補助蒸気ドレンタンクポンプ
- ⑥ 電動補助給水ポンプ
- ⑦ タービン動主給水ポンプ
- ⑧ 電動主給水ポンプ
- ⑨ タービン動主給水ブースタポンプ
- ⑩ 電動主給水ブースタポンプ
- ⑪ 復水ブースタポンプ
- ⑫ スチームコンバータ給水ポンプ
- ⑬ 第1段湿分分離加熱器ドレンポンプ
- ⑭ 湿分分離器ドレンポンプ
- ⑮ 恒設代替低圧注水ポンプ
- ⑯ 燃料取替用水タンク補給用移送ポンプ

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 ケーシング（ケーシングカバーを含む）の疲労割れ

代表機器では、起動・停止および負荷変化時に発生する熱応力により、材料に疲労が蓄積することが考えられる。

一方、代表機器以外のターボポンプについては、疲労割れが問題となるような温度変化を受けないことから、代表機器以外への展開は不要である。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

3.2.1 主軸の摩耗 [共通]

ころがり軸受を使用しているポンプについては、軸受と主軸の接触面で摩耗が想定される。

軸受定期取替時の軸受引き抜きの際に主軸表面にわずかな線形模様が生じることもあり、主軸表面をサンドペーパーで仕上げる方策も考えられる。この場合、主軸表面にわずかな摩耗が発生し、主軸と軸受スリーブ間で微小すき間が生じ、運転中にフレットによる摩耗が発生する可能性がある。

しかしながら、これを防止するため主軸表面の仕上げは行わない運用としており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

すべり軸受を使用しているポンプについては、軸受と主軸の接触面で摺動摩耗が想定される。

しかしながら、設計段階において主軸と軸受間に潤滑剤を供給し、膜を形成させて流体潤滑状態となるように考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

3.2.2 主軸の高サイクル疲労割れ [共通]

ポンプ運転時には主軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下で繰返し応力を受けると、段付部等の応力集中部において高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、ポンプ設計時には高サイクル疲労を考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

国内PWRプラントで発生したターボポンプ主軸折損に係るトラブルについては、当該ポンプの内部流体に空気が流入したこと等が関与しており、高浜4号炉については内部流体に空気が流入しない系統構成であること等を確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、巡視点検時の振動確認（通常運転時の振動状態と差異がないことの触診による確認）、試運転時および機能確認時における振動確認（変位、速度、加速度の測定等）ならびに分解点検時の応力集中部に対する目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

3.2.3 主軸のフレット疲労割れ [充てん／高圧注入ポンプ、格納容器スプレ
イポンプ、電動補助給水ポンプ、タービン動主給水ポンプ、電動主給水ポン
プ、タービン動主給水ブースタポンプ、電動主給水ブースタポンプ、復水
ブースタポンプ、第1段湿分分離加熱器ドレンポンプ、湿分分離器ドレンポ
ンプ]

ポンプ運転時の主軸に外部荷重に起因する繰返し曲げ応力が作用したとき、その応力の働いている方向や大きさによっては、主軸等に疲労割れが生じる可能性があり、焼きばめにより羽根車が固定されている主軸においてフレット疲労割れが想定される。

1986年10月、玄海1号炉の余熱除去ポンプ主軸において、フレット疲労による疲労割れが発生している。

しかしながら、高浜4号炉については「金属材料疲れ強さの設計資料（日本機械学会）」から最も厳しい下限線を 10^{11} 回まで外挿し設定した疲労限と曲げ応力振幅との比較により評価した結果、曲げ応力振幅は疲労限を下回っている、あるいは60年運転の繰返し回数が曲げ応力振幅での許容繰返し回数を下回っていることから、フレット疲労割れが問題となる可能性はないと判断している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、巡視点検時の振動確認（通常運転時の振動状態と差異がないことの触診による確認）、試運転時および機能確認時における振動確認（変位、速度、加速度の測定等）により、機器の健全性を確認している。

3.2.4 羽根車の腐食（キャビテーション） [共通]

ポンプの内部では流速と圧力が場所により大きく変化するが、ある点の圧力がその液温における飽和蒸気圧まで低下すると、その部分の液体が沸騰し、蒸気泡の発生と崩壊が起こることが想定される。

しかしながら、キャビテーションを起こさない条件はポンプおよび機器配置設計段階において考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.5 軸継手の摩耗 [充てん／高圧注入ポンプ、燃料取替用水ポンプ、ほう酸ポンプ、格納容器スプレイポンプ、電動補助給水ポンプ、タービン動主給水ポンプ、電動主給水ポンプ、タービン動主給水ブースタポンプ、電動主給水ブースタポンプ、復水ブースタポンプ、第1段湿分分離加熱器ドレンポンプ、湿分分離器ドレンポンプ]

歯車型軸継手は、歯面によりトルクを伝達するため摩耗が想定される。

しかしながら、歯面はグリス封入により潤滑し、摩耗が発生しがたい環境であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

3.2.6 軸受箱の外面からの腐食（全面腐食） [共通]

軸受箱は鋳鉄であり、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.7 潤滑油ユニットの腐食（全面腐食） [充てん／高圧注入ポンプ、電動主給水ポンプ、復水ブースタポンプ]

潤滑油ユニットは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

一方、内面については内部流体が油、ヒドラジン水（防錆剤注入水）または亜硝酸水（防錆剤注入水）で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.8 増速機および減速機歯車の摩耗 [充てん／高圧注入ポンプ、電動主給水ポンプ、タービン動主給水ブースタポンプ、電動主給水ブースタポンプ]

増速機および減速機の歯車は潤滑油により摩耗を防止しているが、直径の異なる歯車を組み合せ使用しており、歯車の歯面は接触により動力が伝達されるため、面圧条件により摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.9 増速機および減速機ケーシングの外面からの腐食（全面腐食） [充てん／高圧注入ポンプ、電動主給水ポンプ、タービン動主給水ブースタポンプ、電動主給水ブースタポンプ]

増速機および減速機ケーシングは鋳鉄であり、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.10 ケーシング（ケーシングカバーを含む）の腐食（全面腐食）〔充てん／高圧注入ポンプ、補助蒸気ドレンタンクポンプ〕

ケーシング（ケーシングカバーを含む）は低合金鋼または鋳鉄であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

一方、内面については内部流体が1次冷却材、ほう酸水またはpH等を管理した脱気水（給水）で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.11 ケーシングボルトの腐食（全面腐食）〔燃料取替用水ポンプ、ほう酸ポンプ、恒設代替低圧注水ポンプ、燃料取替用水タンク補給用移送ポンプを除く〕

ケーシングボルトは低合金鋼または炭素鋼であり、ガスケットまたはOリングからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、巡視点検時等の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

3.2.12 架台、台板および取付ボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕

架台、台板および取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.13 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔燃料取替用水ポンプ、恒設代替低圧注水ポンプ、燃料取替用水タンク補給用移送ポンプを除く〕および樹脂の劣化〔恒設代替低圧注水ポンプ〕

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

また、恒設代替低圧注水ポンプの基礎ボルト（ケミカルアンカ）には樹脂を使用しており、劣化が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

2.2.3の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

3.2.14 軸受箱の内面からの腐食（全面腐食）〔共通〕

軸受箱は鋳鉄であり、内面からの腐食が想定される。

しかしながら、内部流体が油で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.15 増速機および減速機ケーシングの内面からの腐食（全面腐食）〔充てん／高圧注入ポンプ、電動主給水ポンプ、タービン動主給水ブースタポンプ、電動主給水ブースタポンプ〕

増速機および減速機ケーシングは鋳鉄であり、内面からの腐食が想定される。

しかしながら、内面については歯車および軸受を潤滑するため、潤滑油がケーシング内面にはねかけられる油雰囲気で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2 1次冷却材ポンプ

[対象機器]

- ① 1次冷却材ポンプ

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 1次冷却材ポンプの技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	5
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	11

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されている1次冷却材ポンプの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 1次冷却材ポンプの主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件		
		運転状態	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (℃)
1次冷却材ポンプ (3)	PS-1、重*2	連続	約17.2	約343

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

2. 1次冷却材ポンプの技術評価

2.1 構造、材料および使用条件

(1) 構造

高浜4号炉の1次冷却材ポンプは、たて置単段斜流ポンプであり、3台設置されている。

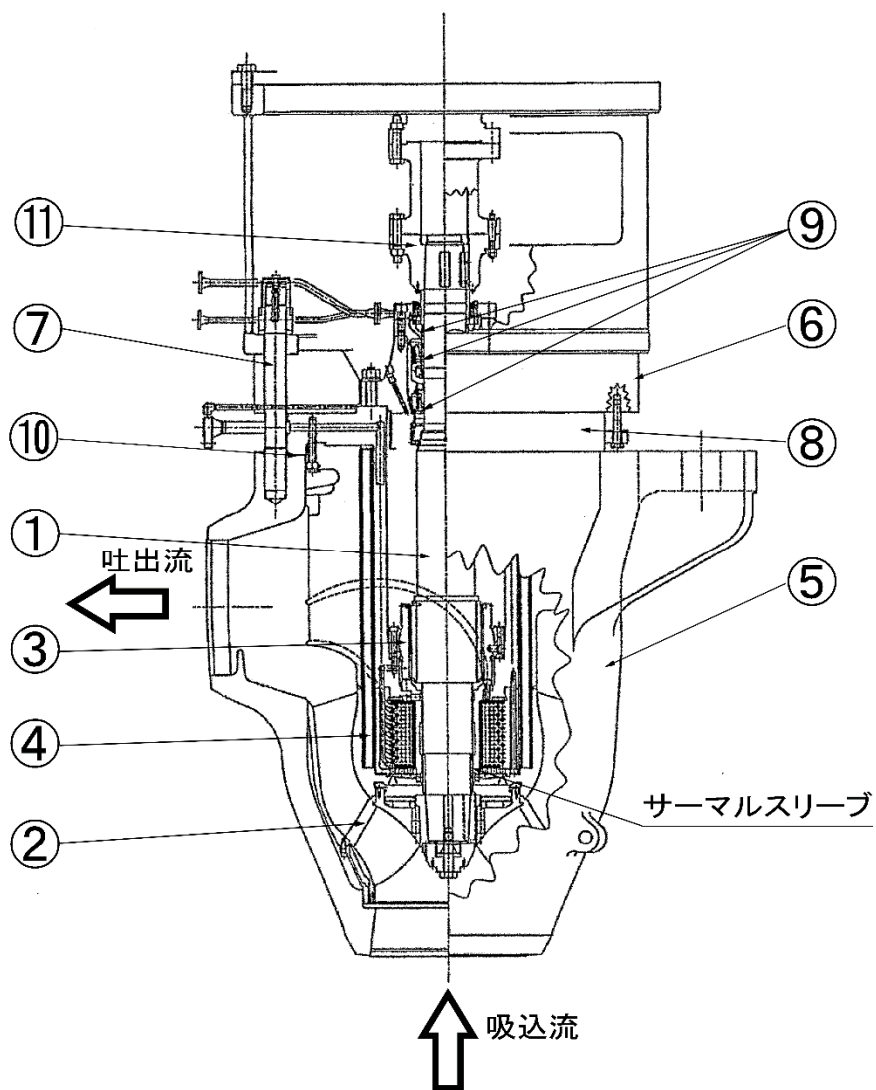
主軸、羽根車、ケーシング等にはステンレス鋼またはステンレス鋼鑄鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。

軸封部には、1次冷却材の漏れを防止するため、No. 1～3の3つのシールを使用している。

高浜4号炉の1次冷却材ポンプの構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の1次冷却材ポンプの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	主軸
②	羽根車
③	水中軸受 (すべり)
④	熱遮蔽装置ハウジングおよびシェル
⑤	ケーシング
⑥	主フランジ
⑦	主フランジボルト
⑧	熱遮蔽装置フランジ
⑨	No. 1～3 シール
⑩	ガスケット
⑪	軸継手

図2.1-1 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ構造図

表2.1-1 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ主要部位の使用材料

部位	材料
主軸	ステンレス鋼
羽根車	ステンレス鋼鋳鋼
水中軸受(すべり)	消耗品・定期取替品
熱遮蔽装置ハウジング およびシエル	ステンレス鋼
ケーシング	ステンレス鋼鋳鋼
主フランジ	低合金鋼
主フランジボルト	低合金鋼
熱遮蔽装置フランジ	ステンレス鋼
No. 1～3 シール	消耗品・定期取替品
ガスケット	消耗品・定期取替品
軸継手	低合金鋼

表2.1-2 高浜4号炉 1次冷却材ポンプの使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa[gage]
最高使用温度	約343℃
内部流体	1次冷却材

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

1次冷却材ポンプの機能である送水機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① ポンプの容量－揚程確保
- ② 作動信頼性の維持
- ③ バウンダリの維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

1次冷却材ポンプについて機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) ケーシングの疲労割れ

プラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材の温度、圧力、流量変化により、疲労が蓄積する可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

(2) ケーシングの熱時効

ケーシングに使用しているステンレス鋼は、高温での長時間の使用に伴い靱性の低下等、材料特性変化を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理ではない事象はない。

(1) 主軸の摩耗

主軸は回転中に熱遮蔽装置と接触する可能性があり、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の主軸の振れ計測や寸法計測により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 主軸の高サイクル疲労割れ

ポンプ運転時には主軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下で繰返し応力を受けると、段付部等の応力集中部において高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、ポンプ設計時には高サイクル疲労を考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、試運転時および機能確認時における振動確認（変位の測定）ならびに分解点検時の応力集中部に対する目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(3) 主軸の疲労割れ

主軸上部は低温の軸封水、主軸下部は高温の1次冷却材に接液しており、両者の混合部に温度変動が発生して主軸表面の疲労割れが想定される。

BWRプラントの原子炉再循環ポンプ主軸で損傷事例がある。

しかしながら、1次冷却材ポンプは、この熱的に厳しい混合部の主軸表面に温度変動を吸収するためのサーマルスリーブを設置し、1次冷却材ポンプの機能を損なうことのないよう主軸を保護する構造となっている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、試運転時および機能確認時における振動確認（変位の測定）ならびに分解点検時の応力集中部に対する目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(4) 羽根車の摩耗

羽根車は回転中に静止部と接触する可能性があり、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の寸法計測により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) 羽根車の腐食（キャビテーション）

ポンプの内部では流速と圧力が場所により大きく変化するが、ある点の圧力がその液温における飽和蒸気圧まで低下すると、その部分の液体が沸騰し、蒸気泡の発生と崩壊が起こることが想定される。

しかしながら、キャビテーションを起こさない条件はポンプおよび機器配置設計段階において考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 羽根車の熱時効

羽根車はステンレス鋼鑄鋼であり、使用温度が約284℃と高いため、熱時効による材料の特性変化が想定される。

しかしながら、羽根車は耐圧部ではなく運転中に発生する応力は小さく、亀裂の原因となる経年劣化事象の発生が想定されない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 熱遮蔽装置のハウジング、シェルおよびフランジの疲労割れ

熱遮蔽装置のハウジング、シェルおよびフランジの高温水接液部において疲労割れが想定される。

1990年、フランスのフェッセンハイム(Fessenheim)発電所2号炉において、ポンプの供用期間中検査を行った際、1次冷却材ポンプ(93D型)の熱遮蔽装置ハウジング内側側面およびフランジ下面(ハウジング付け根部内側)に欠陥があることが目視にて確認された。その後の点検においても、フランス国内の類似プラントにおいて同様の損傷が認められている。

この型式の1次冷却材ポンプは、通常運転時、熱遮蔽装置ハウジング内部は軸封水で満たされているので低温となり、熱遮蔽装置ハウジング外部は1次冷却材に接しているため高温となる。

このため、熱疲労により損傷に至ったものと報告されているが、定量的な見解はフランス国内でも出されていない。

一方、高浜4号炉の1次冷却材ポンプ(93A-1型)の熱遮蔽装置は、熱遮蔽装置ハウジングが直接高温水に接液しない構造となっている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(8) 主フランジボルトの腐食（全面腐食）

主フランジボルトは低合金鋼であり、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットは分解点検時に取替える消耗品であり、No. 1～3 シールおよび水中軸受（すべり）は分解点検時の目視確認や寸法計測の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 高浜4号炉 1次冷却材ポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
ポンプの容量-揚程確保	主軸		ステンレス鋼	△		△ ^{*1} △ ^{*2}				*1：高サイクル疲労割れ *2：疲労割れ *3：キャビテーション	
	羽根車		ステンレス鋼鋳鋼	△	△ ^{*3}			△			
	水中軸受（すべり）	◎	—								
	軸継手		低合金鋼								
作動信頼性の維持	熱遮蔽装置ハウジングおよびシェル		ステンレス鋼			△					
バウンダリの維持	ケーシング		ステンレス鋼鋳鋼			○		○			
	主フランジ		低合金鋼								
	主フランジボルト		低合金鋼		△						
	熱遮蔽装置フランジ		ステンレス鋼			△					
	No. 1～3 シール	◎	—								
	ガスケット	◎	—								

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 ケーシングの疲労割れ

a. 事象の説明

ケーシングは、プラントの起動・停止時等に熱過渡を繰返し受けるため、疲労が蓄積する。

b. 技術評価

① 健全性評価

ケーシングに発生する応力については、構造が不連続で、かつ肉厚が大きい
ため比較的大きな熱応力の発生する吸込ノズル、吐出ノズルおよび脚部を対象
として「日本機械学会 設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007)」に基づき評
価を行った。

評価対象部位を図2.3-1に示す。

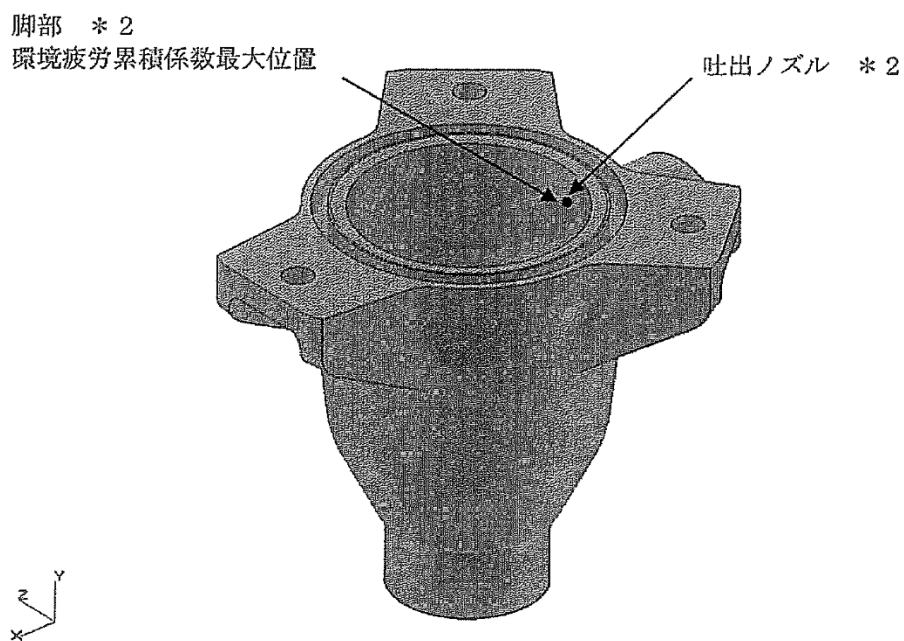
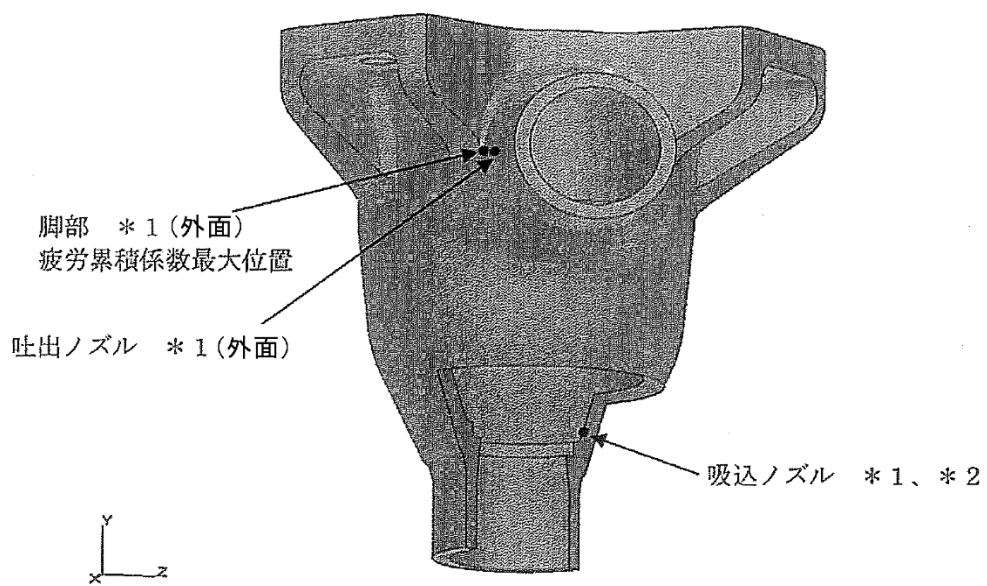
また、使用環境を考慮した疲労については、「日本機械学会 環境疲労評価
手法(JSME S NF1-2009)」に基づき評価した。

疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。

なお、運転期間延長認可申請に伴う評価として、2019年度末までの運転実績
に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、よ
り保守的*に設定した過渡回数とした。

*：評価条件として、2020年度以降の過渡発生頻度は実績の1.5倍以上を想
定した。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。



*1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位 (最大)

*2 : 「環境疲労評価手法」に基づく疲労評価対象部位 (最大) (接液部が対象)

図2.3-1 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ ケーシングの疲労評価対象部位

表2.3-1 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ ケーシングの疲労評価に用いた過渡回数

運転状態 I

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動(温度上昇率55.6°C/h)	35	71
停止(温度下降率55.6°C/h)	34	71
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	308	800
負荷減少(負荷減少率5%/min)	298	790
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	4
定常負荷運転時の変動 ^{*1}	—	—
燃料交換	24	62
0%から15%への負荷上昇	35	66
15%から0%への負荷減少	25	55
1 ループ停止 / 1 ループ起動		
I) 停止	0	2
II) 起動	0	2

運転状態 II

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
負荷の喪失	4	6
外部電源喪失	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	0	2
100%からの原子炉トリップ		
I) 不注意な冷却を伴わないトリップ	3	6
II) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2
III) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	2
1次冷却系の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	0	2
タービン回転試験	3	3
1次系漏えい試験	31	65

*1：設計評価においては、1次冷却材温度 $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 、1次冷却材圧力 $\pm 0.34\text{MPa}$ ($\pm 3.5\text{kg/cm}^2$) の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

表2.3-2 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ ケーシングの疲労評価結果

評価対象部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値：1以下)	
	設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
ケーシング吸込ノズル (ステンレス鋼鋳鋼)	0.001	0.001
ケーシング吐出ノズル (ステンレス鋼鋳鋼)	0.103	0.795*1
ケーシング脚部 (ステンレス鋼鋳鋼)	0.105	0.796*1

*1：炉水環境にあり、かつ疲労評価上最も厳しい箇所について評価を実施しており、設計・建設規格の疲労評価対象箇所と異なる。

② 現状保全

ケーシングの疲労割れに対しては、定期的にケーシング内面の目視確認、ケーシングと配管の溶接部の超音波探傷検査および漏えい検査により健全性を確認している。

さらに、高経年化技術評価に合わせて、実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、疲労割れが問題となる可能性はないと考える。ただし、疲労評価は実績過渡回数に依存するため、今後も実績過渡回数を把握し評価する必要がある。

また、疲労割れは目視確認または超音波探傷検査により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

ケーシングの疲労割れについては、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認する。

2.3.2 ケーシングの熱時効

a. 事象の説明

ケーシングに使用しているステンレス鋼は、オーステナイト相中に一部フェライト相を含む2相組織であるため、高温で加熱されると時間とともにフェライト相内でより安定な組織形態へ移行しようとし、相分離が起こることにより、靱性の低下等、材料特性変化を起こす。

b. 技術評価

① 健全性評価

熱時効による靱性低下は、フェライト量が多く、使用温度が高いほど大きくなる。

また、構造健全性評価は応力が大きいほど厳しくなる。

ステンレス鋼は1次冷却材管に多く用いられているが、1次冷却材管の熱時効に関しては、「配管の技術評価書」の1次冷却材管の章に示すとおり、フェライト量^{*1}が多く、使用温度および荷重条件が厳しいと評価できる1次冷却材管（ホットレグ直管等）の健全性評価を実施し、問題のないことを確認している。

具体的には、亀裂の存在を仮定し、弾塑性破壊力学的解析手法を用いて、ステンレス鋼の熱時効後の構造上の安全性を評価している。初期亀裂については、「日本電気協会 原子力発電所配管破損防護設計技術指針（JEAG 4613-1998）」に準拠し、超音波探傷検査の検出能力を基に余裕を見込んで設定している。

その結果、運転開始後60年時点までの疲労亀裂進展長さを考慮した評価用亀裂^{*2}を想定しても、材料の亀裂進展抵抗は亀裂進展力を上回ることから^{*3}、配管は不安定破壊することはないと判断している。

ここで、1次冷却材ポンプケーシングと1次冷却材管を比較すると、表2.3-3に示すとおり、ポンプケーシングの方がフェライト量が少なく、またホットレグ直管と比較した場合の使用温度は低く、応力も小さい。

したがって、より条件の厳しい1次冷却材管で熱時効による不安定破壊を起こさないことが確認されていることから、1次冷却材ポンプについても同様に不安定破壊を起こさないと判断する。

また、重大事故等時におけるプラント条件（ピーク温度360℃、ピーク圧力18.5MPa）を考慮しても、1次冷却材管の方がより条件が厳しいことを確認している。

- *1 : フェライト量は、製造時記録の材料成分を用いて「Standard Practice for Estimating Ferrite Content of Stainless Steel Castings Containing Both Ferrite and Austenite (ASTM A800/A800M-20)」に示される線図により決定した。
- *2 : 運転開始後60年時点までの疲労亀裂の進展を考慮しても、当該亀裂は配管を貫通しない評価結果となったが、その後の弾塑性破壊力学解析においては、解析の簡便性のため、保守的に貫通亀裂を想定した。
- *3 : 初期亀裂の想定、亀裂進展、貫通亀裂の想定および亀裂進展力は「日本電気協会 原子力発電所配管破損防護設計技術指針 (JEAG 4613-1998)」の評価手法に準拠した。そのため、亀裂進展力の評価についても内圧、自重、熱応力に加えて地震を考慮した。

表2.3-3 高浜4号炉 1次冷却材ポンプケーシングと1次冷却材管の評価条件の比較

評価部位	フェライト量 (%)	使用温度 (℃)	応力 (MPa)
1次冷却材 ポンプケーシング (吐出ノズル)	12.2%	約284	約114
1次冷却材管 (ホットレグ直管)	17.2%	約321	約169

② 現状保全

ケーシングの熱時効に対しては、熱時効による経年劣化程度を直接的に確認するような検査は実施していないが、定期的にケーシングと配管の溶接部の超音波探傷検査、ケーシング内面全体の目視確認および漏えい検査を実施し、有意な欠陥のないことを確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、ケーシングの熱時効が高経年化対策上問題となる可能性はないと考える。

点検として熱時効による経年劣化程度を直接的に確認するような検査は実施していないが、超音波探傷検査や目視確認により有意な欠陥のないことを確認している。

不安定破壊の起点となる有意な欠陥がなければ、熱時効による有意な靱性低下が仮に生じていたとしても、ケーシングの健全性に影響を及ぼすことはないことから、点検内容として適切である。

c. 高経年化への対応

ケーシングの熱時効については、現状保全項目に高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

高浜発電所 4 号炉

熱交換器の技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

関西電力株式会社

高浜4号炉の熱交換器のうち、評価対象機器である安全重要度分類審査指針におけるクラス1、2の機器、高温・高圧の環境下にあるクラス3の機器および常設重大事故等対処設備に属する機器を型式、内部流体、材料等でグループ化し、同一グループ内の複数の機器の存在を考慮して、重要度、最高使用圧力等の観点から代表機器を選定した。これらの一覧表を表1に、機能を表2に示す。

本評価書においては、これら代表機器について技術評価を行うとともに、代表機器以外の機器について技術評価を展開している。本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考ええる。

なお、本評価書における分解点検には、定期的実施する分解点検に加え、状態監視や傾向監視等の結果に基づき計画、実施する分解点検を含んでいる。

また、点検等で確認した結果、異常が認められた場合は速やかに対策を施すこととしており、異常が認められた場合に対策を実施する旨の記載は省略している。

さらに、設置してから分解点検等の実績がない場合も、保全計画が定められていれば「確認している」等と表記している。

本評価書では熱交換器の型式等を基に、以下の4つに分類している。

- 1 多管円筒形熱交換器
- 2 蒸気発生器
- 3 直接接触式熱交換器
- 4 サンプルクーラ

なお、蒸気発生器は多管円筒形熱交換器に属することになるが、構造の複雑さと安全上重要な機器であり、かつ補修・取替が容易ではないことを考慮し、多管円筒形熱交換器と分けて単独で評価している。

また、蒸気発生器の基礎部は「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

表 1 (1/2) 高浜 4 号炉 主要な熱交換器

分離基準					機器名称 (台数)	選定基準				代表機器の選定	
型式	流体 (管側/胴側)	材料				重要度*1	使用条件 (管側/胴側)			代表 機器	選定理由
		胴板	水室	伝熱管			運転状態	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (℃)		
多管円筒形 U字管形	1次冷却材 /1次冷却材	ステンレス鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	再生熱交換器(1)*4	MS-1 重*2	連続	約 18.8/ 約 17.2	約 343/ 約 343	◎	
	1次冷却材/ ヒドラジン水	炭素鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	余熱除去冷却器(2)	MS-1 重*2	一時	約 4.1/ 約 1.0	約 200/ 約 95	◎	重要度、 最高使用圧力
					封水冷却器(1)	PS-2	連続	約 1.0/ 約 1.0	約 95/ 約 95		
					非再生冷却器(1)	PS-2	連続	約 4.1/ 約 1.0	約 200/ 約 95		
					格納容器スプレイ冷却器(2)	MS-1 重*2	一時	約 2.7/ 約 1.0	約 150/ 約 95		
					余剰抽出水冷却器(1)	PS-2	一時	約 17.2/ 約 1.0	約 343/ 約 95		
	1次冷却材/ 蒸気	炭素鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	燃料取替用水タンク加熱器(1)	高*3	連続	約 1.0/ 約 0.9	約 95/ 約 185	◎	
	蒸気/蒸気	炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	湿分分離加熱器(2)*5	高*3	連続	約 2.7*9/ 約 1.4	約 291*9/ 約 291	◎	
								約 7.5*10/ 約 1.4	約 291*10/ 約 291		
	給水/蒸気	炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	第 6 高圧給水加熱器(2)*6	高*3	連続	約 10.2/ 約 2.7	約 235/ 約 235	◎	最高使用圧力
					第 1 低圧給水加熱器(3)*6	高*3	連続	約 4.1/ 約 -0.1	約 80/ 約 80		
					第 2 低圧給水加熱器(3)*6	高*3	連続	約 4.1/ 約 0.0	約 98/ 約 98		
					第 3 低圧給水加熱器(3)*7	高*3	連続	約 4.1/ 約 0.2	約 129/ 約 165		
第 4 低圧給水加熱器(3)*7					高*3	連続	約 4.1/ 約 0.5	約 161/ 約 217			
ドレン/給水	炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	スチームコンバータドレンクーラ(1)*7	高*3	連続	約 2.7/ 約 1.5	約 235/ 約 185	◎		
蒸気/給水	炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	スチームコンバータ本体(1)*5	高*3	連続	約 2.7/ 約 0.9	約 235/ 約 185	◎		
多管円筒形 直管形	海水/ ヒドラジン水	炭素鋼	炭素鋼	銅合金	原子炉補機冷却水冷却器(4)	MS-1 重*2	連続	約 0.7/ 約 1.0	約 50/ 約 95	◎	
	給水/蒸気	炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	グラント蒸気復水器(1)*8	高*3	連続	約 1.1/ 約 0.0	約 80/ 約 100	◎	

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: 重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

*3: 最高使用温度が 95℃を超え、または最高使用圧力が 1900kPa を超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス 3 の機器。

*4: 第 17 回定期検査時 (2007 年度) に一体取替。

*5: 第 16 回定期検査時 (2005 年度) に湿分分離加熱器 (A、B)、スチームコンバータ本体については伝熱管、蒸気室等を取替 (伝熱管材料を銅合金からステンレス鋼に変更)。

*6: 第 15 回定期検査時 (2004 年度) に第 6 高圧給水加熱器 (A、B) については一体取替、第 1/2 低圧給水加熱器 (A、B、C) については伝熱管、水室等を取替 (伝熱管材料を銅合金からステンレス鋼に変更)。

*7: 第 16 回定期検査時 (2005 年度) に第 3/4 低圧給水加熱器 (A、B、C)、スチームコンバータドレンクーラについては一体取替 (伝熱管材料を銅合金からステンレス鋼に変更)。

*8: 第 16 回定期検査時 (2005 年度) にグラント蒸気復水器については伝熱管、胴を取替 (伝熱管材料を銅合金からステンレス鋼に変更)。

*9: 第 1 段加熱器。

*10: 第 2 段加熱器。

表 1 (2/2) 高浜 4 号炉 主要な熱交換器

分離基準					機器名称 (台数)	選定基準				代表機器の選定	
型式	流体 (管側/胴側)	材料				重要度 ^{*1}	使用条件 (管側/胴側)			代表 機器	選定理由
		胴板	水室	伝熱管			運転状態	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)		
多管円筒形 U字管式	1次冷却材/ 給水	低合金鋼	炭素鋼鋳鋼 ステンレス鋼(内 張り)	ニッケル基合金	蒸気発生器(3)	PS-1 重 ^{*3}	連続	約 17.2/ 約 7.5	約 343/ 約 291	◎	
直接接触式	給水+蒸気	炭素鋼	—	—	脱気器(1)	高 ^{*2}	連続	約 1.4	約 200	◎	
2重管式	1次冷却材/ ヒドラジン水	ステンレス鋼	—	ステンレス鋼	A サンプル冷却器(1)	MS-2	連続	約 17.2/ 約 1.0	約 360/ 約 95	◎	重要度
					B サンプル冷却器(1)	MS-2	連続	約 17.2/ 約 1.0	約 360/ 約 95		
					C サンプル冷却器(1)	高 ^{*2}	一時	約 17.2/ 約 1.0	約 360/ 約 95		
	給水/ ヒドラジン水	ステンレス鋼	—	ステンレス鋼	蒸気発生器ブローダウンサンプルクー ラ (3)	高 ^{*2}	連続	約 7.5/ 約 1.0	約 291/ 約 95		
空気/ ヒドラジン水	ステンレス鋼	—	ステンレス鋼	A ガスサンプル冷却器 (1)	重 ^{*3}	一時	約 1.0/ 約 1.0	約 132/ 約 95			

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: 最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*3: 重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

表 2 (1/2) 高浜 4 号炉 主要な熱交換器の機能

熱交換器	機能
再生熱交換器	1 次冷却系統の抽出水と充てん水の間で熱交換を行い系統への熱衝撃を緩和するための熱交換器である。
余熱除去冷却器	事故時には再循環水の冷却用熱交換器として、起動停止時には原子炉の崩壊熱除去用熱交換器として用いられる。
封水冷却器	1 次冷却材ポンプからの封水戻り、余剰抽出水冷却器からの抽出水を体積制御タンクの通常温度まで冷却するための熱交換器である。
非再生冷却器	再生熱交換器を通過した抽出水を下流に設置されている脱塩塔が使用できる温度まで冷却するための熱交換器である。
格納容器スプレイ冷却器	事故後再循環時の再循環スプレイ水を冷却するための熱交換器である。
余剰抽出水冷却器	通常の抽出系統が使用出来ない場合に 1 次冷却材ポンプ封水を確保するため、余剰抽出系統より抽出した 1 次冷却材を冷却するための熱交換器である。
燃料取替用水タンク加熱器	燃料取替用水タンク内のほう酸水を所定の温度に維持するための熱交換器である。
湿分分離加熱器	高圧タービンから出た蒸気の湿分を除去し、さらに加熱するための熱交換器である。
第 6 高圧給水加熱器	脱気器から送水される給水を高圧タービン抽気により加熱するための熱交換器である。
第 1 低圧給水加熱器	復水器から送水される給水を低圧タービン抽気により加熱するための熱交換器である。
第 2 低圧給水加熱器	第 1 低圧給水加熱器から送水される給水を低圧タービン抽気により加熱するための熱交換器である。
第 3 低圧給水加熱器	第 2 低圧給水加熱器から送水される給水を低圧タービン抽気により加熱するための熱交換器である。
第 4 低圧給水加熱器	第 3 低圧給水加熱器から送水される給水を低圧タービン抽気により加熱するための熱交換器である。
スチームコンバータドレンクーラ	スチームコンバータ本体で熱交換したドレンを冷却するための熱交換器である。
スチームコンバータ本体	給水を高圧タービン抽気または主蒸気により加熱して補助蒸気を発生させるための熱交換器である。
原子炉補機冷却水冷却器	1 次系の機器を冷却し温度上昇した冷却水（ヒドラジン水）を海水ポンプより供給された海水で冷却する熱交換器である。
グラント蒸気復水器	タービンのグラント部をシールするために使用されている蒸気を給水により凝縮するための熱交換器である。
蒸気発生器	原子炉内で発生した熱エネルギーを蒸気に変えてタービン系へ送る役目を持った熱交換器である。
脱気器	高圧タービン抽気により給水を直接加熱し、給水中の非凝縮ガス（酸素等）を分離除去する熱交換器である。

表 2 (2/2) 高浜 4 号炉 主要な熱交換器の機能

熱交換器	機能
A サンプル冷却器	1 次冷却系統から抽出した高温の試料を採取可能な温度まで冷却するための熱交換器である。
B サンプル冷却器	加圧器液相から抽出した高温の試料を採取可能な温度まで冷却するための熱交換器である。
C サンプル冷却器	加圧器気相から抽出した高温の試料を採取可能な温度まで冷却するための熱交換器である。
蒸気発生器ブローダウン サンプルクーラ	蒸気発生器 2 次側器内水から抽出した高温の試料を採取可能な温度まで冷却するための熱交換器である。
A ガスサンプル冷却器	事故後の格納容器内から抽出した高温の雰囲気ガス試料を採取可能な温度まで冷却するための熱交換器である。

1 多管円筒形熱交換器

[対象機器]

- ① 再生熱交換器
- ② 余熱除去冷却器
- ③ 封水冷却器
- ④ 非再生冷却器
- ⑤ 格納容器スプレイ冷却器
- ⑥ 余剰抽出水冷却器
- ⑦ 燃料取替用水タンク加熱器
- ⑧ 湿分分離加熱器
- ⑨ 第6 高圧給水加熱器
- ⑩ 第1 低圧給水加熱器
- ⑪ 第2 低圧給水加熱器
- ⑫ 第3 低圧給水加熱器
- ⑬ 第4 低圧給水加熱器
- ⑭ スチームコンバータドレンクーラ
- ⑮ スチームコンバータ本体
- ⑯ 原子炉補機冷却水冷却器
- ⑰ グランド蒸気復水器

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	4
2.1 構造、材料および使用条件	4
2.2 経年劣化事象の抽出	31
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	50
3. 代表機器以外への展開	55
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	55
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	56

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されている多管円筒形熱交換器（蒸気発生器を除く）の主な仕様を表1-1に示す。

これらの熱交換器を型式、流体および材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す熱交換器は伝熱管の形状からU字管形と直管形に分類されるが、さらに内部流体・材料を分離基準として考えると、表1-1に示すとおり、合計9のグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) U字管形熱交換器（管側流体：1次冷却材、胴側流体：1次冷却材）

このグループには再生熱交換器のみが属するため、代表機器は再生熱交換器とする。

(2) U字管形熱交換器（管側流体：1次冷却材、胴側流体：ヒドラジン水）

このグループには余熱除去冷却器、封水冷却器、非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器および余剰抽出水冷却器が属するが、重要度および最高使用圧力の高い余熱除去冷却器を代表機器とする。

(3) U字管形熱交換器（管側流体：1次冷却材、胴側流体：蒸気）

このグループには燃料取替用水タンク加熱器のみが属するため、代表機器は燃料取替用水タンク加熱器とする。

(4) U字管形熱交換器（管側流体：蒸気、胴側流体：蒸気）

このグループには湿分分離加熱器のみが属するため、代表機器は湿分分離加熱器とする。

(5) U字管形熱交換器（管側流体：給水、胴側流体：蒸気）

このグループには第6高圧給水加熱器、第1低圧給水加熱器、第2低圧給水加熱器、第3低圧給水加熱器および第4低圧給水加熱器が属するが、最高使用圧力の高い第6高圧給水加熱器を代表機器とする。

- (6) U字管形熱交換器（管側流体：ドレン、胴側流体：給水）

このグループにはスチームコンバータドレンクーラのみが属するため、代表機器はスチームコンバータドレンクーラとする。

- (7) U字管形熱交換器（管側流体：蒸気、胴側流体：給水）

このグループにはスチームコンバータ本体のみが属するため、代表機器はスチームコンバータ本体とする。

- (8) 直管形熱交換器（管側流体：海水、胴側流体：ヒドラジン水）

このグループには原子炉補機冷却水冷却器のみが属するため、代表機器は原子炉補機冷却水冷却器とする。

- (9) 直管形熱交換器（管側流体：給水、胴側流体：蒸気）

このグループにはグラウンド蒸気復水器のみが属するため、代表機器はグラウンド蒸気復水器とする。

表1-1 高浜4号炉 多管円筒形熱交換器の主な仕様

分離基準					機器名称 (台数)	選定基準				代表機器の選定	
型式	流体 (管側/胴側)	材料				重要度*1	使用条件 (管側/胴側)			代表 機器	選定理由
		胴板	水室	伝熱管			運転状態	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)		
多管円筒形 U字管形	1次冷却材/ 1次冷却材	ステンレス鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	再生熱交換器(1)*4	MS-1 重*2	連続	約18.8/ 約17.2	約343/ 約343	◎	
	1次冷却材/ ヒドラジン水	炭素鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	余熱除去冷却器(2)	MS-1 重*2	一時	約4.1/ 約1.0	約200/ 約95	◎	重要度、 最高使用圧力
					封水冷却器(1)	PS-2	連続	約1.0/ 約1.0	約95/ 約95		
					非再生冷却器(1)	PS-2	連続	約4.1/ 約1.0	約200/ 約95		
					格納容器スプレイ冷却器(2)	MS-1 重*2	一時	約2.7/ 約1.0	約150/ 約95		
					余剰抽出水冷却器(1)	PS-2	一時	約17.2/ 約1.0	約343/ 約95		
	1次冷却材/ 蒸気	炭素鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	燃料取替用水タンク加熱器(1)	高*3	連続	約1.0/ 約0.9	約95/ 約185	◎	
	蒸気/蒸気	炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	湿分分離加熱器(2)*5	高*3	連続	約2.7*9/ 約1.4 約7.5*10/ 約1.4	約291*9/ 約291 約291*10/ 約291	◎	
	給水/蒸気	炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	第6 高圧給水加熱器(2)*6	高*3	連続	約10.2/ 約2.7	約235/ 約235	◎	最高使用圧力
					第1 低圧給水加熱器(3)*6	高*3	連続	約4.1/ 約0.1	約80/ 約80		
第2 低圧給水加熱器(3)*6					高*3	連続	約4.1/ 約0.0	約98/ 約98			
第3 低圧給水加熱器(3)*7					高*3	連続	約4.1/ 約0.2	約129/ 約165			
第4 低圧給水加熱器(3)*7					高*3	連続	約4.1/ 約0.5	約161/ 約217			
ドレン/給水	炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	スチームコンバータドレンクーラ(1)*7	高*3	連続	約2.7/ 約1.5	約235/ 約185	◎		
蒸気/給水	炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	スチームコンバータ本体(1)*5	高*3	連続	約2.7/ 約0.9	約235/ 約185	◎		
多管円筒形 直管形	海水/ ヒドラジン水	炭素鋼	炭素鋼	銅合金	原子炉補機冷却水冷却器(4)	MS-1 重*2	連続	約0.7/ 約1.0	約50/ 約95	◎	
	給水/蒸気	炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	グラウンド蒸気復水器(1)*8	高*3	連続	約1.1/ 約0.0	約80/ 約100	◎	

*1: 機能は最上位の機能を示す。
 *2: 重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。
 *3: 最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。
 *4: 第17回定期検査時(2007年度)に一体取替
 *5: 第16回定期検査時(2005年度)に湿分分離加熱器(A、B)、スチームコンバータ本体については伝熱管、蒸気室等を取替(伝熱管材料を銅合金からステンレス鋼に変更)
 *6: 第15回定期検査時(2004年度)に第6 高圧給水加熱器(A、B)については一体取替、第1/2 低圧給水加熱器(A、B、C)については伝熱管、水室等を取替(伝熱管材料を銅合金からステンレス鋼に変更)
 *7: 第16回定期検査時(2005年度)に第3/4 低圧給水加熱器(A、B、C)、スチームコンバータドレンクーラについては一体取替(伝熱管材料を銅合金からステンレス鋼に変更)
 *8: 第16回定期検査時(2005年度)にグラウンド蒸気復水器については伝熱管、胴を取替(伝熱管材料を銅合金からステンレス鋼に変更)
 *9: 第1段加熱器
 *10: 第2段加熱器

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の9種類の熱交換器について技術評価を実施する。

- ① 再生熱交換器
- ② 余熱除去冷却器
- ③ 燃料取替用水タンク加熱器
- ④ 湿分分離加熱器
- ⑤ 第6 高圧給水加熱器
- ⑥ スチームコンバータドレンクーラ
- ⑦ スチームコンバータ本体
- ⑧ 原子炉補機冷却水冷却器
- ⑨ グランド蒸気復水器

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 再生熱交換器

(1) 構造

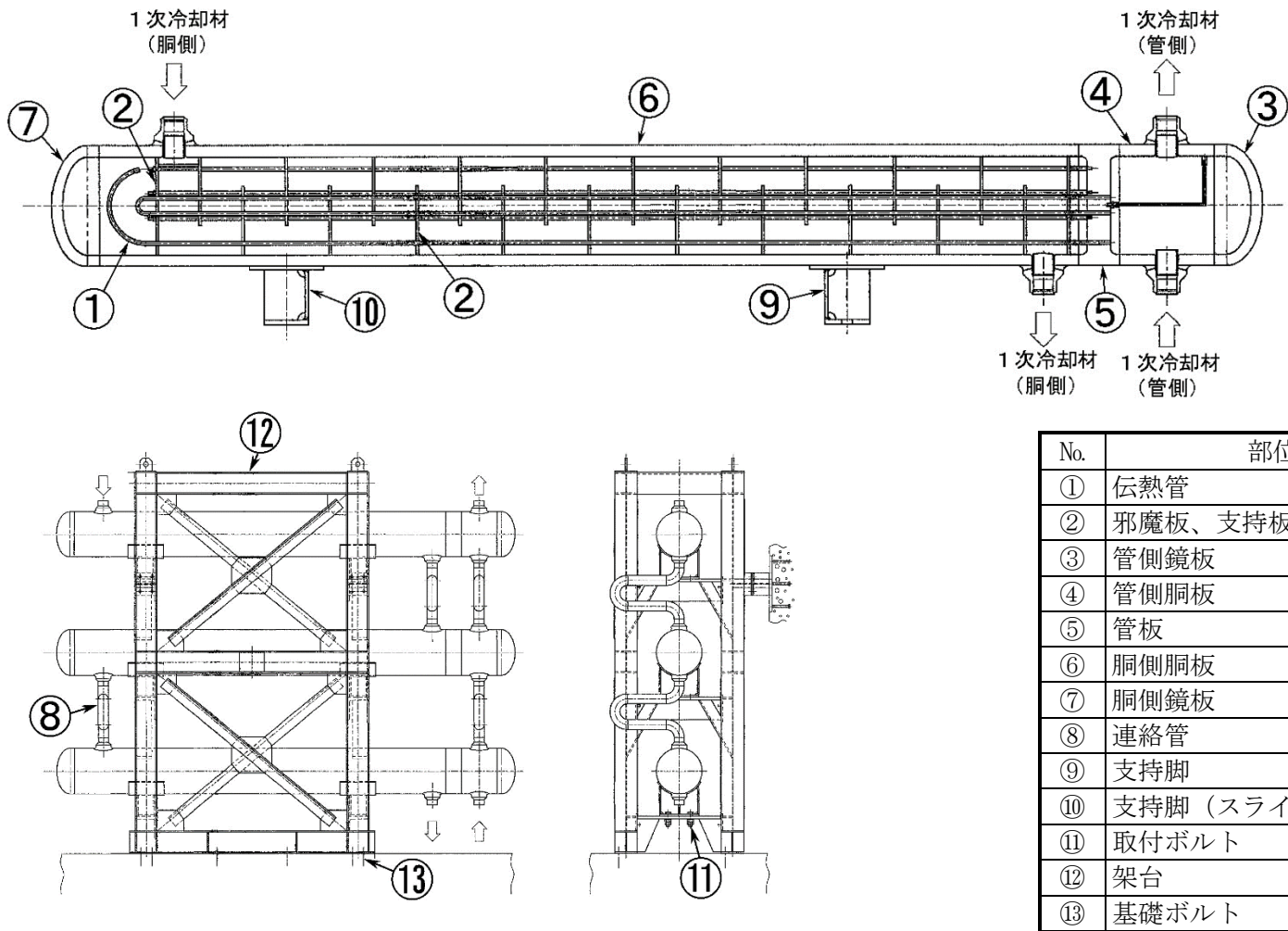
高浜4号炉の再生熱交換器は、長さ約4.1m、胴外径約0.4mの横置3胴U字管式熱交換器であり、1台設置されている。各胴は3個独立しており、互いに連絡管により結ばれている。各胴および連絡管は全て溶接構造である。

U字管形伝熱管、管側耐圧構成品および胴側耐圧構成品にはステンレス鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。

高浜4号炉の再生熱交換器の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の再生熱交換器の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	伝熱管
②	邪魔板、支持板
③	管側鏡板
④	管側胴板
⑤	管板
⑥	胴側胴板
⑦	胴側鏡板
⑧	連絡管
⑨	支持脚
⑩	支持脚 (スライド脚)
⑪	取付ボルト
⑫	架台
⑬	基礎ボルト

図2. 1-1 高浜4号炉 再生熱交換器構造図

表2.1-1 高浜4号炉 再生熱交換器主要部位の使用材料

部位		材料
熱交換伝熱構成品	伝熱管	ステンレス鋼
流路構成品	邪魔板、支持板	ステンレス鋼
管側耐圧構成品	管側鏡板	ステンレス鋼
	管側胴板	ステンレス鋼
管側／胴側 バウンダリ構成品	管板	ステンレス鋼
胴側耐圧構成品	胴側胴板	ステンレス鋼
	胴側鏡板	ステンレス鋼
管側／胴側 耐圧構成品	連絡管	ステンレス鋼
支持構造物組立品	支持脚 支持脚（スライド脚）	炭素鋼
	架台	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 再生熱交換器の使用条件

最高使用圧力	(管側) 約18.8MPa[gage]	(胴側) 約17.2MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約343℃	(胴側) 約343℃
内部流体	(管側) 1次冷却材	(胴側) 1次冷却材

2.1.2 余熱除去冷却器

(1) 構造

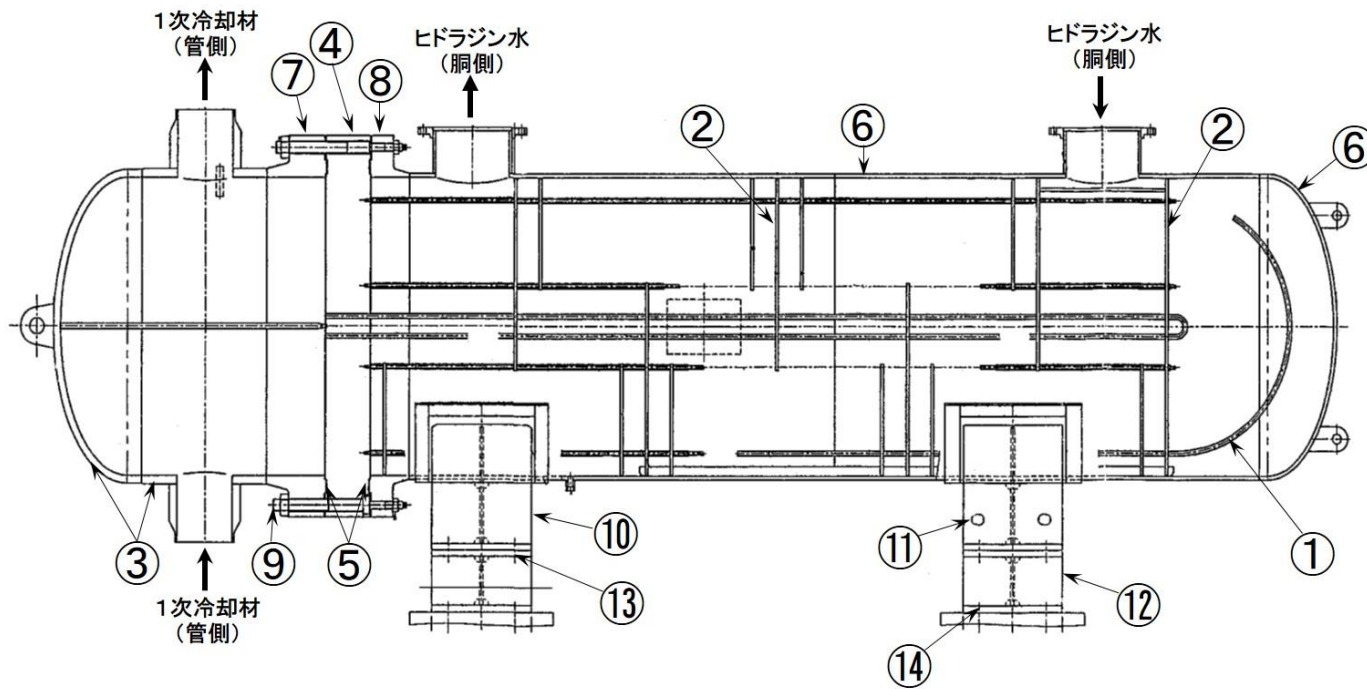
高浜4号炉の余熱除去冷却器は、長さ約5.8m、胴外径約1.2mの横置U字管形熱交換器であり、2台設置されている。

U字管形伝熱管にはステンレス鋼を使用しており、1次冷却材およびヒドラジン水（防錆剤注入水）に接液している。管側耐圧構成品にはステンレス鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、ヒドラジン水（防錆剤注入水）に接液している。

高浜4号炉の余熱除去冷却器の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の余熱除去冷却器の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



No.	部位
①	伝熱管
②	邪魔板、支持板
③	管側胴板、管側鏡板
④	管板
⑤	胴側ガスケット、管側ガスケット
⑥	胴板、胴側鏡板
⑦	管側フランジ
⑧	胴側フランジ
⑨	フランジボルト
⑩	支持脚
⑪	支持脚 (スライド脚)
⑫	支持脚台
⑬	取付ボルト
⑭	基礎ボルト

図2.1-2 高浜4号炉 余熱除去冷却器構造図

表2.1-3 高浜4号炉 余熱除去冷却器主要部位の使用材料

部位		材料
熱交換伝熱構成品	伝熱管	ステンレス鋼
流路構成品	邪魔板、支持板	ステンレス鋼
管側耐圧構成品	管側胴板 管側鏡板	ステンレス鋼
管側／胴側 バウンダリ構成品	管板	ステンレス鋼
	胴側ガスケット 管側ガスケット	消耗品・定期取替品
胴側耐圧構成品	胴板 胴側鏡板	炭素鋼
胴フランジ構成品	管側フランジ	ステンレス鋼
	胴側フランジ	炭素鋼
	フランジボルト	低合金鋼
支持構造物組立品	支持脚 支持脚（スライド脚） 支持脚台	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-4 高浜4号炉 余熱除去冷却器の使用条件

最高使用圧力	(管側) 約4.1MPa[gage]	(胴側) 約1.0MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約200℃	(胴側) 約95℃
内部流体	(管側) 1次冷却材	(胴側) ヒドラジン水

2.1.3 燃料取替用水タンク加熱器

(1) 構造

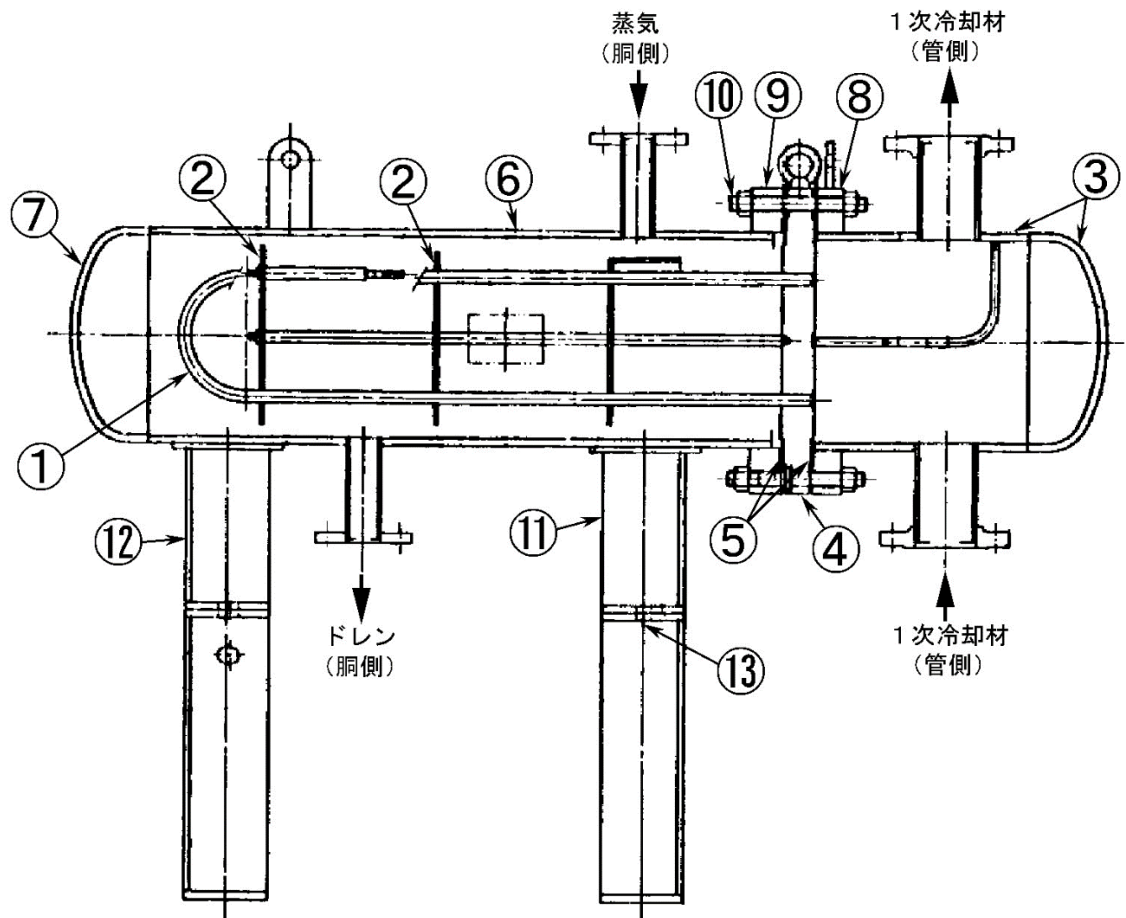
高浜4号炉の燃料取替用水タンク加熱器は、長さ約1.5m、胴外径約0.3mの横置U字管形熱交換器であり、1台設置されている。

U字管形伝熱管にはステンレス鋼を使用しており、1次冷却材および蒸気に接液している。管側耐圧構成品にはステンレス鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、蒸気およびドレンに接液している。

高浜4号炉の燃料取替用水タンク加熱器の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の燃料取替用水タンク加熱器の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。



No.	部位
①	伝熱管
②	邪魔板、支持板
③	管側胴板、管側鏡板
④	管板
⑤	胴側ガスケット、管側ガスケット
⑥	胴側胴板
⑦	胴側鏡板
⑧	管側フランジ
⑨	胴側フランジ
⑩	フランジボルト
⑪	支持脚
⑫	支持脚 (スライド脚)
⑬	取付ボルト

図2.1-3 高浜4号炉 燃料取替用水タンク加熱器構造図

表2.1-5 高浜4号炉 燃料取替用水タンク加熱器主要部位の使用材料

部位		材料
熱交換伝熱構成品	伝熱管	ステンレス鋼
流路構成品	邪魔板 支持板	ステンレス鋼
管側耐圧構成品	管側胴板 管側鏡板	ステンレス鋼
管側／胴側 バウンダリ構成品	管板	ステンレス鋼
	胴側ガスケット 管側ガスケット	消耗品・定期取替品
胴側耐圧構成品	胴側胴板 胴側鏡板	炭素鋼
胴フランジ構成品	管側フランジ	ステンレス鋼
	胴側フランジ	炭素鋼
	フランジボルト	低合金鋼
支持構造物組立品	支持脚 支持脚（スライド脚）	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼

表2.1-6 高浜4号炉 燃料取替用水タンク加熱器の使用条件

最高使用圧力	(管側) 約1.0MPa[gage]	(胴側) 約0.9MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約95℃	(胴側) 約185℃
内部流体	(管側) 1次冷却材	(胴側) 蒸気・ドレン

2.1.4 湿水分離加熱器

(1) 構造

高浜4号炉の湿水分離加熱器は、長さ約27m、胴外径約4.3mの横置2段加熱U字管形熱交換器であり、2台設置されている。

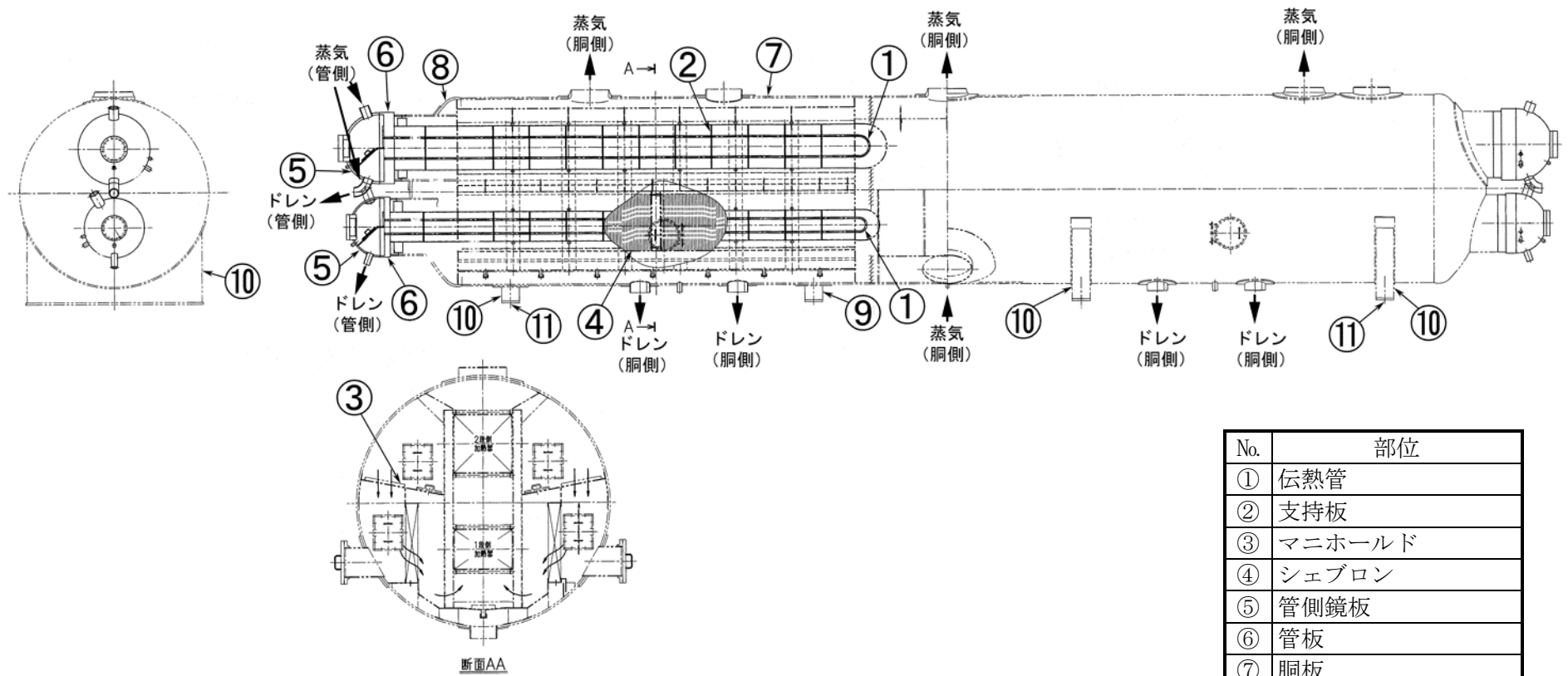
湿水分離加熱器は伝熱管部、加熱蒸気室部、胴部および湿水分離部により構成されている。

U字管形伝熱管にはステンレス鋼を使用しており、蒸気およびドレンに接液している。管側耐圧構成品および胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、蒸気およびドレンに接液している。また、高圧タービン排気の湿分を除去するシェブロンにはステンレス鋼を使用している。

高浜4号炉の湿水分離加熱器の構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の湿水分離加熱器の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。



No.	部位
①	伝熱管
②	支持板
③	マニホールド
④	シェブロン
⑤	管側鏡板
⑥	管板
⑦	胴板
⑧	胴側鏡板
⑨	支持脚
⑩	支持脚 (スライド脚)
⑪	取付ボルト

図2.1-4 高浜4号炉 湿分分離加熱器構造図

表2.1-7 高浜4号炉 湿分分離加熱器主要部位の使用材料

部位		材料
熱交換伝熱構成品	伝熱管	ステンレス鋼
流路構成品	支持板	炭素鋼
	マニホールド	炭素鋼
	シェブロン	ステンレス鋼
管側耐圧構成品	管側鏡板	炭素鋼
管側／胴側 バウンダリ構成品	管板	炭素鋼（インコネル材内張り）
胴側耐圧構成品	胴板 胴側鏡板	炭素鋼
支持構造物組立品	支持脚 支持脚（スライド脚）	炭素鋼
	取付ボルト	低合金鋼

表2.1-8 高浜4号炉 湿分分離加熱器の使用条件

最高使用圧力	(管側) 約2.7MPa[gage] *1 約7.5MPa[gage] *2	(胴側) 約1.4MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約291℃	(胴側) 約291℃
内部流体	(管側) 蒸気・ドレン	(胴側) 蒸気・ドレン

*1：第1段加熱器

*2：第2段加熱器

2.1.5 第6 高圧給水加熱器

(1) 構造

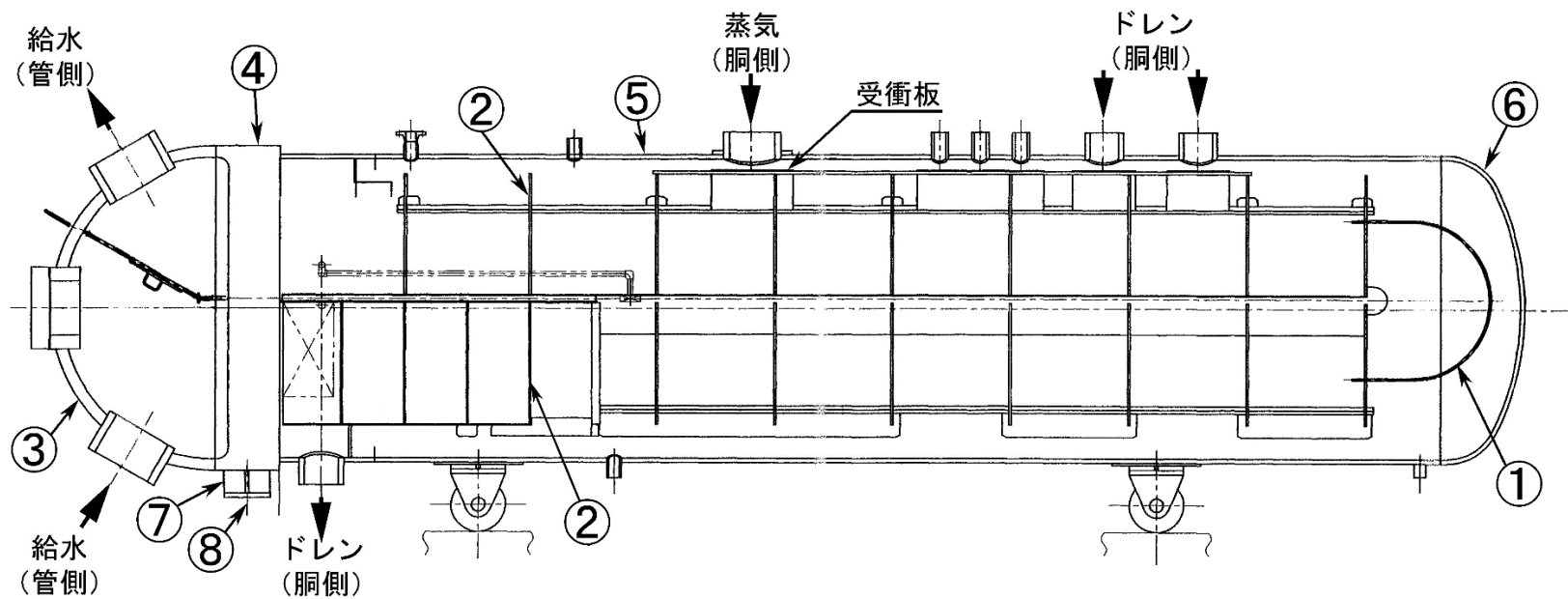
高浜4号炉の第6 高圧給水加熱器は、長さ約11m、胴外径約2.3mの横置U字管形熱交換器であり、2台設置されている。

U字管形伝熱管にはステンレス鋼を使用し、給水および蒸気に接液している。管側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、給水に接液している。胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、蒸気およびドレンに接液している。

高浜4号炉の第6 高圧給水加熱器の構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の第6 高圧給水加熱器の使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。



No.	部位
①	伝熱管
②	邪魔板、支持板
③	管側鏡板
④	管板
⑤	胴板
⑥	胴側鏡板
⑦	支持脚
⑧	取付ボルト

図2.1-5 高浜4号炉 第6 高压給水加熱器構造図

表2.1-9 高浜4号炉 第6 高压给水加热器主要部位の使用材料

部位		材料
熱交換伝熱構成品	伝熱管	ステンレス鋼
流路構成品	邪魔板、支持板	炭素鋼
管側耐圧構成品	管側鏡板	炭素鋼
管側／胴側 バウンダリ構成品	管板	炭素鋼（ステンレス材内張り）
胴側耐圧構成品	胴板 胴側鏡板	炭素鋼
支持構造物組立品	支持脚	炭素鋼
	取付ボルト	低合金鋼

表2.1-10 高浜4号炉 第6 高压给水加熱器の使用条件

最高使用圧力	(管側) 約10.2MPa[gage]	(胴側) 約2.7MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約235℃	(胴側) 約235℃
内部流体	(管側) 給水	(胴側) 蒸気・ドレン

2.1.6 スチームコンバータドレンクーラ

(1) 構造

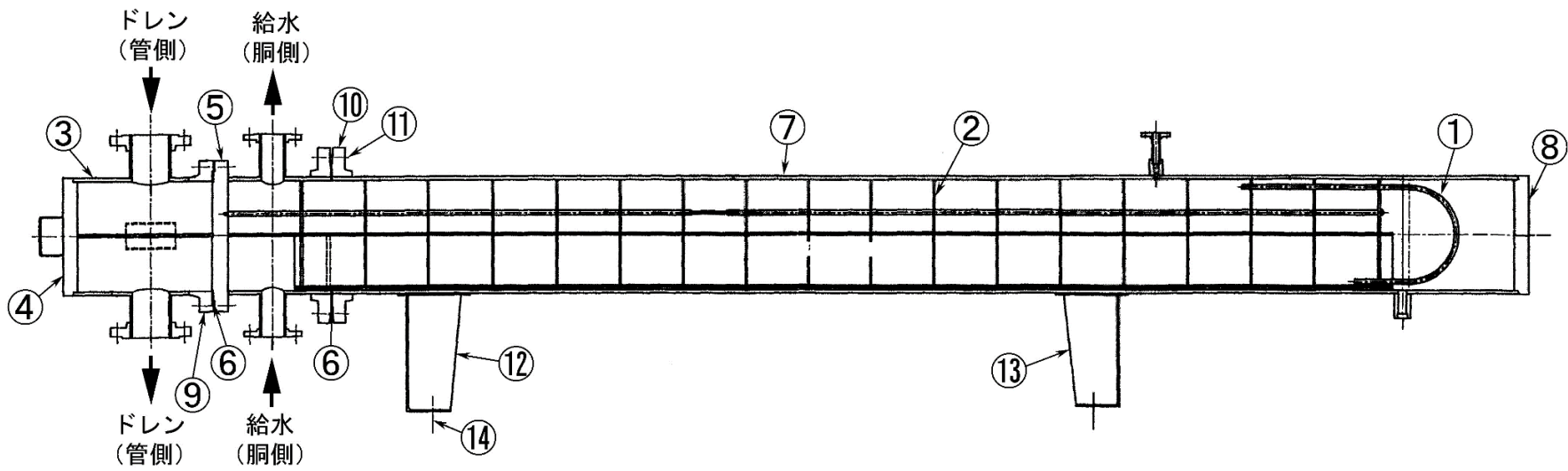
高浜4号炉のスチームコンバータドレンクーラは、長さ約5.1m、胴外径約0.4mの横置U字管形熱交換器であり、1台設置されている。

U字管形伝熱管にはステンレス鋼を使用しており、ドレンおよび給水に接液している。管側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、ドレンに接液している。胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、給水に接液している。

高浜4号炉のスチームコンバータドレンクーラの構造図を図2.1-6に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉のスチームコンバータドレンクーラの使用材料および使用条件を表2.1-11および表2.1-12に示す。



No.	部位	No.	部位
①	伝熱管	⑧	胴端板
②	邪魔板	⑨	管側フランジ
③	水室胴板	⑩	胴側フランジ
④	水室端板	⑪	フランジボルト
⑤	管板	⑫	支持脚
⑥	ガスケット	⑬	支持脚 (スライド脚)
⑦	胴板	⑭	基礎ボルト

図2.1-6 高浜4号炉 スチームコンバータドレンクーラ構造図

表2.1-11 高浜4号炉 スチームコンバータドレンクーラ主要部位の使用材料

部位		材料
熱交換伝熱構成品	伝熱管	ステンレス鋼
流路構成品	邪魔板	炭素鋼
管側耐圧構成品	水室胴板	炭素鋼
	水室端板	炭素鋼
管側／胴側 バウンダリ構成品	管板	炭素鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
胴側耐圧構成品	胴板	炭素鋼
	胴端板	炭素鋼
胴フランジ構成品	管側フランジ	炭素鋼
	胴側フランジ	炭素鋼
	フランジボルト	低合金鋼
支持構造物組立品	支持脚 支持脚（スライド脚）	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-12 高浜4号炉 スチームコンバータドレンクーラの使用条件

最高使用圧力	(管側) 約2.7MPa[gage]	(胴側) 約1.5MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約235℃	(胴側) 約185℃
内部流体	(管側) ドレン	(胴側) 給水

2.1.7 スチームコンバータ本体

(1) 構造

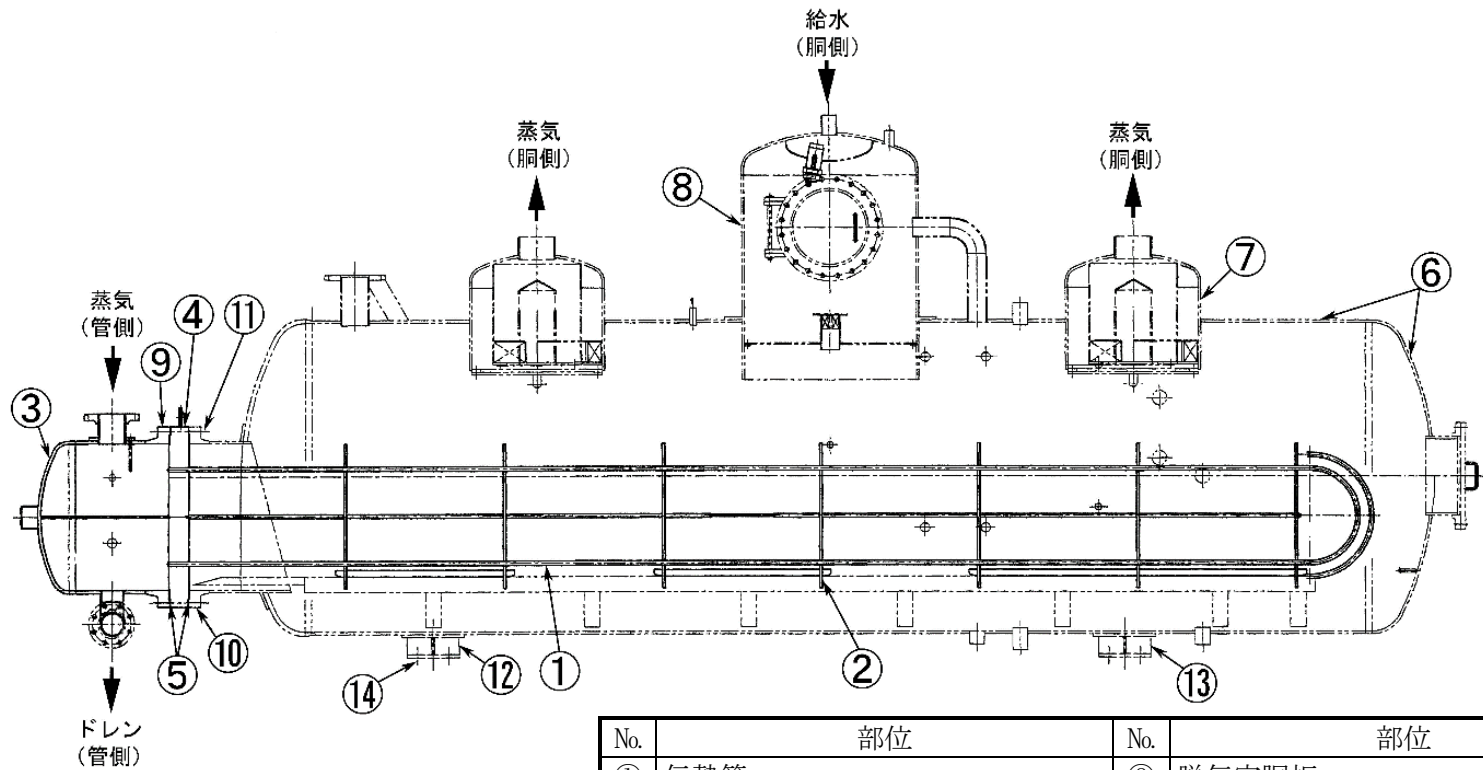
高浜4号炉のスチームコンバータ本体は、長さ約8.3m、胴外径約1.8mの横置U字管形熱交換器であり、1台設置されている。

U字管形伝熱管にはステンレス鋼を使用しており、加熱蒸気および給水に接液している。管側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、加熱蒸気およびドレンに接液している。胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、給水および発生蒸気に接液している。

高浜4号炉のスチームコンバータ本体の構造図を図2.1-7に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉のスチームコンバータ本体の使用材料および使用条件を表2.1-13および表2.1-14に示す。



No.	部位	No.	部位
①	伝熱管	⑧	脱気室胴板
②	支持板	⑨	管側フランジ
③	管側鏡板	⑩	胴側フランジ
④	管板	⑪	フランジボルト
⑤	胴側ガスケット、管側ガスケット	⑫	支持脚
⑥	胴板、胴側鏡板	⑬	支持脚 (スライド脚)
⑦	分離室胴板	⑭	基礎ボルト

図2.1-7 高浜4号炉 スチームコンバータ本体構造図

表2.1-13 高浜4号炉 スチームコンバータ本体主要部位の使用材料

部位		材料
熱交換伝熱構成品	伝熱管	ステンレス鋼
流路構成品	支持板	炭素鋼
管側耐圧構成品	管側鏡板	炭素鋼
管側／胴側 バウンダリ構成品	管板	炭素鋼
	胴側、管側ガスケット	消耗品・定期取替品
胴側耐圧構成品	胴板 胴側鏡板	炭素鋼
	分離室胴板	炭素鋼
	脱気室胴板	炭素鋼
胴フランジ構成品	管側フランジ	炭素鋼
	胴側フランジ	炭素鋼
	フランジボルト	低合金鋼
支持構造物組立品	支持脚 支持脚（スライド脚）	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-14 高浜4号炉 スチームコンバータ本体の使用条件

最高使用圧力	(管側) 約2.7MPa[gage]	(胴側) 約0.9MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約235℃	(胴側) 約185℃
内部流体	(管側) 蒸気・ドレン	(胴側) 給水・蒸気

2.1.8 原子炉補機冷却水冷却器

(1) 構造

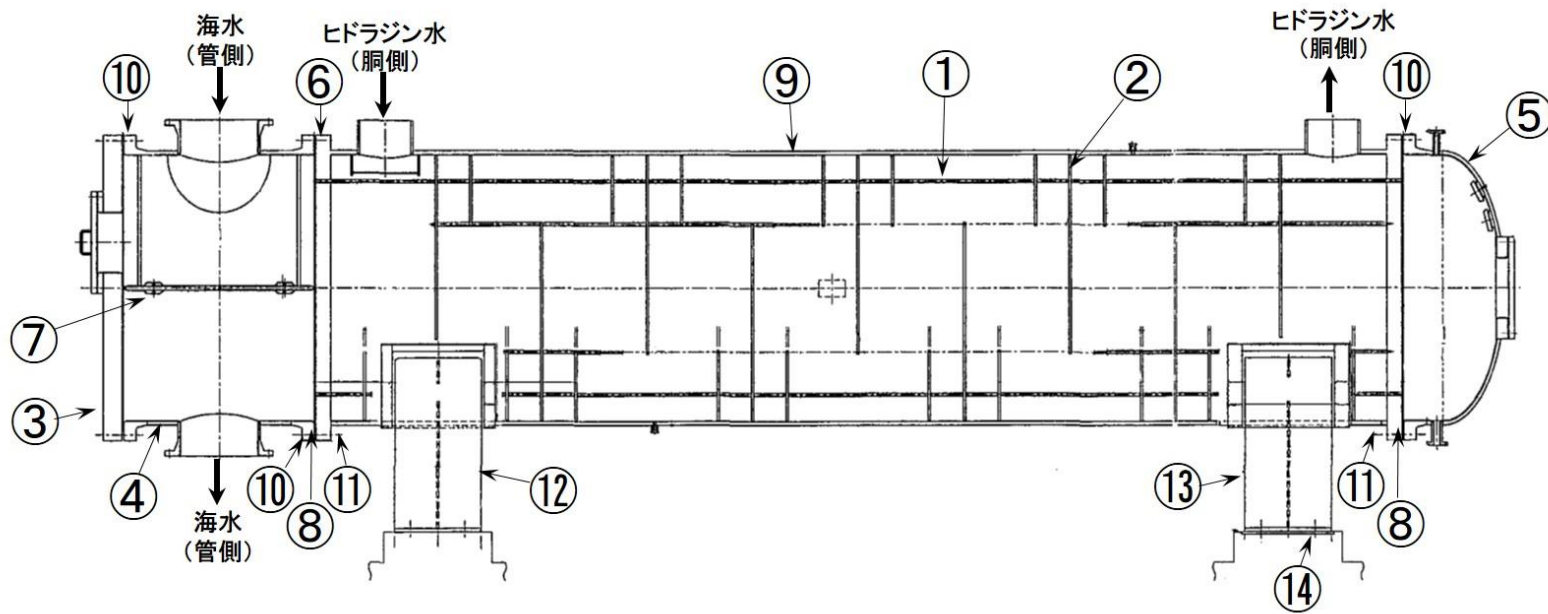
高浜4号炉の原子炉補機冷却水冷却器は、長さ約10m、胴外径約1.8mの横置直管形熱交換器であり、4台設置されている。

直管形伝熱管には銅合金を使用しており、海水およびヒドラジン水（防錆剤注入水）に接液している。胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、ヒドラジン水（防錆剤注入水）に接液している。海水に接液する管側耐圧構成品にはライニングされた炭素鋼を使用している。

高浜4号炉の原子炉補機冷却水冷却器の構造図を図2.1-8に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の原子炉補機冷却水冷却器の使用材料および使用条件を表2.1-15および表2.1-16に示す。



No.	部位	No.	部位
①	伝熱管	⑧	ガスケット
②	邪魔板	⑨	胴側胴板
③	管側平板	⑩	管側フランジ
④	管側胴板	⑪	フランジボルト
⑤	管側鏡板	⑫	支持脚
⑥	管板	⑬	支持脚(スライド脚)
⑦	防食垂鉛板	⑭	基礎ボルト

図2.1-8 高浜4号炉 原子炉補機冷却水冷却器構造図

表2.1-15 高浜4号炉 原子炉補機冷却水冷却器主要部位の使用材料

部位		材料
熱交換伝熱構成品	伝熱管	銅合金
流路構成品	邪魔板	炭素鋼
管側耐圧構成品	管側平板 管側胴板 管側鏡板	炭素鋼（ゴムライニング）
管側／胴側 バウンダリ構成品	管板	炭素鋼（銅合金クラッド）
	防食亜鉛板	消耗品・定期取替品
	ガスケット	消耗品・定期取替品
胴側耐圧構成品	胴側胴板	炭素鋼
管側フランジ 構成品	管側フランジ	炭素鋼（ゴムライニング）
	フランジボルト	低合金鋼
支持構造物組立品	支持脚 支持脚（スライド脚）	炭素鋼
	基礎ボルト	低合金鋼

表2.1-16 高浜4号炉 原子炉補機冷却水冷却器の使用条件

最高使用圧力	（管側）約0.7MPa[gage]	（胴側）約1.0MPa[gage]
最高使用温度	（管側）約50℃	（胴側）約95℃
内部流体	（管側）海水	（胴側）ヒドラジン水

2.1.9 グランド蒸気復水器

(1) 構造

高浜4号炉のグランド蒸気復水器は、長さ約3.9m、胴外径約1.0mの横置直管形熱交換器であり、1台設置されている。

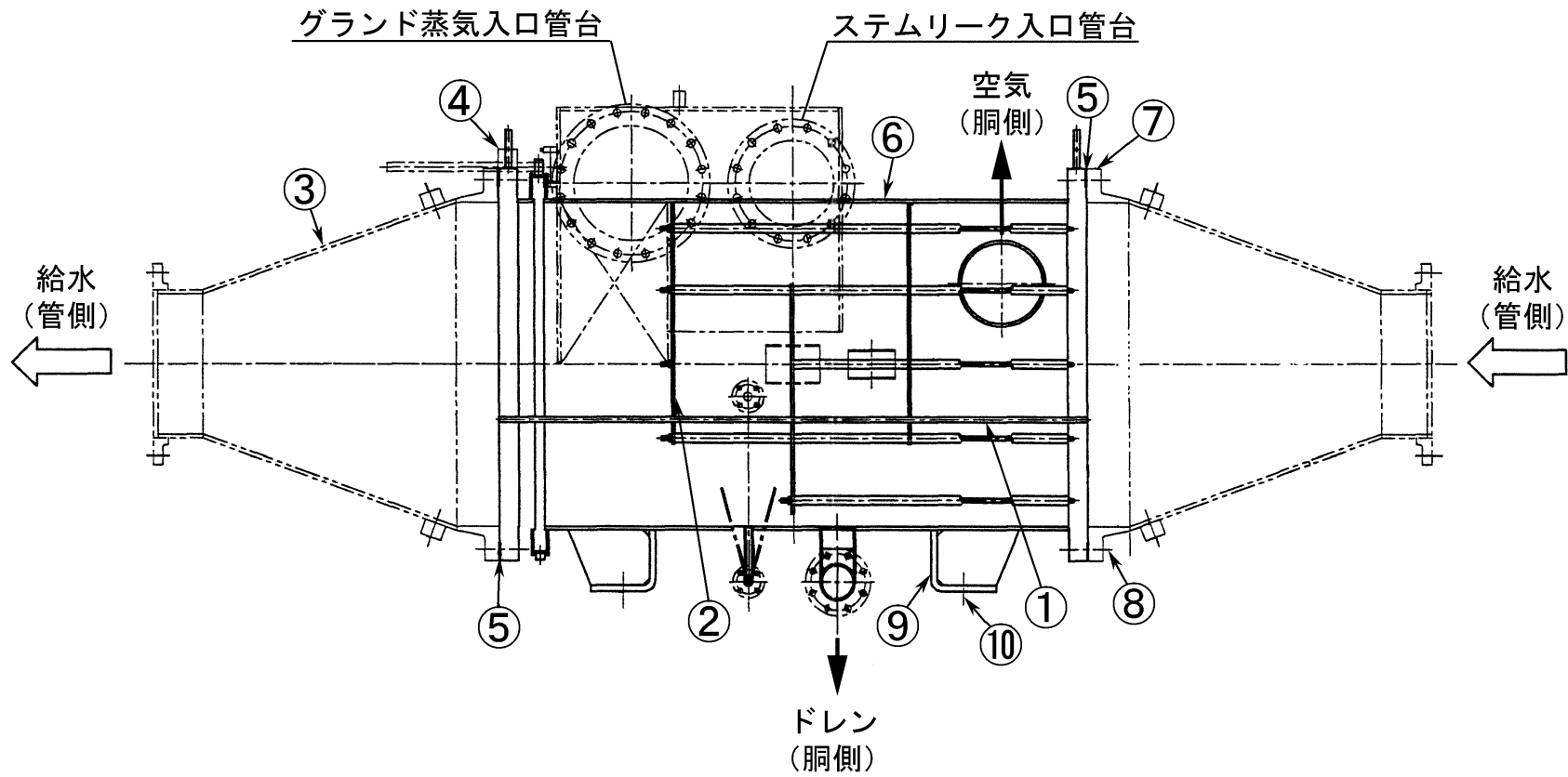
直管形伝熱管にはステンレス鋼を使用しており、給水および蒸気に接液している。管側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、給水に接液している。胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、蒸気およびドレンに接液している。

冷却水の流れが単流であり、また水の流れを円滑にするため、水室は両側共円錐形となっている。

高浜4号炉のグランド蒸気復水器の構造図を図2.1-9に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉のグランド蒸気復水器の使用材料および使用条件を表2.1-17および表2.1-18に示す。



No.	部位	No.	部位
①	伝熱管	⑥	胴板
②	邪魔板	⑦	フランジ
③	水室	⑧	フランジボルト
④	管板	⑨	支持脚
⑤	ガスケット	⑩	基礎ボルト

図2.1-9 高浜4号炉 グランド蒸気復水器構造図

表2.1-17 高浜4号炉 グランド蒸気復水器主要部位の使用材料

部位		材料
熱交換伝熱構成品	伝熱管	ステンレス鋼
流路構成品	邪魔板	炭素鋼
管側耐圧構成品	水室	炭素鋼
管側／胴側 バウンダリ構成品	管板	炭素鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
胴側耐圧構成品	胴板	炭素鋼
フランジ構成品	フランジ	炭素鋼
	フランジボルト	炭素鋼
支持構造物組立品	支持脚	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-18 高浜4号炉 グランド蒸気復水器の使用条件

最高使用圧力	(管側) 約1.1MPa[gage]	(胴側) 約0.0MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約80℃	(胴側) 約100℃
内部流体	(管側) 給水	(胴側) 蒸気・ドレン

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

多管円筒形熱交換器の機能である熱除去機能（クーラの場合）および加熱機能（ヒータの場合）を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 伝熱性能の確保
- ② バウンダリの維持
- ③ 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

多管円筒形熱交換器個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表2.2-2に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-2で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 管板の疲労割れ [再生熱交換器、余熱除去冷却器]

再生熱交換器および余熱除去冷却器はプラントの起動・停止時等に発生する内部流体のステップ状の大きな温度変化により、材料に疲労が蓄積することから、特に胴板等の他の構成部材に比べて肉厚が大きい管板部においては、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-2で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 伝熱管の摩耗および高サイクル疲労割れ [共通]

胴側流体および管側流体により伝熱管振動が発生した場合、管支持板部等で伝熱管に摩耗または高サイクル疲労割れが想定される。

また、管外表面を流れる流体による振動で伝熱管の強度上想定される振動形態としては、カルマン渦による振動と流力弾性振動がある。

しかしながら、分解点検時の渦流探傷検査等により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 伝熱管の外面腐食（流れ加速型腐食） [共通]

再生熱交換器、余熱除去冷却器、燃料取替用水タンク加熱器、湿分分離加熱器、第6 高圧給水加熱器、スチームコンバータドレンクーラ、スチームコンバータ本体およびグラウンド蒸気復水器の伝熱管については、耐流れ加速型腐食性に優れたステンレス鋼の伝熱管を使用しているため、外面からの流れ加速型腐食が発生する可能性は小さい。

原子炉補機冷却水冷却器については管外流体の流速が十分に遅いことから外面からの流れ加速型腐食発生の可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の渦流探傷検査等により、機器の健全性を確認している。

(3) 伝熱管の内面腐食（流れ加速型腐食） [共通]

原子炉補機冷却水冷却器の伝熱管は銅合金であり、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

銅合金は腐食電位の高い貴な金属であり、耐食性が良いが、高速の流水中で使用すると、流れ加速型腐食が発生することがある。

原子炉補機冷却水冷却器は管側流体が海水であるため、貝等の異物の付着により局所的に流速が増大し、流れ加速型腐食が発生する場合があるが、貝等の混入物の大きさ、形態、付着状態は不確定であることから、流速と腐食量について、一律で定量的な評価は困難である。

しかしながら、分解点検時の渦流探傷検査により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

再生熱交換器、余熱除去冷却器、燃料取替用水タンク加熱器、湿分分離加熱器、第6 高圧給水加熱器、スチームコンバータドレンクーラ、スチームコンバータ本体およびグラウンド蒸気復水器は、耐流れ加速型腐食性に優れたステンレス鋼の伝熱管を使用しているため、流れ加速型腐食が発生する可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の渦流探傷検査等により、機器の健全性を確認している。

- (4) 伝熱管等ステンレス鋼使用部位の応力腐食割れ [再生熱交換器、余熱除去冷却器、燃料取替用水タンク加熱器、湿分分離加熱器、第6 高圧給水加熱器、スチームコンバータドレンクーラ、スチームコンバータ本体、グラウンド蒸気復水器]

ステンレス鋼の伝熱管等は、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、水質を適切に管理しているため、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

余熱除去冷却器については、定期検査時は飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）の流体が流入するが、その際は流体温度が低い（最高80℃程度）ため、この場合も応力腐食割れが発生する可能性は小さい。また、定期検査後のプラント起動時には1次冷却材中の溶存酸素濃度低減のための運転操作を実施するため、高温（100℃以上）で使用する場合は溶存酸素濃度が0.1ppm以下に低減された流体となっていることから、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の渦流探傷検査等により、機器の健全性を確認している。

- (5) 伝熱管のスケール付着 [スチームコンバータ本体、原子炉補機冷却水冷却器]
管側・胴側流体の不純物持ち込みによるスケール付着が発生し、伝熱性能に影響を及ぼす可能性がある。

しかしながら、運転中における蒸気圧力の監視や定期的な洗浄を実施することでスケール付着による伝熱性能への影響がないことを確認し、伝熱性能を維持している。

したがって、今後も現状保全を継続することで、機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(6) 連絡管の疲労割れ [再生熱交換器]

1999年7月に敦賀2号炉の再生熱交換器連絡管、2003年9月に泊2号炉の再生熱交換器胴側出口配管において、温度の異なる冷却材の合流による温度ゆらぎ（サーマルストライピング）が生じ、高サイクル熱疲労による疲労割れが発生しているが、この事象は内筒付再生熱交換器特有のものである。高浜4号炉の再生熱交換器には内筒がなく、高温水と低温水の合流部が想定されないことから、疲労割れ発生の可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、超音波探傷検査および漏えい確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 支持脚（スライド脚）の腐食（全面腐食） [再生熱交換器、余熱除去冷却器、燃料取替用水タンク加熱器、湿分分離加熱器、スチームコンバータドレンクーラ、スチームコンバータ本体、原子炉補機冷却水冷却器]

いずれの熱交換器も横置きであり、支持脚（スライド脚）が設置されているが、スライド部は炭素鋼であり、長期使用により、腐食による固着が想定される。

しかしながら、巡視点検等で目視によりスライド部に異常のないことを確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(8) 支持脚等の腐食（全面腐食） [共通]

支持脚および架台は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (9) 取付ボルトの腐食（全面腐食）〔再生熱交換器、余熱除去冷却器、燃料取替用水タンク加熱器、湿分分離加熱器、第6 高圧給水加熱器〕

取付ボルトは低合金鋼または炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (10) 胴板等の外面からの腐食（全面腐食）〔余熱除去冷却器、燃料取替用水タンク加熱器、湿分分離加熱器、第6 高圧給水加熱器、スチームコンバータドレンクーラ、スチームコンバータ本体、原子炉補機冷却水冷却器、グラウンド蒸気復水器〕

胴板、端板、鏡板、フランジ、管板、平板および水室は炭素鋼であり、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (11) 胴側耐圧構成品等の腐食（流れ加速型腐食）〔燃料取替用水タンク加熱器、第6 高圧給水加熱器、スチームコンバータドレンクーラ、スチームコンバータ本体、グラウンド蒸気復水器〕

高温水または2相流体を内包する胴板等の炭素鋼使用部位には、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認または寸法計測により、有意な腐食がないことを確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(12) 胴側耐圧構成品等の腐食（流れ加速型腐食）〔湿分分離加熱器〕

高温水または2相流体を内包する胴板他の炭素鋼使用部位には、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

湿分分離加熱器については、シェブロンにおいて蒸気の湿分を1%以下とする湿分除去機能を有しており、湿分除去以降では流れ加速型腐食による減肉進行の可能性は十分小さいと考える。シェブロンより上流の部位で蒸気の流路を構成する胴板、胴側鏡板およびマニホールドについては、湿り度も高く、また温度的にも減肉を生ずる域にある。

しかしながら、減肉想定箇所にはステンレス鋼の内張りを実施していることから、減肉進行の可能性はないと考えるが、ステンレス鋼の内張りのない部位については、減肉傾向の監視が必要と考える。

その他胴側の主要な構成品として支持板があり、流れ加速型腐食による穴部の拡大が想定されるが、湿分分離加熱器においては、支持板（管群入口）部での蒸気の湿り度を約1%以下としており、支持板の穴部の減肉拡大の可能性は十分小さいと考える。

胴側については、分解点検時の目視確認または寸法計測により、機器の健全性を維持している。また、有意な腐食が生じている場合には、寸法計測により腐食進行程度を把握し補修を行うことにより、機器の健全性を維持している。

表2.2-1に湿分分離加熱器の主な補修経歴を示す。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

表2.2-1 高浜4号炉 湿分分離加熱器の主な補修経歴

第14回定期検査	A湿分分離加熱器蒸気入口部補修
第16回定期検査	A、B湿分分離加熱器蒸気入口部胴板補修
第17回定期検査	A、B湿分分離加熱器蒸気入口部胴板補修

- (13) フランジボルトの腐食（全面腐食）〔余熱除去冷却器、燃料取替用水タンク加熱器、スチームコンバータドレンクーラ、スチームコンバータ本体、原子炉補機冷却水冷却器、グランド蒸気復水器〕

フランジボルトは低合金鋼または炭素鋼であり、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

- (14) 管側耐圧構成品の海水による腐食（異種金属接触腐食を含む）〔原子炉補機冷却水冷却器〕

管側流体が海水であり、接液部に銅合金を使用しているため、長期使用により腐食が想定される。また、管側耐圧構成品の炭素鋼等使用部位には、海水が接するためライニングを施工しているが、ライニングのはく離等により炭素鋼等に海水が接した場合、管板が炭素鋼＋銅合金クラッドであるため、炭素鋼に異種金属接触腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (15) 管側耐圧構成品の腐食（流れ加速型腐食）〔湿分分離加熱器、第6 高圧給水加熱器、スチームコンバータドレンクーラ、スチームコンバータ本体、グラウンド蒸気復水器〕

湿分分離加熱器、スチームコンバータドレンクーラおよびスチームコンバータ本体の高温水または2相流体を内包する水室胴板他の炭素鋼使用部位には、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

また、第6 高圧給水加熱器およびグラウンド蒸気復水器の管側耐圧構成品は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、内部流体はpH等を管理した脱気水で内面の腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

- (16) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔再生熱交換器、余熱除去冷却器、スチームコンバータドレンクーラ、スチームコンバータ本体、原子炉補機冷却水冷却器、グラウンド蒸気復水器〕

基礎ボルトは炭素鋼または低合金鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

- (17) 伝熱管のスケール付着 [再生熱交換器、余熱除去冷却器、燃料取替用水タンク加熱器、湿分分離加熱器、第6高圧給水加熱器、スチームコンバータドレンクーラ、グラウンド蒸気復水器]

内部流体は、1次冷却材、給水、蒸気、ドレンまたはヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、適切な水質管理により不純物の流入は抑制されていることから、スケール付着の可能性は小さい。今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (18) 胴側耐圧構成品等の腐食（全面腐食） [余熱除去冷却器、原子炉補機冷却水冷却器]

胴側耐圧構成品等は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、内部流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、内面の腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットおよび防食亜鉛板は分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-2(1/9) 高浜4号炉 再生熱交換器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労 割れ	応力腐 食割れ	熱時効	劣化		
伝熱性能の確保	伝熱管		ステンレス鋼	△*1	(外面) △*2 (内面) △*2	△*1	△			▲*3	*1：高サイクル疲労割 れ・摩耗 *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着 *4：スライド部の腐食
	邪魔板、支持板		ステンレス鋼				△				
バウンダリの維持	管側鏡板		ステンレス鋼				△				
	管側胴板		ステンレス鋼				△				
	管板		ステンレス鋼			○	△				
	胴側胴板		ステンレス鋼				△				
	胴側鏡板		ステンレス鋼				△				
	連絡管		ステンレス鋼			△	△				
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	支持脚（スライド脚）		炭素鋼		△*4 △						
	取付ボルト		炭素鋼		△						
	架台		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-2(2/9) 高浜4号炉 余熱除去冷却器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労 割れ	応力腐 食割れ	熱時効	劣化		
伝熱性能の確保	伝熱管		ステンレス鋼	△*1	(外面) △*2 (内面) △*2	△*1	△			▲*3	*1：高サイクル疲労割 れ・摩耗 *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着 *4：スライド部の腐食
	邪魔板、支持板		ステンレス鋼				△				
バウンダリの維持	管側胴板		ステンレス鋼				△				
	管側鏡板		ステンレス鋼				△				
	管板		ステンレス鋼			○	△				
	胴側、管側ガスケット	◎	—								
	胴板		炭素鋼		(外面) △ (内面) ▲						
	胴側鏡板		炭素鋼		(外面) △ (内面) ▲						
	管側フランジ		ステンレス鋼				△				
	胴側フランジ		炭素鋼		△						
機器の支持	支持脚、支持脚台		炭素鋼		△						
	支持脚（スライド脚）		炭素鋼		△*4 △						
	取付ボルト		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-2(3/9) 高浜4号炉 燃料取替用水タンク加熱器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
伝熱性能の確保	伝熱管		ステンレス鋼	△ ^{*1}	(外面) △ ^{*2} (内面) △ ^{*2}	△ ^{*1}	△			▲ ^{*3}	*1：高サイクル疲労割れ・摩耗 *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着
	邪魔板、支持板		ステンレス鋼		△ ^{*2}		△				
バウンダリの維持	管側胴板、管側鏡板		ステンレス鋼				△				*4：スライド部の腐食
	管板		ステンレス鋼				△				
	胴側、管側ガスケット	◎	—								
	胴側胴板		炭素鋼		△ ^{*2} △						
	胴側鏡板		炭素鋼		△ ^{*2} △						
	管側フランジ		ステンレス鋼				△				
	胴側フランジ		炭素鋼		△						
	フランジボルト		低合金鋼		△						
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	支持脚（スライド脚）		炭素鋼		△ ^{*4} △						
	取付ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-2(4/9) 高浜4号炉 湿分分離加熱器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
伝熱性能の確保	伝熱管		ステンレス鋼	△ ^{*1}	(外面) △ ^{*2} (内面) △ ^{*2}	△ ^{*1}	△			▲ ^{*3}	*1：高サイクル疲労割れ・摩耗 *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着 *4：スライド部の腐食
	支持板		炭素鋼		△ ^{*2}						
	マニホールド		炭素鋼		△ ^{*2}						
	シェブロン		ステンレス鋼								
バウンダリの維持	管側鏡板		炭素鋼		△ ^{*2} △						
	管板		炭素鋼 (インコネル材内張り)		△ ^{*2} △						
	胴板		炭素鋼		△ ^{*2} △						
	胴側鏡板		炭素鋼		△ ^{*2} △						
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	支持脚 (スライド脚)		炭素鋼		△ ^{*4} △						
	取付ボルト		低合金鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-2(5/9) 高浜4号炉 第6 高压给水加熱器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
伝熱性能の確保	伝熱管		ステンレス鋼	△ ^{*1}	(外面) △ ^{*2} (内面) △ ^{*2}	△ ^{*1}	△			▲ ^{*3}	*1：高サイクル疲労割れ・摩耗 *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着
	邪魔板、支持板		炭素鋼		△ ^{*2}						
バウンダリの維持	管側鏡板		炭素鋼		△ ^{*2} △						
	管板		炭素鋼 (ステンレス材内張り)		△ ^{*2} △						
	胴板		炭素鋼		△ ^{*2} △						
	胴側鏡板		炭素鋼		△ ^{*2} △						
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	取付ボルト		低合金鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-2(6/9) 高浜4号炉 スチームコンバータドレンクーラに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労 割れ	応力腐 食割れ	熱時効	劣化		
伝熱性能の確保	伝熱管		ステンレス鋼	△ ^{*1}	(外面) △ ^{*2} (内面) △ ^{*2}	△ ^{*1}	△			▲ ^{*3}	*1：高サイクル疲労割れ・摩耗 *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着 *4：スライド部の腐食
	邪魔板		炭素鋼		△ ^{*2}						
バウンダリの維持	水室胴板		炭素鋼		△ ^{*2} △						
	水室端板		炭素鋼		△ ^{*2} △						
	管板		炭素鋼		△ ^{*2} △						
	ガスケット	◎	—								
	胴板		炭素鋼		△ ^{*2} △						
	胴端板		炭素鋼		△ ^{*2} △						
	管側フランジ		炭素鋼		△ ^{*2} △						
	胴側フランジ		炭素鋼		△ ^{*2} △						
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	支持脚（スライド脚）		炭素鋼		△ ^{*4} △						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-2(7/9) 高浜4号炉 スチームコンバータ本体に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労 割れ	応力腐 食割れ	熱時効	劣化		
伝熱性能の確保	伝熱管		ステンレス鋼	△ ^{*1}	(外面) △ ^{*2} (内面) △ ^{*2}	△ ^{*1}	△			△ ^{*3}	*1：高サイクル疲労割 れ・摩耗 *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着 *4：スライド部の腐食
	支持板		炭素鋼		△ ^{*2}						
バウンダリの維持	管側鏡板		炭素鋼		△ ^{*2} △						
	管板		炭素鋼		△ ^{*2} △						
	胴側、管側ガスケット	◎	—								
	胴板、胴側鏡板		炭素鋼		△ ^{*2} △						
	分離室胴板		炭素鋼		△ ^{*2} △						
	脱気室胴板		炭素鋼		△ ^{*2} △						
	管側フランジ		炭素鋼		△ ^{*2} △						
	胴側フランジ		炭素鋼		△ ^{*2} △						
	フランジボルト		低合金鋼		△						
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	支持脚（スライド脚）		炭素鋼		△ ^{*4} △						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-2(8/9) 高浜4号炉 原子炉補機冷却水冷却器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労 割れ	応力腐 食割れ	熱時効	劣化		
伝熱性能の確保	伝熱管		銅合金	△ ^{*1}	(外面) △ ^{*2} (内面) △ ^{*2}	△ ^{*1}				△ ^{*3}	*1：高サイクル疲労割れ ・摩耗 *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着
	邪魔板		炭素鋼		▲						
バウンダリの 維持	管側平板		炭素鋼 (ゴムライニング)		△ ^{*4} △						
	管側胴板		炭素鋼 (ゴムライニング)		△ ^{*4} △						
	管側鏡板		炭素鋼 (ゴムライニング)		△ ^{*4} △						
	管板		炭素鋼 (銅合金クラッド)		△ ^{*4} △						
	防食亜鉛板	◎	—								
	ガスケット	◎	—								
	胴側胴板		炭素鋼		(外面) △ (内面) ▲						
	管側フランジ		炭素鋼 (ゴムライニング)		△ ^{*4} △						
	フランジボルト		低合金鋼		△						
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	支持脚 (スライド脚)		炭素鋼		△ ^{*5} △						
	基礎ボルト		低合金鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-2(9/9) 高浜4号炉 グランド蒸気復水器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労 割れ	応力腐 食割れ	熱時効	劣化		
伝熱性能の確保	伝熱管		ステンレス鋼	△ ^{*1}	(外面) △ ^{*2} (内面) △ ^{*2}	△ ^{*1}	△			*1：高サイクル疲労割 れ・摩耗 *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着	
	邪魔板		炭素鋼		△ ^{*2}						
バウンダリの維持	水室		炭素鋼		△ ^{*2} △						
	管板		炭素鋼		△ ^{*2} △						
	ガスケット	◎	—								
	胴板		炭素鋼		△ ^{*2} △						
	フランジ		炭素鋼		△						
機器の支持	フランジボルト		炭素鋼		△						
	支持脚		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 管板の疲労割れ〔再生熱交換器、余熱除去冷却器〕

a. 事象の説明

管板は、プラントの起動・停止時等に熱過渡を繰り返し受けるため、疲労が蓄積する。

b. 技術評価

① 健全性評価

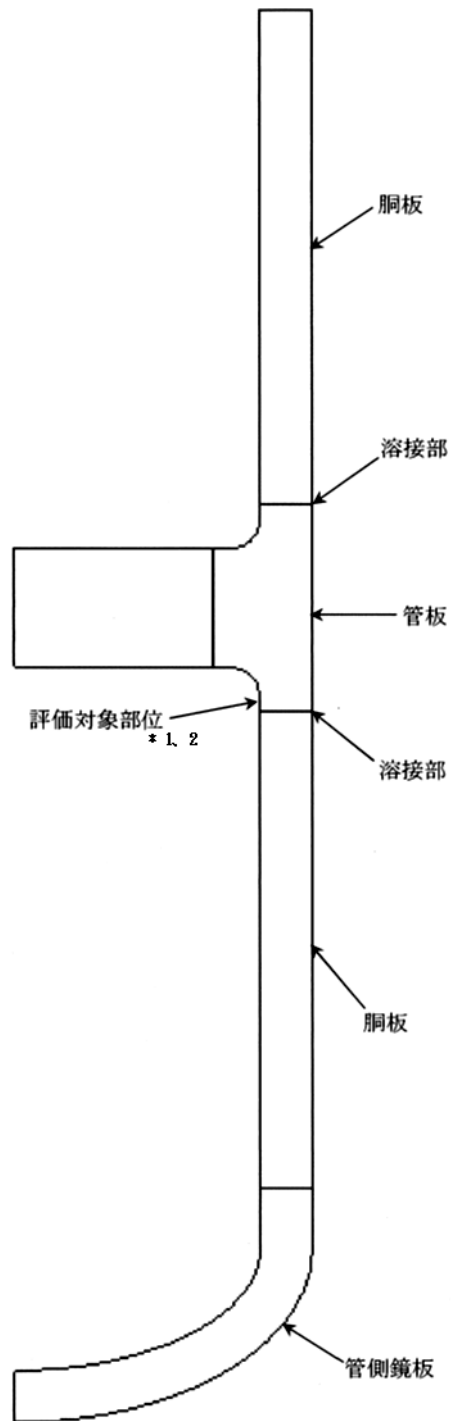
管板の健全性評価にあたっては、「日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007)」に基づき評価を行った。なお、管板穴部については、ASME Section III Appendix A-8000に基づき応力強さを補正した。

また、使用環境を考慮した疲労について、「日本機械学会 環境疲労評価手法 (JSME S NF1-2009)」に基づき評価した。

評価点を図2.3-1および図2.3-2に、疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1および表2.3-2に示す。なお、運転期間延長認可申請に伴う評価として、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的*に設定した過渡回数とした。

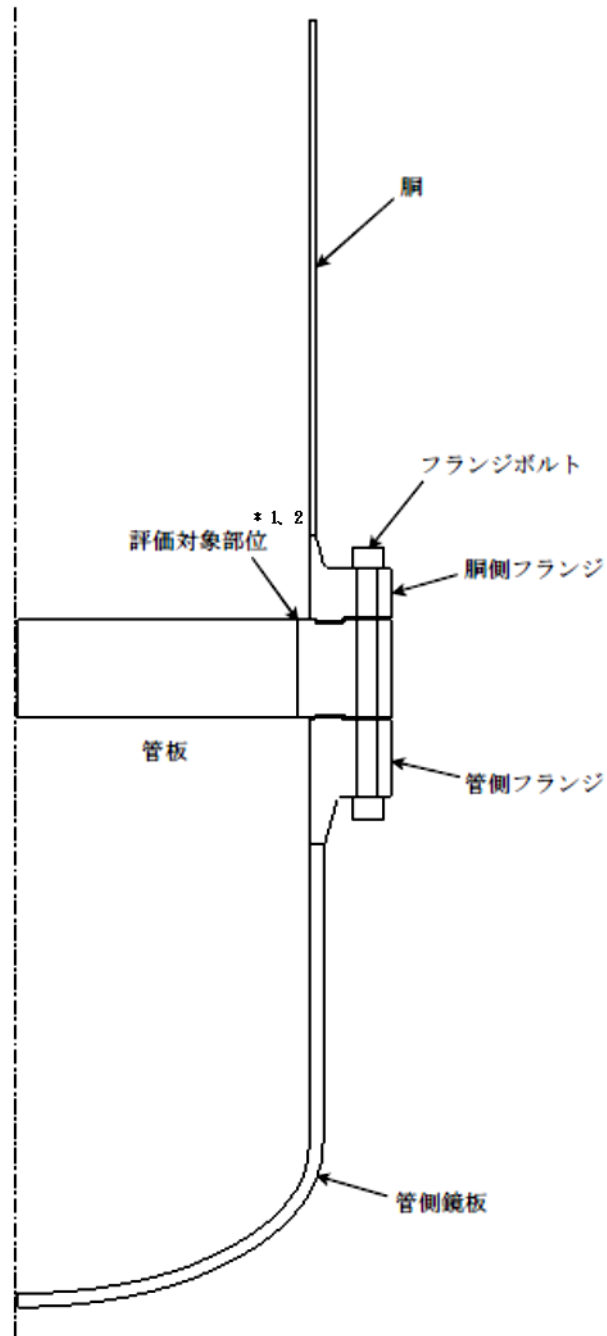
*：評価条件として、2020年度以降の過渡発生頻度は実績の1.5倍以上を想定した。

評価結果を表2.3-3に示すが、許容値を満足する結果が得られている。



- *1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)
- *2 : 「環境疲労評価手法」に基づく疲労評価対象部位(最大) (接液部が対象)

図2.3-1 高浜4号炉 再生熱交換器 管板の疲労評価対象部位



- *1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)
- *2 : 「環境疲労評価手法」に基づく疲労評価対象部位(最大) (接液部が対象)

図2.3-2 高浜4号炉 余熱除去冷却器 管板の疲労評価対象部位

表2.3-1 高浜4号炉 再生熱交換器 管板の疲労評価に用いた過渡回数

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動	35	71
停止	34	71
抽出ラインの隔離および復帰	0	6
充てんラインの隔離および復帰（保守）	0	2
充てんラインの隔離および復帰（安全注入時）	0	6
充てん流量50%の減少および復帰	311	805
充てん流量50%の増加および復帰	311	829
抽出流量50%の減少および復帰	34	71
抽出流量100%の増加および復帰	308	800

表2.3-2 高浜4号炉 余熱除去冷却器 管板の疲労評価に用いた過渡回数

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動	35	71
停止	34	71
1次系漏えい試験	31	65

表2.3-3 高浜4号炉 再生熱交換器、余熱除去冷却器の疲労評価結果

機器	評価対象部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値：1以下)	
		設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
再生熱交換器	管板部 (ステンレス鋼)	0.038	0.048
余熱除去冷却器	管板部 (ステンレス鋼)	0.053	0.074

② 現状保全

管板の疲労割れに対しては、再生熱交換器は、定期的に漏えい検査を実施し、健全性を確認している。

余熱除去冷却器は、定期的に管板の目視確認により、有意な割れがないことを確認している。さらに、高経年化技術評価にあわせて、実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、疲労割れ発生の可能性はないと考える。ただし、疲労評価は実績過渡回数に依存するため、今後も実績過渡回数を把握し評価する必要がある。

また、再生熱交換器の疲労割れについては、漏えい検査で健全性を確認可能であり、点検手法として適切である。余熱除去冷却器の疲労割れについては、目視確認で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

再生熱交換器および余熱除去冷却器の管板の疲労割れについては、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認する。

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① 封水冷却器
- ② 非再生冷却器
- ③ 格納容器スプレイ冷却器
- ④ 余剰抽出水冷却器
- ⑤ 第1 低圧給水加熱器
- ⑥ 第2 低圧給水加熱器
- ⑦ 第3 低圧給水加熱器
- ⑧ 第4 低圧給水加熱器

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 管板の疲労割れ

プラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材のステップ状の大きな温度変化を受ける再生熱交換器および余熱除去冷却器の疲労評価結果では、表2.3-3に示すように許容値に対して十分余裕がある。

代表機器以外の多管円筒形熱交換器については、熱疲労割れが問題となるようなステップ状の大きな温度変化を受けないことから、高経年化対策上有意な事象ではなく、代表機器以外への展開は不要である。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

3.2.1 伝熱管の摩耗および高サイクル疲労割れ [共通]

胴側流体および管側流体により伝熱管振動が発生した場合、管支持板部等で伝熱管に摩耗または高サイクル疲労割れが想定される。

管外表面を流れる流体による振動で伝熱管の強度上想定される振動形態としては、カルマン渦による振動と流力弾性振動がある。

しかしながら、分解点検時の渦流探傷検査により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.2 伝熱管の外表面腐食（流れ加速型腐食） [共通]

封水冷却器、非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器および余剰抽出水冷却器の伝熱管については、耐流れ加速型腐食性に優れたステンレス鋼の伝熱管を使用しているため、外面からの流れ加速型腐食が発生する可能性は小さい。

一方、第1低圧給水加熱器等の凝縮器（胴側流体が蒸気）については、系外からの流体流入部で伝熱管の流れ加速型腐食の発生が懸念されるが、同部位には受衝板（ステンレス鋼）を設け系外からの流体が直接伝熱管に当たらない構造としている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の渦流探傷検査により、機器の健全性を確認している。

3.2.3 伝熱管の内面腐食（流れ加速型腐食） [共通]

耐流れ加速型腐食性に優れたステンレス鋼の伝熱管を使用しているため、流れ加速型腐食が発生する可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の渦流探傷検査により、機器の健全性を確認している。

3.2.4 伝熱管等ステンレス鋼使用部位の応力腐食割れ [共通]

ステンレス鋼の伝熱管等は、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、水質を適切に管理しているため、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の渦流探傷検査等により、機器の健全性を確認している。

3.2.5 伝熱管のスケール付着 [共通]

管側・胴側流体の不純物持ち込みによるスケール付着が発生し、伝熱性能に影響を及ぼすことが想定される。

しかしながら、分解点検時の渦流探傷検査実施前の洗浄や運転中の流体温度および流量等のパラメータの監視により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.6 支持脚（スライド脚）の腐食（全面腐食） [余剰抽出水冷却器を除く]

いずれの熱交換器においても、支持脚（スライド脚）のスライド部は炭素鋼であり、長期使用により、腐食による固着が想定される。

しかしながら、封水冷却器、非再生冷却器および格納容器スプレイ冷却器については、定期的に目視によりスライド部に異常のないことを確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

また、第1低圧給水加熱器および第2低圧給水加熱器は復水器内に炭素鋼の支持脚（スライド脚）があり、復水器内はpH等を管理した脱気水（蒸気）で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、第1低圧給水加熱器および第2低圧給水加熱器についても、定期的に目視によりスライド部に異常のないことを確認し、機器の健全性を確認している。

3.2.7 支持脚等の腐食（全面腐食）〔共通〕

支持脚および支持脚台は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

また、第1 低圧給水加熱器および第2 低圧給水加熱器は復水器内に炭素鋼の支持脚があり、復水器内はpH等を管理した脱気水（蒸気）で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

3.2.8 取付ボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕

取付ボルトは炭素鋼または低合金鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.9 胴側耐圧構成品等の腐食（流れ加速型腐食）〔第1 低圧給水加熱器、第2 低圧給水加熱器、第3 低圧給水加熱器、第4 低圧給水加熱器〕

高温水または2相流体を内包する胴板等の炭素鋼または低合金鋼使用部位には、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、現状保全として、支持板の穴部の減肉状況の監視（渦流探傷検査による伝熱管の減肉傾向監視）を実施しており、機器の健全性を維持している。

また、その他の部位については、減肉想定箇所にステンレス鋼の内張りを実施していることから、減肉進行の可能性はないと考える。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.10 胴板等の外面からの腐食（全面腐食）〔共通〕

胴板、フランジ、鏡板および水室は炭素鋼であり、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.11 フランジボルトの腐食（全面腐食）〔封水冷却器、非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、余剰抽出水冷却器〕

フランジボルトは低合金鋼であり、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

3.2.12 管側耐圧構成品の腐食（流れ加速型腐食）〔第1 低圧給水加熱器、第2 低圧給水加熱器、第3 低圧給水加熱器、第4 低圧給水加熱器〕

管側耐圧構成品は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、内部流体はpH等を管理した脱気水で内面の腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.13 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔封水冷却器、非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、余剰抽出水冷却器〕

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

2.2.3 2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

3.2.14 胴側耐圧構成品等の腐食（全面腐食）〔封水冷却器、非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、余剰抽出水冷却器〕

胴側耐圧構成品等は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、内部流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、内面の腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2 蒸気発生器

[対象機器]

- ① 蒸気発生器

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 蒸気発生器の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	6
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	34

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されている蒸気発生器の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 蒸気発生器の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件 (1次側/2次側)		
		運転状態	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (℃)
蒸気発生器 (3)	PS-1、重*2	連続	約17.2/ 約 7.5	約343/ 約291

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

2. 蒸気発生器の技術評価

2.1 構造、材料および使用条件

(1) 構造

高浜4号炉の蒸気発生器は、高さ約21m、上部胴内径約4.3m、下部胴内径約3.3mのたて置きU字管式熱交換器であり、3台設置されている。

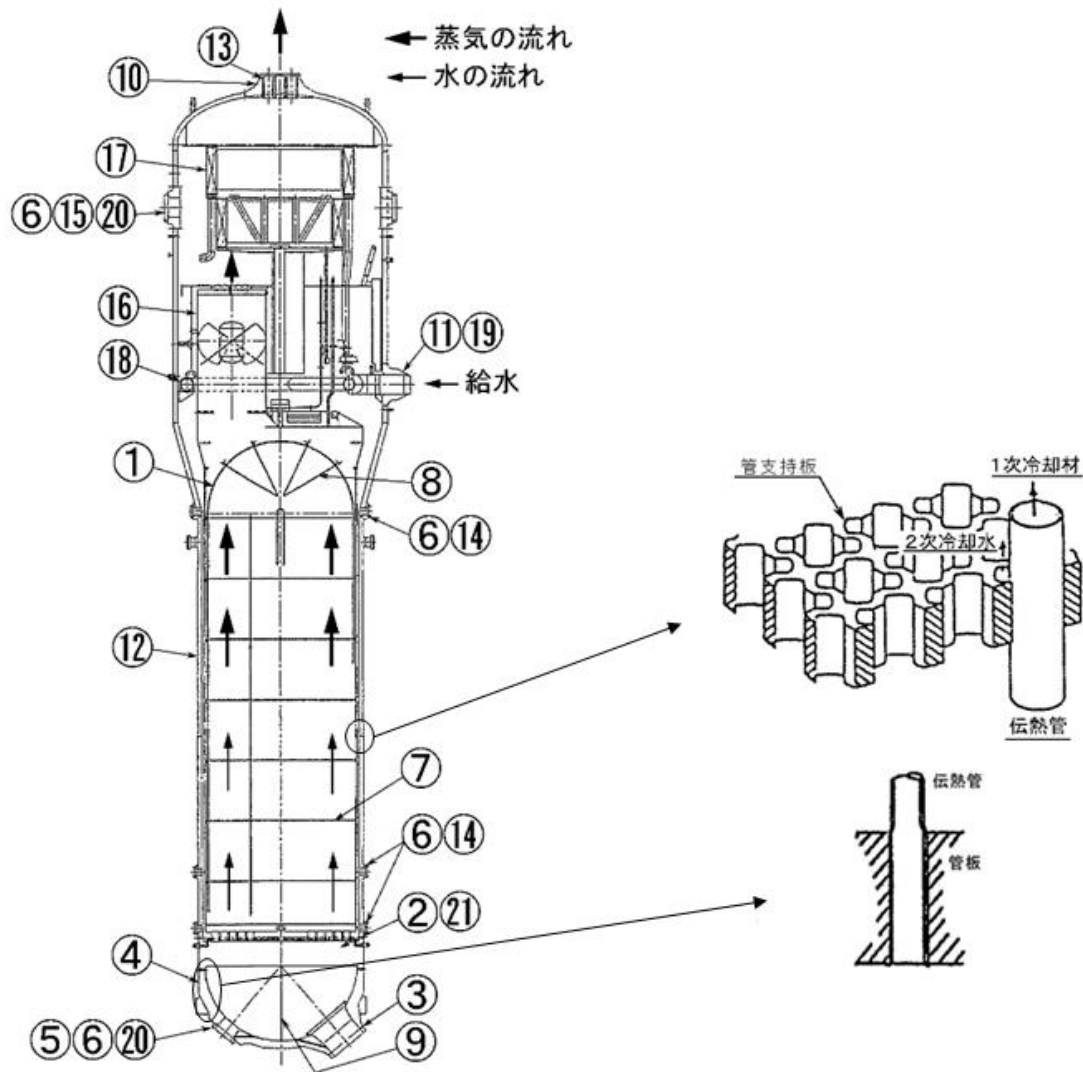
U字型伝熱管には600系ニッケル基合金を使用しており、1次冷却材、給水に接液している。管側耐圧構成品である水室1次側面にはステンレス鋼内張り、管板1次側面にはニッケル基合金を内張りしており、1次冷却材に接液している。胴側耐圧構成品である2次側胴には低合金鋼を使用しており、給水に接液している。

高浜4号炉の蒸気発生器の構造図を図2.1-1に示す。

なお、蒸気発生器については、伝熱管材料が600系ニッケル基合金であり、管板拡管部の応力腐食割れ等の発生が否定できないことから、蒸気発生器の取替を計画しているが、取替実施時期はプラント運転開始後40年目以降となることから、本技術評価においては現行の蒸気発生器を前提として実施している。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の蒸気発生器の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	伝熱管
②	管板
③	冷却材出入口管台セーフエンド
④	1次側鏡板
⑤	1次側マンホール
⑥	ガスケット
⑦	管支持板
⑧	振止め金具 (AVB)
⑨	仕切板
⑩	蒸気出口管台
⑪	給水入口管台
⑫	2次側胴
⑬	フローリストラクタベンチュリー
⑭	検査用穴
⑮	2次側マンホール
⑯	気水分離器
⑰	湿水分離器
⑱	給水リング (Jチューブ)
⑲	サーマルスリーブ
⑳	マンホール用ボルト
㉑	メカニカルプラグ

(注) 冷却材出入口管台セーフエンド③と1次側マンホール⑤および仕切板⑨の位置関係は正確ではない(冷却材入口管台と出口管台を分ける位置に仕切板があるのが正しい)。ただし、断面図上で正確に記述すると③、⑤、⑨のいずれかがない図となるので、ここでは便宜上左図のように記述している。

図2. 1-1 高浜4号炉 蒸気発生器構造図

表2.1-1 高浜4号炉 蒸気発生器主要部位の使用材料

部位		材料
1次側／2次側 バウンダリ 構成品	熱交換伝熱構成品	伝熱管 600系ニッケル基合金(特殊熱処理材)
	1次側／2次側 バウンダリ構成品	管板 低合金鋼 600系ニッケル基合金(内張り)
		メカニカルプラグ 690系ニッケル基合金
1次側構成品	1次側耐圧構成品	冷却材出入口 管台セーフエンド ステンレス鋼 出口：600系ニッケル基合金(溶接金属) 入口：690系ニッケル基合金(溶接金属)
		1次側鏡板 炭素鋼鋳鋼 ステンレス鋼(内張り)
		1次側マンホール 低合金鋼 ステンレス鋼(インサートプレート)
		マンホール用 ボルト 低合金鋼
		ガスケット 消耗品・定期取替品
	1次側流路構成品	仕切板 600系ニッケル基合金
2次側構成品	伝熱管支持構成品	管支持板 ステンレス鋼
		振止め金具 (AVB) ステンレス鋼
	2次側耐圧構成品	蒸気出口管台 低合金鋼
		給水入口管台 低合金鋼
		2次側胴 低合金鋼
		フローリストリク タベンチュリー 600系ニッケル基合金
		検査用穴 低合金鋼
		2次側マンホール 低合金鋼
		マンホール用 ボルト 低合金鋼
	ガスケット 消耗品・定期取替品	
	気水分離構成品	気水分離器 炭素鋼、低合金鋼
		湿水分離器 炭素鋼
	給水内管構成品	給水リング (Jチューブ) 炭素鋼、低合金鋼
		サーマルスリーブ 炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 蒸気発生器の使用条件

	1次側	2次側
最高使用圧力	約17.2MPa[gage]	約7.5MPa[gage]
最高使用温度	約343℃	約291℃
内部流体	1次冷却材	給水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

蒸気発生器の機能である伝熱機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 伝熱性能の確保
- ② バウンダリの維持

なお、機器の支持については「機械設備の技術評価書」にて評価する。

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

蒸気発生器について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-5に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-5で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 管板および給水入口管台の疲労割れ

プラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材または給水の温度、圧力および流量変化により、材料に疲労が蓄積することから、熱過渡が厳しい、あるいは構造不連続で応力が大きい管板まわりおよび給水入口管台においては、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-5で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 伝熱管の損傷

蒸気発生器伝熱管においては、これまでの国内外でのトラブルの経験から図2.2-7に示すような経年劣化事象が想定される。損傷モード毎に以下に説明を行う。

① 振止め金具（AVB：Anti Vibration Bar）部摩耗

AVBによる伝熱管の支持が不十分な場合、伝熱管の外面を流れる流体によって伝熱管が振動し、AVBと接触を繰り返すことにより生じる2次側表面から摩耗減肉が発生する可能性がある。

しかしながら、従来の2本組AVBに対し、高浜4号炉の蒸気発生器では改良型2本組AVBへの取替を行っており、伝熱管の支持状態は向上している。

曲げ半径の大きい伝熱管において、2本組AVBの場合、1点以上の非接触部が存在すると、流力弾性振動が発生し、AVB部に摩耗減肉が発生する可能性は否定できないが、過去の点検より改良型AVBの挿入状態は良好であり、経年的な変化も認められていないため、伝熱管と改良型AVBとの接触面で摩耗減肉が発生する可能性は小さい。

② 粒界腐食割れ (IGA : Inter Granular Attack)

国内の600系ニッケル基合金プラントでは、運転初期に2次系水中に持ち込まれたナトリウムが管支持板部および管板部で局部濃縮することによるpHの上昇と、酸化銅等の持ち込みによる酸化性雰囲気とが重畳し粒界腐食割れが発生した。

伝熱管の熱流束を変えて蒸気発生器内水中の不純物濃度が管支持板クレビス内でどの程度濃縮されるかを、管支持板厚さ・伝熱管径の構造条件を同じとしたドリル穴とBEC (Broached Egg Crate) 穴で比較検討したものを、図2.2-1に示す。

管支持板クレビス部での不純物濃縮倍率を実機熱流束 (約 $10 \times 10^4 \sim 30 \times 10^4 \text{kcal/m}^2\text{h}$) の範囲で比較すると、BEC穴の濃縮倍率はドリル穴の濃縮倍率と比べて約1/100に低減することがわかる。

高浜4号炉の蒸気発生器では、管支持板穴形状としてBEC穴を採用しており、管支持板および管板クレビス部のpHについては、同型プラントのクレビスpH計算結果から初期の運転サイクルにIGAが発生する環境 (pH4.5以下) に晒されたと推定されるものの、過去の抜管調査でも伝熱管にIGAによる欠陥指示は確認されておらず、至近の運転サイクルでは約pH5.7~5.9 (at300°C) 程度とほぼ中性と言える。また、蒸気発生器2次系器内水は、適切な水質管理により不純物の流入を抑制しており、ナトリウムイオン濃度は約1ppb以下と十分低く、BEC部および管板部での濃縮倍率 ($\times 10^3$) を考慮してもクレビス部のpHは約7.4程度である。粒界腐食割れ発生条件を実機温度条件において水質pHと伝熱管の電位で整理した結果を図2.2-2に示す。アルカリ粒界腐食割れについては、600系ニッケル基合金 (特殊熱処理材) は600系ニッケル基合金と比べて、発生領域がpHで0.5以上高くなっており (耐粒界腐食割れ性向上)、高浜4号炉も同材料を使用している。

以上より、表2.2-1に示すとおり粒界腐食割れ発生の可能性は小さいと考えられる。

仮に運転初期に2次系水中に持ち込まれた不純物が管支持板部および管板部で局部濃縮することによるpHの上昇と、酸化銅等の持ち込みによる酸化性雰囲気とが重畳し粒界腐食割れが発生した場合に、渦流探傷検査で検出できない深さの傷が、構造上許容される深さの傷に成長するのに要する時間を検討すると以下のとおりとなる。

進展量の計算式としては次の式を用いる。

$$T = (t_{CL} - t_{ET}) \div V$$

ここで、 T : 亀裂が進展するのに要する時間

t_{CL} : 構造上許容される亀裂の深さ

t_{ET} : 渦流探傷検査で検出できる亀裂の深さ

V : 亀裂進展速度

構造上許容される亀裂の深さは、条件の厳しい事故時を想定した内圧強度検討を1.5倍の裕度を見込んで実施した検討結果から $t_{CL}=0.567\text{mm}$ (元の板厚の約45%深さ) を用いる。渦流探傷検査で検出できる傷 (内面軸方向の割れ状欠陥) の深さは、当該検査手法の確性試験の確認結果から $t_{ET}=0.496\text{mm}$ (元の板厚の約39%深さ) を用いる。600系ニッケル合金 (特殊熱処理材) 伝熱管の亀裂進展速度は、2次系水中環境 (ここでは実機条件を参考にpH5.5を考慮。) で想定される進展速度として図2.2-3に示す $V=7.7 \times 10^{-13}\text{m/s}$ を用いる。

これにより、検出限界深さの欠陥が構造上許容される深さの傷に成長するのに要する時間は、粒界腐食割れ検出限界の深さに達してから約2.5万時間後となり、定期的に全数の渦流探傷検査を実施することは妥当であると考えられる。

なお、破断に対する伝熱管の実力として構造上許容される亀裂の深さは、裕度を考慮せず1.0倍とし同様に事故時を想定した内圧強度の検討結果から $t_{CL}=0.827\text{mm}$ (元の板厚の約65%深さ) となり、この結果を用いると検出限界深さの欠陥が構造上許容される深さの傷に成長するのに要する時間は、粒界腐食割れ検出限界の深さに達してから約11.9万時間後となる。

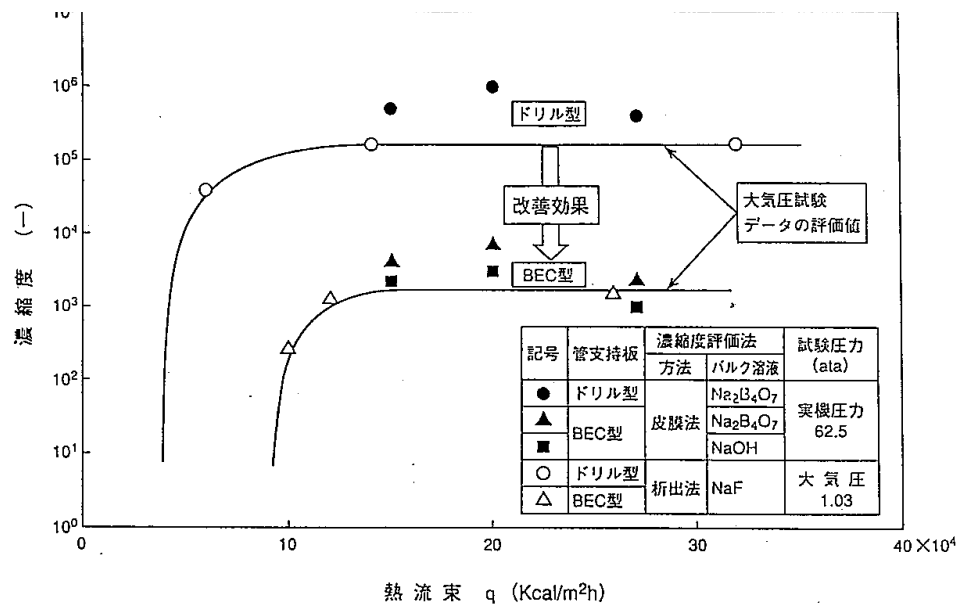
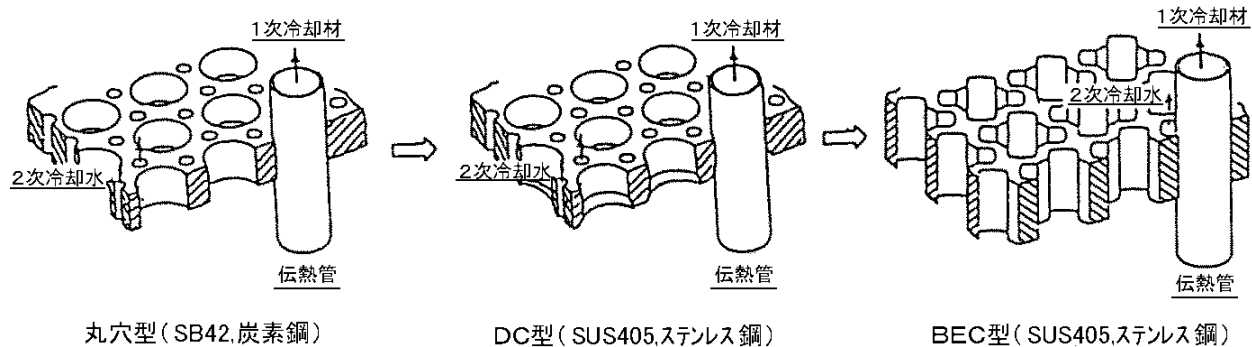


図2.2-1 管支持板部の濃縮度

[出典: "RESULTS OF STEAM GENERATOR TUBING RELIABILITY TEST",
2nd International Steam Generator and Heat Exchanger Conference, Toronto, 1994]

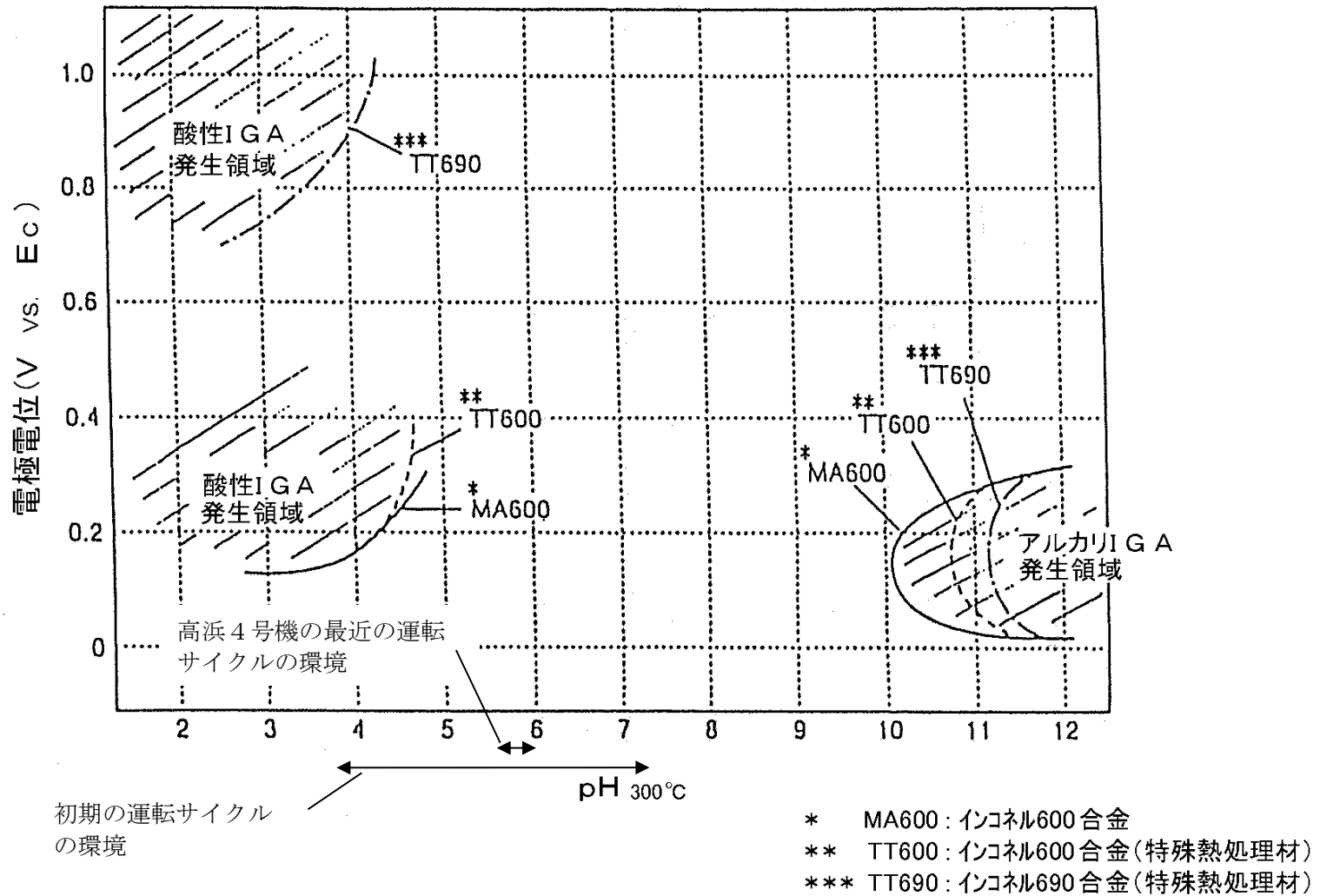


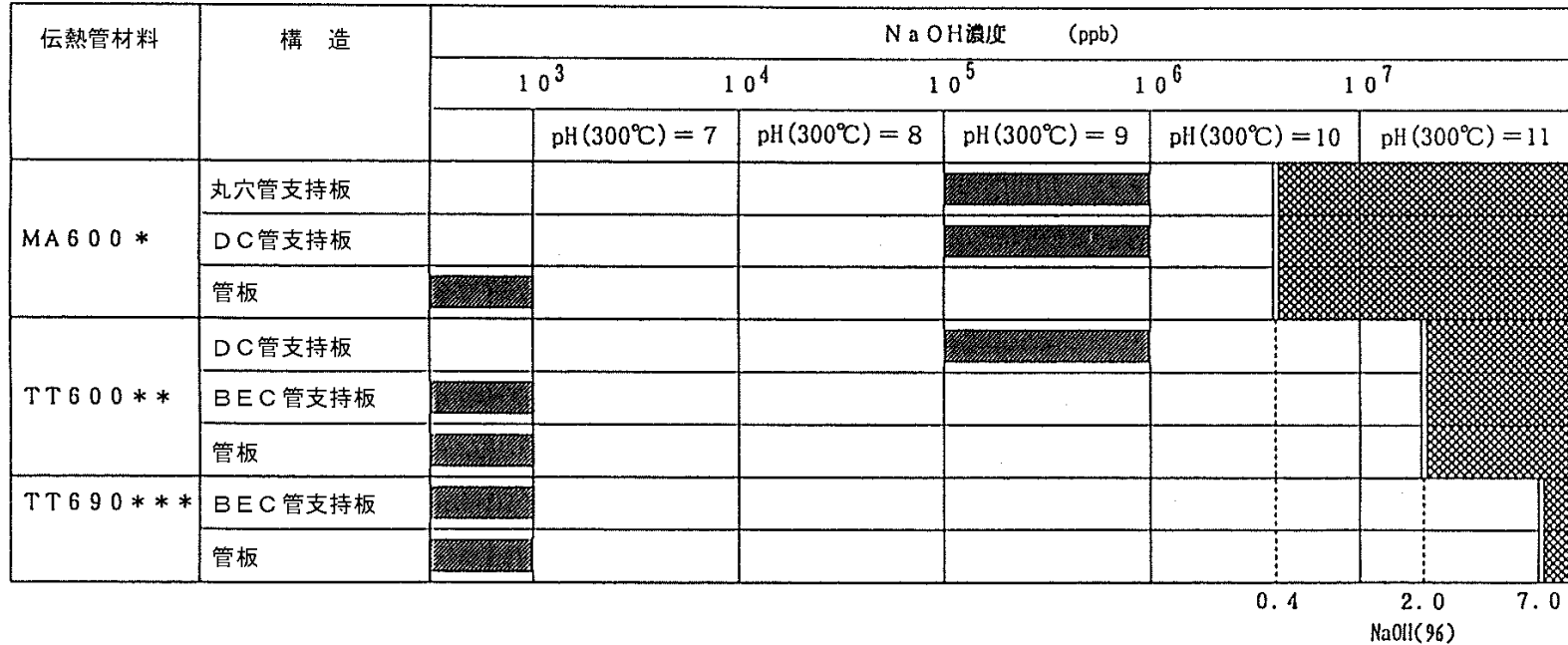
図2.2-2 伝熱管材料の粒界腐食割れ発生環境条件

[出典：発電設備技術検査協会「第7回 報告と講演の会 報告成果スライド集（平成6年10月28日）」]

表2.2-1 管支持板部濃縮度とIGA発生領域の関係

[出典：発電設備技術検査協会 原子力発電所水質等環境管理技術 信頼性実証試験に関する調査報告書 (H6.3)]

(ただし、高温 (300℃近辺) でのpHを記載し、IGA発生領域を各伝熱管材料毎に整理している)



* MA600：インコネル600合金

** TT600：インコネル600合金（特殊熱処理材）

*** TT690：インコネル690合金（特殊熱処理材）

クレビス部での濃縮倍率

丸穴型： $10^5 \sim 10^6$

DC型： $10^5 \sim 10^6$

BEC型：約 10^3

■ 濃縮を考慮した実機水質環境^(注1)

■ IGA発生領域^(注2)

(管板は全厚並管後に残る微小クレビスを想定)

(実機SG器内水中NaOH濃度：～1ppb)

(注1) 実機蒸気発生器器内水中ナトリウムイオン濃度は1ppb以下である。一方、クレビス部の濃縮倍率に関する試験結果は図2.2-1に示すとおり丸穴管支持板およびDC管支持板では $10^5 \sim 10^6$ 、BEC管支持板、管板部では約 10^3 と推定され、これより図中のNaOH濃度範囲にあるものと推定される。

(注2) 図2.2-2のアルカリIGA発生領域のうち最も厳しい領域を記載したものを。

- TT600 冷間加工度2% K値大 pH_{320℃}5.5 (A) (試験記号: VPTX08A)
- ◻ TT600 冷間加工度2% K値大 pH_{320℃}5.5 (B) (試験記号: VPTX08B)
- TT600 冷間加工度2% K値中 pH_{320℃}5.5 (A) (試験記号: VPTY08A)
- ◻ TT600 冷間加工度2% K値中 pH_{320℃}5.5 (B) (試験記号: VPTY08B)
- ⊠ TT600 冷間加工度2% K値小 pH_{320℃}5.5 (A) (試験記号: VPTZ08A)
- ⊡ TT600 冷間加工度2% K値小 pH_{320℃}5.5 (B) (試験記号: VPTZ08B)

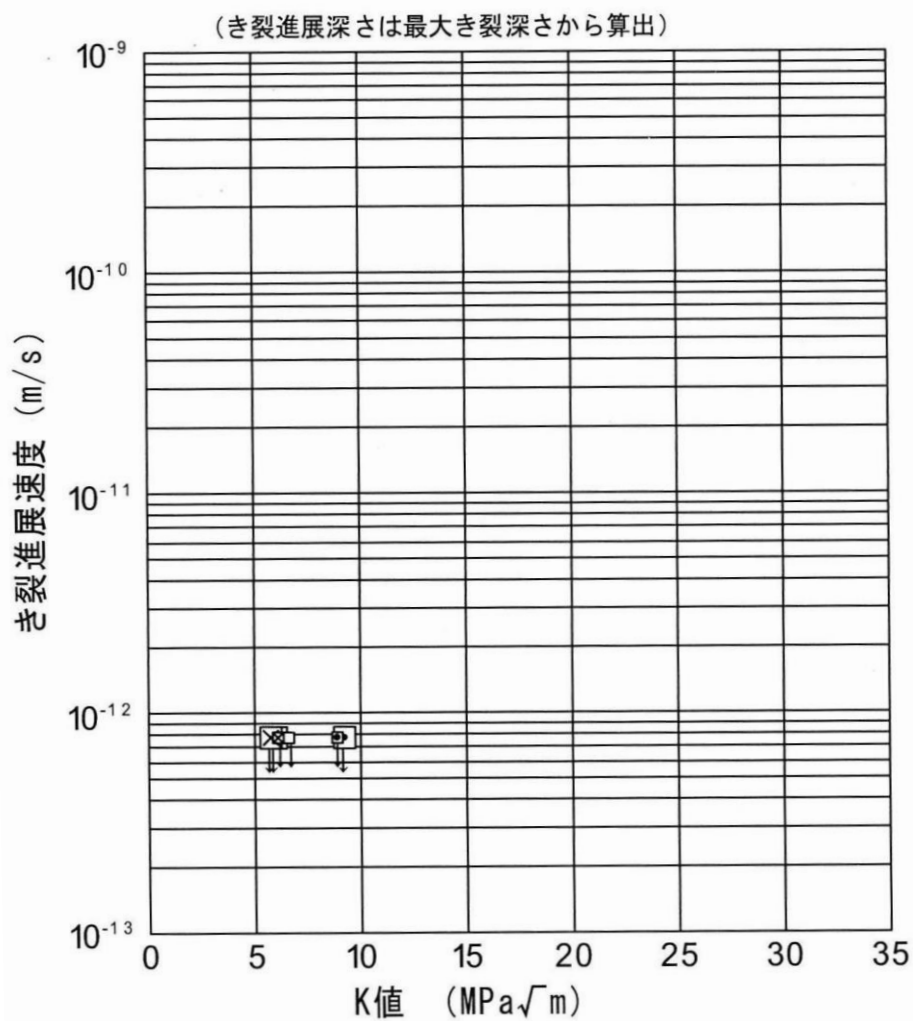


図2.2-3 2次側水質試験 (pH_{320℃}5.5) の応力拡大係数と亀裂進展速度

[出典: 原子力安全基盤機構 平成16年度 高経年化対策関連技術調査等 (ニッケル基合金応力腐食割れ (SCC) 進展評価手法の調査研究) に関する報告書]

(この条件下での亀裂進展速度は全て < 7.7 × 10⁻¹³ m/s 以下)

③ ピッチェィング（孔食）

管板上のスラッジ堆積部において、酸化銅等による酸化性雰囲気下で塩化物が濃縮し、2次側表面からの局所的な腐食が発生する可能性がある。

しかしながら、現状の水質環境下よりも塩化物イオン濃度を高くした厳しい条件下で、実機模擬スラッジによる腐食電位を測定したところ、腐食電位上昇はわずかであることから、ピッチェィング発生の可能性は小さい。

④ 管板直上部腐食損傷

拡管による残留応力と管側2次側上面のスラッジ堆積部での腐食環境の重畳により、2次側表面から損傷する可能性があり、海外のキスロール^(注)、爆発拡管等の600系ニッケル基合金プラントにおいて、高温側管板直上部2次側表面に周方向損傷等が報告されている。

原因は、キスロールプラントについてはショットブラスト材の炭素鋼が管板上で堆積して腐食し、体積膨張を起こしたことに伴うデンティンギにより高応力となり、応力腐食割れが発生したと推定されている。

また、爆発拡管等のプラントについては拡管による残留応力およびスラッジ堆積部での腐食環境が重畳したことによるものと推定されている。なお、国内の600系ニッケル基合金プラントでは、これまでの渦流探傷検査で同損傷は認められていない。

高浜4号炉は、600系ニッケル基合金（特殊熱処理材）を使用しており、材料の耐食性向上、流動改善（水流の抵抗を減少させ低流速領域を減少させるとともに、低流速領域をSGブローダウン取出口に近づけてスラッジの排出を促す）によるスラッジ堆積防止を行っており、かつ液圧拡管により拡管境界部の応力を低減させていることから、腐食発生の可能性は小さい。

(注)キスロールはフラマトム製蒸気発生器で一時期使用されていた拡管手法であり、ローラで2段拡管を行い、1段目の拡管境界部を管板上面に、2段目の拡管境界部を管板内におくものである。

⑤ フレッシング疲労

AVBの挿入不足により、伝熱管の外表面を流れる流体によって伝熱管が振動し、最上段管支持板部等で2次側表面からフレッシングによる疲労損傷が発生する可能性がある。

しかしながら、仮に流力弾性振動が発生し、AVB部の摩耗減肉が発生した場合、現状減肉の補修基準である20%の減肉による隙間増加を考慮しても、伝熱管支持板部での発生応力は小さく、フレッシング疲労による破断が発生する可能性は小さい。

⑥ 管板拡管部および拡管境界部応力腐食割れ (SCC : Stress Corrosion Cracking)

応力腐食割れは、材料・応力・環境の3要因により発生し、運転時間の経過にともない顕在化してくる時間依存型の損傷である。

600系ニッケル基合金(特殊熱処理材)は、PWR1次系水質環境下で応力腐食割れ感受性を有しており、応力腐食割れが発生し破断するまでの時間は応力の大きさに依存することが知られている。民間研究による温度および水質加速定荷重応力腐食割れ試験の結果を図2.2-4に示す。

また、600系ニッケル基合金(特殊熱処理材)のPWR1次系水質環境下における応力腐食割れの環境要因としては、溶存酸素、塩化物イオン等の化学成分および温度が重要要因となる。しかし、PWRの1次系水は、水素注入や脱塩処理により、溶存酸素濃度、塩化物イオン濃度等を極力低減している。このことから、環境要因としては温度が重要な要因となり、温度が高いほど応力腐食割れ発生時間が短くなる。

高温側の管板部のローラ拡管上端部またはローラ拡管重なり部において、第11回定期検査時(1999年度)から第13回定期検査時(2001年度)の渦流探傷検査で有意な信号指示が確認されている。

高温側の管板部で確認された応力腐食割れについて、現状知見を踏まえて使用部位の応力・温度条件をもとに評価を行った結果を表2.2-2に示す。

本事象は、製作時に高温側の管板部で伝熱管を拡管する際、伝熱管内面で局所的に引張残留応力が発生し、これと運転時の内圧による応力が相まって、伝熱管内面から応力腐食割れが発生したものと推定されており、

定期検査時の渦流探傷検査で確認された応力腐食割れを有する伝熱管は全て施栓により供用除外としている。

管板拡管部で応力腐食割れが確認された状況を踏まえ、渦流探傷検査に従来適用しているDF-ECTに替え、検出性能が向上したインテリジェントECTを適用し、伝熱管の定期検査の高度化を図っている。

インテリジェントECTは、美浜2号炉蒸気発生器伝熱管破断事象を契機に国のプロジェクトとして検査技術の高度化に取り組み、長年の研究開発を経て、2003年に実施した確性試験で実用性を確認し、実機適用が可能となった検査手法である。高浜4号炉では第15回定期検査時（2004年度）以降の定期検査に適用している。

さらに、高温側の管板拡管部および拡管境界部応力腐食割れの対応として、第13回定期検査時（2001年度）に予防保全措置としてショットピーニング（応力緩和）を施工し、応力要因の改善を図っている。

高浜4号炉の応力腐食割れの検出本数の推移とショットピーニング施工時期を図2.2-5に示す。比較として同じ600系ニッケル基合金（特殊熱処理材）伝熱管材と拡管工法を採用し、ショットピーニングを施工していない蒸気発生器の実績も図2.2-5に示す。ショットピーニングを施工していない蒸気発生器では継続的に応力腐食割れの発生が認められたが、高浜4号炉ではショットピーニング施工後に新たに確認される応力腐食割れの検出本数の減少が確認される。管板拡管部に対するショットピーニング施工は、応力腐食割れに対する保全措置に対して一定の効果があったと考える。

拡管部および拡管境界部に施工したショットピーニングによる応力改善の効果を図2.2-6に示す。当該工法は伝熱管内表面から深さ約0.2mmまで圧縮応力を付与できるものであることから、圧縮応力が付与された伝熱管内表面近傍においてショットピーニング施工後に新たな応力腐食割れの発生および進展は防止されるものとする。

しかしながら、ショットピーニング施工後の第14回定期検査時（2003年度）、第18回定期検査時（2008年度）から第21回定期検査時（2018年度）の渦流探傷検査で有意な信号指示が確認されている。

本事象は、ショットピーニング施工前後に実施した渦流探傷検査が管内表面から約0.5mm以上の深さの傷を検出することが可能な手法であったことから、表2.2-3に示すように、ショットピーニング施工後に供用を継続した伝熱管において、圧縮応力の付与されない範囲に当該検査で検出不可能な深さの応力腐食割れ（管内表面から約0.2mm～約0.5mm深さの応力腐食割れ）が潜在し、その後の運転で応力腐食割れが進展、顕在化したものと推定さ

れている。

したがって、高温側の管板拡管部では、今後も応力腐食割れの検出が想定されるため、定期的な検査による健全性の確認が必要と考える。

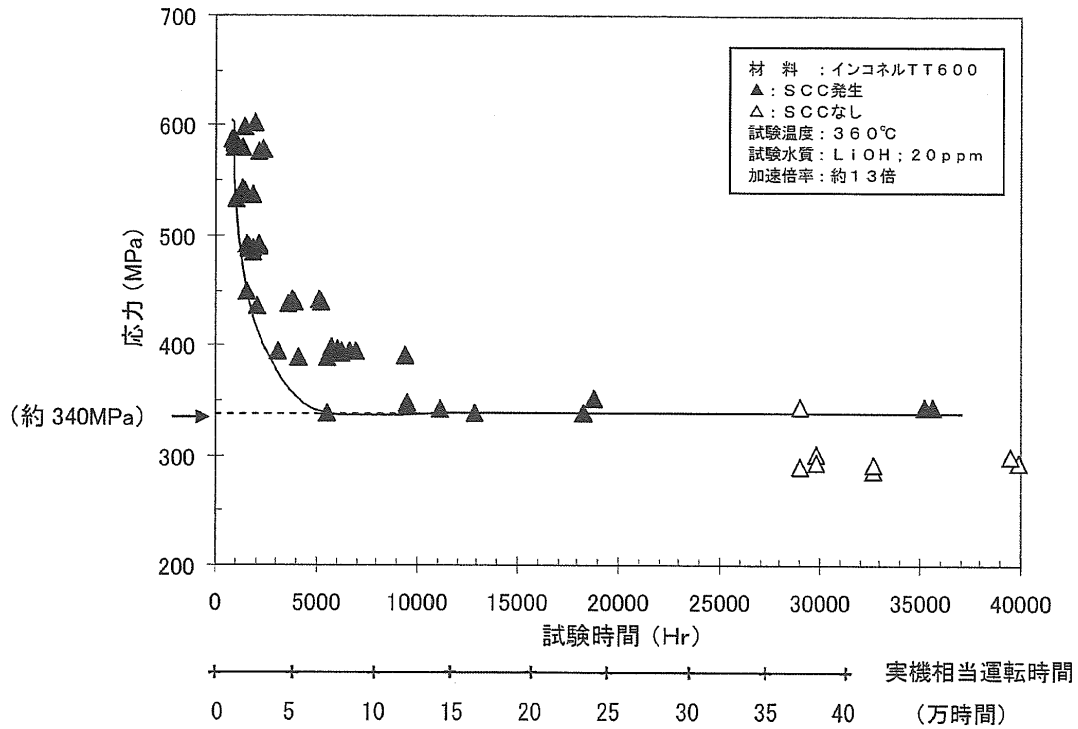


図2.2-4 蒸気発生器伝熱管材の定荷重応力腐食割れ (SCC) 試験結果
(600系ニッケル基合金 (特殊熱処理材))

[出典 : 電力共通研究「蒸気発生器伝熱管応力腐食割れの寿命予測に
関する研究 (フェイズ5)」2003年度]

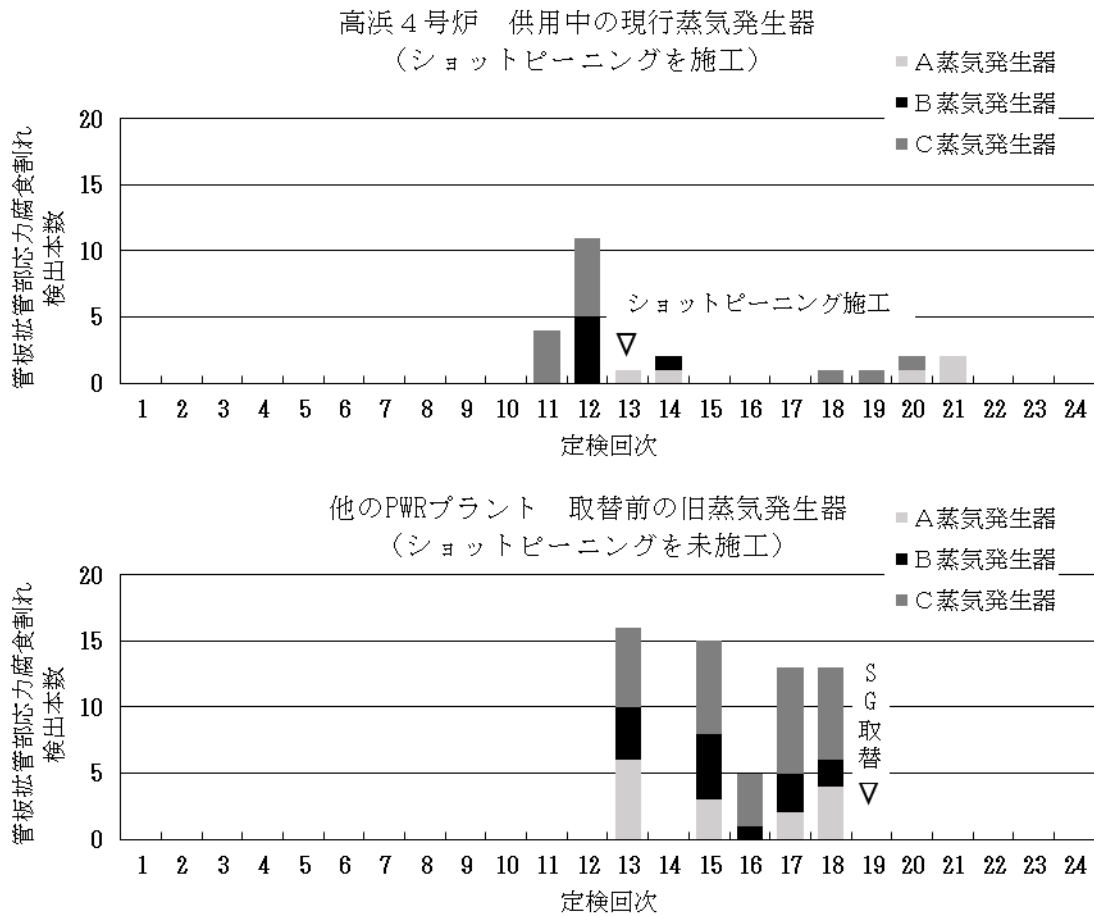


図2.2-5 国内蒸気発生器の管板拡管部応力腐食割れの検出状況
(600系ニッケル基合金(特殊熱処理材)、全厚液圧+全厚ローラ拡管採用プラント)

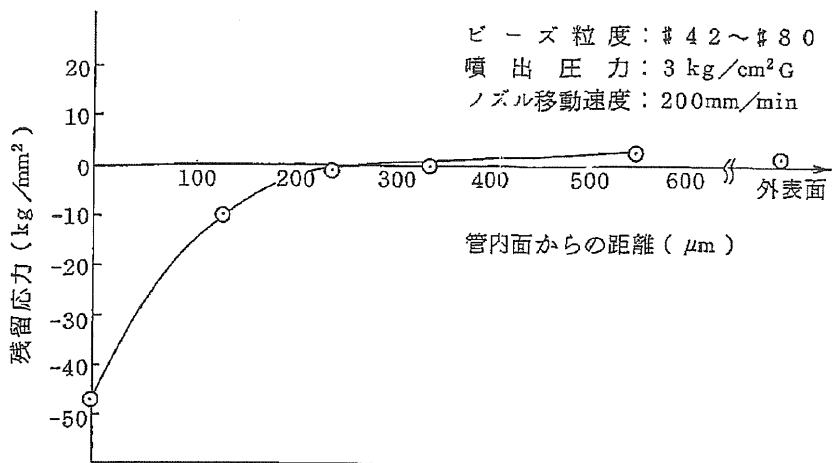


図2.2-6 ショットピーニング施工管の周方向残留応力の管肉厚方向分布
(X線法による測定)

[出典: メーカーデータ 原子力発電技術顧問会機器部会 審議資料「蒸気発生器周辺部伝熱管クレビス部リロール工法およびショットピーニング工法について」昭和61年8月]

表2.2-2 拡管部および拡管境界部の応力レベル（実寸大拡管モックアップによるポリチオン酸試験結果）

[出典：メーカーデータ 第11回定期検査 蒸気発生器伝熱管 渦流探傷検査結果 顛末書「蒸気発生器伝熱管の抜管調査結果について」

（平成11年6月）より抜粋、健全性評価を追記

モデル	拡管法	管板管穴形状	実寸大拡管部モックアップの割れ検出位置 （浸透探傷試験での指示位置）		実機運転条件		健全性評価
					割れ検出位置 の推定応力	温度	
ローラ拡管不良を模擬	液圧拡管 + ローラ拡管	ローラ先端部近傍に 0.05mm深さ、軸長さ35mm の全周溝			310MPa以下 (32kg/mm ² 以下)	320℃	SCCが発生する可能性 は小さい。
部分的な 管板管穴拡大を模擬	液圧拡管 + ローラ拡管	ローラ先端部近傍に 0.1mm深さ、軸長さ35mm の1/3周溝（部分溝）			~370MPa (~38kg/mm ²)	320℃	残留応力と運転中の内圧 応力が相まってSCCが発 生する可能性が考えられ る。
		ローラ拡管先端部に 0.1mm深さ、軸長さ10mm の1/3周溝（部分溝）			~370MPa (~38kg/mm ²)	320℃	
正常拡管	液圧拡管 + ローラ拡管	溝なし			~290MPa (~30kg/mm ²)	320℃	本拡管工法は高浜3/4 号炉に適用した工法に該 当する。 SCCが発生する可能性 は小さい。
	ローラ拡管	溝なし			~440MPa (~45kg/mm ²)	320℃	(参考)本拡管工法は高 浜3/4号炉以前に適用 されていた工法である。 SCCが発生する可能性 がある。

表2.2-3 蒸気発生器伝熱管へのショットピーニングの有効性について

	SG伝熱管ショットピーニング (ECTにより施工前の表面状態を確認)	(参考) SG管台超音波ショットピーニング (ECTにより施工前の表面状態を確認)
ECT検出可能範囲と 圧縮応力付与範囲の関係	<p>伝熱管板厚 約 1.3mm</p> <p>圧縮応力付与範囲^{※1} 約 0.2mm</p> <p>ECT^{※2}検出可能範囲 約 0.5mm 以上</p> <p>※1: 伝熱管は薄肉管であることから、外面に大きな引張残留応力を残留させずに、圧縮応力を付与できる範囲が小さい。 ※2: 高浜3/4号炉でショットピーニング施工時に実施したDF-ECTの場合(現在適用しているインテリジェントECTでもほぼ同様)。</p>	<p>管台溶接部板厚 約 80mm</p> <p>圧縮応力付与範囲 約 1mm</p> <p>ECT^{※3}検出可能範囲 約 0.5mm 以上</p> <p>※3: 高浜3/4号炉で超音波ショットピーニング施工時に実施したECTの場合</p>
施工前確認時の対応	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 圧縮応力の付与されない範囲で、ECTで検出可能であったPWSCCは、当該管を施栓し、供用外としている。(①) ➤ 圧縮応力の付与されない範囲で、ECTにより検出されないPWSCCが存在した状態でショットピーニングを施工した可能性は否定できない。(②) ➤ 圧縮応力の付与される範囲にECT検出限界未満のPWSCCが存在したとしても、進展は停止するものと考えられる。(③) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 圧縮応力の付与されない範囲で、ECTで検出可能であったPWSCCは、除去した上で超音波ショットピーニング等^{※4}を施工している。(①) ➤ 圧縮応力の付与される範囲で、ECTにより検出可能であったPWSCCは、除去した上で超音波ショットピーニング等^{※4}を施工している。(②) ➤ 圧縮応力の付与される範囲にECT検出限界未満のPWSCCが存在したとしても、進展は停止するものと考えられる。(③) <p>※4: 高浜3/4号炉の冷却材入口管台(高温側の管台)は、ECTで検出されたPWSCCは除去した上で耐食性に優れた690系ニッケル基合金による溶接への変更を選択。</p>
有効性の評価	<p>ショットピーニングを施工した時点で、圧縮応力の付与されない範囲にECTにより検出不能なPWSCC(約0.2mm~約0.5mmの深さのPWSCC)が既に存在したとすると、ショットピーニング施工後もPWSCCが進展し、顕在化する可能性がある。</p>	<p>超音波ショットピーニングを施工した時点で、圧縮応力の付与される範囲とECTの検出能力の関係から、圧縮応力の付与されない範囲にPWSCCが存在する可能性はなく、超音波ショットピーニングの施工後にPWSCCが進展し、顕在化することはない。</p>

渦流探傷検査で検出不可能な傷がショットピーニング施工時点で存在し、その後の運転で、渦流探傷検査で検出できる深さに成長することが考えられる。そこで、渦流探傷検査で検出できない深さの傷が、構造上許容される深さの傷に成長するのに要する時間を検討すると、以下のとおりとなる。

$$T = (t_{CL} - t_{ET}) \div V$$

ここで、T : 亀裂が進展するのに要する時間

t_{CL} : 構造上許容される亀裂の深さ

t_{ET} : 保守的に、渦流探傷検査で検出できる亀裂の深さを考慮する

V : 亀裂進展速度

構造上許容される亀裂の深さは、設計条件および事故時における欠陥を有する伝熱管の内圧強度の検討結果から $t_{CL}=0.83\text{mm}$ (元の板厚の約66%深さ) を用いる。渦流探傷検査で検出できる傷 (内面軸方向の割れ状欠陥) の深さは、当該検査手法の確性試験の確認結果から $t_{ET}=0.46\text{mm}$ (元の板厚の約36%深さ) を用いる。亀裂進展速度は、600系ニッケル基合金 (特殊熱処理材) 伝熱管のローラ拡管部で想定される進展速度として、 $V=3.3 \times 10^{-9} \text{mm/s}$ を用いる。

これにより、渦流探傷検査で検出できない深さの傷が、構造上許容される深さの傷に成長するのに要する時間は、

$$\frac{(0.83 - 0.46) \text{ mm}}{(3.3 \times 10^{-9}) \text{ mm/sec}} \div 3600 = 3 \text{ 万時間}$$

である。よって、定期検査ごとに全数の渦流探傷検査を実施することにより健全性を確保できると考える。

⑦ 小曲げUバンド部応力腐食割れ (SCC)

小半径Uバンド曲げ加工に伴う高残留応力と、運転中の作用応力が重畳することにより1次側表面から応力腐食割れが発生する可能性がある。

しかしながら、応力腐食割れは、材料・応力・環境の3要因により発生するが、高浜4号炉では600系ニッケル基合金 (特殊熱処理材) 採用による耐応力腐食割れ性向上とともに、応力除去焼鈍を実施して残留応力をほぼゼロに抑えている。また、内圧および熱伸び差による作用応力も小さくなく、応力腐食割れ発生の可能性は小さい。

⑧ デンティンク

炭素鋼製管支持板の管支持板クレビス部において腐食が発生すると、その腐食生成物は元の炭素鋼より体積が増大する。この腐食生成物の成長により伝熱管が徐々に圧迫され変形する可能性がある。

管支持板クレビス部の腐食生成物の成長については、管支持板材料、形状、水質環境によって発生条件が異なる。また、腐食は水質環境中の塩化物イオン濃度に依存するが、現状のAVT (All Volatile Treatment ; 全揮発性薬品処理) 環境下では炭素鋼製管支持板のドリル穴の場合でも、運転開始後60年時点での予想される腐食量はわずかである。高浜4号炉ではそれよりも腐食量の少ないステンレス鋼製管支持板のBEC穴を採用していること、国内の取替前蒸気発生器 (炭素鋼製管支持板とドリル穴の組み合わせ) でも発生していないことも勘案して、デンティンクが発生する可能性は小さい。

⑨ 管支持板直下部摩耗

2020年11月、高浜4号炉において、管支持板直下部の伝熱管外面にスケールによる摩耗減肉が確認されている。本事象は、伝熱管下部の表面に生成された稠密層が主体のスケールが、プラント起動・停止に伴いはく離したものが運転中の上昇流で管支持板下面に留まり、伝熱管に繰り返し接触したことで摩耗減肉が発生したものと推定している。また、2022年3月、高浜3号炉および2022年7月、高浜4号炉においても、管支持板直下部の伝熱管外面に摩耗減肉が確認されており、上記と同様の事象と推定している。

しかしながら、2次側水質はAVT (All Volatile Treatment ; 全揮発性薬品処理) で管理しており、給水の水質を溶存酸素濃度5ppb以下、pH8.8～10.6と適切な管理により鉄持込量を抑制している。また、2020年11月、高浜4号炉の事象を受け第23回定期検査時 (2020～2021年度) に薬品洗浄 (ASCA (Advanced Scale Conditioning Agent)) を、2022年3月、高浜3号炉および2022年7月、高浜4号炉の事象を受け第24回定期検査時 (2022年度) に小型高圧洗浄装置による洗浄および薬品洗浄を実施しており、蒸気発生器器内に残存するスケールおよびスラッジの可能な限りの除去および稠密なスケールの脆弱化を図っている。さらに、スケールの性状を監視するために、定期的に管板および第一・第二管支持板上面にあるスケールを回収し、稠密層厚さ計測およびスケール摩耗試験を実施し、必要に応じて薬品洗浄および小型高圧洗浄装置による洗浄をすることとしており、機器の健全性は確保できると考える。

蒸気発生器伝熱管に対しては、開放点検時に全数渦流探傷検査を実施し、健全性を維持している。また、定期的にスラッジランシングを実施し、管板上のスラッジ除去を実施している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、蒸気発生器については、伝熱管材料が600系ニッケル基合金であり、管板拡管部の応力腐食割れ等の発生が否定できないことから、最新設計を反映した蒸気発生器への取替計画を策定しており、計画に基づき取替を実施する。

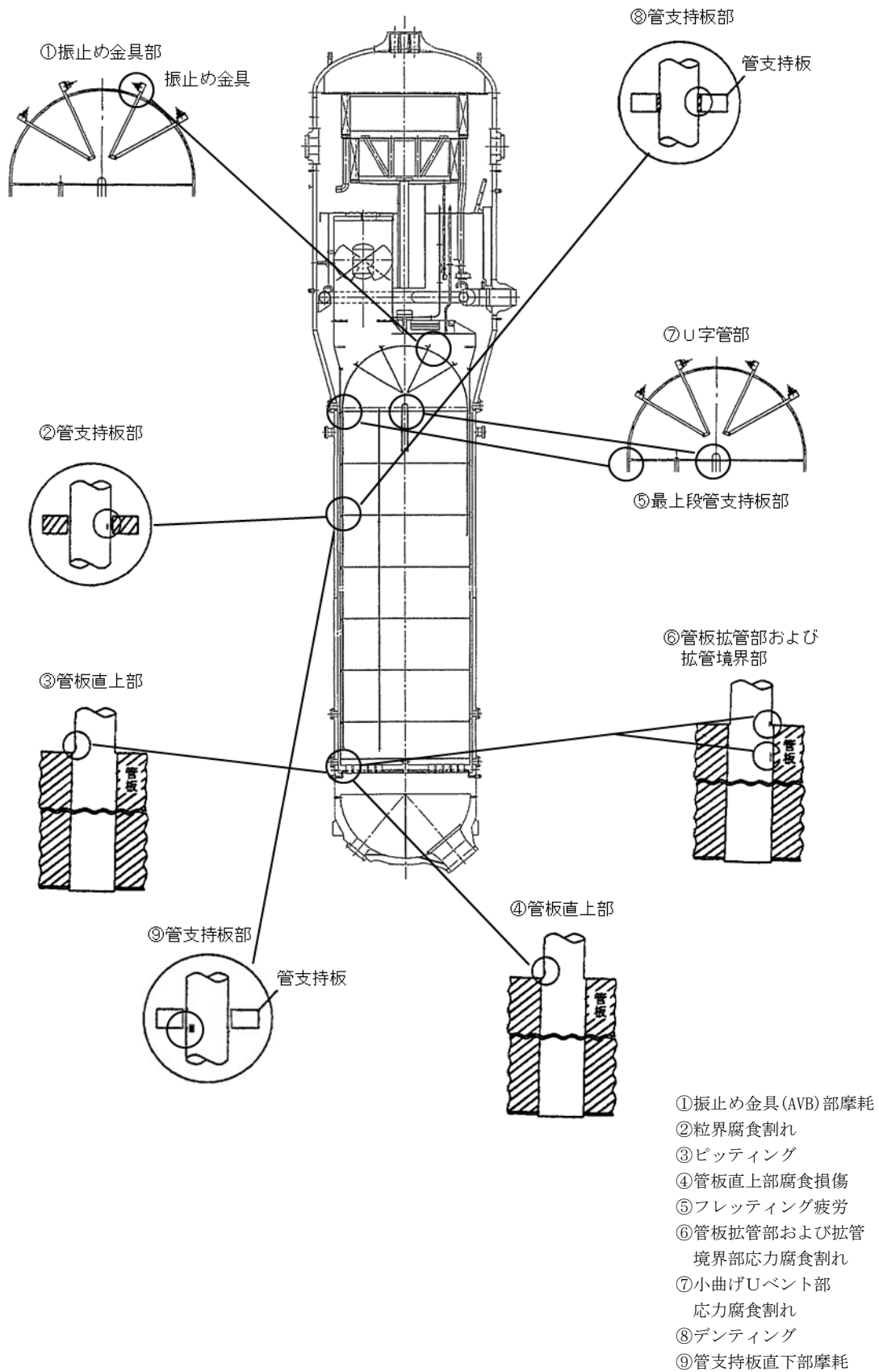


図2.2-7 高浜4号炉 蒸気発生器伝熱管の損傷が想定される部位

(2) 伝熱管の管板クレビス部応力腐食割れ

伝熱管は液圧拡管＋全厚ローラ拡管としており、管板クレビス部で応力腐食割れが発生する可能性はない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時の渦流探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(3) 伝熱管のスケール付着

2次側の流体の不純物持ち込みによるスケール付着が発生し、伝熱性能に影響を及ぼすことが想定される。

しかしながら、運転中の温度や圧力等のパラメータ監視により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) 管支持板穴へのスケール付着

海外では、BEC型管支持板を採用しているプラントにおいて、上部管支持板BEC穴の流路部分でスケール付着による閉塞によって蒸気発生器の2次側水位の上下動が発生し、これを抑制するために出力を低下させたと報告されており、高浜4号炉においても同一構造の管支持板を採用していることから、スケール付着による閉塞が想定される。

しかしながら、開放点検時に渦流探傷検査信号による閉塞率評価を実施し、スケール付着傾向を監視するとともに、必要に応じてカメラによる目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) 冷却材出入口管台セーフエンドの応力腐食割れ

2007年9月、美浜2号炉のA-蒸気発生器冷却材入口管台セーフエンド（ステンレス鋼製）内面において、非常に軽微な粒界割れが管台と溶接部境界近傍の機械加工部において確認されている。

割れの起点は確認できていないが、製作時に入口管台とセーフエンド溶接近傍の内面の極表層部において高い残留応力が発生し、溶接部近傍において運転中に粒界割れが進展したものと推定されており、これまでの研究ではPWR環境中の冷間加工層で応力腐食割れ発生は確認されていないが、硬さの上昇とともに進展速度が増加することがわかっている。また、硬さの上昇とともに応力腐食割れ発生の感受性も高まることから、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、高浜4号炉の冷却材出口管台とセーフエンドの溶接部近傍については、第18回定期検査時（2008年度）に超音波ショットピーニング（応力緩和）を施工しており、冷却材入口管台セーフエンドについては、第18回定期検査時（2008年度）に応力緩和措置を行っていることから、応力腐食割れが発生する可能性はないと考える。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、冷却材出入口管台の応力腐食割れに対しては、機器点検時に溶接部の超音波探傷検査および浸透探傷検査により有意な欠陥がないことを確認し、漏えい試験により耐圧部の健全性を確認している。

(6) 600系ニッケル基合金使用部位の応力腐食割れ

600系ニッケル基合金使用部位には、PWR 1次系水質環境下では応力腐食割れが想定される。

600系ニッケル基合金のPWR 1次系水質環境下における応力腐食割れの環境要因としては、溶存酸素、塩化物イオン等の化学成分および温度が重要となる。しかし、PWRの1次冷却材は、水素注入や脱塩処理により、溶存酸素濃度、塩化物イオン濃度等を極力低減している。このことから、環境要因としては温度が重要となり、温度が高いほど応力腐食割れ発生時間が短くなる。

600系ニッケル基合金の応力腐食割れについて、現状知見を踏まえて使用部位の応力・温度条件をもとに評価を行った結果を表2.2-4に示す。

冷却材出口管台については、第18回定期検査時（2008年度）に予防保全措置として浸透探傷検査を実施し、異常のないことを確認した上で、超音波ショットピーニング（応力緩和）を施工している。その他の部位については、美浜2号炉蒸気発生器を1994年に取替えた際の実験前機器に対する点検では有意な欠陥は認められていないことから、応力腐食割れが問題となる可能性は小さいと考える。

また、冷却材出口管台については、定期的に溶接部の超音波探傷検査および浸透探傷検査を、管板1次側内張りおよび仕切板については定期的に目視確認を実施し、有意な割れのないことを確認している。また、漏えい確認を実施し、耐圧部の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

表2.2-4 高浜4号炉 蒸気発生器 600系ニッケル基合金の応力腐食割れ健全性評価

区分	部位	実機運転条件		トラブル事例	総合評価	健全性評価	点検、検査実績
		温度	応力				
母材	水室仕切板 (仕切バー、当板を含む)	高	低	無	③	発生の可能性は小さい。	美浜2号炉第14回定期検査時(1991～1994年度)に目視確認。異常認められず。 ^{*1}
	仕切板当板ボルト	高	低	無	③	発生の可能性は小さい。	定期検査毎(水室内作業時)に目視確認。異常認められず。
溶接部	管板1次側内張り (伝熱管と管板の溶接 (管板側)含む)	高	低	無	③	発生の可能性は小さい。	美浜2号炉第14回定期検査時(1991～1994年度)に浸透探傷検査。異常認められず。 ^{*1}
	管板と仕切バーの溶接	高	低	無 ^{*2}	②	SCC発生の可能性が生じるのは長時間運転経過後である。	美浜2号炉第14回定期検査時(1991～1994年度)に浸透探傷検査。異常認められず。 ^{*1}
	水室鏡と仕切板の溶接		低				
	伝熱管と管板の溶接 (伝熱管側)	高	低	無	③	発生の可能性は十分低い。	美浜2号炉第14回定期検査時(1991～1994年度)に浸透探傷検査。異常認められず。 ^{*1}
	冷却材出口管台肉盛	低	高 ^{*3}	無 ^{*4}	③	第18回定期検査時(2008年度)に超音波ショットピーニングによる予防保全措置を実施。発生の可能性は十分低い。	第18回定期検査時(2008年度)に渦流探傷検査。異常認められず。
冷却材出口管台とセーフエンドの溶接	低	高 ^{*3}	無 ^{*4}	③	第18回定期検査時(2008年度)に超音波ショットピーニングによる予防保全措置を実施。発生の可能性は十分低い。	第18回定期検査時(2008年度)に渦流探傷検査。異常認められず。	

- (総合評価) ① 高温、高応力の部位
 ② 低温、高応力又は高温、低応力であるが、温度/応力のどちらかの条件が厳しい部位
 ③ 低温、高応力又は高温、低応力の部位
 ④ ①、②、③以外の部位

*1: 美浜2号炉の取替前蒸気発生器による調査結果

*2: 海外(仏国プラント)において1991～2007年の間に合計72基の蒸気発生器水室仕切板の検査が実施され、うち900MWeループプラントの10基の蒸気発生器でPWSCCを検出しているが、仕切板が上下一体構造であり発生部位は仕切バーと仕切板の溶接部と報告されている。(国内プラントには当該溶接はない。)

*3: 当該部には超音波ショットピーニングを施工しており、応力は緩和されていると考えられる。

*4: 冷却材入口管台肉盛、冷却材入口管台とセーフエンドとの溶接は、2007年度に美浜2号炉、高浜2号炉、高浜3号炉にて超音波ショットピーニングの事前検査で実施した渦流探傷試験にて傷(応力腐食割れ)を検出したことを踏まえ、690系ニッケル基合金への変更を第18回定期検査時(2008年度)に計画し、実施している。

(7) 2次側構成品の腐食

2次側構成品のうち、炭素鋼または低合金鋼を使用している蒸気出口管台、給水入口管台、2次側胴、検査用穴、2次側マンホール、気水分離器、湿分分離器、給水リング、サーマルスリーブは、腐食が想定される。また、蒸気あるいは水が衝突する部位や、局所的に流速の速くなる部位では、腐食が加速されることにより、減肉が想定される。

しかしながら、2次側水質はAVT (All Volatile Treatment ; 全揮発性薬品処理) で管理しており、給水の水質を溶存酸素濃度5ppb以下、pH8.8~10.6と腐食防止の観点から適切に管理しており、AVT環境下における運転開始後60年時点での予想される腐食量は約73 μ m [発電設備技術検査協会「原子力発電所水質等環境管理技術信頼性実証試験に関する調査報告書〔総括版〕平成5年度」] となり、腐食量としては無視できるものである。

また、運転時間10万時間を経過した美浜2号炉の旧蒸気発生器において、腐食の可能性のある炭素鋼製の湿分分離器の調査を行った結果、断面のマクロ観察によっても腐食などは認められておらず、健全な状態を確認している。

一方、流れ加速型腐食については、温度や流速が大きく影響し、厳しいと考えられるのは蒸気出口管台、給水入口管台、気水分離器のJチューブからの給水が当たる部位、給水リング、給水リングのJチューブおよびサーマルスリーブである。

気水分離器、給水リングおよびサーマルスリーブについては炭素鋼であり、流れ加速型腐食の発生の可能性は否定できないが、目視確認では有意な腐食は認められていないことから、急激な流れ加速型腐食により機器の健全性に影響を与える可能性は小さい。

また、給水リングのJチューブ等に用いている低合金鋼は、実機使用温度220℃程度では、耐流れ加速型腐食性に優れており、給水リングのJチューブ等の低合金鋼使用部位では流れ加速型腐食により機器の健全性に影響を与える可能性は小さい。

蒸気出口管台については、管台内部には耐流れ加速型腐食性に優れた600系ニッケル基合金のフローリストラクタベンチュリーが取り付けられており、流れ加速型腐食により機器の健全性に影響を与える可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、2次側構成品に対しては、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(8) マンホール用ボルトの腐食（全面腐食）

マンホール用ボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

(9) 冷却材入口管台のニッケル基合金溶接部およびメカニカルプラグの応力腐食割れ

冷却材入口管台とセーフエンドの溶接部の接液部およびメカニカルプラグには690系ニッケル基合金を使用しており、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、図2.2-8に示す電力共通研究による690系ニッケル基合金の温度加速定荷重応力腐食割れ試験の結果から、応力腐食割れが発生する可能性は小さいと考えられる。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、漏えい検査により、機器の健全性を確認している。

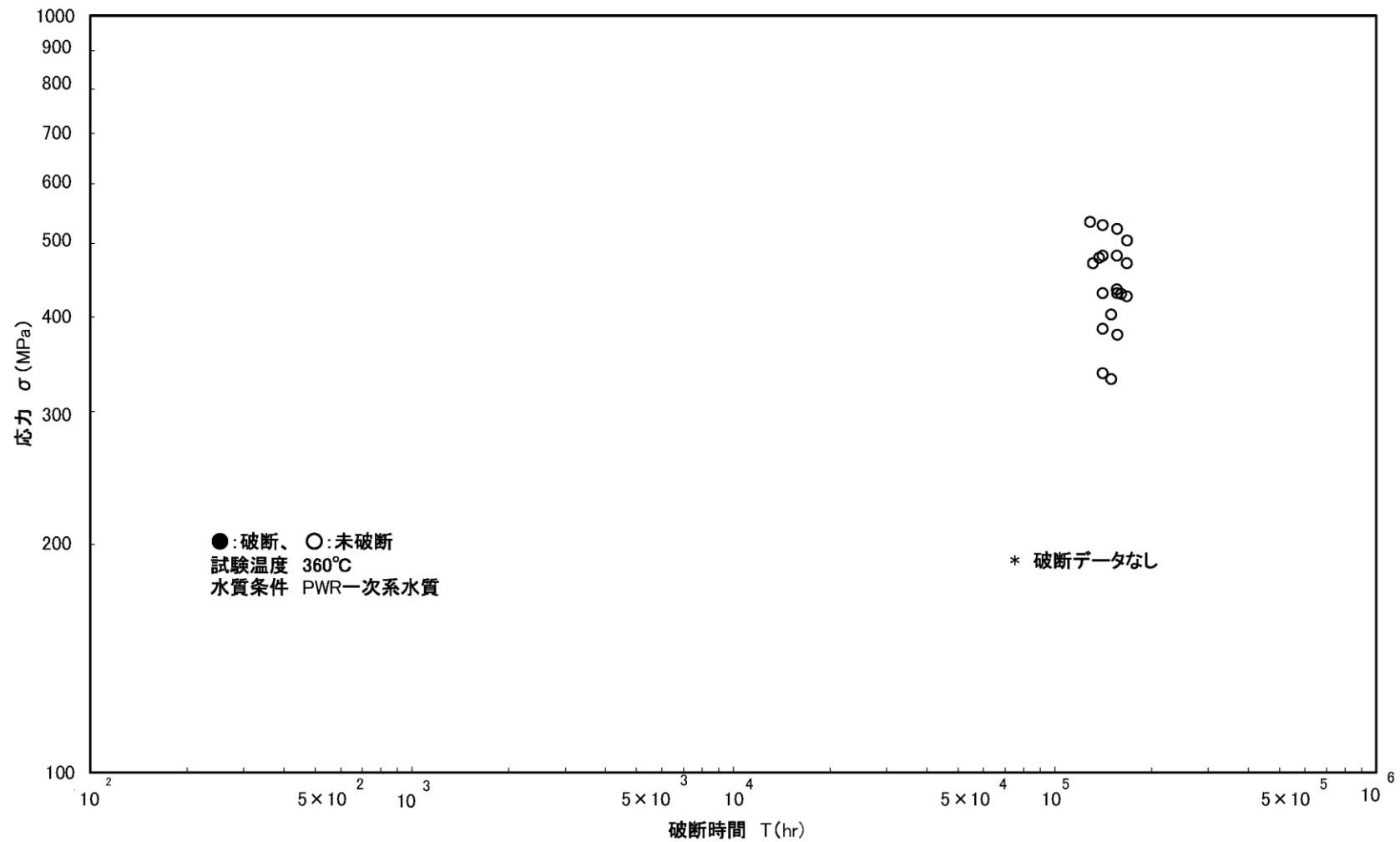


図2.2-8 690系ニッケル基合金の定荷重応力腐食割れ (SCC) 試験結果
[出典：電力共同研究「690合金のPWSCC長期信頼性確証試験 (STEP5) 2020年度 (最終報告書)」]

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(10) 1次側低合金鋼部の内張り下層部の亀裂

管板には低合金鋼を用いており、ニッケル基合金の内張りを施している。一部の低合金鋼（SA-508 Class2）では大入熱溶接を用いた内張りで溶接後熱処理が行われると局部的に亀裂が発生することが米国PVRC（Pressure Vessel Research Council）の研究により確認されている。これは内張り施工の際、6本の溶接ワイヤーで同時に溶接したために大入熱になったものである。

高浜4号炉においては図2.2-9に示すように、材料の化学成分（ ΔG 値）を踏まえ溶接入熱を管理し溶接を実施しており、亀裂の発生する可能性は小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

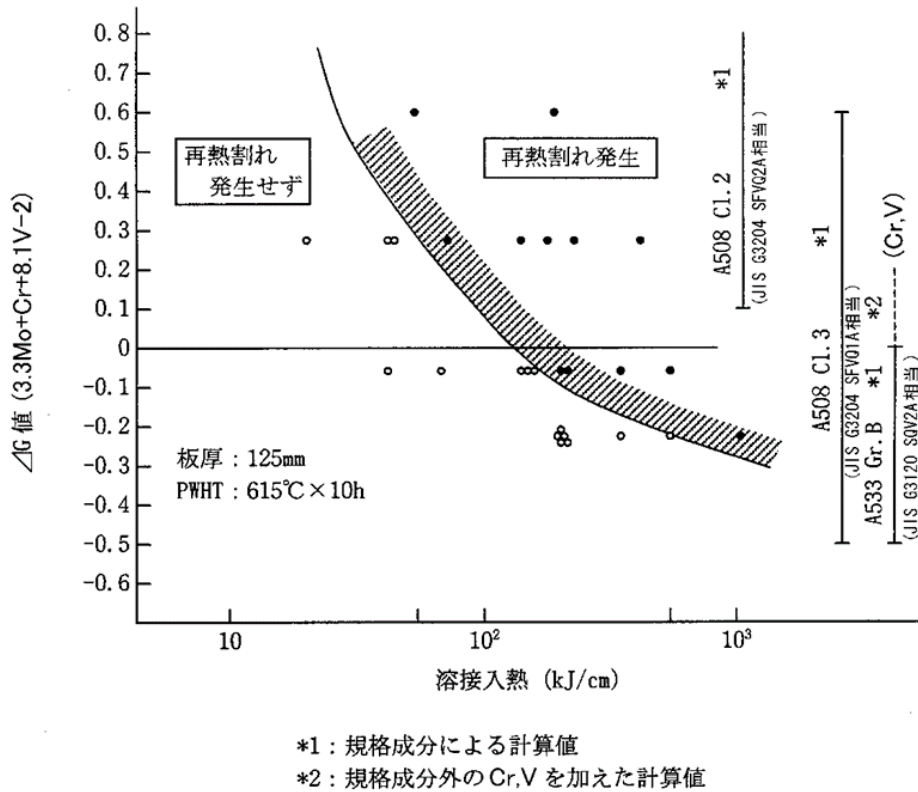


図2.2-9 再熱割れ発生に及ぼす ΔG 値および溶接入熱の影響

[出典：三菱重工技報 Vol.14 No.1 (1977-1)]

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットは開放点検時の目視確認や寸法計測の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-5 高浜4号炉 蒸気発生器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
伝熱性能の確保	伝熱管 ^{*A}		600系ニッケル基合金 (特殊熱処理材)	△ ^{*1、2}	△ ^{*3}	△ ^{*4}	△ ^{*5、6、7}		△ ^{*8、9}	*1：振止め金具(AVB)部摩耗 *2：管支持板直下部摩耗 *3：粒界腐食割れ、 ピitting 管板直上部腐食損傷 *4：フレTTING疲労割れ *5：管板拡管部および拡管 境界部応力腐食割れ *6：小曲げUバンド部 応力腐食割れ *7：クレビス部応力腐食 割れ *8：デンティング *9：スケール付着 *10：内張り下層部の割れ *11：内張り部応力腐食割れ *12：流れ加速型腐食	
	管支持板 ^{*C}		ステンレス鋼						△ ^{*9}		
	振止め金具 ^{*C}		ステンレス鋼	△ ^{*1}							
バウンダリの維持	冷却材出入口 管台セーフエンド ^{*B}		ステンレス鋼 入口：690系ニッケル基合金溶接金属 (接液部) 出口：600系ニッケル基合金溶接金属				△(ステンレス) △ (600系ニッケル基合金) △ (690系ニッケル基合金)				
	1次側鏡板 ^{*B}		炭素鋼鋳鋼 (ステンレス鋼内張り)								
	1次側マンホール ^{*B}		低合金鋼 ステンレス鋼(インサートプレート)								
	管板 ^{*A}		低合金鋼 (600系ニッケル基合金内張り)			○	△ ^{*11}		▲ ^{*10}		
	マンホール用ボルト ^{*B、*C}		低合金鋼		△						
	メカニカルプラグ ^{*A}		690系ニッケル基合金				△				
	ガスケット ^{*B、*C}	◎	—								
	仕切板 ^{*B}		600系ニッケル基合金				△				
	蒸気出口管台 ^{*C}		低合金鋼		△ ^{*12}						
	給水入口管台 ^{*C}		低合金鋼		△ ^{*12}	○					
	2次側胴 ^{*C}		低合金鋼		△						
	フローリストリクタ ベンチュリー ^{*C}		600系ニッケル基合金								
	検査用穴 ^{*C}		低合金鋼		△						
	2次側マンホール ^{*C}		低合金鋼		△						
	気水分離器 ^{*C}		炭素鋼、低合金鋼		△ ^{*12}						
	湿分分離器 ^{*C}		炭素鋼		△						
給水リング (Jチューブ) ^{*C}		炭素鋼、低合金鋼		△ ^{*12}							
サーマルスリーブ ^{*C}		炭素鋼		△ ^{*12}							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 管板および給水入口管台の疲労割れ

a. 事象の説明

プラントの起動・停止時等に熱過渡を繰返し受けるため、疲労が蓄積する。

b. 技術評価

① 健全性評価

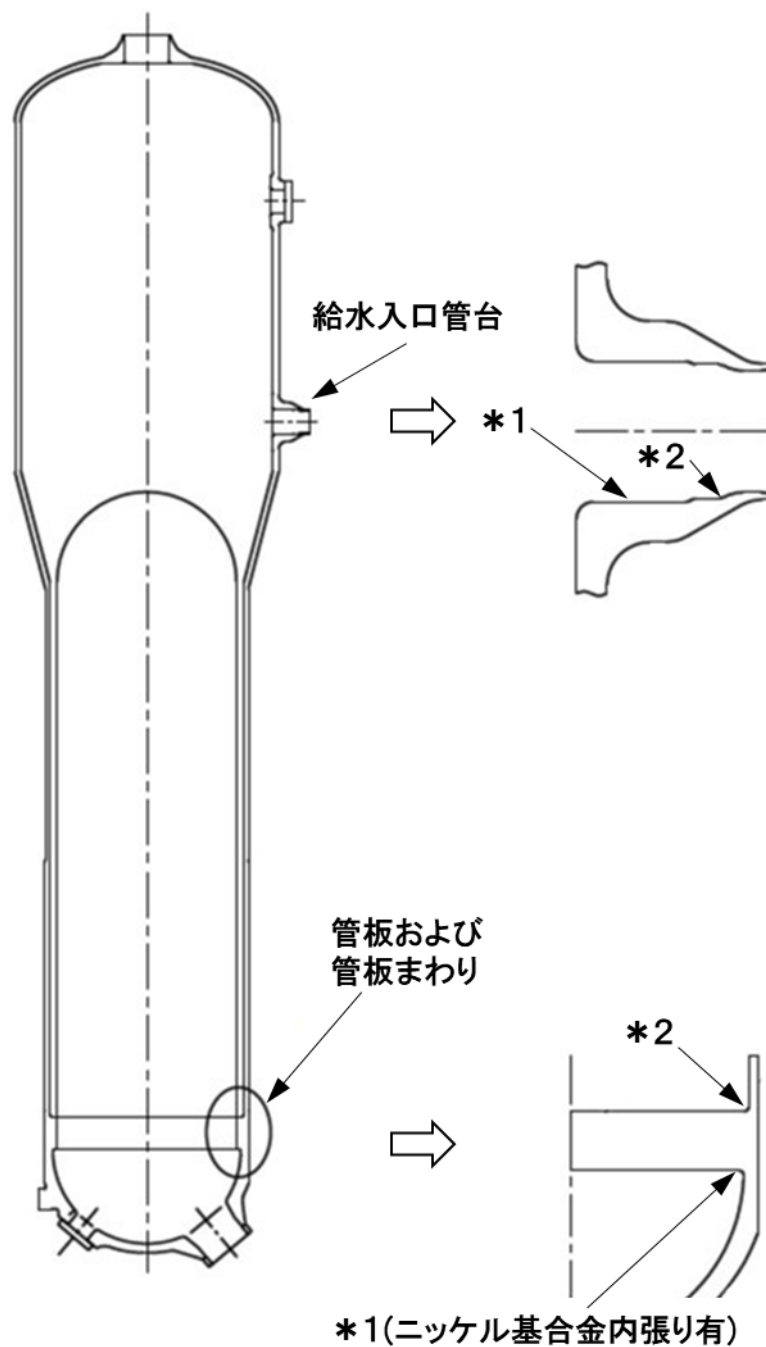
熱過渡が厳しい、あるいは構造不連続で応力が大きい管板まわりおよび給水入口管台を対象として「日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007)」に基づき評価を行った。なお、管板穴部については、ASME Section III Appendix A-8000と同様の手法で応力強さを補正しており、補正データはW. J. O' Donnellの論文から引用した。(参考文献: W. J. O' Donnell, "A Study of Perforated Plates with Square Penetration Patterns," Welding Research Council Bulletin 124, 1967)

また、使用環境を考慮した疲労については、「日本機械学会 環境疲労評価手法 (JSME S NF1-2009)」に基づき評価した。さらに、給水入口管台では、熱成層の影響を考慮して評価した。

評価点を図2.3-1に、疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。なお、運転期間延長認可申請に伴う評価として、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的*に設定した過渡回数とした。

* : 評価条件として、2020年度以降の過渡発生頻度は実績の1.5倍以上を想定した。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。



*1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位 (最大)

(非接液部の場合は () 内に理由を記載)

*2 : 「環境疲労評価手法」に基づく疲労評価対象部位 (最大) (接液部が対象)

図2.3-1 高浜4号炉 蒸気発生器管板および給水入口管台の疲労評価対象部位

表2.3-1 高浜4号炉 蒸気発生器管板および給水入口管台の疲労評価に用いた過渡回数

運転状態 I

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年時点の推定値
起動(温度上昇率55.6℃/h)	35	71
停止(温度下降率55.6℃/h)	34	71
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	308	800
負荷減少(負荷減少率5%/min)	298	790
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	4
定常負荷運転時の変動*1	—	—
燃料交換	24	62
0%から15%への負荷上昇	35	66
15%から0%への負荷減少	25	55
1 ループ停止/1 ループ起動		
I) 停止	0	2
II) 起動	0	2
運転状態 I における冷水注入*3	—	1,551

運転状態 II

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年時点の推定値
負荷の喪失	4	6
外部電源喪失	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	0	2
100%からの原子炉トリップ		
I) 不注意な冷却を伴わないトリップ	3	6
II) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2
III) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	2
1次冷却系の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	0	2
タービン回転試験	3	3
1次系漏えい試験	31	65
2次系漏えい試験	—	65*2
運転状態 II における冷水注入*3	—	74

*1：設計評価においては、1次冷却材温度±1.7℃、1次冷却材圧力±0.34MPa（±3.5kg/cm²）の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

*2：1次系漏えい試験と同じ回数とした。

*3：蒸気発生器給水入口管台固有の過渡である。

表2.3-2 高浜4号炉 蒸気発生器管板および給水入口管台の疲労評価結果

評価対象部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値：1以下)	
	設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
管板まわり (低合金鋼) (ニッケル基合金内張り)	0.142	0.151*1
給水入口管台 (低合金鋼)	0.163	0.513*2

*1：高温水環境にあり、かつ疲労評価上最も厳しい箇所について評価を実施しており、設計・建設規格の疲労評価対象箇所と異なる

*2：熱成層による発生応力を含めた解析であり、3次元有限要素法を用いた評価である。また、熱成層を考慮した応力評価の結果、最も厳しい箇所について評価しており、設計・建設規格の疲労評価対象箇所と異なる。

② 現状保全

管板の疲労割れに対しては、定期的に溶接部の超音波探傷検査を実施し、有意な欠陥がないことを確認している。管板の内張りについては、定期的に目視確認により、有意な欠陥のないことを確認している。また、管板、給水入口管台については、定期的に漏えい試験を実施し、健全性を確認している。さらに、高経年化技術評価に合わせて、実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、疲労割れ発生の可能性はないと考える。ただし、疲労評価は、実績過渡回数に依存するため、今後も実績過渡回数を把握し評価する必要がある。

また、疲労割れについては超音波探傷検査等により、管板の内張りの欠陥については有意な異常（はがれ、膨れ、変形、変色等）のないことを目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

管板および給水入口管台の疲労割れについては、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認する。

3 直接接触式熱交換器

[対象機器]

① 脱気器

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 脱気器の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	5

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されている脱気器の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 脱気器の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件		
		運転状態	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
脱気器 (1)	高*2	連続	約1.4	約200

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

2. 脱気器の技術評価

2.1 構造、材料および使用条件

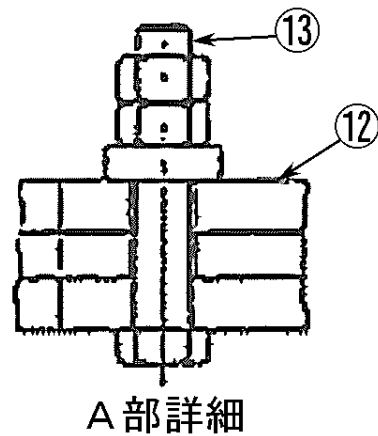
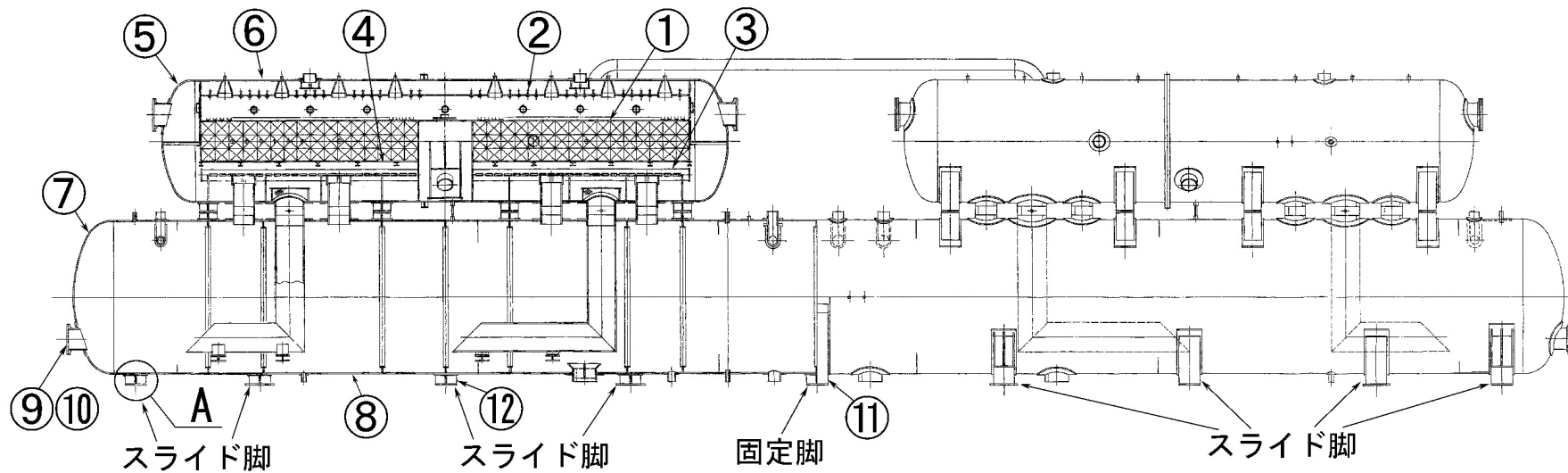
(1) 構造

高浜4号炉の脱気器は、加熱器側長さ約17m、胴外径約3.5m、タンク側長さ約43m、胴外径約4.4mであり、給水と蒸気との直接接触式熱交換器がタンクの上に2台設置されている。胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用し、トレイおよびスプレイ弁にはステンレス鋼を使用しており、それぞれ蒸気、ドレンおよび給水に接液している。

高浜4号炉の脱気器の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の脱気器の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	トレイ
②	スプレイ弁
③	蒸気噴射管
④	グレーチング
⑤	加熱器鏡板
⑥	加熱器胴板
⑦	タンク鏡板
⑧	タンク胴板
⑨	マンホール蓋
⑩	ガスケット
⑪	支持脚
⑫	支持脚 (スライド脚)
⑬	取付ボルト

図2.1-1 高浜4号炉 脱気器構造図

表2.1-1 高浜4号炉 脱気器主要部位の使用材料

部位		材料
熱交換 伝熱構成品	トレイ	ステンレス鋼
	スプレイ弁	ステンレス鋼
流路構成品	蒸気噴射管	炭素鋼、ステンレス鋼
	グレーチング	炭素鋼
加熱器 耐圧構成品	加熱器胴板 加熱器鏡板	炭素鋼
タンク 耐圧構成品	タンク胴板 タンク鏡板 マンホール蓋	炭素鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
支持構造物 組立品	支持脚 支持脚（スライド脚）	炭素鋼
	取付ボルト	低合金鋼

表2.1-2 高浜4号炉 脱気器の使用条件

	加熱器側	タンク側
最高使用圧力	約1.4MPa[gage]	約1.4MPa[gage]
最高使用温度	約200℃	約200℃
内部流体	給水・蒸気	給水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

脱気器の機能である加熱・脱気機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① 伝熱性能の確保
- ② バウンダリの維持
- ③ 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

脱気器について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) スプレイ弁の摩耗

脱気器に流入した給水は、スプレイ弁により上部から脱気器内にスプレイされる。スプレイ弁は給水が流入することにより、弁前後の差圧が生じ作動する。この作動により、弁棒の摺動部に摩耗が想定される。

しかしながら、主にユニット起動・停止時のみの摺動であり、摩耗が生じる可能性は小さい。

また、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(2) スプレイ弁の腐食（流れ加速型腐食）

スプレイ弁にて給水が連続的に脱気器内にスプレイされることにより、給水がスプレイされる弁部に流れ加速型腐食が想定される。

しかしながら、スプレイ弁は耐流れ加速型腐食性に優れたステンレス鋼を使用しているため、腐食が発生する可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(3) 耐圧構成品の外表面からの腐食（全面腐食）

加熱器胴板・鏡板、タンク胴板・鏡板およびマンホール蓋は炭素鋼であり、外表面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) 耐圧構成品等の腐食（流れ加速型腐食）

蒸気噴射管、グレーチング、加熱器胴板・鏡板、タンク胴板・鏡板およびマンホール蓋は炭素鋼であり、蒸気流動による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) 支持脚（スライド脚）の腐食（全面腐食）

脱気器は横置きであり、支持脚（スライド脚）が設置されているが、スライド部は炭素鋼であり、長期使用により、腐食による固着が想定される。

しかしながら、巡視点検等で目視によりスライド部に異常のないことを確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(6) 支持脚および取付ボルトの腐食（全面腐食）

支持脚および取付ボルトは炭素鋼または低合金鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットは分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 高浜4号炉 脱気器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部品	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
伝熱性能の確保	トレイ		ステンレス鋼								*1：流れ加速型腐食 *2：スライド部の腐食
	スプレイ弁		ステンレス鋼	△	△*1						
	蒸気噴射管		炭素鋼 ステンレス鋼		△*1						
	グレーチング		炭素鋼		△*1						
バウンダリの維持	加熱器胴板・鏡板		炭素鋼		△ △*1						
	タンク胴板・鏡板 マンホール蓋		炭素鋼		△ △*1						
	ガスケット	◎	—								
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	支持脚（スライド脚）		炭素鋼		△*2 △						
	取付ボルト		低合金鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

4 サンプルクーラ

[対象機器]

- ① Aサンプル冷却器
- ② Bサンプル冷却器
- ③ Cサンプル冷却器
- ④ 蒸気発生器ブローダウンサンプルクーラ
- ⑤ Aガスサンプル冷却器

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料および使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	6
3. 代表機器以外への展開	9
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	9

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されているサンプルクーラの主な仕様を表1-1に示す。

これらの熱交換器を型式および材料の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す熱交換器について、型式および材料を分離基準として考えると、1つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 型式：2重管式、胴材料：ステンレス鋼、伝熱管材料：ステンレス鋼

このグループには、Aサンプル冷却器、Bサンプル冷却器、Cサンプル冷却器、蒸気発生器ブローダウンサンプルクーラおよびAガスサンプル冷却器が属するが、重要度が高いAサンプル冷却器を代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 サンプルクーラの主な仕様

分離基準				機器名称 (台数)	重要度*1	選定基準			代表機器の選定	
型式	流体 (管側/胴側)	材料				使用条件 (管側/胴側)			代表 機器	選定理由
		胴	伝熱管			運転状態	最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)		
2重管式	1次冷却材/ ヒドラジン水	ステンレス鋼	ステンレス鋼	A サンプル冷却器 (1)	MS-2	連続	約17.2/約1.0	約360/約95	◎	重要度
				B サンプル冷却器 (1)	MS-2	連続	約17.2/約1.0	約360/約95		
				C サンプル冷却器 (1)	高*2	一時	約17.2/約1.0	約360/約95		
	給水/ ヒドラジン水	ステンレス鋼	ステンレス鋼	蒸気発生器ブローダウンサンプルクーラ (3)	高*2	連続	約7.5/約1.0	約291/約95		
	空気/ ヒドラジン水	ステンレス鋼	ステンレス鋼	A ガスサンプル冷却器 (1)	重*3	一時	約1.0/約1.0	約132/約95		

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: 最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*3: 重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の1種類の熱交換器について技術評価を実施する。

① Aサンプル冷却器

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 Aサンプル冷却器

(1) 構造

高浜4号炉のAサンプル冷却器は、長さ約0.8m、幅約0.4mの2重管式熱交換器であり、1台設置されている。

Aサンプル冷却器は冷却水を保有する胴管とその中へ浸漬される伝熱管で構成しており、それぞれステンレス鋼を使用している。

また胴管先端部には冷却水出入口継手、伝熱管先端部にはサンプル入口／出口継手が取付けられている。

高浜4号炉のAサンプル冷却器の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉のAサンプル冷却器の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

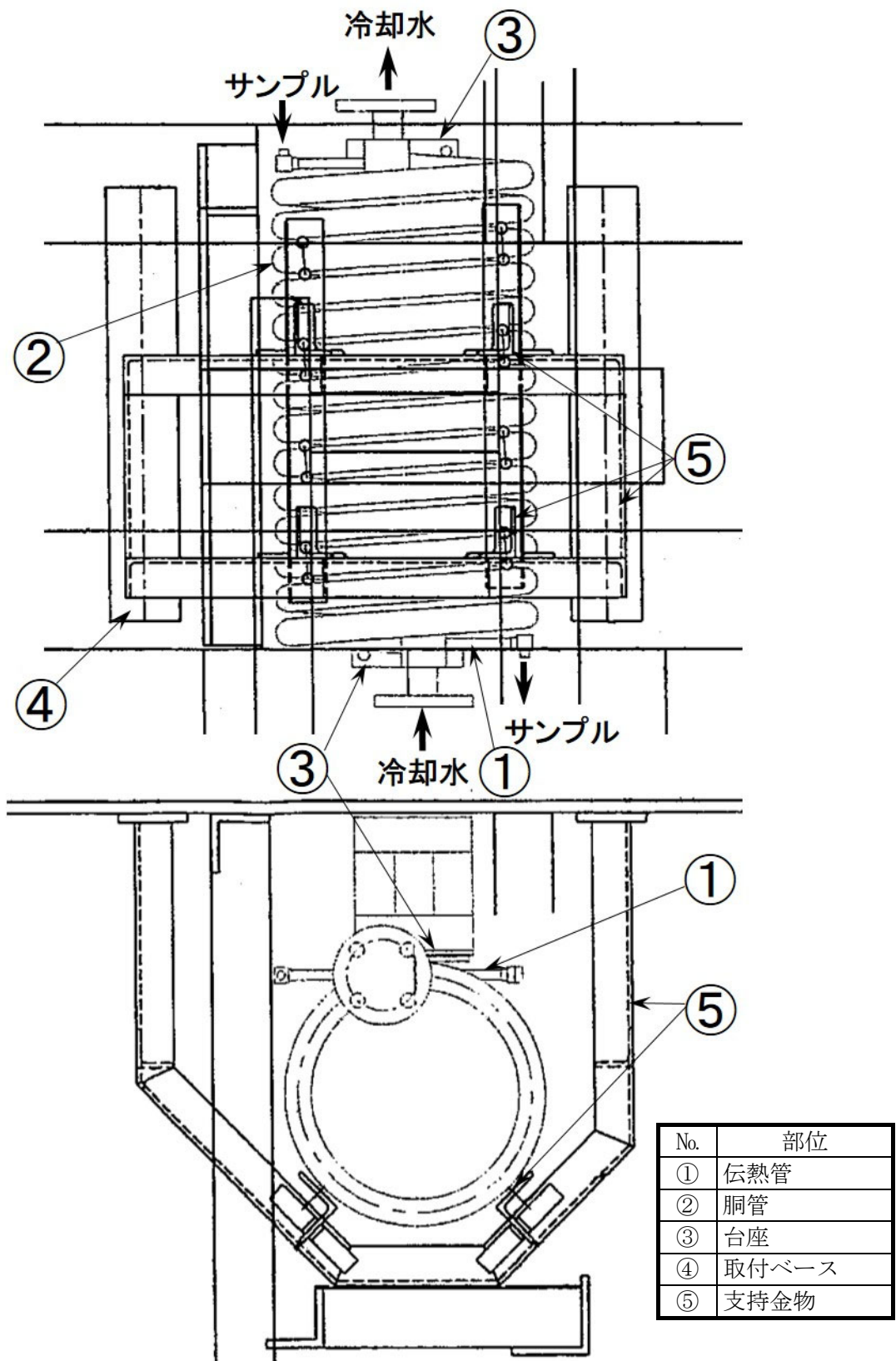


図2.1-1 高浜4号炉 Aサンプル冷却器構造図

表2.1-1 高浜4号炉 Aサンプル冷却器主要部位の使用材料

部位		材料
熱交換伝熱構成品	伝熱管	ステンレス鋼
胴側耐圧構成品	胴管	ステンレス鋼
支持構造物	台座	炭素鋼
	取付ベース	炭素鋼
	支持金物	炭素鋼、ステンレス鋼

表2.1-2 高浜4号炉 Aサンプル冷却器の使用条件

最高使用圧力	(管側) 約17.2MPa[gage]	(胴側) 約1.0MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約360℃	(胴側) 約95℃
内部流体	(管側) 1次冷却材	(胴側) ヒドラジン水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

Aサンプル冷却器の機能である熱除去機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 伝熱性能の確保
- ② バウンダリの維持
- ③ 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

Aサンプル冷却器について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 台座等の腐食（全面腐食）

台座、支持金物および取付ベースは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(2) 伝熱管および胴管の腐食（流れ加速型腐食）

耐流れ加速型腐食性に優れたステンレス鋼の伝熱管および胴管を使用しているため、流れ加速型腐食が発生する可能性は小さい。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 伝熱管の高サイクル疲労割れ

Aサンプル冷却器は構造上、伝熱管と接触する部位がなく、有意な振動が発生する可能性はない。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) 伝熱管の応力腐食割れ

ステンレス鋼製の伝熱管は、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、内部流体である1次冷却材の水質を溶存酸素濃度0.005ppm以下に管理しており、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) 伝熱管のスケール付着

流体の不純物持ち込みによるスケール付着が発生し、伝熱性能に影響を及ぼすことが想定される。

しかしながら、伝熱管の内部流体は1次冷却材、胴管の内部流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、適切な水質管理により不純物の流入は抑制されていることから、スケール付着の可能性は小さい。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

表2.2-1 高浜4号炉 Aサンプル冷却器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
伝熱性能の確保	伝熱管		ステンレス鋼		▲*1	▲*2	▲			▲*3	*1：流れ加速型腐食 *2：高サイクル疲労割れ *3：スケール付着
バウンダリの維持	胴管		ステンレス鋼		▲*1						
機器の支持	台座		炭素鋼		△						
	取付ベース		炭素鋼		△						
	支持金物		炭素鋼 ステンレス鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① Bサンプル冷却器
- ② Cサンプル冷却器
- ③ 蒸気発生器ブローダウンサンプルクーラ
- ④ Aガスサンプル冷却器

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

3.1.1 台座等の腐食（全面腐食）〔共通〕

台座、取付ベース、支持金物および取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.2 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

2.2.3 2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

3.1.3 伝熱管および胴管の腐食（流れ加速型腐食） [共通]

耐流れ加速型腐食性に優れたステンレス鋼の伝熱管および胴管を使用しているため、流れ加速型腐食が発生する可能性は小さい。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.4 伝熱管の高サイクル疲労割れ [共通]

構造上、伝熱管と接触する部位がなく、有意な振動が発生する可能性はない。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.5 伝熱管の応力腐食割れ [共通]

伝熱管はステンレス鋼であり、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、内部流体は溶存酸素濃度0.005ppm以下に管理された1次冷却材、給水および空気であり、応力腐食割れ発生の可能性が小さい。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.6 伝熱管のスケール付着 [共通]

流体の不純物持ち込みによるスケール付着が発生し、伝熱性能に影響を及ぼすことが想定される。

しかしながら、伝熱管の内部流体は1次冷却材、給水および空気、胴管の内部流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、適切な水質管理により不純物の流入は抑制されていることから、スケール付着の可能性は小さい。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

高浜発電所 4 号炉

ポンプモータの技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

関西電力株式会社

高浜4号炉のポンプモータのうち、評価対象機器である安全重要度分類審査指針におけるクラス1、2の機器、高温・高圧の環境下にあるクラス3の機器および常設重大事故等対処設備に属する機器を電圧区分、型式および設置場所等でグループ化し、同一グループ内の複数の機器の存在を考慮して、重要度、温度等の観点から代表機器を選定した。

これらの一覧表を表1に示す。

本評価書においては、これら代表機器について技術評価を行うとともに、代表機器以外の機器について技術評価を展開している。

本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考ええる。

なお、本評価書における分解点検には、定期的を実施する分解点検に加え、状態監視や傾向監視等の結果に基づき計画、実施する分解点検を含んでいる。

また、点検等で確認した結果、異常が認められた場合は速やかに対策を施すこととしており、異常が認められた場合に対策を実施する旨の記載は省略している。

さらに、設置してから分解点検等の実績がない場合も、保全計画が定められていれば「確認している」等と表記している。

本評価書ではポンプモータの使用電圧を基に、以下の2つに分類している。

- 1 高圧ポンプモータ
- 2 低圧ポンプモータ

表1 高浜4号炉 主要なポンプモータ

分離基準			機器名称 (台数)	仕様 (定格出力× 定格回転数) (kW×rpm)	選定基準			代表機器の選定		
電圧区分	型式	設置場所			重要度*1	使用条件			代表 機器	選定理由
						運転状態	電圧 (V)	周囲温度 (°C)		
高圧	全閉	屋外	海水ポンプモータ (3)	420×506	MS-1、 重*2	連続	6,600	約40	◎	
	開放	屋内	電動補助給水ポンプモータ (2)	400×3,540	MS-1、 重*2	一時	6,600	約40	◎	
	全閉	屋内	充てん/高圧注入ポンプモータ (3)	780×1,770	MS-1、 重*2	連続 (充てん時) 一時 (高圧注入時)	6,600	約40	◎	出力
			格納容器スプレイポンプモータ (2)	700×1,770	MS-1、 重*2	一時	6,600	約40		
			原子炉補機冷却水ポンプモータ (5)	285×1,775	MS-1、 重*2	連続	6,600	約40		
			余熱除去ポンプモータ (2)	250×1,780	MS-1、 重*2	連続 (余熱除去時) 一時 (低圧注入時)	6,600	約40		
低圧	全閉	屋内	ほう酸ポンプモータ (3)	11×3,510	MS-1、 重*2	連続	440	約40	◎	重要度
			燃料取替用水ポンプモータ (2)	22×3,530	MS-2	連続	440	約40		
			恒設代替低圧注水ポンプモータ (1)	132×3,575	重*2	一時	440	約40		
			燃料取替用水タンク補給用 移送ポンプモータ (1)	55×3,550	重*2	一時	440	約40		

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: 重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

1 高圧ポンプモータ

[対象機器]

- ① 海水ポンプモータ
- ② 電動補助給水ポンプモータ
- ③ 充てん／高圧注入ポンプモータ
- ④ 格納容器スプレイポンプモータ
- ⑤ 原子炉補機冷却水ポンプモータ
- ⑥ 余熱除去ポンプモータ

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料および使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	12
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	21
3. 代表機器以外への展開	27
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	27
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	28

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されている高圧ポンプモータの主な仕様を表1-1に示す。

これらの高圧ポンプモータを、型式および設置場所の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す高圧ポンプモータを型式および設置場所で分類すると3つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 屋外設置（型式：全閉形）

このグループには、海水ポンプモータのみが属するため、代表機器は海水ポンプモータとする。

(2) 屋内設置（型式：開放形）

このグループには、電動補助給水ポンプモータのみが属するため、代表機器は電動補助給水ポンプモータとする。

(3) 屋内設置（型式：全閉形）

このグループには、充てん／高圧注入ポンプモータ、格納容器スプレイポンプモータ、原子炉補機冷却水ポンプモータおよび余熱除去ポンプモータが属するが、出力が高い充てん／高圧注入ポンプモータを代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 高圧ポンプモータの主な仕様

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準					代表機器の選定	
電圧 区分	型式	設置 場所		仕様 (定格出力× 定格回転数) (kW×rpm)	重要度*1	使用条件			代表 機器	選定 理由
						運転状態	電圧 (V)	周囲温度 (°C)		
高圧	全閉	屋外	海水ポンプモータ (3)	420×506	MS-1、 重*2	連続	6,600	約40	◎	
	開放	屋内	電動補助給水ポンプモータ (2)	400×3,540	MS-1、 重*2	一時	6,600	約40	◎	
	全閉	屋内	充てん/高圧注入ポンプモータ (3)	780×1,770	MS-1、 重*2	連続 (充てん時) 一時 (高圧注入時)	6,600	約40	◎	出力
			格納容器スプレイポンプモータ (2)	700×1,770	MS-1、 重*2	一時	6,600	約40		
			原子炉補機冷却水ポンプモータ (5)	285×1,775	MS-1、 重*2	連続	6,600	約40		
			余熱除去ポンプモータ (2)	250×1,780	MS-1、 重*2	連続 (余熱除去時) 一時 (低圧注入時)	6,600	約40		

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: 重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の3種類のポンプモータについて技術評価を実施する。

- ① 海水ポンプモータ
- ② 電動補助給水ポンプモータ
- ③ 充てん／高圧注入ポンプモータ

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 海水ポンプモータ

(1) 構造

高浜4号炉の海水ポンプモータは、定格出力420kW、定格回転数506rpmの全閉屋外形三相誘導モータであり、3台設置されている。

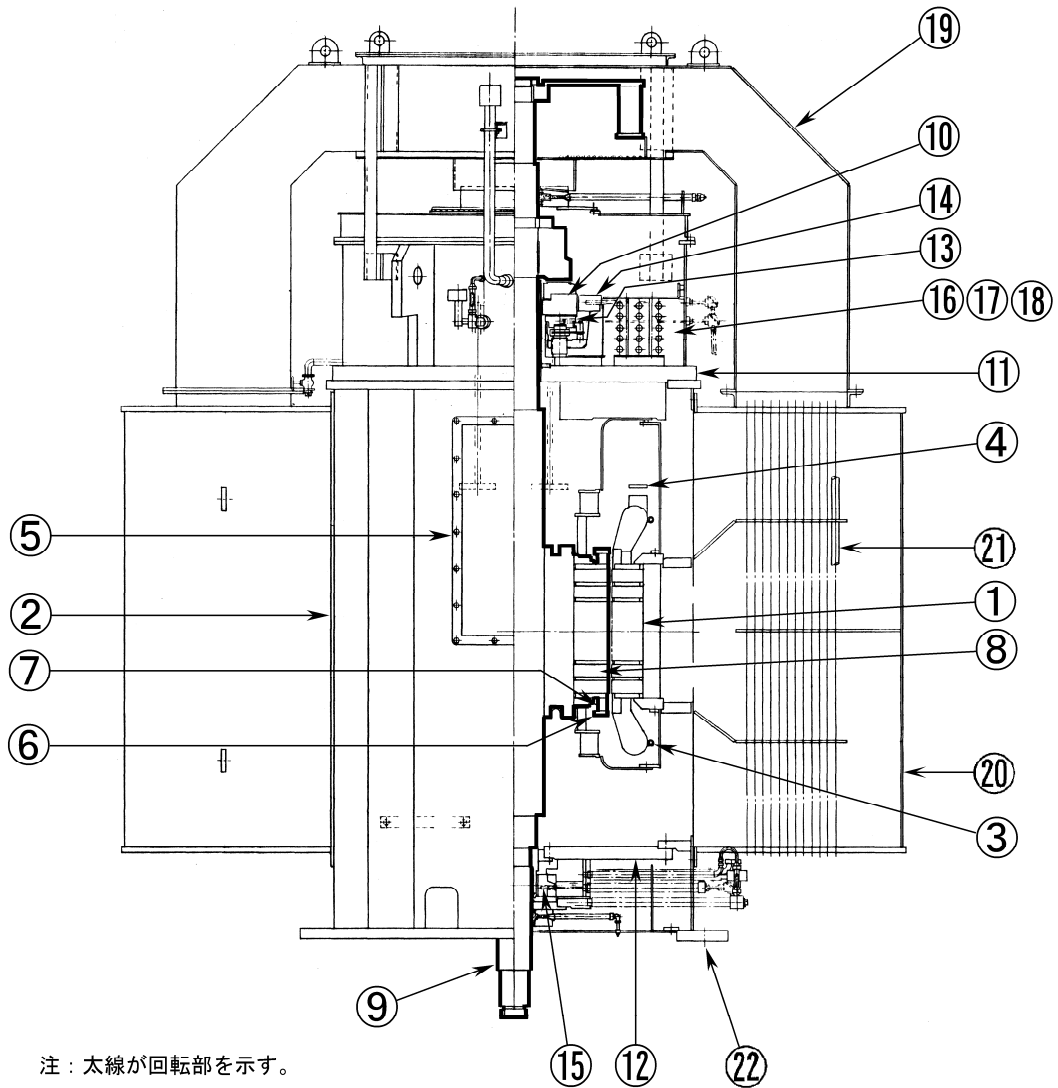
ポンプに直結されている主軸には炭素鋼が使用されており、モータ上部には、下向きのポンプスラスト荷重を支えるためのスラスト軸受を備えている。また、モータの上部および下部にはラジアル方向の荷重を支えるガイド軸受を設けている。

各軸受は、軸受表面に油膜を形成させ、軸受から発生する熱を取り除くために潤滑油が満たされており、上部潤滑油は水冷式油冷却器により冷却される。

高浜4号炉の海水ポンプモータの構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の海水ポンプモータの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位	No.	部位	No.	部位
①	固定子コア	⑨	主軸	⑰	油冷却器水室
②	フレーム	⑩	ランナ	⑱	油冷却器管板
③	固定子コイル	⑪	上部ブラケット	⑲	ファンカバー
④	口出線・接続部品	⑫	下部ブラケット	⑳	空気冷却器
⑤	端子箱	⑬	スラスト軸受 (すべり)	㉑	空気冷却管
⑥	エンドリング	⑭	上部ガイド軸受 (すべり)	㉒	取付ボルト
⑦	回転子棒	⑮	下部ガイド軸受 (すべり)		
⑧	回転子コア	⑯	油冷却器伝熱管		

図2.1-1 高浜4号炉 海水ポンプモータ構造図

表2.1-1 高浜4号炉 海水ポンプモータ主要部位の使用材料

部位		材料
固定子 組立品	固定子コア	珪素鋼板
	フレーム	炭素鋼
	固定子コイル	銅、マイカ、エポキシ樹脂（F種絶縁）
	口出線・接続部品	銅、シリコーンゴム、マイカ、エポキシ樹脂（F種絶縁）
	端子箱	炭素鋼
回転子 組立品	回転子棒・エンドリング	銅合金
	回転子コア	珪素鋼板
	主軸	炭素鋼
	ランナ	炭素鋼
軸受 組立品	上部ブラケット	炭素鋼
	下部ブラケット	炭素鋼
	スラスト軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
	上部・下部ガイド軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
油冷却器 組立品	油冷却器伝熱管	チタン
	油冷却器水室	チタン
	油冷却器管板	チタン
カバー 組立品	ファンカバー	ステンレス鋼
空気冷却器 組立品	空気冷却器	炭素鋼
	空気冷却管	銅合金
支持 組立品	取付ボルト	炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 海水ポンプモータの使用条件

定格出力	420kW
周囲温度	約40℃*1
定格電圧	6,600V
定格回転数	506rpm

*1：通年の最高温度を考慮した雰囲気温度

2.1.2 電動補助給水ポンプモータ

(1) 構造

高浜4号炉の電動補助給水ポンプモータは、定格出力400kW、定格回転数3,540rpmの開放屋内形三相誘導モータであり、2台設置されている。

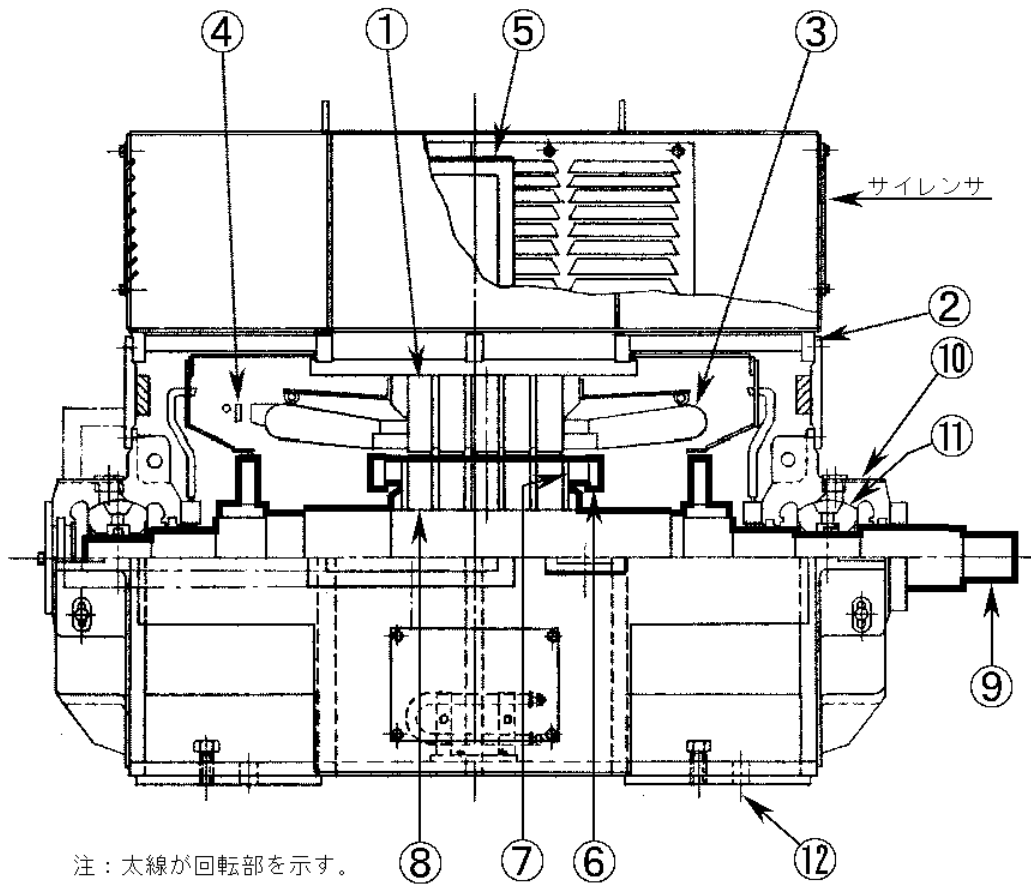
ポンプに直結している主軸には炭素鋼を使用している。

負荷側および反負荷側軸受部には、回転体を支えるためのブラケットが取付けられ、内側にはモータ回転子重量を支えるための軸受を備えている。

高浜4号炉の電動補助給水ポンプモータの構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の電動補助給水ポンプモータの使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



No.	部位
①	固定子コア
②	フレーム
③	固定子コイル
④	口出線・接続部品
⑤	端子箱
⑥	エンドリング
⑦	回転子棒
⑧	回転子コア
⑨	主軸
⑩	ブラケット
⑪	軸受 (すべり)
⑫	取付ボルト

図2.1-2 高浜4号炉 電動補助給水ポンプモータ構造図

表2.1-3 高浜4号炉 電動補助給水ポンプモータ主要部位の使用材料

部位		材料
固定子 組立品	固定子コア	珪素鋼板
	フレーム	炭素鋼
	固定子コイル	銅、マイカ、エポキシ樹脂（F種絶縁）
	口出線・接続部品	銅、シリコンゴム、マイカ、エポキシ樹脂（F種絶縁）
	端子箱	炭素鋼
回転子 組立品	回転子棒・エンドリング	銅合金
	回転子コア	珪素鋼板
	主軸	炭素鋼
軸受 組立品	ブラケット	鋳鉄
	軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
支持 組立品	取付ボルト	炭素鋼

表2.1-4 高浜4号炉 電動補助給水ポンプモータの使用条件

定格出力	400kW
周囲温度	約40℃*1
定格電圧	6,600V
定格回転数	3,540rpm

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

2.1.3 充てん／高圧注入ポンプモータ

(1) 構造

高浜4号炉の充てん／高圧注入ポンプモータは、定格出力780kW、定格回転数1,770rpmの全閉屋内形三相誘導モータであり、3台設置されている。

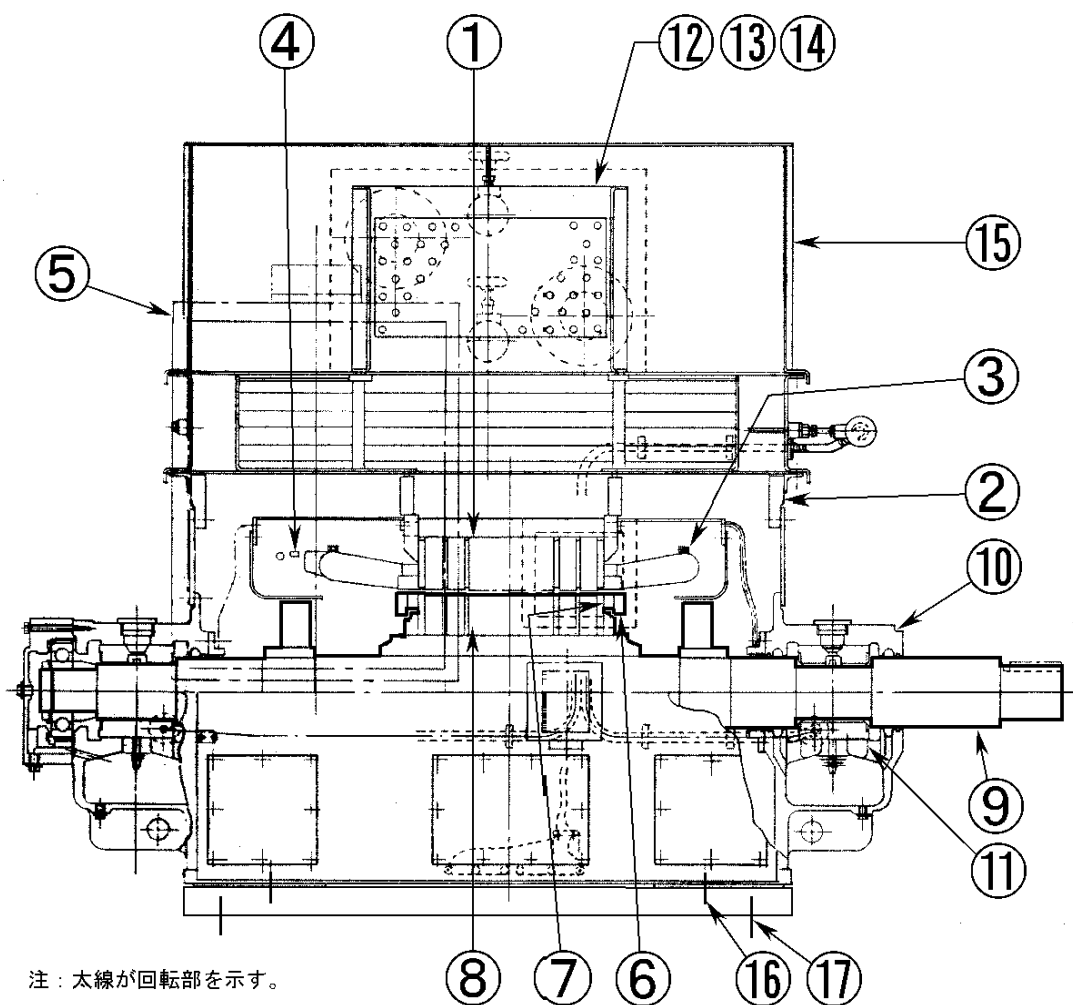
ポンプに直結している主軸には炭素鋼を使用している。

負荷側および反負荷側軸受部には、回転体を支えるためのブラケットが取付けられ、内側にはモータ回転子重量を支えるための軸受を備えている。

高浜4号炉の充てん／高圧注入ポンプモータの構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の充てん／高圧注入ポンプモータの使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。



No.	部位	No.	部位
①	固定子コア	⑩	ブラケット
②	フレーム	⑪	軸受 (すべり)
③	固定子コイル	⑫	空気冷却器伝熱管
④	口出線・接続部品	⑬	空気冷却器管板
⑤	端子箱	⑭	空気冷却器水室
⑥	エンドリング	⑮	空気冷却器カバー
⑦	回転子棒	⑯	取付ボルト
⑧	回転子コア	⑰	基礎ボルト
⑨	主軸		

図2.1-3 高浜4号炉 充てん/高圧注入ポンプモータ構造図

表2.1-5 高浜4号炉 充てん/高圧注入ポンプモータ主要部位の使用材料

部位		材料
固定子 組立品	固定子コア	珪素鋼板
	フレーム	炭素鋼
	固定子コイル	銅、マイカ、エポキシ樹脂（F種絶縁）
	口出線・接続部品	銅、シリコンゴム、マイカ、エポキシ樹脂（F種絶縁）
	端子箱	炭素鋼
回転子 組立品	回転子棒・エンドリング	銅合金
	回転子コア	珪素鋼板
	主軸	炭素鋼
軸受 組立品	ブラケット	鋳鉄
	軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
冷却器 組立品	空気冷却器伝熱管	銅合金
	空気冷却器管板	銅合金、炭素鋼
	空気冷却器水室	炭素鋼
	空気冷却器カバー	炭素鋼
支持 組立品	取付ボルト	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-6 高浜4号炉 充てん/高圧注入ポンプモータの使用条件

定格出力	780kW
周囲温度	約40℃*1
放射線	$3.4 \times 10^{-3} \text{Gy/h}^{*2}$
定格電圧	6,600V
定格回転数	1,770rpm

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

*2：通常運転時の管理区域内の最大実測値

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

海水ポンプモータ、電動補助給水ポンプモータおよび充てん／高圧注入ポンプモータの機能であるポンプ駆動機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 駆動機能の確保
- ② 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

海水ポンプモータ、電動補助給水ポンプモータおよび充てん／高圧注入ポンプモータについて機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（電圧、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下[共通]

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

なお、本評価書での評価対象機器における放射線の影響については軽微であると考え、健全性評価における劣化要因とはしていない。（電気学会 材料研究会 資料 EIM-79-99、NB-79-21「エポキシ樹脂の放射線照射による物性変化」）

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 固定子コアおよび回転子コアの腐食（全面腐食）[共通]

固定子コアおよび回転子コアは珪素鋼板であり、腐食が想定される。

しかしながら、固定子コアおよび回転子コアはワニス処理により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(2) フレーム、端子箱、ブラケット[共通]、空気冷却器[海水ポンプモータ]および空気冷却器カバー [充てん/高圧注入ポンプモータ] の腐食（全面腐食）

フレーム、端子箱、ブラケット、空気冷却器および空気冷却器カバーは炭素鋼または鋳鉄であり、腐食が想定される。

しかしながら、内外面とも大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 回転子棒・エンドリングの疲労割れ[共通]

回転子棒・エンドリングについては、モータの起動時に発生する電磁力による繰返し応力を受けるため、疲労割れが想定される。

しかしながら、発生応力は疲労強度より小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(4) 主軸[共通]およびランナ[海水ポンプモータ]の摩耗

海水ポンプモータの主軸については、ランナとの間に摩耗が発生することが想定される。

しかしながら、分解点検時に主軸とランナの分解を実施しないため摩耗が生じる可能性は小さい。

また、油潤滑のすべり軸受を使用しており、ランナと軸受間に潤滑油が供給され膜が形成されるため、摺動摩耗が生じる可能性は小さい。

さらに、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

電動補助給水ポンプモータおよび充てん／高圧注入ポンプモータはすべり軸受を使用しており、軸受と主軸の接触面で摺動摩耗が想定される。

しかしながら、油潤滑のすべり軸受を使用しており、主軸と軸受間に潤滑油が供給され、膜が形成されるため、摺動摩耗が生じる可能性は小さい。

また、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(5) 主軸の高サイクル疲労割れ[共通]

モータ運転時には主軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下で繰返し応力を受けると、段付部等の応力集中部において高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、モータ設計時には高サイクル疲労を考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、試運転時等における振動確認および分解点検時の応力集中部に対する目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 空気冷却管の腐食（全面腐食） [海水ポンプモータ]

空気冷却管は銅合金であり、腐食が想定される。

しかしながら、内外面ともに流体が空気中で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 空気冷却器伝熱管の腐食（全面腐食） [充てん／高圧注入ポンプモータ]

空気冷却器伝熱管は銅合金であり、腐食が想定される。

しかしながら、内面については内部流体がヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、外面については空気中で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時に内面は渦流探傷検査で、外面は目視確認により、機器の健全性を確認している。

- (8) 空気冷却器管板の腐食（全面腐食）[充てん／高圧注入ポンプモータ]
空気冷却器管板は銅合金および炭素鋼であり、腐食が想定される。
しかしながら、接液流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）および空気腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。
- (9) 空気冷却器水室の腐食（全面腐食）[充てん／高圧注入ポンプモータ]
空気冷却器水室は炭素鋼であり、腐食が想定される。
しかしながら、内面については内部流体がヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。
外面については塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。
また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (10) 取付ボルトの腐食（全面腐食）[共通]
取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。
しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。
また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(11) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）[充てん／高圧注入ポンプモータ]

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

スラスト軸受（すべり）、上部・下部ガイド軸受（すべり）および軸受（すべり）は分解点検時の目視確認や浸透探傷検査の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 (1/3) 高浜4号炉 海水ポンプモータに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性		その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
駆動機能の確保	固定子コア		珪素鋼板		△							*1:高サイクル疲労割れ
	フレーム		炭素鋼		△							
	固定子コイル		銅、マイカ、エポキシ樹脂					○				
	口出線・接続部品		銅、シリコーンゴム、マイカ、エポキシ樹脂					○				
	端子箱		炭素鋼		△							
	回転子棒・エンドリング		銅合金			△						
	回転子コア		珪素鋼板		△							
	主軸		炭素鋼	△		△*1						
	ランナ		炭素鋼	△								
	上部・下部ブラケット		炭素鋼		△							
	スラスト軸受(すべり)	◎	—									
	上部・下部ガイド軸受(すべり)	◎	—									
	油冷却器伝熱管		チタン									
	油冷却器水室		チタン									
	油冷却器管板		チタン									
	ファンカバー		ステンレス鋼									
	空気冷却器		炭素鋼		△							
	空気冷却管		銅合金		△							
機器の支持	取付ボルト		炭素鋼		△							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1 (2/3) 高浜4号炉 電動補助給水ポンプモータに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性		その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
駆動機能の確保	固定子コア		珪素鋼板		△							*1: 高サイクル疲労割れ
	フレーム		炭素鋼		△							
	固定子コイル		銅、マイカ、エポキシ樹脂					○				
	口出線・接続部品		銅、シリコーンゴム、マイカ、エポキシ樹脂					○				
	端子箱		炭素鋼		△							
	回転子棒・エンドリング		銅合金			△						
	回転子コア		珪素鋼板		△							
	主軸		炭素鋼	△		△*1						
	ブラケット		鋳鉄		△							
軸受(すべり)	◎	—										
機器の支持	取付ボルト		炭素鋼		△							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1 (3/3) 高浜4号炉 充てん/高圧注入ポンプモータに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性		その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
駆動機能の確保	固定子コア		珪素鋼板		△							*1:高サイクル疲労割れ
	フレーム		炭素鋼		△							
	固定子コイル		銅、マイカ、エポキシ樹脂					○				
	口出線・接続部品		銅、シリコンゴム、マイカ、エポキシ樹脂					○				
	端子箱		炭素鋼		△							
	回転子棒・エンドリング		銅合金			△						
	回転子コア		珪素鋼板		△							
	主軸		炭素鋼	△		△*1						
	ブラケット		鋳鉄		△							
	軸受(すべり)	◎	-									
	空気冷却器伝熱管		銅合金		△							
	空気冷却器管板		銅合金、炭素鋼		△							
	空気冷却器水室		炭素鋼		△							
	空気冷却器カバー		炭素鋼		△							
機器の支持	取付ボルト		炭素鋼		△							
	基礎ボルト		炭素鋼		△							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下 [共通]

a. 事象の説明

固定子コイルは固定子コアのスロット内に納められており、各々の銅線に漏電防止のための絶縁を施している。口出線は、ポンプモータを駆動するための電力を受給するもので、固定子コイルと同様に絶縁を施している。

なお、接続部品は、固定子コイル間および口出線を接続するものであり、固定子コイルと同様に銅線に絶縁を施している。

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電気的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

絶縁低下を生ずる可能性のある部位を図2.3-1に示す。

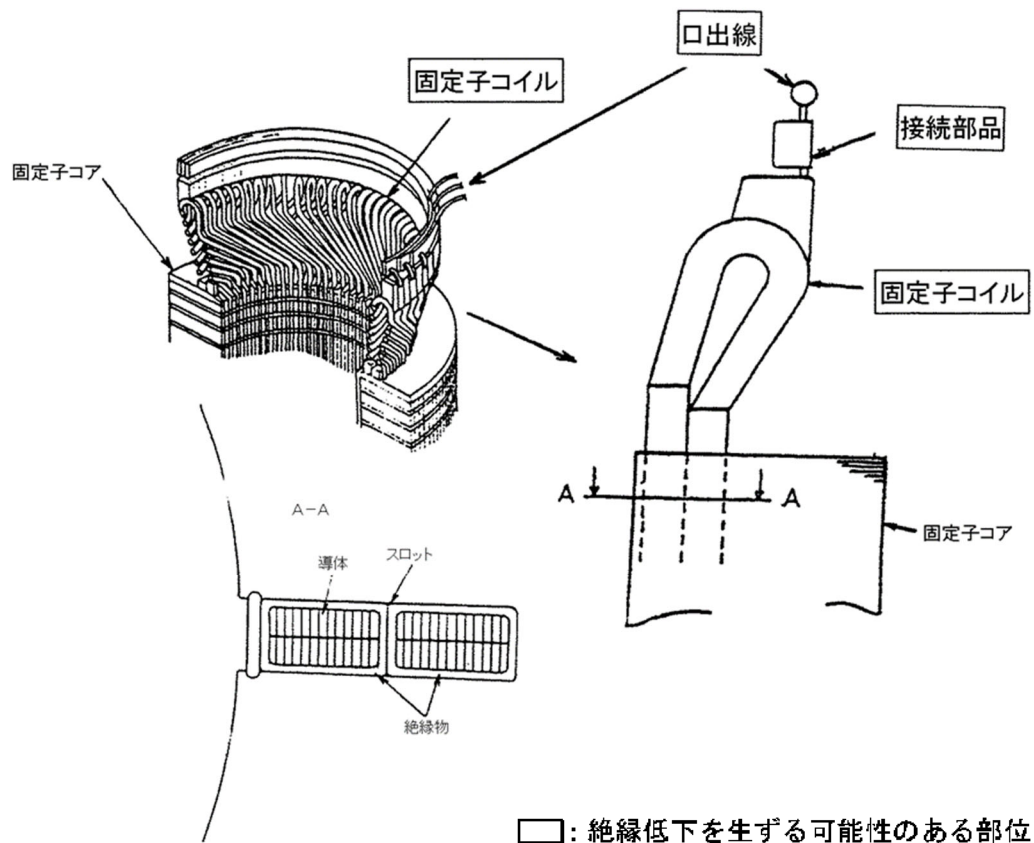


図2.3-1 高浜4号炉 海水ポンプモータ、電動補助給水ポンプモータおよび
充てん/高圧注入ポンプモータ固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁部位

b. 技術評価

① 健全性評価

高圧ポンプモータの固定子コイルの健全性評価は、同種の一般的な固定子コイルの絶縁低下に対する評価方法を用いる。ここでは、IEEE Std. 275-1981「IEEE Recommended Practice for Thermal Evaluation of Insulation Systems for AC Electric Machinery Employing Form-Wound Pre-Insulated Stator Coils, Machines Rated 6900 V and Below」（以下、「IEEE Std. 275-1981」という。）の規格に基づき実施した評価試験結果および経年機の固定子コイル破壊電圧測定試験に基づき実施した評価試験により固定子コイルの長期健全性を評価した。

IEEE Std. 275-1981では、熱、機械、環境および電気の各劣化要因について個々に試験条件が述べられているが、モータはこれらの劣化要因が複合するため、複合劣化の試験条件で固定子コイルの長期健全性を評価する。

評価手順を図2.3-2に、試験条件を表2.3-1に、ヒートサイクル方法例を図2.3-3に示す。

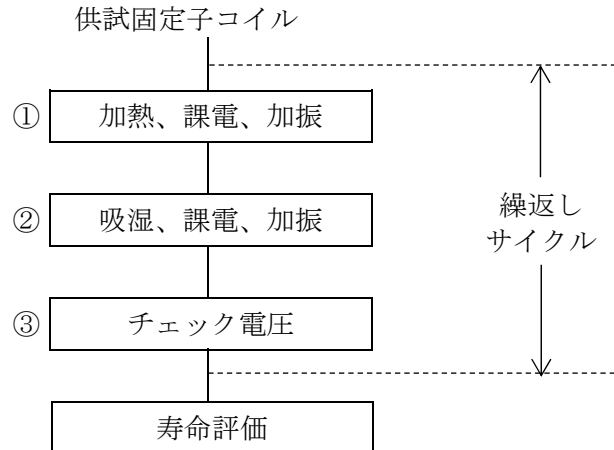


図2.3-2 固定子コイル長期健全性評価手順

図2.3-2の評価手順①（64回程度の繰返し）、②、③を1サイクルとし、コイル絶縁がチェック電圧で破壊するまで繰返し、170℃および190℃での耐熱寿命を基にアレニウス則*1が成り立つと仮定して定数A、Bを求め、耐熱寿命曲線を得る。

*1：アレニウス則

$$\log Y = -A + \frac{B}{273 + t} \quad \text{..... (1)}$$

Y：寿命時間 (hr)
 t：運転温度 (°C)
 A、B：定数
 logY：自然対数

この耐熱寿命曲線は、モータに適用している絶縁固有の特性を表す。
 この(1)式に当該モータの運転温度*2 tを代入して、寿命を求める。
 この寿命で耐用期間（管理強化の目安）を決定する。

*2：運転温度

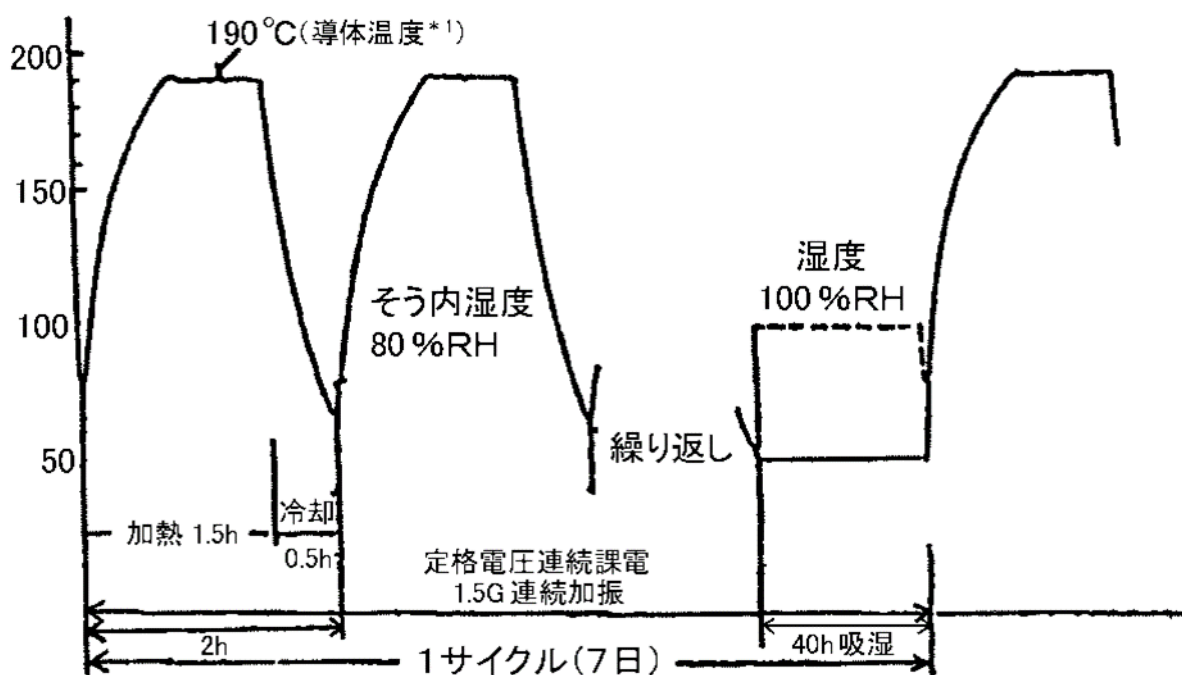
運転温度は、使用最高温度を用いる。
 使用最高温度＝周囲温度＋固定子コイルの温度上昇
 ＋測定ポイントとホットスポットとの差（マージン）

IEEE Std. 275-1981の規格に基づき実施した評価試験結果より、固定子コイルの耐用期間（管理強化の目安）は、約20年（稼働率100%で、19.95年）と判断する。

表2.3-1 固定子コイル長期健全性評価における試験条件

手順	試験項目	試験条件1	試験条件2	実機設計条件
①	温度	170°C×2時間(加熱1.5h、冷却0.5h、at80%RH)	190°C×2時間(加熱1.5h、冷却0.5h、at80%RH)	最大145°C
	電圧	6.6kV－常時印加	6.6kV－常時印加	6.6kV
	振動	1.5G－常時加振	1.5G－常時加振	1G以下
②	湿度	100%RH－40時間 (at 50°C)	100%RH－40時間 (at 50°C)	最大100%RH (at 40°C)
	電圧	6.6kV－常時印加	6.6kV－常時印加	6.6kV
	振動	1.5G－常時加振	1.5G－常時加振	1G以下
③	チェック 電圧	対地間 1.5×E=9.9kV-1分間 線間 150V-1分間	対地間 1.5×E=9.9kV-1分間 線間 150V-1分間	――

RH: relative humidity (相対湿度)



*1: 絶縁体に170°C×2時間相当と同等の熱劣化を与える条件として、直流通電により導体温度を最大190°Cとして試験を実施

図2.3-3 ヒートサイクル方法例 (試験条件1)

次に、6.6kV級の経年機で、固定子コイルを更新した旧機のコイル破壊電圧の測定値を評価した結果が、運転年数*3と絶縁破壊値の関係として、図2.3-4に示すように求められる。

(*3: 稼働率等を考慮に入れた年数=運転時間(年)+休止時間(年)/休止係数)

この評価からコイル破壊電圧の平均値と95%信頼下限が安全運転下限(「電気学会 電気規格調査会標準規格 回転電気機械一般(JEC-2100-1993)」: $2E+1=2 \times 6.6 \text{ [kV]} + 1 \text{ [kV]} = 14.2 \text{ [kV]}$)に低下するのが18.5~24年となるため、固定子コイルの耐用期間(管理強化の目安)は、運転年数で18.5年と判断する。

以上の検討結果より、固定子コイルの耐用期間(管理強化の目安)は、より厳しい評価結果である経年機の固定子コイル絶縁破壊値による評価結果を採用して機器の運転年数で18.5年と判断する。

また、口出線・接続部品の絶縁物の絶縁種別および耐熱性能は、固定子コイルの絶縁物と同等以上であり、口出線・接続部品の耐用期間(管理強化の目安)は、固定子コイルと同様の年数と判断する。

なお、海水ポンプモータは屋外設置であるが、IEEE Std. 275-1981の規格に基づき実施した試験において吸湿は厳しい状況下にて実施していること、および絶縁破壊試験（図2.3-4）には屋外に設置されていた供試体も含まれていることから、屋内外の設置環境による評価年数に差はないと考える。

② 現状保全

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁診断として絶縁抵抗測定、直流吸収試験、 $\tan \delta$ 試験および部分放電試験により、管理範囲に収まっていることの確認を行うとともに、傾向管理を行っている。

また、機器の運転年数に基づき（F種絶縁：約18.5～21.5年）、直流吸収試験、 $\tan \delta$ 試験、部分放電試験の周期を短縮し、点検結果に基づき取替を検討するものとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下については機器の運転年数で18.5年以降において発生の可能性は否定できないが、絶縁低下は、絶縁診断で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下については、定期的に絶縁診断を実施していくとともに、機器の運転年数および絶縁診断結果に基づいた取替を実施していく。

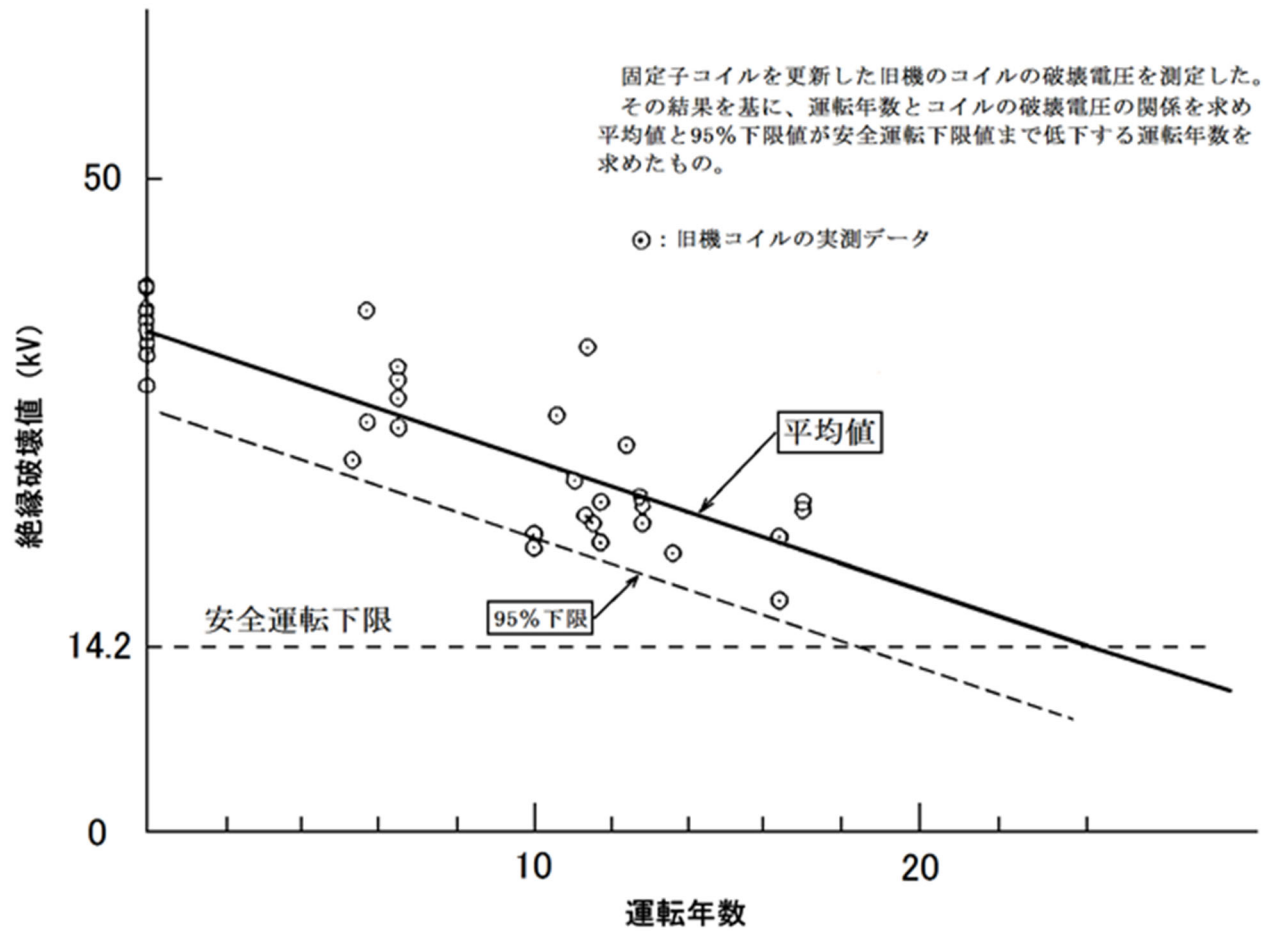


図2.3-4 機器の運転年数と絶縁破壊値の関係

[出典：関西電力・メーカ共研データ]

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① 格納容器スプレイポンプモータ
- ② 原子炉補機冷却水ポンプモータ
- ③ 余熱除去ポンプモータ

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下[共通]

これらの高圧ポンプモータの絶縁仕様はF種であり、使用環境等は代表機器と同様であることから、絶縁低下については機器の運転年数で18.5年以降において発生の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁診断で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下については、定期的に絶縁診断を実施していくとともに、機器の運転年数および絶縁診断結果に基づいた取替を実施していく。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.2.1 固定子コアおよび回転子コアの腐食（全面腐食）[共通]

固定子コアおよび回転子コアは珪素鋼板であり、腐食が想定される。

しかしながら、固定子コアおよび回転子コアはワニス処理により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.2 フレーム、端子箱、ブラケットおよび空気冷却器カバーの腐食（全面腐食）[共通]

フレーム、端子箱、ブラケットおよび空気冷却器カバーは炭素鋼または鋳鉄であり、腐食が想定される。

しかしながら、内外面とも大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.3 回転子棒・エンドリングの疲労割れ[共通]

回転子棒・エンドリングについては、モータの起動時に発生する電磁力による繰返し応力を受けるため、疲労割れが想定される。

しかしながら、発生応力は疲労強度より小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.4 主軸の摩耗[共通]

いずれのポンプモータもすべり軸受を使用しており、軸受と主軸の接触面で摺動摩耗が想定される。

しかしながら、油潤滑のすべり軸受を使用しており、主軸と軸受間に潤滑油が供給され、膜が形成されるため、摺動摩耗が生じる可能性は小さい。

また、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.5 主軸の高サイクル疲労割れ[共通]

モータ運転時には主軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下で繰返し応力を受けると、段付部等の応力集中部において高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、モータ設計時には高サイクル疲労を考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、試運転時等における振動確認および分解点検時の応力集中部に対する目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.6 空気冷却器伝熱管の腐食（全面腐食）[共通]

空気冷却器伝熱管は銅合金であり、腐食が想定される。

しかしながら、内面については内部流体がヒドラジン水(防錆剤注入水)であり、外面については空気中で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時に内面は渦流探傷検査で、外面は目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.7 空気冷却器管板の腐食（全面腐食）[共通]

空気冷却器管板は銅合金および炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、接液流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）および空気腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.8 空気冷却器水室の腐食（全面腐食）[共通]

空気冷却器水室は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、内面については内部流体がヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

外面については塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.9 取付ボルトの腐食（全面腐食）[共通]

取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2 低圧ポンプモータ

[対象機器]

- ① ほう酸ポンプモータ
- ② 燃料取替用水ポンプモータ
- ③ 恒設代替低圧注水ポンプモータ
- ④ 燃料取替用水タンク補給用移送ポンプモータ

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料および使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	6
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	11
3. 代表機器以外への展開	17
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	17
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	18

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜 4 号炉で使用されている低圧ポンプモータの主な仕様を表1-1に示す。

これらの低圧ポンプモータを、型式および設置場所の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す低圧ポンプモータを型式および設置場所で分類すると 1 つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 屋内設置（型式：全閉形）

このグループには、ほう酸ポンプモータ、燃料取替用水ポンプモータ、恒設代替低圧注水ポンプモータおよび燃料取替用水タンク補給用移送ポンプモータが属するが、重要度が高いほう酸ポンプモータを代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 低圧ポンプモータの主な仕様

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準					代表機器の選定	
電圧 区分	型式	設置 場所		仕様 (定格出力× 定格回転数) (kW×rpm)	重要度*1	使用条件			代表 機器	選定理由
						運転 状態	電圧 (V)	周囲 温度 (°C)		
低圧	全閉	屋内	ほう酸ポンプモータ(3)	11×3,510	MS-1、 重*2	連続	440	約40	◎	重要度
			燃料取替用水ポンプモータ(2)	22×3,530	MS-2	連続	440	約40		
			恒設代替低圧注水ポンプモータ(1)	132×3,575	重*2	一時	440	約40		
			燃料取替用水タンク補給用 移送ポンプモータ(1)	55×3,550	重*2	一時	440	約40		

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の1種類のポンプモータについて技術評価を実施する。

① ほう酸ポンプモータ

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 ほう酸ポンプモータ

(1) 構造

高浜4号炉のほう酸ポンプモータは、定格出力11kW、定格回転数3,510rpmの全閉屋内形三相誘導モータであり、3台設置されている。

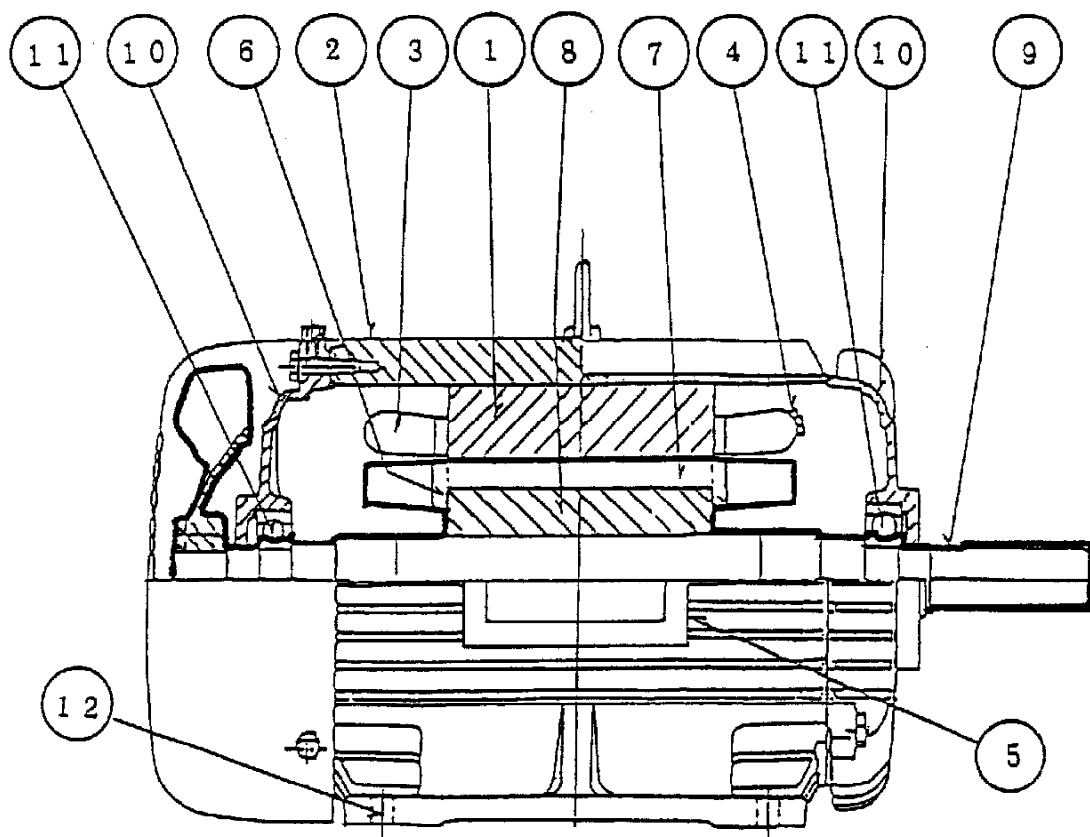
ポンプに直結している主軸には炭素鋼を使用している。

負荷側および反負荷側軸受部には、回転体を支えるためのブラケットが取り付けられ、内側にはモータ回転子重量を支えるための軸受を備えている。

高浜4号炉のほう酸ポンプモータの構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉のほう酸ポンプモータの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



注：太線部が回転部を示す。

No.	部位	No.	部位
①	固定子コア	⑦	回転子棒
②	フレーム	⑧	回転子コア
③	固定子コイル	⑨	主軸
④	口出線	⑩	ブラケット
⑤	端子箱	⑪	軸受（ころがり）
⑥	エンドリング	⑫	取付ボルト

図2.1-1 高浜4号炉 ほう酸ポンプモータ構造図

表2.1-1 高浜4号炉 ほう酸ポンプモータ主要部位の使用材料

部位		材料
固定子組立品	固定子コア	珪素鋼板
	フレーム	鋳鉄
	固定子コイル	銅、ポリエステル、ポリアミドイミド、 ポリエステル樹脂（B種絶縁）
	口出線	銅、シリコンゴム（B種絶縁）
	端子箱	炭素鋼
回転子組立品	回転子棒・エンドリング	アルミニウム地金
	回転子コア	珪素鋼板
	主軸	炭素鋼
軸受組立品	ブラケット	鋳鉄
	軸受（ころがり）	消耗品・定期取替品
支持組立品	取付ボルト	炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 ほう酸ポンプモータの使用条件

定格出力	11kW
周囲温度	約40℃*1
放射線	$3.4 \times 10^{-3} \text{Gy/h}^{*2}$
定格電圧	440V
定格回転数	3,510rpm

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

*2：通常運転時の管理区域内の最大実測値

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

ほう酸ポンプモータの機能であるポンプ駆動機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 駆動機能の確保
- ② 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

ほう酸ポンプモータについて機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（電圧、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 固定子コイルおよび口出線の絶縁低下

固定子コイルおよび口出線の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

なお、本評価書での評価対象機器における放射線の影響については軽微であると考え、健全性評価における劣化要因とはしていない。（電気学会 材料研究会 資料 EIM-79-99、NB-79-21「エポキシ樹脂の放射線照射による物性変化」）

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 固定子コアおよび回転子コアの腐食（全面腐食）

固定子コアおよび回転子コアは珪素鋼板であり、腐食が想定される。

しかしながら、固定子コアはワニス処理、回転子コアはワニス処理または塗装により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(2) フレーム、端子箱およびブラケットの腐食（全面腐食）

フレーム、端子箱およびブラケットは炭素鋼または鋳鉄であり、腐食が想定される。

しかしながら、内外面とも大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 主軸の摩耗

主軸については、軸受（ころがり）との接触面で摩耗が想定される。

軸受定期取替時の軸受引き抜きの際に主軸表面にわずかな線形模様が生じることもあり、主軸表面をサンドペーパーで仕上げる方策も考えられる。この場合、主軸表面にわずかな摩耗が発生し、主軸と軸受スリーブ間で微小すき間が生じ、運転中にフレットングによる摩耗が想定される。

しかしながら、これを防止するため主軸表面の仕上げは行わない運用としており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認および寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(4) 主軸の高サイクル疲労割れ

モータ運転時には主軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下で繰返し応力を受けると、段付部等の応力集中部において高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、モータ設計時には高サイクル疲労を考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、試運転時等における振動確認および分解点検時の応力集中部に対する目視確認により、機器の健全性を確認している。

(5) 取付ボルトの腐食（全面腐食）

取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(6) 回転子棒・エンドリングの疲労割れ

回転子棒・エンドリングについては、モータの起動時に発生する電磁力による繰返し応力を受けるため、疲労割れが想定される。

しかしながら、アルミ充てん式（一体形成）であり、回転子棒とスロットの間に隙間を生じることはなく、疲労割れが発生しがたい構造である。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

軸受（ころがり）は分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 高浜4号炉 ほう酸ポンプモータに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
駆動機能の確保	固定子コア		珪素鋼板		△							*1：高サイクル疲労割れ
	フレーム		鋳鉄		△							
	固定子コイル		銅、ポリエステル、ポリアミドイミド、ポリエステル樹脂					○				
	口出線		銅、シリコーンゴム					○				
	端子箱		炭素鋼		△							
	回転子棒・エンドリング		アルミニウム地金			▲						
	回転子コア		珪素鋼板		△							
	主軸		炭素鋼	△		△*1						
	ブラケット		鋳鉄		△							
	軸受（ころがり）	◎	—									
機器の支持	取付ボルト		炭素鋼		△							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 固定子コイルおよび口出線の絶縁低下

a. 事象の説明

固定子コイルは固定子コアのスロット内に納められており、各々の銅線に漏電防止のための絶縁を施している。口出線は、ポンプモータを駆動するための電力を受給するもので、固定子コイルと同様に絶縁を施している。

固定子コイルおよび口出線の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起す可能性がある。

絶縁低下を生ずる可能性のある部位を図2.3-1に示す。

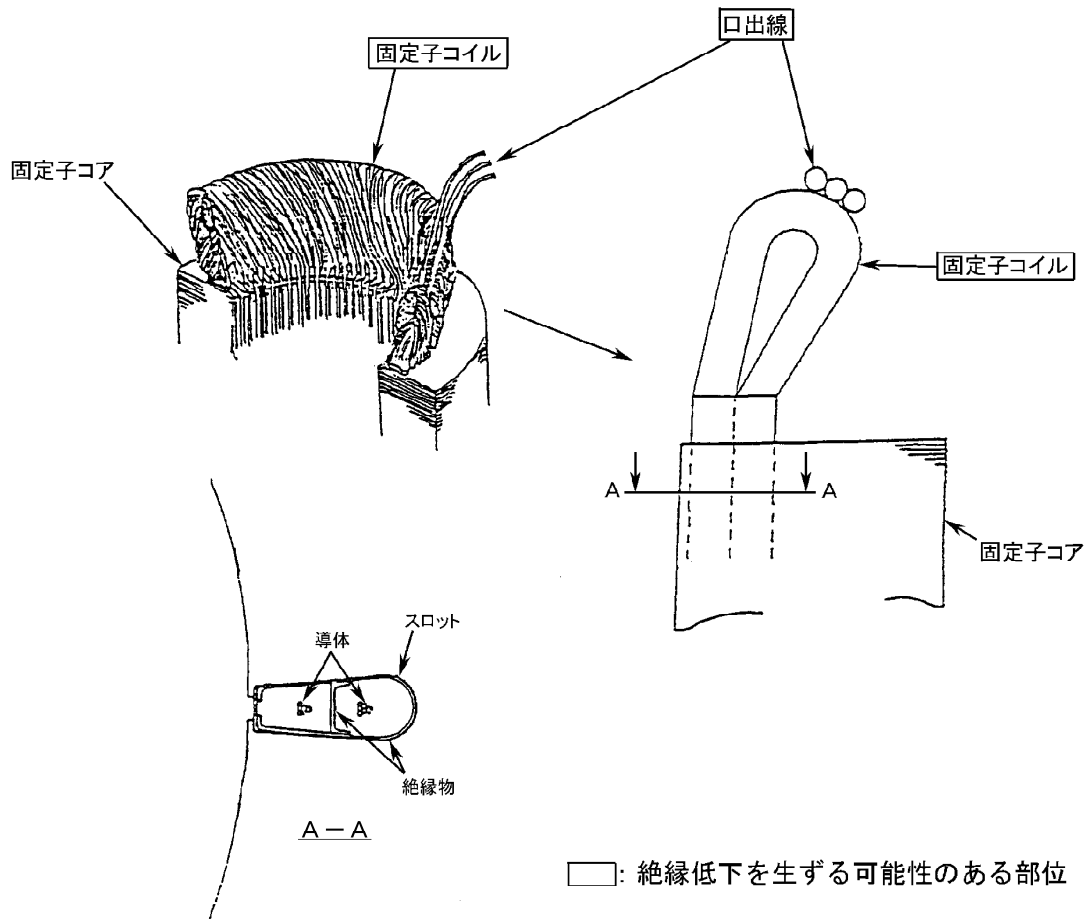


図2.3-1 高浜4号炉 ほう酸ポンプモータ 固定子コイルおよび口出線の絶縁部位

b. 技術評価

① 健全性評価

低圧ポンプモータの固定子コイルの健全性評価は、同種の一般的な固定子コイルの絶縁低下に対する評価方法を用いる。ここでは、IEEE Std. 117-1956「IEEE Standard Test Procedure for Evaluation of Systems of Insulating Materials for Random-Wound Electric Machinery」（以下、「IEEE Std. 117-1956」という。）の規格に基づき実施した評価試験結果および経年機の固定子コイル破壊電圧測定試験に基づき実施した評価試験により固定子コイルの長期健全性を評価した。

IEEE Std. 117-1956では、熱、機械、環境および電気の各劣化要因について個々に試験条件が述べられているが、モータはこれらの劣化要因が複合するため、複合劣化の試験条件で固定子コイルの長期健全性を評価する。

評価手順を図2.3-2に、試験条件を表2.3-1に、ヒートサイクル方法例を図2.3-3に示す。

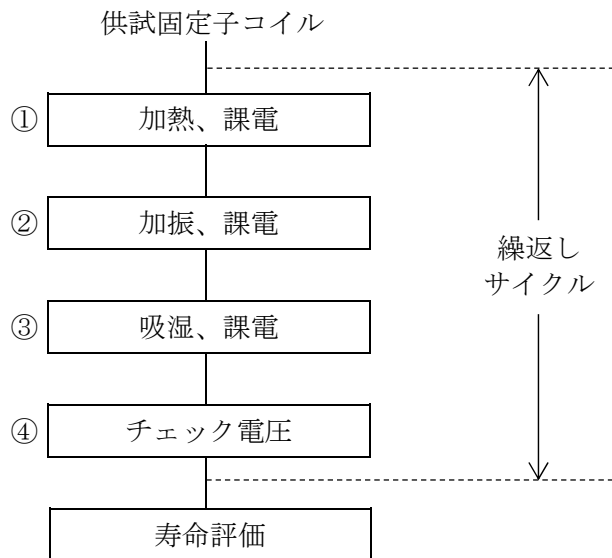


図2.3-2 固定子コイル長期健全性評価手順

図2.3-2の評価手順①、②、③、④を1サイクルとし、コイル絶縁がチェック電圧で破壊するまで繰返し、180℃および200℃での耐熱寿命を基にアレニウス則*1が成り立つと仮定して定数A、Bを求め、耐熱寿命曲線を得る。

*1：アレニウス則

$$\log Y = -A + \frac{B}{273 + t} \quad \text{..... (1)}$$

Y：寿命時間 (hr)
 t：運転温度 (°C)
 A、B：定数
 logY：自然対数

この耐熱寿命曲線は、モータに適用している絶縁固有の特性を表す。
 この(1)式に当該モータの運転温度*2 tを代入して、寿命を求める。
 この寿命で絶縁寿命が決定される。

*2：運転温度

運転温度は、使用最高温度を用いる。

使用最高温度＝周囲温度＋固定子コイルの温度上昇
 ＋測定ポイントとホットスポットとの差（マージン）

IEEE Std. 117-1956の規格に基づき実施した評価試験結果より、固定子コイルの絶縁寿命は、稼働率80%で20年と判断する。

表2. 3-1 固定子コイル長期健全性評価における試験条件

手順	試験項目	試験条件1	試験条件2	実機設計条件
①	温度	180°C－4日	200°C－1日	最大125°C
	電圧	440V－常時印加	440V－常時印加	440V
②	振動	1. 5G－1時間	1. 5G－1時間	1G以下
	電圧	440V－常時印加	440V－常時印加	440V
③	湿度	95～100%RH－2日 (at 40°C)	95～100%RH－2日 (at 40°C)	最大 100%RH (at 40°C)
	電圧	440V－常時印加	440V－常時印加	440V
④	チェック 電圧	対地間 1. 5×E=660V-10分間 線間 150V-10分間	対地間 1. 5×E=660V-10分間 線間 150V-10分間	――

RH: relative humidity (相対湿度)

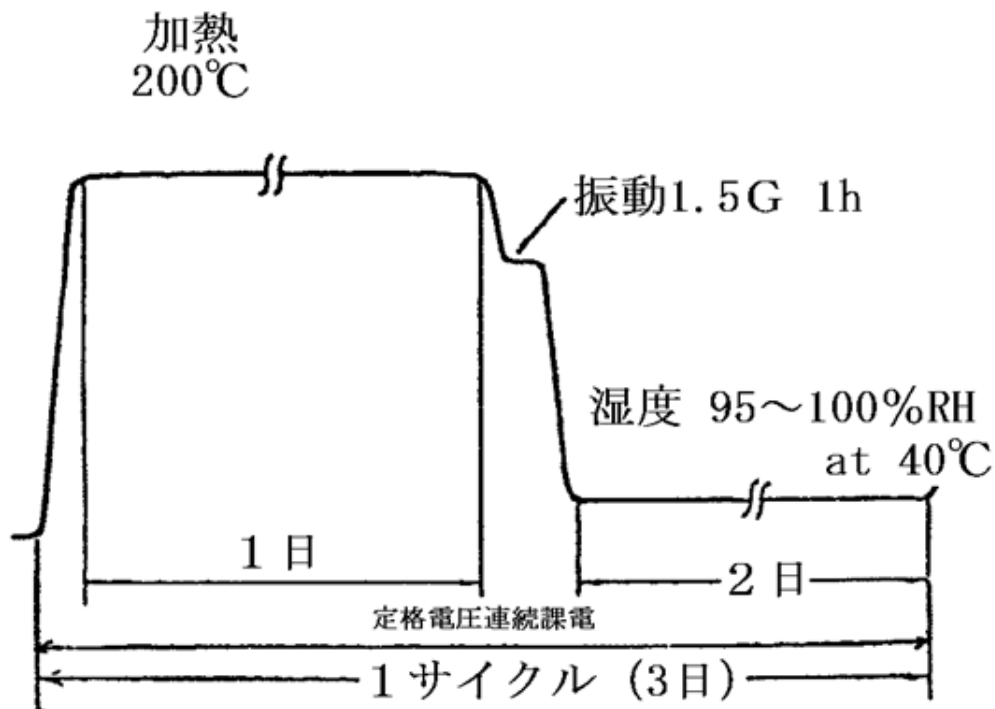


図2.3-3 ヒートサイクル方法例（試験条件2）

次に、440V級の経年機で、固定子コイルを更新した旧機のコイル破壊電圧の測定値を評価した結果が、機器の運転年数と絶縁破壊値の関係として、図2.3-4に示すよう求められる。

この評価からコイル破壊電圧の平均値と95%信頼下限が安全運転下限値（電気設備技術基準： $1.5E=1.5 \times 440$ [V] = 660 [V]）に低下するのが16.5～25年となるため、固定子コイルの運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、16.5年と判断する。

以上の検討結果より、固定子コイルの運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、より厳しい評価結果である経年機の固定子コイル絶縁破壊値による評価結果を採用し、16.5年と判断する。

また、ヒートサイクル方法および旧機のコイル破壊電圧による評価で用いた供試体にはともに口出線が含まれていることから、口出線の運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、固定子コイルと同様の年数と判断する。

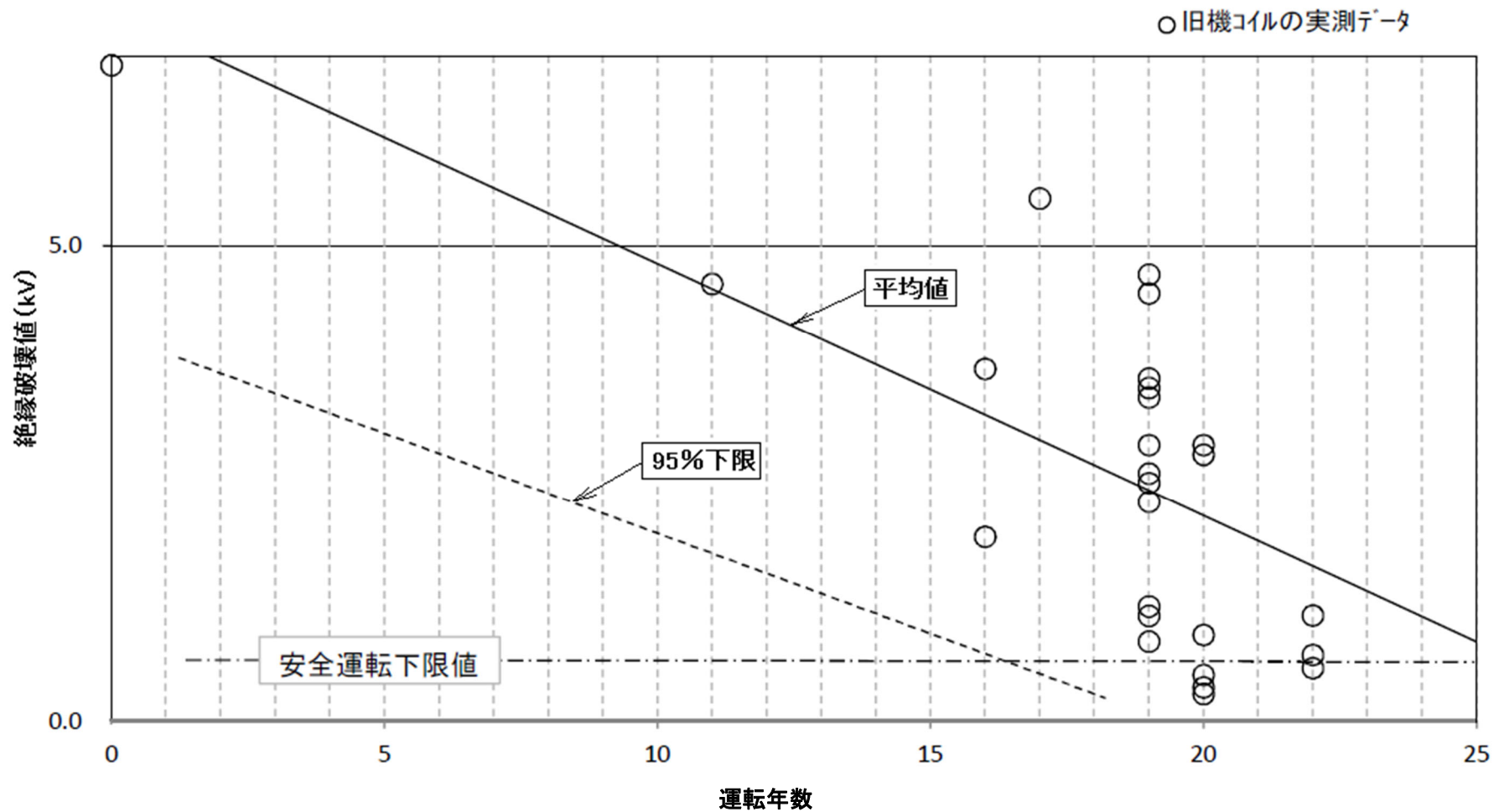


図2.3-4 機器の運転年数と絶縁破壊値の関係
[出典：メーカーデータ]

② 現状保全

固定子コイルおよび口出線の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることの確認を行っている。

また、絶縁抵抗測定の結果に基づき、監視強化としての絶縁抵抗測定の実施頻度の見直しを実施するとともに、必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を行うこととしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、固定子コイルおよび口出線の絶縁低下については、16.5年以降において発生の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

固定子コイルおよび口出線の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していくとともに、点検結果に基づき監視強化としての絶縁抵抗測定の実施頻度の見直しおよび必要に応じて洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を実施していく。

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① 燃料取替用水ポンプモータ
- ② 恒設代替低圧注水ポンプモータ
- ③ 燃料取替用水タンク補給用移送ポンプモータ

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 固定子コイルおよび口出線の絶縁低下 [共通]

燃料取替用水ポンプモータの絶縁仕様、使用環境等は代表機器と同様であることから、固定子コイルおよび口出線の運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は16.5年と判断する。

また、恒設代替低圧注水ポンプモータおよび燃料取替用水タンク補給用移送ポンプモータの絶縁仕様はF種絶縁であり、代表機器と同様、IEEE Std. 117-1956の規格に基づき実施したヒートサイクル方法による評価試験結果（16年）、および経年機の固定子コイル破壊電圧値による評価結果（16.5年）から、固定子コイルの運転に必要な絶縁耐力を保有する期間はより厳しいヒートサイクル方法による評価試験結果である16年と判断する。

また、ヒートサイクル方法および経年機の固定子コイル破壊電圧値による評価で用いた供試体にはともに口出線が含まれていることから、口出線の運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、固定子コイルと同様、16年と判断する。

以上の健全性評価結果から判断して、固定子コイルおよび口出線の絶縁低下については、運転開始後16年または16.5年以降において発生の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、固定子コイルおよび口出線の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していくとともに、点検結果に基づき、監視強化としての絶縁抵抗測定の実施頻度の見直しおよび必要に応じて洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を実施していく。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

3.2.1 固定子コアおよび回転子コアの腐食（全面腐食） [共通]

固定子コアおよび回転子コアは珪素鋼板であり、腐食が想定される。

しかしながら、固定子コアはワニス処理、回転子コアはワニス処理または塗装により腐食を防止している。

また、燃料取替用水ポンプモータは、分解点検時の目視確認で有意な腐食は認められていない。恒設代替低圧注水ポンプモータおよび燃料取替用水タンク補給用移送ポンプモータは、新設機器のため分解点検の実績はないが、他の低圧ポンプモータと同様の構造であり、腐食の傾向は同様と考えられる。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.2 フレーム、端子箱およびブラケットの腐食（全面腐食） [共通]

フレーム、端子箱およびブラケットは炭素鋼または鋳鉄であり、腐食が想定される。

しかしながら、内外面とも大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.3 主軸の摩耗 [共通]

主軸については、軸受（ころがり）との接触面で摩耗が想定される。

軸受定期取替時の軸受引き抜きの際に主軸表面にわずかな線形模様が生じることもあり、主軸表面をサンドペーパーで仕上げる方策も考えられる。この場合、主軸表面にわずかな摩耗が発生し、主軸と軸受スリーブ間で微小すき間が生じ、運転中にフレットニングによる摩耗が想定される。

しかしながら、これを防止するため主軸表面の仕上げは行わない運用としている。

また、燃料取替用水ポンプモータは、分解点検時の寸法計測で有意な摩耗は認

められていない。恒設代替低圧注水ポンプモータおよび燃料取替用水タンク補給用移送ポンプモータは、新設機器のため分解点検の実績はないが、他の低圧ポンプモータと同様の構造であり、摩耗の傾向は同様と考えられる。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認および寸法計測により、機器の健全性を確認している。

3.2.4 主軸の高サイクル疲労割れ [共通]

モータ運転時には主軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下で繰返し応力を受けると、段付部等の応力集中部において高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、モータ設計時には高サイクル疲労を考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、試運転時等における振動確認および分解点検時の応力集中部に対する目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.5 取付ボルトの腐食（全面腐食） [燃料取替用水ポンプモータ、燃料取替用水タンク補給用移送ポンプモータ]

取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.3 2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

3.2.6 回転子棒・エンドリングの疲労割れ [共通]

回転子棒・エンドリングについては、モータの起動時に発生する電磁力による繰返し応力を受けるため、疲労割れが想定される。

しかしながら、アルミ充てん式（一体形成）であり、回転子棒とスロットの間に隙間を生じることはなく、疲労割れが発生しがたい構造である。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

高浜発電所 4 号炉

容器の技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

関西電力株式会社

高浜4号炉の容器のうち、評価対象機器である安全重要度分類審査指針におけるクラス1、2の機器、高温・高圧の環境下にあるクラス3の機器および常設重大事故等対処設備に属する機器を型式、内部流体、材料等でグループ化し、同一グループ内の複数の機器の存在を考慮して、重要度、最高使用圧力等の観点から代表機器を選定した。

これらの一覧表を表1に、機能を表2に示す。

本評価書においては、これら代表機器について技術評価を行うとともに、代表機器以外の機器について技術評価を展開している。本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考ええる。

なお、本評価書における分解点検には、定期的実施する分解点検に加え、状態監視や傾向監視等の結果に基づき計画、実施する分解点検を含んでいる。

また、点検等で確認した結果、異常が認められた場合は速やかに対策を施すこととしており、異常が認められた場合に対策を実施する旨の記載は省略している。

さらに、設置してから分解点検等の実績がない場合も、保全計画が定められていれば「確認している」等と表記している。

本評価書では容器の型式等を基に、以下の7つに分類している。

- 1 原子炉容器
- 2 加圧器
- 3 原子炉格納容器
- 4 補機タンク
- 5 フィルタ
- 6 脱塩塔
- 7 プール型容器

なお、原子炉容器および加圧器の基礎部は「機械設備の技術評価書」にて、格納容器再循環サンプは「コンクリート構造物および鉄骨構造物の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

また、原子炉格納容器機械ペネトレーションに付属する原子炉格納容器バウンダリ内の貫通配管については、本評価書の範囲内とするが、「配管の技術評価書」で評価対象としたものは本評価書には含んでいない。

表 1 (1/2) 高浜 4 号炉 主要な容器

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準			代表機器の選定	
設置場所 型式	内部流体	材料		重要度*1	使用条件		代表 機器	選定理由
					最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (℃)		
屋内・ たて置円筒形	1次冷却材	低合金鋼 (内面ステンレス鋼内張り)	原子炉容器(1)	PS-1、重*3	約17.2	約343	◎	
			加圧器(1)	PS-1、重*3	約17.2	約360	◎	
屋内・ たて置円筒形	大気	炭素鋼	原子炉格納容器(1)	MS-1、重*3	約0.28	約132	◎	
屋内・ たて置円筒形	1次冷却材	炭素鋼 〔内面ステンレス鋼 内張り〕	蓄圧タンク (3)	MS-1、重*3	約 4.9	約150	◎	最高使用圧力
			ほう酸注入タンク (1)	MS-1、重*3	約18.8	約150		
		ステンレス鋼	体積制御タンク (1)	PS-2	約 0.5	約 95	◎	最高使用圧力
			ほう酸タンク (2)	MS-1、重*3	大気圧	約 95		
	希ガス	炭素鋼	燃料取替用水タンク (1)	MS-1、重*3	大気圧	約 95		
			ガス減衰タンク (2)	PS-2	約 1.0	約 95	◎	使用頻度
水素再結合ガス減衰タンク (8)	PS-2	約 1.0	約 95					
屋内・ 横置円筒形	苛性ソーダ	ステンレス鋼	よう素除去薬品タンク (1)	MS-1	約 0.1	約 65	◎	
	ヒドラジン水	炭素鋼	原子炉補機冷却水サージタンク (1)	MS-1、重*3	約 0.3	約 95	◎	
屋内・ たて置・横置 円筒形	給水	炭素鋼	補助蒸気ドレンタンク (2)	高*2	大気圧	約100	◎	最高使用圧力
			スチームコンバータ給水タンク (1)	高*2	大気圧	約100		
			第1段湿分離加熱器ドレンタンク (4)	高*2	約 2.7	約235		
			第2段湿分離加熱器ドレンタンク (4)	高*2	約 7.5	約291		
			湿分離器ドレンタンク (2)	高*2	約 1.4	約200		
スチームコンバータドレンタンク (1)	高*2	約 2.7	約235					
屋外・ たて置円筒形	給水	炭素鋼	復水タンク (1)	MS-1、重*3	大気圧	約 40	◎	

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が95℃を超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

表 1 (2/2) 高浜 4 号炉 主要な容器

分離基準			容器名称 (台数)	選定基準			代表機器の選定	
設置場所 型式	内部流体	材料		重要度*1	使用条件		代表 機器	選定理由
					最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (℃)		
屋内・ たて置円筒形	1 次冷却材	ステンレス鋼	ほう酸フィルタ (1)	MS-1、重*4	約 1.0	約 95	◎	重要度
			冷却材フィルタ (1)	PS-2	約 2.1	約 95		
			封水注入フィルタ (2)	PS-2	約18.8	約 95		
			封水フィルタ (1)	PS-2	約 1.0	約 95		
			冷却材脱塩塔入口フィルタ (2)	PS-2	約 2.1	約 65		
屋内・ ディスク型	空気	ステンレス鋼	格納容器再循環サンプスクリーン (2)	MS-1、重*4	約0.28	約132	◎	
屋内・ たて置円筒形	1 次冷却材	ステンレス鋼	冷却材混床式脱塩塔 (2)	PS-2	約 2.1	約 65	◎	容量*2
			冷却材陽イオン脱塩塔 (1)	PS-2	約 2.1	約 65		
			熱再生イオン交換器 (4)	PS-2	約 2.1	約 65		
屋内・ コンクリート製 埋込みプール型	ほう酸水	鉄筋コンクリート (ステンレス鋼内張り)	使用済燃料ピット (4)	PS-2、重*4	大気圧	約 65	◎	常時使用*3
			キャビティ (1)	PS-2	大気圧	約 65		
			キャナル (1)	PS-2	大気圧	約 65		
			キャスクピット (1)	PS-2	大気圧	約 65		

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2 冷却材混床式脱塩塔の容量 0.85m³、冷却材陽イオン脱塩塔の容量 0.57m³、熱再生イオン交換器の容量 2m³

*3: 使用済燃料ピットは常時使用、キャビティ、キャナル、キャスクピットは定期検査時使用。

*4: 重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

表 2 (1/2) 高浜 4 号炉 主要な容器の機能

容器	機能
原子炉容器	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成し、1 次冷却材中の放射性物質が外部に漏えいするのを防ぐ障壁となる容器である。
加圧器	1 次冷却系の圧力制御のための加熱および加圧を行う容器である。
原子炉格納容器	1 次冷却材喪失事故時などに圧力障壁となり、かつ放射性物質の放散に対する最終障壁を形成する容器である。
蓄圧タンク	窒素ガスで加圧されたほう酸水を保有し、1 次冷却系圧力が蓄圧タンク圧力より低くなるとほう酸水を 1 次冷却系低温側に注入するタンクである。
ほう酸注入タンク	事故時に 1 次冷却材低温側配管に注入するためのほう酸水を貯蔵するタンクである。
体積制御タンク	出力上昇時に加圧器で吸収できない 1 次冷却材を受入れるタンクである。また、冷却材中の水素濃度維持ならびに放射性ガスの除去に用いられる。
ほう酸タンク	最大反応度効果の制御棒 1 本が挿入されない状態での低温停止に必要な量のほう酸水を貯蔵するタンクである。
燃料取替用水タンク	燃料交換作業時にキャビティおよびキャナルにほう酸水を供給する。また、1 次冷却材喪失事故時に充てん／高圧注入ポンプ、余熱除去ポンプ、格納容器スプレイポンプにほう酸水を供給するタンクである。
ガス減衰タンク	気体廃棄物の放射能の受入および再使用のためのリザーバとして使用するタンクである。
水素再結合ガス減衰タンク	気体廃棄物処理系内に蓄積する核分裂生成ガスを長期間貯蔵するタンクである。
よう素除去薬品タンク	1 次冷却材喪失時に格納容器内に放出されるよう素の放射性同位元素を除去するため、スプレイ水に混入させる薬品を貯蔵するタンクである。
原子炉補機冷却水サージタンク	原子炉補機冷却水の膨張、収縮、補給および被冷却機器からの漏れを吸収するタンクである。
補助蒸気ドレンタンク	補助蒸気系統の各部からのドレンを回収し、補助蒸気ドレンタンクポンプを経て、スチームコンバータ給水タンクにドレン水を供給するタンクである。
スチームコンバータ給水タンク	スチームコンバータに供給する給水を貯留するタンクである。
第 1 段湿分分離加熱器ドレンタンク	第 1 段湿分分離加熱器からの管側ドレンを貯留するタンクである。
第 2 段湿分分離加熱器ドレンタンク	第 2 段湿分分離加熱器からの管側ドレンを貯留するタンクである。
湿分分離器ドレンタンク	湿分分離加熱器からの胴側ドレンを貯留するタンクである。

表 2 (2/2) 高浜 4 号炉 主要な容器の機能

容器	機能
スチームコンバータドレンタンク	スチームコンバータドレン流量の変動を吸収し、かつ、当該機器の安定な水位制御を行うためのサージタンクである。
復水タンク	復水器の水位制御を行うためのサージタンクである。
ほう酸フィルタ	ほう酸注入タンク等へ送られるほう酸水から浮遊物を取り除くためのフィルタである。
冷却材フィルタ	抽出水中の浮遊物および破砕樹脂を除去するためのフィルタである。
封水注入フィルタ	封水中から 1 次冷却材ポンプのシール面の保護のため浮遊物等を取り除くためのフィルタである。
封水フィルタ	封水中から浮遊物を取り除くためのフィルタである。
冷却材脱塩塔入口フィルタ	冷却材混床式脱塩塔の入口に設置され、抽出水中の浮遊物を除去するフィルタである。
格納容器再循環サンプルスクリーン	事故時に再循環水から浮遊物を取り除き、余熱除去ポンプ等に再循環水を供給するためのフィルタである。
冷却材混床式脱塩塔	1 次冷却材の純度を保つためのもので、核分裂生成物および腐食生成物を除去するための脱塩塔である。
冷却材陽イオン脱塩塔	1 次冷却材中に生成するLi-7の濃度を間欠的に制御し、燃料破損時の 1 次冷却材中のセシウムの濃度等を減少させるための脱塩塔である。
熱再生イオン交換器	1 次冷却材中のほう素濃度を調整するための脱塩塔である。
使用済燃料ピット	使用済燃料の貯蔵および使用済燃料を冷却、遮蔽しているほう酸水を保持するためのプール型容器である。
キャビティ	原子炉への燃料装荷および取出時の燃料取り扱いを、ほう酸水の中で行うためのプール型容器である。
キャナル	定期検査時に燃料を移送するためのプール型容器である。
キャスクピット	使用済燃料運搬用容器への使用済燃料の装てんを、ほう酸水の中で行うためのプール型容器である。

1 原子炉容器

[対象機器]

- ① 原子炉容器

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 原子炉容器の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	6
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	13

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉の原子炉容器の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 原子炉容器の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件	
		最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
原子炉容器 (1)	PS-1、重*2	約17.2	約343

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

2. 原子炉容器の技術評価

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 原子炉容器

(1) 構造

高浜4号炉の原子炉容器は、上部蓋の取り外しが可能なフランジ構造を有し、高温高圧の1次冷却材を内包し、かつ高放射線環境にある炉心を有する容器である。

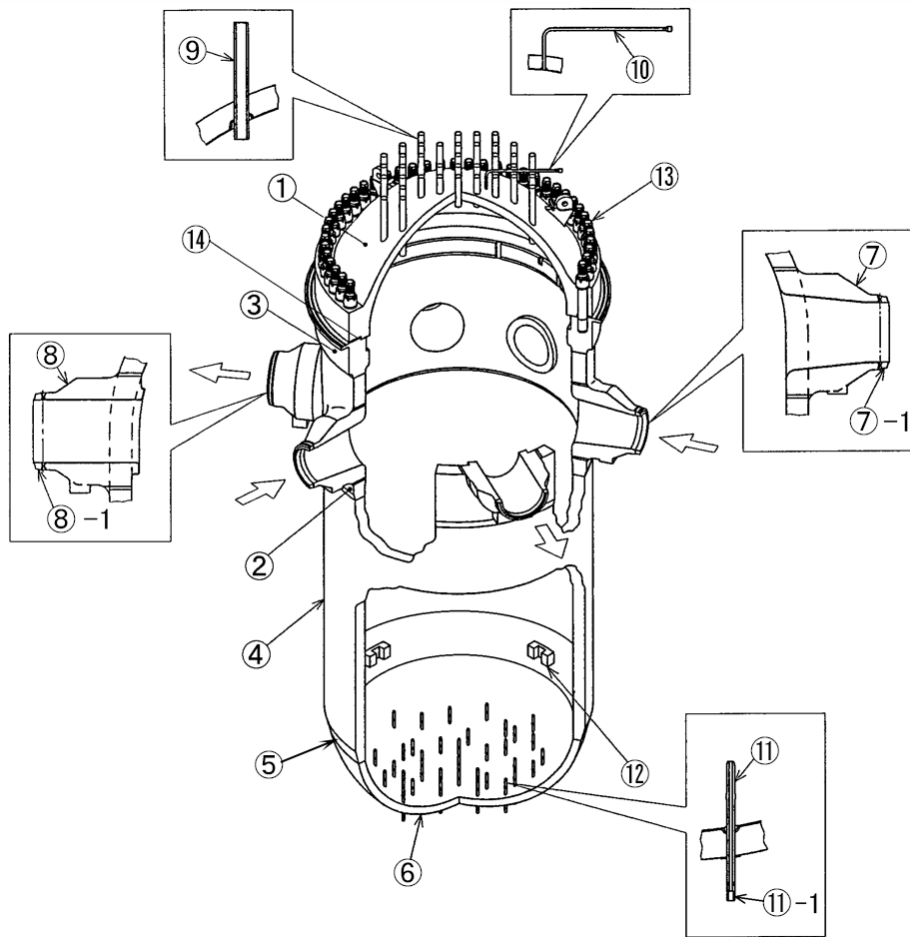
原子炉容器は、低合金鋼を加工して製作しており、内面の1次冷却材と接液する部位にはステンレス鋼を内張りしている。

高浜4号炉の原子炉容器の構造を図2.1-1に示す。

なお、原子炉容器上部蓋は、蓋用管台の応力腐食割れに対する予防保全処置として、第17回定期検査時（2007年度）に取替を実施している。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の原子炉容器の使用材料、胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化に影響を与える化学成分および使用条件を表2.1-1、表2.1-2、表2.1-3に示す。



No.	部位
①	上部蓋
②	上部胴
③	上部胴フランジ
④	下部胴
⑤	トランジションリング
⑥	下部鏡
⑦	冷却材入口管台
⑦-1	セーフエンド
⑧	冷却材出口管台
⑧-1	セーフエンド
⑨	蓋用管台
⑩	空気抜用管台
⑪	炉内計装筒
⑪-1	セーフエンド
⑫	炉心支持金物
⑬	スタッドボルト
⑭	Oリング

図2.1-1 高浜4号炉 原子炉容器構造図

表2.1-1 高浜4号炉 原子炉容器主要部位の使用材料

部位	材料
上部蓋 上部胴フランジ 上部胴 下部胴 トランジションリング 下部鏡	低合金鋼 ステンレス鋼（内張り）
冷却材入口管台 冷却材出口管台	低合金鋼 セーフエンドはステンレス鋼 ステンレス鋼（内張り） 溶接金属は600系ニッケル基合金 溶接部の接液部には690系ニッケル基合金クラッド施工
蓋用管台	690系ニッケル基合金
空気抜用管台	690系ニッケル基合金
炉内計装筒	600系ニッケル基合金 セーフエンドはステンレス鋼 セーフエンドとの溶接金属は600系ニッケル基合金 下部鏡との溶接金属は600系ニッケル基合金
炉心支持金物	600系ニッケル基合金
スタッドボルト	低合金鋼
Oリング	消耗品・定期取替品

表2.1-2 高浜4号炉 原子炉容器胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化に影響を与える化学成分（重量%）

区分	Si	P	Ni	Cu	Mn	C
母材	0.26	0.005	0.58	0.050	1.37	0.21
溶接金属 ^{*1}	0.29	0.007	0.86	0.014	1.22	0.065

*1 溶接方法はサブマージドアーク溶接

表2.1-3 高浜4号炉 原子炉容器の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa[gage]
最高使用温度	約343℃
内部流体	1次冷却材

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

原子炉容器の機能である原子炉冷却材圧力バウンダリ機能を維持するためには、次の項目が必要である。

① バウンダリの維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

原子炉容器について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 冷却材出入口管台等の疲労割れ

プラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材の温度、圧力、流量変化により、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

(2) 胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化

プラント運転開始後60年時点で中性子照射量が 10^{17}n/cm^2 ($E>1\text{MeV}$) を超える原子炉容器の炉心領域部においては、中性子照射とともに関連温度が上昇し、上部棚領域部の靱性が低下することから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 600系ニッケル基合金使用部位の応力腐食割れ

1991年9月、仏国ブジェー（Bugey）発電所3号炉において発生した蓋用管台損傷事象は、管台母材材料である600系ニッケル基合金の1次冷却材中での応力腐食割れと報告されており、その後の点検において、フランス、スウェーデン、スイス等の他の海外プラントにおいて管台母材部およびJ-溶接部に1次冷却材中での応力腐食割れによる損傷が認められている。また、2004年5月には、国内においても大飯発電所3号炉の蓋用管台J-溶接部において溶接部の表面仕上げ（パフ仕上げ）が行われていなかったことに起因して、溶接部表面に比較的高い残留応力が発生していたことにより、1次冷却材中での応力腐食割れによる損傷が認められている。2002年3月には米国デービスベッセ（Davis Besse）発電所において、ほう酸腐食による原子炉容器上部蓋の減損が認められており、これは600系ニッケル基合金の応力腐食割れにより上部蓋貫通部から1次冷却材が漏えいし、それを放置したことによるものとされている。さらに、2008年3月には、大飯発電所3号炉の原子炉冷却材出口管台と1次冷却材管のニッケル基合金溶接部において、製作時の機械加工に伴う内表面の高い引張残留応力により、1次冷却材中での応力腐食割れによる損傷が認められている。これらのことから、600系ニッケル基合金使用部位の応力腐食割れが想定される。

なお、2000年10月、米国V. C. サマー（V. C. Summer）発電所において、原子炉冷却材出口管台と1次冷却材管のニッケル基合金溶接部に亀裂が発見されたが、これは建設時の溶接補修の繰り返しにより、引張残留応力が高くなったために発生した内面側からの応力腐食割れと報告されている。

しかしながら、応力・温度条件の厳しい炉内計装筒母材部および炉内計装筒 J－溶接部については、第 19 回定期検査時（2009 年度～2010 年度）にウォータージェットピーニング（応力緩和）を施工していることから、応力腐食割れが発生する可能性は小さいと考える。炉心支持金物については有意な応力が発生しないことから、応力腐食割れが発生する可能性は小さいと考える。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、炉内計装筒についてはベアメタル検査を、炉心支持金物については目視検査を実施し、機器の健全性を確認している。

なお、運転期間延長認可申請に際して実施した特別点検において、原子炉容器炉内計装筒の内面に対して渦流探傷検査を、J－溶接部に対して目視確認を実施した結果、有意な欠陥は認められなかった。

(2) 上部蓋および上部胴フランジシート面のピitting

上部蓋および上部胴フランジのシート面は、狭あい部でありピittingの発生が想定される。

しかしながら、一度運転に入ると高温状態となりシート面のステンレス鋼内張り表面に強固な酸化皮膜が形成されるため、有意なピittingの進展は考えられないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(3) スタッドボルトの腐食（全面腐食）

スタッドボルトは低合金鋼であり、Oリングからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時の超音波探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(4) 蓋用管台、空気抜用管台等の応力腐食割れ

蓋用管台、空気抜用管台および冷却材出入口管台溶接部接液部には690系ニッケル基合金を使用しており、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、図2.2-1に示す電力共同研究による690系ニッケル基合金の温度加速定荷重応力腐食割れ試験の結果から、応力腐食割れが発生する可能性は小さいと考えられる。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、漏えい検査により、機器の健全性を確認している。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(5) 上部蓋等低合金鋼部の内張り下層部の亀裂

上部蓋、上部胴等には低合金鋼を用いており、ステンレス鋼の内張りを施している。一部の低合金鋼（SA-508 Class2）では大入熱溶接を用いた内張りで溶接後熱処理が行われると局部的に亀裂が発生することが米国のPVRC（Pressure Vessel Research Council）の研究により確認されている。これは内張り施工の際、6本の溶接ワイヤーで同時に溶接したために大入熱になったものである。

高浜4号炉においては図2.2-2に示すように材料の化学成分（ ΔG 値）を踏まえ溶接入熱を管理し溶接を実施しており、亀裂の発生する可能性は小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

Oリングは分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

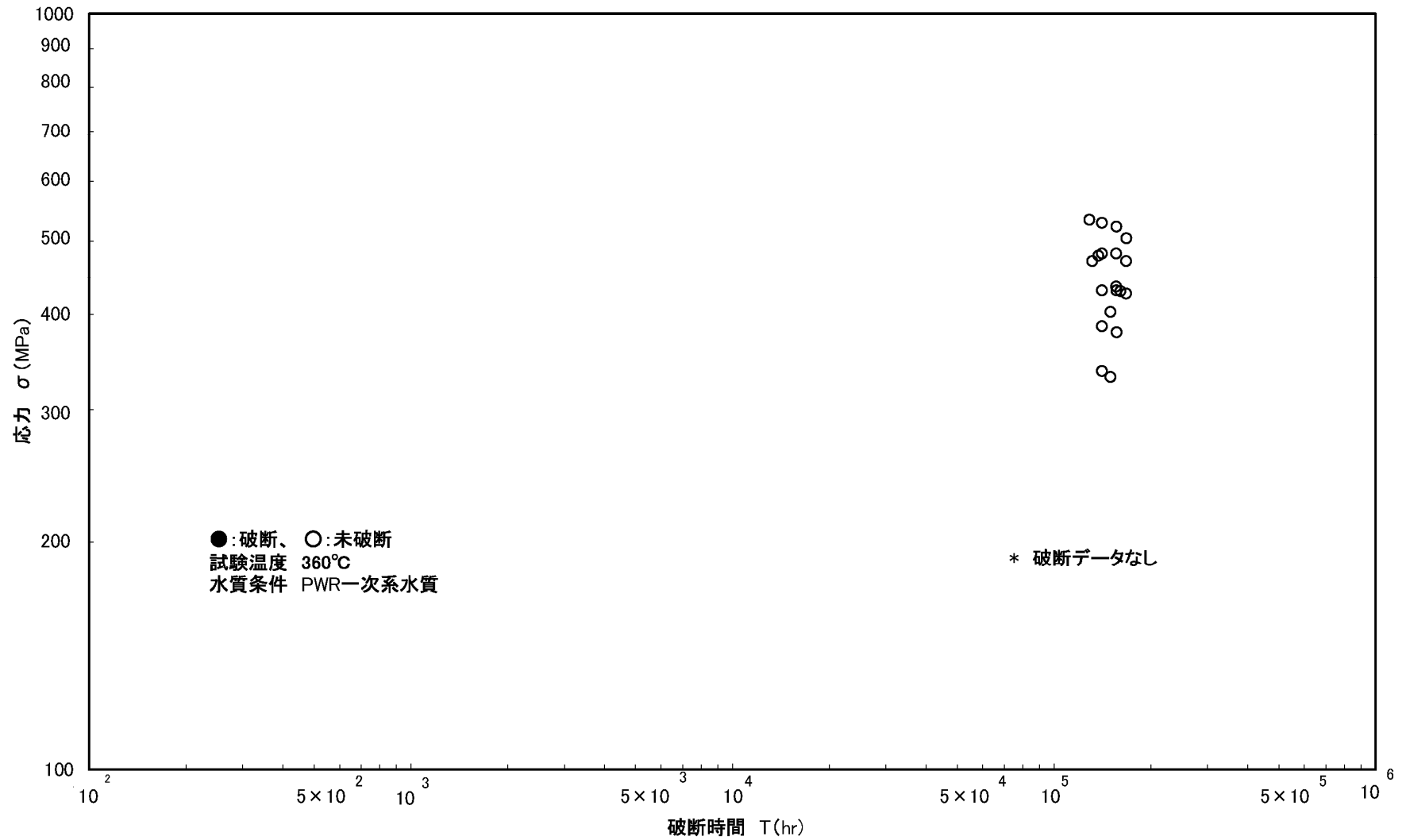
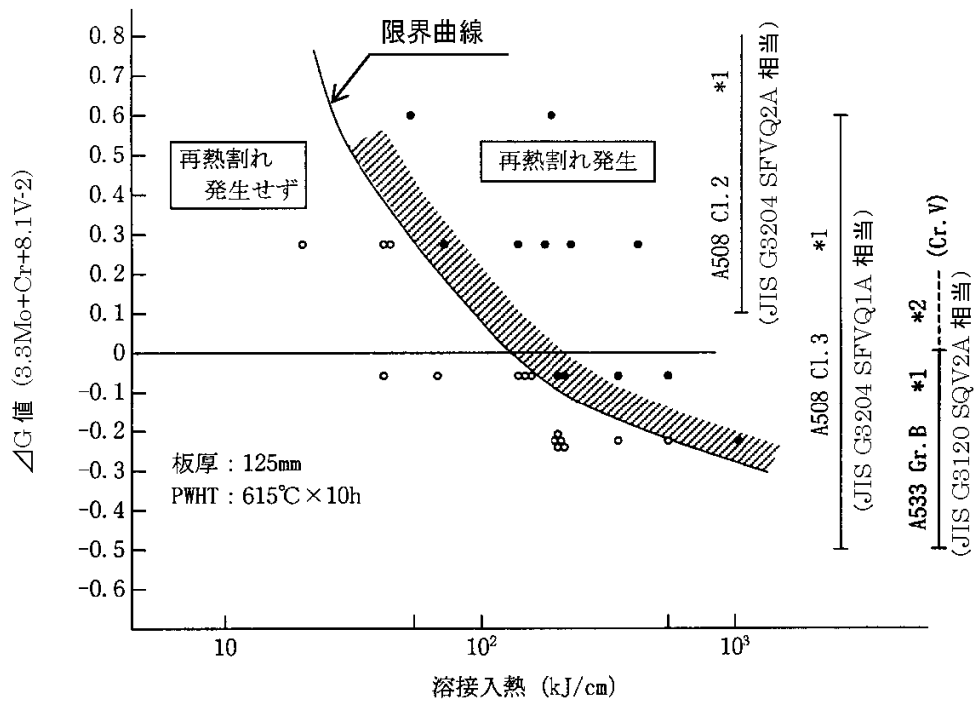


図2.2-1 690系ニッケル基合金の定荷重応力腐食割れ (SCC) 試験結果
[出典：電力共同研究「690合金のPWSCC長期信頼性確証試験 (STEP5) 2020年度 (最終報告書)」]



*1：規格成分による計算値
*2：規格成分外の Cr, V を加えた計算値

図2.2-2 再熱割れ発生に及ぼすΔG値および溶接入熱の影響
[出典：三菱重工技報 Vol.14 No.1 (1977-1)]

表2.2-1 高浜4号炉 原子炉容器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	上部蓋、 上部胴、下部胴、 トランジションリング、 下部鏡		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り)		△*3 (上部蓋)	○			○*1	▲*2	*1：中性子照射脆化 (下部胴) *2：内張り下層部の 亀裂 *3：ピitting
	上部胴フランジ		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り)		△*3	○				▲*2	
	冷却材入口管台 冷却材出口管台		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り) (セーフエンドは ステンレス鋼) (溶接金属は600系 ニッケル基合金) (溶接液部は690系 ニッケル基合金 クラッド施工)			○	△ (溶接金属)			▲*2	
	蓋用管台 空気抜用管台		690系ニッケル基合金			○	△ (溶接金属を 含む)				
	炉内計装筒		600系ニッケル基合金 (セーフエンドは ステンレス鋼) (溶接金属は600系 ニッケル基合金)			○	△ (溶接金属を 含む)				
	炉心支持金物		600系ニッケル基合金			○	△ (溶接金属を 含む)				
	スタッドボルト		低合金鋼		△	○					
	○リング	◎	-								

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 冷却材出入口管台等の疲労割れ

a. 事象の説明

冷却材出入口管台等は、プラントの起動・停止時等に熱過渡を繰返し受けるため、疲労が蓄積することになる。

b. 技術評価

① 健全性評価

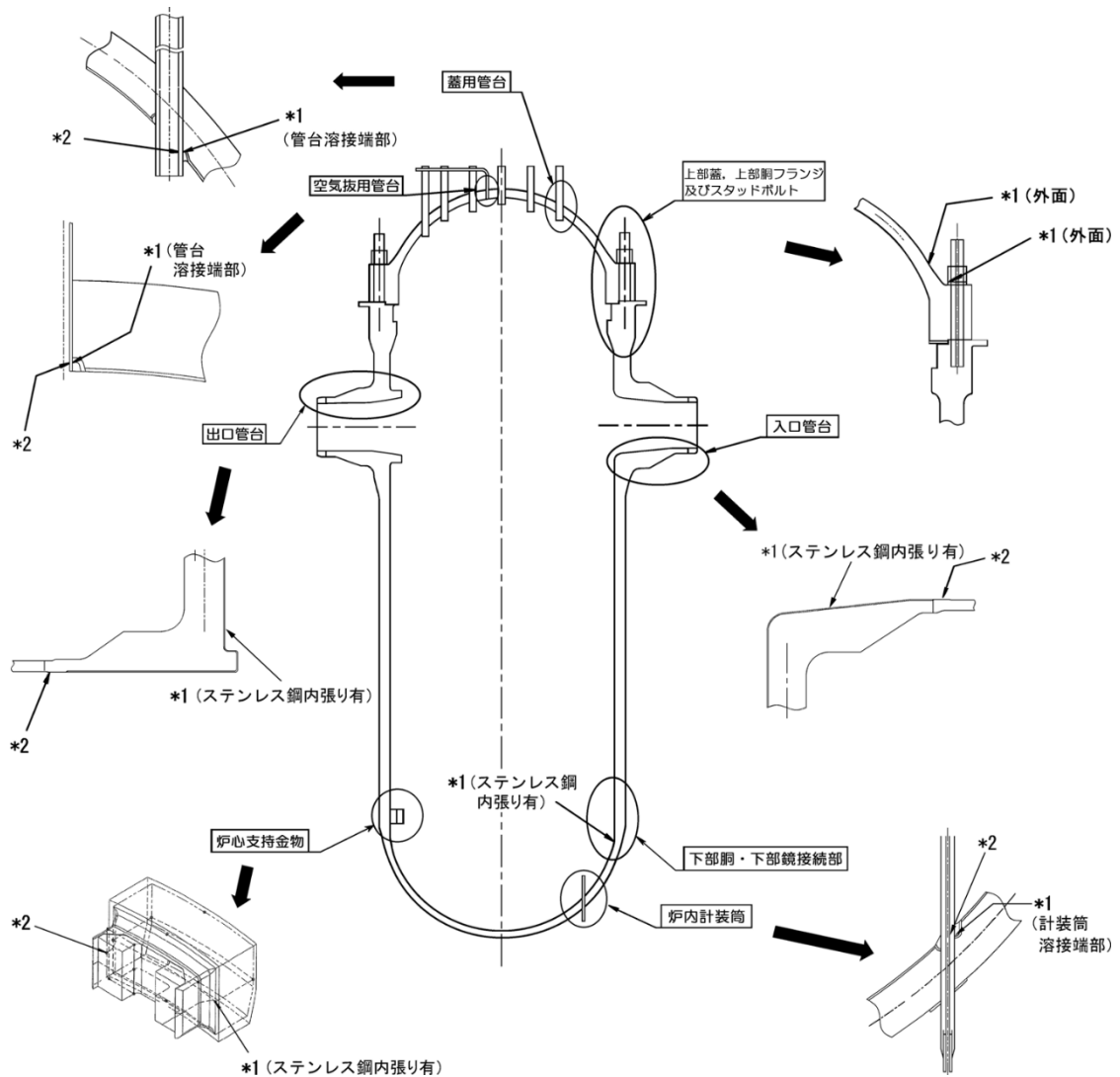
冷却材出入口管台等の健全性評価にあたっては、構造が不連続であるため比較的大きな熱応力の発生する部位を対象として「日本機械学会 設計・建設規格（JSME S NC1-2005/2007）」に基づき評価を行った。

また、使用環境を考慮した疲労について、「日本機械学会 環境疲労評価手法（JSME S NF1-2009）」に基づき評価した。

評価点を図2.3-1に、疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。なお、運転期間延長認可申請に伴う評価として、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的*に設定した過渡回数とした。

*：評価条件として、2020年度以降の過渡発生頻度は実績の1.5倍以上を設定した。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。



*1: 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)

(非接液部の場合は () 内に理由を記載)

*2: 「環境疲労評価手法」に基づく疲労評価対象部位(最大) (接液部が対象)

図2.3-1 高浜4号炉 原子炉容器 冷却材出入口管台等の疲労評価対象部位

表2.3-1(1/3) 高浜4号炉 原子炉容器 冷却材出入口管台等の疲労評価に用いた過渡回数

(上部蓋、蓋用管台、空気抜用管台およびスタッドボルトを除く)

運転状態Ⅰ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動 (温度上昇率55.6℃/h)	35	71
停止 (温度下降率55.6℃/h)	34	71
負荷上昇 (負荷上昇率5%/min)	308	800
負荷減少 (負荷減少率5%/min)	298	790
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	4
定常負荷運転時の変動*1	-	-
燃料交換	24	62
0%から15%への負荷上昇	35	66
15%から0%への負荷減少	25	55
1 ループ停止 / 1 ループ起動		
Ⅰ) 停止	0	2
Ⅱ) 起動	0	2

運転状態Ⅱ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
負荷の喪失	4	6
外部電源喪失	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	0	2
100%からの原子炉トリップ		
Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	3	6
Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2
Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴う トリップ	0	2
1次冷却系の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	0	2
タービン回転試験	3	3
1次系漏えい試験	31	65

*1：設計評価においては、1次冷却材温度 $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 、1次冷却材圧力は $\pm 0.34\text{MPa}$ ($\pm 3.5\text{kg/cm}^2$) の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

表2.3-1(2/3) 高浜4号炉 原子炉容器 上部蓋、蓋用管台および空気抜用管台の
疲労評価に用いた過渡回数

運転状態Ⅰ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値*2
起動（温度上昇率55.6℃/h）	10	46
停止（温度下降率55.6℃/h）	9	46
負荷上昇（負荷上昇率5%/min）	68	560
負荷減少（負荷減少率5%/min）	67	559
90%から100%へのステップ状負荷上昇	0	2
100%から90%へのステップ状負荷減少	0	2
100%からの大きいステップ状負荷減少	0	2
定常負荷運転時の変動*1	-	-
燃料交換	6	44
0%から15%への負荷上昇	7	38
15%から0%への負荷減少	6	36
1 ループ停止 / 1 ループ起動		
Ⅰ) 停止	0	2
Ⅱ) 起動	0	2

運転状態Ⅱ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値*2
負荷の喪失	0	2
外部電源喪失	0	3
1次冷却材流量の部分喪失	0	2
100%からの原子炉トリップ		
Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	1	4
Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2
Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴う トリップ	0	2
1次冷却系の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	0	2
タービン回転試験	0	0
1次系漏えい試験	9	43

*1：設計評価においては、1次冷却材温度±1.7℃、1次冷却材圧力は±0.34MPa（±3.5kg/cm²）の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

*2：運転開始後22年時点での上部蓋取替に伴い、プラント運転開始後60年時点の過渡回数としては、上部蓋取替からプラント運転開始後60年時点までの年数である38年間の過渡回数とした。

表2.3-1(3/3) 高浜4号炉 原子炉容器 スタッドボルトの疲労評価に用いた過渡回数

運転状態Ⅰ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動（温度上昇率55.6℃/h）	37	75
停止（温度下降率55.6℃/h）	35	75
負荷上昇（負荷上昇率5%/min）	308	800
負荷減少（負荷減少率5%/min）	298	790
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	4
定常負荷運転時の変動*1	-	-
燃料交換	24	62
0%から15%への負荷上昇	35	66
15%から0%への負荷減少	25	55
1ループ停止/1ループ起動		
Ⅰ) 停止	0	2
Ⅱ) 起動	0	2

運転状態Ⅱ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
負荷の喪失	4	6
外部電源喪失	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	0	2
100%からの原子炉トリップ		
Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	3	6
Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2
Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴う トリップ	0	2
1次冷却系の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	0	2
タービン回転試験	3	3
1次系漏えい試験	33	70

*1：設計評価においては、1次冷却材温度 $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 、1次冷却材圧力は $\pm 0.34\text{MPa}$ （ $\pm 3.5\text{kg/cm}^2$ ）の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

表2.3-2 高浜4号炉 原子炉容器 冷却材出入口管台等の疲労評価結果

評価対象部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値：1以下)	
	設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
① 冷却材入口管台 (低合金鋼、ステンレス鋼 (内張り))	0.039	0.001 ^{*2}
② 冷却材出口管台 (低合金鋼、ステンレス鋼 (内張り))	0.043	0.001 ^{*2}
③ 蓋用管台 ^{*1} (690系ニッケル基合金)	0.122	0.001 ^{*2}
④ 空気抜用管台 ^{*1} (690系ニッケル基合金)	0.014	0.002 ^{*2}
⑤ 炉内計装筒 (600系ニッケル基合金)	0.120	0.002 ^{*2}
⑥ 上部蓋 ^{*1} および上部胴フランジ (低合金鋼、ステンレス鋼 (内張り))	0.008	— ^{*3}
⑦ 下部胴・下部鏡接続部 (低合金鋼、ステンレス鋼 (内張り))	0.005	— ^{*3}
⑧ 炉心支持金物 (600系ニッケル基合金)	0.006	0.001 ^{*2}
⑨ スタッドボルト (低合金鋼)	0.372	— ^{*3}

*1：第17回定期検査時（2007年度）に原子炉容器上部蓋を取替えているため、38年間の過渡回数を基に算出した。

*2：炉水環境にあり、かつ疲労評価上最も厳しい箇所について評価を実施しており、設計・建設規格の疲労評価対象箇所と異なる。

*3：非接液部。

② 現状保全

冷却材出入口管台等の疲労割れに対しては、定期的に超音波探傷検査等(表2.3-3)により、有意な欠陥がないことを確認している。また、定期的に漏えい検査を実施し、耐圧部の健全性を確認している。

原子炉容器内面の内張りについては、定期的に目視により有意な異常のないことを確認している。

なお、運転期間延長認可申請に際して実施した特別点検において、原子炉容器出入口管台に対して渦流探傷検査を実施した結果、有意な欠陥は認められなかった。

表2.3-3 高浜4号炉 原子炉容器の供用期間中検査の内容

部位	検査部位	検査内容
① 冷却材入口管台	内面コーナー、セーフエンドとの溶接部、胴との溶接部	超音波探傷検査 浸透探傷検査
② 冷却材出口管台	内面コーナー、セーフエンドとの溶接部、胴との溶接部	超音波探傷検査 浸透探傷検査
③ 蓋用管台	制御棒駆動装置ハウジングとの溶接部	浸透探傷検査
④ 空気抜用管台	上部蓋の貫通部	漏えい検査
⑤ 炉内計装筒	下部鏡の貫通部	ベアメタル検査
⑥ 上部蓋および上部胴フランジ	溶接部	超音波探傷検査
⑦ 下部胴・下部鏡接続部	溶接部	超音波探傷検査
⑧ 炉心支持金物	胴との溶接部	目視検査
⑨ スタッドボルト	ボルト本体	超音波探傷検査
	ナット	目視検査

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、疲労割れ発生の可能性はないと考える。ただし、疲労評価は実績過渡回数に依存するため、今後も実績過渡回数を把握し評価する必要がある。

また、疲労割れは超音波探傷検査等で、原子炉容器内面の内張りの欠陥については、有意な異常のないことを目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

冷却材出入口管台等の疲労割れについては、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認する。

2.3.2 胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化

a. 事象の説明

原子炉容器が通常の圧力容器と異なる点は、燃料を取り囲む胴部（炉心領域部）で中性子照射を受ける環境にあることである。このため安全性の見地から監視試験片の設定や中性子照射脆化に関する多くの研究が行われてきている。

一般的に材料は中性子の照射を受けると非常に微小な欠陥（析出物やマイクロボイド）が生じ、このような欠陥が存在すると材料の変形の際（転位の移動）の抵抗となり、破壊に対する抵抗（靱性）の低下が生じる。原子炉容器の胴部（炉心領域部）においては、中性子照射とともに関連温度（ $R T_{NDT}$ ）が上昇し、上部棚吸収エネルギー（USE）が低下することは広く知られており、中性子照射脆化と呼ばれている（図2.3-2参照）。

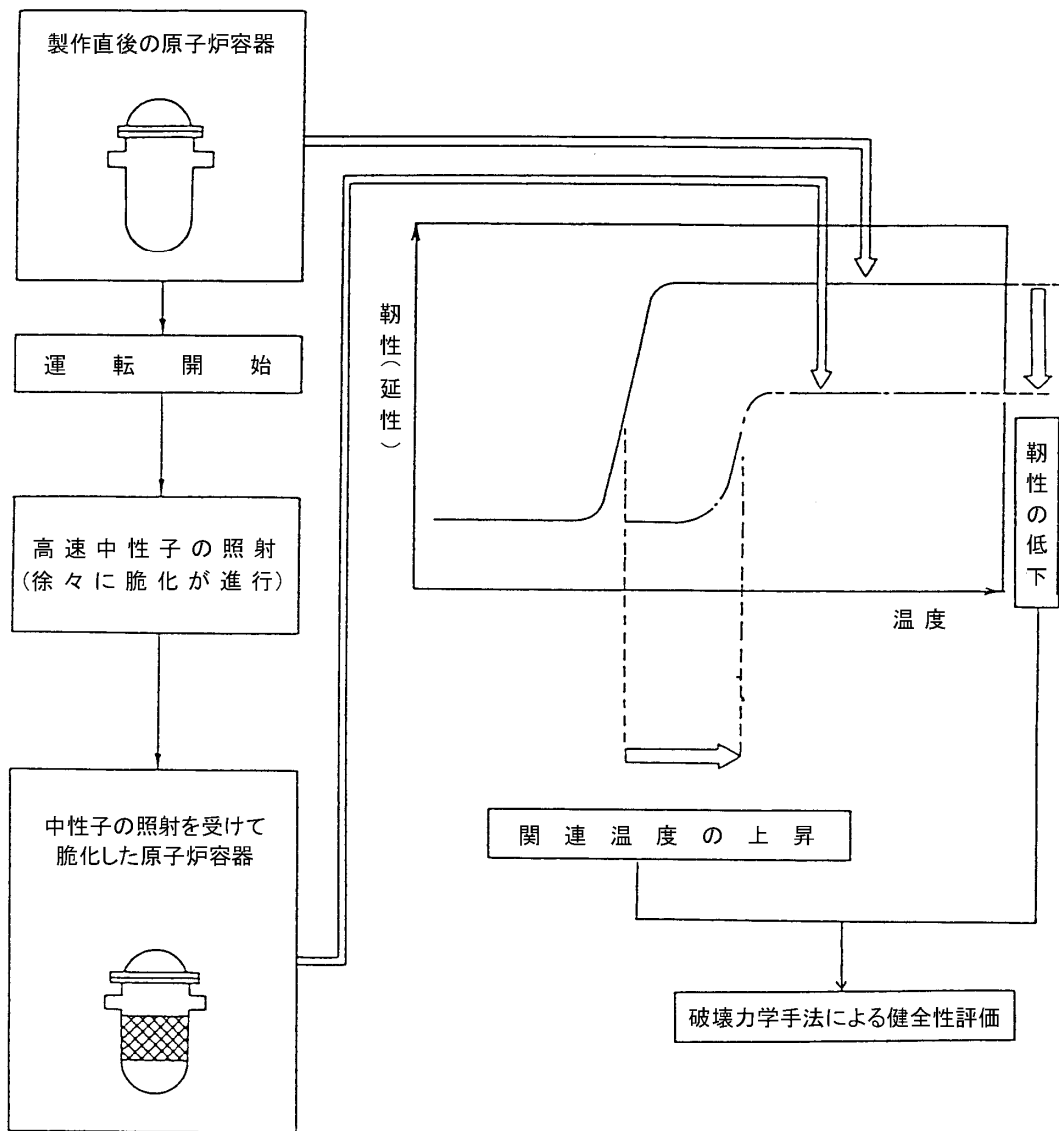


図2.3-2 原子炉容器胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化に対する健全性評価

b. 技術評価

① 健全性評価

中性子照射脆化に対し健全性評価上厳しい箇所は、炉心領域の下部胴である。胴内表面での中性子照射量は、現時点（2021年3月末時点）で $4.70 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$ ($E > 1 \text{MeV}$)、運転開始後60年時点で $9.53 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$ ($E > 1 \text{MeV}$)程度と評価される。なお、炉心の有効高さを直接囲んでいる下部胴に対して、上部胴およびトランジションリングでは相当運転期間における関連温度移行量が十分に小さく炉心領域に含まれないことから、炉心領域の下部胴を対象として以下の評価を実施する。

高浜4号炉の現在までの監視試験結果を表2.3-4および表2.3-5に示す。なお、母材の熱影響部については、溶接による熱履歴により、Tr30の温度は母材より低くなっていることから、評価は母材を代表としている。

表2.3-4 高浜4号炉 原子炉容器胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化に対する監視試験結果（Tr30）

回数	中性子照射量 ($\times 10^{19} \text{n/cm}^2$) [$E > 1 \text{MeV}$]	Tr30 (°C) *3		
		母材	溶接金属	熱影響部
初期	0	-48	-53	-96
第1回	0.5 [約4EFPY] *1	-38	-35	-95
第2回	3.1 [約26EFPY] *1	-21	-28	-87
第3回	6.4 [約50EFPY] *1	6	-12	-51
第4回	10.0 [約76EFPY] *1	41	3	-19
第5回	14.0 [約104EFPY] *1*2	66	28	5

*1:内表面から板厚 t の1/4t深さでのEFPY。EFPYとは、定格負荷相当年数であり、定格出力で連続運転したと仮定して計算した年数を示す。

*2:第5回監視試験実施時の定格負荷相当年数は約25EFPY。

*3:シャルピー衝撃試験における吸収エネルギーが41Jとなる温度。関連温度はTr30の移行量と関連温度初期値から算出する。

【関連温度初期値】高浜4号炉 母材：-30°C 溶接金属：-60°C 熱影響部：-35°C

表2.3-5 高浜4号炉 原子炉容器胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化に対する監視試験結果（上部棚吸収エネルギー）

回数	中性子照射量 ($\times 10^{19}\text{n/cm}^2$) [$E > 1\text{ MeV}$]	上部棚吸収エネルギー (J)		
		母材	溶接金属	熱影響部
初期	0	190	226	227
第1回	0.5 [約4EFPY] *1	196	228	238
第2回	3.1 [約26EFPY] *1	187	211	227
第3回	6.4 [約50EFPY] *1	179	209	225
第4回	10.0 [約76EFPY] *1	193	211	221
第5回	14.0 [約104EFPY] *1*2	176	192	205

*1:内表面から板厚 t の $1/4t$ 深さでのEFPY。EFPYとは、定格負荷相当年数であり、定格出力で連続運転したと仮定して計算した年数を示す。

*2:第5回監視試験実施時の定格負荷相当年数は約25EFPY。

「日本電気協会 原子炉構造材の監視試験方法（JEAC4201-2007[2013年追補版]）」（以下、「JEAC4201」という。）の国内脆化予測法による、現時点（2021年3月末時点）と運転開始後60年時点での関連温度予測値、および国内USE予測式による上部棚吸収エネルギー予測値、ならびに国内脆化予測法による予測と監視試験結果の関係を表2.3-6および表2.3-7ならびに図2.3-3に示す。評価においては、JEAC4201を用いて評価した。

評価の結果、第1回から第4回監視試験の関連温度実測値は予測の範囲内であった。ただし、第5回監視試験については中性子照射量がJEAC4201の国内脆化予測法の適用範囲を超えるため、適用範囲までの予測結果の傾向を踏まえて特異な脆化が生じていないことを確認した。

表2.3-6 高浜4号炉 原子炉容器胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化に対する関連温度の予測値

評価時期	中性子照射量*1 ($\times 10^{19}\text{n/cm}^2$) [E>1MeV]	関連温度*2 (°C)		
		母材	溶接金属	熱影響部
現時点 (2021年3月末時点)	2.95	20	-21	3
運転開始後60年時点	5.99	40	-2	23

*1:内表面から板厚 t の1/4t深さでの中性子照射量

*2:内表面から板厚 t の1/4t深さでの予測値

表2.3-7 高浜4号炉 原子炉容器胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化に対する上部棚吸収エネルギーの予測値

評価時期	中性子照射量*1 ($\times 10^{19}\text{n/cm}^2$) [E>1MeV]	上部棚吸収エネルギー*2 (J)		
		母材	溶接金属	熱影響部
現時点 (2021年3月末時点)	2.95	182	215	228
運転開始後60年時点	5.99	179	209	224

*1:内表面から板厚 t の1/4t深さでの中性子照射量

*2:内表面から板厚 t の1/4t深さでの予測値

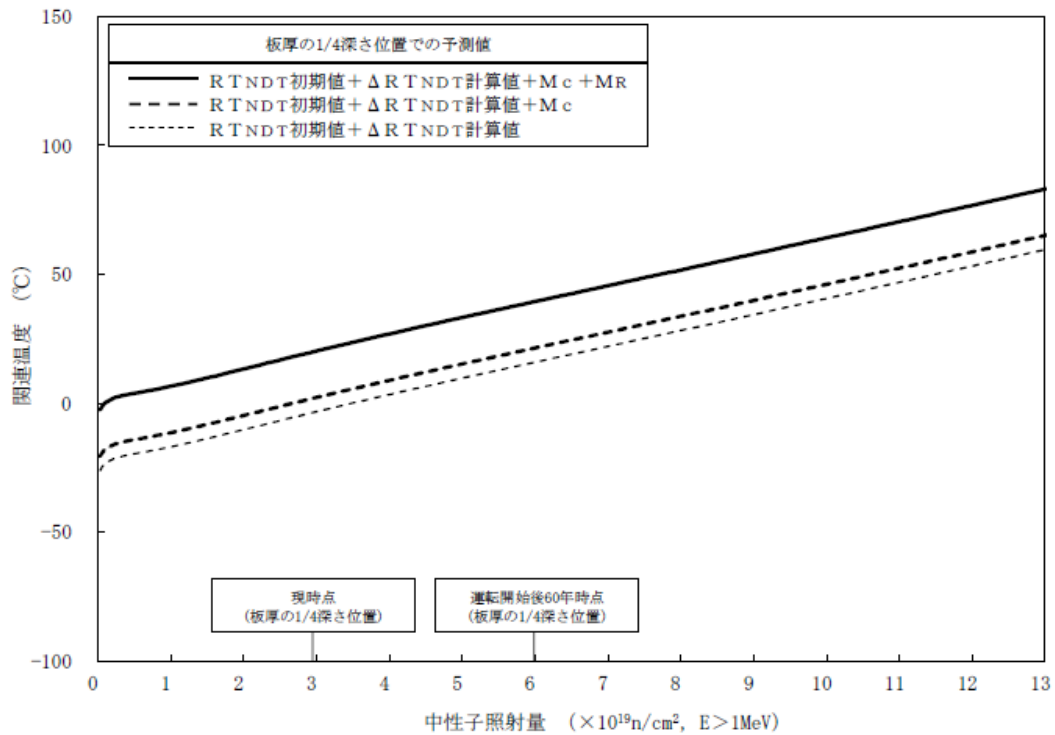
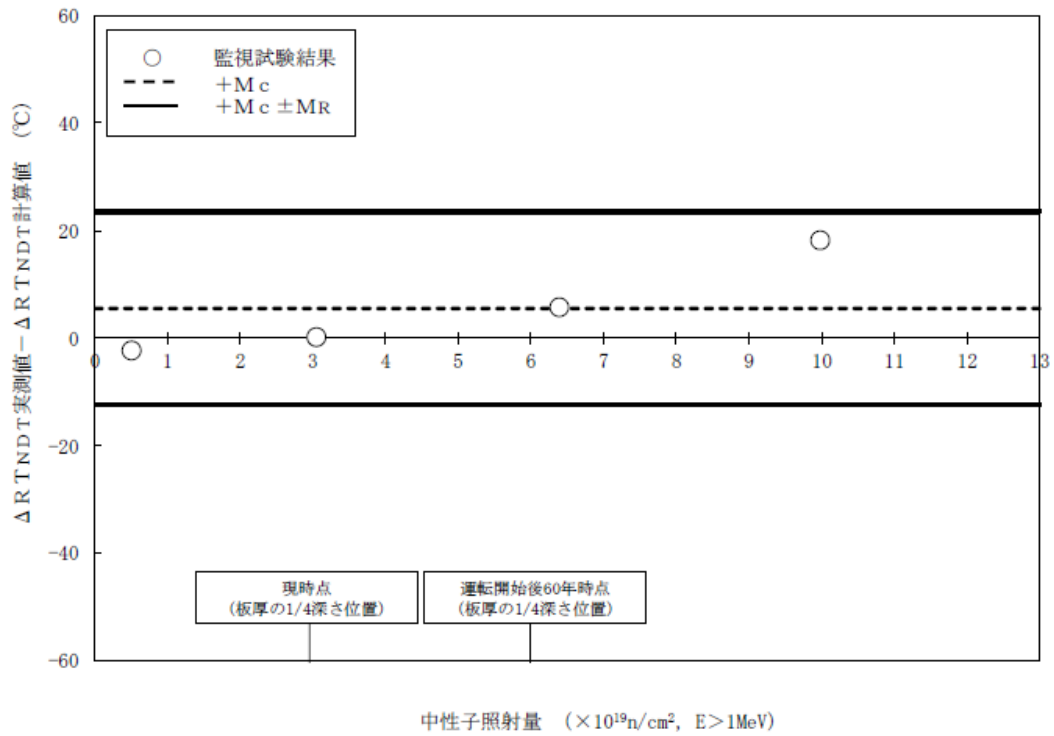


図2.3-3(1/2) 高浜4号炉 原子炉容器胴部(炉心領域部)の中性子照射脆化に対する関連温度の国内脆化予測法による予測と監視試験結果の関係(母材)
 M_C : 実測値で補正する場合に用いるマージン
 M_R : マージン

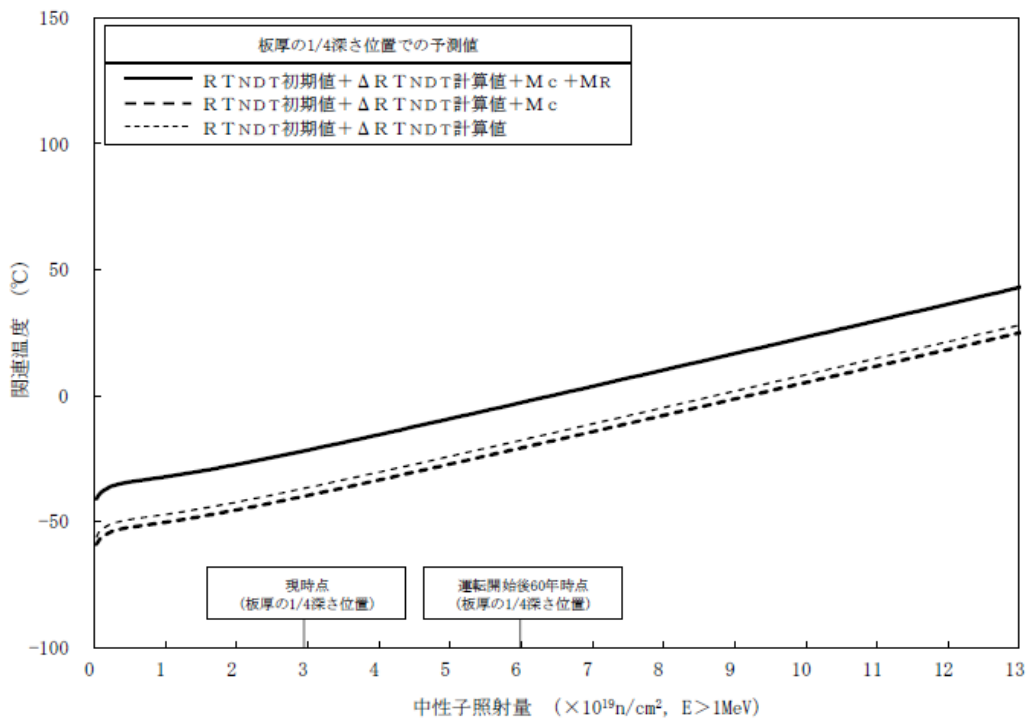
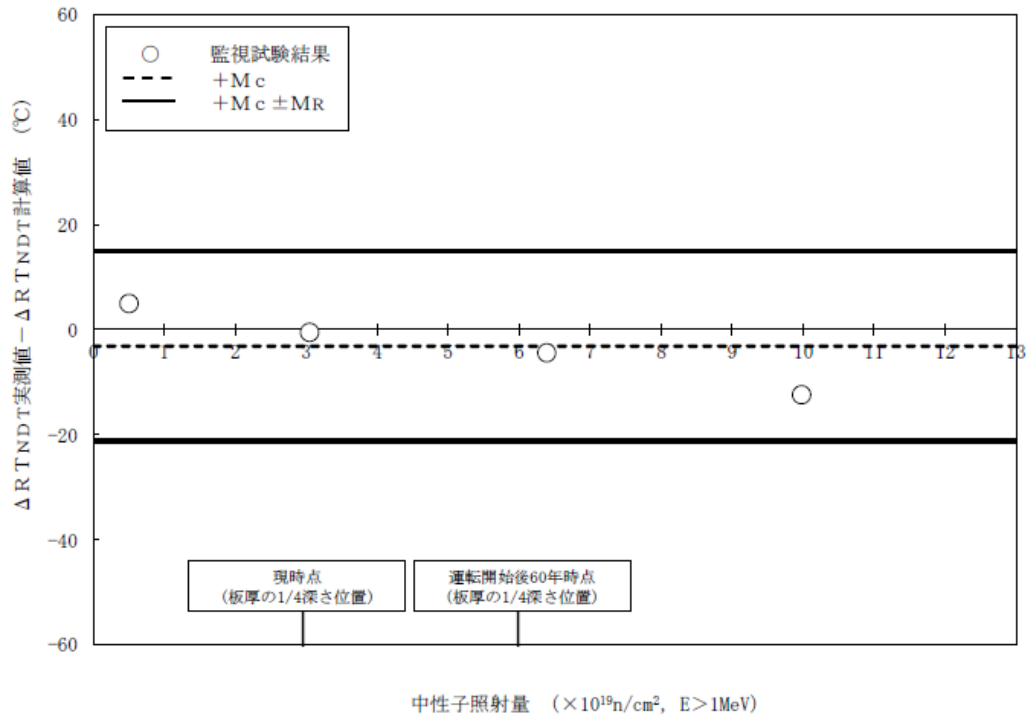


図2.3-3(2/2) 高浜4号炉 原子炉容器胴部(炉心領域部)の中性子照射脆化に対する関連温度の国内脆化予測法による予測と監視試験結果の関係(溶接金属)
 M_C : 実測値で補正する場合に用いるマージン
 M_R : マージン

本技術評価では、原子炉容器の胴部（炉心領域部）材料の関連温度の上昇および上部棚吸収エネルギー（USE）の低下に対する評価を以下のとおり実施した。

i 関連温度上昇に対する評価

関連温度の上昇については、「日本電気協会 原子力発電所用機器に対する破壊靱性の確認試験方法（JEAC4206-2007）」（以下、「JEAC4206」という。）の附属書C「供用状態C，Dにおける加圧水型原子炉圧力容器の炉心領域部に対する非延性破壊防止のための評価方法」に定められた加圧熱衝撃（PTS:Pressurized Thermal Shock）評価手法に基づき高浜4号炉原子炉容器の胴部（炉心領域部）材料の評価を実施した。PTS事象は小破断LOCA、大破断LOCA、主蒸気管破断事故および2次冷却系からの除熱機能喪失を対象とした。

中性子照射脆化による材料の靱性低下の予測について、国内脆化予測法を用いて、実測 K_{IC} データを現時点（2021年3月末時点）および運転開始後60年時点まで温度軸に対してシフトさせ、その予測破壊靱性（ K_{IC} ）の下限を包絡した以下の K_{IC} 曲線を設定する。ただし、第5回の監視試験で得られた K_{IC} については中性子照射量がJEAC4201の国内脆化予測法の適用範囲を超えるため、第5回を除いて、第4回までに得られた K_{IC} をシフトさせて K_{IC} 曲線を設定した。なお、JEAC4206では加圧熱衝撃評価を実施するにあたって深さ10mmの想定亀裂を設定するよう定めているため、靱性低下の予測に用いた運転開始後60年時点の中性子照射量は、保守的に原子炉容器内表面での中性子照射量を用いた。

$$K_{IC}=20.16+129.9\exp\{0.0161(T-T_P)\}(\text{MPa}\sqrt{\text{m}})$$

ここで、 T_P はプラント評価時期の K_{IC} 曲線を設定する際に定まるプラント個別の定数である。

高浜4号炉を評価した結果、 T_P は現時点（2021年3月末時点）までで70℃、プラント運転開始後60年時点で100℃となった。

健全性評価は K_{IC} 下限包絡曲線とPTS状態遷移曲線を比較し、 $K_{IC}>K_I$ であることを確認することであり、図2.3-4(1/3)に評価結果を示す。

初期亀裂を想定しても、運転開始後60年時点において、脆性破壊に対する抵抗値（材料自身の持つねばり強さ）を示す K_{IC} 曲線は、負荷状態を応力拡大係数 K_I （脆性破壊を起こそうとする値）で示すPTS状態遷移曲線を上回っていることから、脆性破壊は起こらないと評価される。

また、高浜4号炉は運転期間延長認可申請に際して実施した特別点検にお

いて、原子炉容器炉心領域部全域の母材および溶接部に対して超音波探傷検査を実施した結果、中性子照射脆化による脆性破壊の起点となるような有意な欠陥は認められなかった。この超音波探傷検査では、原子力安全基盤機構にて実施した安全研究「原子力発電施設検査技術実証事業（超音波探傷試験における欠陥検出性及びサイジング制度の確認）」の検証結果から、表面近傍の深さ5mm程度の欠陥であれば十分検出可能であることが実証されていることから、特別点検の結果を踏まえ、想定亀裂を深さ5mmとした場合のPTS評価も併せて実施した。なお、運転開始後60年時点の中性子照射量は、保守的に原子炉容器内表面での中性子照射量を用いた。図2.3-4(2/3)に示す評価結果の通り、 K_{IC} 曲線は K_I で示すPTS状態遷移曲線を上回っていることから、深さ5mmの亀裂を想定した評価においても脆性破壊は起こらないと評価される。

また、原子力規制委員会「実用発電用原子炉の運転期間延長認可申請に係る運用ガイド」および原子力規制委員会「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド」に記載のある「照射脆化の将来予測を伴わない実測データに基づく評価」を実施した。評価手法としては、これまで実施した監視試験によって採取した破壊靱性実測値をプロットし、照射前および第1～4回監視試験のデータについては測定した Tr_{30} 実測値と第5回監視試験で測定した Tr_{30} 実測値の差分だけ温度シフトさせた。なお、第5回監視試験の照射量は、原子炉容器内表面から深さ10mmの位置（想定亀裂先端位置）の照射量に換算すると運転開始後約89年時点の照射量に相当する。次に、温度シフトさせた破壊靱性実測データを下限包絡した K_{IC} 曲線をJEAC4206の附属書Cに従い設定した。図2.3-4(3/3)に示す評価結果の通り、 K_{IC} 曲線は K_I で示すPTS状態遷移曲線を上回っていることから、「照射脆化の将来予測を伴わない実測データに基づく評価」においても脆性破壊は起こらないと評価される。

また、運転開始後60年時点での関連温度を想定し、通常1次冷却系の加熱・冷却時の1次冷却材温度・圧力の制限範囲および原子炉冷却材圧力バウンダリに対する供用中の漏えいもしくは水圧検査時の原子炉冷却材の最低温度について評価した。評価結果を図2.3-5に示す。これらの温度・圧力の制限範囲に対して、通常実施する原子炉の起動・停止工程に基づく温度・圧力曲線および耐圧漏えい試験時の温度・圧力範囲と比較することにより、通常運転時および試験時に制限範囲を遵守可能であることを確認した。

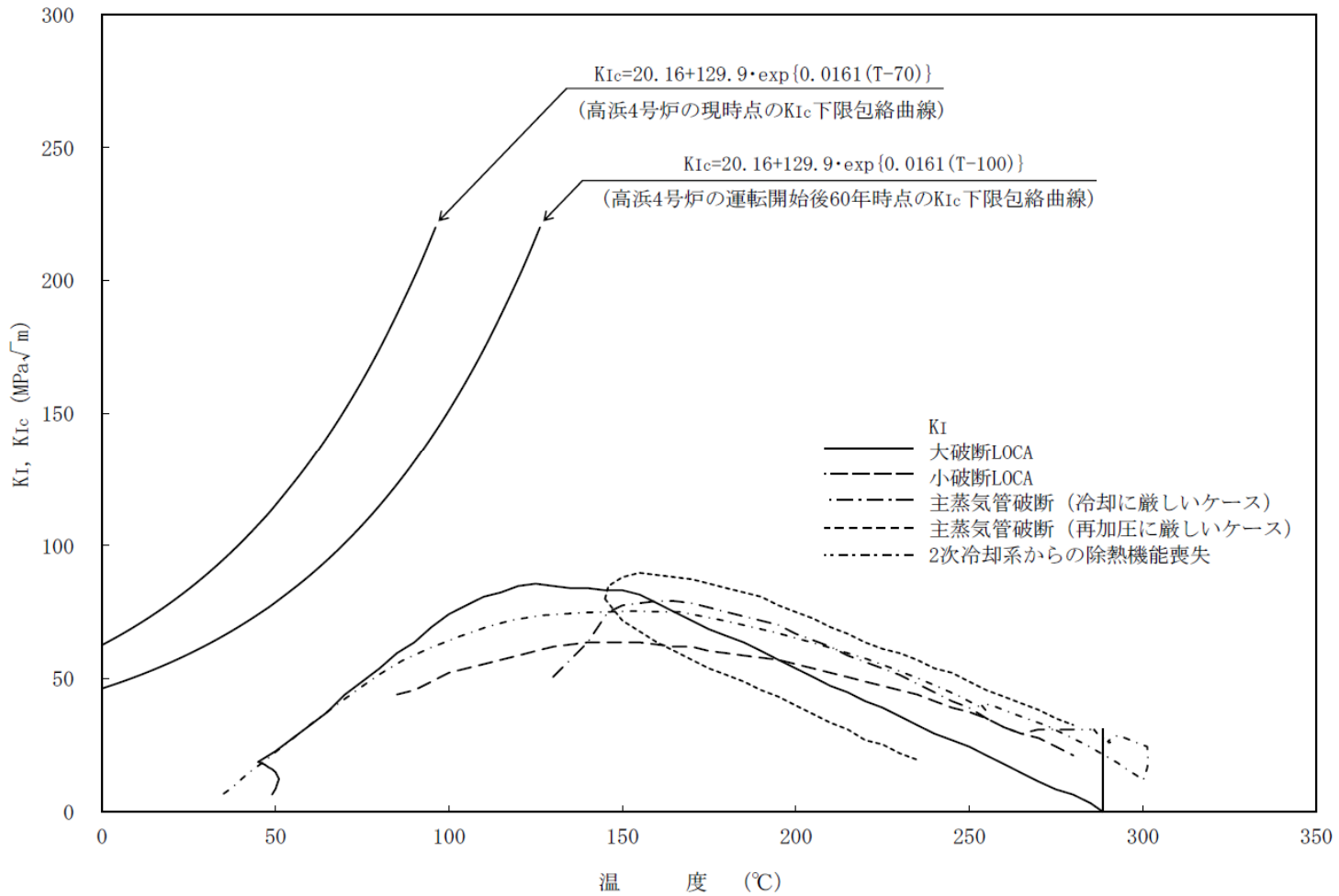


図2.3-4(1/3) 高浜4号炉 原子炉容器胴部(炉心領域部)中性子照射脆化に対するPTS評価結果
 [深さ10mmの想定亀裂を用いた評価]

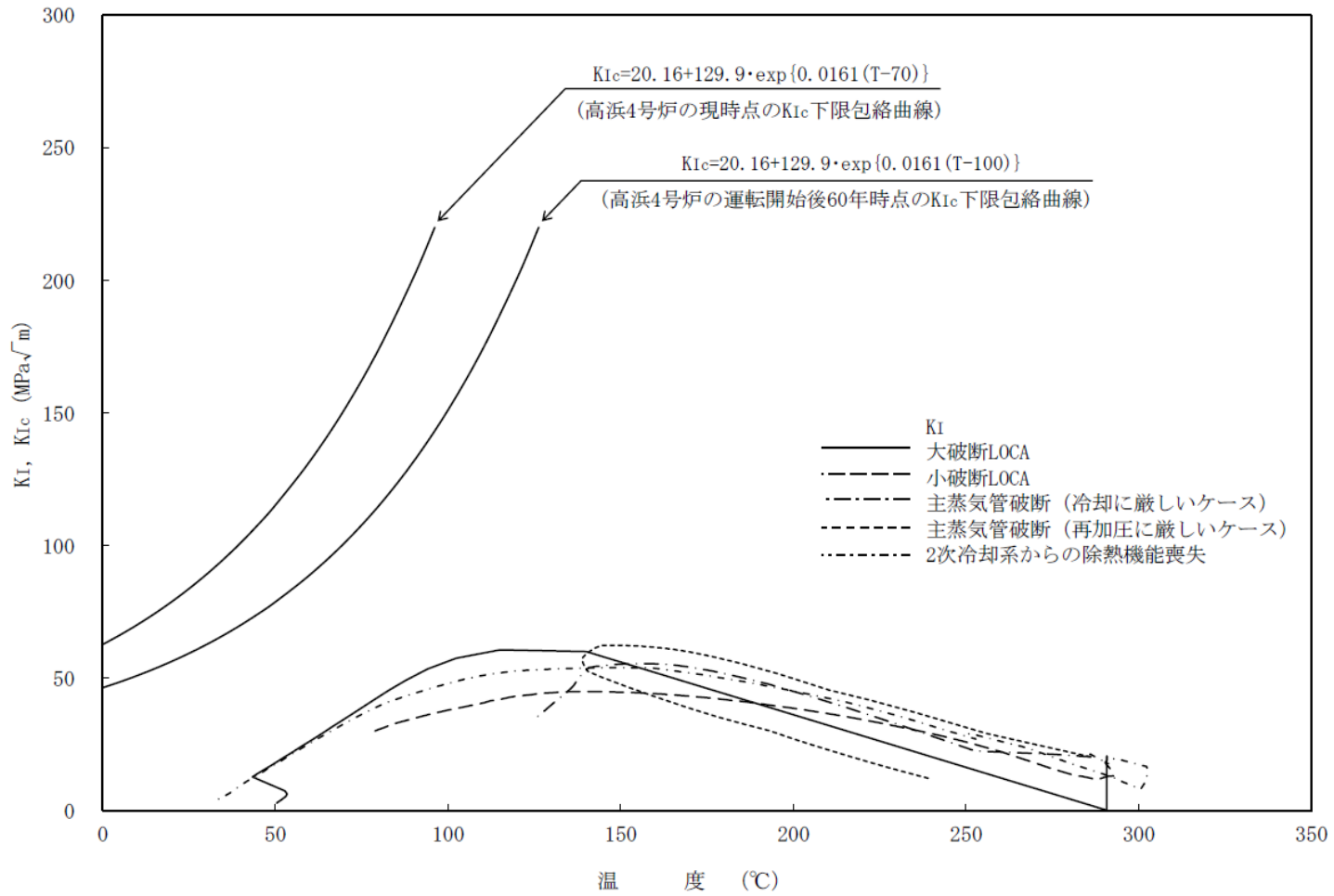


図2.3-4(2/3) 高浜4号炉 原子炉容器胴部(炉心領域部)中性子照射脆化に対するPTS評価結果
 [深さ5mmの想定亀裂を用いた評価]

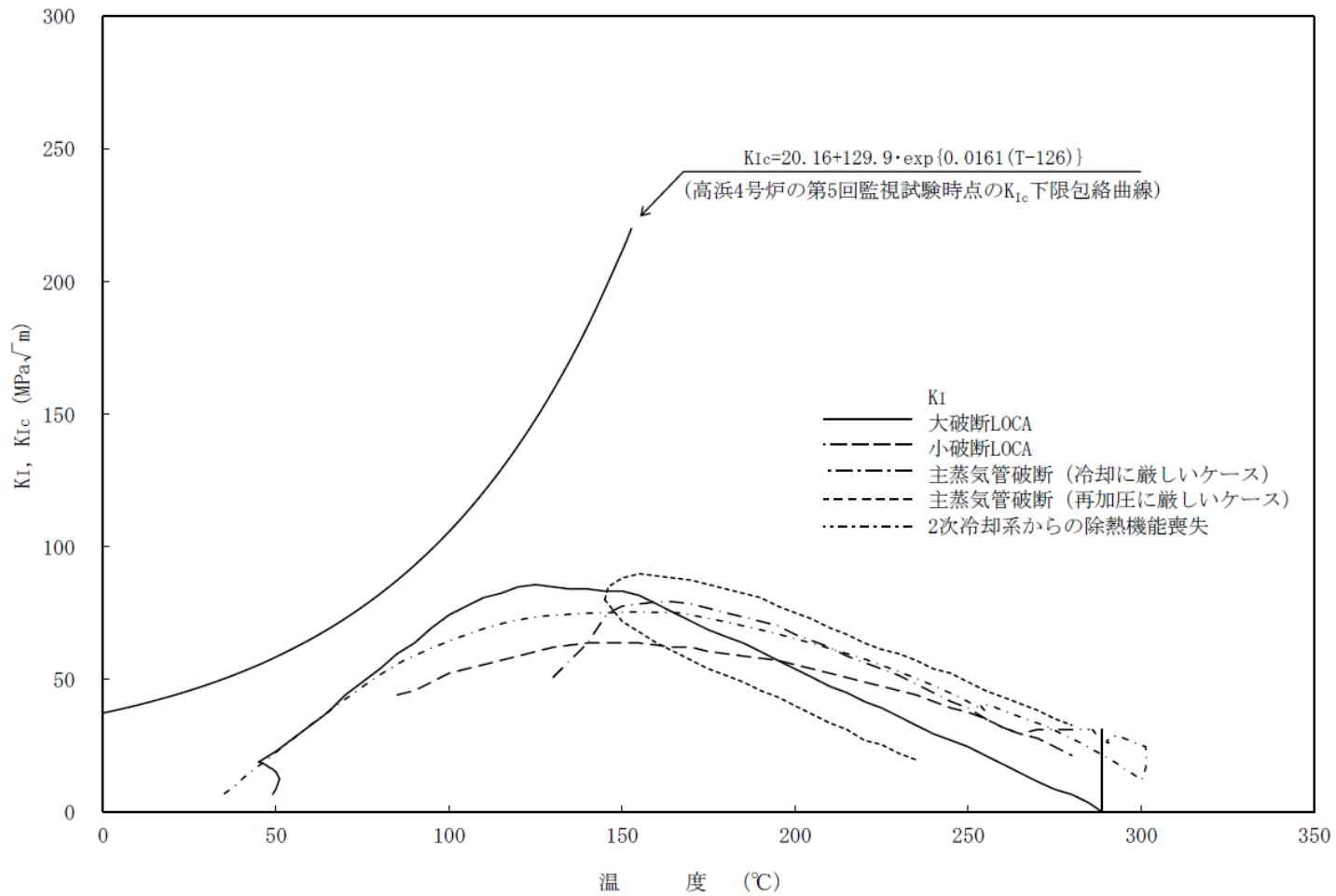
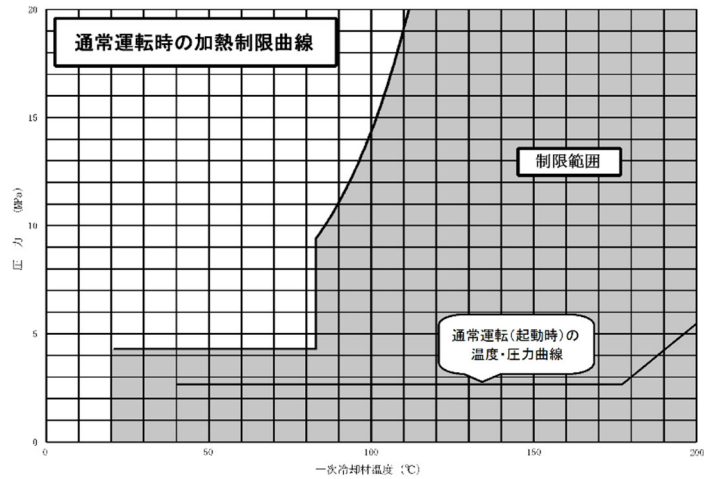
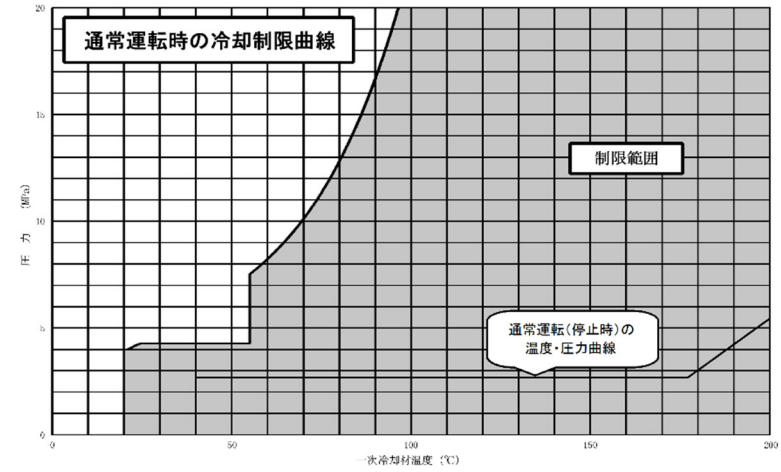


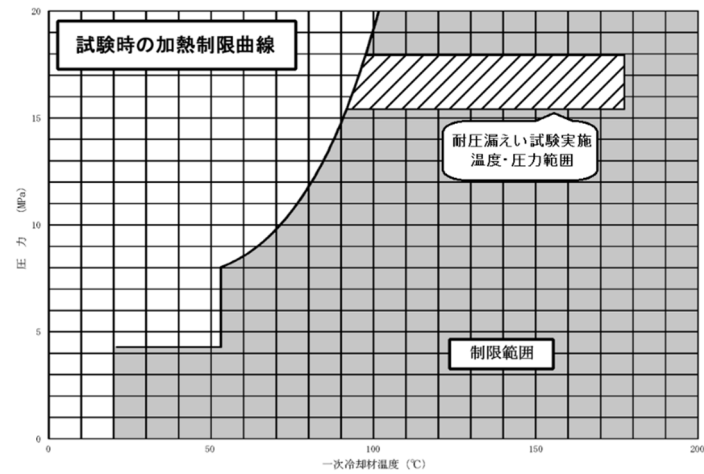
図2.3-4(3/3) 高浜4号炉 原子炉容器胴部(炉心領域部)中性子照射脆化に対するPTS評価結果
[照射脆化の将来予測を伴わない実測データに基づく評価]



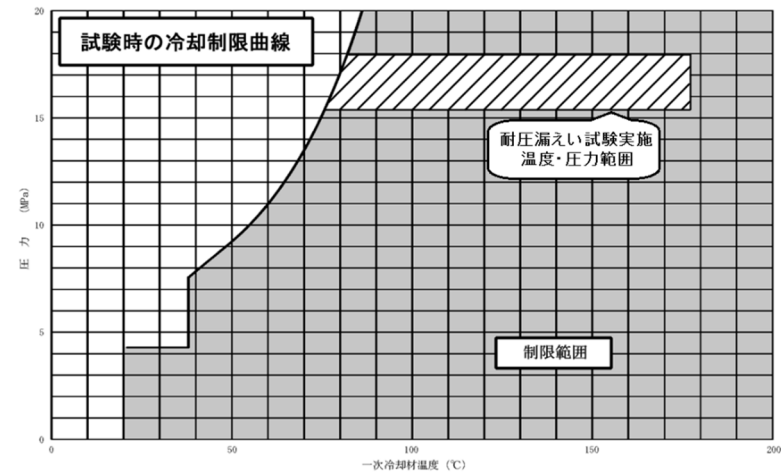
通常運転時の加熱制限曲線



通常運転時の冷却制限曲線



試験時の加熱制限曲線



試験時の冷却制限曲線

図2.3-5 高浜4号炉 通常運転時・試験時の加熱・冷却制限曲線評価結果(運転開始後60年時点)

ii 上部棚吸収エネルギー低下に対する評価

国内プラントを対象とした上部棚吸収エネルギーの予測式（国内USE予測式）を用いて現時点（2021年3月末時点）および運転開始後60年時点での上部棚吸収エネルギーの予測値を評価した。ただし、第5回監視試験については中性子照射量がJEAC4201の国内USE予測式の適用範囲を超えるため、第4回までの上部棚吸収エネルギー実測値を用いて評価した。なお、第5回監視試験の上部棚吸収エネルギー実測値はJEAC4206で要求している68J以上を満足している。

評価の結果、現時点（2021年3月末時点）および運転開始後60年時点での上部棚吸収エネルギーの予測値は、表2.3-8のとおりJEAC4206で要求している68J以上を満足しており、十分な上部棚吸収エネルギーがある。

表2.3-8 高浜4号炉 上部棚吸収エネルギーの予測値
(単位：J)

	方向	初期値	現時点（2021年3月末時点） ^{*1}	運転開始後60年時点 ^{*1}
母材	L方向 ^{*2}	198	178	174
	T方向 ^{*3}	190	182	179
溶接金属	溶接線に直角方向	226	215	209

*1:板厚 t の1/4t深さでの予測値

*2:試験片の長手方向が圧延方向に平行

*3:試験片の長手方向が圧延方向に垂直

② 現状保全

原子炉容器に対しては、定期的に超音波探傷検査を実施し、有意な欠陥のないことを確認している。

胴部（炉心領域部）材料の中性子照射による機械的性質の変化については、JEAC4201に基づいて、計画的に監視試験を実施し、破壊靱性の変化の傾向を把握している。

高浜4号炉は、当初監視試験カプセルを6体挿入し、現在までに5体のカプセルを取り出し、将来の運転期間に対する脆化予測を行っており、今後の原子炉の運転サイクル・照射量を勘案して、運転期間50年を迎える前の適切な時期に第6回監視試験を実施する。また、第7回監視試験については、これまでに実施した試験済みの試験片を適切な時期に再装荷し、適切な時期に取り出して試験を実施することとしている。

また、監視試験結果から、JEAC4206に基づき、運転管理上の制限として加熱・冷却運転時に許容しうる温度・圧力の範囲（加熱・冷却制限曲線）および耐圧漏えい試験温度を設けて運用している。

なお、運転期間延長認可申請に際して実施した特別点検において、原子炉容器炉心領域部の母材および溶接部に対して超音波探傷検査を実施した結果、中性子照射脆化による脆性破壊の起点となるような有意な欠陥は認められなかった。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化が機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。ただし、胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化に対しては、今後も計画的に監視試験を実施して健全性評価の妥当性を確認する必要がある。

胴部（炉心領域部）材料の機械的性質の予測は監視試験により把握可能であり、また有意な欠陥のないことも超音波探傷検査により確認していることから、保全内容として適切である。

c. 高経年化への対応

胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化に対しては、JEAC4201等に基づき計画的に監視試験を実施し、定期的に超音波探傷検査を実施していく。

また、監視試験結果から、JEAC4206に基づき、運転管理上の制限として加熱・冷却運転時に許容しうる温度・圧力の範囲（加熱・冷却制限曲線）および耐圧漏えい試験温度を設けて運用していく。

なお、健全性評価の結果から胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化が原子炉の安全性に影響を及ぼす可能性はないと考えるが、今後の原子炉の運転サイクル・照射量を勘案して第6回監視試験の実施計画を策定する。

2 加圧器

[対象部位]

2.1 加圧器本体

2.2 加圧器ヒータ

高浜4号炉で使用されている加圧器は、本体およびヒータに大きく分類されるため、評価書においては、これら対象部位2種類についての技術評価を行う。

本評価書では、以下の2つに分類している。

2.1 加圧器本体

2.2 加圧器ヒータ

2.1 加压器本体

[対象機器]

① 加压器

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 加圧器の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	5
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	12

1. 技術評価対象機器

高浜 4 号炉で使用されている加圧器の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜 4 号炉 加圧器の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件	
		最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
加圧器 (1)	PS-1、重*2	約17.2	約360

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および
構造物であることを示す。

2. 加圧器の技術評価

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 加圧器

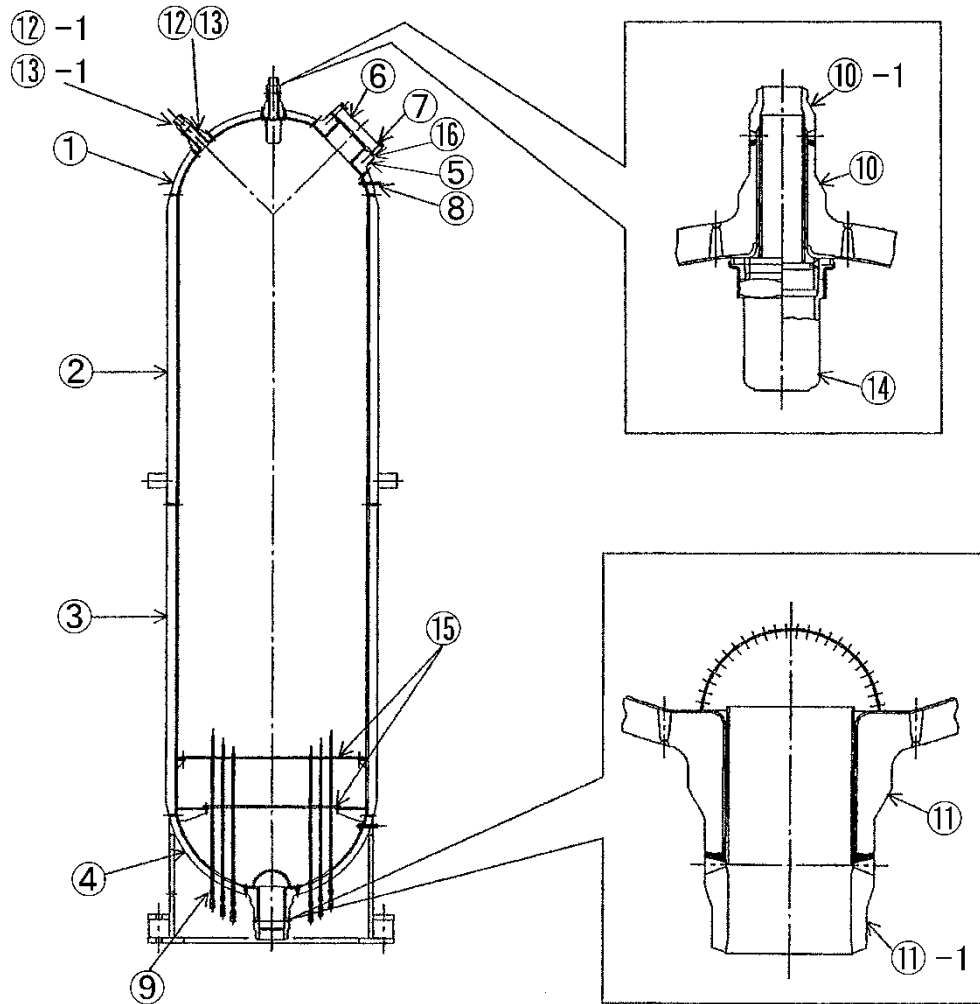
(1) 構造

高浜4号炉の加圧器は、低合金鋼を加工して製作しており、1次冷却材と接液する内面には、ステンレス鋼を内張りしている。

高浜4号炉の加圧器の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の加圧器の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	上部鏡
②	上部胴
③	下部胴
④	下部鏡
⑤	マンホール用座
⑥	マンホール用蓋
⑦	マンホールボルト
⑧	計測用管台
⑨	ヒータスリーブ
⑩	スプレイライン用管台
⑩-1	セーフエンド
⑪	サージ用管台
⑪-1	セーフエンド
⑫	安全弁用管台
⑫-1	セーフエンド
⑬	逃がし弁用管台
⑬-1	セーフエンド
⑭	スプレイノズル
⑮	ヒータサポートプレート
⑯	ガスケット

図2.1-1 高浜4号炉 加圧器構造図

表2.1-1 高浜4号炉 加圧器主要部位の使用材料

部位	材料
上部鏡 上部胴 下部胴 下部鏡	低合金鋼 ステンレス鋼（内張り）
マンホール用座	低合金鋼 ステンレス鋼（内張り）
マンホール用蓋	低合金鋼
マンホールボルト	低合金鋼
計測用管台 ヒータスリーブ	ステンレス鋼
スプレイライン用管台 サージ用管台 安全弁用管台 逃がし弁用管台	低合金鋼 ステンレス鋼（内張り） セーフエンドはステンレス鋼 溶接金属は690系ニッケル基合金
スプレイノズル	ステンレス鋼鋳鋼
ヒータサポートプレート	ステンレス鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-2 高浜4号炉 加圧器の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa[gage]
最高使用温度	約360℃
内部流体	1次冷却材

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

加圧器の機能である圧力制御機能を維持するためには、次の2つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 圧力制御

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

加圧器について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) スプレイライン用管台等の疲労割れ

プラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材の温度・圧力変化により、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) マンホールシート面のピitting

加圧器のマンホールシート面は狭あい部でありピittingの発生が想定される。

しかしながら、一度運転に入ると高温状態となりシート面のステンレス鋼内張り表面に強固な酸化皮膜が形成されるため、有意なピittingの進展は考えられないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(2) マンホールボルトの腐食（全面腐食）

マンホールボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(3) 計測用管台の内面からの応力腐食割れ

1995年9月、米国サリー（Surry）発電所1号炉の加圧器計測用管台で応力腐食割れによる損傷が発生していることから、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、計測用管台には耐応力腐食割れ性に優れた316系ステンレス鋼を採用しており、水素注入や脱塩処理を実施することで1次系水質を維持し、プラント起動時のサンプリング等により管理している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、漏えい検査により、機器の健全性を確認している。

(4) ヒータスリーブ（溶接部含む）の応力腐食割れ

1989年5月、米国カルバートクリフ（Calvert Cliffs）発電所2号炉で損傷事例のあったヒータスリーブは、600系ニッケル基合金であり、316系ステンレス鋼である高浜4号炉のヒータスリーブについては、PWR1次系水質環境下において応力腐食割れ発生の可能性は小さいと考えられる。

また、2006年4月、米国ブレイドウッド（Braidwood）発電所1号炉で損傷事例のあったヒータスリーブは、316系ステンレス鋼であるが、溶接部が熱影響等により鋭敏化していたとともに、ヒータスリーブとヒータの隙間部で溶存酸素が高くなっていた可能性があることから、発生原因として「酸素型応力腐食割れ」が推定されている。

しかしながら、高浜4号炉のヒータスリーブ（316系ステンレス鋼）については、電力共同研究において、酸素型応力腐食割れに対して非常に厳しい条件（鋭敏化に対しては当該部に想定される以上）での定荷重試験により破断が認められた時間よりも、実機が酸素型応力腐食割れ発生環境下に置かれる時間が極めて短いことから、応力腐食割れ発生の可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、漏えい検査により、機器の健全性を確認している。

(5) スプレイライン用管台等の690系ニッケル基合金使用部位の応力腐食割れ

2003年9月、敦賀2号炉の加圧器逃がし弁用管台および安全弁用管台において、600系ニッケル基合金接液部の応力腐食割れが発生している。高浜4号炉のスプレイライン用管台等には690系ニッケル基合金を使用しており、図2.2-1に示す電力共同研究による690系ニッケル基合金の温度加速定荷重応力腐食割れ試験の結果から、応力腐食割れが発生する可能性は小さいと考える。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、溶接部を対象とした超音波探傷検査および浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

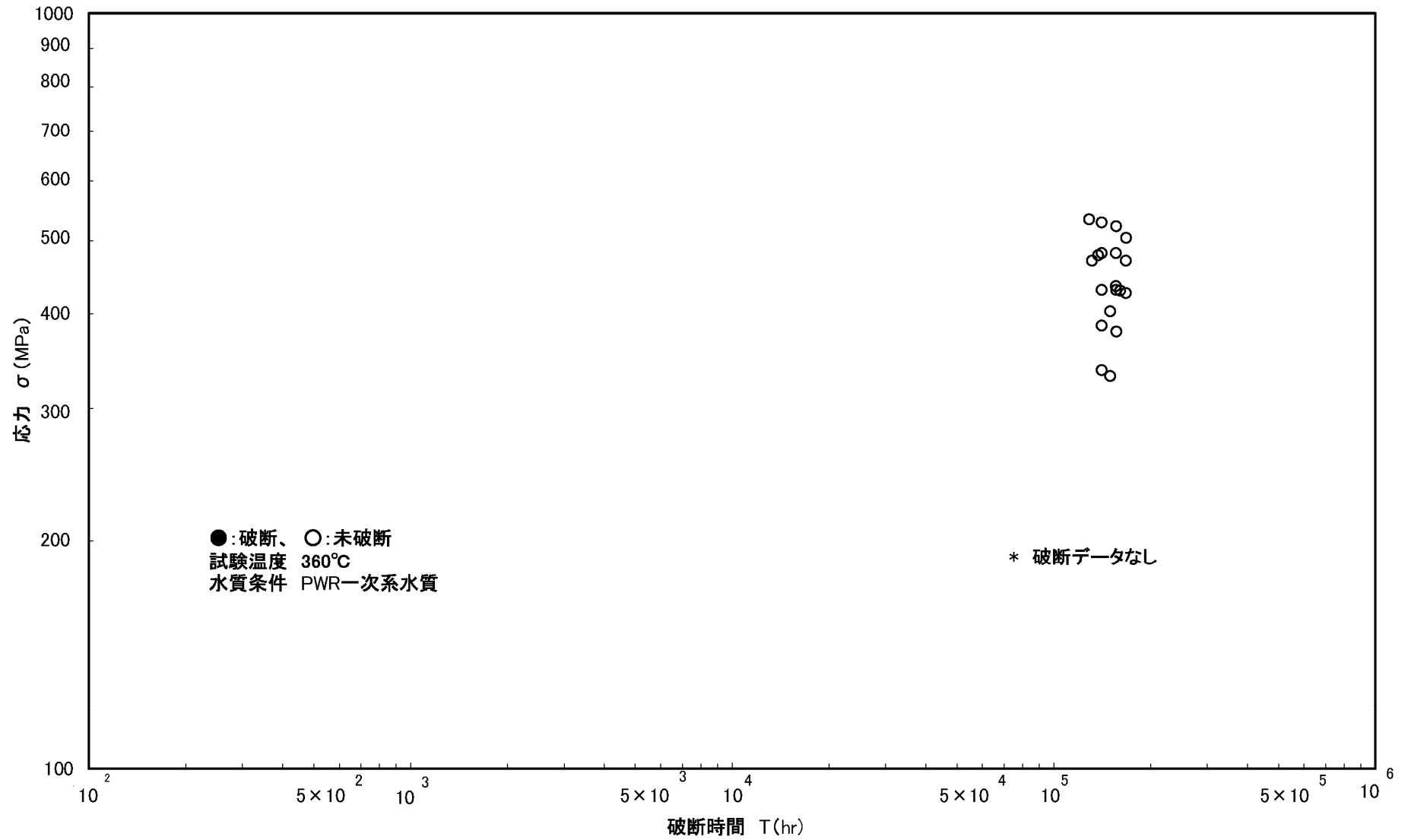


図2. 2-1 690系ニッケル基合金の定荷重応力腐食割れ (SCC) 試験結果

[出典：電力共同研究「690合金のPWSCC長期信頼性確証試験 (STEP5) 2020年度 (最終報告書)」]

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(6) 上部鏡板等低合金鋼部の内張り下層部の亀裂

上部鏡板、上部胴板等には低合金鋼を用いており、ステンレス鋼の内張りを施している。一部の低合金鋼 (SA-508 Class2) では大入熱溶接を用いた内張りで溶接後熱処理が行われると局部的に亀裂が発生することが米国PVRC (Pressure Vessel Research Council) の研究により確認されている。これは内張り施工の際、6本の溶接ワイヤーで同時に溶接したために大入熱になったものである。

高浜4号炉においては図2.2-2に示すように材料の化学成分 (ΔG 値) を踏まえ溶接入熱を管理し溶接を実施しており、亀裂の発生する可能性は小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

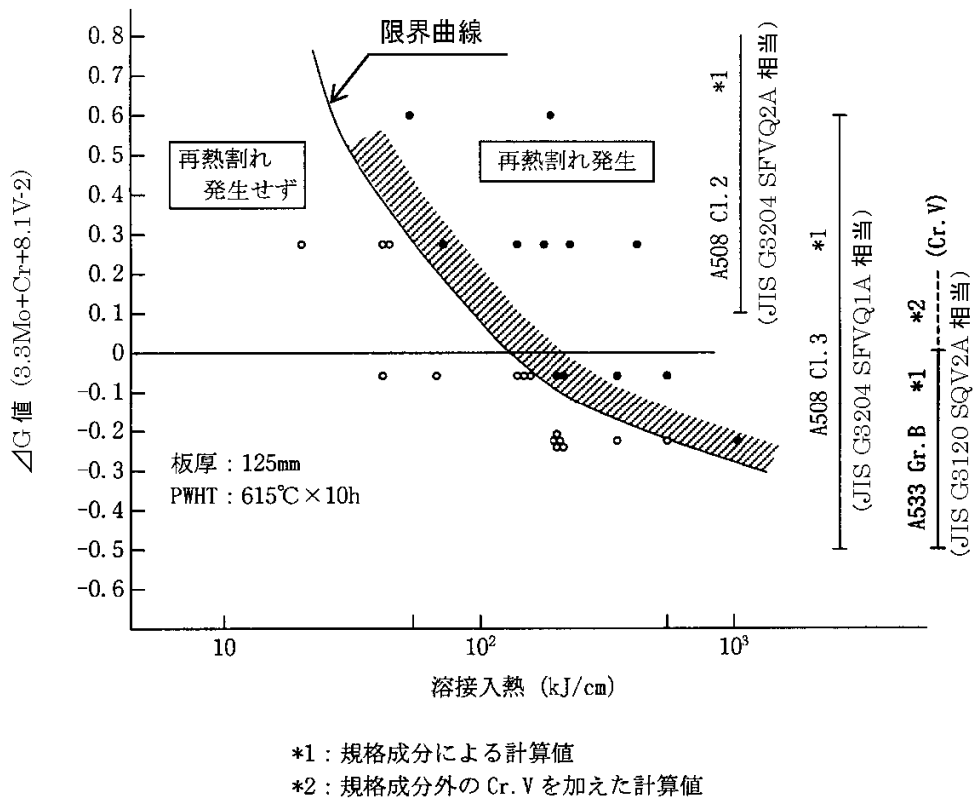


図2.2-2 再熱割れ発生に及ぼす ΔG 値および溶接入熱の影響

[出典：三菱重工技報 Vol.14 No.1 (1977-1)]

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットは開放点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 高浜4号炉 加圧器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	上部鏡、上部胴、下部胴、下部鏡		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り)							▲*1	*1：内張り下層部の亀裂 *2：ピitting
	マンホール用座		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り)		△*2					▲*1	
	マンホール用蓋		低合金鋼								
	マンホールボルト		低合金鋼		△						
	計測用管台		ステンレス鋼				△				
	ヒータスリーブ		ステンレス鋼				△				
	スプレイライン用管台		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り) セーフエンドは ステンレス鋼、 溶接金属は 690系ニッケル基合金			○	△ (溶接金属)			▲*1	
	サージ用管台		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り) セーフエンドは ステンレス鋼、 溶接金属は 690系ニッケル基合金			○	△ (溶接金属)			▲*1	
	安全弁用管台		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り) セーフエンドは ステンレス鋼、 溶接金属は 690系ニッケル基合金				△ (溶接金属)			▲*1	
	逃がし弁用管台		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り) セーフエンドは ステンレス鋼、 溶接金属は 690系ニッケル基合金				△ (溶接金属)			▲*1	
ガasket	◎	-									
圧力制御	スプレイノズル		ステンレス鋼鋳鋼								
	ヒータサポートプレート		ステンレス鋼								

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 スプレイライン用管台等の疲労割れ

a. 事象の説明

スプレイライン用管台等は、プラントの起動・停止時等に熱過渡を繰返し受けるため、疲労が蓄積することになる。

b. 技術評価

① 健全性評価

スプレイ注水時またはインサージ（1次冷却材管から加圧器への流れ）やアウトサージ（加圧器から1次冷却材管への流れ）時の熱衝撃により比較的大きな熱応力が発生するスプレイライン用管台およびサージ用管台を対象として「日本機械学会 設計・建設規格（JSME S NC1-2005/2007）」に基づき評価を行った。

また、使用環境を考慮した疲労について、「日本機械学会 環境疲労評価手法（JSME S NF1-2009）」に基づき評価した。さらに、スプレイライン用管台では、熱成層の影響を考慮して評価した。

評価点を図2.3-1に、疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。なお、運転期間延長認可申請に伴う評価として、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的*に設定した過渡回数とした。

*：評価条件として、2020年度以降の過渡発生頻度は実績の1.5倍以上を想定した。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

表2.3-1 高浜4号炉 加圧器スプレイライン用管台等の疲労評価に用いた過渡回数

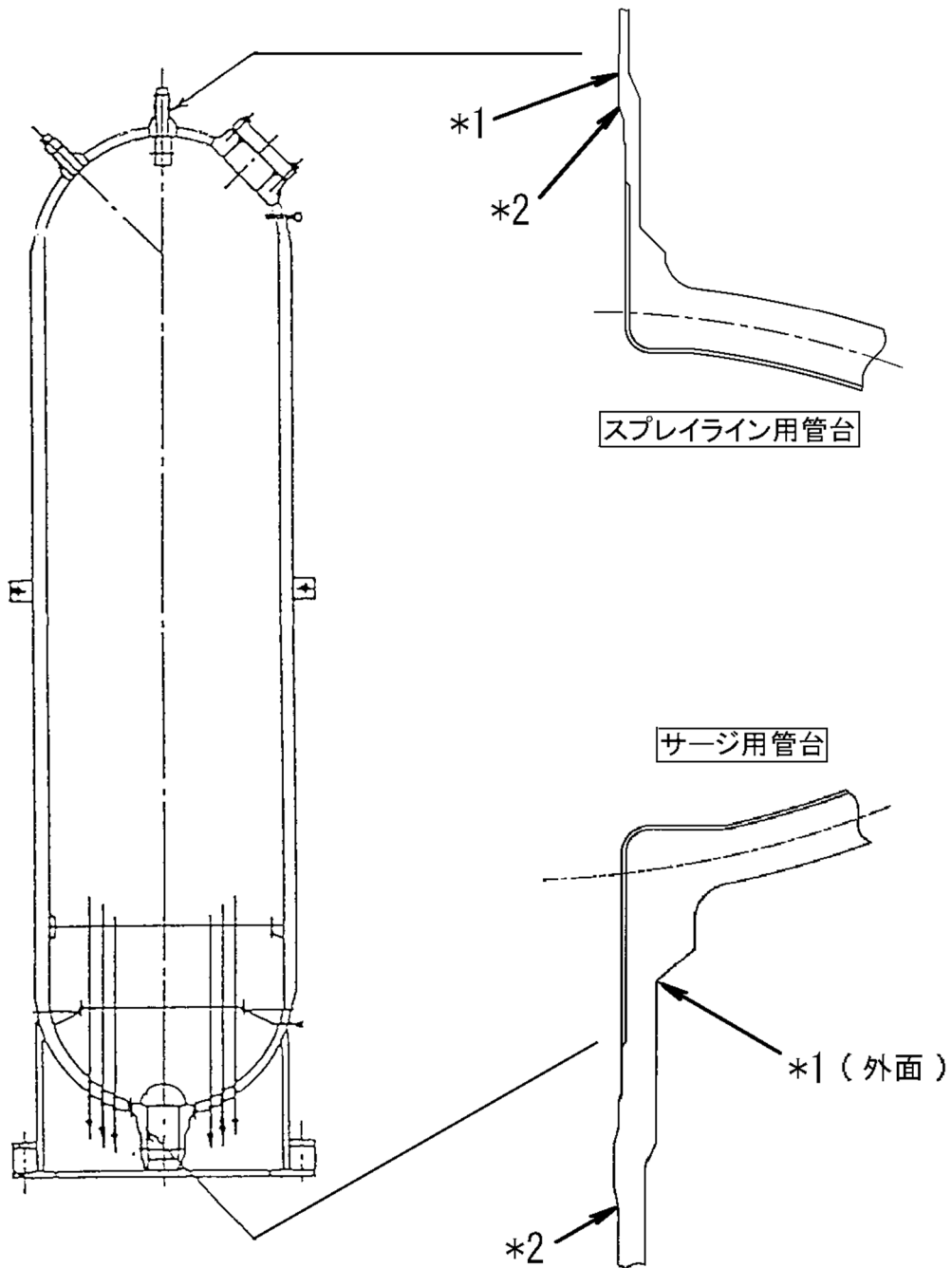
運転状態Ⅰ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動（温度上昇率55.6℃/h）	35	71
停止（温度下降率55.6℃/h）	34	71
負荷上昇（負荷上昇率5%/min）	308	800
負荷減少（負荷減少率5%/min）	298	790
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	4
定常負荷運転時の変動*1	-	-
燃料交換	24	62
0%から15%への負荷上昇	35	66
15%から0%への負荷減少	25	55
1 ループ停止 / 1 ループ起動		
Ⅰ) 停止	0	2
Ⅱ) 起動	0	2

運転状態Ⅱ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
負荷の喪失	4	6
外部電源喪失	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	0	2
100%からの原子炉トリップ		
Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	3	6
Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2
Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	2
1次冷却系の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	0	2
タービン回転試験	3	3
1次系漏えい試験	31	65

*1：設計評価においては、1次冷却材温度は高温側±1.7℃、1次冷却材圧力は±0.34MPa（±3.5kg/cm²）の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。



*1: 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)

(非接液部の場合は () 内に理由を記載)

*2: 「環境疲労評価手法」に基づく疲労評価対象部位(最大) (接液部が対象)

図2.3-1 高浜4号炉 加圧器の疲労評価対象部位

表2.3-2 高浜4号炉 加圧器スプレライン用管台等の疲労評価結果

評価対象部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値：1以下)	
	設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
スプレライン用管台 (低合金鋼、ステンレス鋼 (内張り))	0.063	0.034 ^{*1*2}
サージ用管台 (低合金鋼、ステンレス鋼 (内張り))	0.040	0.199 ^{*2}

*1：熱成層による発生応力を含めた解析であり、3次元有限要素法を用いた評価。

*2：炉水環境にあり、かつ疲労評価上最も厳しい箇所について評価を実施しており、設計・建設規格の疲労評価対象箇所と異なる。

② 現状保全

スプレライン用管台等の疲労割れに対しては、定期的に超音波探傷検査および浸透探傷検査により、有意な欠陥がないことを確認している。また、定期的に漏えい検査を実施し、耐圧部の健全性を確認している。

スプレライン用管台等の加圧器内面の内張りについては、超音波探傷検査により母材に有意な欠陥のないことを確認することで、その健全性を確認している。

さらに、高経年化技術評価に合わせて、実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、疲労割れ発生の可能性はないと考える。ただし、疲労評価は実績過渡回数に依存するため、今後も実績過渡回数を把握し評価する必要がある。

また、疲労割れは超音波探傷検査等で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

スプレライン用管台等の疲労割れについては、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認する。

2. 2 加圧器ヒータ

[対象機器]

- ① 加圧器後備ヒータ

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 加圧器後備ヒータの技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	6

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されている加圧器ヒータの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 加圧器ヒータの主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	主要寸法 ($\phi \times L$) (mm \times mm)	使用条件	
			最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 ($^{\circ}\text{C}$)
加圧器後備ヒータ (57)	MS-2	約22 \times 約2,400	約17.2	約360

注：主要寸法の長さ（L）にはアダプタ部は含まない。

*1：機能は最上位の機能を示す。

2. 加圧器後備ヒータの技術評価

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 加圧器後備ヒータ

(1) 構造

加圧器後備ヒータはヒータスリーブを介して加圧器本体に取り付けており、加圧器内部で上下2箇所のサポートプレートで支持している。

発熱体であるヒータエレメントは、1次冷却材の圧力バウンダリであるヒータシースに内包されており、チューブおよびターミナルに接続している。電力は端子部に接続したケーブルからチューブおよびターミナルを介してヒータエレメントに供給されている。

ヒータシース内部の絶縁はMgO（酸化マグネシウム）により維持している。MgOは非常に吸湿しやすい材料であるため、セラミック絶縁とアダプタの接続部をシールすることで外部の湿気がヒータシース内部に浸入しないようにしている。

セラミック絶縁およびセラミックブロックはヒータ端末部の絶縁を維持するためのものである。

また、ゴムカバーは端子部の保護および端子部の汚損による絶縁低下を防止するためのものである。

高浜4号炉の加圧器後備ヒータの加圧器本体への取付構造図を図2.1-1に、加圧器後備ヒータの構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の加圧器後備ヒータの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

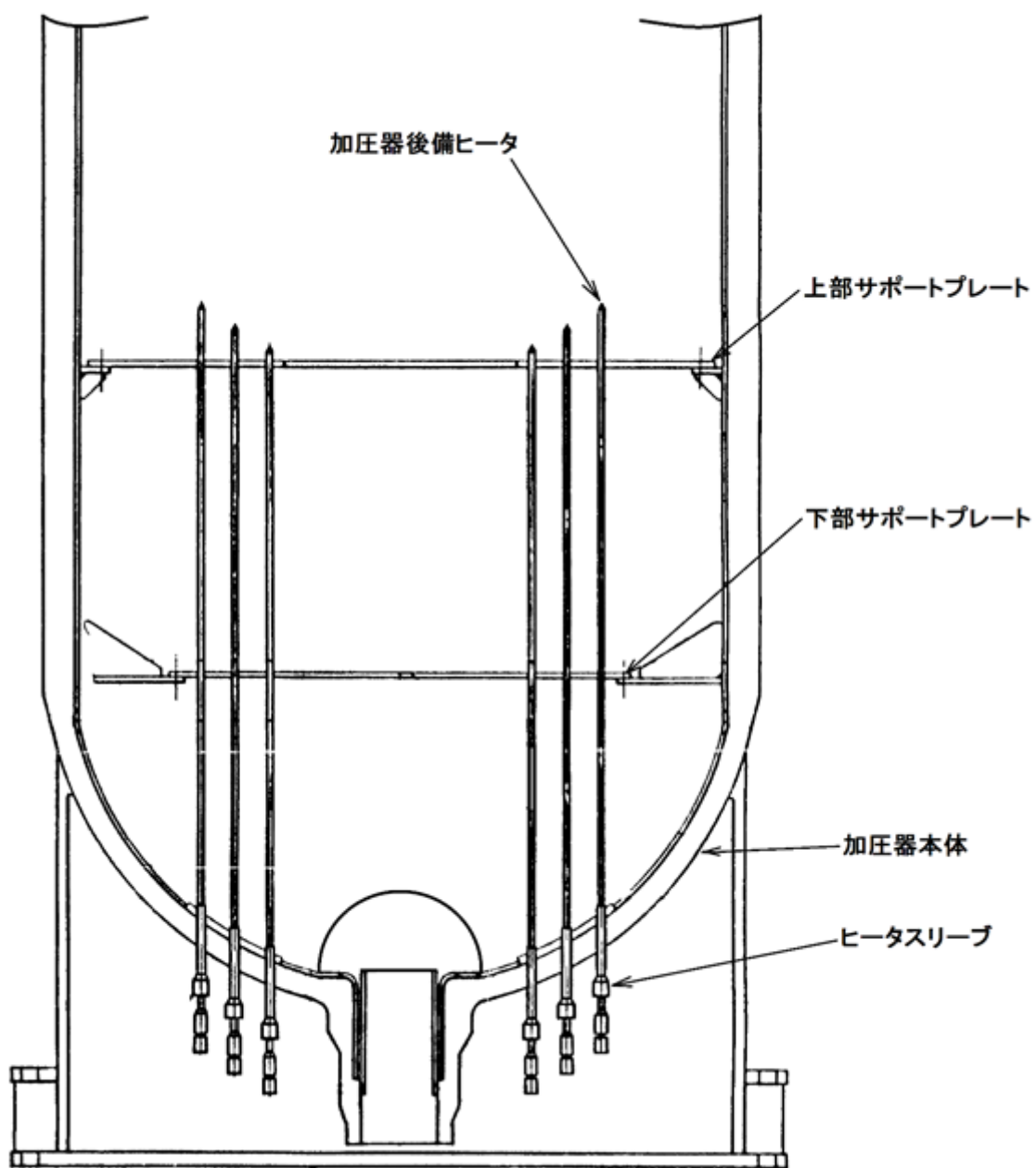
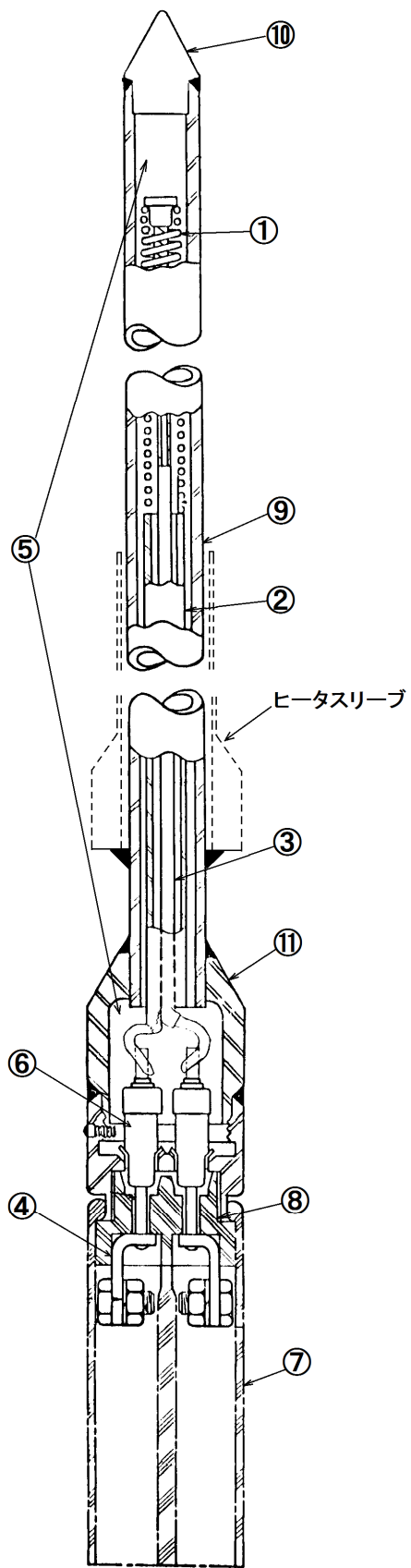


図2. 1-1 高浜 4 号炉 加圧器後備ヒータの加圧器本体への取付構造図



No.	部位
①	ヒータエレメント
②	チューブ
③	ターミナル
④	端子部
⑤	MgO絶縁
⑥	セラミック絶縁
⑦	ゴムカバー
⑧	セラミックブロック
⑨	ヒータシース
⑩	エンドプラグ
⑪	アダプタ

図2.1-2 高浜4号炉 加圧器後備ヒータの構造図

表2.1-1 高浜4号炉 加圧器後備ヒータ主要部位の使用材料

部位	材料
ヒータエレメント	ニクロム線
チューブ	ニッケル
ターミナル	ニッケル
端子部	銅
MgO絶縁	MgO (酸化マグネシウム)
セラミック絶縁	セラミックス
セラミックブロック	セラミックス
ゴムカバー	消耗品・定期取替品
ヒータシース	ステンレス鋼
エンドプラグ	ステンレス鋼
アダプタ	ステンレス鋼

表2.1-2 高浜4号炉 加圧器後備ヒータの使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa [gage]
最高使用温度	約360℃

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

加圧器後備ヒータとしての機能達成に必要な項目として、以下の2つがある。

- ① 昇温・昇圧制御
- ② バウンダリの維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

加圧器後備ヒータについて機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) ヒータエレメント、チューブおよびターミナルの導通不良

ヒータエレメント、チューブおよびターミナルは、ヒータON-OFF時に発生する熱伸縮により繰り返し応力を受けるため、材料に疲労が蓄積され、疲労割れによる導通不良が想定される。

しかしながら、実機同等品を用いたON-OFF寿命試験の結果、実機の使用状態でのヒータエレメント温度では、60年間の運転を想定したヒータON-OFF回数程度では、導通不良に至らないことを確認しており、疲労割れにより導通不良に至る可能性はない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器点検時の抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(2) 端子部の導通不良

端子部は、外部ケーブルをボルトにより接続しており、通電による温度上昇により熱膨張し、ボルトが緩むことによる導通不良が想定される。

しかしながら、これまでの目視点検で緩みは認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器点検時の抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(3) セラミック絶縁およびセラミックブロックの絶縁低下

セラミック絶縁およびセラミックブロックは無機物の磁器であり、経年劣化の可能性はない。

なお、長期の使用においては表面の汚損による絶縁低下が想定される。

しかしながら、セラミック絶縁はアダプタで、また、セラミックブロックはゴムカバーで保護されており、塵埃の付着により表面が汚損する可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器点検時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(4) MgO絶縁の絶縁低下

MgO絶縁は、ヒータエレメントの発熱により、エレメントの成分 (Ni, Cr) が拡散し、MgOの純度が低下することによる絶縁低下が想定される。

しかしながら、加圧器後備ヒータのヒータエレメントの温度は最大610℃であり、拡散が急激に進行することはない（出典：キングリー・ウールマン セラミックス材料科学入門 基礎編）。

また、加圧器後備ヒータはMgOの吸湿防止のため、セラミック絶縁とアダプタの接続部をシールしており、外部の湿気がヒータシース内部に浸入しない構造としている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器点検時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(5) ヒータシースおよびエンドプラグの応力腐食割れ

海外プラントにおいて、ステンレス鋼製のヒータシース外面のサポートプレート接触部等が応力腐食割れによって損傷する事例が発生している。応力腐食割れの発生原因として、接液部表面の硬化層や残留応力の影響と報告されている。

高浜4号炉のヒータシースは海外プラントと異なり、表層は硬くなく、応力腐食割れが発生、進展することは考えがたい。

また、エンドプラグの表面は機械加工を行っているが、内部まで硬いとは考えられないことから、応力腐食割れが進展することは考えがたい。

以上のことから、ヒータシースおよびエンドプラグの応力腐食割れは、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器点検時の絶縁抵抗測定により、1次冷却材の混入等による絶縁低下のないことを確認している。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ゴムカバーは目視確認の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 高浜4号炉 加圧器後備ヒータに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
昇温・昇圧制御	ヒータエレメント		ニクロム線							△		
	チューブ		ニッケル							△		
	ターミナル		ニッケル							△		
	端子部		銅							△		
	MgO絶縁		MgO						△			
	セラミック絶縁		セラミックス						△			
	セラミックブロック		セラミックス						△			
	ゴムカバー	◎	—									
	アダプタ		ステンレス鋼									
バウンダリの維持	ヒータシース		ステンレス鋼				△					
	エンドプラグ		ステンレス鋼				△					

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

3 原子炉格納容器

[対象部位]

- 3.1 原子炉格納容器本体
- 3.2 機械ペネトレーション
- 3.3 電気ペネトレーション

高浜4号炉で使用されている原子炉格納容器の部位は、本体および貫通部に大きく分かれ、形式等でグループ化すると3つのグループに分類されるため、本評価書においては、これら対象部位3種類についての技術評価を行う。

本評価書では、以下の3つに分類している。

- 3.1 原子炉格納容器本体
- 3.2 機械ペネトレーション
- 3.3 電気ペネトレーション

3.1 原子炉格納容器本体

[対象機器]

- ① 原子炉格納容器

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 原子炉格納容器の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	5

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されている原子炉格納容器の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 原子炉格納容器の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件	
		最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
原子炉格納容器 (1)	MS-1、重*2	約0.28	約132

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

2. 原子炉格納容器の技術評価

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 原子炉格納容器

(1) 構造

高浜4号炉の原子炉格納容器は、LOCA時の耐圧および漏えい防止機能をもつ容器であり、鋼板の内面および外面については防錆のために防食塗装を施しており、コンクリート埋設部については防食のために電気防食設備を設置している。

高浜4号炉の原子炉格納容器の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の原子炉格納容器の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

No.	部位
①	トップドーム部
②	円筒部
③	コンクリート埋設部
④	スタッド
⑤	アニュラスシール

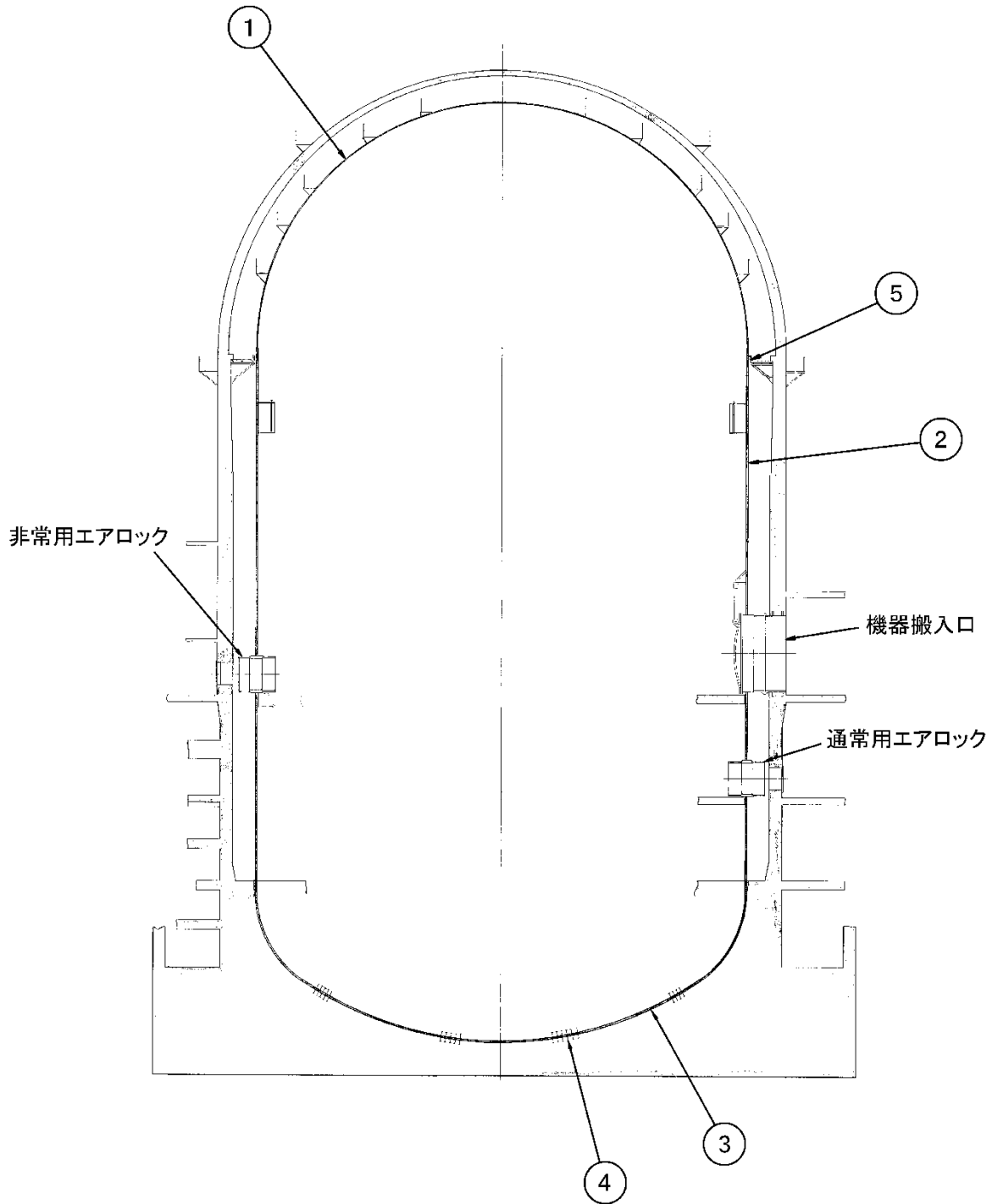


図2.1-1 高浜4号炉 原子炉格納容器構造図

表2.1-1 高浜4号炉 原子炉格納容器主要部位の使用材料

部位		材料
原子炉格納容器 鋼板	トップドーム部	炭素鋼
	円筒部	炭素鋼
	コンクリート埋設部	炭素鋼
	スタッド	炭素鋼
アニュラスシール		消耗品・定期取替品

表2.1-2 高浜4号炉 原子炉格納容器の使用条件

最高使用圧力	約0.28MPa[gage]
最高使用温度	約132℃
内部流体	空気

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

原子炉格納容器の機能である耐圧・漏えい防止機能を維持するためには、次の項目が必要である。

① バウンダリの維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

原子炉格納容器について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 原子炉格納容器鋼板（トップドーム部および円筒部）の腐食（全面腐食）

トップドーム部および円筒部は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、屋外大気に曝されておらず、現状の塗膜管理を行っていれば腐食は問題とならない。

また、定期的な目視確認により塗膜の健全性を確認するとともに、原子炉格納容器漏えい率試験によりバウンダリ機能の健全性を確認している。なお、原子炉格納容器鋼板の代表部位について超音波厚み計による板厚測定を実施した結果、必要最小板厚を満足していることを確認している。

なお、運転期間延長認可申請に際して実施した特別点検において、原子炉格納容器鋼板の塗膜に対して可視範囲の目視確認を実施した結果、原子炉格納容器の健全性に影響を与えるような有意な劣化は認められなかった。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 原子炉格納容器鋼板の疲労割れ

原子炉格納容器鋼板は、プラントの起動・停止時等の熱過渡により疲労割れが想定される。

しかしながら、運転中の温度変化およびそれに伴う圧力変化等しか過渡を受けず、有意な過渡を受けないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、原子炉格納容器漏えい率試験により、機器の健全性を確認している。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(3) 原子炉格納容器鋼板（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）

原子炉格納容器鋼板は炭素鋼であり、湿分による腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部はコンクリート内の水酸化カルシウムにより強アルカリ環境を形成しており、鉄表面は不動態化しているため、腐食速度としては極めて小さい。また、コンクリート埋設部には電気防食設備を備えており、腐食速度の小さい電位に鋼板電位を保持できるようにしている。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

アニュラスシールは目視確認の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 高浜4号炉 原子炉格納容器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	トップドーム部		炭素鋼		△	△					
	円筒部		炭素鋼		△	△					
	コンクリート埋設部 (スタッド含む)		炭素鋼		▲	△					
	アニュラスシール	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

3.2 機械ペネトレーション

[対象機器]

- ① 固定式配管貫通部
- ② 伸縮式配管貫通部
- ③ 機器搬入口
- ④ エアロック
- ⑤ 燃料移送管貫通部

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	7
2.1 構造、材料および使用条件	7
2.2 経年劣化事象の抽出	22
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	30
3. 代表機器以外への展開	39
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	39
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	41

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されている機械ペネトレーションの主な仕様を表1-1に示す。

これらの機械ペネトレーションを型式の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す機械ペネトレーションについて、型式を分離基準として考えると、合計5つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 型式：固定式配管貫通部

固定式配管貫通部のうち、大口径であり、プラントの起動・停止等に伴い有意な熱過渡を受ける余熱除去出口配管貫通部を代表機器とする。

(2) 型式：伸縮式配管貫通部

伸縮式配管貫通部のうち、大口径であり、プラントの起動・停止等に伴い有意な熱過渡を受ける主蒸気管貫通部および主給水管貫通部を代表機器とする。

(3) 型式：機器搬入口

このグループには、機器搬入口のみが属するため、代表機器は機器搬入口とする。

(4) 型式：エアロック

このグループには、通常用エアロックと非常用エアロックが属するが、常用される通常用エアロックを代表機器とする。

(5) 型式：燃料移送管貫通部

このグループには、燃料移送管貫通部のみが属するため、代表機器は燃料移送管貫通部とする。

表1-1 (1/5) 高浜4号炉 機械ペネトレーションの主な仕様

型式	貫通部番号	ライン名	仕様 配管口径 (mm)	選定基準			代表機器の選定	
				重要度*1	最高使用温度 (℃)	最高使用圧力 (MPa[gage])	代表機器	選定理由
固定式 配管貫通部	1 6 1	余熱除去出口配管 (Cループより)	318.5	MS-1、重*2	約200	約 4.1	◎ ◎	大口径、高温 (熱過渡) 大口径、高温 (熱過渡)
	1 6 2	余熱除去出口配管 (Bループより)	318.5		約200	約 4.1		
	2 1 1	格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給配管	27.2		約132	約 1.0		
	2 1 2	抽出配管	89.1		約200	約 4.1		
	2 1 4	格納容器圧力取出し配管	27.2		約132	約0.28		
	2 1 6	蓄圧タンク充てん配管	34.0		約150	約 7.8		
	2 1 7	1次冷却材ポンプ封水戻り配管	89.1		約132	約 1.0		
	2 1 8	蓄圧タンク窒素充てん配管	34.0		約132	約 4.9		
	2 1 9	格納容器水素パージドレン配管 事故後サンプリング液体戻り配管	27.2		約132	約0.28		
	2 2 0	C. 1次冷却材ポンプ封水注入配管	48.6		約132	約18.8		
	2 2 1	格納容器水素パージドレン配管 事故後サンプリング液体戻り配管	27.2		約132	約0.28		
	2 2 3	加圧器逃がしタンクガス自動分析器連絡配管 格納容器冷却材ドレンタンクガス自動分析器連絡配管	27.2		約170 約132	約 0.7 約0.28		
	2 2 4	原子炉キャビティ浄化ライン入口配管	114.3		約132	約0.28		
	2 2 5	格納容器冷却材ドレンタンク出口配管	89.1		約132	約 1.4		
	2 2 7	蓄圧タンクテスト配管	27.2		約150	約17.2		
	2 2 8	充てん配管	89.1		約132	約18.8		
	2 3 1	蓄圧タンクサンプル配管 加圧器液相部サンプル及び1次冷却材 (Bループ) サンプル配管 加圧器気相部サンプル配管	27.2		約150 約360	約 4.9 約17.2		
	2 3 3	加圧器逃がしタンク窒素供給配管	34.0		約360	約17.2		
	2 3 4	格納容器サンプポンプ出口配管	60.5		約170	約 0.7		
					約132	約 1.0		

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: 重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

表1-1 (2/5) 高浜4号炉 機械ペネトレーションの主な仕様

型式	貫通部番号	ライン名	仕様 配管口径 (mm)	選定基準			代表機器の選定	
				重要度*1	最高使用温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa[gage])	代表機器	選定理由
固定式 配管貫通部	235	1次冷却材（Aループ）サンプル配管	27.2	MS-1、重*2	約343	約17.2		
	237	格納容器圧力取出し配管	27.2		約132	約0.28		
	241	B. 1次冷却材ポンプ封水注入配管	48.6		約132	約18.8		
	242	A. 1次冷却材ポンプ封水注入配管	48.6		約132	約18.8		
	243	E C T電線用配管	216.3		約132	約0.28		
	251	1次冷却材管高温側高圧注入配管	89.1		約150	約17.2		
	252	1次冷却材管低温側高圧注入配管	89.1		約150	約17.2		
	253	1次冷却材管高温側高圧注入配管（ほう酸注入タンク入口側）	89.1		約150	約17.2		
	254	1次冷却材管低温側高圧注入配管（ほう酸注入タンク出口側）	89.1		約150	約17.2		
	259	蒸気発生器ブローダウンサンプル配管	27.2		約291	約 7.5		
	260	制御用空気配管	60.5		約132	約 0.8		
	261	格納容器水素パーージ給気配管	60.5		約132	約0.28		
	262	制御用空気配管	34.0		約132	約 0.8		
	264	格納容器漏えい試験圧力取出し配管	27.2		約132	約0.28		
	265	所内用空気配管	60.5		約132	約 0.8		
	266	格納容器圧力取出し配管	27.2		約132	約0.28		
	267	格納容器漏えい試験圧力取出し配管	27.2		約132	約0.28		
	268	脱塩水配管	60.5		約132	約 1.0		
	270	1次系補助蒸気配管	60.5		約185	約 0.9		
	271	消火用配管	89.1		約132	約 1.5		
273	格納容器圧力取出し配管	27.2	約132	約0.28				

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

表1-1 (3/5) 高浜4号炉 機械ペネトレーションの主な仕様

型式	貫通部番号	ライン名	仕様	選定基準			代表機器の選定	
			配管口径 (mm)	重要度*1	最高使用温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa[gage])	代表機器	選定理由
固定式 配管貫通部	274	DRPI冷却用冷水供給配管	60.5	MS-1、重*2	約132	約1.0		
	275	DRPI冷却用冷水戻り配管	60.5		約132	約1.0		
	278	格納容器圧力取出し配管	27.2		約132	約0.28		
	279	加圧器逃がしタンク純水補給配管	89.1		約132	約1.0		
	281	格納容器水素パーズ給気配管	60.5		約132	約0.28		
	282	制御用空気配管	89.1		約132	約0.28		
	283	格納容器圧力取出し配管	27.2		約132	約0.28		
	284	制御用空気配管	34.0		約132	約0.8		
	285	E C T電線用配管	216.3		約132	約0.28		
	315	炉内計装用炭酸ガス配管	27.2		約132	約0.28		
	316	1次冷却材ポンプ消火用炭酸ガス配管	89.1		約132	約16.2		
	317	C蒸気発生器ブローダウン配管	89.1		約291	約7.5		
	318	B蒸気発生器ブローダウン配管	89.1		約291	約7.5		
	319	A蒸気発生器ブローダウン配管	89.1		約291	約7.5		
	320	加圧器圧力校正配管	27.2		約360	約17.2		
	405	格納容器空気サンプリング戻り配管 格納容器空気サンプリング取出配管	48.6		約132	約0.28		
	406	B格納容器水素サンプリング戻り配管 B格納容器水素サンプリング取出配管	27.2		約132	約0.28		
	407	A格納容器水素サンプリング戻り配管 A格納容器水素サンプリング取出配管	27.2		約132	約0.28		
	408	給排気ダクト格納容器貫通部	1218		約132	約0.28		
	409	格納容器スプレイ配管 (A C Pポンプより)	267.4		約150	約2.7		
410	格納容器スプレイ配管 (B C Pポンプより)	267.4	約150	約2.7				

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

表1-1 (4/5) 高浜4号炉 機械ペネトレーションの主な仕様

型式	貫通部番号	ライン名	仕様	選定基準			代表機器の選定	
			配管口径 (mm)	重要度*1	最高使用温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa[gage])	代表機器	選定理由
固定式 配管貫通部	4 1 1	U Tマシン電線用配管	216.3	MS-1、重*2	約132	約0.28		
	4 1 2	U Tマシン電線用配管	216.3		約132	約0.28		
	4 1 3	給排気ダクト格納容器貫通部	1218		約132	約0.28		
	4 1 4	格納容器漏えい試験空気入口配管	165.2		約132	約0.28		
	4 1 5	格納容器漏えい試験空気出口配管	165.2		約132	約0.28		
	4 1 6	格納容器漏えい試験圧力取出し配管	27.2		約132	約0.28		
	4 1 7	真空逃がし装置格納容器貫通部	610		約132	約0.28		
	4 1 8	真空逃がし装置格納容器貫通部	610		約132	約0.28		
伸縮式 配管貫通部	1 5 1	格納容器再循環配管 (A. C Pポンプへ)	355.6	MS-1、重*2	約132	約0.28		
	1 5 2	格納容器再循環配管 (A. RHRポンプへ)	355.6		約132	約0.28		
	1 5 3	格納容器再循環配管 (B. RHRポンプへ)	355.6		約132	約0.28		
	1 5 4	格納容器再循環配管 (B. C Pポンプへ)	355.6		約132	約0.28		
	2 2 2	原子炉キャビティ浄化ライン出口配管	165.2		約132	約0.28		
	2 2 9	C・D格納容器再循環ユニット冷却水供給配管	165.2		約132	約 1.0		
	2 3 0	C格納容器再循環ユニット冷却水戻り配管	165.2		約132	約 1.0		
	2 3 2	D格納容器再循環ユニット冷却水戻り配管	165.2		約132	約 1.0		
	2 3 6	1次冷却材管低温側低圧注入配管 (Cコールド レグへ)	267.4		約200	約17.2		
	2 3 8	1次冷却材管高温側低圧注入配管	267.4		約200	約17.2		
2 3 9	1次冷却材管低温側低圧注入配管 (Aコールド レグへ)	267.4	約200	約17.2				

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

表1-1 (5/5) 高浜4号炉 機械ペネトレーションの主な仕様

型式	貫通部番号	ライン名	仕様	選定基準			代表機器の選定	
			配管口径 (mm)	重要度*1	最高使用温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa[gage])	代表機器	選定理由
伸縮式 配管貫通部	255	A・B格納容器再循環ユニット冷却水供給配管	165.2	MS-1、重*2	約132	約1.0	◎	大口径、高温（熱過渡）
	256	A格納容器再循環ユニット冷却水戻り配管	165.2		約132	約1.0		
	257	B格納容器再循環ユニット冷却水戻り配管	165.2		約132	約1.0		
	301	主蒸気管（Cループ）	762		約291	約7.5		
	302	主給水管（Cループ）	406.4		約235	約7.5		
	303	主蒸気管（Bループ）	762		約291	約7.5		
	304	主給水管（Bループ）	406.4		約235	約7.5		
	305	主蒸気管（Aループ）	762		約291	約7.5		
	306	主給水管（Aループ）	406.4		約235	約7.5		
	311	1次冷却材ポンプ及びモータ冷却水戻り配管	267.4		約132	約1.0		
	312	1次冷却材ポンプ及びモータ冷却水供給配管	267.4		約132	約1.0		
	313	CRDM冷却ユニット余剰抽出冷却器及び冷却材ドレン冷却器冷却水供給配管	165.2		約132	約1.0		
	314	CRDM冷却ユニット余剰抽出冷却器及び冷却材ドレン冷却器冷却水戻り配管	165.2		約132	約1.0		
	402	格納容器減圧配管	165.2		約132	約0.28		
404	格納容器減圧配管	165.2	約132	約0.28				
機器搬入口	450	機器搬入口	6000*3	MS-1、重*2	約132	約0.28	◎	
エアロック	350	通常用エアロック	2542*3	MS-1、重*2	約132	約0.28	◎	常用
	400	非常用エアロック	2542*3	MS-1、重*2	約132	約0.28		
燃料移送管 貫通部	200	燃料移送管	558.8	MS-1、重*2	約132	約0.28	◎	

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

*3：胴部の内径を示す。

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の5種類の機械ペネトレーションについて技術評価を実施する。

- ① 余熱除去出口配管貫通部
- ② 主蒸気・主給水管貫通部
- ③ 機器搬入口
- ④ 通常用エアロック
- ⑤ 燃料移送管貫通部

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 余熱除去出口配管貫通部

(1) 構造

高浜4号炉の余熱除去出口配管貫通部は、スリーブと貫通配管およびそれらを接続する端板により構成されており、可動部はない。

高浜4号炉の余熱除去出口配管貫通部の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の余熱除去出口配管貫通部の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

No.	部位
①	端板
②	スリーブ

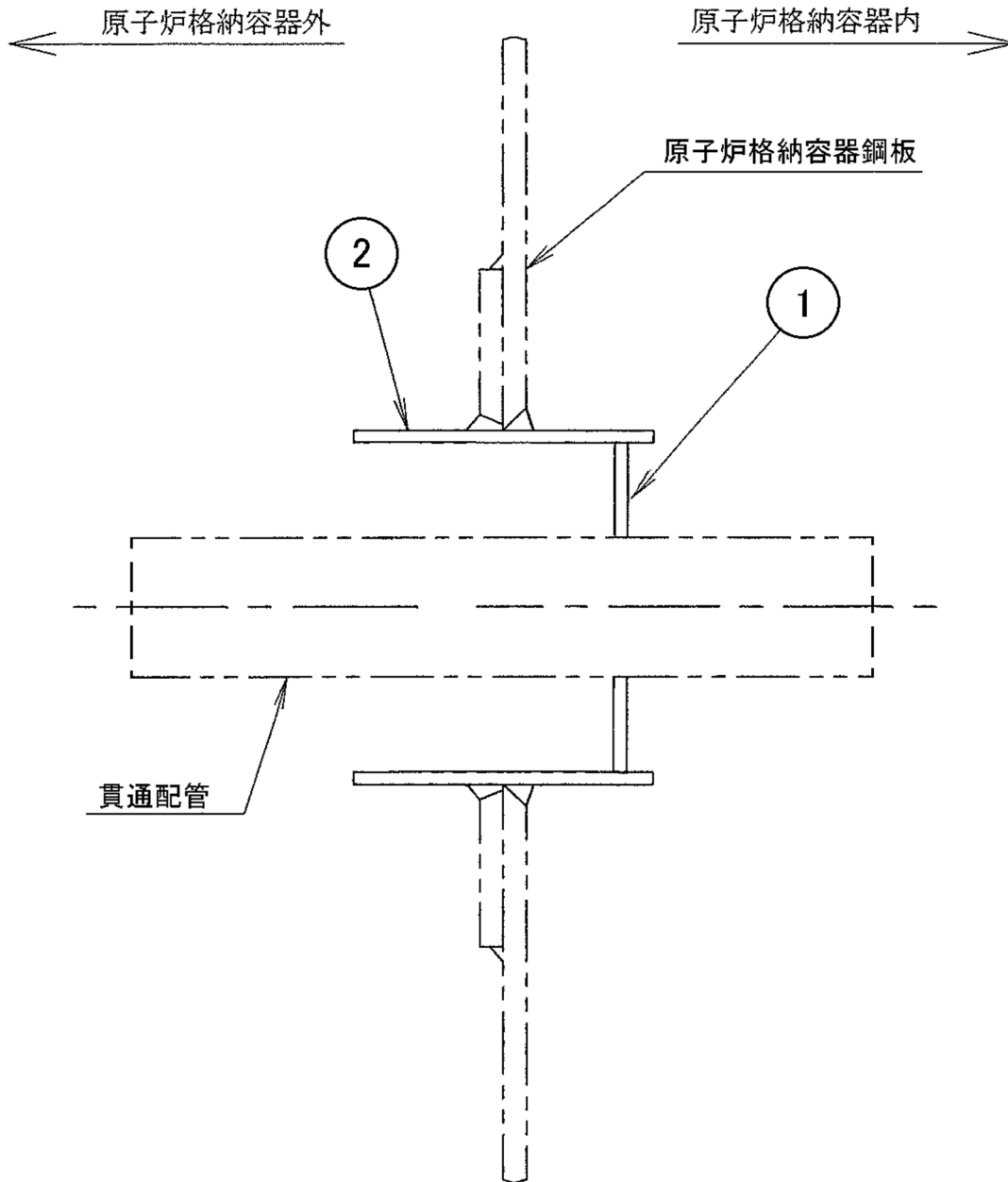


図2.1-1 高浜4号炉 余熱除去出口配管貫通部構造図

表2.1-1 高浜4号炉 余熱除去出口配管貫通部主要部位の使用材料

部位	材料
端板	ステンレス鋼
スリーブ	炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 余熱除去出口配管貫通部の使用条件

最高使用圧力	約4.1MPa [gage]
最高使用温度	約200℃

2.1.2 主蒸気・主給水管貫通部

(1) 構造

高浜4号炉の主蒸気・主給水管貫通部は、スリーブと貫通配管およびそれらを接続している端板と伸縮可能な可動部である伸縮継手により構成されている。

高浜4号炉の主蒸気・主給水管貫通部の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の主蒸気・主給水管貫通部の使用材料を表2.1-3に、主蒸気・主給水管貫通部の使用条件を表2.1-4および表2.1-5に示す。

No.	部位
①	伸縮継手
②	スリーブ取付端板
③	配管取付端板
④	スリーブ

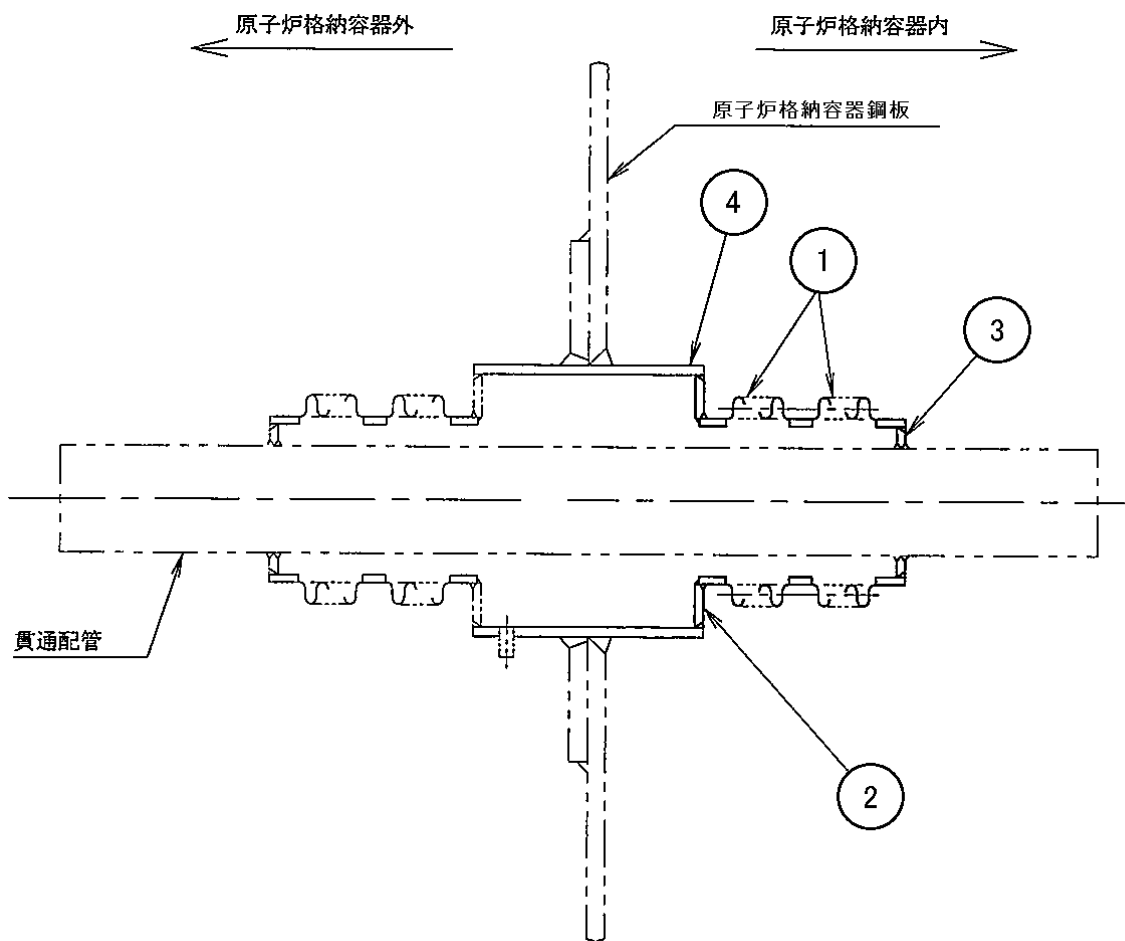


図2.1-2 高浜4号炉 主蒸気・主給水管貫通部構造図

表2.1-3 高浜4号炉 主蒸気・主給水管貫通部主要部位の使用材料

部位	材料
伸縮継手	ステンレス鋼
スリーブ取付端板	炭素鋼
配管取付端板	炭素鋼
スリーブ	炭素鋼

表2.1-4 高浜4号炉 主蒸気管貫通部の使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa [gage]
最高使用温度	約291℃

表2.1-5 高浜4号炉 主給水管貫通部の使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa [gage]
最高使用温度	約235℃

2.1.3 機器搬入口

(1) 構造

高浜4号炉の機器搬入口は、1箇所設置されている。胴と蓋により構成されており、蓋は取り外しが可能なフランジ構造を有している。

高浜4号炉の機器搬入口の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の機器搬入口の使用材料および使用条件を表2.1-6および表2.1-7に示す。

No.	部位
①	蓋
②	胴
③	ガスケット

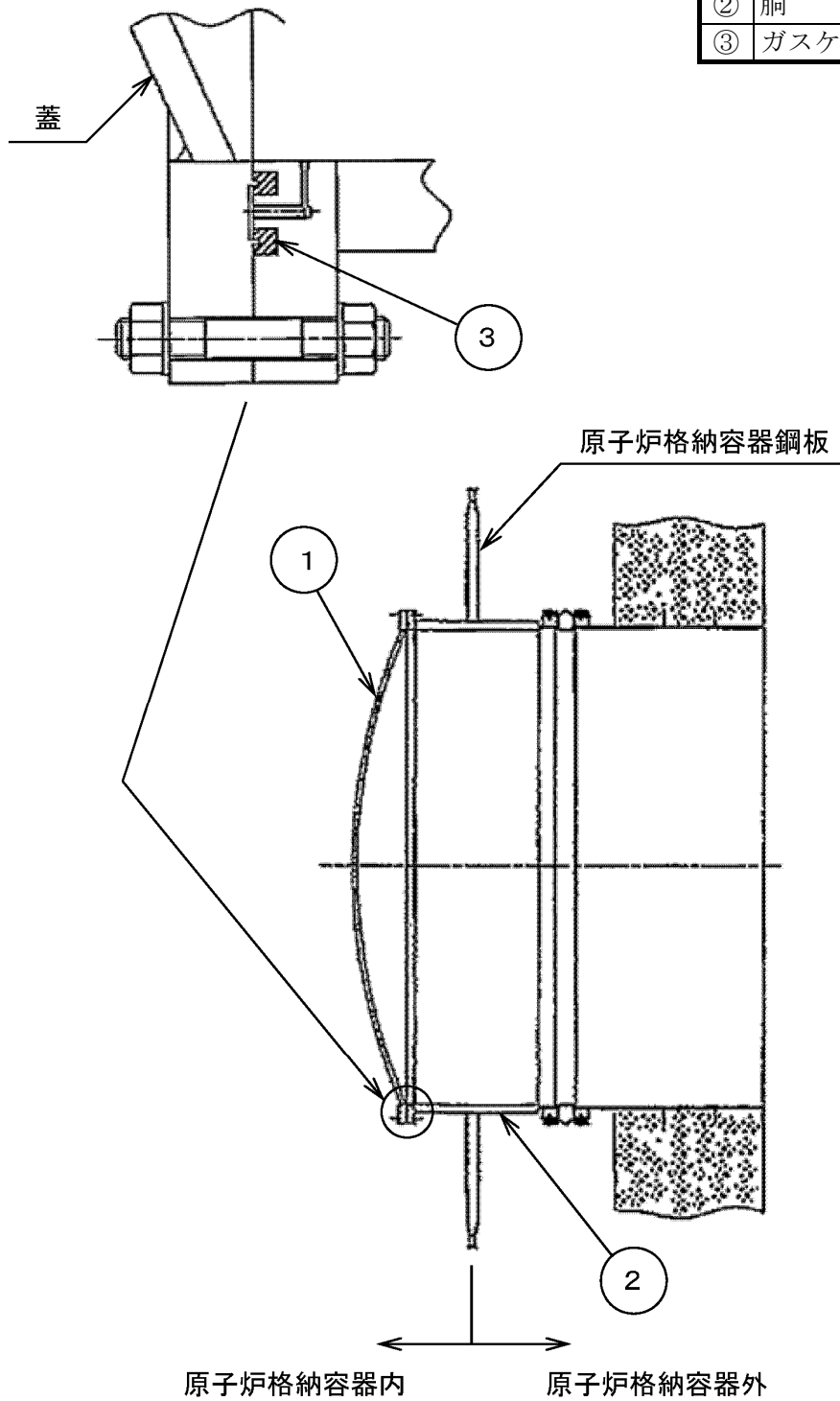


図2.1-3 高浜4号炉 機器搬入口構造図

表2.1-6 高浜4号炉 機器搬入口主要部位の使用材料

部位	材料
蓋	炭素鋼
胴	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-7 高浜4号炉 機器搬入口の使用条件

最高使用圧力	約0.28MPa [gage]
最高使用温度	約132℃

2.1.4 通常用エアロック

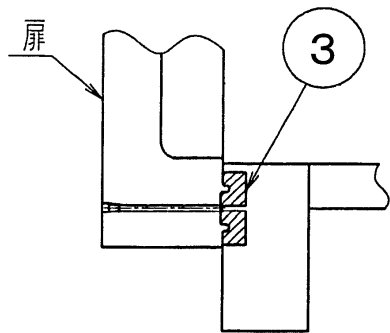
(1) 構造

高浜4号炉の通常用エアロックは、1箇所設置されている。胴と原子炉格納容器の内側および外側に1枚ずつ設けられた扉により構成されている。

高浜4号炉の通常用エアロックの構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の通常用エアロックの使用材料および使用条件を表2.1-8および表2.1-9に示す。



No.	部位
①	扉
②	胴
③	ガスケット

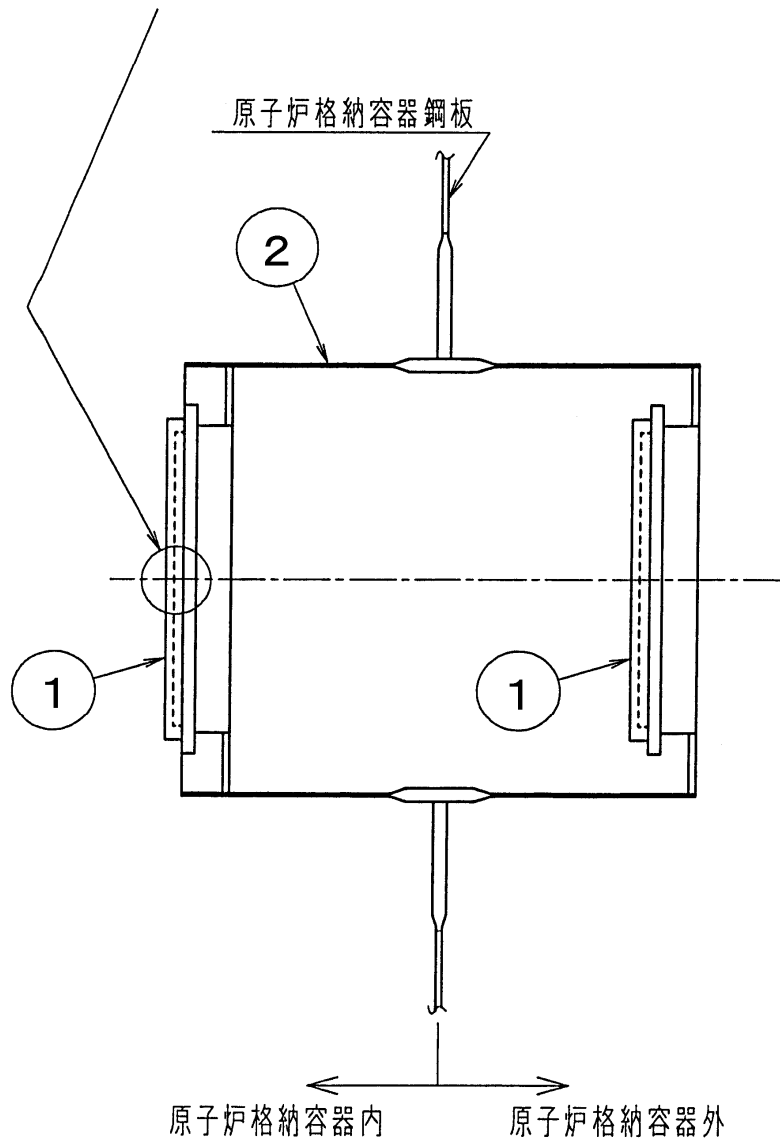


図2.1-4 高浜4号炉 通常用エアロック構造図

表2.1-8 高浜4号炉 通常用エアロック主要部位の使用材料

部位	材料
扉	炭素鋼
胴	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-9 高浜4号炉 通常用エアロックの使用条件

最高使用圧力	約0.28MPa [gage]
最高使用温度	約132℃

2.1.5 燃料移送管貫通部

(1) 構造

高浜4号炉の燃料移送管貫通部は、スリーブと貫通配管およびそれらを接続する端板により構成されている。

高浜4号炉の燃料移送管貫通部の構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の燃料移送管貫通部の使用材料および使用条件を表2.1-10および表2.1-11に示す。

No.	部位
①	端板
②	スリーブ
③	貫通配管
④	ガスケット

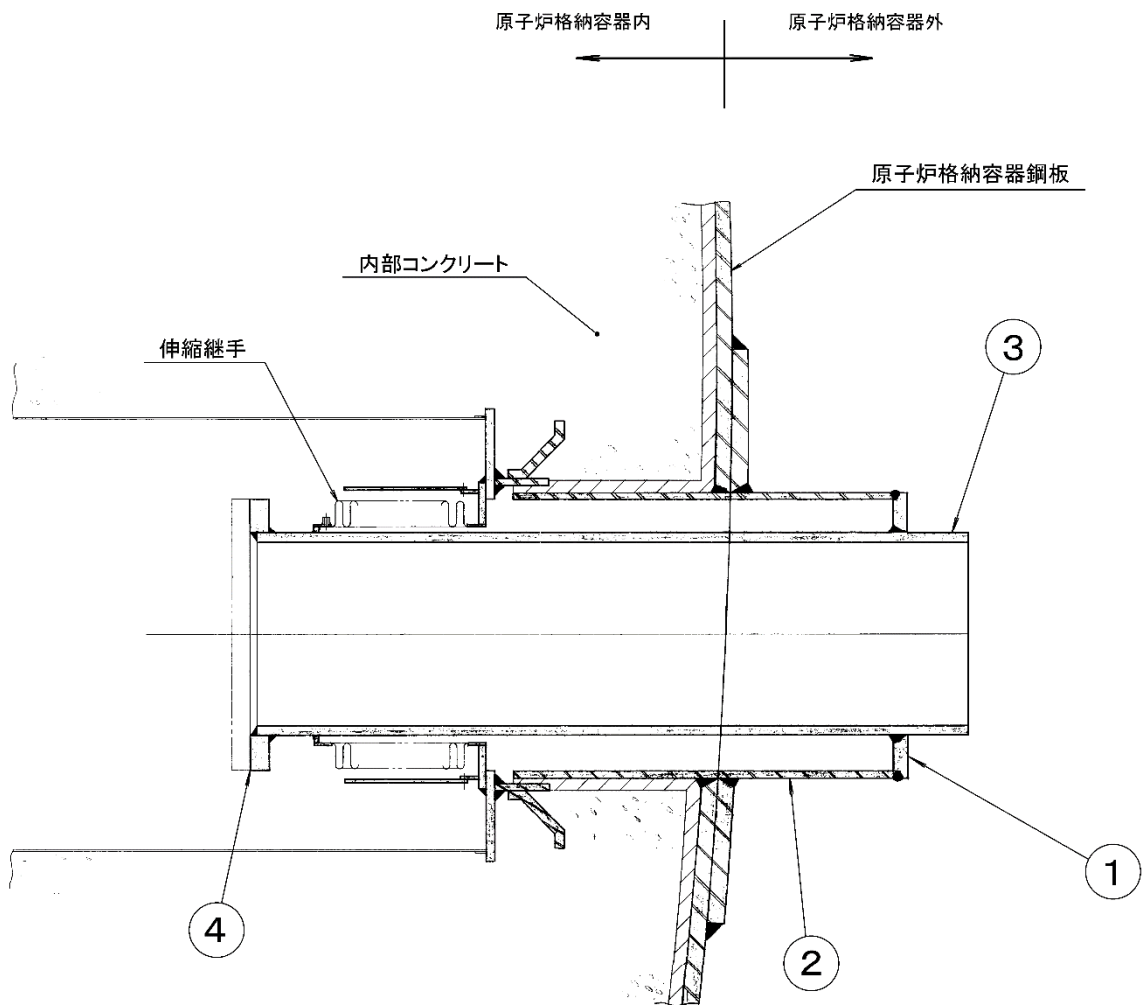


図2.1-5 高浜4号炉 燃料移送管貫通部構造図

表2.1-10 高浜4号炉 燃料移送管貫通部主要部位の使用材料

部位	材料
端板	ステンレス鋼
スリーブ	炭素鋼
貫通配管	ステンレス鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-11 高浜4号炉 燃料移送管貫通部の使用条件

最高使用圧力	約0.28MPa [gage]
最高使用温度	約132℃

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

機械ペネトレーションとしての機能を維持するためには、次の項目が必要である。

① バウンダリの維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

機械ペネトレーション個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 端板の疲労割れ [余熱除去出口配管貫通部]

プラント起動・停止等運転状態の変化に伴う貫通配管熱移動により余熱除去出口配管貫通部の端板は繰り返し荷重を受け、疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

(2) 伸縮継手の疲労割れ [主蒸気・主給水管貫通部]

プラント起動・停止等運転状態の変化に伴う貫通配管熱移動により主蒸気・主給水管貫通部の伸縮継手は伸縮を繰り返し、疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) スリーブ等耐圧構成品の腐食（全面腐食） [共通]

スリーブ、スリーブ取付端板、配管取付端板、蓋、胴および扉は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、原子炉格納容器漏えい率試験時等の目視確認で塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 胴等耐圧構成品の疲労割れ [機器搬入口、通常用エアロック、燃料移送管貫通部]

機器搬入口、通常用エアロックおよび燃料移送管貫通部の胴等耐圧構成品は、プラントの起動・停止時等の過渡により、疲労割れが想定される。

しかしながら、原子炉格納容器と同様に運転中の温度変化およびそれに伴う圧力変化等しか過渡を受けず、有意な過渡を受けないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、原子炉格納容器漏えい率試験により、機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットは分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/5) 高浜4号炉 余熱除去出口配管貫通部に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	端板		ステンレス鋼			○					
	スリーブ		炭素鋼		△						

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/5) 高浜4号炉 主蒸気・主給水管貫通部に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	伸縮継手		ステンレス鋼			○					
	スリーブ取付端板		炭素鋼		△						
	配管取付端板		炭素鋼		△						
	スリーブ		炭素鋼		△						

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/5) 高浜4号炉 機器搬入口に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	蓋		炭素鋼		△	△					
	胴		炭素鋼		△	△					
	ガスケット	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/5) 高浜4号炉 通常用エアロックに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	扉		炭素鋼		△	△					
	胴		炭素鋼		△	△					
	ガスケット	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(5/5) 高浜4号炉 燃料移送管貫通部に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	端板		ステンレス鋼			△					
	スリーブ		炭素鋼		△	△					
	貫通配管		ステンレス鋼			△					
	ガスケット	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 端板の疲労割れ [余熱除去出口配管貫通部]

a. 事象の説明

固定式配管貫通部のうち余熱除去出口配管貫通部は、プラントの起動・停止等運転状態の変化に伴い熱過渡を受けるため、図2.3-1に示す貫通配管と端板との溶接部およびスリーブと端板との溶接部に比較的高い応力が発生し、疲労が蓄積することになる。

b. 技術評価

① 健全性評価

熱過渡による疲労評価上厳しいと考えられる余熱除去出口配管貫通部を対象として「日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007)」に基づき評価を行った。

評価点を図2.3-1に、疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。なお、運転期間延長認可申請に伴う評価として、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的*に設定した過渡回数とした。

*：評価条件として、2020年度以降の過渡発生頻度は実績の1.5倍以上を想定した。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

表2.3-1 高浜4号炉 余熱除去出口配管貫通部の疲労評価に用いた過渡回数

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動	35	71
停止	34	71
1次系漏えい試験	31	65

表2.3-2 高浜4号炉 余熱除去出口配管貫通部の疲労評価結果

部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値：1以下)
端板 (ステンレス鋼)	0.001

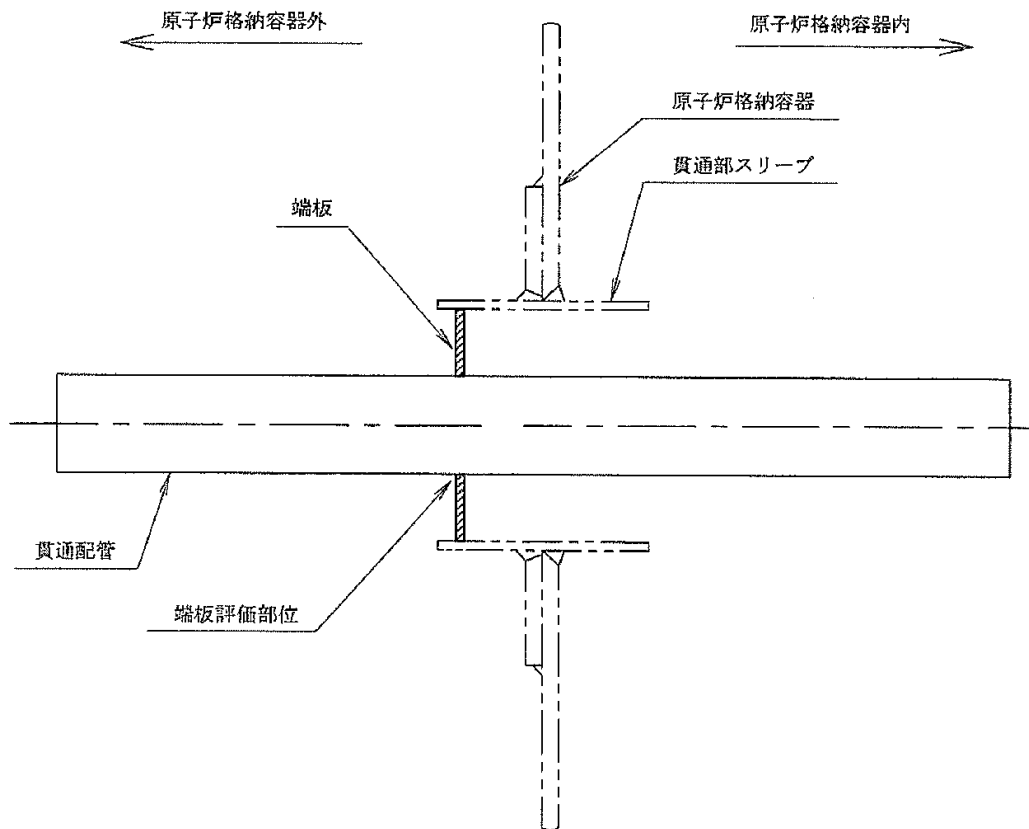


図2.3-1 高浜4号炉 余熱除去出口配管貫通部の疲労評価対象部位

② 現状保全

端板の疲労割れに対しては、定期的に見視確認により有意な割れのないこと
の確認および原子炉格納容器漏えい率試験にて原子炉格納容器に著しい
漏えいが生じていないことを確認している。さらに、高経年化技術評価に合
わせて、実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、疲労割れ発生の可能性はないと考える。た
だし、疲労評価は実績過渡回数に依存するため、今後も実績過渡回数を把握
し評価する必要がある。

端板の疲労割れに関しては、見視確認で疲労割れを検知可能であり、また、
機器の健全性への影響は、原子炉格納容器漏えい率試験により検知可能であ
り、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

端板の疲労割れについては、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開
始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認する。

2.3.2 伸縮継手の疲労割れ [主蒸気・主給水管貫通部]

a. 事象の説明

主蒸気・主給水管貫通部（伸縮式配管貫通部）は、プラントの起動・停止等運転状態の変化に伴い熱過渡を受けるため、図2.3-2に示す伸縮継手本体は伸縮を繰り返し、疲労が蓄積することになる。

b. 技術評価

① 健全性評価

熱過渡による疲労評価上厳しいと考えられる主蒸気・主給水管貫通部を対象として「日本機械学会 設計・建設規格（JSME S NC1-2005/2007）」に基づき評価を行った。

評価点を図2.3-2に、疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-3に示す。なお、運転期間延長認可申請に伴う評価として、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的*に設定した過渡回数とした。

*：評価条件として、2020年度以降の過渡発生頻度は実績の1.5倍以上を想定した。

評価結果を表2.3-4に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

表2.3-3 高浜4号炉 主蒸気・主給水管貫通部の
疲労評価に用いた過渡回数

運転状態Ⅰ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動（温度上昇率55.6℃/h）	35	71
停止（温度下降率55.6℃/h）	34	71
負荷上昇（負荷上昇率5%/min）	308	800
負荷減少（負荷減少率5%/min）	298	790
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	4
定常負荷運転時の変動*1	-	-
0%から15%への負荷上昇	35	66
15%から0%への負荷減少	25	55
1 ループ停止 / 1 ループ起動		
Ⅰ) 停止	0	2
Ⅱ) 起動	0	2

運転状態Ⅱ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
負荷の喪失	4	6
外部電源喪失	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	0	2
100%からの原子炉トリップ		
Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	3	6
Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2
Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴う トリップ	0	2
1次冷却系の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	0	2
タービン回転試験	3	3
1次系漏えい試験	31	65

*1：設計評価においては、1次冷却材温度 $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 、1次冷却材圧力は $\pm 0.34\text{MPa}$ （ $\pm 3.5\text{kg/cm}^2$ ）の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

表2.3-4 高浜4号炉 主蒸気・主給水管貫通部の疲労評価結果

貫通部	部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値：1以下)
主蒸気管貫通部	伸縮継手 (ステンレス鋼)	0.024
主給水管貫通部	伸縮継手 (ステンレス鋼)	0.419

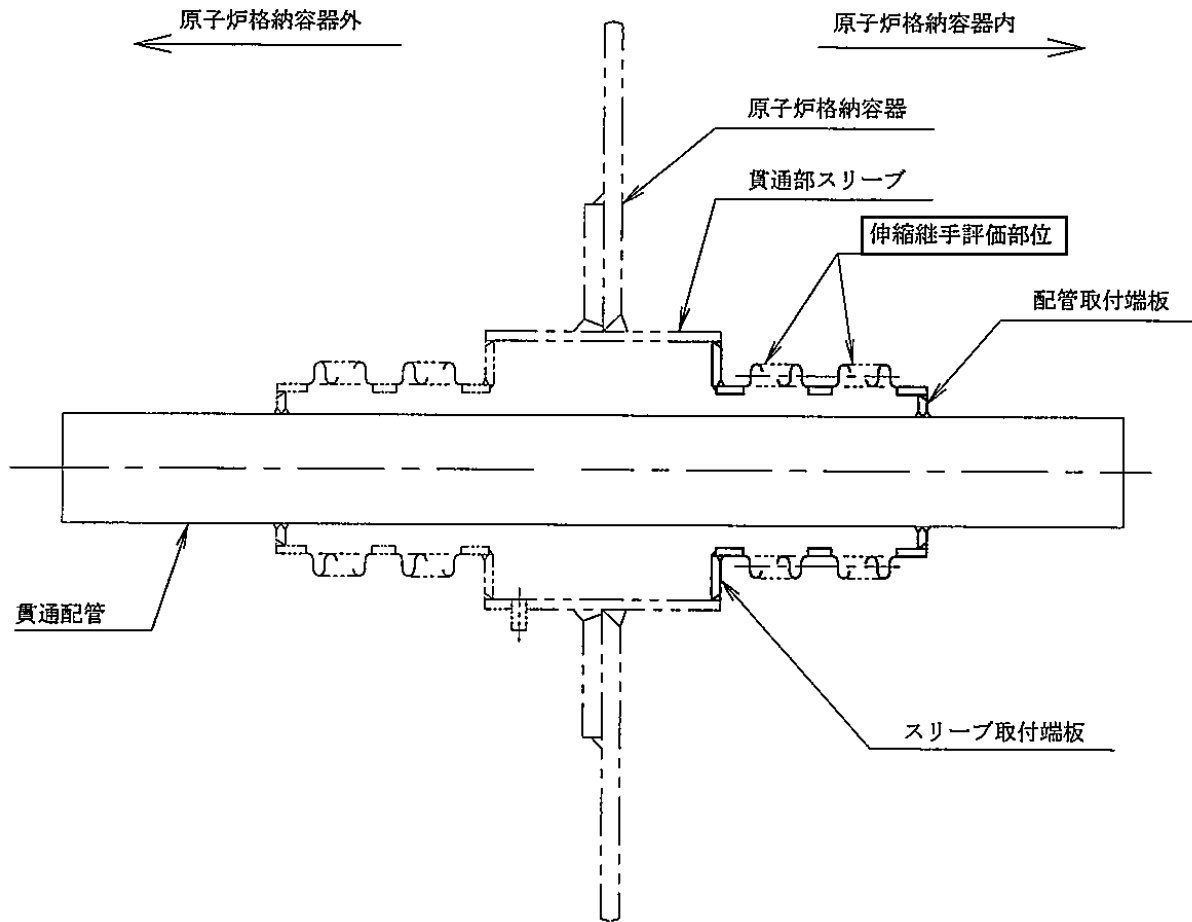


図2.3-2 高浜4号炉 主蒸気・主給水管貫通部の疲労評価対象部位

② 現状保全

伸縮継手の疲労割れに対しては、定期的目視確認により有意な割れの無いことの確認および原子炉格納容器漏えい率試験にて原子炉格納容器に著しい漏えいが生じていないことを確認している。さらに、高経年化技術評価に合わせて、実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、疲労割れ発生の可能性はないと考える。ただし、疲労評価は実績過渡回数に依存するため、今後も実績過渡回数を把握し評価する必要がある。

伸縮継手の疲労割れに関しては、目視確認で疲労割れを検知可能であり、また、機器の健全性への影響は、原子炉格納容器漏えい率試験により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

伸縮継手の疲労割れについては、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認する。

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器および「配管の技術評価書」における経年劣化事象の抽出と同様に水平展開貫通部各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① 固定式配管貫通部（余熱除去出口配管以外）
- ② 伸縮式配管貫通部（主蒸気・主給水管以外）
- ③ 非常用エアロック

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 端板の疲労割れ〔固定式配管貫通部〕

固定式配管貫通部の端板は、代表機器同様、プラント起動・停止等運転状態の変化に伴う貫通配管熱移動により繰り返し荷重を受ける。

ただし、代表機器として選定した余熱除去出口配管貫通部は、配管反力の大きな大口径管であること、プラント起動・停止時に高温となることおよび、運転状態の変化に伴い繰り返し荷重を受ける頻度が高いことから、端板の疲労評価上厳しいと想定される貫通部である。余熱除去出口配管以外の固定式配管貫通部端板についても、代表機器とほぼ同等またはそれ以下の評価になると考えられるため、代表機器の健全性評価結果から、端板の疲労割れ発生の可能性はないと考える。

また、代表機器と同様に他の固定式配管貫通部も定期的に見視により有意な割れのないことの確認および原子炉格納容器漏えい率試験にて原子炉格納容器に著しい漏えいが生じていないことを確認している。

したがって、端板の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

3.1.2 伸縮継手の疲労割れ [伸縮式配管貫通部]

伸縮式配管貫通部の伸縮継手は、代表機器同様、プラント起動・停止等運転状態の変化に伴う貫通配管熱移動により繰り返し荷重を受ける。

ただし、代表機器として選定した主蒸気・主給水ライン貫通部は、プラント運転中に高温となるため、配管反力が大きく、かつ、運転状態の変化に伴い繰り返し荷重を受ける頻度が高いことから、伸縮継手の疲労評価上厳しいと想定される貫通部である。主蒸気・主給水ライン以外の伸縮式配管貫通部の伸縮継手についても、代表機器とほぼ同等またはそれ以下の評価になると考えられるため、代表機器の健全性評価結果から、伸縮継手の疲労割れ発生の可能性はないと考える。

また、代表機器と同様に他の伸縮式配管貫通部も定期的に可視範囲の目視により有意な割れのないことの確認および原子炉格納容器漏えい率試験にて原子炉格納容器に著しい漏えいが生じていないことを確認している。

したがって、伸縮継手の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

3.2.1 スリーブ等耐圧構成品の腐食（全面腐食）〔共通〕

スリーブ等耐圧構成品の炭素鋼使用部位は、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、原子炉格納容器漏えい率試験時等の目視確認で塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.2 貫通配管の内面からの腐食（全面腐食）〔消火水配管（#271）、所内用空気配管（#265）〕

消火水配管および所内用空気配管の貫通配管は炭素鋼であり、消火水配管については内部流体が飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）水であること、また所内用空気配管については結露水が発生する可能性があることから、長期使用により内面からの腐食が想定される。

しかしながら、系統の弁の分解点検時にあわせて配管の内面を確認するとともに、定期的に原子炉格納容器漏えい率試験によりバウンダリ機能の健全性を確認することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.3 胴等耐圧構成品の疲労割れ〔非常用エアロック〕

非常用エアロックの胴等耐圧構成品は、プラントの起動・停止時等の過渡により、疲労割れが想定される。

しかしながら、原子炉格納容器と同様に運転中の温度変化およびそれに伴う圧力変化等しか過渡を受けず、有意な過渡を受けないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、原子炉格納容器漏えい率試験により、機器の健全性を確認している。

2.2.3 2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

3.2.4 貫通配管の内面からの腐食（全面腐食）〔蓄圧タンク窒素充てん配管（# 2 1 8）、C・D格納容器再循環ユニット冷却水供給配管（# 2 2 9）、C格納容器再循環ユニット冷却水戻り配管（# 2 3 0）、D格納容器再循環ユニット冷却水戻り配管（# 2 3 2）、E C T電線用配管（# 2 4 3）、A・B格納容器再循環ユニット冷却水供給配管（# 2 5 5）、A格納容器再循環ユニット冷却水戻り配管（# 2 5 6）、B格納容器再循環ユニット冷却水戻り配管（# 2 5 7）、格納容器水素パージ給気配管（# 2 6 1）、格納容器漏えい試験圧力取出し配管（# 2 6 4）、D R P I冷却用冷水供給配管（# 2 7 4）、D R P I冷却用冷水戻り配管（# 2 7 5）、E C T電線用配管（# 2 8 5）、C蒸気発生器ブローダウン配管（# 3 1 7）、B蒸気発生器ブローダウン配管（# 3 1 8）、A蒸気発生器ブローダウン配管（# 3 1 9）、格納容器減圧配管（# 4 0 2）、格納容器減圧配管（# 4 0 4）、U Tマシン電線用配管（# 4 1 1）、U Tマシン電線用配管（# 4 1 2）、給排気ダクト格納容器貫通部（# 4 1 3）〕これらの貫通配管は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、内部流体は乾燥空気、窒素ガスまたは防錆剤注入水であり、腐食発生の可能性はないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3. 3 電気ペネトレーション

[対象機器]

- ① ピッグテイル型電気ペネトレーション
- ② ブッシング型電気ペネトレーション
- ③ 三重同軸型電気ペネトレーション
- ④ LV型モジュール

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料および使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	9
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	15
3. 代表機器以外への展開	31
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	31
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	32

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されている電気ペネトレーションの主な仕様を表1-1に示す。

これらの電気ペネトレーションを経年劣化の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す電気ペネトレーションは型式の観点から分類すると以下の合計2つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) キャニスター型電気ペネトレーション

このグループにはピッグテイル型電気ペネトレーション、ブッシング型電気ペネトレーションおよび三重同軸型電気ペネトレーションが属するが、電気ペネトレーションに要求される主な機能である原子炉格納容器の気密性維持とペネトレーション内部の電気特性維持については基本的には同じであり、台数の多いピッグテイル型電気ペネトレーションを代表機器とする。

(2) モジュラー型電気ペネトレーション

このグループにはLV型モジュールのみが属するため、LV型モジュールを代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 電気ペネトレーションの主な仕様

分離基準	電気ペネトレーション名称 (台数)		仕様 (径×長さ) *1 (mm)	選定基準			代表機器の選定				
				重要度*2	使用条件*4,*5		代表 機器	選定理由			
型式			最高使用圧力 (MPa[gage])		最高使用温度 (°C)						
キャニスター型	ピッグテイル型	安全保護系電気ペネトレーション (4)	φ 267.4×L800	MS-1、重*3	約0.28	約132	◎	最多台数			
		加圧器ヒータ電気ペネトレーション (3)	φ 267.4×L800	MS-1、重*3	約0.28	約132					
		格納容器リークレート用電気ペネトレーション (1)	φ 267.4×L800	MS-1、重*3	約0.28	約132					
		計装用電気ペネトレーション (8)	φ 267.4×L800	MS-1、重*3	約0.28	約132					
		小型補機制御用電気ペネトレーション (8)	φ 267.4×L800	MS-1、重*3	約0.28	約132					
		小型補機電源電気ペネトレーション (4)	φ 267.4×L800	MS-1、重*3	約0.28	約132					
		制御棒駆動装置電気ペネトレーション (4)	φ 267.4×L800	MS-1、重*3	約0.28	約132					
		炉内計装ケーブル駆動制御用電気ペネトレーション (1)	φ 267.4×L800	MS-1、重*3	約0.28	約132					
		炉内温度計測用電気ペネトレーション (1)	φ 267.4×L800	MS-1、重*3	約0.28	約132					
	ブッシング型	格納容器再循環ファン電気ペネトレーション (4)	φ 267.4×L650	MS-1、重*3	約0.28	約132					
		制御棒駆動装置冷却ファン電気ペネトレーション (3)	φ 267.4×L650	MS-1、重*3	約0.28	約132					
		1次冷却材ポンプ電気ペネトレーション (6)	φ 267.4×L650	MS-1、重*3	約0.28	約132					
		格納容器内動力分電盤電気ペネトレーション (1)	φ 267.4×L650	MS-1、重*3	約0.28	約132					
		ポーラクレーン動力電源電気ペネトレーション (1)	φ 267.4×L650	MS-1、重*3	約0.28	約132					
	三重同軸型	炉外計装装置電気ペネトレーション (2)	φ 267.4×L840	MS-1、重*3	約0.28	約132					
		放射線監視装置用電気ペネトレーション (1)	φ 267.4×L840	MS-1、重*3	約0.28	約132					
	モジュラー型	L V型モジュール	炉外計装装置電気ペネトレーション(2)	φ 318.5×L218.5	MS-1、重*3	約0.28			約132	◎	

*1：長さ (L) には外部リードは含まない。

*2：機能は最上位の機能を示す。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

*4：設計基準事故（1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失）を考慮する条件。

*5：重大事故等（格納容器過温破損、原子炉格納容器の除熱機能喪失）も別途考慮する。

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の電気ペネトレーションについて技術評価を実施する。

- ① ピッグテイル型電気ペネトレーション
- ② LV型モジュール

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 ピッグテイル型電気ペネトレーション

(1) 構造

高浜4号炉のピッグテイル型電気ペネトレーションは、原子炉格納容器に34台設置されている。

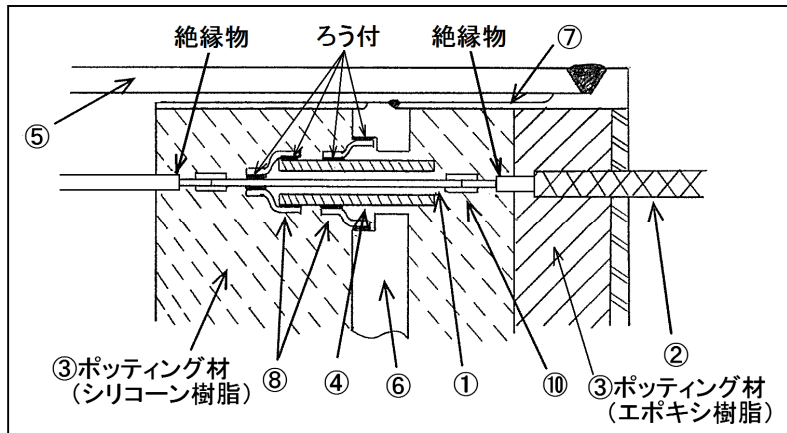
電気ペネトレーション内部において導通部となる銅棒には、ステンレス鋼製の端板との電気絶縁性を保持するために、無機絶縁材であるアルミナ磁器を銅棒と端板の穴部との間に挿入している。

銅棒と端板間の気密性は、銅棒とアルミナ磁器間およびアルミナ磁器と端板間に熱膨張係数の小さい封着金具（ニッケル合金）をろう付することにより維持している。また、銅棒と外部リードは、スプライスを用いて電氣的に接続している。隣接する銅棒あるいは外部リード間の電気絶縁は、シリコーン樹脂等のポッティング材をペネトレーション内部の空間に充てんすることで維持している。

高浜4号炉のピッグテイル型電気ペネトレーションの構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉のピッグテイル型電気ペネトレーションの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



a部詳細図

No.	部位
①	銅棒
②	外部リード
③	ポッティング材
④	アルミナ磁器
⑤	本体
⑥	端板
⑦	シュラウド
⑧	封着金具
⑨	溶接リング
⑩	スプライス

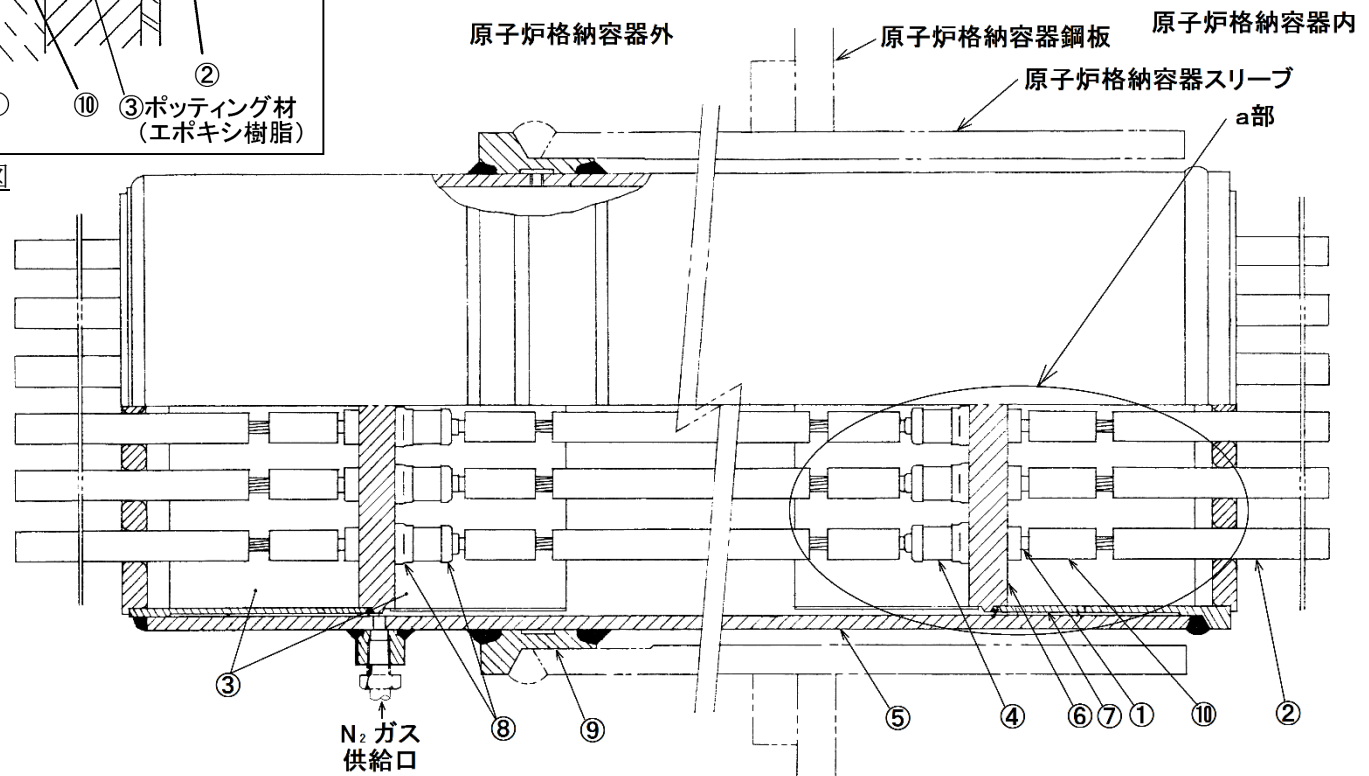


図2.1-1 高浜4号炉 ピッグテイル型電気ペネトレーション構造図

表2.1-1 高浜4号炉 ピッグテイル型電気ペネトレーション主要部位の使用材料

部位	材料
銅棒	銅
外部リード	銅、絶縁物（EPゴム、シリコンゴム）
スプライス	銅
ポッティング材	シリコン樹脂、エポキシ樹脂
アルミナ磁器	Al ₂ O ₃ （アルミナ）
本体	ステンレス鋼
端板	ステンレス鋼
シュラウド	ステンレス鋼
封着金具	ニッケル合金
溶接リング	炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 ピッグテイル型電気ペネトレーションの使用条件

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時
圧力	約0.0098MPa [gage]以下	約0.25MPa [gage] (最高圧力)	約0.35MPa [gage] (最高圧力)
温度	約42℃*1	約125℃ (最高温度)	約138℃ (最高温度)
放射線	18.1mGy/h*2	675kGy (最大集積線量)	500kGy (最大集積線量)

*1:環境条件が著しく悪化する環境において電気絶縁性維持の機能要求がある通常運転時のピッグテイル型電気ペネトレーション周囲の平均温度の最大実測値。

*2:環境条件が著しく悪化する環境において電気絶縁性維持の機能要求がある通常運転時のピッグテイル型電気ペネトレーション周囲の平均線量率の最大実測値。

2.1.2 L V型モジュール

(1) 構造

高浜4号炉のL V型モジュールは、原子炉格納容器に2台設置予定である。

L V型モジュールの気密性は、エポキシ樹脂およびOリングにより維持している。

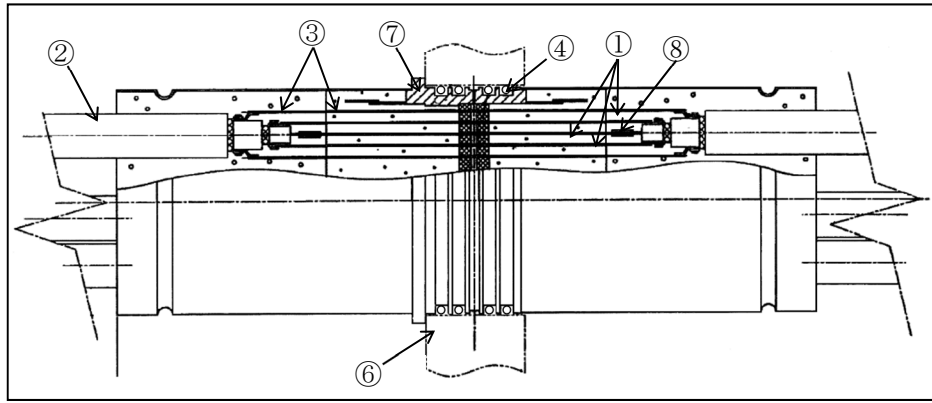
隣接する銅棒あるいは外部リード間の電気絶縁は、エポキシ樹脂のポッティング材により維持している。

また、銅棒と外部リードの中心導体は、接続金具を用いて電氣的に接続している。

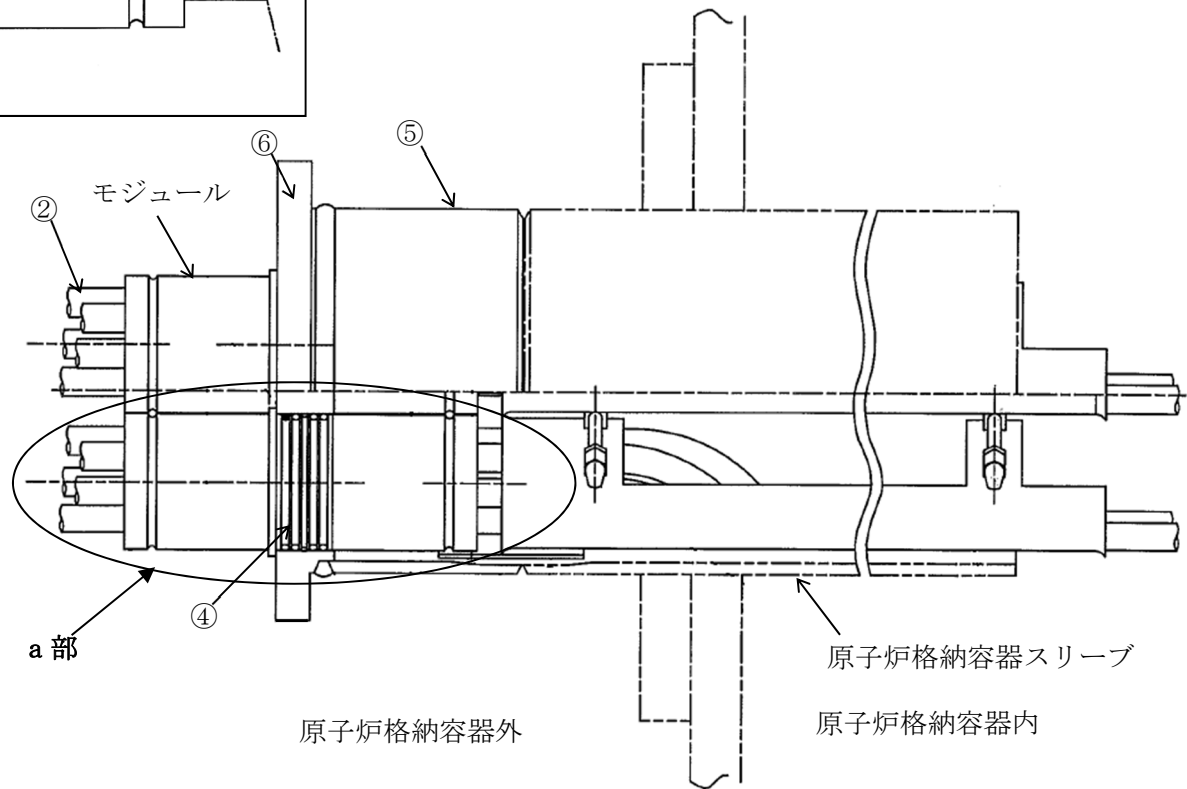
高浜4号炉のL V型モジュールの構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉のL V型モジュールの使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



a 部詳細図



No.	部位
①	銅棒
②	外部リード
③	ポッティング材
④	Oリング
⑤	本体
⑥	端板
⑦	ヘッダー
⑧	接続金具

図 2.1-2 高浜 4 号炉 LV型モジュール構造図

表2.1-3 高浜4号炉 LV型モジュール主要部位の使用材料

部位	材料
銅棒	銅
外部リード	銅、絶縁物（架橋ポリエチレン）
ポッティング材	エポキシ樹脂
Oリング	EPゴム
本体	炭素鋼
端板	ステンレス鋼
ヘッダー	ステンレス鋼
接続金具	銅

表2.1-4 高浜4号炉LV型モジュールの使用条件

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時
圧力	約0.0098MPa [gage]以下	約0.25MPa [gage] (最高圧力)	約0.35MPa [gage] (最高圧力)
温度	約36°C*1	約125°C (最高温度)	約138°C (最高温度)
放射線	0.7mGy/h*2	675kGy (最大集積線量)	500kGy (最大集積線量)

*1:通常運転時のLV型モジュール周囲の平均温度の最大実測値。

*2:通常運転時のLV型モジュール周囲の平均線量率の最大実測値。

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

電気ペネトレーションとしての機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 電力・制御・計装信号送受
- ② 電気絶縁性維持
- ③ バウンダリの維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

電気ペネトレーションについて機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1のとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては、以下の事象がある。

(1) ポットイング材および外部リードの絶縁低下 [ピッグテイル型電気ペネトレーション]

ポットイング材として使用しているシリコン樹脂等は有機物であり、熱および放射線により経年劣化が進行し、接着力が低下する可能性がある。接着力が低下した場合、湿気が電気ペネトレーション内部に浸入し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

また、外部リードの絶縁体は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

(2) ポットイング材、Oリングおよび外部リードの絶縁低下 [LV型モジュール]

ポットイング材として使用しているエポキシ樹脂は有機物であり、熱および放射線により経年劣化が進行し、接着力が低下する可能性がある。接着力が低下した場合、湿気が電気ペネトレーション内部に浸入し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

また、Oリングとして使用しているEPゴムは有機物であり、熱および放射線により経年劣化が進行し、気密性が低下した場合、湿気が電気ペネトレーション内部に浸入し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

さらに、外部リードの絶縁体は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

(3) ポットイング材およびOリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下 [LV型モジュール]

LV型モジュールのポットイング材として使用しているエポキシ樹脂は有機物であり、熱および放射線により経年劣化が進行し、接着力の低下により気密性が低下した場合、リークパスが原子炉格納容器内より電気ペネトレーション内部を通り、原子炉格納容器外側まで至ることによって、原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

また、Oリングとして使用しているEPゴムは有機物であり、熱および放射線により経年劣化が進行し、気密性が低下した場合、リークパスが原子炉格納容器内より原子炉格納容器外側まで至ることによって、原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 銅棒およびスプライスの疲労割れ [ピッグテイル型電気ペネトレーション]

銅棒およびスプライスは、通電電流がON-OFFすることにより熱伸縮を繰り返すため、疲労割れが想定される。

しかしながら、銅棒およびスプライスは周囲を拘束した構造ではないため、疲労割れに至る可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、系統機器の動作確認等により、機器の健全性を確認している。

(2) 外部リードの導通不良 [共通]

外部リードは、大きな荷重が作用すると断線するため、導通不良が想定される。

しかしながら、断線に至るような荷重は作用しない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、系統機器の動作確認等により、機器の健全性を確認している。

- (3) アルミナ磁器の絶縁低下 [ピッグテイル型電気ペネトレーション]
アルミナ磁器は無機物の磁器であり、経年劣化の可能性はない。
なお、長期の使用においては表面の汚損による絶縁低下が想定される。
しかしながら、アルミナ磁器は密閉された本体内に設置され、塵埃の付着により表面が汚損する可能性はないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
なお、系統機器の動作確認等により、機器の健全性を確認している。
- (4) 本体、シュラウド、封着金具 [ピッグテイル型電気ペネトレーション]、端板 [共通] およびヘッダー [LV型モジュール] の応力腐食割れ
本体、シュラウド、端板およびヘッダーはステンレス鋼、封着金具はニッケル合金であり、応力腐食割れが想定される。
しかしながら、端板および封着金具は大気と接触しない構造であり、また、本体、シュラウドおよびヘッダーは水環境になく、かつ温度も低いことから応力腐食割れが発生する可能性は小さい。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
なお、原子炉格納容器漏えい率試験および電気ペネトレーションに封入しているN₂ガスの圧力確認により、機器の健全性を確認している。
- (5) 溶接リング [ピッグテイル型電気ペネトレーション] および本体 [LV型モジュール] の腐食 (全面腐食)
溶接リングおよびLV型モジュールの本体は炭素鋼であり、腐食が想定される。
しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。
また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

表2.2-1 (1/2) 高浜4号炉 ピッグテイル型電気ペネトレーションに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
電力・制御・計装信号送受	銅棒		銅			△						
	外部リード		銅、絶縁物					○	△			
	スプライス		銅			△						
電気絶縁性維持	ポッティング材		シリコン樹脂、エポキシ樹脂					○				
	アルミナ磁器		アルミナ					△				
バウンダリの維持	本体		ステンレス鋼				△					
	端板		ステンレス鋼				△					
	シュラウド		ステンレス鋼				△					
	封着金具		ニッケル合金				△					
	溶接リング		炭素鋼		△							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1 (2/2) 高浜4号炉 LV型モジュールに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
電力・制御 ・計装信号 送受	銅棒		銅									*1：気密性の低下
	外部リード		銅、絶縁物					○	△			
	接続金具		銅									
電気絶縁性 維持および バウンダリ の維持	ポッティング材		エポキシ樹脂					○			○*1	
	Oリング		EPゴム					○			○*1	
バウンダリ の維持	本体		炭素鋼		△							
	端板		ステンレス鋼				△					
	ヘッダー		ステンレス鋼				△					

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 ポッティング材および外部リードの絶縁低下 [ピッグテイル型電気ペネトレーション]

a. 事象の説明

ポッティング材として使用しているシリコン樹脂等は有機物であり、熱および放射線により経年劣化が進行し、シュラウド、銅棒等との接着力が低下し、図2.3-1に示すように湿気が電気ペネトレーション内部に浸入する可能性がある。湿気が浸入した場合、銅棒間あるいは銅棒とシュラウド間の絶縁性能が低下する可能性がある。

また、外部リードの絶縁体は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

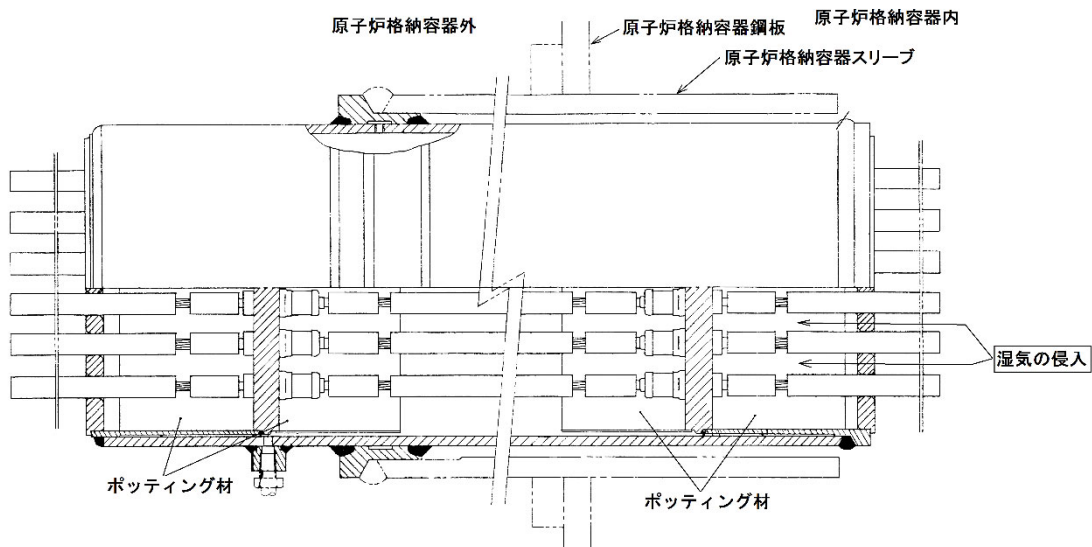


図2.3-1 高浜4号炉 ピッグテイル型電気ペネトレーションのポッティング材使用箇所

b. 技術評価

① 健全性評価

高浜4号炉の環境条件が著しく悪化する環境において電気絶縁性維持の機能要求があるピッグテイル型電気ペネトレーションは、実機と同等の電気ペネトレーション本体の試験と外部リードの試験の組み合わせで評価を行う。

ピッグテイル型電気ペネトレーション本体については、IEEE Std. 323-1983「IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations」に準拠して、実機同等品の供試体により長期健全性試験を実施した。

また、外部リードについては、原子力安全基盤機構により原子力プラントでの使用条件に即したケーブルの経年劣化評価手法が検討され、その結果が「原子力発電所のケーブル経年劣化評価ガイド（JNES-RE-2013-2049）」（以下「ACAガイド」という。）に取りまとめられている。このため、環境条件が著しく悪化する環境において電気絶縁性維持の機能要求があるピッグテイル型電気ペネトレーションの外部リード（シリコンゴムおよびEPゴム）については、実機同等品によるACAガイドに準じた長期健全性について評価した。

ピッグテイル型電気ペネトレーション本体の実機同等品による長期健全性試験について、図2.3-2に長期健全性試験の手順を、表2.3-1に試験条件を示す。ピッグテイル型電気ペネトレーション本体について、これらの条件は高浜4号炉の60年間の運転および設計基準事故、または60年間の運転および重大事故等時を想定した熱および放射線による劣化条件を包絡している。

表2.3-2に長期健全性試験での耐電圧試験の結果を示す。結果は判定基準を満足している。

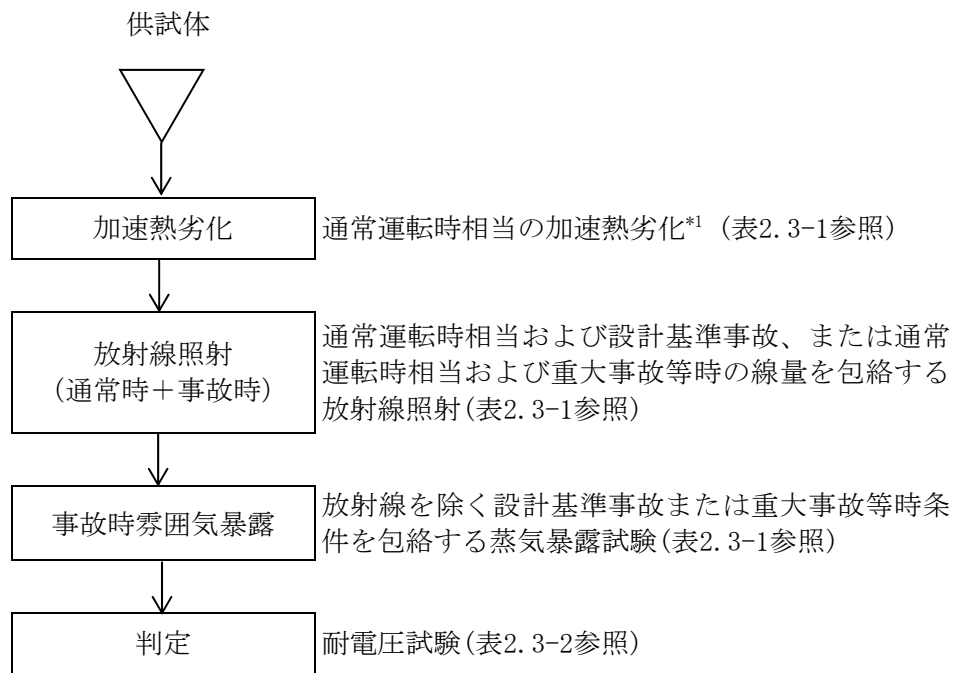


図2.3-2 ピッグテイル型電気ペネトレーション 長期健全性試験の手順

*1：プラントの起動停止を模擬した熱サイクル試験を含む。

表2.3-1 ピッグテイル型電気ペネトレーション 長期健全性試験の条件

	試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件、 設計基準事故時または重大事故等時の環境条件
加速 熱劣化	熱劣化： 140℃－724日間*1 熱サイクル： 95℃－47.5日間	50℃*2－60年
放射線 照射	1,500kGy (10kGy/h以下)	通常運転時相当：9.52kGy*3 設計基準事故時線量：675kGy 重大事故等時線量：500kGy
事故時 雰囲気 暴露	最高温度：190℃ 最高圧力：0.41MPa[gage] 試験時間：15日間	設計基準事故時：約125℃（最高温度） ：約0.25MPa[gage]（最高圧力） 重大事故等時：約138℃（最高温度） ：約0.35MPa[gage]（最高圧力）

*1：熱サイクル試験による劣化（95℃－47.5日間）に、使用条件50℃－60年に相当する熱劣化となるよう、通常の熱劣化（140℃－724日間）を加えた。

*2：環境条件が著しく悪化する環境において電気絶縁性維持の機能要求があるピッグテイル型電気ペネトレーションの周囲温度（約35～41℃）に通電による温度上昇と若干の余裕を加えた温度を包絡する温度。

*3：環境条件が著しく悪化する環境において電気絶縁性維持の機能要求があるピッグテイル型電気ペネトレーション近傍で最も放射線レベルが高い区域の空間線量率は約18.1mGy/hであり、この値より60年間の平常時の集積線量を評価すると、
 $18.1 \text{ [mGy/h]} \times (24 \times 365.25) \text{ [h/y]} \times 60 \text{ [y]} = 9.52 \text{ kGy}$ となる。

[出典（試験条件）：電力共同委託「電気ペネトレーションの耐環境性評価に関する研究のうちキャニスタ型の評価研究」2012年度]

表2.3-2 ピッグテイル型電気ペネトレーション 長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	課電電圧：AC600V／1分間	良

[出典（試験条件）：電力共同委託「電気ペネトレーションの耐環境性評価に関する研究のうちキャニスタ型の評価研究」2012年度]

また、外部リード（シリコーンゴム）の長期健全性試験手順については、「ケーブルの技術評価書」低圧ケーブルの絶縁物の絶縁低下 b. 技術評価 ①健全性評価を参照し、外部リード（EPゴム）については、「ケーブルの技術評価書」低圧ケーブルの絶縁物の絶縁低下 b. 技術評価 ①健全性評価に準じた長期健全性試験手順にて評価を実施した。

外部リード（シリコーンゴム）の長期健全性試験条件ならびに長期健全性試験結果を表2.3-3～5に示す。これらの条件は高浜4号炉の60年間の運転および設計基準事故時、または60年間の運転および重大事故等時を想定した熱および放射線による劣化条件を包絡している。

表2.3-3 外部リード（シリコーンゴム）の長期健全性試験条件

		試験条件*1
通常運転時相当	温度	175℃－109日
設計基準事故時相当 重大事故等時相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy*2 (10kGy/h以下)
	温度	最高温度：190℃
	圧力	最高圧力：0.41MPa [gage]

*1：47℃の布設環境で21.3年間使用したケーブルを供試体とし、追加で劣化させた条件を示す。

*2：60年間の平常時の集積線量は9.52kGy*3であり、設計基準事故時線量（675kGy）または重大事故等時線量（500kGy）を加えた線量を包絡する。

*3：表2.3-1の*3による。

表2.3-4 外部リード（シリコーンゴム）の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験*1	課電電圧：1,500V/1分間	良

*1：耐電圧試験は、日本産業規格「ゴム・プラスチック絶縁電線試験方法」（JIS C 3005:2000）の試験

[出典：電力共同研究「ケーブル加速劣化試験データの整備に関する研究（ACA評価ケーブル以外）」2014年度]

表2.3-5 外部リード（シリコンゴム）の実布設環境での長期健全性評価結果

実布設環境条件*2		評価期間 [年]*1	備考
温度[°C]	放射線量率[Gy/h]		
36	0.0181	101	

*1：時間稼働率100%での評価期間。

*2：環境条件が著しく悪化する環境において電気絶縁性維持の機能要求があるピッグテイル型電気ペネトレーション近傍の平均温度および平均線量率の最大実測値。

外部リード（EPゴム）の長期健全性試験手順および判定方法を図2.3-3に、長期健全性試験条件ならびに長期健全性試験結果を表2.3-6～8に示す。これらの条件は高浜4号炉の60年間の運転および設計基準事故時、または60年間の運転および重大事故等時を想定した熱および放射線による劣化条件を包絡している。

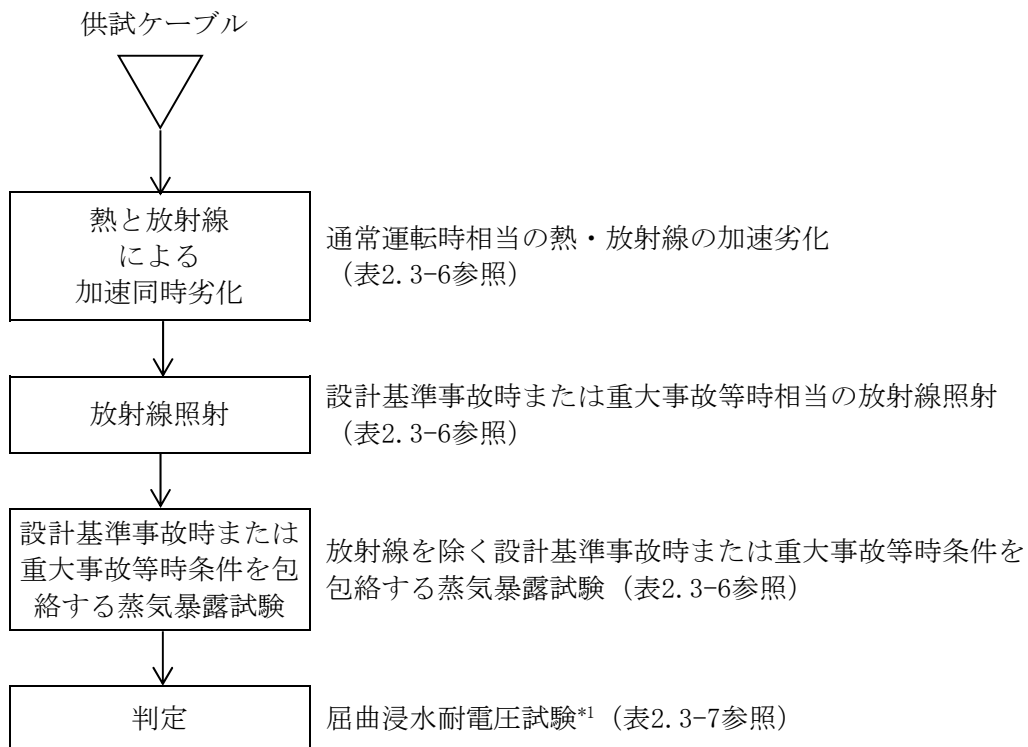


図2.3-3 外部リード（EPゴム）の試験手順

*1：屈曲浸水耐電圧試験の試験手順は以下のとおりである。

- ① 直線状に試料を伸ばした後、試料外径の約40倍のマンドレルに巻付ける。
- ② ①の両端部以外を常温の水中に浸し1時間以上放置する。
- ③ ②の状態、公称絶縁体厚さに対し交流電圧3.2kV/mmを5分間印加し、絶縁破壊を生じるか否かを調べる。

表2.3-6 外部リード（EPゴム）の長期健全性試験条件

		試験条件
通常運転時相当	温度 放射線	100℃－105.0Gy/h－206.7日
設計基準事故時相当 重大事故等時相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)
	温度	最高温度：190℃
	圧力	最高圧力：0.41MPa [gage]

表2.3-7 外部リード（EPゴム）の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
屈曲浸水 耐電圧試験	供試体外径：13.5mm マンドレル径：供試体外径の約40倍 絶縁厚さ：1.0mm 課電電圧：3.2kV/5分間	良

[出典：電力共同研究「ケーブルの加速劣化条件の妥当性評価研究（2001年度）」]

表2.3-8 実布設環境での長期健全性評価結果

実布設環境条件*2		評価期間 [年]*1	備考
温度[℃]	放射線量率[Gy/h]		
41	0.0011	132*3,4	

*1：時間稼働率100%での評価期間。

*2：環境条件が著しく悪化する環境において電気絶縁性維持の機能要求があるピッグテイル型電気ペネトレーション近傍の平均温度および平均線量率の最大実測値。

*3：電気ペネトレーションの温度上昇値を考慮して評価している。

*4：時間依存データの重ね合わせ手法により評価。

したがって、ピッグテイル型電気ペネトレーションのポッティング材および外部リードの絶縁低下については、60年間の通常運転とその後の設計基準事故、または60年間の通常運転とその後の重大事故等時においても、絶縁機能を維持できると判断する。

② 現状保全

ポットティング材および外部リードの絶縁低下に対しては、定期的に系統機器の動作確認またはケーブルおよび機器を含めた絶縁抵抗測定を実施し、有意な絶縁低下のないことを確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、ポットティング材および外部リードの絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

また、ポットティング材および外部リードの絶縁低下は、系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

ポットティング材および外部リードの絶縁低下については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

2.3.2 ポッティング材、Oリングおよび外部リードの絶縁低下 [LV型モジュール]

a. 事象の説明

ポッティング材として使用しているエポキシ樹脂は有機物であり、熱および放射線により経年劣化が進行し、接着力が低下した場合、図2.3-4に示すように湿気が電気ペネトレーション内部に浸入する可能性がある。

湿気が浸入した場合、銅棒間あるいは銅棒とヘッダー間の絶縁性能が低下する可能性がある。

また、Oリングとして使用しているEPゴムは有機物であり、熱および放射線により経年劣化が進行し、気密性が低下した場合、図2.3-4に示すように湿気が電気ペネトレーション内部に浸入する可能性がある。

湿気が浸入した場合、銅棒間または銅棒とヘッダー間の絶縁性能が低下する可能性がある。

さらに、外部リードの絶縁体は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

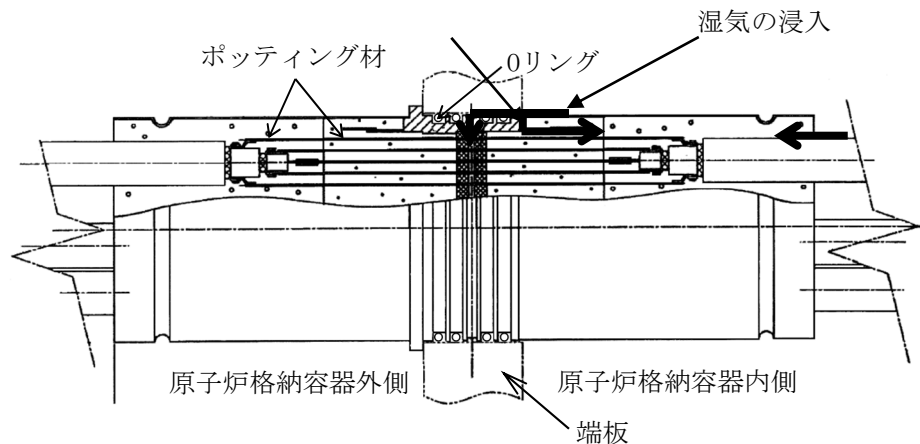


図2.3-4 高浜4号炉 LV型モジュールの絶縁低下に係る湿気の浸入経路

b. 技術評価

① 健全性評価

ポッティング材、Oリングおよび外部リードの絶縁低下については、LV型モジュールと同等のモジュラー型電気ペネトレーションにより、IEEE Std.317-2013「IEEE Standard for Electric Penetration Assemblies in Containment Structures for Nuclear Power Generating Stations」（以下「IEEE Std. 317-2013」という。）に準拠した長期健全性試験を実施しており、この結果に基づき健全性評価を行う。

図2.3-5にモジュラー型電気ペネトレーションの長期健全性試験の手順を、表2.3-9に試験条件を示す。ポッティング材、Oリングおよび外部リードについて、これらの条件は高浜4号炉の60年間の運転および設計基準事故、または60年間の運転および重大事故等時を想定した熱および放射線による劣化条件を包絡している。

表2.3-10に長期健全性試験での耐電圧試験の結果を示す。結果は判定基準を満足している。

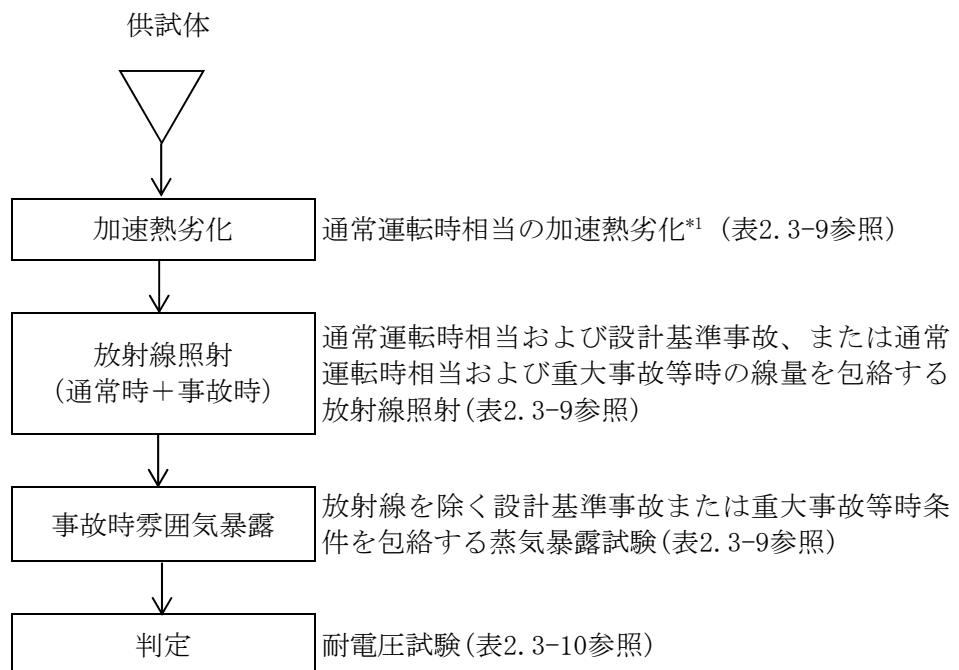


図2.3-5 モジュラー型電気ペネトレーション 長期健全性試験の手順

*1：プラントの起動停止を模擬した熱サイクル試験を含む。

表2.3-9 モジュール型電気ペネトレーション 長期健全性試験の条件

	試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件、設計基準事故時または重大事故等時の環境条件
加速 熱劣化	熱劣化： 110℃-218日間*1 熱サイクル： 71~107℃-20日間	40℃*2-60年
放射線 照射	1,500kGy (10kGy/h以下)	通常運転相当：0.368kGy*3 設計基準事故時線量：675kGy 重大事故等時線量：500kGy
事故時 雰囲気 暴露	最高温度：190℃ 最高圧力：0.45MPa[gage] 試験時間：7日間	設計基準事故時：約125℃（最高温度） ：約0.25MPa[gage]（最高圧力） 重大事故等時：約138℃（最高温度） ：約0.35MPa[gage]（最高圧力）

- *1：熱サイクル試験による劣化（71~107℃-20日間）に、使用条件40℃-60年に相当する熱劣化となるよう、通常の熱劣化（110℃-218日間）を加えた。
- *2：電気ペネトレーションの周囲温度（約36℃）に若干の余裕を加えた温度。
- *3：原子炉格納容器内電気ペネトレーション近傍で最も放射線レベルが高い区域の空間線量率は0.7mGy/hであり、この値より60年間の平常時の集積線量を評価すると、
 $0.7 \text{ [mGy/h]} \times (24 \times 365.25) \text{ [h/y]} \times 60 \text{ [y]} = 0.368 \text{ kGy}$ となる。

表2.3-10 モジュール型電気ペネトレーション 長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	課電電圧： C-1S間 1,500V/1分間 1S-2S間 500V/1分間	良

[出典：電力共同委託「過酷事故環境条件を考慮した電気ペネトレーションの長期健全性評価」2019年度]

したがって、ポッティング材、Oリングおよび外部リードの絶縁低下については、60年間の通常運転とその後の設計基準事故、または60年間の通常運転とその後の重大事故等時においても、絶縁機能を維持できると判断する。

② 現状保全

ポッティング材、Oリングおよび外部リードの絶縁低下に対しては、定期的に系統機器の動作確認またはケーブルおよび機器を含めた絶縁抵抗測定を実施し、有意な絶縁低下のないことを確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、ポッティング材、Oリングおよび外部リードの絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

また、ポッティング材、Oリングおよび外部リードの絶縁低下は、系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

ポッティング材、Oリングおよび外部リードの絶縁低下については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

2.3.3 ポッティング材およびOリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下

a. 事象の説明

L V型モジュールのポッティング材として使用しているエポキシ樹脂は有機物であり、熱および放射線により経年劣化が進行し、接着力の低下により気密性が低下した場合、図2.3-6に示すようにリークパスが原子炉格納容器内より電気ペネトレーション内部を通り、原子炉格納容器外側まで至ることによって、原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下を起こす可能性がある。

また、Oリングとして使用しているEPゴムは有機物であり、熱および放射線により経年劣化が進行し、気密性が低下した場合、図2.3-6に示すようにリークパスが原子炉格納容器内より原子炉格納容器外側まで至ることによって、原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下を起こす可能性がある。

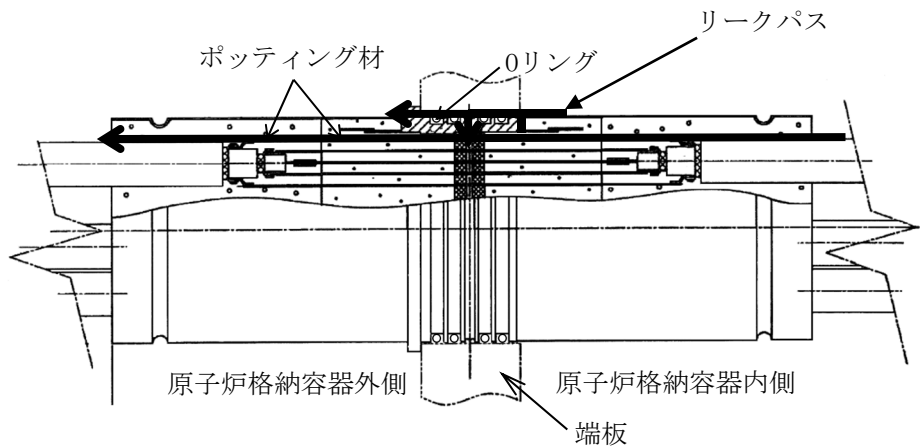


図2.3-6 高浜4号炉 LV型モジュールのバウンダリ機能に係るリークパス

b. 技術評価

① 健全性評価

ポッティング材およびOリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下については、LV型モジュールと同等のモジュラー型電気ペネトレーションにより、IEEE Std. 317-2013に準拠した長期健全性試験を実施しており、この結果に基づき健全性評価を行う。

図2.3-7にモジュラー型電気ペネトレーションの長期健全性試験の手順を、表2.3-11に試験条件を示す。ポッティング材およびOリングについて、これらの条件は高浜4号炉の60年間の運転および設計基準事故、または60年間の運転および重大事故等時を想定した熱および放射線による劣化条件を包絡している。

表2.3-12に長期健全性試験での漏えい量確認試験の結果を示す。結果は判定基準を満足している。

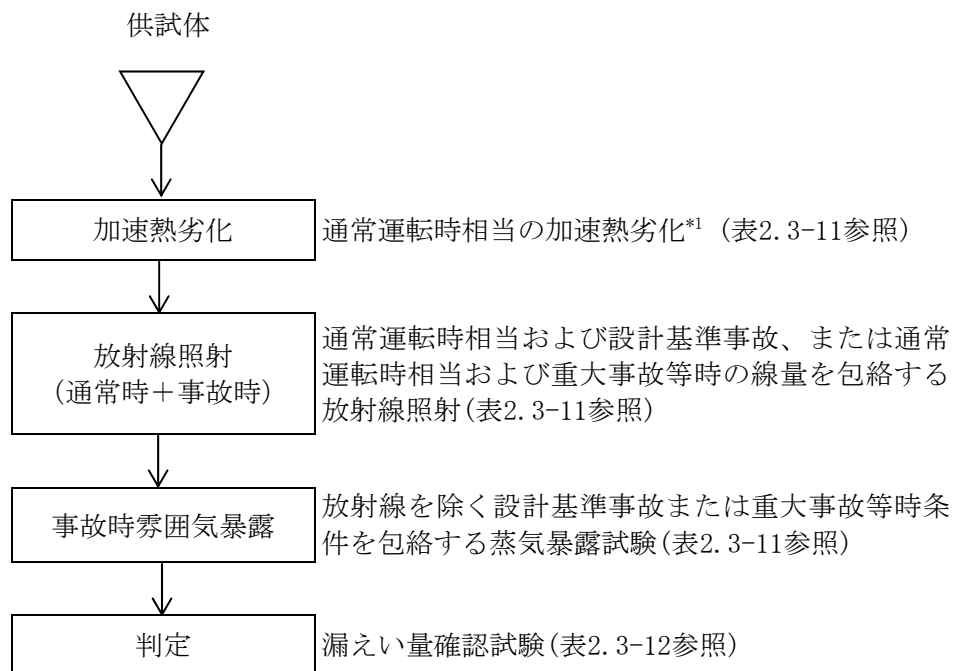


図2.3-7 モジュラー型電気ペネトレーション 長期健全性試験の手順

*1：プラントの起動停止を模擬した熱サイクル試験を含む。

表2.3-11 モジュール型電気ペネトレーション 長期健全性試験の条件

	試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件、 設計基準事故時または重大事故等時の環境条件
加速 熱劣化	熱劣化： 110℃－218日間*1 熱サイクル： 71～107℃－20日間	40℃*2－60年
放射線 照射	1,500kGy (10kGy/h以下)	通常運転相当：0.368kGy*3 設計基準事故時線量：675kGy 重大事故等時線量：500kGy
事故時 雰囲気 暴露	最高温度：190℃ 最高圧力：0.45MPa[gage] 試験時間：7日間	設計基準事故時：約125℃（最高温度） ：約0.25MPa[gage]（最高圧力） 重大事故等時：約138℃（最高温度） ：約0.35MPa[gage]（最高圧力）

*1：熱サイクル試験による劣化（71～107℃－20日間）に、使用条件40℃－60年に相当する熱劣化となるよう、通常の熱劣化（110℃－218日間）を加えた。

*2：電気ペネトレーションの周囲温度（約36℃）に若干の余裕を加えた温度。

*3：原子炉格納容器内電気ペネトレーション近傍で最も放射線レベルが高い区域の空間線量率は0.7mGy/hであり、この値より60年間の平常時の集積線量を評価すると、
 $0.7 \text{ [mGy/h]} \times (24 \times 365.25) \text{ [h/y]} \times 60 \text{ [y]} = 0.368 \text{ kGy}$ となる。

表2.3-12 モジュール型電気ペネトレーション 長期健全性試験結果

項目	判定基準	測定値	判定
漏えい量 確認試験	$1 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{sec}$ 以下	$0.67 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{sec}$	良

[出典：電力共同委託「過酷事故環境条件を考慮した電気ペネトレーションの長期健全性評価」2019年度]

② 現状保全

ポッティング材およびOリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下に対しては、定期的に原子炉格納容器漏えい率試験および電気ペネトレーションに封入しているN₂ガスの圧力確認を実施し、機器の健全性を確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、ポッティング材およびOリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下の可能性はないと考える。

ポッティング材およびOリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下は原子炉格納容器漏えい率試験および電気ペネトレーションに封入しているN₂ガスの圧力確認で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

ポッティング材およびOリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① ブッシング型電気ペネトレーション
- ② 三重同軸型電気ペネトレーション
- ③ ピッグテイル型電気ペネトレーションー1（代表機器と製造メーカーが異なるピッグテイル型電気ペネトレーション）

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 ポットイング材および外部リードの絶縁低下 [三重同軸型電気ペネトレーション、ピッグテイル型電気ペネトレーションー1]

三重同軸型電気ペネトレーションおよびピッグテイル型電気ペネトレーションー1のポットイング材および外部リードは、電気絶縁性維持の機能について、事故時雰囲気内で機能要求がないが、経年劣化の進行による絶縁低下の可能性は否定できない。

しかしながら、ポットイング材および外部リードの絶縁低下は、系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、ポットイング材および外部リードの絶縁低下については、定期的に系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定を実施していく。

なお、ブッシング型電気ペネトレーションは、ポットイング材および外部リードがないため、高経年化対策上ポットイング材および外部リードの絶縁低下を考慮する必要はない。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.2.1 銅棒およびスプライスの疲労割れ [ブッシング型電気ペネトレーション、ピッグテイル型電気ペネトレーション-1]

銅棒およびスプライスは、通電電流がON-OFFすることにより熱伸縮を繰り返すため、疲労割れが想定される。

しかしながら、銅棒およびスプライスは周囲を拘束した構造ではないため、疲労割れに至る可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、系統機器の動作確認等により、機器の健全性を確認している。

3.2.2 外部リードの導通不良 [三重同軸型電気ペネトレーション、ピッグテイル型電気ペネトレーション-1]

外部リードは、大きな荷重が作用すると断線するため、導通不良が想定される。

しかしながら、断線に至るような荷重は作用しない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、系統機器の動作確認等により、機器の健全性を確認している。

3.2.3 アルミナ磁器の絶縁低下 [共通]

アルミナ磁器は無機物の磁器であり、経年劣化の可能性はない。

なお、長期の使用においては表面の汚損による絶縁低下が想定される。

しかしながら、アルミナ磁器は密閉された本体内部または補強カバー内に設置され、塵埃の付着により表面が汚損する可能性はないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、系統機器の動作確認等により、機器の健全性を確認している。

3.2.4 本体、端板、封着金具〔共通〕、保護筒〔三重同軸型電気ペネトレーション〕およびシュラウド〔ピッグテイル型電気ペネトレーション-1〕の応力腐食割れ
本体、端板、保護筒およびシュラウドはステンレス鋼、封着金具はニッケル合金であり、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、封着金具は大気と接触しない構造であり、また、本体、端板、保護筒およびシュラウドは水環境になく、かつ温度も低いことから応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、原子炉格納容器漏えい率試験および電気ペネトレーションに封入しているN₂ガスの圧力確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.5 溶接リングの腐食（全面腐食）〔共通〕

溶接リングは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

4 補機タンク

[対象機器]

- ① 蓄圧タンク
- ② ほう酸注入タンク
- ③ 体積制御タンク
- ④ ほう酸タンク
- ⑤ 燃料取替用水タンク
- ⑥ ガス減衰タンク
- ⑦ 水素再結合ガス減衰タンク
- ⑧ よう素除去薬品タンク
- ⑨ 原子炉補機冷却水サージタンク
- ⑩ 補助蒸気ドレンタンク
- ⑪ スチームコンバータ給水タンク
- ⑫ 第1段湿分分離加熱器ドレンタンク
- ⑬ 第2段湿分分離加熱器ドレンタンク
- ⑭ 湿分分離器ドレンタンク
- ⑮ スチームコンバータドレンタンク
- ⑯ 復水タンク

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	4
2.1 構造、材料および使用条件	4
2.2 経年劣化事象の抽出	25
3. 代表機器以外への展開	39
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	39

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されている補機タンクの主な仕様を表1-1に示す。

これらの補機タンクを設置場所・型式、内部流体および材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す補機タンクについて、設置場所・型式、内部流体および材料を分離基準として考えると、合計7つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

- (1) 設置場所・型式：屋内・たて置円筒形、内部流体：1次冷却材、材料：炭素鋼
(内面ステンレス鋼内張り)

このグループには蓄圧タンクおよびほう酸注入タンクが属するが、最高使用圧力が高いほう酸注入タンクを代表機器とする。

- (2) 設置場所・型式：屋内・たて置円筒形、内部流体：1次冷却材、材料：ステンレス鋼

このグループには体積制御タンク、ほう酸タンクおよび燃料取替用水タンクが属するが、最高使用圧力が高い体積制御タンクを代表機器とする。

- (3) 設置場所・型式：屋内・たて置円筒形、内部流体：希ガス、材料：炭素鋼

このグループにはガス減衰タンクおよび水素再結合ガス減衰タンクが属するが、使用頻度が多いガス減衰タンクを代表機器とする。

- (4) 設置場所・型式：屋内・横置円筒形、内部流体：苛性ソーダ、材料：ステンレス鋼

このグループにはよう素除去薬品タンクのみが属するため、代表機器はよう素除去薬品タンクとする。

- (5) 設置場所・型式：屋内・横置円筒形、内部流体：ヒドラジン水、材料：炭素鋼

このグループには原子炉補機冷却水サージタンクのみが属するため、代表機器は原子炉補機冷却水サージタンクとする。

(6) 設置場所・型式：屋内・たて置・横置円筒形、内部流体：給水、材料：炭素鋼

このグループには補助蒸気ドレンタンク、スチームコンバータ給水タンク、第1段湿分分離加熱器ドレンタンク、第2段湿分分離加熱器ドレンタンク、湿分分離器ドレンタンクおよびスチームコンバータドレンタンクが属するが、最高使用圧力が高い第2段湿分分離加熱器ドレンタンクを代表機器とする。

(7) 設置場所・型式：屋外・たて置円筒形、内部流体：給水、材料：炭素鋼

このグループには復水タンクのみが属するため、代表機器は復水タンクとする。

表1-1 高浜4号炉 補機タンクの主な仕様

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準			代表機器の選定	
設置場所 型式	内部流体	材料		重要度*1	使用条件		代表 機器	選定理由
					最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)		
屋内・ たて置円筒形	1次冷却材	炭素鋼 〔内面ステンレス鋼 内張り〕	蓄圧タンク (3)	MS-1、重*3	約 4.9	約150	◎	最高使用圧力
			ほう酸注入タンク (1)	MS-1、重*3	約18.8	約150		
		ステンレス鋼	体積制御タンク (1)	PS-2	約 0.5	約 95	◎	最高使用圧力
			ほう酸タンク (2)	MS-1、重*3	大気圧	約 95		
	希ガス	炭素鋼	燃料取替用水タンク (1)	MS-1、重*3	大気圧	約 95	◎	使用頻度
			ガス減衰タンク (2)	PS-2	約 1.0	約 95		
屋内・ 横置円筒形	苛性ソーダ	ステンレス鋼	よう素除去薬品タンク (1)	MS-1	約 0.1	約 65	◎	
	ヒドラジン水	炭素鋼	原子炉補機冷却水サージタンク (1)	MS-1、重*3	約 0.3	約 95	◎	
屋内・ たて置・横置円筒形	給水	炭素鋼	補助蒸気ドレンタンク (2)	高*2	大気圧	約100	◎	最高使用圧力
			スチームコンバータ給水タンク (1)	高*2	大気圧	約100		
			第1段湿分分離加熱器ドレンタンク (4)	高*2	約 2.7	約235		
			第2段湿分分離加熱器ドレンタンク (4)	高*2	約 7.5	約291		
			湿分分離器ドレンタンク (2)	高*2	約 1.4	約200		
			スチームコンバータドレンタンク (1)	高*2	約 2.7	約235		
屋外・ たて置円筒形	給水	炭素鋼	復水タンク (1)	MS-1、重*3	大気圧	約 40	◎	

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の7種類の補機タンクについて技術評価を実施する。

- ① ほう酸注入タンク
- ② 体積制御タンク
- ③ ガス減衰タンク
- ④ よう素除去薬品タンク
- ⑤ 原子炉補機冷却水サージタンク
- ⑥ 第2段湿分分離加熱器ドレンタンク
- ⑦ 復水タンク

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 ほう酸注入タンク

(1) 構造

高浜4号炉のほう酸注入タンクは、屋内たて置円筒形タンクであり、1台設置されている。

高浜4号炉のほう酸注入タンクの構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉のほう酸注入タンクの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

No.	部位
①	胴板
②	鏡板
③	入口管台
④	出口管台
⑤	温度計管台
⑥	ドレン管台
⑦	マンホール
⑧	マンホール用ボルト
⑨	ヒータ
⑩	スカート
⑪	基礎ボルト
⑫	ガスケット

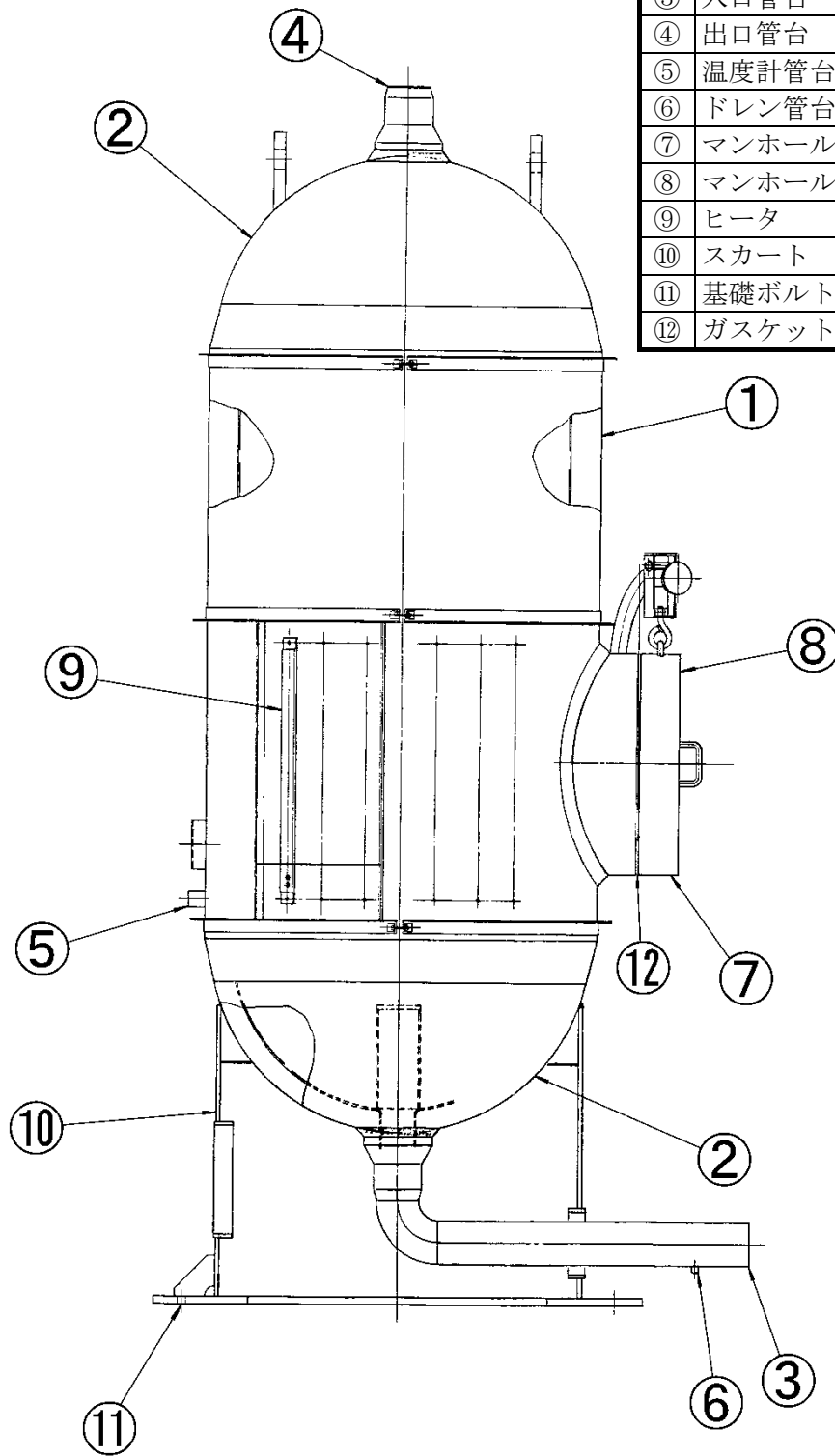


図2.1-1 高浜4号炉 ほう酸注入タンク構造図

表2.1-1 高浜4号炉 ほう酸注入タンク主要部位の使用材料

部位	材料
胴板	炭素鋼 ステンレス鋼（内張り）
鏡板	炭素鋼 ステンレス鋼（内張り）
入口管台	炭素鋼 ステンレス鋼（内張り）
出口管台	炭素鋼 ステンレス鋼（内張り）
温度計管台 ドレン管台	ステンレス鋼
マンホール	炭素鋼 ステンレス鋼（内張り）
マンホール用ボルト	低合金鋼
ヒータ	クロム鋼鋼板
スカート	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-2 高浜4号炉 ほう酸注入タンクの使用条件

最高使用圧力	約18.8MPa [gage]
最高使用温度	約150℃
内部流体	1次冷却材

2.1.2 体積制御タンク

(1) 構造

高浜4号炉の体積制御タンクは、屋内たて置円筒形タンクであり、1台設置されている。

高浜4号炉の体積制御タンクの構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の体積制御タンクの使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。

No.	部位
①	胴板
②	鏡板
③	水素窒素封入管台
④	抽出水入口管台
⑤	逃がし弁出口管台
⑥	ベント管台
⑦	ドレン管台
⑧	封水戻り管台
⑨	水位計管台
⑩	出口管台
⑪	マンホール
⑫	マンホール用ボルト
⑬	スカート
⑭	基礎ボルト
⑮	ガスケット

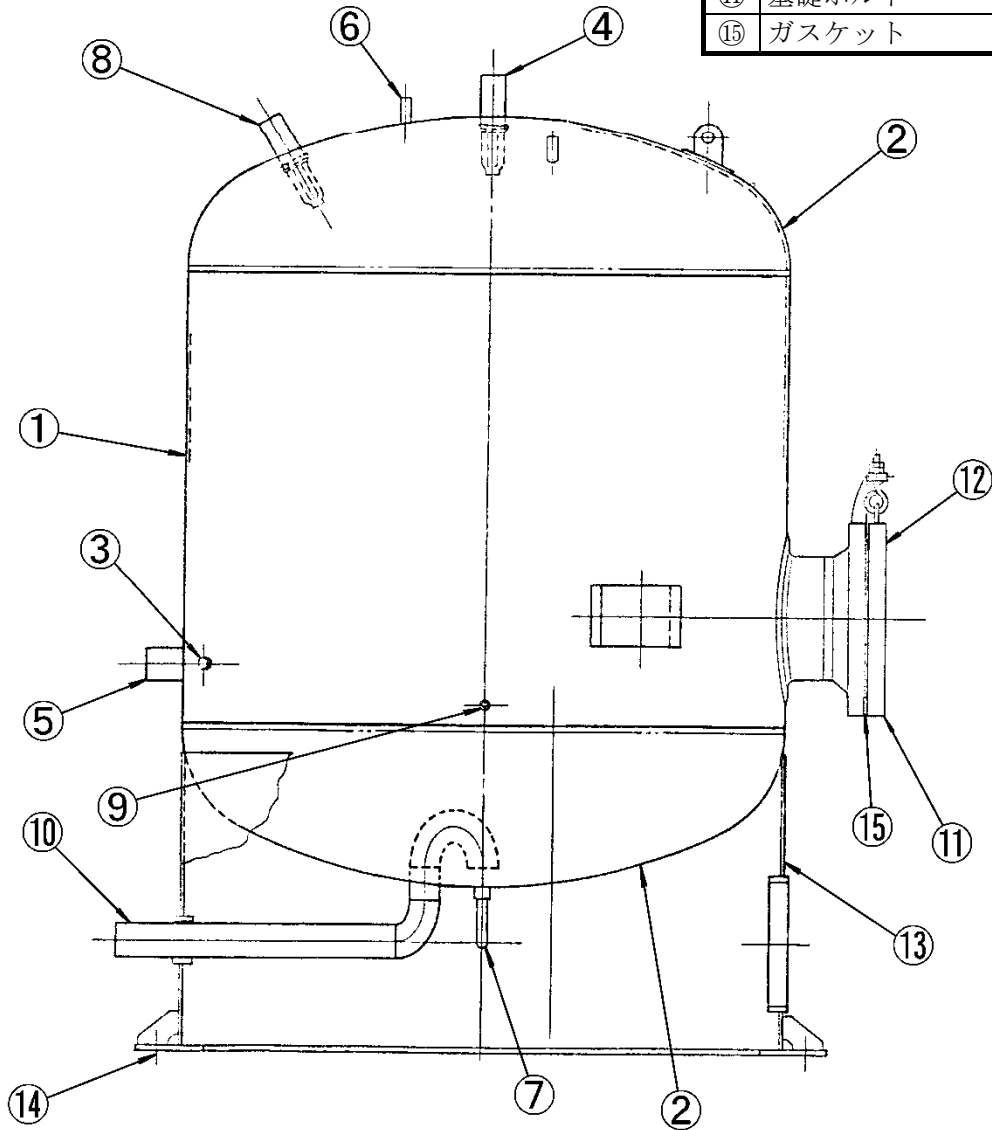


図2.1-2 高浜4号炉 体積制御タンク構造図

表2.1-3 高浜4号炉 体積制御タンク主要部位の使用材料

部位	材料
胴板	ステンレス鋼
鏡板	ステンレス鋼
水素窒素封入管台	ステンレス鋼
抽出水入口管台	ステンレス鋼
逃がし弁出口管台	ステンレス鋼
ベント管台	ステンレス鋼
ドレン管台	ステンレス鋼
封水戻り管台	ステンレス鋼
水位計管台	ステンレス鋼
出口管台	ステンレス鋼
マンホール	ステンレス鋼
マンホール用ボルト	低合金鋼
スカート	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-4 高浜4号炉 体積制御タンクの使用条件

最高使用圧力	約0.5MPa [gage]
最高使用温度	約95℃
内部流体	1次冷却材

2.1.3 ガス減衰タンク

(1) 構造

高浜4号炉のガス減衰タンクは、屋内たて置円筒形タンクであり、2台設置されている。

高浜4号炉のガス減衰タンクの構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉のガス減衰タンクの使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。

No.	部位
①	胴板
②	鏡板
③	ガス入口管台
④	試料採取管台
⑤	ガス出口管台
⑥	ドレン管台
⑦	マンホール
⑧	マンホール用ボルト
⑨	支持脚
⑩	基礎ボルト
⑪	ガスケット

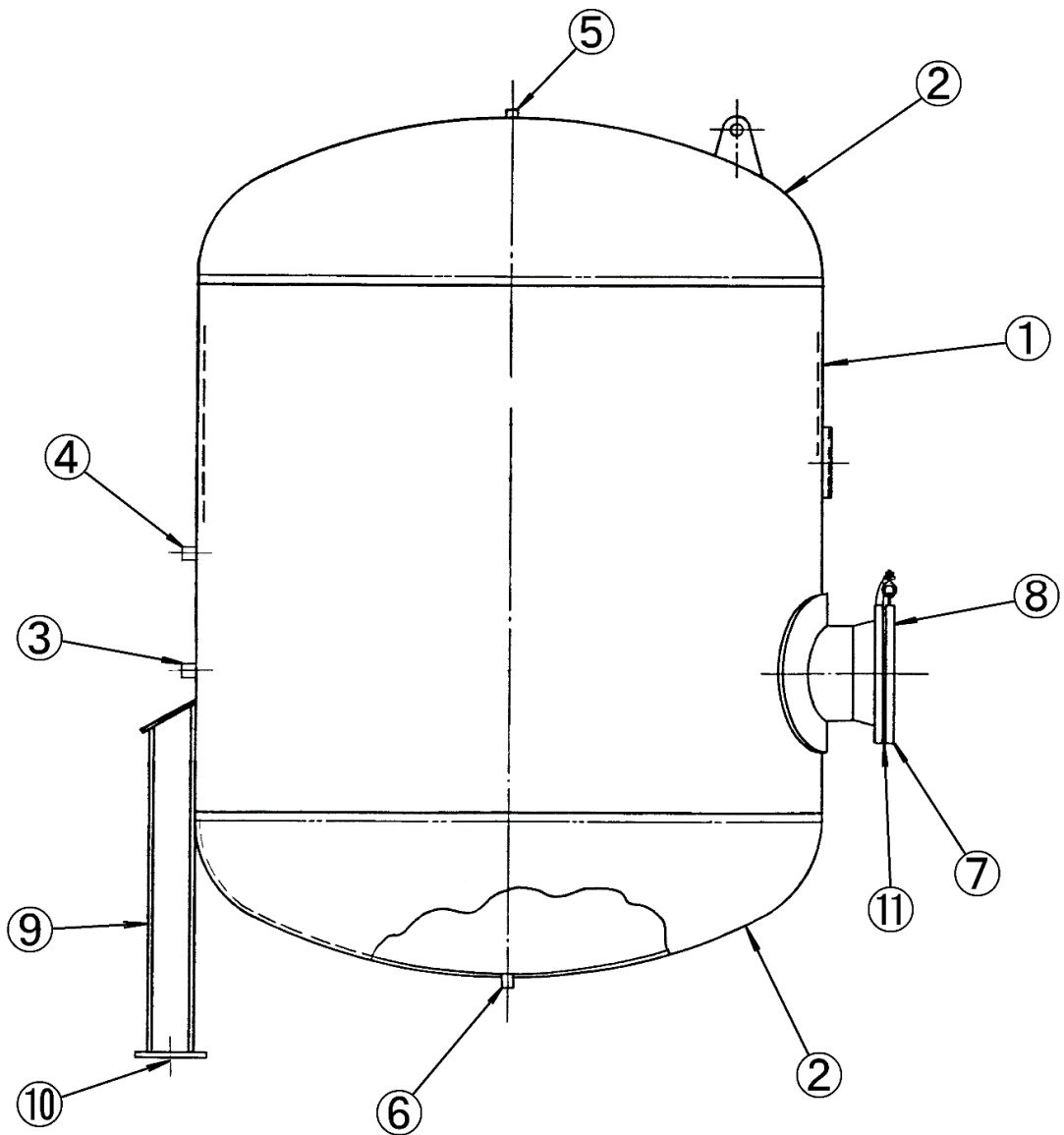


図2.1-3 高浜4号炉 ガス減衰タンク構造図

表2.1-5 高浜4号炉 ガス減衰タンク主要部位の使用材料

部位	材料
胴板	炭素鋼
鏡板	炭素鋼
ガス入口管台	炭素鋼
試料採取管台	炭素鋼
ガス出口管台	炭素鋼
ドレン管台	炭素鋼
マンホール	炭素鋼
マンホール用ボルト	低合金鋼
支持脚	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-6 高浜4号炉 ガス減衰タンクの使用条件

最高使用圧力	約1.0MPa [gage]
最高使用温度	約95℃
内部流体	希ガス

2.1.4 よう素除去薬品タンク

(1) 構造

高浜4号炉のよう素除去薬品タンクは、屋内横置円筒形タンクであり、1台設置されている。

高浜4号炉のよう素除去薬品タンクの構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉のよう素除去薬品タンクの使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。

No.	部位
①	胴板
②	鏡板
③	薬液供給管台
④	バキュームリーフ管台
⑤	窒素供給管台
⑥	水位計管台
⑦	出口管台
⑧	ドレン管台
⑨	サンプリング管台
⑩	温度計管台
⑪	逃し弁管台
⑫	マンホール
⑬	マンホール用ボルト
⑭	支持脚
⑮	基礎ボルト
⑯	ガスケット

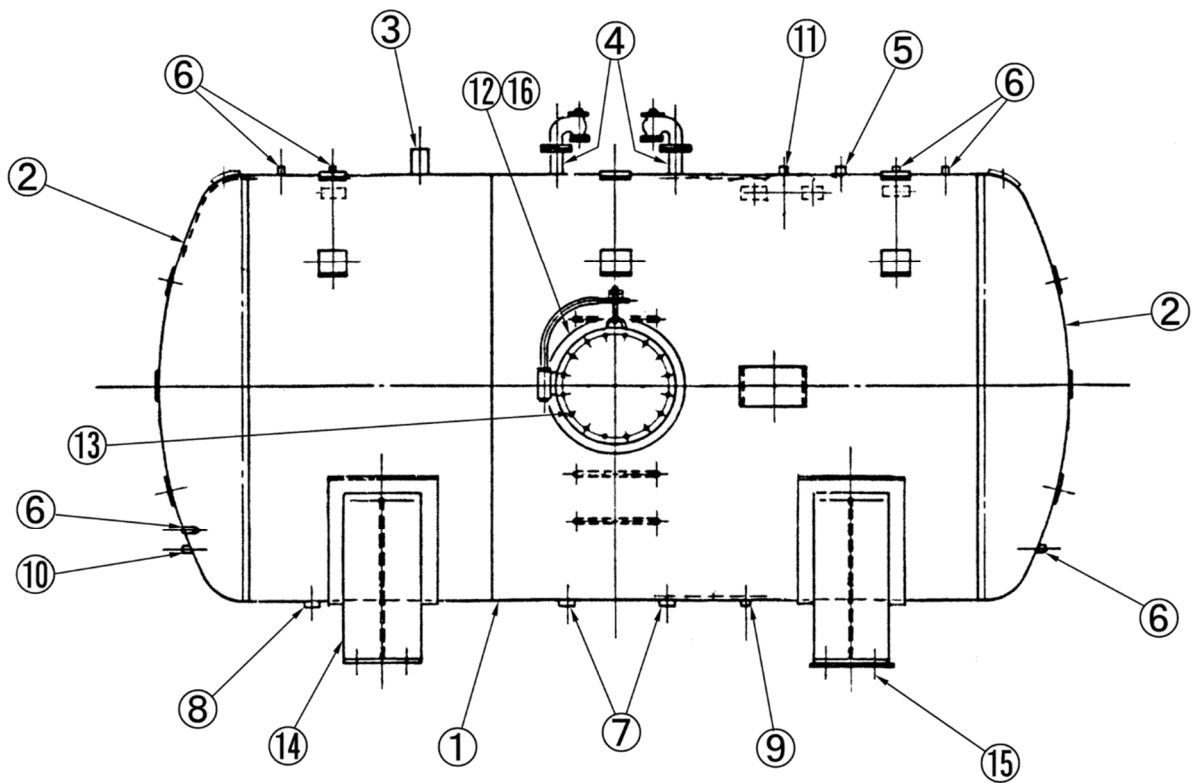


図2.1-4 高浜4号炉 よう素除去薬品タンク構造図

表2.1-7 高浜4号炉 よう素除去薬品タンク主要部位の使用材料

部位	材料
胴板	ステンレス鋼
鏡板	ステンレス鋼
薬液供給管台	ステンレス鋼
バキュームリリーフ弁管台	ステンレス鋼
窒素供給管台	ステンレス鋼
水位計管台	ステンレス鋼
出口管台	ステンレス鋼
ドレン管台	ステンレス鋼
サンプリング管台	ステンレス鋼
温度計管台	ステンレス鋼
逃し弁管台	ステンレス鋼
マンホール	ステンレス鋼
マンホール用ボルト	低合金鋼
支持脚	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-8 高浜4号炉 よう素除去薬品タンクの使用条件

最高使用圧力	約0.1MPa [gage]
最高使用温度	約65℃
内部流体	苛性ソーダ

2.1.5 原子炉補機冷却水サージタンク

(1) 構造

高浜4号炉の原子炉補機冷却水サージタンクは、屋内横置円筒形タンクであり、1台設置されている。

高浜4号炉の原子炉補機冷却水サージタンクの構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の原子炉補機冷却水サージタンクの使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。

No.	部位
①	胴板
②	鏡板
③	再循環用管台
④	逃がし弁管台
⑤	薬液入口管台
⑥	バキュームリリース弁管台
⑦	空気抜管台
⑧	水位計管台
⑨	サージ管台
⑩	ドレン管台
⑪	マンホール
⑫	マンホール用ボルト
⑬	支持脚
⑭	支持脚 (スライド脚)
⑮	取付ボルト
⑯	ガスケット

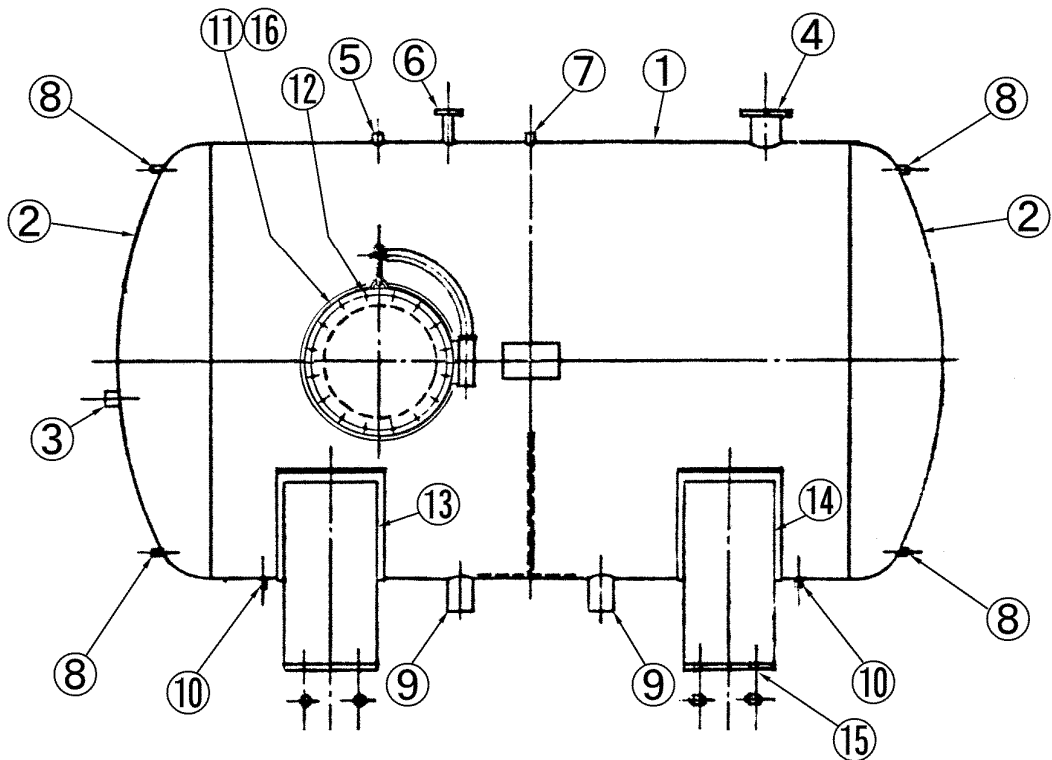


図2.1-5 高浜4号炉 原子炉補機冷却水サージタンク構造図

表2.1-9 高浜4号炉 原子炉補機冷却水サージタンク主要部位の使用材料

部位	材料
胴板	炭素鋼
鏡板	炭素鋼
再循環用管台	炭素鋼
逃がし弁管台	炭素鋼
薬液入口管台	炭素鋼
バキュームリリーフ弁管台	炭素鋼
空気抜管台	炭素鋼
水位計管台	炭素鋼
サージ管台	炭素鋼
ドレン管台	炭素鋼
マンホール	炭素鋼
マンホール用ボルト	低合金鋼
支持脚	炭素鋼
支持脚（スライド脚）	炭素鋼
取付ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-10 高浜4号炉 原子炉補機冷却水サージタンクの使用条件

最高使用圧力	約0.3MPa [gage]
最高使用温度	約95℃
内部流体	ヒドラジン水

2.1.6 第2段湿分分離加熱器ドレンタンク

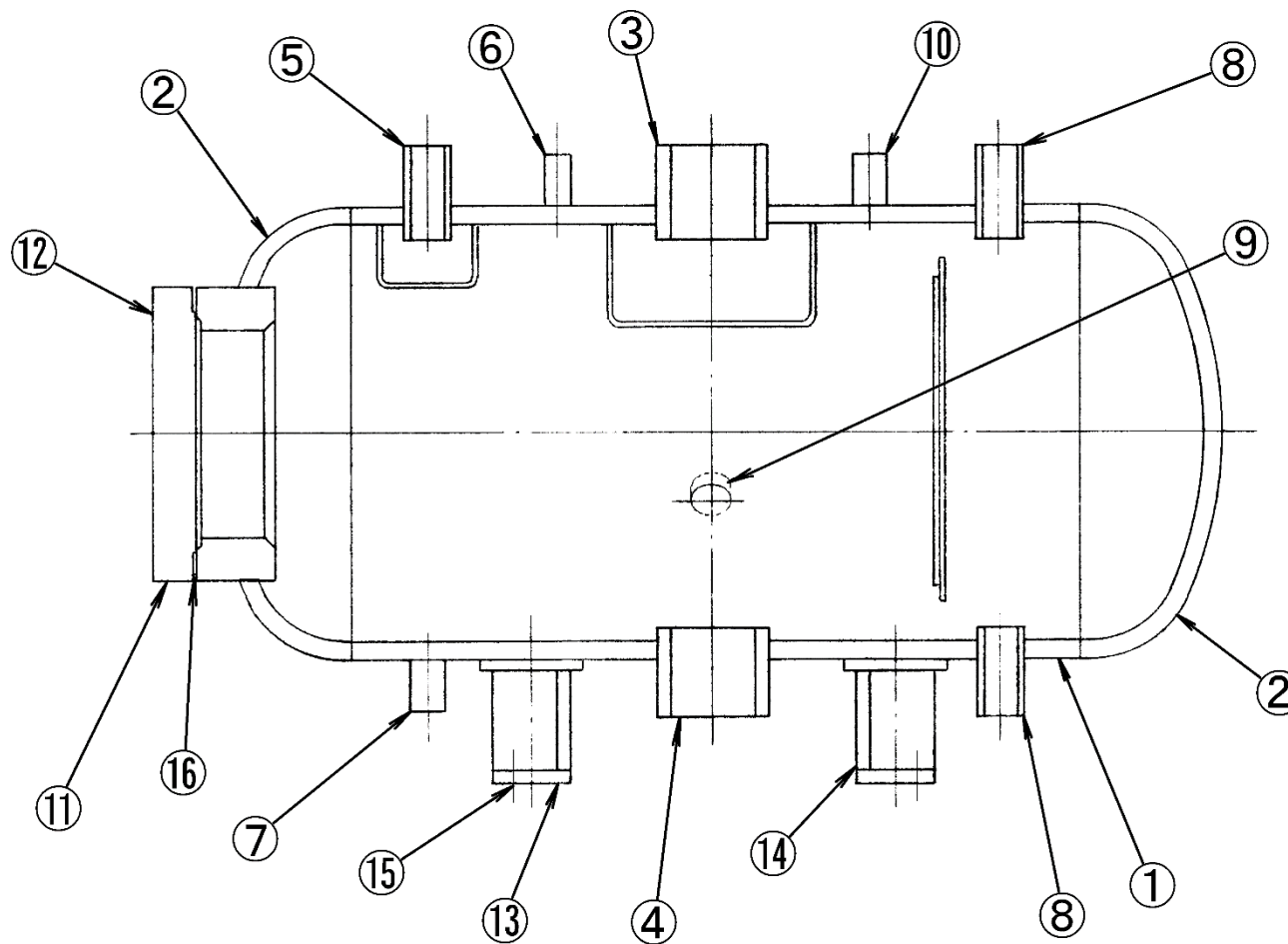
(1) 構造

高浜4号炉の第2段湿分分離加熱器ドレンタンクは、屋内横置円筒形タンクであり、4台設置されている。

高浜4号炉の第2段湿分分離加熱器ドレンタンクの構造図を図2.1-6に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の第2段湿分分離加熱器ドレンタンクの使用材料および使用条件を表2.1-11および表2.1-12に示す。



No.	部位
①	胴板
②	鏡板
③	ドレン入口管台
④	ドレン出口管台
⑤	バランス管台
⑥	空気抜管台
⑦	ドレン管台
⑧	計器用管台
⑨	温度計管台
⑩	圧力計管台
⑪	マンホール
⑫	マンホール用ボルト
⑬	支持脚
⑭	支持脚 (スライド脚)
⑮	取付ボルト
⑯	ダイヤフラム板

図2.1-6 高浜4号炉 第2段湿分分離加熱器ドレンタンク構造図

表2. 1-11 高浜4号炉 第2段湿分分離加熱器ドレンタンク主要部位の使用材料

部位	材料
胴板	炭素鋼
鏡板	炭素鋼
ドレン入口管台	炭素鋼
ドレン出口管台	炭素鋼
バランス管台	炭素鋼
空気抜管台	炭素鋼
ドレン管台	炭素鋼
計器用管台	炭素鋼
温度計管台	炭素鋼
圧力計管台	炭素鋼
マンホール	炭素鋼
マンホール用ボルト	低合金鋼
支持脚	炭素鋼
支持脚（スライド脚）	炭素鋼
取付ボルト	低合金鋼
ダイヤフラム板	消耗品・定期取替品

表2. 1-12 高浜4号炉 第2段湿分分離加熱器ドレンタンクの使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa [gage]
最高使用温度	約291℃
内部流体	給水

2.1.7 復水タンク

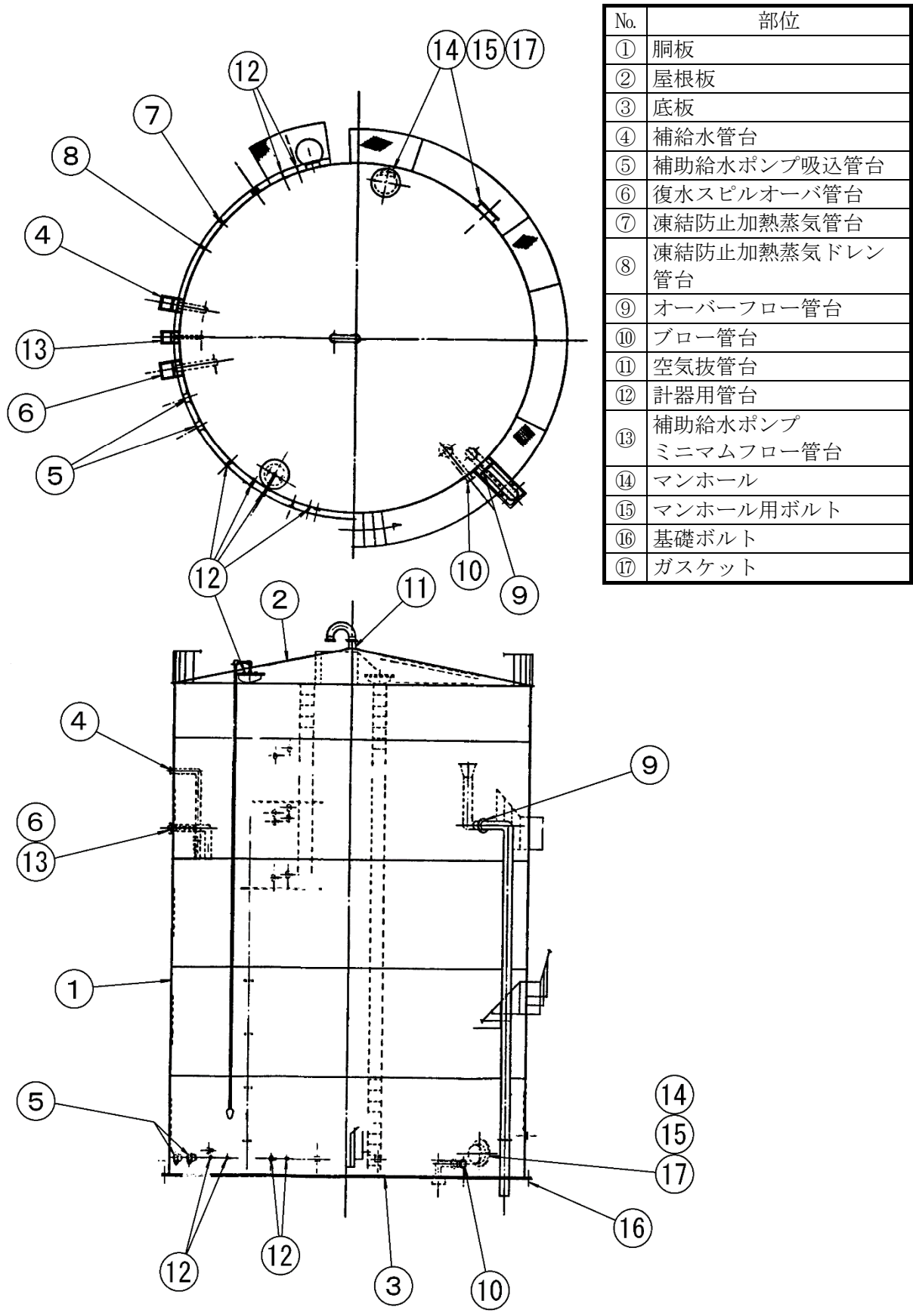
(1) 構造

高浜4号炉の復水タンクは、屋外たて置円筒形タンクであり、1台設置されている。

高浜4号炉の復水タンク構造図を図2.1-7に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の復水タンクの使用材料および使用条件を表2.1-13および表2.1-14に示す。



No.	部位
①	胴板
②	屋根板
③	底板
④	補給水管台
⑤	補助給水ポンプ吸込管台
⑥	復水スピルオーバ管台
⑦	凍結防止加熱蒸気管台
⑧	凍結防止加熱蒸気ドレン管台
⑨	オーバーフロー管台
⑩	ブロー管台
⑪	空気抜管台
⑫	計器用管台
⑬	補助給水ポンプ ミニマムフロー管台
⑭	マンホール
⑮	マンホール用ボルト
⑯	基礎ボルト
⑰	ガスケット

図2.1-7 高浜4号炉 復水タンク構造図

表2.1-13 高浜4号炉 復水タンク主要部位の使用材料

部位	材料
胴板	炭素鋼
屋根板	炭素鋼
底板	炭素鋼
補給水管台	ステンレス鋼
補助給水ポンプ吸込管台	ステンレス鋼
復水スピルオーバ管台	ステンレス鋼
凍結防止加熱蒸気管台	ステンレス鋼
凍結防止加熱蒸気ドレン管台	ステンレス鋼
オーバーフロー管台	ステンレス鋼 炭素鋼
ブロー管台	ステンレス鋼
空気抜管台	炭素鋼
計器用管台	ステンレス鋼 炭素鋼
補助給水ポンプ ミニマムフロー管台	ステンレス鋼
マンホール	炭素鋼
マンホール用ボルト	ステンレス鋼
基礎ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-14 高浜4号炉 復水タンクの使用条件

最高使用圧力	大気圧
最高使用温度	約40℃
内部流体	給水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

補機タンクの機能である貯蔵機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 機器の支持
- ③ 温度制御

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

補機タンク個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

- (1) 胴板等耐圧構成品の外面からの腐食（全面腐食）〔ほう酸注入タンク、ガス減衰タンク、原子炉補機冷却水サージタンク、第2段湿分分離加熱器ドレンタンク、復水タンク〕

胴板等耐圧構成品は炭素鋼であり、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (2) スカートおよび支持脚の腐食（全面腐食）〔ほう酸注入タンク、体積制御タンク、ガス減衰タンク、よう素除去薬品タンク、原子炉補機冷却水サージタンク、第2段湿分分離加熱器ドレンタンク〕

スカートおよび支持脚は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (3) 支持脚（スライド脚）の腐食（全面腐食）〔原子炉補機冷却水サージタンク、第2段湿分分離加熱器ドレンタンク〕

タンクは横置きであり、支持脚（スライド脚）が設置されているが、スライド部は炭素鋼であり、長期使用により、腐食による固着が想定される。

しかしながら、巡視点検等で目視によりスライド部に異常のないことを確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (4) 取付ボルトの腐食（全面腐食）〔原子炉補機冷却水サージタンク、第2段湿分分離加熱器ドレンタンク〕

取付ボルトは低合金鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (5) 管台等耐圧構成品の外面からの応力腐食割れ〔復水タンク〕

復水タンクは管台等耐圧構成品がステンレス鋼製であり、屋外設置であるため、大気中の海塩粒子等の塩分が付着した場合、塩化物イオンにより応力腐食割れが発生する可能性がある。

しかしながら、管台等耐圧構成品は塗装等によって塩分の付着を防止しており、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修を実施することとしている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (6) 胴板等耐圧構成品の内面からの腐食（全面腐食）〔ガス減衰タンク、よう素除去薬品タンク、原子炉補機冷却水サージタンク、第2段湿分分離加熱器ドレンタンク、復水タンク〕

ガス減衰タンクおよび復水タンクは胴板等の耐圧構成品が炭素鋼製であり、ガス減衰タンクについてはドレン水がタンク下部に滞留しており、また、復水タンクについては内部流体が飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）水であるため、長期使用により腐食が想定される。

しかしながら、開放点検時の目視確認により、ガス減衰タンクについては耐圧部の健全性を、復水タンクについては塗膜の健全性を確認している。また、これまでの開放点検時の目視確認で有意な腐食が認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

よう素除去薬品タンクは内部流体が苛性ソーダ溶液であり、胴板等の内面腐食が想定される。

しかしながら、接液部材料がステンレス鋼であること、苛性ソーダの濃度および使用温度が低いことから、腐食が発生しがたい環境であり、これまで有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

原子炉補機冷却水サージタンクおよび第2段湿分分離加熱器ドレンタンクの胴板等耐圧構成品は炭素鋼であり、胴板等の内面からの腐食が想定される。

しかしながら、原子炉補機冷却水サージタンクは内部流体がヒドラジン水（防錆剤注入水）、第2段湿分分離加熱器ドレンタンクは内部流体がpH等を管理した脱気水（給水）で腐食が発生しがたい環境であり、これまでにも有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 管台の内面からの応力腐食割れ [ほう酸注入タンク]

1977年10月、米国H. B. ロビンソン (H. B. Robinson) 発電所のほう酸注入タンクでカップリングから管台 (ともにステンレス鋼) にかけて内面からの応力腐食割れによる損傷が発生している。この事象は、飽和溶存酸素濃度 (最大約8ppm) のほう酸水環境下で、高炭素量のステンレス鋼を使用していた管台が著しく鋭敏化していたことが原因となり発生したものである。

しかしながら、高浜4号炉のほう酸注入タンクでは、タンク本体の熱処理を行った後に管台を溶接しており、材料の鋭敏化はないと判断される。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(8) マンホール用ボルトの腐食 (全面腐食) [ほう酸注入タンク、体積制御タンク、ガス減衰タンク、よう素除去薬品タンク、原子炉補機冷却水サージタンク、第2段湿分分離加熱器ドレンタンク]

マンホール用ボルトは低合金鋼であり、ガスケットまたはダイヤフラム板からの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

(9) ヒータの絶縁低下 [ほう酸注入タンク]

ほう酸注入タンクには、ほう酸析出防止のため胴板外面に電気ヒータが設置されており、ヒータの絶縁低下が想定される。

しかしながら、定期的に絶縁抵抗を測定し、絶縁低下していないことを確認している。また、ヒータは全数12本で6本ずつの2系列構成であり、1系列待機、1系列使用の運用としている。仮に、ヒータが機能喪失した場合でも、使用する系列を切替え、ヒータの取替を容易に行える。

したがって、ヒータの絶縁低下は、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(10) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔ほう酸注入タンク、体積制御タンク、ガス減衰タンク、よう素除去薬品タンク、復水タンク〕

基礎ボルトは炭素鋼または低合金鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(11) 胴板等耐圧構成品の内面からの応力腐食割れ〔よう素除去薬品タンク〕

よう素除去薬品タンクの胴板等耐圧構成品はステンレス鋼製であり、内部流体が苛性ソーダ溶液であることから、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、図2.2-1に示すように応力腐食割れ発生条件と比較して、苛性ソーダの濃度および使用温度が低いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

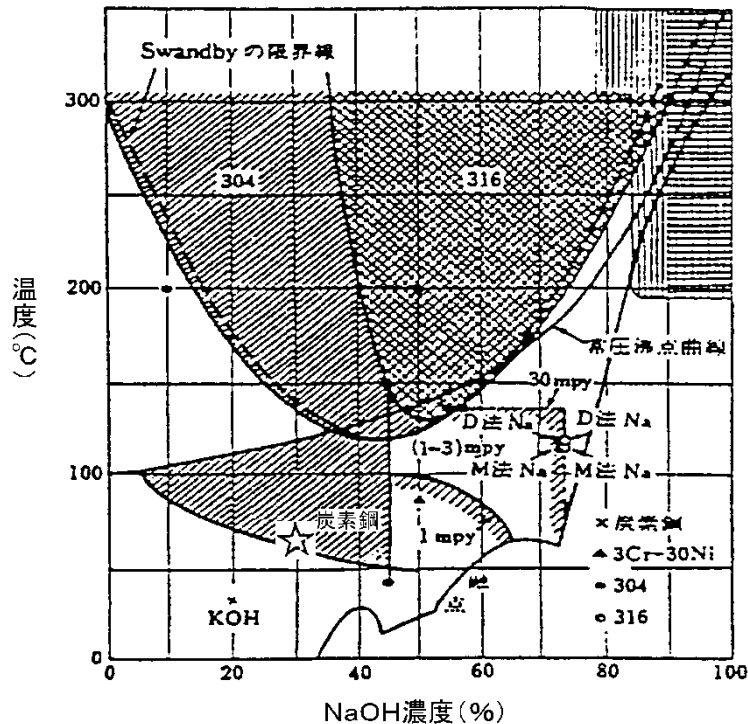


図2.2-1 SUS 304 / 316材のNaOH溶液中でのSCC感受性

[出典：大久保勝夫、徳永一弘：化学工学、40（1976）]

(☆：よう素除去薬品タンクの使用環境：65℃、30%を出典文献に追記)

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットおよびダイヤフラム板は開放点検時に取替える消耗品である。いずれも長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/7) 高浜4号炉 ほう酸注入タンクに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	胴板		炭素鋼 ステンレス鋼 (内張り)		△*1						*1：外面からの腐食 *2：絶縁低下
	鏡板		炭素鋼 ステンレス鋼 (内張り)		△*1						
	入口管台		炭素鋼 ステンレス鋼 (内張り)		△*1						
	出口管台		炭素鋼 ステンレス鋼 (内張り)		△*1						
	温度計管台		ステンレス鋼				△				
	ドレン管台		ステンレス鋼				△				
	マンホール		炭素鋼 ステンレス鋼 (内張り)		△*1						
	マンホール用ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
温度制御	ヒータ		クロム鋼鋼板						△*2		
機器の支持	スカート		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/7) 高浜4号炉 体積制御タンクに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	胴板		ステンレス鋼								
	鏡板		ステンレス鋼								
	水素室素封入管台		ステンレス鋼								
	抽出水入口管台		ステンレス鋼								
	逃がし弁出口管台		ステンレス鋼								
	ベント管台		ステンレス鋼								
	ドレン管台		ステンレス鋼								
	封水戻り管台		ステンレス鋼								
	水位計管台		ステンレス鋼								
	出口管台		ステンレス鋼								
	マンホール		ステンレス鋼								
	マンホール用ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
機器の支持	スカート		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/7) 高浜4号炉 ガス減衰タンクに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	胴板		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}					*1：内面からの腐食 *2：外面からの腐食	
	鏡板		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	ガス入口管台		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	試料採取管台		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	ガス出口管台		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	ドレン管台		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	マンホール		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	マンホール用ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/7) 高浜4号炉 よう素除去薬品タンクに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	胴板		ステンレス鋼		△ ^{*1}		▲				*1：内面からの腐食
	鏡板		ステンレス鋼		△ ^{*1}		▲				
	薬液供給管台		ステンレス鋼		△ ^{*1}		▲				
	バキュームリリーフ弁管台		ステンレス鋼		△ ^{*1}		▲				
	窒素供給管台		ステンレス鋼		△ ^{*1}		▲				
	水位計管台		ステンレス鋼		△ ^{*1}		▲				
	出口管台		ステンレス鋼		△ ^{*1}		▲				
	ドレン管台		ステンレス鋼		△ ^{*1}		▲				
	サンプリング管台		ステンレス鋼		△ ^{*1}		▲				
	温度計管台		ステンレス鋼		△ ^{*1}		▲				
	逃し弁管台		ステンレス鋼		△ ^{*1}		▲				
	マンホール		ステンレス鋼		△ ^{*1}		▲				
	マンホール用ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(5/7) 高浜4号炉 原子炉補機冷却水サージタンクに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	胴板		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						*1：内面からの腐食
	鏡板		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						*2：外面からの腐食
	再循環用管台		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						*3：スライド部の腐食
	逃がし弁管台		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	薬液入口管台		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	バキュームリリーフ弁管台		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	空気抜管台		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	水位計管台		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	サージ管台		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	ドレン管台		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	マンホール		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	マンホール用ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	支持脚（スライド脚）		炭素鋼		△ ^{*3} △						
	取付ボルト		低合金鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(6/7) 高浜4号炉 第2段湿分分離加熱器ドレンタンク主要部位に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	胴板		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						*1：内面からの腐食
	鏡板		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						*2：外面からの腐食
	ドレン入口管台		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						*3：スライド部の腐食
	ドレン出口管台		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	バランス管台		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	空気抜管台		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	ドレン管台		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	計器用管台		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	温度計管台		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	圧力計管台		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	マンホール		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	マンホール用ボルト		低合金鋼		△						
	ダイヤフラム板	◎	—								
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	支持脚（スライド脚）		炭素鋼		△ ^{*3} △						
	取付ボルト		低合金鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(7/7) 高浜4号炉 復水タンクに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	胴板		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}					*1：内面からの腐食 *2：外面からの腐食	
	屋根板		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	底板		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	補給水管台		ステンレス鋼				△				
	補助給水ポンプ吸込管台		ステンレス鋼				△				
	復水スピルオーバ管台		ステンレス鋼				△				
	凍結防止加熱蒸気管台		ステンレス鋼				△				
	凍結防止加熱蒸気ドレン管台		ステンレス鋼				△				
	オーバーフロー管台		ステンレス鋼 炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}		△				
	ブロー管台		ステンレス鋼				△				
	空気抜管台		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	計器用管台		ステンレス鋼 炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}		△				
	補助給水ポンプ ミニマムフロー管台		ステンレス鋼				△				
	マンホール		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
	マンホール用ボルト		ステンレス鋼				△				
ガスケット	◎	—									
機器の支持	基礎ボルト		低合金鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① 蓄圧タンク
- ② ほう酸タンク
- ③ 燃料取替用水タンク
- ④ 水素再結合ガス減衰タンク
- ⑤ 補助蒸気ドレンタンク
- ⑥ スチームコンバータ給水タンク
- ⑦ 第1段湿分分離加熱器ドレンタンク
- ⑧ 湿分分離器ドレンタンク
- ⑨ スチームコンバータドレンタンク

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.1.1 胴板等耐圧構成品の外表面からの腐食（全面腐食）〔蓄圧タンク、水素再結合ガス減衰タンク、補助蒸気ドレンタンク、スチームコンバータ給水タンク、第1段湿分分離加熱器ドレンタンク、湿分分離器ドレンタンク、スチームコンバータドレンタンク〕

胴板等耐圧構成品は炭素鋼であり、外表面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.2 スカートおよび支持脚の腐食（全面腐食）〔蓄圧タンク、ほう酸タンク、水素再結合ガス減衰タンク、第1段湿分分離加熱器ドレンタンク、湿分分離器ドレンタンク、スチームコンバータドレンタンク〕

スカートおよび支持脚は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.3 支持脚（スライド脚）の腐食（全面腐食）〔第1段湿分分離加熱器ドレンタンク、湿分分離器ドレンタンク、スチームコンバータドレンタンク〕

代表機器と同様に、支持脚（スライド脚）のスライド部は炭素鋼であり、長期使用により、腐食による固着が想定される。

しかしながら、巡視点検等で目視によりスライド部に異常のないことを確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.4 取付ボルトの腐食（全面腐食）〔第1段湿分分離加熱器ドレンタンク、湿分分離器ドレンタンク〕

取付ボルトは炭素鋼または低合金鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.5 胴板等耐圧構成品の内面からの腐食（全面腐食）

[水素再結合ガス減衰タンク]

水素再結合ガス減衰タンクは胴板等の耐圧構成品が炭素鋼製であり、ドレン水がタンク下部に滞留するため、長期使用により腐食が想定される。

しかしながら、酸素含有水中における炭素鋼の腐食挙動が放物線則に従うとして、運転開始後60年の腐食量を評価した結果より、急激な腐食の進行により機器の健全性に影響を与える可能性はない。

また、定期的に漏えい検査を実施し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.6 胴板等耐圧構成品の内面からの応力腐食割れ [蓄圧タンク、ほう酸タンク]

蓄圧タンクの管台およびほう酸タンクの胴板等ステンレス鋼製耐圧構成品については、溶接部は溶接入熱により鋭敏化している可能性があり、内面からの応力腐食割れが想定される。

しかしながら、溶接後熱処理を施していないこと、また、温度条件的にも約45°C以下と低いことにより、内面からの応力腐食割れ発生の可能性はない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.1.7 マンホール用ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

マンホール用ボルトは、ガスケットまたはダイヤフラム板からの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

- 3.1.8 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔蓄圧タンク、ほう酸タンク、燃料取替用水タンク、水素再結合ガス減衰タンク、補助蒸気ドレンタンク、スチームコンバータ給水タンク、スチームコンバータドレンタンク〕

基礎ボルトは炭素鋼または低合金鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

- 3.1.9 胴板等耐圧構成品の内面からの腐食（全面腐食）〔補助蒸気ドレンタンク、スチームコンバータ給水タンク、第1段湿分分離加熱器ドレンタンク、湿分分離器ドレンタンク、スチームコンバータドレンタンク〕

胴板等耐圧構成品は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

5 フィルタ

[対象機器]

- ① ほう酸フィルタ
- ② 冷却材フィルタ
- ③ 封水注入フィルタ
- ④ 封水フィルタ
- ⑤ 冷却材脱塩塔入口フィルタ
- ⑥ 格納容器再循環サンプルスクリーン

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料および使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	9
3. 代表機器以外への展開	14
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	14

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されているフィルタの主な仕様を表1-1に示す。

これらのフィルタを設置場所・型式、内部流体および材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すフィルタについて、設置場所・型式、内部流体および材料を分離基準として考えると、合計2つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

- (1) 設置場所・型式：屋内・たて置円筒形、内部流体：1次冷却材、材料：ステンレス鋼

このグループにはほう酸フィルタ、冷却材フィルタ、封水注入フィルタ、封水フィルタおよび冷却材脱塩塔入口フィルタが属するが、重要度の高いほう酸フィルタを代表機器とする。

- (2) 設置場所・型式：屋内・ディスク型、内部流体：空気、材料：ステンレス鋼

このグループには格納容器再循環サンプスクリーンのみが属するため、代表機器は格納容器再循環サンプスクリーンとする。

表1-1 高浜4号炉 フィルタの主な仕様

分離基準			機器名称 (台数)	重要度*1	選定基準		代表機器の選定	
設置場所 型式	内部流体	材料			使用条件		代表 機器	選定理由
					最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)		
屋内・ たて置円筒形	1次冷却材	ステンレス鋼	ほう酸フィルタ (1)	MS-1、重*2	約 1.0	約 95	◎	重要度
			冷却材フィルタ (1)	PS-2	約 2.1	約 95		
			封水注入フィルタ (2)	PS-2	約18.8	約 95		
			封水フィルタ (1)	PS-2	約 1.0	約 95		
			冷却材脱塩塔入口フィルタ (2)	PS-2	約 2.1	約 65		
屋内・ ディスク型	空気	ステンレス鋼	格納容器再循環サンプスクリーン (2)	MS-1、重*2	約0.28	約132	◎	

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の2種類のフィルタについて技術評価を実施する。

- ① ほう酸フィルタ
- ② 格納容器再循環サンプスクリーン

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 ほう酸フィルタ

(1) 構造

高浜4号炉のほう酸フィルタは、ステンレス鋼製の屋内たて置円筒形のフィルタであり、1台設置されている。

胴および底板等にはステンレス鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。

高浜4号炉のほう酸フィルタの構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉のほう酸フィルタの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

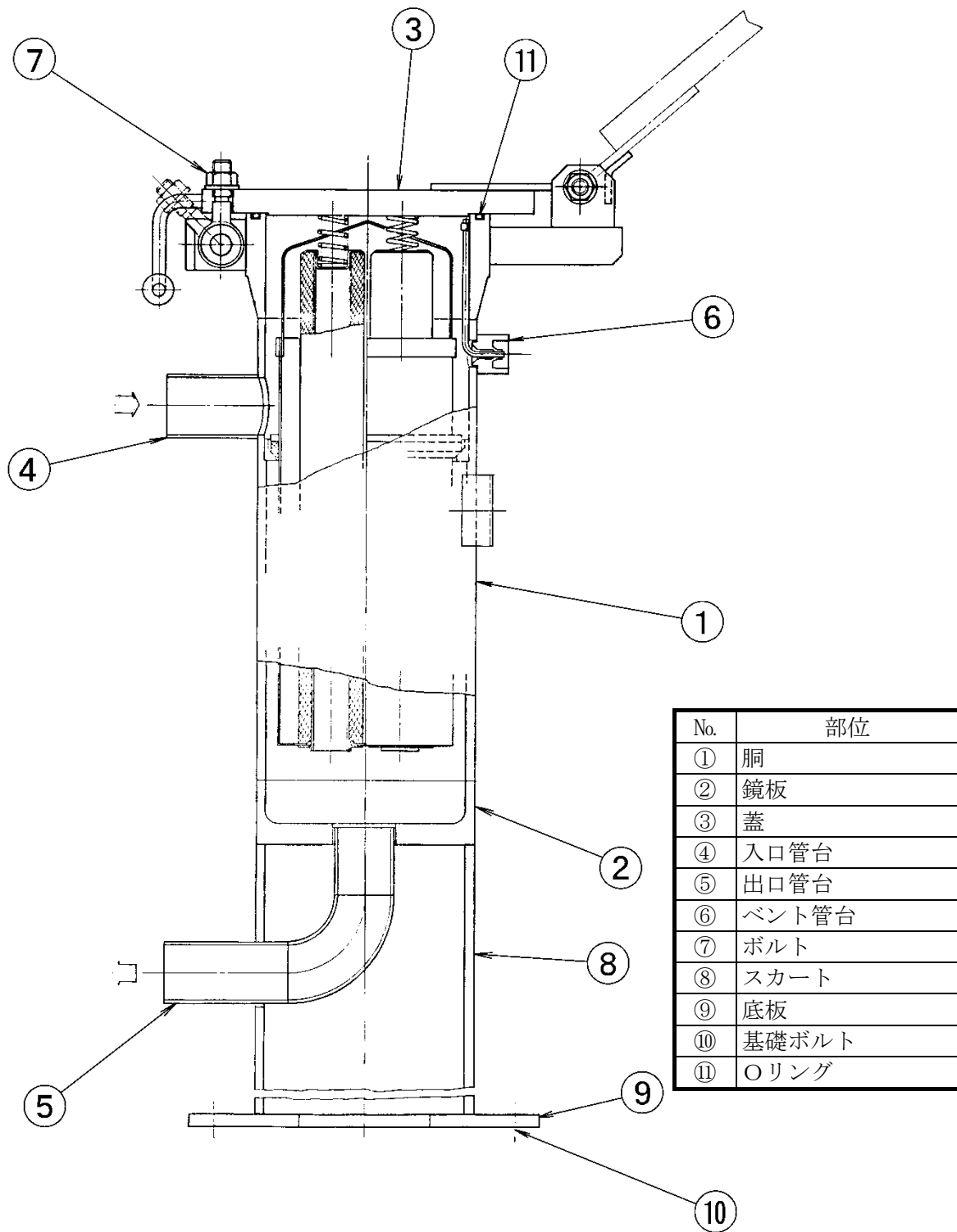


図2.1-1 高浜4号炉 ほう酸フィルタ構造図

表2.1-1 高浜4号炉 ほう酸フィルタ主要部位の使用材料

部位	材料
胴	ステンレス鋼
鏡板	ステンレス鋼
蓋	ステンレス鋼
入口管台 出口管台 ベント管台	ステンレス鋼
ボルト	低合金鋼
スカート	ステンレス鋼
底板	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
Oリング	消耗品・定期取替品

表2.1-2 高浜4号炉 ほう酸フィルタの使用条件

最高使用圧力	約1.0MPa[gage]
最高使用温度	約95℃
内部流体	1次冷却材

2.1.2 格納容器再循環サンプスクリーン

(1) 構造

高浜4号炉の格納容器再循環サンプスクリーンは、ステンレス鋼製の屋内ディスク型のスクリーンであり、2台設置されている。

各構成品にはステンレス鋼を使用しており、格納容器再循環サンプ上に設置されている。

高浜4号炉の格納容器再循環サンプスクリーンの構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の格納容器再循環サンプスクリーンの使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。

No.	部位
①	ラテラルサポート
②	カバープレート
③	ディスク
④	コアチューブ
⑤	基礎ボルト

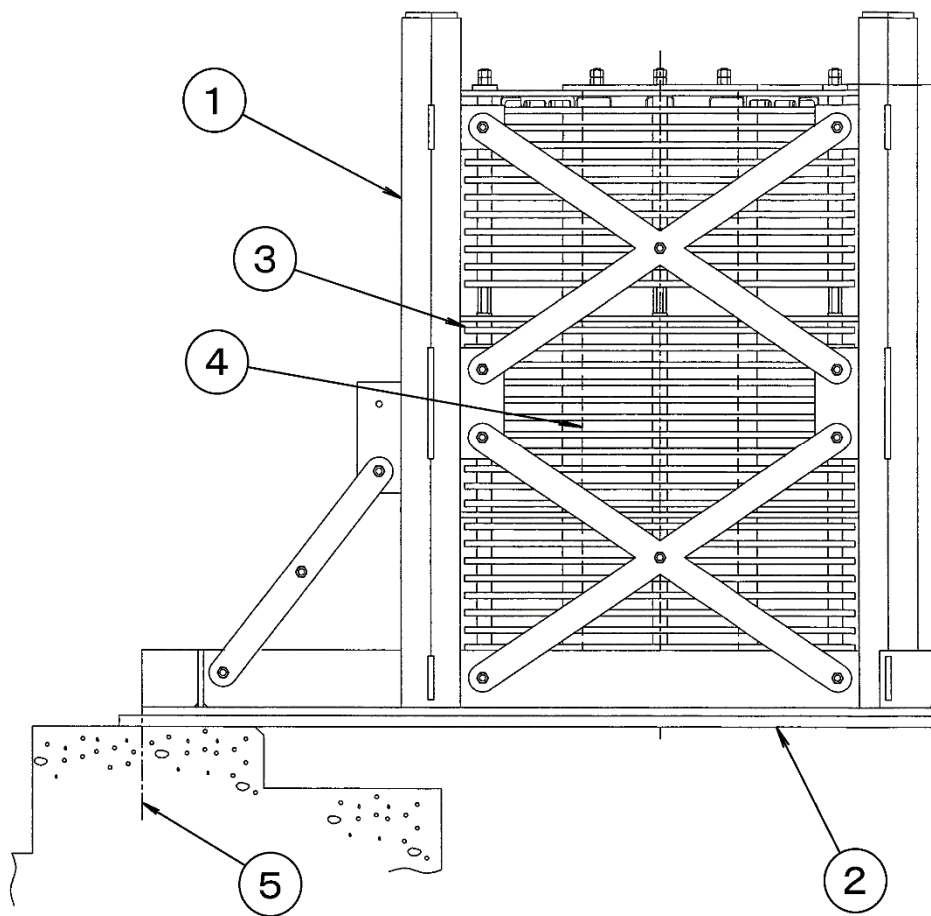


図2.1-2 高浜4号炉 格納容器再循環サンプルスクリーン構造図

表2.1-3 高浜4号炉 格納容器再循環サンプスクリーン主要部位の使用材料

部位	材料
ラテラルサポート	ステンレス鋼
カバープレート	ステンレス鋼
ディスク	ステンレス鋼
コアチューブ	ステンレス鋼
基礎ボルト	ステンレス鋼

表2.1-4 高浜4号炉 格納容器再循環サンプスクリーンの使用条件

最高使用圧力	約0.28MPa[gage]
最高使用温度	約132℃
内部流体	空気

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

フィルタの機能である浄化機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 機器の支持
- ③ 流路の確保

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

フィルタ個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) ボルトの腐食（全面腐食） [ほう酸フィルタ]

ボルトは低合金鋼であり、Oリングからの漏えいにより、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

(2) 底板の腐食（全面腐食） [ほう酸フィルタ]

底板は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) スクリーン流路の減少 [格納容器再循環サンプスクリーン]

ディスク部は原子炉格納容器内空気環境へ開放されており、異物混入によるスクリーン流路の減少が想定される。

しかしながら、目視確認と清掃により、スクリーン流路の減少につながる異物は適切に取り除かれており、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) 基礎ボルトの腐食（全面腐食） [ほう酸フィルタ]

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

Oリングは開放点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 (1/2) 高浜4号炉 ほう酸フィルタに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	胴		ステンレス鋼								
	鏡板		ステンレス鋼								
	蓋		ステンレス鋼								
	入口管台 出口管台 ベント管台		ステンレス鋼								
	ボルト		低合金鋼		△						
	Oリング	◎	—								
機器の支持	スカート		ステンレス鋼								
	底板		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1 (2/2) 高浜4号炉 格納容器再循環サンプスクリーンに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
流路の確保	ディスク		ステンレス鋼							△*1	*1：流路の減少
	コアチューブ		ステンレス鋼								
機器の支持	ラテラルサポート		ステンレス鋼								
	カバープレート		ステンレス鋼								
	基礎ボルト		ステンレス鋼								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① 冷却材フィルタ
- ② 封水注入フィルタ
- ③ 封水フィルタ
- ④ 冷却材脱塩塔入口フィルタ

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.1.1 ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

ボルトは低合金鋼であり、Oリングからの漏えいにより、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

3.1.2 ベアリングプレートの腐食（全面腐食） [共通]

ベアリングプレートは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.3 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

6 脱塩塔

[対象機器]

- ① 冷却材混床式脱塩塔
- ② 冷却材陽イオン脱塩塔
- ③ 熱再生イオン交換器

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料および使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	6
3. 代表機器以外への展開	9
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	9

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜 4 号炉で使用されている脱塩塔の主な仕様を表1-1に示す。

これらの脱塩塔を設置場所・型式、内部流体および材料の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す脱塩塔について、設置場所・型式および材料を分離基準として考えると、1つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 設置場所・型式：屋内・たて置円筒形、材料：ステンレス鋼

このグループには冷却材混床式脱塩塔、冷却材陽イオン脱塩塔および熱再生イオン交換器が属するが、容量の大きい熱再生イオン交換器を代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 脱塩塔の主な仕様

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準			代表機器の選定	
設置場所 型式	内部流体	材料		重要度*1	使用条件		代表 機器	選定理由
					最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)		
屋内・ たて置円筒形	1次冷却材	ステンレス鋼	冷却材混床式脱塩塔 (2)	PS-2	約2.1	約65	◎	容量*2
			冷却材陽イオン脱塩塔 (1)	PS-2	約2.1	約65		
			熱再生イオン交換器 (4)	PS-2	約2.1	約65		

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2 冷却材混床式脱塩塔の容量 0.85m³、冷却材陽イオン脱塩塔の容量 0.57m³、熱再生イオン交換器の容量 2m³

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の1種類の脱塩塔について技術評価を実施する。

① 熱再生イオン交換器

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 熱再生イオン交換器

(1) 構造

高浜4号炉の熱再生イオン交換器は、ステンレス鋼製の屋内たて置円筒形脱塩塔であり、4台設置されている。

胴板および鏡板等にはステンレス鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。

高浜4号炉の熱再生イオン交換器の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の熱再生イオン交換器の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

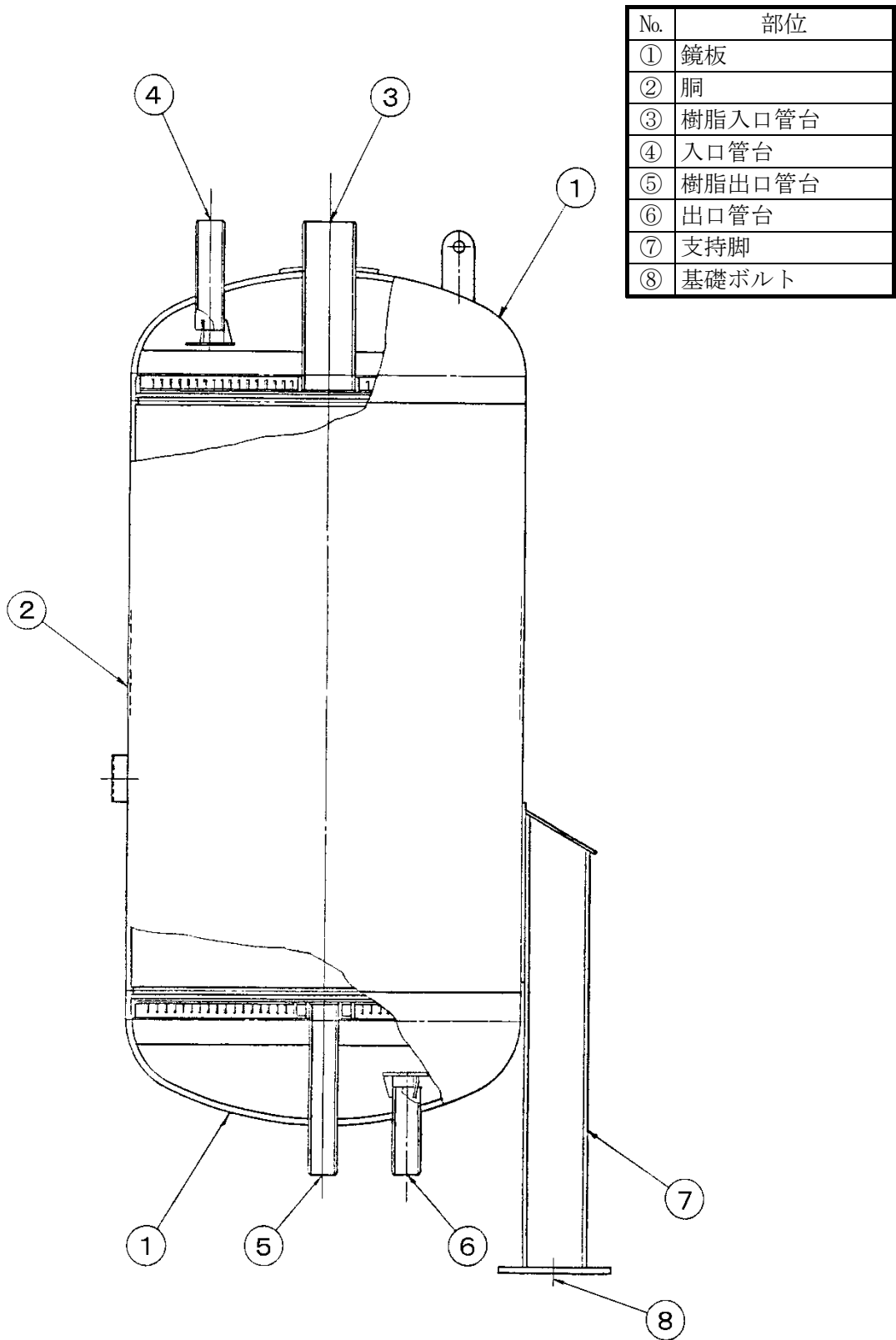


図2.1-1 高浜4号炉 熱再生イオン交換器構造図

表2.1-1 高浜4号炉 熱再生イオン交換器主要部位の使用材料

部位	材料
鏡板	ステンレス鋼
胴	ステンレス鋼
樹脂入口管台	ステンレス鋼
入口管台	ステンレス鋼
樹脂出口管台	ステンレス鋼
出口管台	ステンレス鋼
支持脚	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 熱再生イオン交換器の使用条件

最高使用圧力	約2.1MPa[gage]
最高使用温度	約65℃
内部流体	1次冷却材

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

熱再生イオン交換器の機能である冷却材の浄化機能を維持するためには、次の2つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

熱再生イオン交換器について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 支持脚の腐食（全面腐食）

支持脚は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

表2.2-1 高浜4号炉 熱再生イオン交換器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	鏡板		ステンレス鋼								
	胴		ステンレス鋼								
	樹脂入口管台		ステンレス鋼								
	入口管台		ステンレス鋼								
	樹脂出口管台		ステンレス鋼								
	出口管台		ステンレス鋼								
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① 冷却材混床式脱塩塔
- ② 冷却材陽イオン脱塩塔

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.1.1 支持脚の腐食（全面腐食） [共通]

支持脚は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.2 基礎ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

7 プール型容器

[対象機器]

- ① 使用済燃料ピット
- ② キャビティ
- ③ チャナル
- ④ キャスクピット

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料および使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	6
3. 代表機器以外への展開	10
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	10

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されているプール型容器の主な仕様を表1-1に示す。

これらのプール型容器を設置場所・型式、内部流体および材料の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

なお、格納容器再循環サンプはコンクリート製であり、「コンクリート構造物および鉄骨構造物の技術評価書」にて内部コンクリートとして評価するものとし、本評価書には含んでいない。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すプール型容器について、設置場所・型式、内部流体および材料を分離基準として考えるといずれのプール型容器も同様であることからグループとしては1つとなる。

1.2 代表機器の選定

常時使用している使用済燃料ピットを代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 プール型容器の主な仕様

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準			代表機器の選定	
				重要度*1	使用条件		代表 機器	選定理由
設置場所・型式	内部流体	材料	最高使用圧力 (MPa[gage])		最高使用温度 (°C)			
屋内・ コンクリート製 埋込みプール型	ほう酸水	鉄筋コンクリート (ステンレス鋼内張り)	使用済燃料ピット (4)	PS-2、重*3	大気圧	約65	◎	常時使用*2
			キャビティ (1)	PS-2	大気圧	約65		
			チャンネル (1)	PS-2	大気圧	約65		
			キャスクピット (1)	PS-2	大気圧	約65		

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：使用済燃料ピットは常時使用、キャビティ、チャンネル、キャスクピットは定期検査時使用。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下のプール型容器について技術評価を実施する。

① 使用済燃料ピット

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 使用済燃料ピット

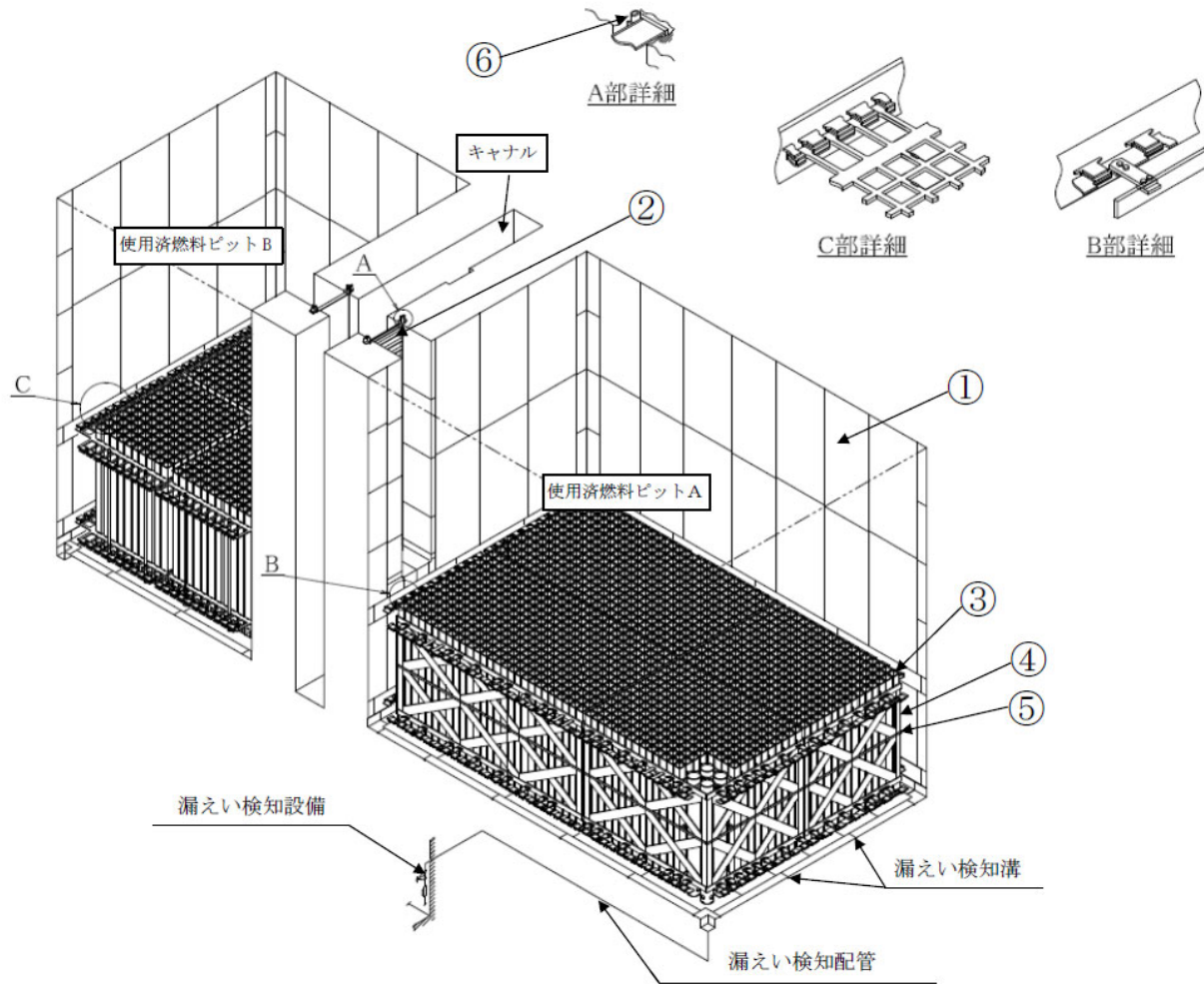
(1) 構造

高浜4号炉の使用済燃料ピットは、屋内コンクリート製の埋込みプール型容器であり、4台設置されている。

高浜4号炉の使用済燃料ピットの構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の使用済燃料ピットの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	ステンスライニング
②	プールゲート
③	使用済燃料ラックセル
④	使用済燃料ラックアセンブリ
⑤	使用済燃料ラック接続板・取付金具
⑥	ゲートパッキン

図2.1-1 高浜4号炉 使用済燃料ピット構造図

表2.1-1 高浜4号炉 使用済燃料ピット主要部位の使用材料

部位	材料
ステンレスライニング	ステンレス鋼
プールゲート	アルミニウム合金
使用済燃料ラックセル	ステンレス鋼
使用済燃料ラックアセンブリ	ステンレス鋼
使用済燃料ラック接続板・取付金具	ステンレス鋼
ゲートパッキン	消耗品・定期取替品

表2.1-2 高浜4号炉 使用済燃料ピットの使用条件

最高使用圧力	大気圧
最高使用温度	約65℃
内部流体	ほう酸水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

使用済燃料ピットの機能の達成に必要な項目としては、次の3つの項目がある。

- ① ピット水の保持
- ② 燃料保持
- ③ ラック保持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

使用済燃料ピットについて機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

なお、ピット組立品の一部である躯体等のコンクリートについては、「コンクリート構造物および鉄骨構造物の技術評価書」にて評価するものとし、本評価書には含んでいない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

なお、上記の1)に該当する事象および2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）はない。

(1) ステンレス鋼使用部位の応力腐食割れ

2007年3月、美浜1号炉において原子炉キャビティのステンレスライニングで応力腐食割れが発生している。この事象は、プラント建設時に原子炉格納容器開口部から持ち込まれた海塩粒子がコーナアングルやコーナプレート表面に付着、その後の定期検査時の原子炉キャビティ水張りにより発生した結露水により、塩化物イオンがコーナプレートの溶接線近傍の狭あい部分に持ち込まれ、さらに原子炉の運転で水分が蒸発し、ドライアンドウェット現象を繰り返すことで塩化物イオンが濃縮したことが原因と考えられているが、高浜4号炉の使用済燃料ピットには塩化物イオンの濃縮が想定される類似した箇所はないことから、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

したがって、使用済燃料ピットのステンレス鋼使用部位の応力腐食割れは、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) プールゲートの腐食（隙間腐食）

プールゲートとゲートパッキンにおけるプールゲート側の隙間腐食については、ほう酸水中の塩化物イオン濃度が0.05ppmを超えないように管理されており発生する可能性は小さい。また、ゲートパッキン取替時の目視確認において隙間腐食の兆候は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ゲートパッキンは消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 高浜4号炉 使用済燃料ピットに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
ピット水の保持	ステンレスライニング		ステンレス鋼				▲				*1: 隙間腐食
	プールゲート		アルミニウム合金		▲*1						
	ゲートパッキン	◎	—								
燃料保持	使用済燃料ラックセル		ステンレス鋼				▲				
ラック保持	使用済燃料ラックアセンブリ		ステンレス鋼				▲				
	使用済燃料ラック連接板・取付金具		ステンレス鋼				▲				

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器個々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① キャビティ
- ② キャナル
- ③ キャスクピット

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

なお、2.2.3 1)に該当する事象および2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）はない。

3.1.1 ステンレス鋼使用部位の応力腐食割れ [共通]

2007年3月、美浜1号炉においてキャビティのステンレスライニングで応力腐食割れが発生している。この事象は、プラント建設時に原子炉格納容器開口部から持ち込まれた海塩粒子がコーナングルやコーナプレート表面に付着、その後の定期検査時のキャビティ水張りにより発生した結露水により、塩化物イオンがコーナプレートの溶接線近傍の狭あい部分に持ち込まれ、さらに原子炉の運転で水分が蒸発し、ドライアンドウェット現象を繰り返すことで塩化物イオンが濃縮したことが原因と考えられているが、高浜4号炉のキャビティ、キャナルおよびキャスクピットには塩化物イオンの濃縮が想定される類似した箇所はないことから、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

したがって、ステンレス鋼使用部位の応力腐食割れは、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.2 プールゲートの腐食（隙間腐食）〔キャスクピット〕

プールゲートとゲートパッキンにおけるプールゲート側の隙間腐食については、ほう酸水中の塩化物イオン濃度が0.05ppmを超えないように管理されており発生する可能性は小さい。また、ゲートパッキン取替時の目視確認において隙間腐食の兆候は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

高浜発電所 4 号炉

配管の技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

関西電力株式会社

高浜4号炉の配管のうち、評価対象機器である安全重要度分類審査指針におけるクラス1、2の機器、高温・高圧の環境下にあるクラス3の機器および常設重大事故等対処設備に属する機器を材料、内部流体でグループ化し、同一グループ内の複数の機器の存在を考慮して、設置場所、重要度、使用条件の観点から代表機器を選定した。これらの一覧表を表1に、機能を表2に示す。

本評価書においては、これら代表機器についての技術評価を行うとともに、代表機器以外の機器について技術評価を展開している。また、配管サポートについては配管の機能を維持するための1部品として位置づけられるが、サポートの種類が表3に示すように多種多様であり、かつそれぞれの配管にはそれらのサポートの何種類かのサポートが設置されていることを考慮し、独立してとりまとめている。本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考ええる。

なお、本評価書における分解点検には、定期的を実施する分解点検に加え、状態監視や傾向監視等の結果に基づき計画、実施する分解点検を含んでいる。

また、点検等で確認した結果、異常が認められた場合は速やかに対策を施すこととしており、異常が認められた場合に対策を実施する旨の記載は省略している。

さらに、設置してから分解点検等の実績がない場合も、保全計画が定められていれば「確認している」等と表記している。

本評価書では配管の材料等を基に、以下の5つに分類している。

- 1 ステンレス鋼配管
- 2 低合金鋼配管
- 3 炭素鋼配管
- 4 1次冷却材管
- 5 配管サポート

なお、1次冷却材管はステンレス鋼配管に属することになるが、安全上重要な機器であり、かつ補修・取替が容易ではない機器であることを考慮し、ステンレス鋼配管と分けて単独で評価している。

表 1 (1/5) 高浜 4 号炉の主要な配管

分離基準		名称	重要度*1	選定基準				代表機器の選定	
材料	内部流体			使用条件				代表機器	選定理由
				設置場所	運転状態	最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)		
ステンレス鋼	1 次冷却材	1 次冷却材管	PS-1、重*3	屋内	連続	約 17.2	約 343	◎	◎ 重要度、環境条件*4
		1 次冷却系統配管*2	PS-1、重*3	屋内	連続	約 17.2	約 360	◎	
		化学体積制御系統配管	MS-1、重*3		連続	約 18.8	約 343		
		余熱除去系統配管	MS-1、重*3		一時	約 17.2	約 343		
		燃料ピット冷却系統配管	MS-2		連続	約 1.4	約 95		
		1 次系試料採取系統配管	MS-1、重*3		連続	約 17.2	約 360		
		格納容器内部スプレイ系統配管	MS-1、重*3		一時	約 2.7	約 150		
		安全注入系統配管	MS-1、重*3		連続	約 18.8	約 200		
		燃料取替用水系統配管	MS-1、重*3		連続	約 1.4	約 132		
	蒸気	第 6 抽気系統配管	高*5		屋内	連続	約 2.7		約 235
		第 4 抽気系統配管	高*5	連続		約 0.5	約 217		
		第 3 抽気系統配管	高*5	連続		約 0.2	約 165		
		第 2 抽気系統配管	高*5	連続		約-0.01	約 98		
		低温再熱蒸気系統配管	高*5	連続		約 1.4	約 200		
		グランド蒸気系統配管	高*5	連続		約 7.5	約 291		
		主蒸気系統配管	高*5	屋内外		連続	約 7.5	約 291	
		補助蒸気系統配管	高*5		連続	約 2.7	約 235		
		第 5 抽気系統配管	高*5		連続	約 1.4	約 200		

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：1 次冷却系統内にラインが含まれるもののうち、弁等で他系統と接続されるラインは他系統側の配管として評価する。また、1 次冷却材管は別に評価する。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

*4：余熱除去系統配管は通常運転時は使用されておらず定期検査時のみに通水されることから、環境条件（使用時の温度変動が急激かつ大きい）により経年劣化評価上厳しくなる可能性があるかと判断した。

*5：最高使用温度が 95°C を超え、または最高使用圧力が 1900kPa を超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス 3 の機器。

表 1 (2/5) 高浜 4 号炉の主要な配管

分離基準		名称	選定基準					代表機器の選定		
材料	内部流体		重要度*1	使用条件				代表機器	選定理由	
				設置場所	運転状態	最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)			
ステンレス鋼	給水	蒸気発生器ブローダウン系統配管	MS-1、重*2	屋内	連続	約 7.5	約 291	◎	重要度、圧力	
		補助給水系統配管	MS-1、重*2	屋内外	一時	約 12.3	約 40			
		復水系統配管	高*3		連続	約 4.1	約 200			
		ドレン系統配管	高*3		連続	約 7.5	約 291			
		主給水系統配管	高*3		連続	約 10.2	約 235			
	空気	計器用空気系統配管	MS-1、重*2	屋内	連続	約 0.8	約 50	◎	重要度、運転状態	
		1次系試料採取系統配管 (空気)	MS-1、重*2		一時	約 1.0	約 132			
		原子炉補機冷却水系統配管 (空気)	重*2		連続	約 0.3	約 95			
		換気空調系統配管	重*2		一時	約 1.0	約 50			
		油	タービンEHガバナ制御油系統配管		高*3	連続	約 16.2			約 75
			希ガス等		気体廃棄物処理系統配管	PS-2	連続			約 1.0
		ヒドラジン水			原子炉補機冷却水系統配管	重*2	連続			約 1.0
	苛性ソーダ溶液	格納容器内部スプレイ系統配管 (苛性ソーダライン)	MS-1	屋内	一時	約 0.07	約 65	◎		

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

*3：最高使用温度が 95°C を超え、または最高使用圧力が 1900kPa を超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス 3 の機器。

表 1 (3/5) 高浜 4 号炉の主要な配管

分離基準		名称	選定基準					代表機器の選定	
材料	内部流体		重要度*1	使用条件				代表機器	選定理由
				設置場所	運転状態	最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)		
低合金鋼	蒸気	グラント蒸気系統配管	高*2	屋内	連続	約 3.9	約 255	◎	重要度
		主蒸気系統配管	MS-1、重*3		連続	約 7.5	約 291		
	給水	主給水系統配管	高*2	屋内	連続	約 10.2	約 235	◎	圧力
		ドレン系統配管	高*2		連続	約 3.1	約 235		

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が 95°C を超え、または最高使用圧力が 1900kPa を超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス 3 の機器。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

表 1 (4/5) 高浜 4 号炉の主要な配管

分離基準		名称	選定基準					代表機器の選定	
材料	内部流体		重要度*1	使用条件				代表機器	選定理由
				設置場所	運転状態	最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)		
炭素鋼	蒸気	第 6 抽気系統配管	高*2	屋内	連続	約2.7	約235	◎	重要度、設置場所
		第 4 抽気系統配管	高*2		連続	約0.5	約217		
		第 3 抽気系統配管	高*2		連続	約0.2	約165		
		低温再熱蒸気系統配管	高*2		連続	約1.4	約200		
		グラント蒸気系統配管	高*2		連続	約7.5	約291		
		主蒸気系統配管	MS-1、重*3	屋内外	連続	約7.5	約291		
		高温再熱蒸気系統配管	高*2		連続	約1.4	約291		
		補助蒸気系統配管	高*2		連続	約7.5	約291		
	給水	補助給水系統配管	MS-1、重*3	屋内	一時	約12.3	約235	◎	重要度、環境条件*4
		復水系統配管	高*2		連続	約4.1	約200		
		蒸気発生器ブローダウン系統配管	MS-1、重*3		連続	約7.5	約291		
		主給水系統配管	MS-1、重*3	屋内外	連続	約10.2	約235		
		ドレン系統配管	高*2		連続	約7.5	約291		

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

*4：主給水系統配管は、環境条件（プラントの起動・停止時に内部流体の温度、圧力の変化の影響を受ける）により経年劣化評価上厳しくなる可能性があるかと判断した。

表 1 (5/5) 高浜 4 号炉の主要な配管

分離基準		名称	選定基準					代表機器の選定	
材料	内部流体		重要度*1	使用条件				代表機器	選定理由
				設置場所	運転状態	最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (℃)		
炭素鋼	ヒドラジン水	原子炉補機冷却水系統配管	MS-1、重*2	屋内外	連続	約1.2	約132	◎	重要度
		タービン潤滑油系統配管	高*3	屋内	連続	約2.2	約 80		
	空気	計器用空気系統配管	MS-1、重*2	屋内	連続	約0.8	約132	◎	重要度
		原子炉補機冷却水系統配管（空気）	重*2		連続	約0.3	約 95		
		希ガス等	気体廃棄物処理系統配管		PS-2	連続	約1.0		
	海水	海水系統配管	MS-1、重*2	屋内外	連続	約0.7	約 50	◎	

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

*3：最高使用温度が95℃を超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

表 2 (1/2) 高浜 4 号炉 主要な配管の機能

配 管	機 能
1 次冷却材管 1 次冷却系統配管	炉心で発生した熱を蒸気発生器で 2 次系に伝達する 1 次冷却系統を構成する配管である。
化学体積制御系統配管	1 次冷却系統の 1 次冷却材保有量を適正に調整し、1 次冷却材中の核分裂生成物、腐食生成物等の不純物を浄化する化学体積制御系統を構成する配管である。
余熱除去系統配管	炉を停止した後に 1 次冷却系統に残留している熱、炉心の崩壊熱および 1 次冷却系統を均一に冷却する目的で運転する 1 次冷却材ポンプの発生熱を除去し、1 次冷却系統を降温させる余熱除去系統を構成する配管である。
燃料ピット冷却系統配管	燃料ピット中の使用済燃料からの崩壊熱を除去し、燃料ピット水の冷却を行うと共に、燃料ピット、原子炉キャビティおよび燃料取替用水タンクのほう酸水を浄化するための燃料ピット冷却系統を構成する配管である。
1 次系試料採取系統配管	1 次冷却材の化学的性質および放射性物質の種類と量を把握するための流体サンプルを採取する 1 次系試料採取系統を構成する配管である。
格納容器内部スプレイ系統配管	事故時における格納容器からの放射性物質の漏えいを最小にし、公衆の安全を確保するための格納容器内部スプレイ系統を構成する配管である。
安全注入系統配管	1 次冷却材喪失事故時あるいは主蒸気管破断事故時等に、ほう酸水を原子炉容器に注入することにより炉心の冷却かつ負の反応度添加を行う安全注入系統を構成する配管である。
燃料取替用水系統配管	燃料取替用水タンク水の浄化および水温の維持ならびに燃料ピットの補給水としてほう酸水を補給するための燃料取替用水系統を構成する配管である。
第 6 抽気系統配管	高圧タービンからの抽気を第 6 高圧給水加熱器へ供給するための第 6 抽気系統を構成する配管である。
第 4 抽気系統配管	低圧タービンからの抽気を第 4 低圧給水加熱器へ供給するための第 4 抽気系統を構成する配管である。
第 3 抽気系統配管	低圧タービンからの抽気を第 3 低圧給水加熱器へ供給するための第 3 抽気系統を構成する配管である。
第 2 抽気系統配管	低圧タービンからの抽気を第 2 低圧給水加熱器へ供給するための第 2 抽気系統を構成する配管である。
低温再熱蒸気系統配管	高圧タービンからの排気を湿分分離加熱器へ供給するための系統を構成する配管である。
グランド蒸気系統配管	タービンのグランド部のシール用蒸気を供給および回収するためのグランド蒸気系統を構成する配管である。
主蒸気系統配管	蒸気発生器にて発生した蒸気をタービンに送る主蒸気系統を構成する配管である。
補助蒸気系統配管	スチームコンバータ本体にて発生した蒸気を各補機に送る補助蒸気系統を構成する配管である。
第 5 抽気系統配管	高圧タービンからの抽気を脱気器へ供給するための第 5 抽気系統を構成する配管である。

表 2 (2/2) 高浜 4 号炉 主要な配管の機能

配 管	機 能
蒸気発生器ブローダウン系統配管	蒸気発生器 2 次側水の水質維持のために一部を復水器に回収するための蒸気発生器ブローダウン系統配管を構成する配管である。
補助給水系統配管	主給水が使用できない場合に補助給水を蒸気発生器に供給する補助給水系統を構成する配管である。
復水系統配管	復水器により回収された復水を脱気器へ供給するための復水系統を構成する配管である。
ドレン系統配管	各加熱器より発生したドレンを移送、回収するためのドレン系統を構成する配管である。
主給水系統配管	蒸気発生器の水位を維持するために給水を蒸気発生器に供給する主給水系統を構成する配管である。
計器用空気系統配管	清浄で乾燥した圧縮空気をタービン建屋、補助建屋および格納容器内の空気作動弁等に供給する計器用空気系統を構成する配管である。
原子炉補機冷却水系統配管	1 次系補機に冷却水を供給する原子炉補機冷却水系統を構成する配管である。
換気空調系統配管	換気、空調を行う換気空調系統を構成する配管である。
タービン E H ガバナ制御油系統配管	タービンを制御する E H ガバナ制御油を移送、回収するための E H ガバナ制御油系統を構成する配管である。
高温再熱蒸気系統配管	湿分分離加熱器にて湿分を除去した加熱蒸気を低圧タービンへ供給する系統を構成する配管である。
タービン潤滑油系統配管	タービン潤滑油を移送、回収するためのタービン潤滑油系統を構成する配管である。
気体廃棄物処理系統配管	窒素をカバーガスとする各タンクからのベントガス等の窒素廃ガスおよび体積制御タンク等からパーズされる水素廃ガスを貯留し、放射能を減衰処理する気体廃棄物処理系統を構成する配管である。
海水系統配管	1・2 次系の系統および補機において発生または蓄積された熱を除去する海水系統を構成する配管である。

表3 高浜4号炉 配管サポートの機能

サポート	機能
アンカー	配管の全方向の変位および全方向のモーメントを拘束する
Uバンド	配管の全方向の変位（回転は除く）を拘束する
Uボルト	配管の軸直方向の変位を拘束する
スライドサポート	配管の軸直方向の変位および全方向のモーメントを拘束する
レストレイント	配管の特定1方向の変位を拘束する
スプリングハンガ	配管自重を支持する
オイルスナバ	地震時に、配管の特定1方向の変位を拘束する
メカニカルスナバ	地震時に、配管の特定1方向の変位を拘束する

1 ステンレス鋼配管

[対象機器]

- ① 1次冷却系統配管
- ② 化学体積制御系統配管
- ③ 余熱除去系統配管
- ④ 燃料ピット冷却系統配管
- ⑤ 1次系試料採取系統配管
- ⑥ 格納容器内部スプレイ系統配管
- ⑦ 安全注入系統配管
- ⑧ 燃料取替用水系統配管
- ⑨ 第6抽気系統配管
- ⑩ 第4抽気系統配管
- ⑪ 第3抽気系統配管
- ⑫ 第2抽気系統配管
- ⑬ 低温再熱蒸気系統配管
- ⑭ グランド蒸気系統配管
- ⑮ 主蒸気系統配管
- ⑯ 補助蒸気系統配管
- ⑰ 第5抽気系統配管
- ⑱ 蒸気発生器ブローダウン系統配管
- ⑲ 補助給水系統配管
- ⑳ 復水系統配管
- ㉑ ドレン系統配管
- ㉒ 主給水系統配管
- ㉓ 計器用空気系統配管
- ㉔ 1次系試料採取系統配管（空気）
- ㉕ 原子炉補機冷却水系統配管（空気）
- ㉖ 換気空調系統配管
- ㉗ タービンEHガバナ制御油系統配管
- ㉘ 気体廃棄物処理系統配管
- ㉙ 原子炉補機冷却水系統配管
- ㉚ 格納容器内部スプレイ系統配管（苛性ソーダライン）

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	5
2.1 構造、材料および使用条件	5
2.2 経年劣化事象の抽出	15
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	27
3. 代表機器以外への展開	31
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	32
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	36

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されているステンレス鋼配管（1次冷却材管を除く）の主な仕様を表1-1に示す。

これらの配管を内部流体の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すステンレス鋼配管について、内部流体を分離基準として考えると、合計5つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 内部流体：1次冷却材

このグループには1次冷却系統配管、化学体積制御系統配管、余熱除去系統配管、燃料ピット冷却系統配管、1次系試料採取系統配管、格納容器内部スプレイ系統配管、安全注入系統配管および燃料取替用水系統配管が属するが、重要度が高く、環境条件（使用時の温度変動が急激かつ大きい）により経年劣化評価上厳しくなる可能性のある余熱除去系統配管を代表機器とする。

(2) 内部流体：蒸気

このグループには第6抽気系統配管、第4抽気系統配管、第3抽気系統配管、第2抽気系統配管、低温再熱蒸気系統配管、グラント蒸気系統配管、主蒸気系統配管、補助蒸気系統配管および第5抽気系統配管が属するが、最高使用圧力が高く、設置場所が屋内外の主蒸気系統配管を代表機器とする。

(3) 内部流体：給水

このグループには蒸気発生器ブローダウン系統配管、補助給水系統配管、復水系統配管、ドレン系統配管および主給水系統配管が属するが、重要度が高く、最高使用圧力が高い補助給水系統配管を代表機器とする。

(4) 内部流体：空気、油、希ガス等またはヒドラジン水

このグループには計器用空気系統配管、1次系試料採取系統配管（空気）、原子炉補機冷却水系統配管（空気）、換気空調系統配管、タービンEHガバナ制御油系統配管、気体廃棄物処理系統配管および原子炉補機冷却水系統配管が属するが、重要度が高く、使用頻度が高い計器用空気系統配管を代表機器とする。

(5) 内部流体：苛性ソーダ溶液

このグループには格納容器内部スプレイ系統配管(苛性ソーダライン)のみが属するため、代表機器は格納容器内部スプレイ系統配管(苛性ソーダライン)とする。

表1-1 (1/2) 高浜4号炉 ステンレス鋼配管の主な仕様

分離基準	名称	選定基準					代表機器の選定	
		重要度*1	使用条件			代表機器	選定理由	
内部流体	設置場所		運転状態	最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)			
1次冷却材	1次冷却系統配管*2	PS-1、重*3	屋内	連続	約17.2	約360	◎	重要度、環境条件*4
	化学体積制御系統配管	MS-1、重*3		連続	約18.8	約343		
	余熱除去系統配管	MS-1、重*3		一時	約17.2	約343		
	燃料ピット冷却系統配管	MS-2		連続	約 1.4	約 95		
	1次系試料採取系統配管	MS-1、重*3		連続	約17.2	約360		
	格納容器内部スプレー系統配管	MS-1、重*3		一時	約 2.7	約150		
	安全注入系統配管	MS-1、重*3		連続	約18.8	約200		
	燃料取替用水系統配管	MS-1、重*3		連続	約 1.4	約132		
蒸気	第6抽気系統配管	高*5	屋内	連続	約 2.7	約235	◎	圧力、設置場所
	第4抽気系統配管	高*5		連続	約 0.5	約217		
	第3抽気系統配管	高*5		連続	約 0.2	約165		
	第2抽気系統配管	高*5		連続	約-0.01	約 98		
	低温再熱蒸気系統配管	高*5		連続	約 1.4	約200		
	グラント蒸気系統配管	高*5		連続	約 7.5	約291		
	主蒸気系統配管	高*5	屋内外	連続	約 7.5	約291		
	補助蒸気系統配管	高*5		連続	約 2.7	約235		
	第5抽気系統配管	高*5		連続	約 1.4	約200		

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：1次冷却系統内にラインが含有されるもののうち、弁等で他系統と接続されるラインは他系統側の配管として評価する。また、1次冷却材管は別に評価する。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

*4：余熱除去系統配管は通常運転時は使用されておらず定期検査時のみに通水されることから、環境条件（使用時の温度変動が急激かつ大きい）により経年劣化評価上厳しくなる可能性があるかと判断した。

*5：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

表1-1 (2/2) 高浜4号炉 ステンレス鋼配管の主な仕様

分離基準	名称	選定基準					代表機器の選定		
		重要度*1	使用条件				代表機器	選定理由	
内部流体	設置場所		運転状態	最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)				
給水	蒸気発生器ブローダウン系統配管	MS-1、重*2	屋内	連続	約 7.5	約291	◎	重要度、圧力	
	補助給水系統配管	MS-1、重*2	屋内外	一時	約12.3	約 40			
	復水系統配管	高*3		連続	約 4.1	約200			
	ドレン系統配管	高*3		連続	約 7.5	約291			
	主給水系統配管	高*3		連続	約10.2	約235			
空気	計器用空気系統配管	MS-1、重*2	屋内	連続	約 0.8	約 50	◎	重要度、運転状態	
	1次系試料採取系統配管 (空気)	MS-1、重*2		一時	約 1.0	約132			
	原子炉補機冷却水系統配管 (空気)	重*2		連続	約 0.3	約 95			
	換気空調系統配管	重*2		一時	約 1.0	約 50			
	油	タービンEHガバナ制御油系統配管		高*3	連続	約 16.2			約 75
		希ガス等		気体廃棄物処理系統配管	PS-2	連続			約 1.0
	ヒドラジン水			原子炉補機冷却水系統配管	重*2	連続			約 1.0
苛性ソーダ溶液	格納容器内部スプレイ系統配管(苛性ソーダライン)	MS-1	屋内	一時	約 0.07	約 65	◎		

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

*3：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の5種類の配管について技術評価を実施する。

- ① 余熱除去系統配管
- ② 主蒸気系統配管
- ③ 補助給水系統配管
- ④ 計器用空気系統配管
- ⑤ 格納容器内部スプレイ系統配管（苛性ソーダライン）

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 余熱除去系統配管

(1) 構造

高浜4号炉の余熱除去系統配管は、母管にステンレス鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の余熱除去系統配管の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

表2.1-1 高浜4号炉 余熱除去系統配管主要部位の使用材料

部位	材料
母管	ステンレス鋼
小口径管台	ステンレス鋼
温度計ウェル	ステンレス鋼
フランジボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-2 高浜4号炉 余熱除去系統配管の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa[gage]
最高使用温度	約343℃
内部流体	1次冷却材

2.1.2 主蒸気系統配管

(1) 構造

高浜4号炉の主蒸気系統配管は、母管の一部にステンレス鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の主蒸気系統配管の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。

表2.1-3 高浜4号炉 主蒸気系統配管主要部位の使用材料

部位	材料
母管	ステンレス鋼

表2.1-4 高浜4号炉 主蒸気系統配管の使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa[gage]
最高使用温度	約291℃
内部流体	蒸気

2.1.3 補助給水系統配管

(1) 構造

高浜4号炉の補助給水系統配管は、母管の一部にステンレス鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の補助給水系統配管の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。

表2.1-5 高浜4号炉 補助給水系統配管主要部位の使用材料

部位	材料
母管	ステンレス鋼
小口径管台	ステンレス鋼
フランジボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-6 高浜4号炉 補助給水系統配管の使用条件

最高使用圧力	約12.3MPa[gage]
最高使用温度	約40℃
内部流体	給水

2.1.4 計器用空気系統配管

(1) 構造

高浜4号炉の計器用空気系統配管は、母管には主にステンレス鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の計器用空気系統配管の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。

表2.1-7 高浜4号炉 計器用空気系統配管主要部位の使用材料

部位	材料
母管	ステンレス鋼

表2.1-8 高浜4号炉 計器用空気系統配管の使用条件

最高使用圧力	約0.8MPa[gage]
最高使用温度	約50℃
内部流体	空気

2.1.5 格納容器内部スプレイ系統配管(苛性ソーダライン)

(1) 構造

高浜4号炉の格納容器内部スプレイ系統配管(苛性ソーダライン)は、母管にはステンレス鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の格納容器内部スプレイ系統配管(苛性ソーダライン)の使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。

表2.1-9 高浜4号炉 格納容器内部スプレイ系統配管(苛性ソーダライン)

主要部位の使用材料

部位	材料
母管	ステンレス鋼

表2.1-10 高浜4号炉 格納容器内部スプレイ系統配管(苛性ソーダライン)の使用条件

最高使用圧力	約0.07MPa[gage]
最高使用温度	約65℃
内部流体	苛性ソーダ溶液

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

ステンレス鋼配管の機能である内部流体の流路形成機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① バウンダリの維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

ステンレス鋼配管個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-3に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-3で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 母管の疲労割れ [余熱除去系統配管]

余熱除去ポンプの運転・停止時に発生する1次冷却材の温度、圧力の変化により、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-3で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 母管の高サイクル熱疲労割れ〔余熱除去系統配管〕

余熱除去冷却器出口配管とバイパスラインの合流部（高低温水合流部）においては、局所的にバイパスラインからの高温水が流入し、複雑な流況による熱過渡を受け、疲労が蓄積されることから、高サイクル熱疲労割れが想定される。

高低温水合流部の高サイクル熱疲労割れに対しては、「日本機械学会 配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針（JSME S 017-2003）」に基づき評価を実施した。

劣化が進展すると仮定した場合における運転開始後60年時点の疲労評価に用いた過渡回数を表2.2-1に示す。

評価結果を表2.2-2に示すが、許容値を満足する結果を得た。

さらに、余熱除去冷却器出口配管とバイパスラインの合流部については、第18回定期検査時（2008年度）に取替済である。

また、漏えい検査により機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

表2.2-1 高浜4号炉 余熱除去冷却器出口配管とバイパスラインの
合流部の疲労評価に用いた過渡回数

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数
	運転開始後60年 時点での推定値*1
起動	45
停止	45
1次系漏えい試験	42

*1：第18回定期検査時（2008年度）に取替を実施

表2.2-2 高浜4号炉 余熱除去冷却器出口配管とバイパスラインの
合流部の疲労評価結果

評価対象部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値：1以下)
余熱除去冷却器出口配管と バイパスラインの合流部 (ステンレス鋼)	0.651

また、通常運転時使用されず閉塞滞留部となる余熱除去系統配管の一部において、第1隔離弁にグランドリークが生じると、水平管部において熱成層が発生、消滅を繰り返すことにより高サイクル熱疲労割れ（弁グランドリーク型）が想定される。

しかしながら、隔離弁の分解点検を実施し、弁ディスク位置の調整により弁シート部の隙間を適正に管理していくことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 母管の外側からの応力腐食割れ [共通]

配管外側に大気中の海塩粒子等の塩分が付着した場合、塩化物イオンにより応力腐食割れが想定される。

しかしながら、塩分の付着の可能性がある配管については付着塩分濃度を測定し、健全性を確認している。

また、巡視点検等で目視により保温材の状態を確認し必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

また、塩化ビニールテープの熱分解により生じた塩化物イオンにより応力腐食割れが想定される。

しかしながら、配管外表面の残存テープ有無について目視確認およびテープ痕部の浸透探傷検査を実施し、健全性を確認している。これらの点検は既に完了しており、今後、塩化ビニールテープの熱分解による外側からの応力腐食割れ発生の可能性はないと考える。

(3) 母管の内側からの応力腐食割れ [余熱除去系統配管]

1996年5月、米国セコイヤ(Sequoyah)発電所2号炉で、一次系水質環境下においても局所的に溶存酸素濃度が高くなる等の理由で内側からの応力腐食割れによる漏えいが発生していることから、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、高温かつ溶存酸素濃度が高くなる可能性のある範囲の溶接部については、耐応力腐食割れ性に優れたSUS316系材料を使用している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、溶接部を対象とした超音波探傷検査または漏えい検査により機器の健全性を確認している。

(4) 溶接部の施工条件に起因する母管の内面からの粒界割れ[余熱除去系統配管]

2020年8月、大飯3号炉において、加圧器スプレイ配管の1次冷却材管管台との溶接部近傍内面に亀裂が確認されている。調査の結果、「過大な溶接入熱」と「形状による影響」が重畳したことで表層近傍において特異な硬化が生じ、この特異な硬化が亀裂の発生に寄与したと推定された。亀裂は溶接熱影響部で粒界に沿って進展しており、粒界型応力腐食割れで進展したものと判断している。

一方、国内外のPWRプラントにおいて類似の事例は確認されておらず、当社の原子力プラントにおいて同様の事象発生の可能性があるかと推定された部位全てに対し追加検査が行われたが、亀裂は認められていない。これらの状況から、亀裂の発生は「過大な溶接入熱」と「形状による影響」が重畳した特異な事象と判断され、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、大飯3号炉で発生した事象は特異であるが、メカニズムが全て明らかになっていないことから、高浜4号炉で類似性の高い箇所に対しては第26回定期検査までの間、毎回検査を実施することとしている。また、第27回定期検査以降については、今後の知見拡充結果を踏まえて、対象・頻度を検討し供用期間中検査計画に反映を行う。

(5) フランジボルトの腐食（全面腐食）[余熱除去系統配管、補助給水系統配管]

フランジボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時等の目視確認により、機器の健全性を確認している。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(6) 小口径管台の高サイクル疲労割れ〔余熱除去系統配管、補助給水系統配管〕

1998年12月、大飯2号炉の余熱除去系統配管のドレン弁管台において、高サイクル疲労割れによる漏えいが発生している。この事象は配管取替に伴いドレン管の口径を変更したことにより、余熱除去ポンプと共振が発生し、ドレン弁管台溶接部に応力集中が発生したものである。

しかしながら、高浜4号炉においては、必要な部位について振動計測に基づく応力評価等を行い、健全性を確認している。

また、振動の状態は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(7) 温度計ウェルの高サイクル疲労割れ〔余熱除去系統配管〕

1995年12月、もんじゅの温度計ウェルで流体振動による高サイクル疲労割れが発生している。この事象はプラント運転中に内部流体の流れによる流体振動を受け、流れ方向（抗力方向）に共振が発生し、温度計ウェルの付け根部に応力集中が発生したものである。

しかしながら、高浜4号炉の温度計ウェルは、原子力安全・保安院指示文書「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の改正に伴う電気事業法に基づく定期事業者検査の実施について（平成17・12・22原院第6号 平成17年12月27日 NISA-163a-05-3）」に基づき「日本機械学会 配管内円柱状構造物の流力振動評価指針(JSME S 012-1998)」による評価を行い、問題とならないことを確認しており、同様な設計方針に基づき施設されているその他の箇所についても同様と考える。このような条件は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(8) 母管の内面からの応力腐食割れ [格納容器内部スプレイ系統配管 (苛性ソーダライン)]

格納容器内部スプレイ系統配管 (苛性ソーダライン) については、内部流体が苛性ソーダ溶液であることから応力腐食割れが想定される。

しかしながら、図2.2-1に示すように応力腐食割れ発生条件と比較して、苛性ソーダの濃度および使用温度が低いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

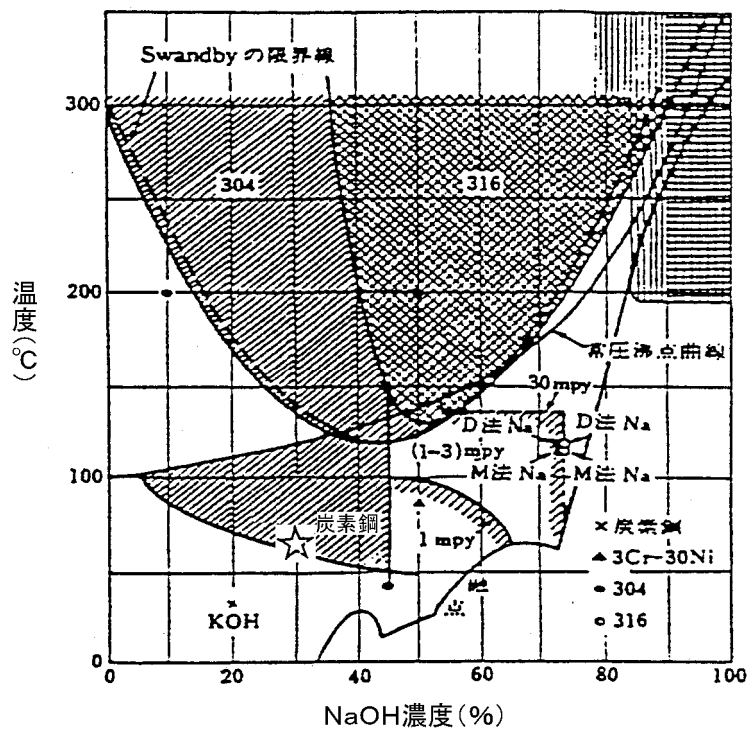


図2.2-1 SUS 304 / 316材のNaOH溶液中でのSCC感受性

[出典：大久保勝夫、徳永一弘：化学工学、40 (1976)]

(☆：よう素除去薬品タンクの使用環境：65℃、30%を出典文献に追記)

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットは分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-3(1/5) 高浜4号炉 余熱除去系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	母管		ステンレス鋼			○ △*1	△*2,3			△*4	*1：高サイクル熱疲労割れ（高低温水合流型、弁グランドリーク型） *2：外面からの応力腐食割れ *3：内面からの応力腐食割れ *4：溶接部の施工条件に起因する内面からの粒界割れ *5：高サイクル疲労割れ
	小口径管台		ステンレス鋼			▲*5					
	温度計ウェル		ステンレス鋼			▲*5					
	フランジボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-3(2/5) 高浜4号炉 主蒸気系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	母管		ステンレス鋼				△*1				*1:外面からの応力腐食割れ

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-3(3/5) 高浜4号炉 補助給水系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	母管		ステンレス鋼				△*1				*1:外面からの応力腐食割れ *2:高サイクル疲労割れ
	小口径管台		ステンレス鋼			▲*2					
	フランジボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-3(4/5) 高浜4号炉 計器用空気系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	母管		ステンレス鋼				△*1				*1:外面からの応力腐食割れ

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-3(5/5) 高浜4号炉 格納容器内部スプレイ系統配管（苛性ソーダライン）に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	母管		ステンレス鋼				△ ^{*1} ▲ ^{*2}				*1:外面からの応力腐食割れ *2:内面からの応力腐食割れ

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 母管の疲労割れ [余熱除去系統配管]

a. 事象の説明

プラントの起動・停止時等に熱過渡を繰返し受けるため、疲労が蓄積することになる。

b. 技術評価

① 健全性評価

余熱除去系統配管の評価対象部位としては、1次冷却材管高温側出口管台から原子炉格納容器貫通部までとした。

評価方法は、「日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007)」のクラス1管の評価基準を準用した。

また、使用環境を考慮した疲労について、「日本機械学会 環境疲労評価手法 (JSME S NF1-2009)」に基づき評価した。

疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。なお、運転期間延長認可申請に伴う評価として、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的*に設定した過渡回数とした。

*：評価条件として、2020年度以降の過渡発生頻度は実績の1.5倍以上を想定した。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

表2.3-1(1/2) 高浜4号炉 余熱除去系統配管の疲労評価に用いた過渡回数
(1次冷却材管高温側出口管台～余熱除去ポンプ入口第2隔離弁)

運転状態Ⅰ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度 末時点	運転開始後60年 時点での推定値
起動(温度上昇率55.6°C/h)	35	71
停止(温度下降率55.6°C/h)	34	71
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	308	800
負荷減少(負荷減少率5%/min)	298	790
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	4
定常負荷運転時の変動 ^{*1}	-	-
燃料交換	24	62
0%から15%への負荷上昇	35	66
15%から0%への負荷減少	25	55
1 ループ停止／1 ループ起動		
Ⅰ) 停止	0	2
Ⅱ) 起動	0	2

運転状態Ⅱ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度 末時点	運転開始後60年 時点での推定値
負荷の喪失	4	6
外部電源喪失	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	0	2
100%からの原子炉トリップ		
Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	3	6
Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2
Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	2
1次冷却系の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	0	2
タービン回転試験	3	3
1次系漏えい試験	31	65

*1: 設計評価においては、1次冷却材温度は±1.7°C、1次冷却材圧力は±0.34MPa (±3.5kg/cm²) の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

表2.3-1(2/2) 高浜4号炉 余熱除去系統配管の疲労評価に用いた過渡回数
(余熱除去ポンプ入口第2隔離弁～原子炉格納容器貫通部)

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度 末時点	運転開始後60年 時点での推定値
起動	35	71
停止	34	71
1次系漏えい試験	31	65

表2.3-2 高浜4号炉 余熱除去系統配管の疲労評価結果

評価対象部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値：1以下)	
	設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
余熱除去系統入口配管 「1次冷却材管高温側出口管台～ 余熱除去ポンプ入口第2隔離弁」 (ステンレス鋼)	0.001	0.020
余熱除去系統入口配管 「余熱除去ポンプ入口第2隔離弁～ 原子炉格納容器貫通部」 (ステンレス鋼)	0.004	0.026

② 現状保全

母管の疲労割れに対しては、定期的に溶接部の超音波探傷検査または浸透探傷検査を実施し、有意な欠陥がないことを確認している。また、定期的に漏えい検査を実施し、健全性を確認している。さらに、高経年化技術評価に合わせて実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、疲労割れ発生の可能性はないと考える。ただし、疲労評価は実績過渡回数に依存するため、今後も実績過渡回数を把握し評価する必要がある。

現在実施している溶接部の超音波探傷検査等は疲労割れを検知可能であり、また、割れが発生するとすれば応力の観点から溶接部であると判断されることから、点検手法として適切である。さらに、疲労割れによる機器の健全性への影響は、漏えい検査により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

母管の疲労割れについては、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認する。

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出に当たっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① 1次冷却系統配管
- ② 化学体積制御系統配管
- ③ 燃料ピット冷却系統配管
- ④ 1次系試料採取系統配管
- ⑤ 格納容器内部スプレイ系統配管
- ⑥ 安全注入系統配管
- ⑦ 燃料取替用水系統配管
- ⑧ 第6抽気系統配管
- ⑨ 第4抽気系統配管
- ⑩ 第3抽気系統配管
- ⑪ 第2抽気系統配管
- ⑫ 低温再熱蒸気系統配管
- ⑬ グランド蒸気系統配管
- ⑭ 補助蒸気系統配管
- ⑮ 第5抽気系統配管
- ⑯ 蒸気発生器ブローダウン系統配管
- ⑰ 復水系統配管
- ⑱ ドレン系統配管
- ⑲ 主給水系統配管
- ⑳ 1次系試料採取系統配管（空気）
- ㉑ 原子炉補機冷却水系統配管（空気）
- ㉒ 換気空調系統配管
- ㉓ タービンEHガバナ制御油系統配管
- ㉔ 気体廃棄物処理系統配管
- ㉕ 原子炉補機冷却水系統配管

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 母管の疲労割れ

[1次冷却系統配管、化学体積制御系統配管、1次系試料採取系統配管]

化学体積制御系統配管の抽出配管および充てん配管については、温度変化と溶接部の応力集中の影響を考慮しても疲労割れが発生する可能性は小さいと考える。

また、抽出配管および充てん配管については、定期的な浸透探傷検査により有意な割れの無いことを確認している。

1次系試料採取系統配管は、連続通水により温度変化の大きい熱過渡を受けないことから疲労割れが発生する可能性はなく、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

1次冷却系統配管のうち加圧器サージ配管および加圧器スプレイ配管においては以下のとおり、プラントの通常運転操作において熱成層の発生、消滅が生じ疲労評価上厳しくなる可能性がある。

・加圧器サージ配管

プラントの起動・停止時および通常運転時等において加圧器サージ流量が少ない場合、加圧器器内水温度と1次冷却材管内部流体温度の温度差に起因して加圧器サージ配管水平部に熱成層が発生する。熱成層が発生している状態から、加圧器サージ配管内にアウトサージまたはインサージの過渡が発生すると加圧器サージ配管内に温度差がなくなり、熱成層が消滅する。

・加圧器スプレイ配管

プラントの起動・停止時等において加圧器スプレイ弁の開閉操作に伴い、加圧器直上部および水平部配管において熱成層が発生、消滅する。加圧器スプレイ弁を閉じた状態ではスプレイ流量が少なく、加圧器スプレイ配管内に蒸気とスプレイ水による気液二相型の熱成層が発生し、加圧器スプレイ弁を開くと配管内は、スプレイ水で満たされるため熱成層が消滅する。

加圧器サージ配管および加圧器スプレイ配管の評価方法は、「日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007)」のクラス1管の評価基準を適用した。

また、使用環境を考慮した疲労について、「日本機械学会 環境疲労評価手法 (JSME S NF1-2009)」に基づき評価した。

疲労評価に用いた過渡回数を表3.1-1に示す。なお、運転期間延長認可申請に伴う評価として、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的*に設定した過渡回数とした。

*:評価条件として、2020年度以降の過渡発生頻度は実績の1.5倍以上を想定した。

評価結果を表3.1-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

母管の疲労割れに対しては、定期的に溶接部を対象とした超音波探傷検査を実施し、有意な欠陥のないことを確認するとともに漏えい検査により健全性を確認している。

したがって、母管の疲労割れについては、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認する。

表3.1-1 高浜4号炉 加圧器サージ配管および加圧器スプレイ配管の
疲労評価に用いた過渡回数

運転状態Ⅰ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度 末時点	運転開始後60年 時点での推定値
起動(温度上昇率55.6°C/h)	35	71
停止(温度下降率55.6°C/h)	34	71
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	308	800
負荷減少(負荷減少率5%/min)	298	790
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	4
定常負荷運転時の変動 ^{*1}	-	-
燃料交換	24	62
0%から15%への負荷上昇	35	66
15%から0%への負荷減少	25	55
1 ループ停止 / 1 ループ起動		
Ⅰ) 停止	0	2
Ⅱ) 起動	0	2

運転状態Ⅱ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度 末時点	運転開始後60年 時点での推定値
負荷の喪失	4	6
外部電源喪失	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	0	2
100%からの原子炉トリップ		
Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	3	6
Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2
Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴う トリップ	0	2
1次冷却系の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	0	2
タービン回転試験	3	3
1次系漏えい試験	31	65

*1：設計評価においては、1次冷却材温度は±1.7°C、1次冷却材圧力は±0.34MPa、
(±3.5kg/cm²)の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数
への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動
は生じていない。

表3.1-2 高浜4号炉 1次冷却系統配管の疲労評価結果

機器	評価対象部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値：1以下)	
		設計・建設規格による解析	環境疲労評価手法による解析
1次冷却系統配管	加圧器サージ配管 (ステンレス鋼)	0.007	0.004 ^{*1}
	加圧器スプレイ配管 (ステンレス鋼)	0.011	0.503 ^{*1}

*1 熱成層による発生応力を含めた解析結果

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

3.2.1 ヒートトレースの断線〔化学体積制御系統配管、安全注入系統配管〕

ヒートトレースは、ほう酸水の温度を維持するために設けており、劣化による局部過熱を生じて導体が熔融し断線に至ることが想定される。

しかしながら、化学体積制御系統配管および安全注入系統配管については、ほう酸水温度の連続監視を行っており、断線が生じた場合には検知し、2トレンのうち健全側に切替えた後、補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.2 母管の腐食（エロージョン）〔ドレン系統配管〕

蒸気、凝縮水が流れる配管では、高減圧部で流速が大きくなるため、エロージョンにより減肉が想定される。

エロージョンによる減肉は、個々の肉厚測定結果による進展評価以外に正確に定量的な評価を行うことは困難である。

しかしながら、「2次系配管肉厚の管理指針*」に基づき、超音波を用いた肉厚測定を実施し、減肉の管理を実施することにより機能を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

*：「原子力設備2次系配管肉厚の管理指針（PWR）」（平成2年5月）に従い、社内管理方法を定めたもの。

3.2.3 母管の外表面からの応力腐食割れ [共通]

配管外面に大気中の海塩粒子等の塩分が付着した場合、塩化物イオンにより応力腐食割れが想定される。

しかしながら、塩分の付着の可能性のある配管については付着塩分濃度を測定し、健全性を確認している。

また、巡視点検等で目視により保温材の状態を確認し必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

また、塩化ビニールテープの熱分解により生じた塩化物イオンにより応力腐食割れが想定される。

しかしながら、配管外表面の残存テープ有無について目視確認およびテープ痕部の浸透探傷検査を実施し、健全性を確認している。これらの点検は既に完了しており、今後、塩化ビニールテープの熱分解による外表面からの応力腐食割れ発生の可能性はないと考える。

3.2.4 母管の高サイクル熱疲労割れ [1次冷却系統配管]

1次冷却系統配管のうち、加圧器補助スプレイラインにおいては、止め弁がシートリークした場合、逆止弁を通じて低温水が1次冷却系統配管へ流入するため、弁シートリーク型熱成層による、高サイクル熱疲労割れが想定される。

しかしながら、国内プラントにおける隔離弁の分解点検実績を基に保守的なシートリーク量を仮定しても熱成層の変動による影響は小さく、問題ないことを確認した。さらに、隔離弁の分解点検により、弁シートリークの発生を防止することで、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.5 母管の内面からの応力腐食割れ [1次冷却系統配管、化学体積制御系統配管、安全注入系統配管]

1996年5月、米国セコイヤ(Sequoyah)発電所2号炉で、1次系水質環境下においても局所的に溶存酸素濃度が高くなる等の理由で内面からの応力腐食割れによる漏えいが発生していることから、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、高温かつ溶存酸素濃度が高くなる可能性のある範囲の溶接部については、耐応力腐食割れ性に優れたSUS316系材料を使用している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、溶接部を対象とした超音波探傷検査または漏えい検査により機器の健全性を確認している。

3.2.6 溶接部の施工条件に起因する母管の内面からの粒界割れ[1次冷却系統配管、安全注入系統配管]

2020年8月、大飯3号炉において、加圧器スプレイ配管の1次冷却材管管台との溶接部近傍内面に亀裂が確認されている。調査の結果、「過大な溶接入熱」と「形状による影響」が重畳したことで表層近傍において特異な硬化が生じ、この特異な硬化が亀裂の発生に寄与したと推定された。亀裂は溶接熱影響部で粒界に沿って進展しており、粒界型応力腐食割れで進展したものと判断している。

一方、国内外のPWRプラントにおいて類似の事例は確認されておらず、当社の原子力プラントにおいて同様の事象発生の可能性があるとは推定された部位全てに対し追加検査が行われたが、亀裂は認められていない。これらの状況から、亀裂の発生は「過大な溶接入熱」と「形状による影響」が重畳した特異な事象と判断され、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、大飯3号炉で発生した事象は特異であるが、メカニズムが全て明らかになっていないことから、高浜4号炉で類似性の高い箇所に対しては第26回定期検査までの間、毎回検査を実施することとしている。また、第27回定期検査以降については、今後の知見拡充結果を踏まえて、対象・頻度を検討し供用期間中検査計画に反映を行う。

3.2.7 フランジボルトの腐食（全面腐食） [1次冷却系統配管、化学体積制御系統配管、燃料ピット冷却系統配管、1次系試料採取系統配管、格納容器内部スプレイ系統配管、安全注入系統配管、燃料取替用水系統配管、低温再熱蒸気系統配管、グラウンド蒸気系統、補助蒸気系統配管、復水系統配管、ドレン系統配管、主給水系統配管、タービンEHガバナ制御油系統配管]

フランジボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時等の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.8 再生熱交換器胴側出口配管の高サイクル熱疲労割れ [化学体積制御系統配管]

2003年9月、泊2号炉の再生熱交換器胴側出口配管で高サイクル熱疲労による疲労割れが発生しているが、この事象は内筒付再生熱交換器特有のものである。高浜4号炉の再生熱交換器には内筒がなく、高温水と低温水の合流部が想定されないことから、疲労割れ発生の可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、溶接部を対象とした超音波探傷検査により、機器の健全性を確認している。

2.2.3 2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

3.2.9 小口径管台の高サイクル疲労割れ [1次冷却系統配管、化学体積制御系統配管、格納容器内部スプレイ系統配管、安全注入系統配管、グランド蒸気系統、主給水系統配管]

1998年12月、大飯2号炉の余熱除去系統配管のドレン弁管台において、高サイクル疲労割れによる漏えいが発生している。この事象は配管取替に伴いドレン管の口径を変更したことにより、余熱除去ポンプと共振が発生し、ドレン弁管台溶接部に応力集中が発生したものである。

しかしながら、高浜4号炉においては、必要な部位について振動計測に基づく応力評価等を行い、健全性を確認している。

また、振動の状態は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.10 温度計ウェルの高サイクル疲労割れ [1次冷却系統配管、化学体積制御系統配管、1次系試料採取系統配管、第6抽気系統配管、第2抽気系統配管、低温再熱蒸気系統配管、補助蒸気系統配管、復水系統配管、ドレン系統配管]

1995年12月、もんじゅの温度計ウェルで流体振動による高サイクル疲労割れが発生している。この事象はプラント運転中に内部流体の流れによる流体振動を受け、流れ方向（抗力方向）に共振が発生し、温度計ウェルの付け根部に応力集中が発生したものである。

しかしながら、高浜4号炉の温度計ウェルは、原子力安全・保安院指示文書「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の改正に伴う電気事業法に基づく定期事業者検査の実施について（平成17・12・22原院第6号 平成17年12月27日 NISA-163a-05-3）」に基づき「日本機械学会 配管内円柱状構造物の流力振動評価指針(JSME S 012-1998)」による評価を行い、問題とならないことを確認しており、同様な設計方針に基づき施設されているその他の箇所についても同様と考える。このような条件は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2 低合金鋼配管

[対象機器]

- ① グランド蒸気系統配管
- ② 主蒸気系統配管
- ③ 主給水系統配管
- ④ ドレン系統配管

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料および使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	7
3. 代表機器以外への展開	12
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	12

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されている低合金鋼配管の主な仕様を表1-1に示す。

これらの配管を内部流体の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す低合金鋼配管について、内部流体を分離基準として考えると、合計2つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 内部流体：蒸気

このグループにはグラウンド蒸気系統配管および主蒸気系統配管が属するが、重要度が高い主蒸気系統配管を代表機器とする。

(2) 内部流体：給水

このグループには主給水系統配管およびドレン系統配管が属するが、最高使用圧力が高い主給水系統配管を代表機器とする。

表 1-1 高浜 4 号炉 低合金鋼配管の主な仕様

分離基準	名称	選定基準				代表機器の選定		
		重要度*1	使用条件			代表機器	選定理由	
			設置場所	運転状態	最高使用圧力 (MPa [gage])			最高使用温度 (°C)
内部流体	蒸気	高*2	屋内	連続	約 3.9	約 255	◎	重要度
	主蒸気系統配管	MS-1、重*3		連続	約 7.5	約 291		
給水	主給水系統配管	高*2	屋内	連続	約 10.2	約 235	◎	圧力
	ドレン系統配管	高*2		連続	約 3.1	約 235		

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が 95°C を超え、または最高使用圧力が 1900kPa を超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス 3 の機器。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の2種類の配管について技術評価を実施する。

- ① 主蒸気系統配管
- ② 主給水系統配管

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 主蒸気系統配管

(1) 構造

高浜4号炉の主蒸気系統配管の母管の一部には低合金鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の主蒸気系統配管の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

表2.1-1 高浜4号炉 主蒸気系統配管主要部位の使用材料

部位	材料
母管	低合金鋼

表2.1-2 高浜4号炉 主蒸気系統配管の使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa[gage]
最高使用温度	約291℃
内部流体	蒸気

2.1.2 主給水系統配管

(1) 構造

高浜4号炉の主給水系統配管の母管の一部には低合金鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の主給水系統配管の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。

表2.1-3 高浜4号炉 主給水系統配管主要部位の使用材料

部位	材料
母管	低合金鋼
小口径管台	低合金鋼
温度計ウェル	ステンレス鋼
フランジボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-4 高浜4号炉 主給水系統配管の使用条件

最高使用圧力	約10.2MPa[gage]
最高使用温度	約235℃
内部流体	給水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

低合金鋼配管の機能である内部流体の流路形成機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① バウンダリの維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

低合金鋼配管について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 母管の外面からの腐食（全面腐食）〔共通〕

低合金鋼配管は、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等を施しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) フランジボルトの腐食（全面腐食）〔主給水系統配管〕

フランジボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(3) 母管の疲労割れ〔主給水系統配管〕

プラントの起動・停止時に発生する内部流体の温度、圧力の変化により、疲労割れが想定される。

しかしながら、プラントの起動時等に冷水が注入される炭素鋼配管の疲労評価結果では許容値に対して十分余裕があり、同等以下の過渡しか受けない低合金鋼配管については、疲労割れが発生する可能性はないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) 小口径管台の高サイクル疲労割れ〔主給水系統配管〕

1998年12月、大飯2号炉の余熱除去系統配管のドレン弁管台において、高サイクル疲労割れによる漏えいが発生している。この事象は配管取替に伴いドレン管の口径を変更したことにより、余熱除去ポンプと共振が発生し、ドレン弁管台溶接部に応力集中が発生したものである。

しかしながら、高浜4号炉においては、必要な部位について振動計測に基づく応力評価等を行い、健全性を確認している。

また、振動の状態は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) 温度計ウェルの高サイクル疲労割れ [主給水系統配管]

1995年12月、もんじゅの温度計ウェルで流体振動による高サイクル疲労割れが発生している。この事象はプラント運転中に内部流体の流れによる流体振動を受け、流れ方向（抗力方向）に共振が発生し、温度計ウェルの付け根部に応力集中が発生したものである。

しかしながら、高浜4号炉の温度計ウェルは、原子力安全・保安院指示文書「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の改正に伴う電気事業法に基づく定期事業者検査の実施について（平成17・12・22原院第6号 平成17年12月27日 NISA-163a-05-3）」に基づき「日本機械学会 配管内円柱状構造物の流力振動評価指針(JSME S 012-1998)」による評価を行い、問題としないことを確認しており、同様な設計方針に基づき施設されているその他の箇所についても同様と考える。このような条件は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットは分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2. 2-1(1/2) 高浜4号炉 主蒸気系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	母管		低合金鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2. 2-1 (2/2) 高浜 4 号炉 主給水系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	母管		低合金鋼		△	▲					*1：高サイクル疲労割れ
	小口径管台		低合金鋼			▲*1					
	温度計ウェル		ステンレス鋼			▲*1					
	フランジボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出に当たっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① グランド蒸気系統配管
- ② ドレン系統配管

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

3.1.1 母管の腐食（エロージョン） [ドレン系統配管]

蒸気、凝縮水が流れる配管では、高減圧部で流速が大きくなるため、エロージョンにより減肉が想定される。

エロージョンによる減肉は、個々の肉厚測定結果による進展評価以外に正確に定量的な評価を行うことは困難である。

しかしながら、「2次系配管肉厚の管理指針*」に基づき、超音波を用いた肉厚測定を実施し、減肉の管理を実施することにより機能を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

*：「原子力設備2次系配管肉厚の管理指針（PWR）」（平成2年5月）に従い、社内管理方法を定めたもの。

3.1.2 母管の外表面からの腐食（全面腐食） [共通]

低合金鋼配管は、外表面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等を施しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.3 フランジボルトの腐食 [共通]

フランジボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

2.2.3 2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

3.1.4 小口径管台の高サイクル疲労割れ [グラウンド蒸気系統配管]

1998年12月、大飯2号炉の余熱除去系統配管のドレン弁管台において、高サイクル疲労割れによる漏えいが発生している。この事象は配管取替に伴いドレン管の口径を変更したことにより、余熱除去ポンプと共振が発生し、ドレン弁管台溶接部に応力集中が発生したものである。

しかしながら、高浜4号炉においては、必要な部位について振動計測に基づく応力評価等を行い、健全性を確認している。

また、振動の状態は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3 炭素鋼配管

[対象機器]

- ① 第6抽気系統配管
- ② 第4抽気系統配管
- ③ 第3抽気系統配管
- ④ 低温再熱蒸気系統配管
- ⑤ グランド蒸気系統配管
- ⑥ 主蒸気系統配管
- ⑦ 高温再熱蒸気系統配管
- ⑧ 補助蒸気系統配管
- ⑨ 補助給水系統配管
- ⑩ 復水系統配管
- ⑪ 蒸気発生器ブローダウン系統配管
- ⑫ 主給水系統配管
- ⑬ ドレン系統配管
- ⑭ 原子炉補機冷却水系統配管
- ⑮ タービン潤滑油系統配管
- ⑯ 計器用空気系統配管
- ⑰ 原子炉補機冷却水系統配管（空気）
- ⑱ 気体廃棄物処理系統配管
- ⑲ 海水系統配管

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	4
2.1 構造、材料および使用条件	4
2.2 経年劣化事象の抽出	14
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	24
3. 代表機器以外への展開	27
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	28

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜 4 号炉で使用されている炭素鋼配管の主な仕様を表1-1に示す。

これらの配管を内部流体の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す炭素鋼配管について、内部流体を分離基準として考えると、合計 5 つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 内部流体：蒸気

このグループには第 6 抽気系統配管、第 4 抽気系統配管、第 3 抽気系統配管、低温再熱蒸気系統配管、グラウンド蒸気系統配管、主蒸気系統配管、高温再熱蒸気系統配管および補助蒸気系統配管が属するが、重要度が高く、設置場所が屋内外の主蒸気系統配管を代表機器とする。

(2) 内部流体：給水

このグループには補助給水系統配管、復水系統配管、蒸気発生器ブローダウン系統配管、主給水系統配管およびドレン系統配管が属するが、重要度が高く、環境条件が経年劣化評価上厳しくなる可能性のある主給水系統配管を代表機器とする。

(3) 内部流体：ヒドラジン水または油

このグループには原子炉補機冷却水系統配管およびタービン潤滑油系統配管が属するが、重要度が高い原子炉補機冷却水系統配管を代表機器とする。

(4) 内部流体：空気または希ガス等

このグループには計器用空気系統配管、原子炉補機冷却水系統配管（空気）および気体廃棄物処理系統配管が属するが、重要度が高い計器用空気系統配管を代表機器とする。

(5) 内部流体：海水

このグループには海水系統配管のみが属するため、海水系統配管を代表機器とする。

表1-1 (1/2) 高浜4号炉 炭素鋼配管の主な仕様

分離基準	名称	選定基準					代表機器の選定	
		重要度*1	使用条件			代表機器	選定理由	
内部流体	設置場所		運転状態	最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)			
蒸気	第6抽気系統配管	高*2	屋内	連続	約2.7	約235	◎	重要度、設置場所
	第4抽気系統配管	高*2		連続	約0.5	約217		
	第3抽気系統配管	高*2		連続	約0.2	約165		
	低温再熱蒸気系統配管	高*2		連続	約1.4	約200		
	グラウンド蒸気系統配管	高*2		連続	約7.5	約291		
	主蒸気系統配管	MS-1、重*3	屋内外	連続	約7.5	約291		
	高温再熱蒸気系統配管	高*2		連続	約1.4	約291		
	補助蒸気系統配管	高*2		連続	約7.5	約291		
給水	補助給水系統配管	MS-1、重*3	屋内	一時	約12.3	約235	◎	重要度、環境条件*4
	復水系統配管	高*2		連続	約4.1	約200		
	蒸気発生器ブローダウン系統配管	MS-1、重*3		連続	約7.5	約291		
	主給水系統配管	MS-1、重*3	屋内外	連続	約10.2	約235		
	ドレン系統配管	高*2		連続	約7.5	約291		

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

*4：主給水系統配管は、環境条件（プラントの起動・停止時に内部流体の温度、圧力の変化の影響を受ける）により経年劣化評価上厳しくなる可能性があるかと判断した。

表1-1 (2/2) 高浜4号炉 炭素鋼配管の主な仕様

分離基準	名称	選定基準					代表機器の選定	
		重要度*1	使用条件			代表機器	選定理由	
内部流体	設置場所		運転状態	最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)			
ヒドラジン水	原子炉補機冷却水系統配管	MS-1、重*2	屋内外	連続	約1.2	約132	◎	重要度
油	タービン潤滑油系統配管	高*3	屋内	連続	約2.2	約 80		
空気	計器用空気系統配管	MS-1、重*2	屋内	連続	約0.8	約132	◎	重要度
	原子炉補機冷却水系統配管 (空気)	重*2		連続	約0.3	約 95		
希ガス等	気体廃棄物処理系統配管	PS-2		連続	約1.0	約 95		
海水	海水系統配管	MS-1、重*2	屋内外	連続	約0.7	約 50	◎	

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

*3：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の5種類の配管について技術評価を実施する。

- ① 主蒸気系統配管
- ② 主給水系統配管
- ③ 原子炉補機冷却水系統配管
- ④ 計器用空気系統配管
- ⑤ 海水系統配管

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 主蒸気系統配管

(1) 構造

高浜4号炉の主蒸気系統配管は、母管には主に炭素鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の主蒸気系統配管の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

表2.1-1 高浜4号炉 主蒸気系統配管主要部位の使用材料

部位	材料
母管	炭素鋼
小口径管台	炭素鋼
温度計ウェル	ステンレス鋼
サンプルノズル	ステンレス鋼
フランジボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-2 高浜4号炉 主蒸気系統配管の使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa [gage]
最高使用温度	約291℃
内部流体	蒸気

2.1.2 主給水系統配管

(1) 構造

高浜4号炉の主給水系統配管は、母管には主に炭素鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の主給水系統配管の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。

表2.1-3 高浜4号炉 主給水系統配管主要部位の使用材料

部位	材料
母管	炭素鋼
小口径管台	炭素鋼
温度計ウェル	ステンレス鋼
サンプルノズル	ステンレス鋼
フランジボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-4 高浜4号炉 主給水系統配管の使用条件

最高使用圧力	約10.2MPa[gage]
最高使用温度	約235℃
内部流体	給水

2.1.3 原子炉補機冷却水系統配管

(1) 構造

高浜4号炉の原子炉補機冷却水系統配管は、母管には主に炭素鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の原子炉補機冷却水系統配管の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。

表2.1-5 高浜4号炉 原子炉補機冷却水系統配管主要部位の使用材料

部位	材料
母管	炭素鋼
小口径管台	炭素鋼
温度計ウェル	ステンレス鋼
フランジボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-6 高浜4号炉 原子炉補機冷却水系統配管の使用条件

最高使用圧力	約1.2MPa[gage]
最高使用温度	約132℃
内部流体	ヒドラジン水

2.1.4 計器用空気系統配管

(1) 構造

高浜4号炉の計器用空気系統配管は、母管の一部に炭素鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の計器用空気系統配管の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。

表2.1-7 高浜4号炉 計器用空気系統配管主要部位の使用材料

部位	材料
母管	炭素鋼

表2.1-8 高浜4号炉 計器用空気系統配管の使用条件

最高使用圧力	約0.8MPa[gage]
最高使用温度	約132℃
内部流体	空気

2.1.5 海水系統配管

(1) 構造

高浜4号炉の海水系統配管は、母管に海水が接液するためライニング施工した炭素鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の海水系統配管の使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。

表2.1-9 高浜4号炉 海水系統配管主要部位の使用材料

部位	材料
母管	炭素鋼＋ライニング
小口径管台	炭素鋼＋ライニング
温度計ウェル	銅合金
フランジボルト	炭素鋼、低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-10 高浜4号炉 海水系統配管の使用条件

最高使用圧力	約0.7MPa [gage]
最高使用温度	約50℃
内部流体	海水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

炭素鋼配管の機能である内部流体の流路形成機能を維持するためには、次の項目が必要である。

① バウンダリの維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

炭素鋼配管個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 母管の疲労割れ〔主給水系統配管〕

プラントの起動時等に発生する内部流体の温度、圧力の変化により、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 母管の腐食（流れ加速型腐食）〔主蒸気系統配管、主給水系統配管〕

高温水または2相流体を内包する炭素鋼配管では、エルボ部、分岐部、レジューサ部等の流れの乱れが起きる箇所では流れ加速型腐食により減肉が発生する可能性がある。

流れ加速型腐食による減肉は、流速、水質、温度、当該部の形状等の使用条件から発生する可能性は推定できるものの、個々の肉厚測定結果による進展評価以外に正確に定量的な評価を行うことは困難であるため、配管の減肉管理については減肉の可能性のある箇所の肉厚測定を行い、減肉の有無、減肉率を判断し、寿命評価を実施することとしている。

配管減肉に対しては、減肉発生の知見、調査結果に基づき作成した「原子力設備2次系配管肉厚の管理指針（PWR）」（1990年5月）により、減肉の点検対象として主要点検部位（「日本機械学会 加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NG1-2006）」に定められた偏流発生部位および下流範囲を含む部位）およびその他部位（主要点検部位以外の部位）について管理対象とし、超音波による肉厚測定を行いデータの蓄積を図ってきた。

また、美浜3号炉2次系配管破損事故（2004年8月）以降は、原子力安全・保安院指示文書「原子力発電工作物の保安のための点検、検査等に関する電気事業法施行規則の規定の解釈（内規）の制定について」（平成20・12・22原院第4号 NISA-163c-08-5）や日本機械学会の規格（加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NG1-2006およびJSME S NG1-2016））に定められた内容に従い、対象系統および部位や実施時期等の考え方を「2次系配管肉厚の管理指針*」に反映し、これに基づき配管減肉の管理を実施している。

現状保全として、「2次系配管肉厚の管理指針*」に基づき、超音波を用いた肉厚測定を実施し、減肉の管理を行っており、さらに運転開始後30年を越えるプラントについては、点検対象部位の点検済み箇所について3定検以内に全数の再度点検を実施すること、余寿命が10年未満の箇所については定検毎に点検することとしている。3定検以内の全数再度点検については、第22回定期検査時(2019年度)に主要点検部位およびその他部位の全ての管理対象箇所について点検を完了した。また、肉厚測定およびデータの管理にあたっては、検査装置から計測結果をパソコンに取り込み、データベース化し管理している。

したがって、機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

*：「原子力設備2次系配管肉厚の管理指針(PWR)」(1990年5月)に従い、社内管理方法を定めたもの。

(2) 母管の内面からの腐食(全面腐食) [海水系統配管]

海水系統配管には海水が接するため、内部にライニングを施工しているが、ライニングのはく離等により海水が接した場合は、内面からの腐食が想定される。

しかしながら、ライニング点検(目視確認またはピンホール検査)を実施し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 母管の外表面からの腐食(全面腐食) [共通]

炭素鋼配管は、外表面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等を施しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (4) 母管の内面からの腐食（全面腐食）〔原子炉補機冷却水系統配管、計器用空気系統配管〕

原子炉補機冷却水系統配管および計器用空気系統配管は炭素鋼配管であり、内面からの腐食が想定される。

しかしながら、原子炉補機冷却水系統配管は内部流体がヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、計器用空気系統配管は内部流体が乾燥した空気であるため腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、系統機器の内面の状況を目視により確認し、機器の健全性を確認している。

- (5) フランジボルトの腐食（全面腐食）〔主蒸気系統配管、主給水系統配管、原子炉補機冷却水系統配管、海水系統配管〕

フランジボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

- (6) 小口径管台の高サイクル疲労割れ〔主蒸気系統配管、主給水系統配管、原子炉補機冷却水系統配管、海水系統配管〕

1998年12月、大飯2号炉の余熱除去系統配管のドレン弁管台において、高サイクル疲労割れによる漏えいが発生している。この事象は配管取替に伴いドレン管の口径を変更したことにより、余熱除去ポンプと共振が発生し、ドレン弁管台溶接部に応力集中が発生したものである。

しかしながら、高浜4号炉においては、必要な部位について振動計測に基づく応力評価等を行い、健全性を確認している。

振動の状態は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (7) 温度計ウェルおよびサンプルノズルの高サイクル疲労割れ〔主蒸気系統配管、主給水系統配管、原子炉補機冷却水系統配管、海水系統配管〕

1995年12月、もんじゅの温度計ウェルで流体振動による高サイクル疲労割れが発生している。この事象はプラント運転中に内部流体の流れによる流体振動を受け、流れ方向（抗力方向）に共振が発生し、温度計ウェルの付け根部に応力集中が発生したものである。

しかしながら、高浜4号炉の温度計ウェルおよびサンプルノズルは、原子力安全・保安院指示文書「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の改正に伴う電気事業法に基づく定期事業者検査の実施について（平成17・12・22原院第6号 平成17年12月27日 NISA-163a-05-3）」に基づき「日本機械学会 配管内円柱状構造物の流力振動評価指針(JSME S 012-1998)」による評価を行い、問題とならないことを確認しており、同様な設計方針に基づき施設されているその他の箇所についても同様と考える。このような条件は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガasketは分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/5) 高浜4号炉 主蒸気系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	母管		炭素鋼		△*1,2					*1：流れ加速型腐食 *2：外面からの腐食 *3：高サイクル疲労割れ	
	小口径管台		炭素鋼			▲*3					
	温度計ウェル		ステンレス鋼			▲*3					
	サンプルノズル		ステンレス鋼			▲*3					
	フランジボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(2/5) 高浜4号炉 主給水系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	母管		炭素鋼		△ ^{*1,2}	○				*1：流れ加速型腐食 *2：外面からの腐食 *3：高サイクル疲労割れ	
	小口径管台		炭素鋼			▲ ^{*3}					
	温度計ウェル		ステンレス鋼			▲ ^{*3}					
	サンプルノズル		ステンレス鋼			▲ ^{*3}					
	フランジボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(3/5) 高浜4号炉 原子炉補機冷却水系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	母管		炭素鋼		△*1,2						*1：外面からの腐食 *2：内面からの腐食 *3：高サイクル疲労割れ
	小口径管台		炭素鋼			▲*3					
	温度計ウェル		ステンレス鋼			▲*3					
	フランジボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(4/5) 高浜4号炉 計器用空気系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	母管		炭素鋼		△*1,2					*1：外面からの腐食 *2：内面からの腐食	

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(5/5) 高浜4号炉 海水系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	母管		炭素鋼 (ライニング)		△ ^{*1,2}					*1: 外面からの腐食 *2: 内面からの腐食 *3: 高サイクル疲労割れ	
	小口径管台		炭素鋼 (ライニング)			▲ ^{*3}					
	温度計ウェル		銅合金			▲ ^{*3}					
	フランジボルト		炭素鋼 低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 母管の疲労割れ〔主給水系統配管〕

a. 事象の説明

プラントの起動・停止時等に熱過渡を繰返し受けるため、疲労が蓄積することになる。

b. 技術評価

① 健全性評価

評価対象部位としては、原子炉格納容器貫通部から蒸気発生器給水管台までとした。

評価方法は、「日本機械学会 設計・建設規格（JSME S NC1-2005/2007）」のクラス1管の評価基準を準用した。

また、使用環境を考慮した疲労について、「日本機械学会 環境疲労評価手法（JSME S NF1-2009）」に基づき評価した。

疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。なお、運転期間延長認可申請に伴う評価として、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的*に設定した過渡回数とした。

*：評価条件として、2020年度以降の過渡発生頻度は実績の1.5倍以上を想定した。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

表2.3-1 高浜4号炉 主給水系統配管の疲労評価に用いた過渡回数

運転状態 I

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度 末時点	運転開始後60年 時点での推定値
起動(温度上昇率 55.6℃/h)	35	71
停止(温度下降率 55.6℃/h)	34	71
負荷上昇(負荷上昇率 5%/min)	308	800
負荷減少(負荷減少率 5%/min)	298	790
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	4
定常負荷運転時の変動 ^{*1}	-	-
燃料交換	24	62
0%から15%への負荷上昇	35	66
15%から0%への負荷減少	25	55
1 ループ停止 / 1 ループ起動		
Ⅰ) 停止	0	2
Ⅱ) 起動	0	2

運転状態 II

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度 末時点	運転開始後60年 時点での推定値
負荷の喪失	4	6
外部電源喪失	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	0	2
100%からの原子炉トリップ		
Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	3	6
Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2
Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴う トリップ	0	2
1次冷却系の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	0	2
タービン回転試験	3	3
2次系漏えい試験 ^{*2}	31	65

*1：設計評価においては、1次冷却材温度は±1.7℃、1次冷却材圧力は±0.34MPa (±3.5kg/cm²) の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

*2：1次系漏えい試験と同じ回数とした。

表2.3-2 高浜4号炉 主給水系統配管の疲労評価結果

評価対象部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値：1以下)	
	設計・建設規格による解析	環境疲労評価手法による解析
主給水系統配管 (原子炉格納容器貫通部～ 蒸気発生器給水管台) (炭素鋼)	0.016	0.075

② 現状保全

母管の疲労割れに対しては、定期的に漏えい検査を実施し、健全性を確認している。さらに、高経年化技術評価に合わせて実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、疲労割れの発生の可能性はないと考える。ただし、疲労評価は実績過渡回数に依存するため、今後も実績過渡回数を把握し評価する必要がある。

また、疲労割れによる機器の健全性への影響は、漏えい検査により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

母管の疲労割れについては、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認する。

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① 第6 抽気系統配管
- ② 第4 抽気系統配管
- ③ 第3 抽気系統配管
- ④ 低温再熱蒸気系統配管
- ⑤ グランド蒸気系統配管
- ⑥ 高温再熱蒸気系統配管
- ⑦ 補助蒸気系統配管
- ⑧ 補助給水系統配管
- ⑨ 復水系統配管
- ⑩ 蒸気発生器ブローダウン系統配管
- ⑪ ドレン系統配管
- ⑫ タービン潤滑油系統配管
- ⑬ 原子炉補機冷却水系統配管（空気）
- ⑭ 気体廃棄物処理系統配管

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

3.1.1 母管の腐食（流れ加速型腐食）〔第6抽気系統配管、第4抽気系統配管、第3抽気系統配管、低温再熱蒸気系統配管、グラウンド蒸気系統配管、高温再熱蒸気系統配管、補助蒸気系統配管、復水系統配管、蒸気発生器ブローダウン系統配管、ドレン系統配管〕

高温水または2相流体を内包する炭素鋼配管では、エルボ部、分岐部、レギュレーサ部等の流れの乱れが起きる箇所では流れ加速型腐食により減肉が想定される。

流れ加速型腐食による減肉は、流速、水質、温度、当該部の形状等の使用条件から発生する可能性は推定できるものの、個々の肉厚測定結果による進展評価以外に正確に定量的な評価を行うことは困難である。

しかしながら、「2次系配管肉厚の管理指針*」に基づき、超音波を用いた肉厚測定を実施し、減肉の管理を実施することにより機能を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

*：「原子力設備2次系配管肉厚の管理指針（PWR）」（1990年5月）に従い、社内管理方法を定めたもの。

3.1.2 母管の腐食（エロージョン）〔グラウンド蒸気系統配管、補助蒸気系統配管、ドレン系統配管〕

蒸気、凝縮水が流れる配管では、高減圧部で流速が大きくなるため、エロージョンにより減肉が想定される。

エロージョンによる減肉は、個々の肉厚測定結果による進展評価以外に正確に定量的な評価を行うことは困難である。

しかしながら、「2次系配管肉厚の管理指針*」に基づき、超音波を用いた肉厚測定を実施し、減肉の管理を実施することにより機能を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

*：「原子力設備2次系配管肉厚の管理指針（PWR）」（1990年5月）に従い、社内管理方法を定めたもの。

3.1.3 母管の外側からの腐食（全面腐食）〔共通〕

炭素鋼配管は、外側からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等を施しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.4 母管の内側からの腐食（全面腐食）〔補助給水系統配管、気体廃棄物処理系統配管〕

補助給水系統配管については、通常運転時使用されていない閉塞滞留部となるような部位では、通常の水質管理が困難となり、内側からの腐食が想定される。

また、気体廃棄物処理系統配管については、内部流体に水分等も含まれていることから、長期使用により内側からの腐食が想定される。

しかしながら、系統の弁の分解点検時にあわせて配管の内側を目視確認することで、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.5 母管の内側からの腐食（全面腐食）〔タービン潤滑油系統配管、原子炉補機冷却水系統配管（空気）〕

炭素鋼配管であり腐食が想定される。

しかしながら、内部流体がタービン潤滑油系統配管は油、原子炉補機冷却水系統配管（空気）は空気であり、腐食が発生しがたい環境にある。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、系統機器の内側の状況を目視により確認し、機器の健全性を確認している。

3.1.6 フランジボルトの腐食（全面腐食）〔グラウンド蒸気系統配管、高温再熱蒸気系統配管、補助蒸気系統配管、補助給水系統配管、復水系統配管、ドレン系統配管、気体廃棄物処理系統配管、タービン潤滑油系統配管〕

フランジボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

2.2.3 2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

3.1.7 小口径管台の高サイクル疲労割れ〔低温再熱蒸気系統配管、グラウンド蒸気系統配管、補助蒸気系統配管、補助給水系統配管、復水系統配管、ドレン系統配管、タービン潤滑油系統配管〕

1998年12月、大飯2号炉の余熱除去系統配管のドレン弁管台において、高サイクル疲労割れによる漏えいが発生している。この事象は配管取替に伴いドレン管の口径を変更したことにより、余熱除去ポンプと共振が発生し、ドレン弁管台溶接部に応力集中が発生したものである。

しかしながら、高浜4号炉においては、必要な部位について振動計測に基づく応力評価等を行い、健全性を確認している。

また、振動の状態は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.8 温度計ウェルの高サイクル疲労割れ [第4抽気系統配管、第3抽気系統配管、グランド蒸気系統配管、高温再熱蒸気系統配管、補助蒸気系統配管、復水系統配管、ドレン系統配管]

1995年12月、もんじゅの温度計ウェルで流体振動による高サイクル疲労割れが発生している。この事象はプラント運転中に内部流体の流れによる流体振動を受け、流れ方向（抗力方向）に共振が発生し、温度計ウェルの付け根部に応力集中が発生したものである。

しかしながら、高浜4号炉の温度計ウェルは、原子力安全・保安院指示文書「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の改正に伴う電気事業法に基づく定期事業者検査の実施について（平成17・12・22原院第6号 平成17年12月27日 NISA-163a-05-3）」に基づき「日本機械学会 配管内円柱状構造物の流力振動評価指針(JSME S 012-1998)」による評価を行い、問題としないことを確認しており、同様な設計方針に基づき施設されているその他の箇所についても同様と考える。このような条件は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

4 1 次冷却材管

[対象機器]

- ① 1 次冷却材管

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 1次冷却材管の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	5
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	10

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されている1次冷却材管の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 1次冷却材管の主な仕様

機器名称	重要度*1	使用条件		
		運転状態	最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)
1次冷却材管	PS-1、重*2	連続	約17.2	約343

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

2. 1次冷却材管の技術評価

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 1次冷却材管

(1) 構造

1次冷却材管は原子炉容器、蒸気発生器および1次冷却材ポンプ相互を連絡し、循環回路を形成している。

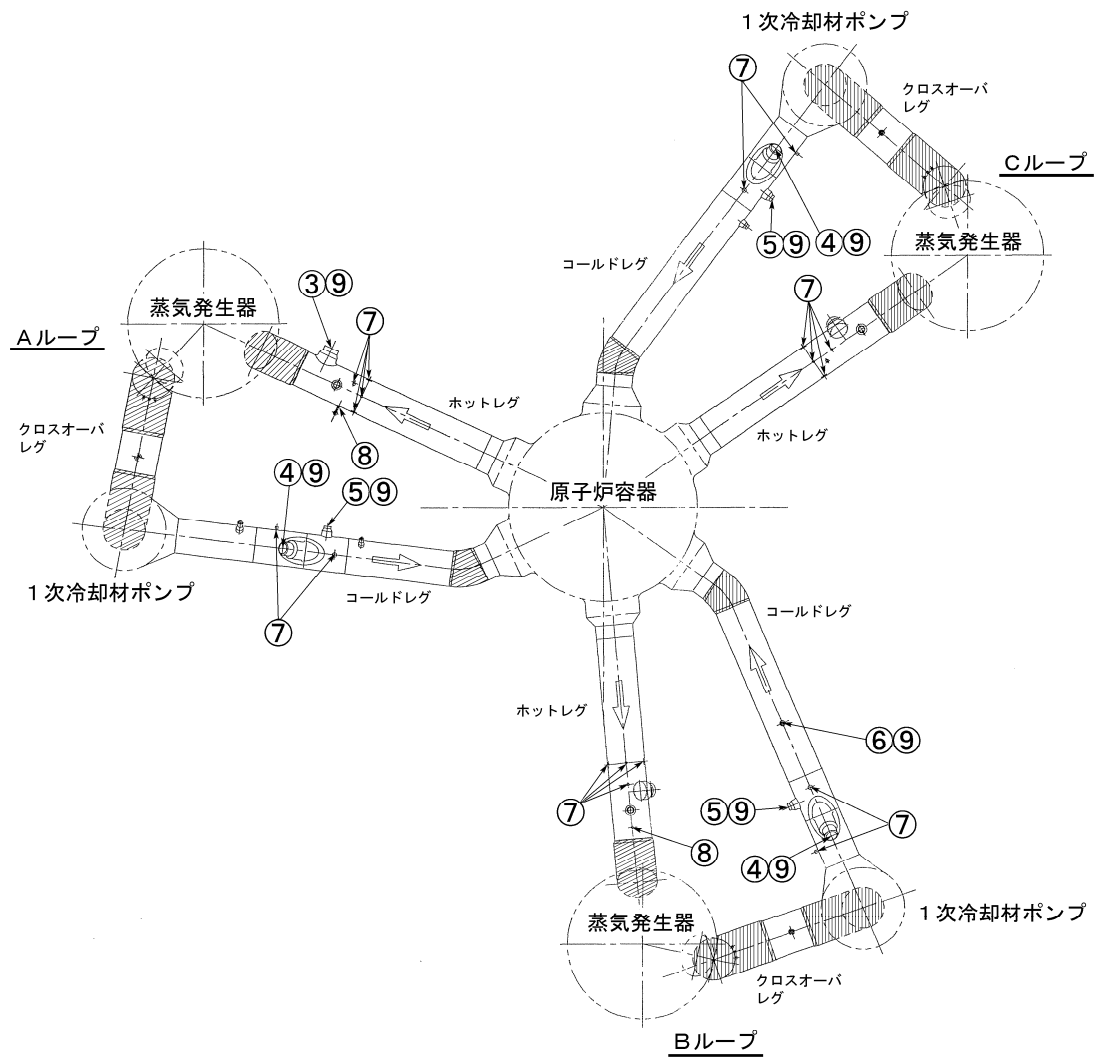
1次冷却材管は直管部とエルボ部からなる母管と母管に取り付けられた複数の管台および温度計ウェル等から構成されている。

各ループでは、原子炉容器と蒸気発生器間をホットレグ、蒸気発生器と1次冷却材ポンプ間をクロスオーバーレグ、1次冷却材ポンプと原子炉容器間をコールドレグと呼んでいる。

高浜4号炉は3ループプラントであり、1次冷却材管の配置を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の1次冷却材管の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部 位
①	直 管
②	エ ル ボ
③	加圧器サージライン用管台
④	蓄圧タンク注入ライン管台
⑤	余熱除去系戻りおよび安全注入管台
⑥	充てんライン用管台
⑦	温度計ウェル
⑧	サンプルノズル
⑨	サーマルスリーブ



図2.1-1 高浜4号炉 1次冷却材管配置図

表2.1-1 高浜4号炉 1次冷却材管の使用材料

部位		材料
母管	直管	ステンレス鋼 鋳鋼
	エルボ	ステンレス鋼 鋳鋼 ステンレス鋼
管台	加圧器サージライン用管台	ステンレス鋼
	蓄圧タンク注入ライン管台	ステンレス鋼 鋳鋼
	余熱除去系戻りおよび安全注入管台	ステンレス鋼
	充てんライン用管台	ステンレス鋼
温度計ウェル		ステンレス鋼
サンプルノズル		ステンレス鋼
サーマルスリーブ		ステンレス鋼

表2.1-2 高浜4号炉 1次冷却材管の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa [gage]
最高使用温度	約343℃
1次冷却材流量	約45.7×10 ³ t/h
内部流体	1次冷却材

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

1次冷却材管の機能である耐圧機能を維持するためには、次の項目が必要である。

① バウンダリの維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

1次冷却材管について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 母管および管台の疲労割れ

プラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材の温度、圧力、流量変化による応力変動によって、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

(2) 母管および管台の熱時効

母管および管台に使用しているステンレス鋼は、高温での長時間の使用に伴い靱性の低下等、材料特性変化を起こすことから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 母管および管台の応力腐食割れ

母管（原子炉容器および蒸気発生器と接続するセーフエンドの溶接部を含む）および管台はステンレス鋼鋳鋼またはステンレス鋼を使用しており応力腐食割れが想定される。

しかしながら、定期検査時に飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）の流体が流入する際は流体温度が低い（最高でも80℃程度）ため、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

また、定期検査後のプラント起動時には1次冷却材中の溶存酸素濃度低減のための運転操作を実施するため、高温（100℃以上）で使用する場合は溶存酸素濃度が5ppb以下に低減された流体となっていることから応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、溶接部を対象とした超音波探傷検査、浸透探傷検査または漏えい検査により機器の健全性を確認している。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(2) 温度計ウェルおよびサンプルノズルの高サイクル疲労割れ

1995年12月、もんじゅの温度計ウェルで流体振動による高サイクル疲労割れが発生している。この事象は、プラント運転中に内部流体の流れによる流体振動を受け、流れ方向（抗力方向）に共振が発生し、温度計ウェルの付け根部に応力集中が発生したものである。

しかしながら、高浜4号炉の温度計ウェルおよびサンプルノズルは、原子力安全・保安院指示文書「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の改正に伴う電気事業法に基づく定期事業者検査の実施について（平成17・12・22原院第6号平成17年12月27日 NISA-163a-05-3）」に基づき「日本機械学会 配管内円柱状構造物の流力振動評価指針(JSME S 012-1998)」による評価を行い、問題とならないことを確認している。このような条件は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) サーマルスリーブの高サイクル疲労割れ

1981年7月、大飯2号炉の2点溶接タイプのサーマルスリーブで流体振動による高サイクル疲労割れが発生しているが、高浜4号炉のサーマルスリーブは全て全周溶接タイプ（図2.2-1）であり、2点溶接タイプに比べて発生応力が十分小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

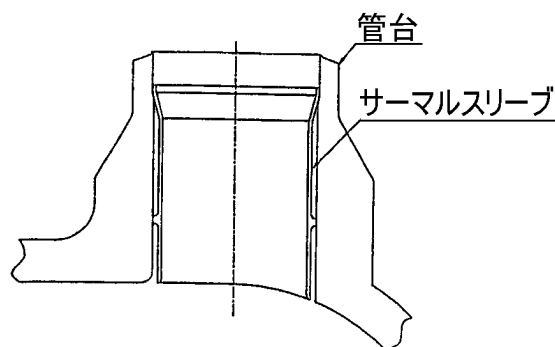


図2.2-1 サーマルスリーブ概念図

(4) 温度計ウェル等の応力腐食割れ

温度計ウェル、サンプルノズルおよびサーマルスリーブはステンレス鋼を使用しており応力腐食割れが想定される。

しかしながら、定期検査時に飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）の流体が流入する際は流体温度が低い（最高でも80℃程度）ため、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

また、定期検査後のプラント起動時には1次冷却材中の溶存酸素濃度低減のための運転操作を実施するため、高温（100℃以上）で使用する場合は溶存酸素濃度が5ppb以下に低減された流体となっていることから応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

表2.2-1 高浜4号炉 1次冷却材管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	直管		ステンレス鋼鋳鋼			○	△	○			*1：高サイクル疲労割れ
	エルボ		ステンレス鋼鋳鋼 ステンレス鋼			○	△	○			
	加圧器サージライン用管台		ステンレス鋼			○	△				
	蓄圧タンク注入ライン管台		ステンレス鋼鋳鋼			○	△	○			
	余熱除去系戻りおよび安全注入管台		ステンレス鋼			○	△				
	充てんライン用管台		ステンレス鋼			○	△				
	温度計ウェル		ステンレス鋼			▲*1	▲				
	サンプルノズル		ステンレス鋼			▲*1	▲				
	サーマルスリーブ		ステンレス鋼			▲*1	▲				

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 母管および管台の疲労割れ

a. 事象の説明

母管および管台は、プラントの起動・停止時等に熱過渡を繰返し受け、さらに管台は冷水注入による熱過渡を受けるため、疲労が蓄積する。

b. 技術評価

① 健全性評価

母管および管台の健全性評価にあたっては、「日本機械学会 設計・建設規格（JSME S NC1-2005/2007）」に基づき評価を行った。

また、使用環境を考慮した疲労について、「日本機械学会 環境疲労評価手法（JSME S NF1-2009）」に基づき評価した。

評価点を図2.3-1に、疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。なお、運転期間延長認可申請に伴う評価として、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的*に設定した過渡回数とした。

*：評価条件として、2020年度以降の過渡発生頻度は実績の1.5倍以上を想定した。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

表2.3-1 高浜4号炉 1次冷却材管の疲労評価に用いた過渡回数
(ホットレグ、コールドレグ、クロスオーバレグ、管台)

運転状態Ⅰ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度 末時点	運転開始後60年 時点での推定値
起動(温度上昇率 55.6℃/h)	35	71
停止(温度下降率 55.6℃/h)	34	71
負荷上昇(負荷上昇率 5%/min)	308	800
負荷減少(負荷減少率 5%/min)	298	790
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	4
定常負荷運転時の変動*1	-	-
燃料交換	24	62
0%から15%への負荷上昇	35	66
15%から0%への負荷減少	25	55
1ループ停止/1ループ起動		
Ⅰ) 停止	0	2
Ⅱ) 起動	0	2

運転状態Ⅱ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度 末時点	運転開始後60年 時点での推定値
負荷の喪失	4	6
外部電源喪失	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	0	2
100%からの原子炉トリップ		
Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	3	6
Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2
Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	2
1次冷却系の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	0	2
タービン回転試験	3	3
1次系漏えい試験	31	65

*1：設計評価においては、1次冷却材温度は±1.7℃、1次冷却材圧力は±0.34MPa、(±3.5kg/cm²)の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

表2.3-2 高浜4号炉 1次冷却材管の疲労評価結果

評価対象部位 (使用材料)	評価点	疲労累積係数 (許容値：1以下)	
		設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
ホットレグ (ステンレス鋼)	図2.3-1	0.001	0.002
クロスオーバーレグ (ステンレス鋼鋳鋼)		0.002	0.009
コールドレグ (ステンレス鋼鋳鋼)		0.001	0.005
加圧器 サージライン用管台 (ステンレス鋼)		0.031	0.165
蓄圧タンク 注入ライン管台 (ステンレス鋼鋳鋼)		0.008	0.030
余熱除去系戻り および安全注入管台 (ステンレス鋼)		0.008	0.027
充てんライン用管台 (ステンレス鋼)		0.003	0.027

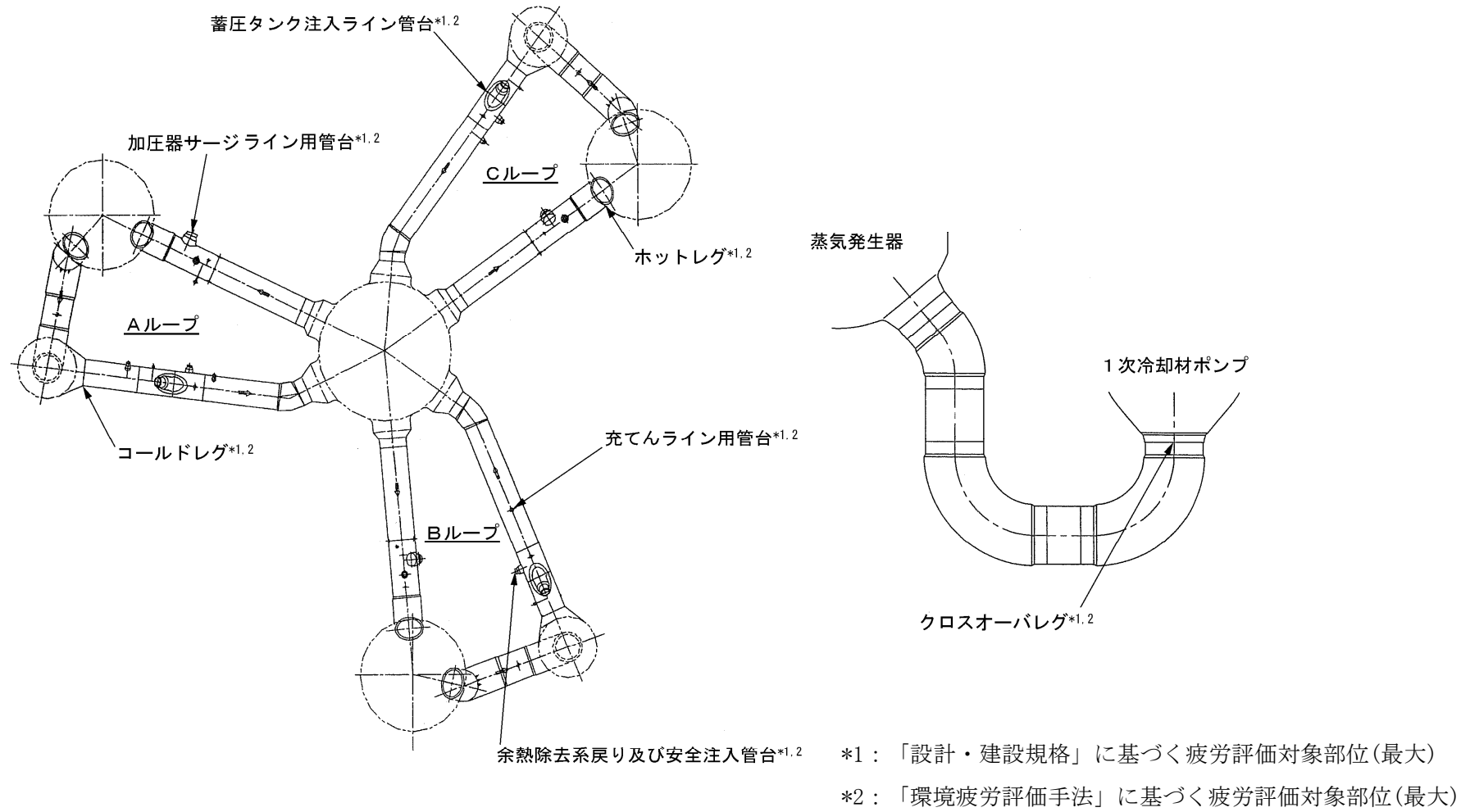


図2.3-1 高浜4号炉 1次冷却材管の疲労評価点

② 現状保全

母管および管台の疲労割れに対しては、定期的に溶接部の超音波探傷検査または浸透探傷検査を実施し、有意な欠陥のないことを確認している。また、定期的に漏えい検査を実施し、健全性を確認している。さらに、高経年化技術評価に合わせて実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、疲労割れ発生の可能性はないと考える。ただし、疲労評価は実績過渡回数に依存するため、今後も実績過渡回数を把握し評価する必要がある。

現在実施している溶接部の超音波探傷検査等は疲労割れを検知可能であり、また、割れが発生するとすれば応力の観点から溶接部であると判断されることから、点検手法として適切である。さらに、疲労割れによる機器の健全性への影響は、漏えい検査により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

母管および管台の疲労割れについては、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認する。

2.3.2 母管および管台の熱時効

a. 事象の説明

母管および管台に使用しているステンレス鋼は、オーステナイト相中に一部フェライト相を含む2相組織であるため、高温での長期の使用に伴い、時間とともにフェライト相内でより安定な組織形態へ移行しようとし、相分離が起こることにより、靱性の低下等、材料特性変化を起こす。

b. 技術評価

① 健全性評価

プラント長期間の運転中に熱時効を受けたステンレス鋼は、引張強さは増加するので材料強度の評価上の余裕は向上するが、材料の靱性が低下する。

ここでは、亀裂の存在を仮定し、破壊力学的手法を用いて、ステンレス鋼の熱時効後の構造上の安全性を評価した。

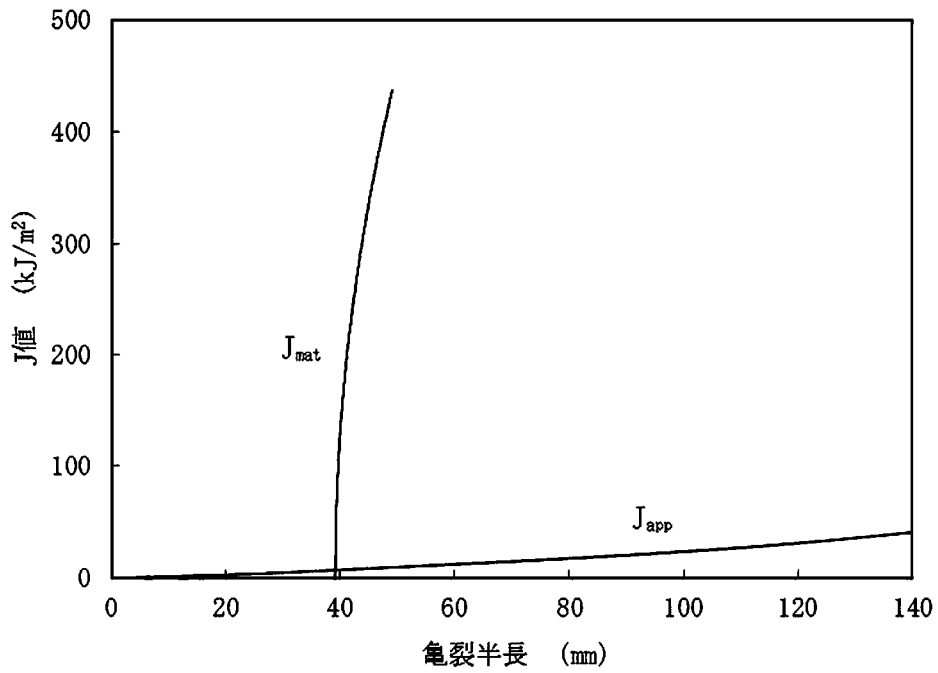
初期亀裂については、「日本電気協会 原子力発電所配管破損防護設計技術指針 (JEAG 4613-1998)」を準用し設定している。また、熱時効後の材料試験データを見ても延性安定亀裂成長が認められるため、弾塑性破壊力学的解析手法に基づき評価を行った。

熱時効による靱性低下への影響は、フェライト量が多いほど大きくなる。また、使用条件としては、応力が大きいほど厳しくなることから、1次冷却材管として使用されているステンレス鋼の部位で、フェライト量^{*1}が最も多いクロスオーバーレグ直管（垂直管）と、応力が最も大きい蓄圧タンク注入ライン管台を評価部位として選定した。さらに、応力とフェライト量^{*1}の組み合わせを考慮してホットレグ直管を評価部位として選定した。また、エルボで応力が高くなると考えられるRV入口32°エルボについても評価部位として追加した。

具体的には、高浜4号炉評価対象部位の熱時効後の材料の亀裂進展抵抗^{*2} (J_{mat}) と構造系に作用する応力 (重大事故等時^{*3} + 地震動による荷重) から算出される亀裂進展力 (J_{app}) を求めてその比較を行った。なお、供用状態A、Bの破壊力学評価結果は、より評価が厳しくなる重大事故等時の評価結果に包含される。

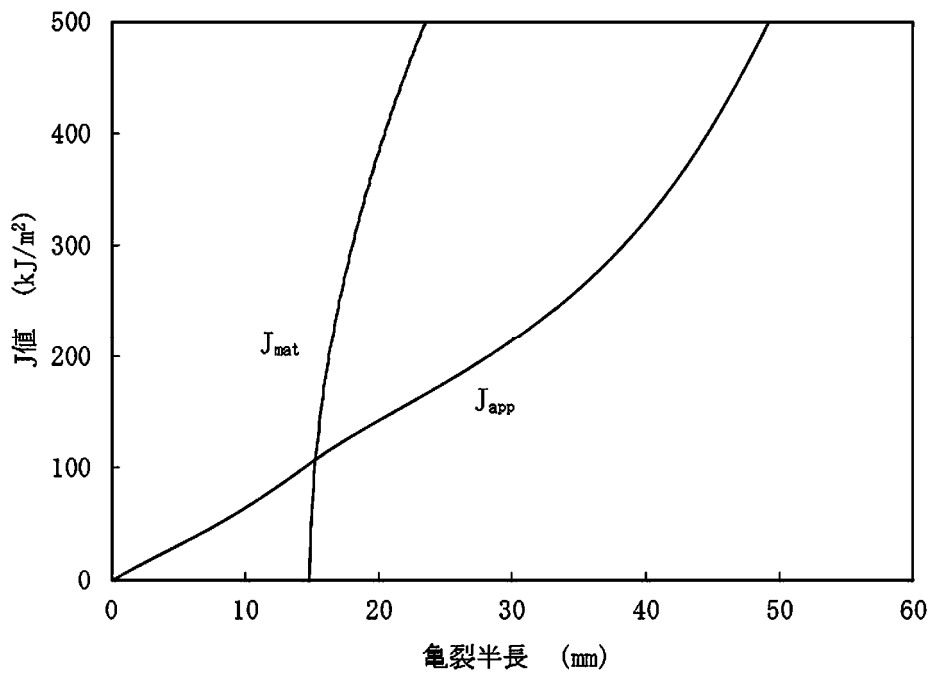
その結果、図2.3-2に示すように、運転開始後60年時点までの疲労亀裂進展長さを考慮した評価用亀裂^{*4}を想定しても、材料の J_{mat} と J_{app} の交点において J_{mat} の傾きが J_{app} の傾きを上回ることから^{*5}、配管は不安定破壊することではなく、健全性評価上問題とならないと判断する。

- *1：フェライト量は、製造時記録の材料成分を用いて「Standard Practice for Estimating Ferrite Content of Stainless Steel Castings Containing Both Ferrite and Austenite (ASTM A800/A800M-20)」に示される線図により決定した。
- *2：亀裂進展抵抗は、電力共通研究「1次冷却材管等の時効劣化に関する研究 (STEPⅢ) (その2)」(1998年度)で改良された脆化予測モデル(H3Tモデル: Hyperbolic-Time, Temperature Toughness)を用いて、評価部位のフェライト量を基に、完全時効後の値(飽和値)として決定した。また、予測の下限值(-2σ)を採用した。
- *3: 重大事故等時におけるプラント条件(ピーク温度360°C、ピーク圧力18.5MPa)を考慮した。
- *4：表2.3-1に示す運転過渡および地震動による運転開始後60年時点までの疲労亀裂の進展を考慮しても、当該亀裂は配管を貫通しない評価結果となったが、その後の弾塑性破壊力学解析においては、解析の簡便性のため、保守的に貫通亀裂を想定した。
- *5：初期亀裂の想定、亀裂進展、貫通亀裂の想定および亀裂進展力は「日本電気協会 原子力発電所配管破損防護設計技術指針(JEAG 4613-1998)」の評価手法に準拠した。そのため、亀裂進展力の評価についても内圧、自重、熱応力に加えて地震を考慮した。



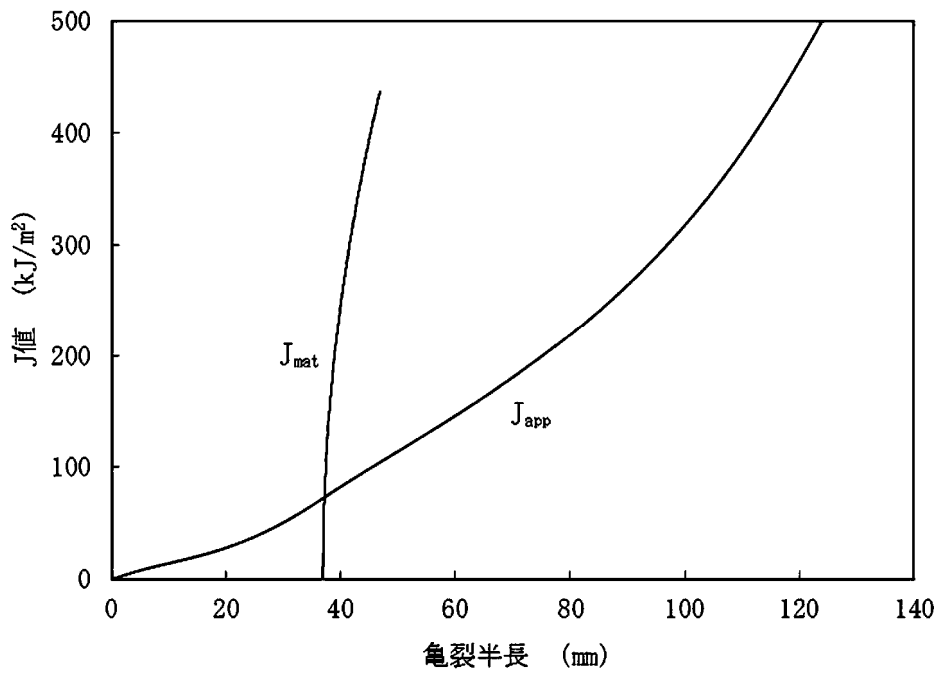
クロスオーバーレグ直管 (垂直管)

図2.3-2(1/4) 高浜4号炉 熱時効に対する破壊力学評価結果 (重大事故等時*¹)



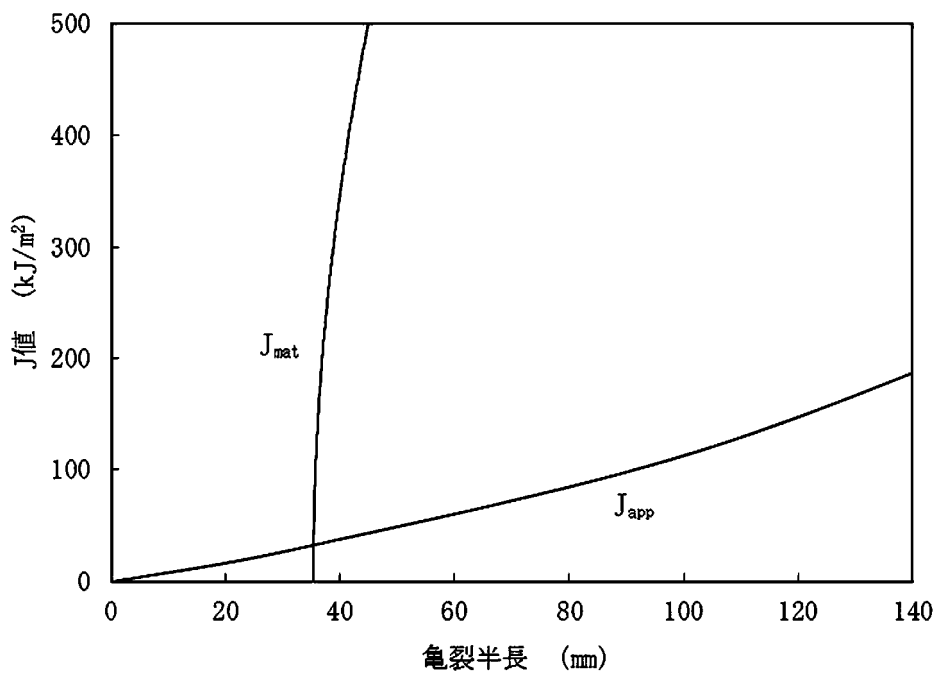
蓄圧タンク注入ライン管台

図2.3-2(2/4) 高浜4号炉 熱時効に対する破壊力学評価結果 (重大事故等時*¹)



ホットレグ直管

図2.3-2(3/4) 高浜4号炉 熱時効に対する破壊力学評価結果 (重大事故等時*¹)



RV入口32°エルボ

図2.3-2(4/4) 高浜4号炉 熱時効に対する破壊力学評価結果 (重大事故等時*¹)

* 1 : 重大事故等時に亀裂進展力が大きくなる部位の評価を実施した。また供用状態A、Bの破壊力学評価結果は、より評価が厳しくなる重大事故等時の評価結果 (図2.3-2) に包含される。

② 現状保全

母管および管台の熱時効に対しては、定期的に溶接部の超音波探傷検査を実施し、評価で想定した亀裂のないことを確認している。また、定期的に漏えい検査を実施し、健全性を確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、母管および管台の熱時効は高経年化対策上問題となる可能性はないと考える。

現在実施している溶接部の超音波探傷検査は内面からの割れを検知可能であり、また、割れが発生するとすれば応力の観点から溶接部であると判断されることから、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

母管および管台の熱時効については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

5 配管サポート

[対象機器]

- ① アンカー
- ② Uバンド
- ③ Uボルト
- ④ スライドサポート
- ⑤ レストレイント
- ⑥ スプリングハンガ
- ⑦ オイルスナバ
- ⑧ メカニカルスナバ

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 配管サポートの技術評価	2
2.1 構造および材料	2
2.2 経年劣化事象の抽出	26
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	39

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されている配管サポートの主な仕様を表1-1に示す。

これらの配管サポートについては、型式毎に各々対象とした。

表1-1 高浜4号炉 配管サポートの主な仕様

機器名称	仕様
アンカー	配管の全方向の変位および全方向のモーメントを拘束する
Uバンド	配管の全方向の変位（回転は除く）を拘束する
Uボルト	配管の軸直方向の変位を拘束する
スライドサポート	配管の軸直方向の変位および全方向のモーメントを拘束する
レストレイント	配管の特定1方向の変位を拘束する
スプリングハンガ	配管自重を支持する
オイルスナバ	地震時に、配管の特定1方向の変位を拘束する
メカニカルスナバ	地震時に、配管の特定1方向の変位を拘束する

2. 配管サポートの技術評価

本章では、1章で対象とした以下の8種類の配管サポートの代表例について、技術評価を実施する。

- ① アンカー
- ② Uバンド
- ③ Uボルト
- ④ スライドサポート
- ⑤ レストレイント
- ⑥ スプリングハンガ
- ⑦ オイルスナバ
- ⑧ メカニカルスナバ

2.1 構造および材料

2.1.1 アンカー

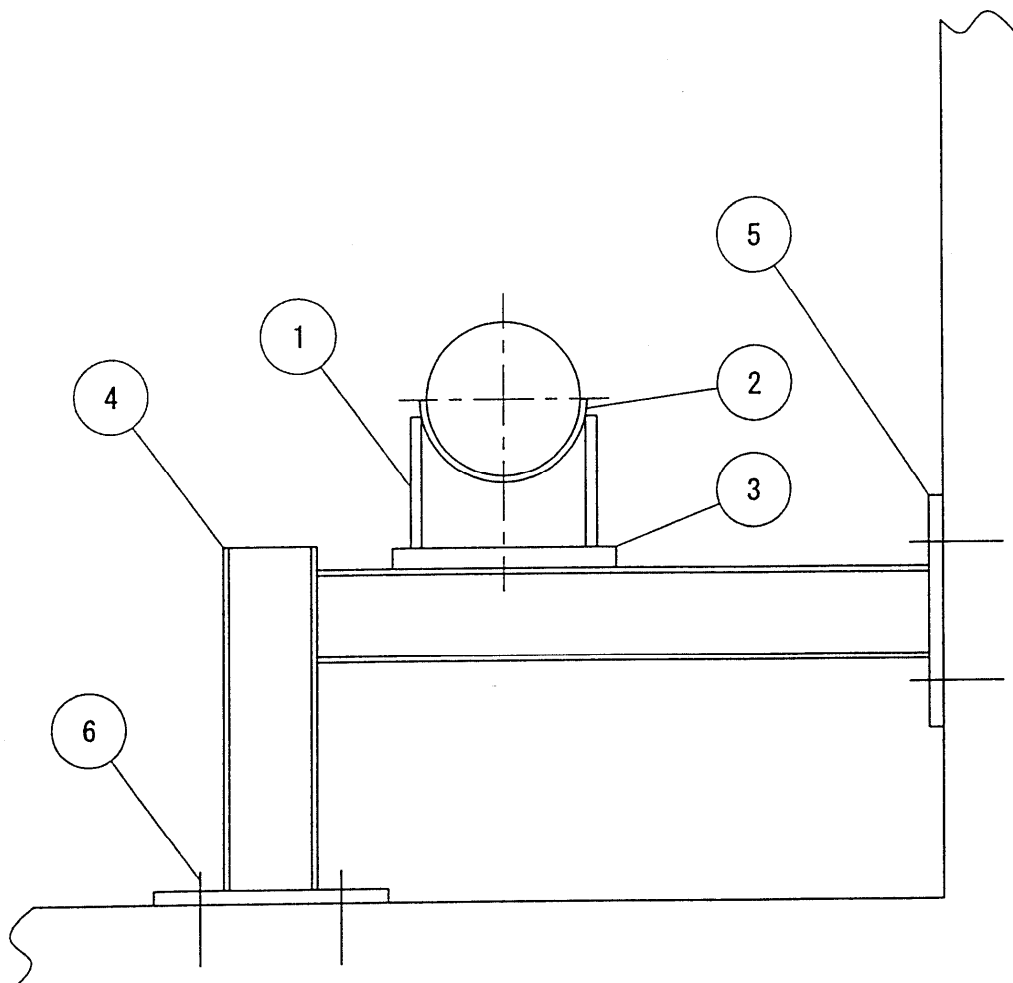
(1) 構造

アンカーは、配管の全方向の変位および全方向のモーメントを拘束する構造である。

高浜4号炉のアンカーの構造図（概念図）を図2.1-1に示す。

(2) 材料

高浜4号炉のアンカーの使用材料を表2.1-1に示す。



No.	部位
①	ラグ
②	パッド
③	プレート
④	鋼材
⑤	ベースプレート
⑥	基礎ボルト

図2.1-1 高浜4号炉 配管サポート アンカー構造図 (概念図)

表2.1-1 高浜4号炉 配管サポート アンカー主要部位の使用材料

部位	材料
ラグ	炭素鋼
パッド	ステンレス鋼 炭素鋼
プレート	炭素鋼
鋼材	炭素鋼
ベースプレート	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
基礎ボルト (ケミカルアンカ)	炭素鋼 樹脂

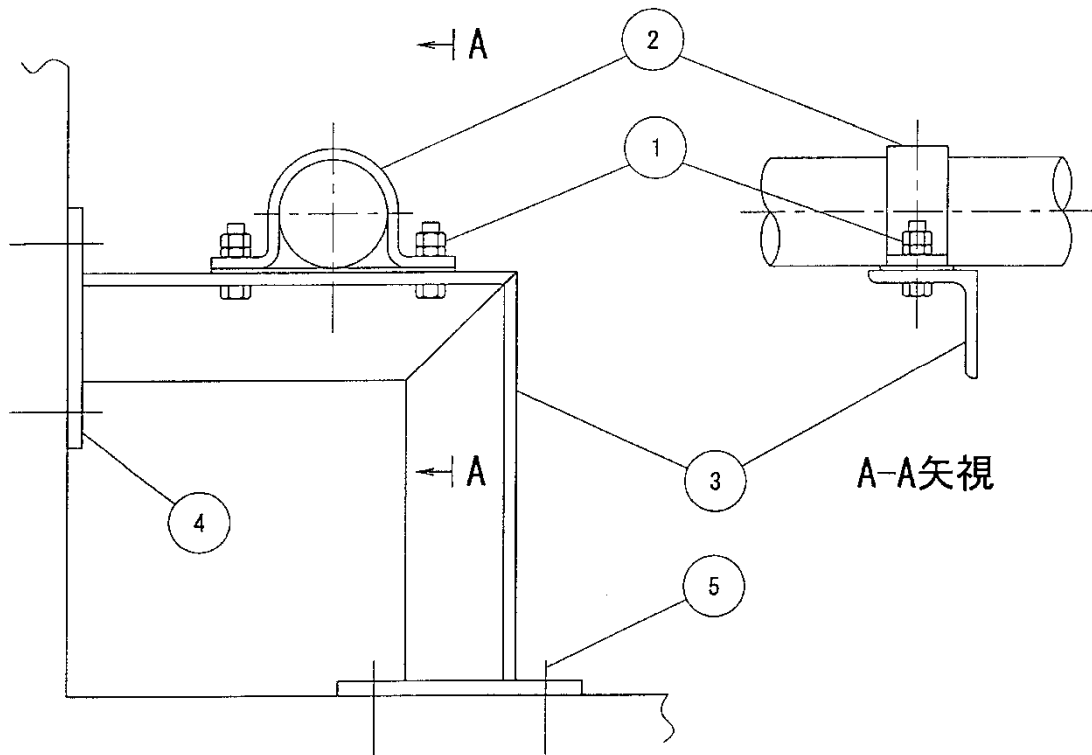
2.1.2 Uバンド

(1) 構造

Uバンドは、配管の全方向の変位（回転は除く）を拘束する構造である。
高浜4号炉のUバンドの構造図（概念図）を図2.1-2に示す。

(2) 材料

高浜4号炉のUバンドの使用材料を表2.1-2に示す。



No.	部位
①	ボルト、ナット
②	Uバンド本体
③	鋼材
④	ベースプレート
⑤	基礎ボルト

図2.1-2 高浜4号炉 配管サポート Uバンド構造図 (概念図)

表2.1-2 高浜4号炉 配管サポート Uバンド主要部位の使用材料

部位	材料
ボルト、ナット	炭素鋼
Uバンド本体	ステンレス鋼 炭素鋼
鋼材	炭素鋼
ベースプレート	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
基礎ボルト (ケミカルアンカ)	炭素鋼 樹脂

2.1.3 Uボルト

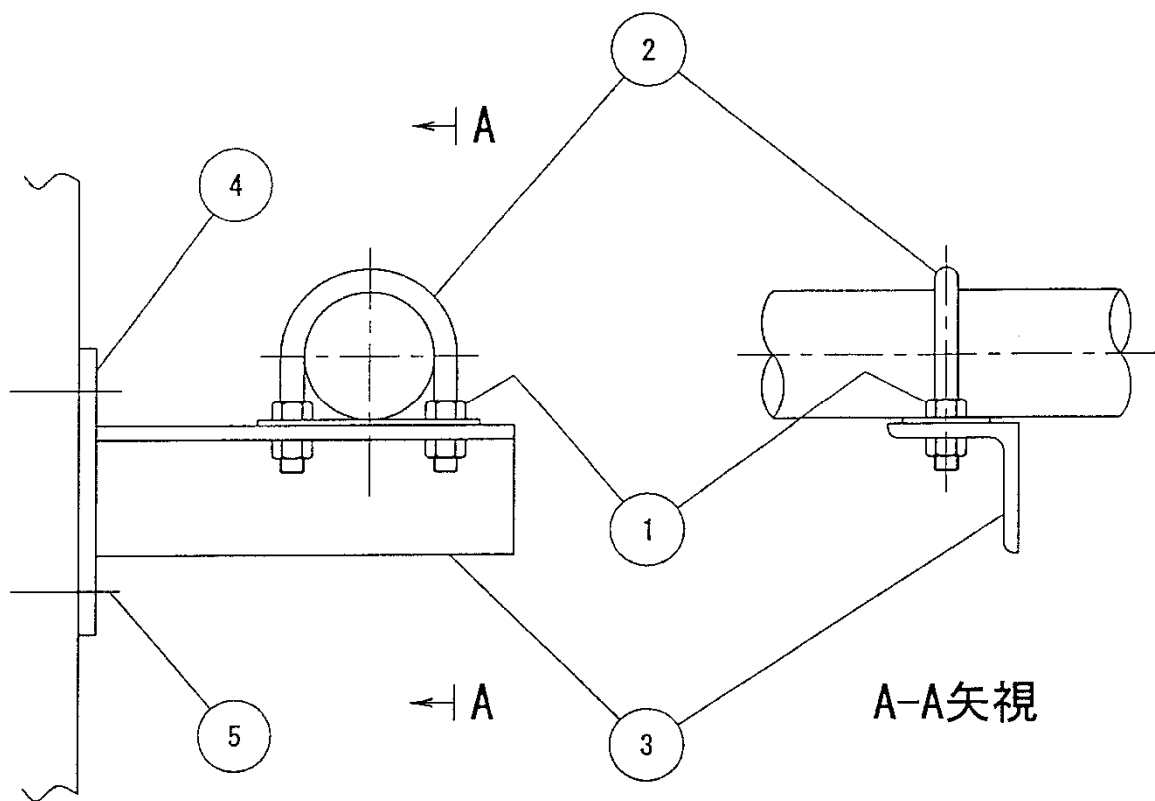
(1) 構造

Uボルトは、配管の軸直方向の変位を拘束する構造であり、配管との間に間隙を設け配管軸方向の変位を容易にしている。

高浜4号炉のUボルトの構造図（概念図）を図2.1-3に示す。

(2) 材料

高浜4号炉のUボルトの使用材料を表2.1-3に示す。



No.	部位
①	ナット
②	Uボルト本体
③	鋼材
④	ベースプレート
⑤	基礎ボルト

図2.1-3 高浜4号炉 配管サポート Uボルト構造図 (概念図)

表2.1-3 高浜4号炉 配管サポート Uボルト主要部位の使用材料

部位	材料
ナット	ステンレス鋼 炭素鋼
Uボルト本体	ステンレス鋼 炭素鋼
鋼材	炭素鋼
ベースプレート	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
基礎ボルト (ケミカルアンカ)	炭素鋼 樹脂

2.1.4 スライドサポート

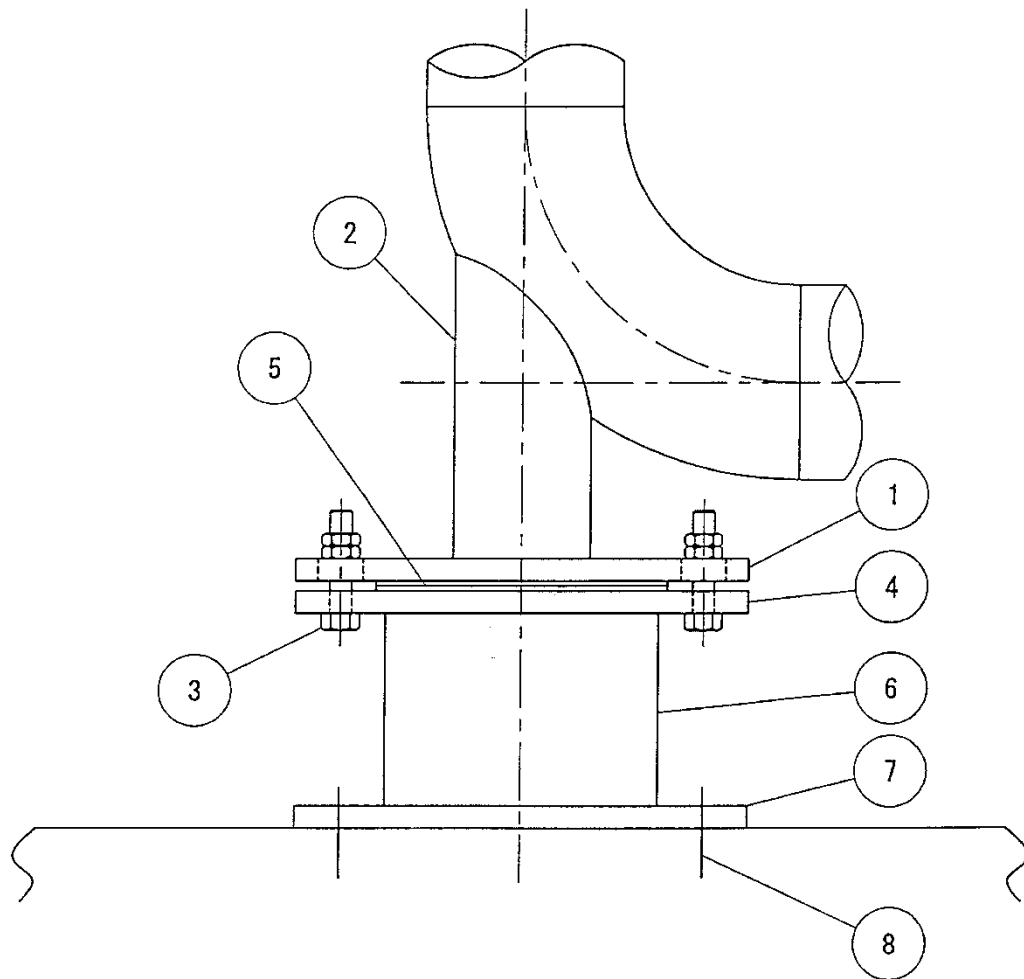
(1) 構造

スライドサポートは、配管の軸直方向の変位および全方向のモーメントを拘束する構造である。

高浜4号炉のスライドサポートの構造図（概念図）を図2.1-4に示す。

(2) 材料

高浜4号炉のスライドサポートの使用材料を表2.1-4に示す。



No.	部位
①	上部プレート
②	ラグ
③	ボルト、ナット
④	下部プレート
⑤	スライドプレート
⑥	鋼材
⑦	ベースプレート
⑧	基礎ボルト

図2.1-4 高浜4号炉 配管サポート スライドサポート構造図 (概念図)

表2.1-4 高浜4号炉 配管サポート スライドサポート主要部位の使用材料

部位	材料
上部プレート	炭素鋼
ラグ	炭素鋼
ボルト、ナット	炭素鋼
下部プレート	炭素鋼
スライドプレート	ステンレス鋼 炭素鋼 + テフロン
鋼材	炭素鋼
ベースプレート	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
基礎ボルト (ケミカルアンカ)	炭素鋼 樹脂

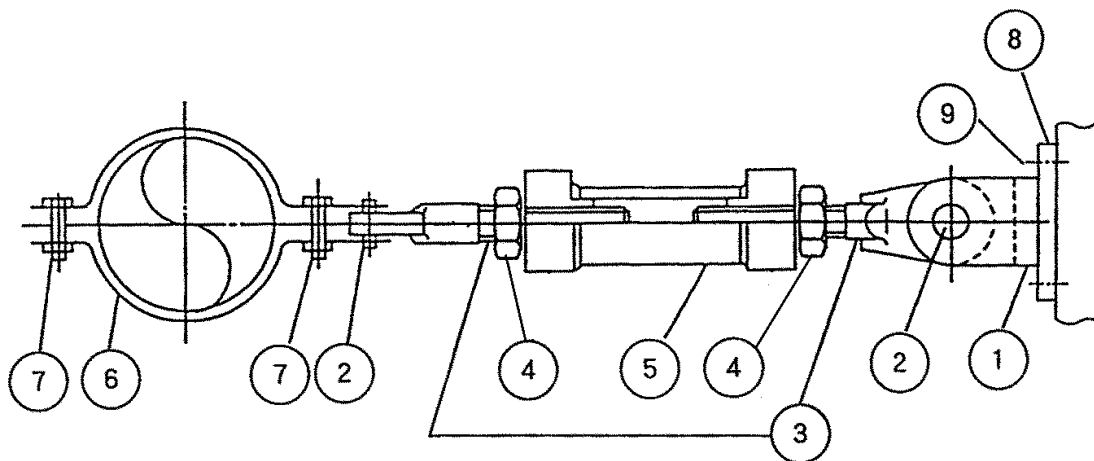
2.1.5 レストレイント

(1) 構造

レストレイントは、配管の特定1方向の変位を拘束する構造である。
高浜4号炉のレストレイントの構造図（概念図）を図2.1-5に示す。

(2) 材料

高浜4号炉のレストレイントの使用材料を表2.1-5に示す。



No.	部位
①	ブラケット
②	ピン
③	スヘリカルアイボルト
④	アジャストナット
⑤	パイプ
⑥	パイプクランプ
⑦	ボルト、ナット
⑧	ベースプレート
⑨	基礎ボルト

図2.1-5 高浜4号炉 配管サポート レストレイント構造図 (概念図)

表2.1-5 高浜4号炉 配管サポート レストレイント主要部位の使用材料

部位	材料
ブラケット	炭素鋼
ピン	炭素鋼
スヘリカルアイボルト	炭素鋼
アジャストナット	炭素鋼
パイプ	炭素鋼
パイプクランプ	ステンレス鋼 炭素鋼
ボルト、ナット	炭素鋼
ベースプレート	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
基礎ボルト (ケミカルアンカ)	炭素鋼 樹脂

2.1.6 スプリングハンガ

(1) 構造

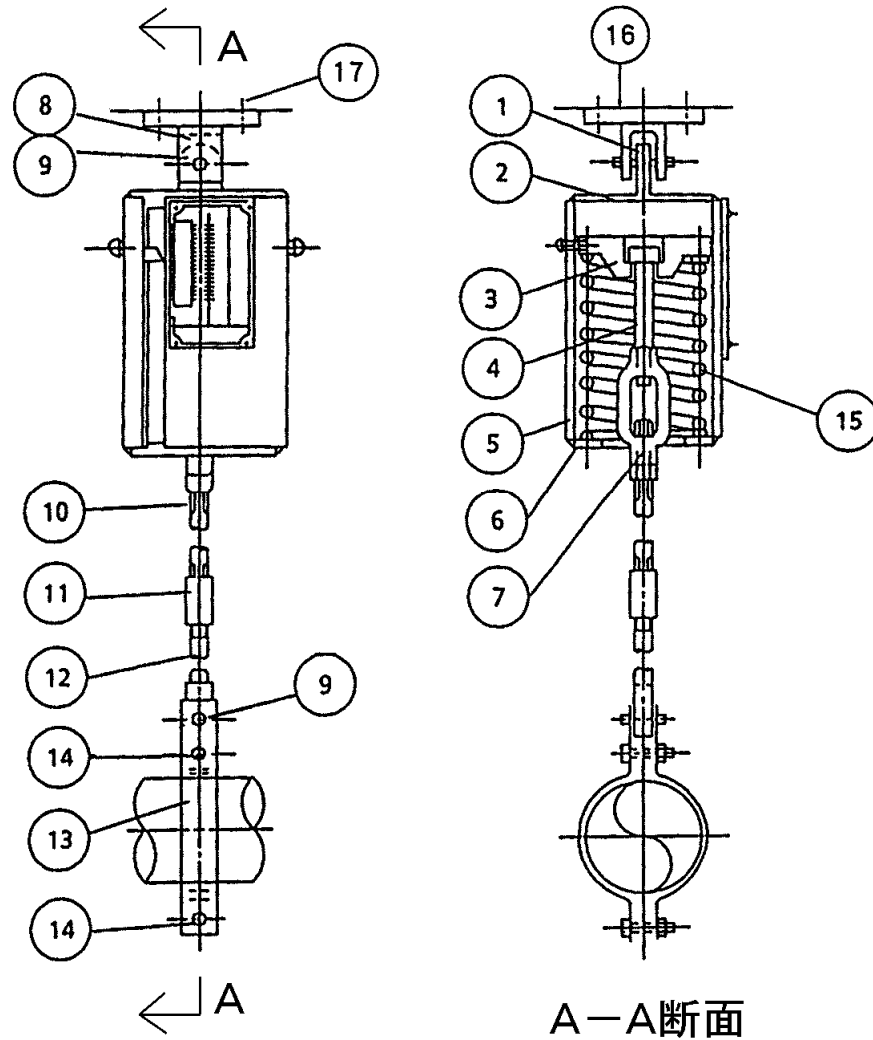
スプリングハンガは、配管自重を支持する構造である。

スプリングハンガはターンバックルを調整することによりばねの伸縮量を調整可能である。

高浜4号炉のスプリングハンガの構造図（概念図）を図2.1-6に示す。

(2) 材料

高浜4号炉のスプリングハンガの使用材料を表2.1-6に示す。



No.	部 位
①	イ ヤ
②	上部カバー
③	ピストンプレート
④	ハンガーロッド
⑤	スプリングケース
⑥	下部カバー
⑦	ターンバックル
⑧	クレビスブラケット
⑨	ピ ン
⑩	無頭ボルト
⑪	ロッドカプラー
⑫	アイボルト
⑬	パイプクランプ
⑭	ボルト、ナット
⑮	ば ね
⑯	ベースプレート
⑰	基礎ボルト

図2.1-6 高浜4号炉 配管サポート スプリングハンガ構造図 (概念図)

表2.1-6 高浜4号炉 配管サポート スプリングハンガ主要部位の使用材料

部位	材料
イヤ	炭素鋼
上部カバー	炭素鋼
ピストンプレート	炭素鋼
ハンガーロッド	炭素鋼
スプリングケース	炭素鋼
下部カバー	炭素鋼
ターンバックル	炭素鋼
クレビスブラケット	炭素鋼
ピン	ステンレス鋼 炭素鋼
無頭ボルト	炭素鋼
ロッドカプラー	炭素鋼
アイボルト	炭素鋼
パイプクランプ	ステンレス鋼 炭素鋼
ボルト、ナット	炭素鋼
ばね	ばね鋼 ばね用オイルテンパー線
ベースプレート	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
基礎ボルト (ケミカルアンカ)	炭素鋼 樹脂

2.1.7 オイルスナバ

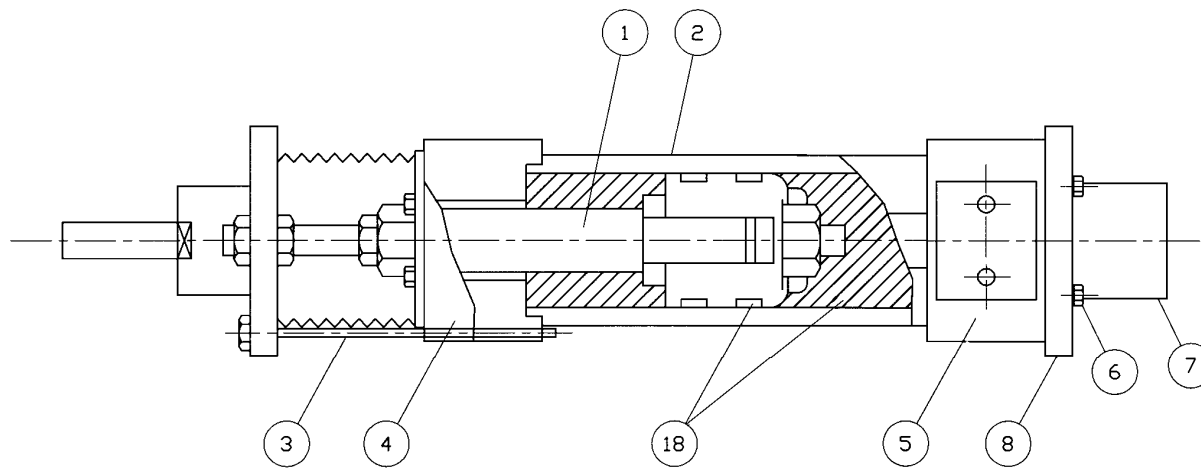
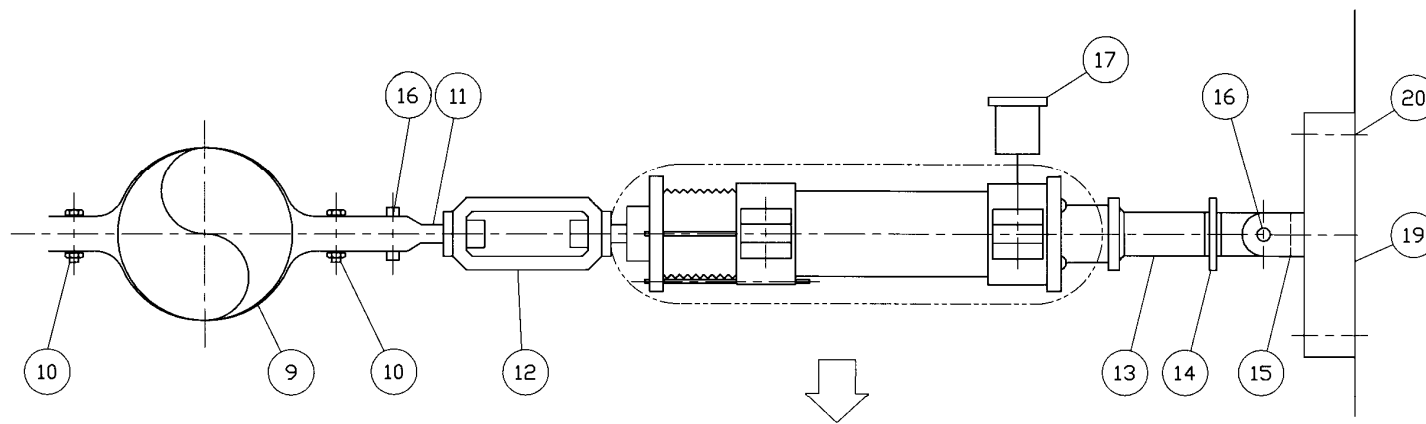
(1) 構造

オイルスナバは、地震時に、配管の特定1方向の変位を拘束する構造である。抵抗発生媒体にオイルを使用している。

高浜4号炉のオイルスナバの構造図（概念図）を図2.1-7に示す。

(2) 材料

高浜4号炉のオイルスナバの使用材料を表2.1-7に示す。



////部はオイル封入部

No.	部位
①	ピストンロッド
②	シリンダチューブ
③	タイロッド、六角ナット
④	ロッドカバー
⑤	シリンダカバー
⑥	六角ボルト
⑦	アダプター
⑧	プレート
⑨	パイプクランプ
⑩	ボルト、ナット
⑪	スヘリカルアイボルト
⑫	ターンバックル
⑬	コネクティングパイプ
⑭	コネクティングイヤ
⑮	ブラケット
⑯	ピン
⑰	オイルリザーバ
⑱	オイル、オイルシール
⑲	ベースプレート
⑳	基礎ボルト

図2.1-7 高浜4号炉 配管サポート オイルスナバ構造図 (概念図)

表2.1-7 高浜4号炉 配管サポート オイルスナバ主要部位の使用材料

部位	材料
ピストンロッド	炭素鋼
シリンダチューブ	炭素鋼
タイロッド、六角ナット	炭素鋼
ロッドカバー	炭素鋼
シリンダカバー	炭素鋼
六角ボルト	低合金鋼
アダプター	炭素鋼
プレート	炭素鋼
パイプクランプ	ステンレス鋼 炭素鋼
ボルト、ナット	炭素鋼
スヘリカルアイボルト	炭素鋼
ターンバックル	炭素鋼
コネクティングパイプ	炭素鋼
コネクティングイヤ	炭素鋼
ブラケット	炭素鋼
ピン	炭素鋼
オイルリザーバ	ステンレス鋼
オイル、オイルシール	消耗品・定期取替品
ベースプレート	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
基礎ボルト (ケミカルアンカ)	炭素鋼 樹脂

2.1.8 メカニカルスナバ

(1) 構造

メカニカルスナバは、地震時に、配管の特定 1 方向の変位を拘束する構造である。

機構は全て機械的な部位で構成されており、ボールナットにより往復運動（地震時の変位）を回転運動に変換することで抵抗力を発生する。

高浜 4 号炉のメカニカルスナバの構造図（概念図）を図2.1-8に示す。

(2) 材料

高浜 4 号炉のメカニカルスナバの使用材料を表2.1-8に示す。

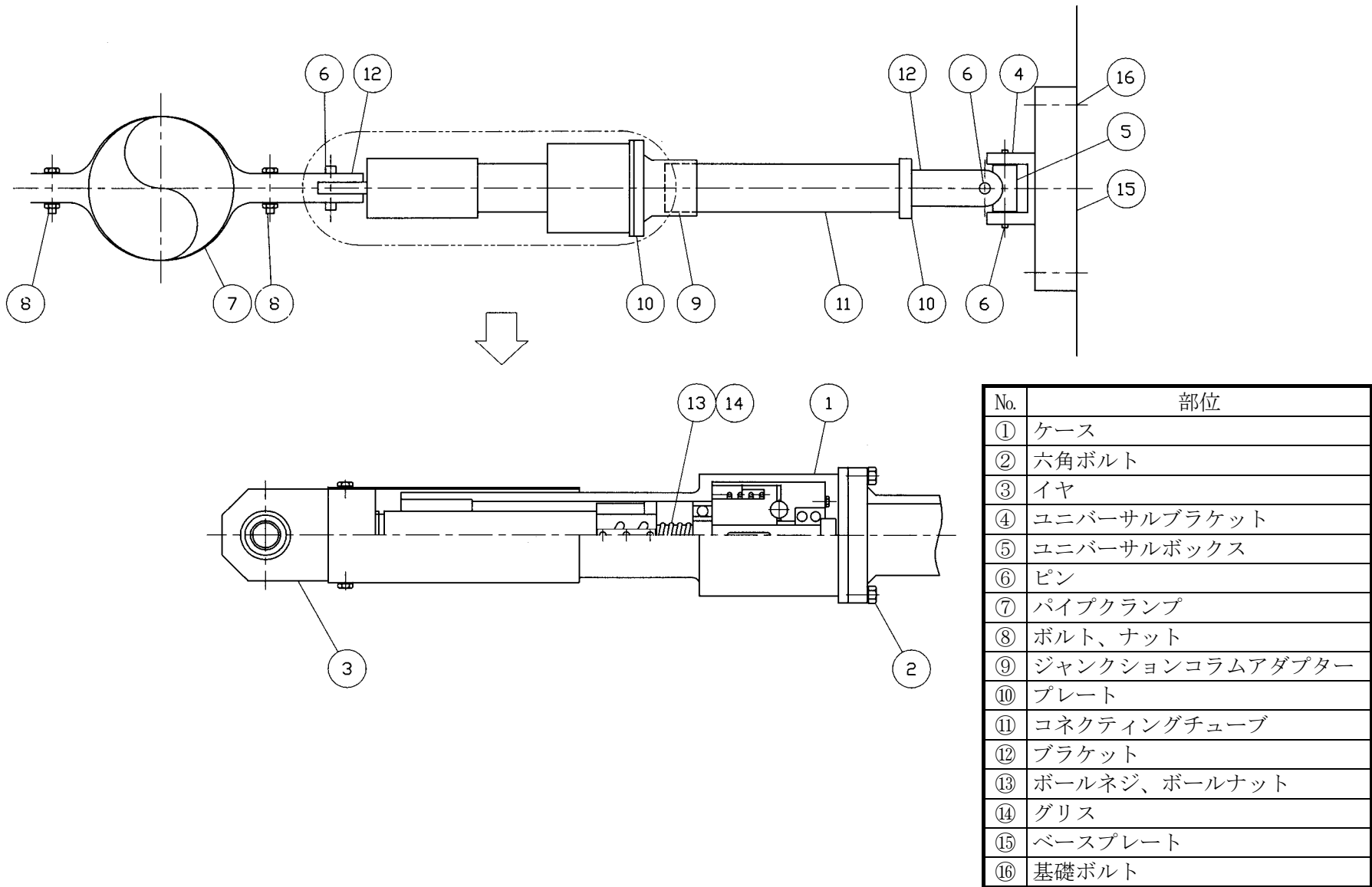


図2.1-8 高浜4号炉 配管サポート メカニカルスナバ構造図 (概念図)

表2.1-8 高浜4号炉 配管サポート メカニカルスナバ主要部位の使用材料

部位	材料
ケース	炭素鋼
六角ボルト	低合金鋼
イヤ	炭素鋼
ユニバーサルブラケット	炭素鋼
ユニバーサルボックス	炭素鋼
ピン	ステンレス鋼 炭素鋼
パイプクランプ	ステンレス鋼 炭素鋼
ボルト、ナット	炭素鋼
ジャンクションコラムアダプター	炭素鋼
プレート	炭素鋼
コネクティングチューブ	炭素鋼
ブラケット	炭素鋼
ボールネジ、ボールナット	低合金鋼
グリス	シリコン系オイル
ベースプレート	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
基礎ボルト (ケミカルアンカ)	炭素鋼 樹脂

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

配管の機能である内部流体の流路形成機能の達成のために配管サポートに要求される機能は、配管の支持である。

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

配管サポート個々について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料および現在までの運転経験を考慮し、型式毎に表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

- (1) ラグとプレートの溶接部等のサポート取付部の疲労割れ [アンカー、スライドサポート、レストレイント]

配管熱変位の拘束に伴う繰返し荷重により、取付部の溶接部に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) ベースプレート、クランプ等の腐食（全面腐食）[共通]

ベースプレート、クランプ等は炭素鋼または低合金鋼等であり腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 埋込金物の腐食（全面腐食）[共通]

埋込金物は炭素鋼であり腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (3) ピン等摺動部材の摩耗 [Uボルト、スライドサポート、レストレイント、スプリングハンガ、オイルスナバ、メカニカルスナバ]

配管移動を許容するサポートの摺動部材は、配管熱移動や振動により摩耗が発生し、支持機能への影響が想定される。

しかしながら、巡視点検等で目視によりサポートの動作状況に異常がないことを確認し、必要に応じて部品の交換を実施することで、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (4) スライドプレートのテフロンのはく離 [スライドサポート]

主蒸気配管等の大口径配管のスライドサポートのスライド部には摩擦力を低減するために炭素鋼表面にテフロン加工したスライドプレートを使用しているが、高温条件下で長期にわたり使用した場合、テフロンのはく離が生じ、スライド部の固着等により支持機能への影響が想定される。

しかしながら、巡視点検等で目視によりスライドサポートの動作状況に異常がないことを確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (5) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）および樹脂の劣化 [共通]

基礎ボルトは炭素鋼であり腐食が想定される。また、ケミカルアンカには樹脂を使用しており、劣化が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

- (6) ばねの変形（応力緩和） [スプリングハンガ]

スプリングハンガのばねは応力が発生した状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が発生し、支持機能への影響が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用していることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、巡視点検等で目視によりスプリングハンガの動作状況に異常がないことを確認し、機器の健全性を確認している。

(7) グリスの劣化 [メカニカルスナバ]

メカニカルスナバのボールネジ部には、円滑な作動を確保するために潤滑剤としてグリスが塗布されている。このグリスが劣化し潤滑剤として機能しなくなった場合、ボールネジ部固着等により支持機能への影響が想定される。

しかしながら、熱によるグリスの固化は、グリスの油分減少に伴い発生するものであるが、蒸発試験を実施した結果を用いて、60年間の油分減少量を外挿により推定した値は、安全側に設定した許容値に対して十分低いことを確認した。

さらに、放射線によるグリスの固化については、耐放射線試験を実施し、長期の運転を考慮しても特に問題ないことを確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、巡視点検等で目視によりメカニカルスナバの動作状況に異常のないことを確認し、機器の健全性を確認している。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(8) 埋込金物のコンクリート埋設部の腐食（全面腐食） [共通]

埋込金物は炭素鋼であり腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食を有するまで長時間を有することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

オイル、オイルシールは分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/9) 高浜4号炉 配管サポート アンカーに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
配管支持	ラグ		炭素鋼		△	○				*1：大気接触部 *2：コンクリート埋設部 *3：樹脂の劣化	
	パッド		ステンレス鋼、炭素鋼		△						
	プレート		炭素鋼		△						
	鋼材		炭素鋼		△						
	ベースプレート		炭素鋼		△						
	埋込金物		炭素鋼		△*1 ▲*2						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						
	基礎ボルト (ケミカルアンカ)		炭素鋼、樹脂		△				△*3		

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(2/9) 高浜4号炉 配管サポート Uバンドに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
配管支持	ボルト、ナット		炭素鋼		△						*1：大気接触部 *2：コンクリート埋設部 *3：樹脂の劣化
	Uバンド本体		ステンレス鋼、炭素鋼		△						
	鋼材		炭素鋼		△						
	ベースプレート		炭素鋼		△						
	埋込金物		炭素鋼		△*1 ▲*2						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						
	基礎ボルト (ケミカルアンカ)		炭素鋼、樹脂		△				△*3		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(3/9) 高浜4号炉 配管サポート Uボルトに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
配管支持	ナット		ステンレス鋼、炭素鋼		△					*1：大気接触部 *2：コンクリート埋設部 *3：樹脂の劣化	
	Uボルト本体		ステンレス鋼、炭素鋼	△	△						
	鋼材		炭素鋼		△						
	ベースプレート		炭素鋼		△						
	埋込金物		炭素鋼		△ ^{*1} ▲ ^{*2}						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						
	基礎ボルト (ケミカルアンカ)		炭素鋼、樹脂		△				△ ^{*3}		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(4/9) 高浜4号炉 配管サポート スライドサポートに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
配管支持	上部プレート		炭素鋼		△					*1：テフロンのはく離 *2：大気接触部 *3：コンクリート埋設部 *4：樹脂の劣化	
	ラグ		炭素鋼		△	○					
	ボルト、ナット		炭素鋼		△						
	下部プレート		炭素鋼		△						
	スライドプレート		ステンレス鋼 炭素鋼+テフロン	△	△				△*1		
	鋼材		炭素鋼		△						
	ベースプレート		炭素鋼		△						
	埋込金物		炭素鋼		△*2 ▲*3						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						
	基礎ボルト (ケミカルアンカ)		炭素鋼、樹脂		△				△*4		

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(5/9) 高浜4号炉 配管サポート レストレイントに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
配管支持	ブラケット		炭素鋼	△	△	○				*1：大気接触部 *2：コンクリート埋設部 *3：樹脂の劣化	
	ピン		炭素鋼	△	△						
	スヘリカルアイボルト		炭素鋼	△	△						
	アジャストナット		炭素鋼		△						
	パイプ		炭素鋼		△						
	パイプクランプ		ステンレス鋼、炭素鋼	△	△						
	ボルト、ナット		炭素鋼		△						
	ベースプレート		炭素鋼		△						
	埋込金物		炭素鋼		△ ^{*1} ▲ ^{*2}						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						
	基礎ボルト (ケミカルアンカ)		炭素鋼、樹脂		△				△ ^{*3}		

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(6/9) 高浜4号炉 配管サポート スプリングハンガに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
配管支持	イヤ		炭素鋼	△	△						*1：変形（応力緩和） *2：大気接触部 *3：コンクリート埋設部 *4：樹脂の劣化
	上部カバー		炭素鋼		△						
	ピストンプレート		炭素鋼		△						
	ハンガーロッド		炭素鋼		△						
	スプリングケース		炭素鋼		△						
	下部カバー		炭素鋼		△						
	ターンバックル		炭素鋼		△						
	クレビスブラケット		炭素鋼	△	△						
	ピン		ステンレス鋼、炭素鋼	△	△						
	無頭ボルト		炭素鋼		△						
	ロッドカプラー		炭素鋼		△						
	アイボルト		炭素鋼	△	△						
	パイプクランプ		ステンレス鋼、炭素鋼	△	△						
	ボルト、ナット		炭素鋼		△						
	ばね		ばね鋼 ばね用オイルテンパー線		△				△*1		
	ベースプレート		炭素鋼		△						
	埋込金物		炭素鋼		△*2 ▲*3						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						
基礎ボルト (ケミカルアンカ)		炭素鋼、樹脂		△				△*4			

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(7/9) 高浜4号炉 配管サポート オイルスナバに想定される経年劣化事象 (1/2)

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
配管支持	ピストンロッド		炭素鋼		△						
	シリンダチューブ		炭素鋼		△						
	タイロッド、六角ナット		炭素鋼		△						
	ロッドカバー		炭素鋼		△						
	シリンダカバー		炭素鋼		△						
	六角ボルト		低合金鋼		△						
	アダプター		炭素鋼		△						
	プレート		炭素鋼		△						
	パイプクランプ		ステンレス鋼、炭素鋼	△	△						
	ボルト、ナット		炭素鋼		△						
	スヘリカルアイボルト		炭素鋼	△	△						
	ターンバックル		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(8/9) 高浜4号炉 配管サポート オイルスナバに想定される経年劣化事象 (2/2)

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
配管支持	コネクティングパイプ		炭素鋼		△					*1：大気接触部 *2：コンクリート埋設部 *3：樹脂の劣化	
	コネクティングイヤ		炭素鋼	△	△						
	ブラケット		炭素鋼	△	△						
	ピン		炭素鋼	△	△						
	オイルリザーバ		ステンレス鋼								
	オイル	◎	—								
	オイルシール	◎	—								
	ベースプレート		炭素鋼		△						
	埋込金物		炭素鋼		△ ^{*1} ▲ ^{*2}						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						
	基礎ボルト (ケミカルアンカ)		炭素鋼、樹脂		△				△ ^{*3}		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(9/9) 高浜4号炉 配管サポート メカニカルスナバに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
配管支持	ケース		炭素鋼		△					*1：大気接触部 *2：コンクリート埋設部 *3：樹脂の劣化	
	六角ボルト		低合金鋼		△						
	イヤ		炭素鋼	△	△						
	ユニバーサルブラケット		炭素鋼	△	△						
	ユニバーサルボックス		炭素鋼	△	△						
	ピン		ステンレス鋼、炭素鋼	△	△						
	パイプクランプ		ステンレス鋼、炭素鋼	△	△						
	ボルト、ナット		炭素鋼		△						
	ジャンクションコラムアダプター		炭素鋼		△						
	プレート		炭素鋼		△						
	コネクティングチューブ		炭素鋼		△						
	ブラケット		炭素鋼	△	△						
	ボールネジ、ボールナット		低合金鋼	△							
	グリス		シリコン系オイル						△		
	ベースプレート		炭素鋼		△						
	埋込金物		炭素鋼		△ ^{*1} ▲ ^{*2}						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						
	基礎ボルト (ケミカルアンカ)		炭素鋼、樹脂		△				△ ^{*3}		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 ラグとプレートの溶接部等のサポート取付部の疲労割れ

[アンカー、スライドサポート、レストレイント]

a. 事象の説明

プラントの起動・停止等に伴う配管内部流体の温度過渡により配管は熱変位する。配管熱変位を拘束するサポートは、配管熱変位の拘束に伴う繰返し荷重を受け、図2.3-1に示すような荷重を受ける面積が小さい溶接部において疲労が蓄積する。

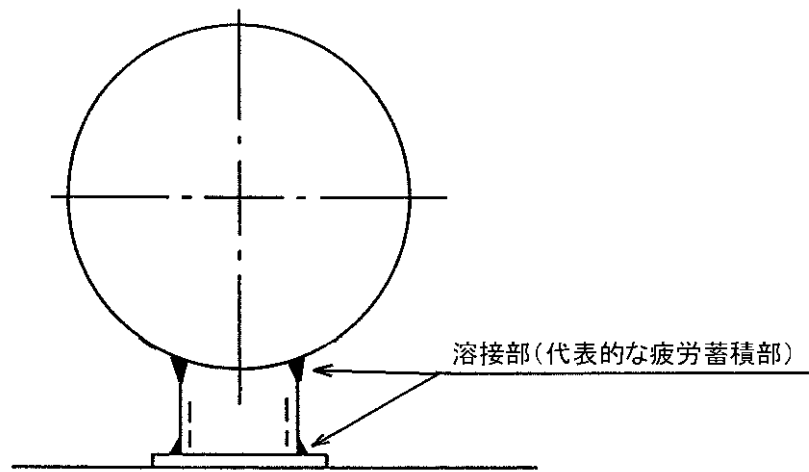


図2.3-1 配管サポート 代表的な疲労蓄積部

b. 技術評価

① 健全性評価

配管が受ける温度過渡回数が多く、大口径配管であるため大きな熱変位拘束荷重等が発生する余熱除去系統配管を代表とし、その中から、配管の全方向の変位および全方向のモーメントを拘束するため、発生する応力が他の形式のサポートに比べて大きいと考えられるアンカーサポートについて応力評価を行った。

図2.3-2に評価を行った配管サポートの構造および評価部位を示す。評価部位は、荷重を受ける面積が小さく評価上最も厳しいと考えられる配管とパッドの溶接部、パッドとラグの溶接部およびラグとプレートの溶接部とした。

配管とパッド、パッドとラグおよびラグとプレートの溶接部の評価方法については、配管系の3次元梁モデルを用いて荷重の算出を実施した上で、「日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007)」等に基づき評価を行った。

評価結果を表2.3-1に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

なお、スライドサポートおよびレストレイントについては、一部拘束機能があるものの、主要な配管熱変位を拘束しない構造となっており、疲労割れが発生する可能性はないと考える。

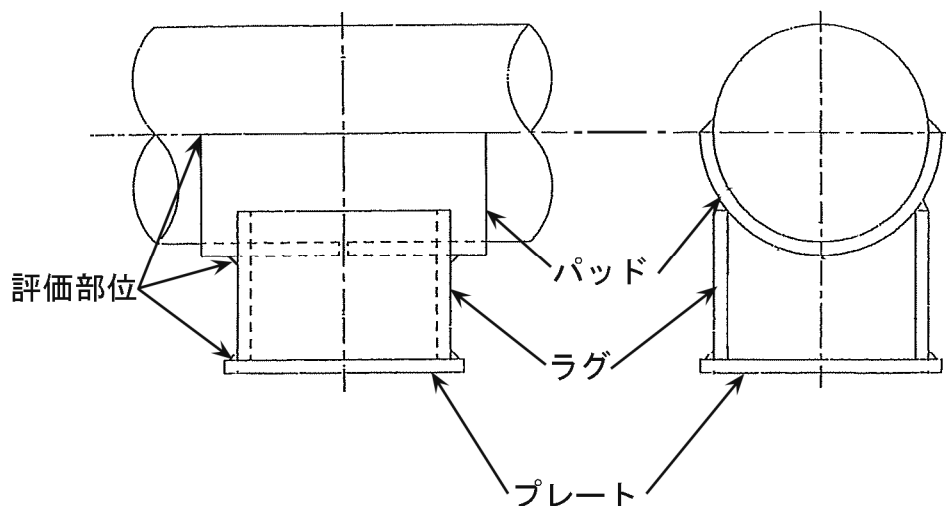


図2.3-2 高浜4号炉 配管サポート

疲労評価対象配管サポートの構造（アンカー）および評価対象部位

表2.3-1 高浜4号炉 余熱除去系統配管 配管サポートの溶接部の応力評価結果

評価対象部位 (使用材料)	応力比*1
配管とパッドの溶接部 (ステンレス鋼)	0.44
パッドとラグの溶接部 (ステンレス鋼、炭素鋼)	0.77
ラグとプレートの溶接部 (炭素鋼)	0.85

*1：応力比＝発生応力／許容応力

(注)設計建設規格 (SSB-3122) のとおり、配管サポートは「1次＋2次応力」をシェイクダウン限界に制限することで、有意な疲労累積が発生しないよう設計していることから、1次＋2次応力の評価を行っている。

② 現状保全

サポート取付部の疲労割れに対しては、クラス1、クラス2の配管サポート（配管とパッドの溶接部）については定期的に浸透探傷検査にて溶接部に有意な割れのないことを確認している。

また、それ以外については、巡視点検等で目視により支持状態に異常のないことを確認し、機器の健全性を維持している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、サポート取付部の疲労割れの可能性はないと考える。

サポート取付部の疲労割れに関しては、浸透探傷検査および目視確認で疲労割れを検知可能であり、また、疲労割れが発生するとすれば応力の観点から考えて溶接部であると判断されることから、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

サポート取付部の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

高浜発電所 4 号炉

弁の技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

関西電力株式会社

高浜4号炉の弁のうち、評価対象機器は安全重要度分類審査指針におけるクラス1、2の機器、高温・高圧の環境下にあるクラス3の機器および常設重大事故等対処設備に属する機器である。

弁を分類するにあたり、仕切弁、玉形弁等の汎用の弁（ここでは一般弁と定義する）と主蒸気止め弁、蒸気加減弁等の蒸気タービンプラント特有に使用している弁（ここでは特殊弁と定義する）に分類した。さらに、一般弁については本体部と駆動部に分類した。弁本体は、仕切弁、玉形弁等の型式に分類し、駆動部については電動装置と空気作動装置の型式に分類した。

一般弁の本体部および駆動部については構造が基本的に同様に、環境等の使用条件により材質および詳細な寸法を選定しているため、型式毎に代表的な弁および弁駆動装置を評価することが適当であると判断した。

特殊弁については構造が固有であることから、駆動装置を含めた個々の特殊弁毎に評価を実施することが適当であると判断した。

一般弁の本体部および駆動部、また、特殊弁（駆動部を含む）の一覧を表1に、一般弁の種類と各々の使用系統を整理したものを表2に、また、使用系統の概要を表3に、弁の機能（一般弁については弁の型式毎の機能）を表4に示す。

本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考えられる。

なお、本評価書における分解点検には、定期的実施する分解点検に加え、状態監視や傾向監視等の結果に基づき計画、実施する分解点検を含んでいる。

また、点検等で確認した結果、異常が認められた場合は速やかに対策を施すこととしており、異常が認められた場合に対策を実施する旨の記載は省略している。

さらに、設置してから分解点検等の実績がない場合も、保全計画が定められていれば「確認している」等と表記している。

本評価書では弁の型式等を基に、以下の3つに分類している。

- 1 一般弁（本体部）
 - 1.1 仕切弁
 - 1.2 玉形弁
 - 1.3 バタフライ弁

- 1.4 ダイヤフラム弁
- 1.5 スイング逆止弁
- 1.6 リフト逆止弁
- 1.7 安全逃がし弁
- 2 一般弁（駆動部）
 - 2.1 電動装置
 - 2.2 空気作動装置
- 3 特殊弁
 - 3.1 主蒸気止め弁
 - 3.2 蒸気加減弁
 - 3.3 インターセプト弁・再熱蒸気止め弁
 - 3.4 タービン動主給水ポンプ蒸気止め弁・蒸気加減弁

なお、一般弁の本体部および駆動部のサポートは配管のサポートと同様であり、「配管の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

表1 一般弁および特殊弁の一覧

一般弁	本体部	仕切弁
		玉形弁
		バタフライ弁
		ダイヤフラム弁
		スイング逆止弁
		リフト逆止弁
		安全逃がし弁
	駆動部	電動装置
		空気作動装置
特殊弁 (駆動部を含む)	主蒸気止め弁	
	蒸気加減弁	
	インターセプト弁・レヒートストップ弁	
	タービン動主給水ポンプ蒸気止め弁・蒸気加減弁	

表 2 主要な一般弁の設置系統および型式別一覧

系統名	仕切弁	玉形弁	バタフライ弁	ダイヤフラム弁	スイング逆止弁	リフト逆止弁	安全逃がし弁
1次冷却系統	○	○		○	○	○	○
化学体積制御系統	○	○		○	○	○	○
安全注入系統	○	○			○	○	○
余熱除去系統	○	○	○		○	○	○
格納容器内部スプレイ系統	○	○			○	○	
燃料ピット冷却系統	○	○	○			○	
燃料取替用水系統	○	○		○	○	○	
1次系試料採取系統		○		○		○	○
1次系洗浄水系統（注3）				○		○	
主蒸気系統	○	○	○		○		○
第3抽気系統	○				○		
第4抽気系統	○				○		
第5抽気系統	○				○		
第6抽気系統	○				○		
ドレン系統	○	○			○	○	○
グラント蒸気系統	○	○			○		○
主給水系統	○	○			○	○	○
補助給水系統	○	○			○	○	
復水系統	○	○			○	○	○
蒸気発生器ブローダウン系統		○					
高温再熱蒸気系統							○
原子炉補機冷却水系統	○	○	○		○	○	○
計器用空気系統	○	○		○		○	
雑用空気系統（注3）		○				○	
気体廃棄物処理系統		○		○		○	○
液体廃棄物処理系統		○	○	○	○	○	○
固体廃棄物処理系統		○			○	○	○
雑固体廃棄物焼却設備		○					
廃樹脂処理装置				○		○	○
消火水系統（注3）		○			○		
海水系統			○	○	○		
補助蒸気系統	○	○			○	○	○
換気空調系統	○	○	○		○	○	
非常用ディーゼル発電機設備	○	○	○	○	○	○	○
タービン潤滑油系統		○			○		
タービンEHガバナ制御油系統		○					
ほう酸回収系統		○	○			○	○
炭酸ガス系統（注3）		○			○	○	

（注） 1. ○印は、当該弁ありを示す。

2. 1次冷却材管、低温再熱蒸気系統、第1抽気系統および第2抽気系統には、主要な一般弁は設置していない。

3. 格納容器バウンダリに該当するため格納容器隔離弁（MS-1）を対象弁とする。

表3 高浜4号炉 主要な一般弁の使用系統 (1/2)

系統	機能
1次冷却系統	炉心で発生した熱を蒸気発生器で2次系に伝達する。
化学体積制御系統	1次冷却系統の1次冷却材保有量を適正に調整し、1次冷却材中の核分裂生成物、腐食生成物等の不純物を浄化する。
安全注入系統	1次冷却材喪失事故あるいは主蒸気管破断事故時等に、ほう酸水を原子炉容器に注入することにより炉心の冷却かつ負の反応度添加を行う。
余熱除去系統	炉を停止した後に1次冷却系統に残留している熱、炉心の崩壊熱および1次冷却系統を均一に冷却する目的で運転する1次冷却材ポンプの発生熱を除去し、1次冷却系統を降温させる。
格納容器内部スプレイ系統	事故時における格納容器からの放射性物質の漏えいを最小にし公衆の安全を確保する。
燃料ピット冷却系統	燃料ピット中の使用済燃料からの崩壊熱を除去し、燃料ピット水の冷却を行うとともに、燃料ピット、キャビティおよび燃料取替用水タンクのほう酸水を浄化する。
燃料取替用水系統	燃料取替用水タンク水の浄化および水温の維持ならびに燃料ピットの補給水としてほう酸水を補給する。
1次系試料採取系統	1次冷却材の化学的性質および放射性物質の種類と量を把握するための流体サンプルを採取する。
1次系洗浄水系統	管理区域内機器に洗浄水を供給する。
主蒸気系統	蒸気発生器にて発生した蒸気をタービンに送る。
第3抽気系統	低圧タービンからの抽気を第3低圧給水ヒータへ供給する。
第4抽気系統	低圧タービンからの抽気を第4低圧給水ヒータへ供給する。
第5抽気系統	低圧タービンからの抽気を第5低圧給水へ供給する。
第6抽気系統	高圧タービンからの抽気を脱気器へ供給する。
ドレン系統	各加熱器より発生したドレンを移送、回収する。
グランド蒸気系統	タービンのグランド部へ蒸気シールの蒸気を供給する。
主給水系統	蒸気発生器の水位を維持するために給水を蒸気発生器に供給する。
補助給水系統	主給水が使用できない場合に補助給水を蒸気発生器に供給する。
復水系統	復水器により回収された復水を脱気器へ供給する。
蒸気発生器ブローダウン系統	蒸気発生器2次側の水を抽出し、蒸気発生器内の水質を維持する。

表3 高浜4号炉 主要な一般弁の使用系統 (2/2)

系統	機能
高温再熱蒸気系統	湿水分離加熱器にて湿分を除去した蒸気を主蒸気により加熱後、低圧タービンに供給する。
原子炉補機冷却水系統	プラントの全運転モードにおいて、1次系補機に冷却水を供給する。
計器用空気系統	清浄で乾燥した圧縮空気をタービン建屋、補助建屋および格納容器内の空気作動弁、空気式機器および計測制御機器等に供給する。
雑用空気系統	良質な空気を必要としない機器、作業に圧縮空気を供給する。
気体廃棄物処理系統	窒素をカバーガスとする各タンクからのベントガス等の窒素廃ガスおよび体積制御タンク等からパージされる水素廃ガスを貯留し、放射能を減衰処理する。
液体廃棄物処理系統	液体廃棄物を濃縮処理し、廃液と蒸留液に分ける。
固体廃棄物処理系統	焼却できない固体の廃棄物や濃縮廃液を、固体廃棄物に処理する設備を構成する。
雑固体廃棄物焼却設備	可燃性雑固体を焼却減容する。
廃樹脂処理装置	廃樹脂から放射性物質を分離除去し、廃液と放射性物質が除去された廃樹脂に分ける。
海水系統	1・2次系の系統および補機において発生または蓄積された熱を除去する。
補助蒸気系統	スチームコンバータまたは補助ボイラにて発生した蒸気を各補機に送る。
換気空調系統	タービン建屋、補助建屋および格納容器内の換気、空調を行う。
非常用ディーゼル発電機設備	外部電源喪失時に、安全系の機器の駆動に必要な電力を供給する。
タービン潤滑油系統	タービン潤滑油を移送・回収する。
タービンEHガバナ制御油系統	タービンEHガバナ制御油を移送・回収する。
ほう酸回収系統	ホールドアップタンクに集められたほう酸水を濃縮処理し、ほう酸溶液と純度の高い蒸留液に分離回収する。
炭酸ガス系統	一次冷却材ポンプモータの消火用の二酸化炭素ガスを供給する。
消火水系統	発電所内各所に消火用水を供給する。

表4 高浜4号炉 弁の機能

弁	種類	機能
一般弁	仕切弁	主に流体の仕切に使用する弁である。
	玉形弁	主に流体の仕切および流量調節に使用する弁である。
	バタフライ弁	
	ダイヤフラム弁	主に流体の仕切に使用する弁である。
	スイング逆止弁	主に流体の流れ方向を制限するために使用する弁である。
	リフト逆止弁	
	安全逃がし弁	主に流体吹き出しにより入口圧力を抑制するために使用する弁である。
特殊弁	主蒸気止め弁	タービン入口に設置され、トリップ時に蒸気を遮断する弁である。
	蒸気加減弁	タービン入口に設置され、蒸気流量を調整してタービンの回転数および負荷を調整する弁である。
	インターセプト弁	低圧タービン入口に設置され、負荷遮断時蒸気流量を調整してタービン過速度を防止する弁である。
	レヒートストップ弁	低圧タービン入口に設置され、トリップ時に蒸気を遮断する弁である。
	タービン動主給水ポンプ蒸気止め弁・蒸気加減弁	主給水ポンプタービン入口に設置され、蒸気の遮断および蒸気流量を調整してタービンの回転数および負荷を調整する弁である。

1 一般弁

[対象機器]

- 1.1 仕切弁
- 1.2 玉形弁
- 1.3 バタフライ弁
- 1.4 ダイヤフラム弁
- 1.5 スイング逆止弁
- 1.6 リフト逆止弁
- 1.7 安全逃がし弁

1.1 仕切弁

[対象機器]

- ① 1次冷却系統仕切弁
- ② 化学体積制御系統仕切弁
- ③ 安全注入系統仕切弁
- ④ 余熱除去系統仕切弁
- ⑤ 格納容器内部スプレイ系統仕切弁
- ⑥ 燃料ピット冷却系統仕切弁
- ⑦ 燃料取替用水系統仕切弁
- ⑧ 主蒸気系統仕切弁
- ⑨ 第3抽気系統仕切弁
- ⑩ 第4抽気系統仕切弁
- ⑪ 第5抽気系統仕切弁
- ⑫ 第6抽気系統仕切弁
- ⑬ ドレン系統仕切弁
- ⑭ グランド蒸気系統仕切弁
- ⑮ 主給水系統仕切弁
- ⑯ 補助給水系統仕切弁
- ⑰ 復水系統仕切弁
- ⑱ 原子炉補機冷却水系統仕切弁
- ⑲ 計器用空気系統仕切弁
- ⑳ 補助蒸気系統仕切弁
- ㉑ 換気空調系統仕切弁
- ㉒ 非常用ディーゼル発電機設備仕切弁

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	6
2.1 構造、材料および使用条件	6
2.2 経年劣化事象の抽出	21
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	32
3. 代表機器以外への展開	35
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	35
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	36

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されている仕切弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらの仕切弁を設置場所、内部流体および材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す仕切弁について、設置場所、内部流体および材料を分離基準として考えると、合計5個のグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：1次冷却材

このグループには1次冷却系統、化学体積制御系統、安全注入系統、余熱除去系統、格納容器内部スプレイ系統、燃料ピット冷却系統および燃料取替用水系統の仕切弁が属するが、重要度が高い余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁を代表機器とする。

(2) 設置場所：屋内外、材料：ステンレス鋼、内部流体：給水、蒸気または純水

このグループには補助給水系統、第5抽気系統、第6抽気系統および補助蒸気系統の仕切弁が属するが、重要度が高い電動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁を代表機器とする。

(3) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼または銅合金、内部流体：空気、亜硝酸水またはヒドラジン水

このグループには非常用ディーゼル発電機設備、計器用空気系統および原子炉補機冷却水系統の仕切弁が属するが、重要度および温度が高いDG燃料弁冷却水冷却器入口弁を代表機器とする。

(4) 設置場所：屋内または屋内外、材料：炭素鋼、内部流体：蒸気、給水または純水

このグループには主蒸気系統、第3抽気系統、第4抽気系統、第6抽気系統、ドレン系統、グラウンド蒸気系統、主給水系統、補助給水系統、復水系統、補助蒸気系統、換気空調系統および非常用ディーゼル発電機設備の仕切弁が属するが、重要度および温度が高く口径が大きい主蒸気逃がし弁元弁を代表機器とする。

- (5) 設置場所：屋内、材料：炭素鋼、内部流体：ヒドラジン水、空気または油、
このグループには原子炉補機冷却水系統、計器用空気系統および非常用ディーゼル発電機設備の仕切弁が属するが、温度および圧力が高い1次冷却材ポンプ冷却水入口第2隔離弁を代表機器とする。

表 1-1 (1/3) 高浜 4 号炉 仕切弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)			
屋内	ステンレス鋼	1次冷却材	8	1次冷却系統	3~12	PS-1、重*3	約 17.2	約 360	◎	余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁 (12B)	重要度
			28	化学体積制御系統	3~8	MS-1、PS-2、重*3	約 18.8	約 150			
			18	安全注入系統	3~24	MS-1、高*2、重*3	約 18.8	約 200			
			17	余熱除去系統	6~14	MS-1、重*3	約 17.2	約 200			
			17	格納容器内部スプレイ系統	4~14	MS-1、重*3	約 2.7	約 150			
			1	燃料ピット冷却系統	10	MS-2	約 1.0	約 95			
			4	燃料取替用水系統	3~6	MS-1、MS-2、重*3	約 1.4	約 132			
屋内外	ステンレス鋼	給水	6	補助給水系統	6~8	MS-1、重*3	約 0.3	約 40	◎	電動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁 (8B)	重要度
屋外		蒸気	1	第5抽気系統	24	高*2	約 1.4	約 200			
屋内		第6抽気系統	1	12	高*2	約 2.7	約 235				
		補助蒸気系統	1	8	高*2	約 2.7	約 235				
		純水	1	補助蒸気系統	1	高*2	約 0.9	約 185			
屋内	銅合金	亜硝酸水	4	非常用ディーゼル発電機設備	1 1/2	MS-1	約 0.5	約 60	◎	DG燃料弁冷却水冷却器入口弁 (1 1/2B)	重要度、温度
	ステンレス鋼	空気	1	計器用空気系統	2	MS-1	約 0.8	約 50			
		ヒドラジン水	2	原子炉補機冷却水系統	3	重	約 1.0	約 95			

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

表 1-1 (2/3) 高浜 4 号炉 仕切弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)			
屋内	炭素鋼	蒸気	46	主蒸気系統	1~18	MS-1、高*2、重*3	約 7.5	約 291	◎	主蒸気逃がし弁元弁 (6B)	重要度、温度、口径
			3	第 3 抽気系統	24	高*2	約 0.2	約 165			
			3	第 4 抽気系統	16	高*2	約 0.5	約 217			
			2	第 6 抽気系統	14	高*2	約 2.7	約 235			
			26	グラント蒸気系統	2~12	高*2	約 7.5	約 291			
屋内外			24	ドレン系統	3~5	高*2	約 7.5	約 291			
			47	補助蒸気系統	3/4~16	高*2	約 7.5	約 291			
屋内	給水		51	ドレン系統	3~12	高*2	約 7.5	約 291			
屋内外			21	補助給水系統	3~6	MS-1、重*3	約 12.3	約 235			
			31	主給水系統	2~26	MS-1、高*2、重*3	約 10.2	約 235			
屋内			66	復水系統	3/4~18	高*2	約 10.2	約 200			
			38	補助蒸気系統	3/4~6	高*2	約 2.7	約 235			
			46	換気空調系統	1 1/2~8	MS-1、MS-2	約 1.0	約 45			
			純水	6	非常用ディーゼル発電機設備	6	MS-1	約 0.5	約 90		

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が 95°C を超え、または最高使用圧力が 1900kPa を超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス 3 の機器。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

表 1-1 (3/3) 高浜 4 号炉 仕切弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)			
屋内	炭素鋼	ヒドラジン水	77	原子炉補機冷却水系統	2~20	MS-1、重*3	約 1.2	約 132	◎	1 次冷却材ポンプ冷却水入口第 2 隔離弁 (10B)	温度、圧力
		空気	1	計器用空気系統	3	MS-1、重*3	約 0.8	約 132			
		油	4	非常用ディーゼル発電機設備	6	MS-1	約 0.8	約 80			

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が 95°C を超え、または最高使用圧力が 1900kPa を超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス 3 の機器。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の5種類の仕切弁について技術評価を実施する。

- ① 余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁
- ② 電動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁
- ③ DG燃料弁冷却水冷却器入口弁
- ④ 主蒸気逃がし弁元弁
- ⑤ 1次冷却材ポンプ冷却水入口第2隔離弁

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁

(1) 構造

高浜4号炉の余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁は電動仕切弁であり、1次冷却系統に設置されている。

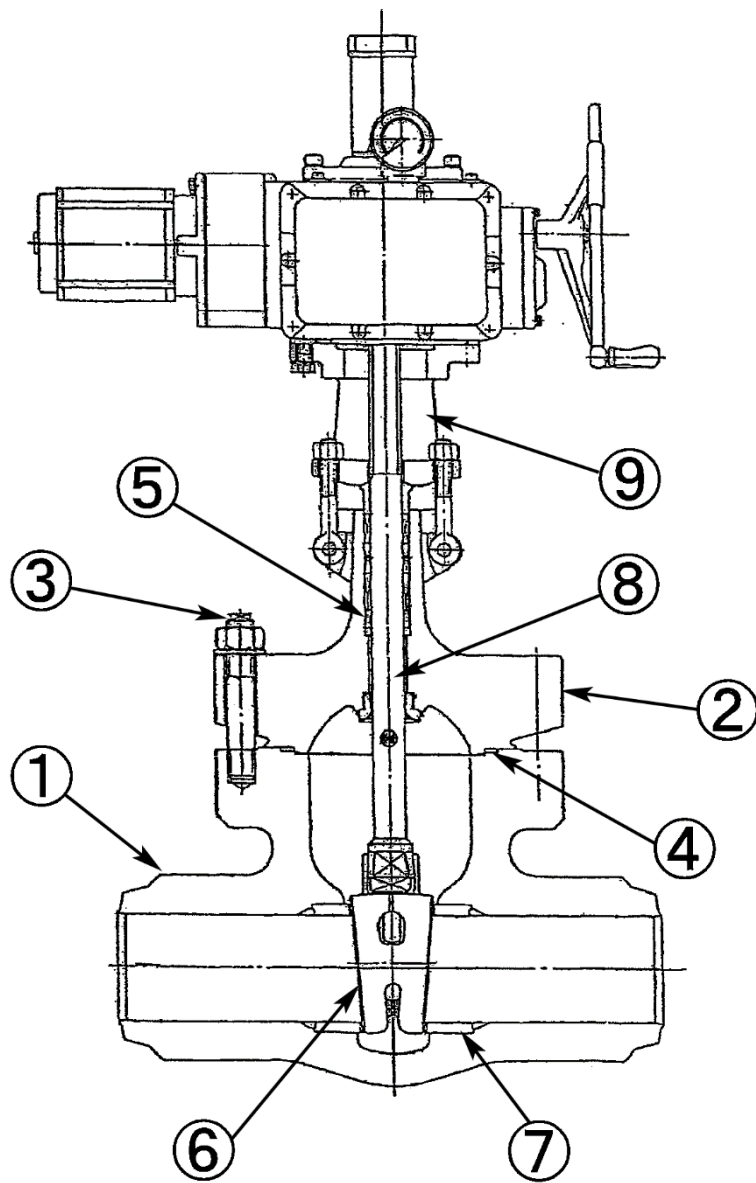
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱、弁蓋および弁体にはステンレス鋼鋳鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。

高浜4号炉の余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	弁棒
⑨	ヨーク

図2.1-1 高浜4号炉 余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁構造図

表2.1-1 高浜4号炉 余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼鋳鋼（ステライト肉盛）
弁座	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼
ヨーク	炭素鋼鋳鋼

表2.1-2 高浜4号炉 余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁の使用条件

最高使用圧力	約 17.2MPa [gage]
最高使用温度	約 343℃
内部流体	1次冷却材

2.1.2 電動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁

(1) 構造

高浜4号炉の電動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁は電動仕切弁であり、補助給水系統に設置されている。

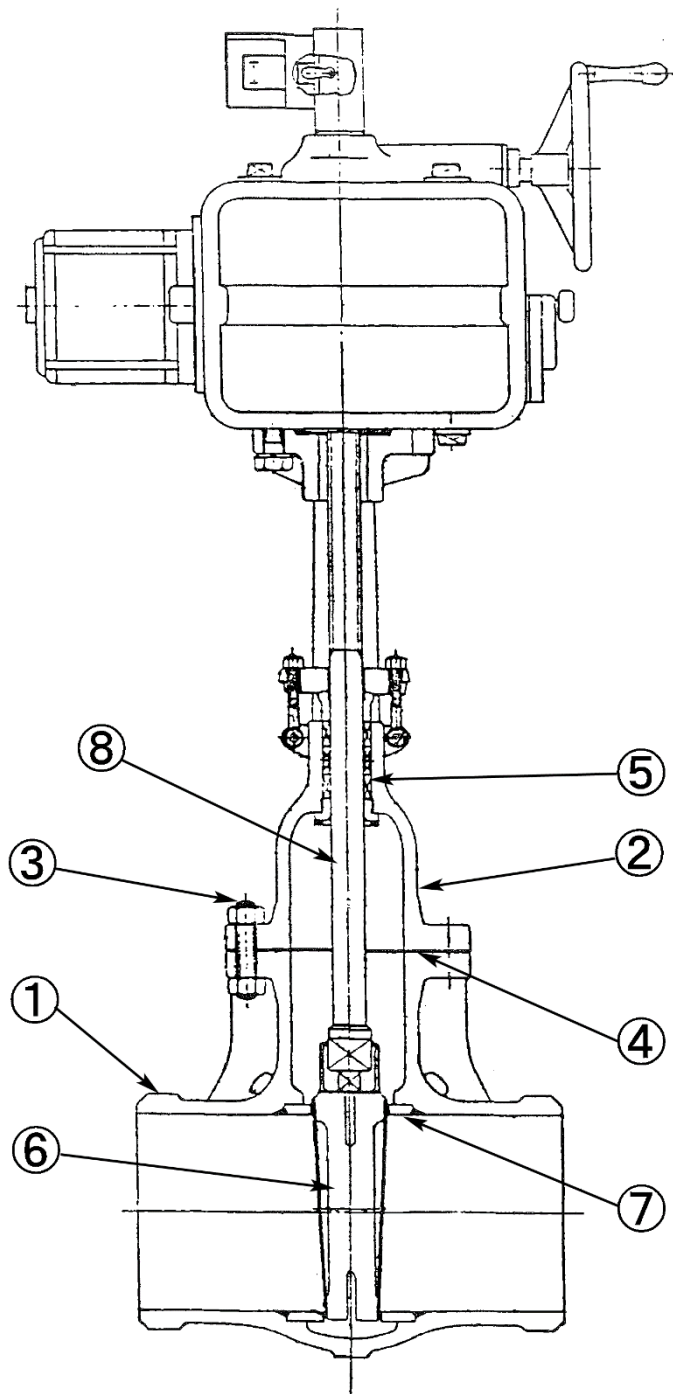
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱、弁蓋および弁体にはステンレス鋼鋳鋼を使用しており、給水に接液している。

高浜4号炉の電動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の電動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	弁棒

図2.1-2 高浜4号炉 電動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁構造図

表2.1-3 高浜4号炉 電動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼鋳鋼 (ステライト肉盛)
弁座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁棒	ステンレス鋼

表2.1-4 高浜4号炉 電動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁の使用条件

最高使用圧力	約 0.3MPa [gage]
最高使用温度	約 40℃
内部流体	給水

2.1.3 DG燃料弁冷却水冷却器入口弁

(1) 構造

高浜4号炉のDG燃料弁冷却水冷却器入口弁は、手動仕切弁であり、非常用ディーゼル発電機設備に設置されている。

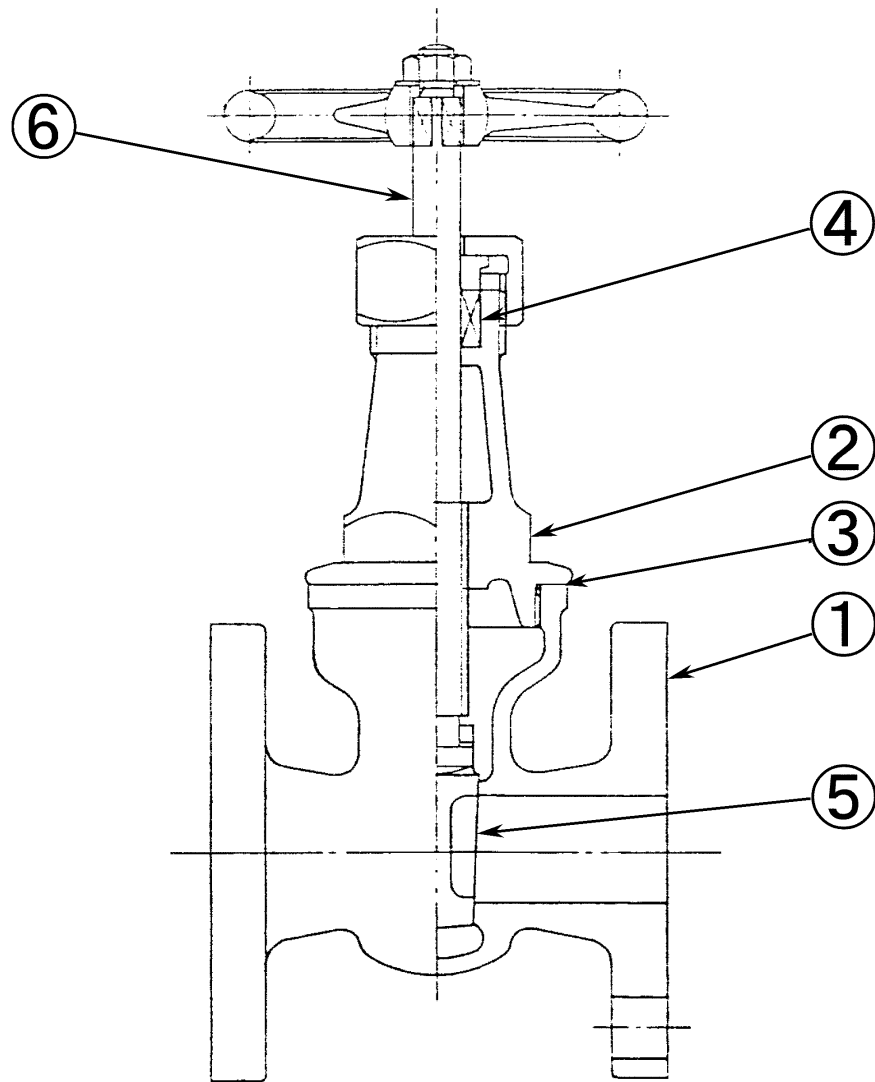
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱、弁蓋および弁体には銅合金鋳物を使用しており、亜硝酸水に接している。

高浜4号炉のDG燃料弁冷却水冷却器入口弁の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉のDG燃料弁冷却水冷却器入口弁の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。



No.	部位
①	弁箱（弁座と一体）
②	弁蓋
③	ガスケット
④	パッキン
⑤	弁体
⑥	弁棒

図2.1-3 高浜4号炉 DG燃料弁冷却水冷却器入口弁構造図

表2.1-5 高浜4号炉 DG燃料弁冷却水冷却器入口弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	銅合金鋳物
弁蓋	銅合金鋳物
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	銅合金鋳物
弁棒	銅合金

表2.1-6 高浜4号炉 DG燃料弁冷却水冷却器入口弁の使用条件

最高使用圧力	約 0.5MPa [gage]
最高使用温度	約 60℃
内部流体	亜硝酸水

2.1.4 主蒸気逃がし弁元弁

(1) 構造

高浜4号炉の主蒸気逃がし弁元弁は、電動仕切弁であり、主蒸気系統に設置されている。

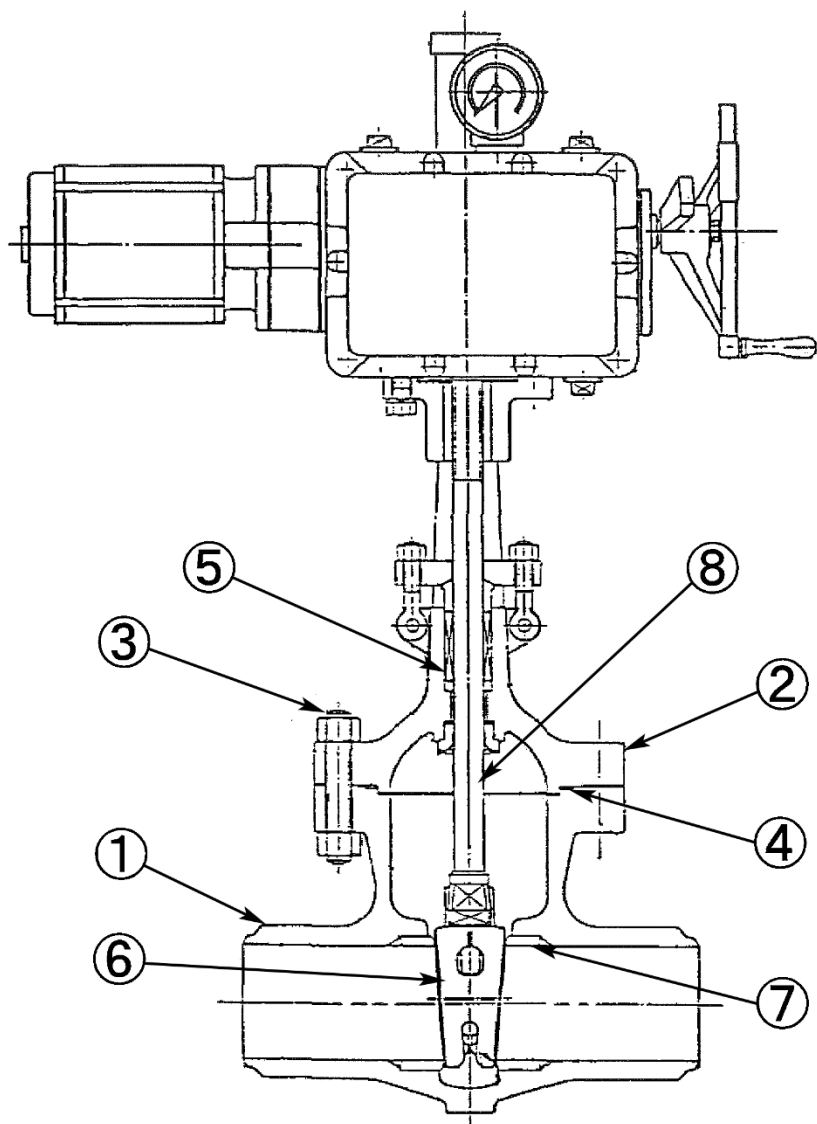
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱、弁蓋および弁体には炭素鋼鋳鋼を使用しており、蒸気に接している。

高浜4号炉の主蒸気逃がし弁元弁の構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の主蒸気逃がし弁元弁の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	弁棒

図2.1-4 高浜4号炉 主蒸気逃がし弁元弁構造図

表2.1-7 高浜4号炉 主蒸気逃がし弁元弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	炭素鋼鋳鋼（ステライト肉盛）
弁座	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼

表2.1-8 高浜4号炉 主蒸気逃がし弁元弁の使用条件

最高使用圧力	約 7.5MPa [gage]
最高使用温度	約 291℃
内部流体	蒸気

2.1.5 1次冷却材ポンプ冷却水入口第2隔離弁

(1) 構造

高浜4号炉の1次冷却材ポンプ冷却水入口第2隔離弁は電動仕切弁であり、原子炉補機冷却水系統に設置されている。

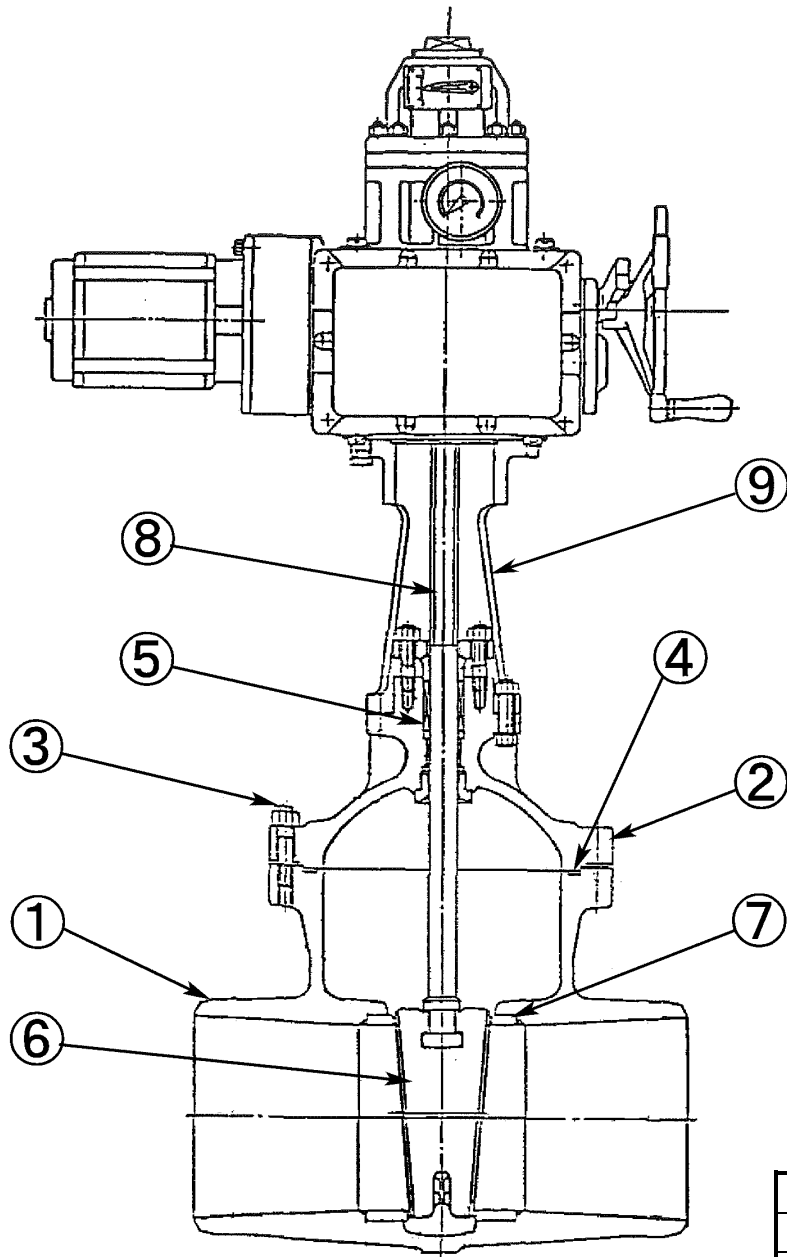
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱、弁蓋および弁体には炭素鋼鋳鋼を使用しており、ヒドラジン水（防錆剤注入水）に接液している。

高浜4号炉の1次冷却材ポンプ冷却水入口第2隔離弁の構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の1次冷却材ポンプ冷却水入口第2隔離弁の使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	弁棒
⑨	ヨーク

図2.1-5 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ冷却水入口第2隔離弁構造図

表2.1-9 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ冷却水入口第2隔離弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	炭素鋼鋳鋼（ステライト肉盛）
弁座	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼
ヨーク	炭素鋼鋳鋼

表2.1-10 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ冷却水入口第2隔離弁の使用条件

最高使用圧力	約 1.0MPa [gage]
最高使用温度	約 132℃
内部流体	ヒドラジン水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

仕切弁の機能である流体の仕切機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

仕切弁個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（内部流体、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 弁箱の疲労割れ [余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁]

余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁はプラントの起動・停止時等に発生する内部流体のステップ状の大きな温度変化により、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 弁体、弁座シート面の摩耗 [共通]

弁体、弁座シート面は弁の開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 弁棒（パッキン受け部）の摩耗 [共通]

弁棒は開閉に伴うパッキン受け部との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 弁棒の腐食（隙間腐食） [共通]

弁棒はパッキンとの接触部において腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (4) ヨークの腐食（全面腐食）〔余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁、1次冷却材ポンプ冷却水入口第2隔離弁〕

炭素鋼鋳鋼のヨークは、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、分解点検時の目視確認により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (5) 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食）〔主蒸気逃がし弁元弁〕

炭素鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋、弁体および炭素鋼の弁座は、内部流体（蒸気）による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (6) 弁箱、弁蓋等の外面からの腐食（全面腐食）〔主蒸気逃がし弁元弁、1次冷却材ポンプ冷却水入口第2隔離弁〕

炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋等は、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(7) 弁箱、弁蓋の熱時効 [余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁]

弁箱、弁蓋はステンレス鋼であり、使用温度が250℃以上と高いため、熱時効による材料特性変化を起こす可能性があるが、熱時効は材質変化に加え、欠陥が存在し、かつ高い応力が存在する場合について検討が必要となる。

しかしながら、弁は接続される配管と比較して厚板に製造されていることから発生応力は小さく、製造時の非破壊検査で有意な欠陥がないことを確認し、さらに運転開始後60年を想定した疲労評価でも許容値を満足することから、評価期間において欠陥の発生する要因があるとは考えにくい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(8) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食） [余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁、電動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁、主蒸気逃がし弁元弁]

弁蓋ボルトは低合金鋼または炭素鋼であり、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

(9) 弁体、弁棒の摩耗（連結部） [共通]

弁体と弁棒の連結部ははめ込み式であるため、弁内部の流れにより弁体が振動する可能性があり、連結部で摩耗が想定される。

しかしながら、弁体にはその振動等を拘束するための弁体ガイドを設けるとともに流れの影響を受けないよう開弁時には弁体を弁蓋内に収める構造としている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(10) 弁棒の応力腐食割れ [共通]

1989年3月、川内2号炉の仕切弁で水素脆化型の応力腐食割れ（遅れ割れ）による弁棒の亀裂損傷が発生しているが、弁開時にバックシートを効かせ過ぎたことにより過大な応力が発生したことが原因である。

しかしながら、高浜4号炉においては、手動弁は開弁時バックシートを効かせず、電動弁はバックシート部の発生応力を制限して弁開時のバックシート部に過大な応力が発生しないようにしている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(11) 弁箱等の腐食（全面腐食） [1次冷却材ポンプ冷却水入口第2隔離弁]

弁箱、弁蓋、弁体、弁座は炭素鋼または炭素鋼であり、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、内部流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(12) 弁箱、弁蓋の外表面からの応力腐食割れ [電動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁]

屋外に設置されたステンレス鋼製製の弁箱、弁蓋は、外表面に大気中の海塩粒子等の塩分が付着した場合、塩化物イオンにより応力腐食割れが発生する可能性がある。

しかしながら、外表面への海塩粒子等の直接接触は、塗装により防止しており、塗膜が健全であれば応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修を実施することで、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットおよびパッキンは分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表 2.2-1(1/5) 高浜 4 号炉 余熱除去ポンプCループ側入口第 1 隔離弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼			○		△		*1：隙間腐食	
	弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼					△			
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼鋳鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△	△*1		△				
	ヨーク		炭素鋼鋳鋼		△						

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1 (2/5) 高浜 4 号炉 電動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼				△			*1：隙間腐食	
	弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼				△				
	弁蓋ボルト		炭素鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼鋳鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△	△*1		△				

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(3/5) 高浜4号炉 DG燃料弁冷却水冷却器入口弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		銅合金鋳物	△						*1：隙間腐食	
	弁蓋		銅合金鋳物								
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		銅合金鋳物	△							
	弁棒		銅合金	△	△*1		△				

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1 (4/5) 高浜 4 号炉 主蒸気逃がし弁元弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労 割れ	応力腐 食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1,2}					*1:流れ加速型 腐食 *2:全面腐食 (外面) *3:隙間腐食	
	弁蓋		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1,2}						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		炭素鋼鋳鋼 (ステライト肉盛)	△	△ ^{*1}						
	弁座		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△ ^{*1}						
	弁棒		ステンレス鋼	△	△ ^{*3}		△				

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(5/5) 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ冷却水入口第2隔離弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ (内面・外面)						*1：隙間腐食
	弁蓋		炭素鋼鋳鋼		△ (内面・外面)						
	弁蓋ボルト		低合金鋼								
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		炭素鋼鋳鋼 (ステライト肉盛)	△	△						
	弁座		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△						
	弁棒		ステンレス鋼	△	△*1		△				
	ヨーク		炭素鋼鋳鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 弁箱の疲労割れ〔余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁〕

a. 事象の説明

余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁は、プラント起動・停止時等に熱過渡を繰り返し受けるため、疲労が蓄積する。

b. 技術評価

① 健全性評価

余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁の評価にあたっては、「日本機械学会 設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007)」に基づき評価を行った。評価対象部位を図2.3-1に示す。

また、使用環境を考慮した疲労について、「日本機械学会 環境疲労評価手法(JSME S NF1-2009)」に基づき評価した。

疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。

なお、運転期間延長認可申請に伴う評価として、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的*に設定した過渡回数とした。

*：評価条件として、2020年度以降の過渡発生頻度は実績の1.5倍以上を想定した。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値に対し余裕のある結果が得られている。

② 現状保全

弁箱の疲労割れに対しては、定期的な分解点検時に弁内面の目視確認を実施し、有意な異常がないことを確認するとともに、定期的な漏えい確認を実施し健全性を確認している。さらに、高経年化技術評価に合わせて、実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、弁箱の疲労割れ発生の可能性はないと考える。

ただし、疲労評価は実績過渡回数に依存するため、今後実績過渡回数を把握し評価する必要がある。

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、また異常のないことは、目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

弁箱の疲労割れについては、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認する。

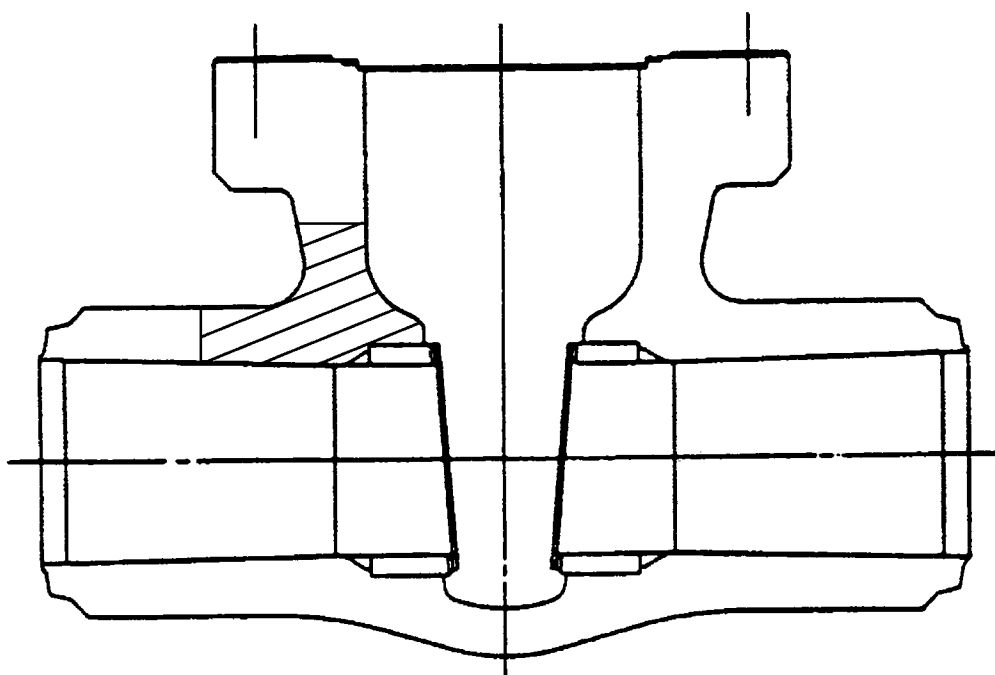


図2.3-1 高浜4号炉 余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁の
疲労評価対象部位（斜線部）

表2.3-1 高浜4号炉 余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁の評価用過渡条件

運転状態Ⅰ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動(温度上昇率55.6℃/h)	35	71
停止(温度下降率55.6℃/h)	34	71
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	308	800
負荷減少(負荷減少率5%/min)	298	790
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	4
定常負荷運転時の変動 ^{*1}	-	-
燃料交換	24	62
0%から15%への負荷上昇	35	66
15%から0%への負荷減少	25	55
1ループ停止/1ループ起動		
Ⅰ) 停止	0	2
Ⅱ) 起動	0	2

運転状態Ⅱ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
負荷の喪失	4	6
外部電源喪失	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	0	2
100%からの原子炉トリップ		
Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	3	6
Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2
Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	2
1次冷却系の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	0	2
タービン回転試験	3	3
一次系漏えい試験	31	65

*1:「設計評価においては、1次冷却材温度±1.7℃、1次冷却材圧力は±0.34MPa(±3.5kg/cm²)の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。」

表2.3-2 高浜4号炉 余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁の疲労評価結果

部位	疲労累積係数(許容値:1以下)	
	設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
弁箱 (ステンレス鋼鋳鋼)	0.004	0.101

3. 代表機器以外への展開

本章では、2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 弁箱の疲労割れ [1次冷却系統仕切弁]

プラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材のステップ状の大きな温度変化を受ける余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁の疲労評価結果では表2.3-2に示すように許容値に対して余裕があり、当該弁と同等以下の過渡しか受けないその他の弁についても、疲労割れが発生する可能性はないと考える。

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、また異常のないことは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、弁箱の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.2.1 弁体、弁座または弁箱弁座部シート面の摩耗 [共通]

弁体、弁座または弁箱弁座部シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.2 弁棒（パッキン受け部）の摩耗 [共通]

弁棒は開閉に伴うパッキン受け部との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、定期的な分解点検時に目視確認を行い、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.3 弁棒の腐食（隙間腐食） [共通]

弁棒はパッキンとの接触部において腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.4 ヨークの腐食（全面腐食） [ヨークのある弁共通]

炭素鋼鋳鋼または炭素鋼のヨークは、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.5 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食）〔内部流体が蒸気または高速水の系統の仕切弁〕

内部流体が蒸気または高速の水であり、炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座を用いている弁には、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.6 弁箱、弁蓋の外表面からの腐食（全面腐食）〔共通〕

炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋は、外表面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.7 弁箱等の腐食（エロージョン）〔ドレン系統、グラント蒸気系統および補助蒸気系統の仕切弁〕

蒸気、凝縮水が流れる仕切弁のうち、高減圧部となる部位では流速が大きくなるため、弁箱、弁蓋、弁体、弁座にエロージョンによる減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.8 弁箱等の腐食（全面腐食）〔補助給水系統、補助蒸気系統、換気空調系統および非常用ディーゼル発電機設備の仕切弁〕

炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座を持つ弁のうち、内部流体が飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）水である弁については、長期使用により腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.9 弁箱、弁蓋の熱時効 [ステンレス鋼鋳鋼製の弁共通]

ステンレス鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋であり、使用温度が250℃以上と高いものは、熱時効による材料特性変化を起こす可能性があるが、熱時効は材質変化に加え、欠陥が存在し、かつ高い応力が存在する場合について検討が必要となる。

しかしながら、弁は接続される配管と比較して厚板に製造されていることから発生応力は小さく、製造時の非破壊検査で有意な欠陥がないことを確認し、さらに疲労評価上厳しくなると考えられる代表弁では運転開始後60年を想定した疲労評価でも許容値を満足することから、評価期間において欠陥の発生する要因があるとは考えにくい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.10 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食） [低合金鋼製または炭素鋼製の弁蓋ボルトのある弁共通]

弁蓋ボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

3.2.11 弁体、弁棒の摩耗（連結部） [共通]

弁体と弁棒の連結部ははめ込み式であるため、弁内部の流れにより弁体が振動する可能性があり、連結部の摩耗が想定される。

しかしながら、弁体にはその振動等を拘束するための弁体ガイドを設けるとともに、流れの影響を受けないよう開弁時には弁体を弁蓋内に収める構造としている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.12 弁棒の応力腐食割れ [共通]

1989年3月、川内2号炉の仕切弁で水素脆化型の応力腐食割れ（遅れ割れ）による弁棒の亀裂損傷が発生しているが、弁開時にバックシートを効かせ過ぎたことにより過大な応力が発生したことが原因である。

しかしながら、高浜4号炉においては、手動弁は開弁時バックシートを効かせず、電動弁、空気作動弁はバックシート部の発生応力を制限して弁開時のバックシート部に過大な応力が発生しないようにしている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.13 弁箱等の腐食（全面腐食） [原子炉補機冷却水系統、計器用空気系統および非常用ディーゼル発電機設備の仕切弁]

炭素鋼鋳鋼、炭素鋼または鋳鉄の弁箱等は、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、内部流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）、空気または油で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.14 弁箱、弁蓋の海塩粒子等による外面からの応力腐食割れ [屋外設置のステンレス鋼製の仕切弁]

屋外に設置されたステンレス鋼製の弁箱、弁蓋は、外面に大気中の海塩粒子等の塩分が付着した場合、塩化物イオンにより応力腐食割れが想定される。

しかしながら、外面への海塩粒子等の直接接触は、塗装により防止しており、塗膜が健全であれば応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.15 弁箱、弁蓋の外面からの応力腐食割れ [屋外設置のステンレス鋼製の仕切弁]

屋外設置のステンレス鋼製弁は、雨水にさらされており、防水措置（保温）が不十分であると、外面からの応力腐食割れが想定される。

しかしながら、防水措置（保温）および弁外面の目視確認を実施していくことで、応力腐食割れ発生の可能性は小さいと考える。

また、防水措置（保温）の異常は目視確認により、外面からの応力腐食割れは弁外面の目視確認にて検知可能であり点検手法として適切である。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

1.2 玉形弁

[対象機器]

- ① 1次冷却系統玉形弁
- ② 化学体積制御系統玉形弁
- ③ 安全注入系統玉形弁
- ④ 余熱除去系統玉形弁
- ⑤ 格納容器内部スプレイ系統玉形弁
- ⑥ 燃料ピット冷却系統玉形弁
- ⑦ 燃料取替用水系統玉形弁
- ⑧ 1次系試料採取系統玉形弁
- ⑨ 主蒸気系統玉形弁
- ⑩ ドレン系統玉形弁
- ⑪ グランド蒸気系統玉形弁
- ⑫ 主給水系統玉形弁
- ⑬ 補助給水系統玉形弁
- ⑭ 復水系統玉形弁
- ⑮ 蒸気発生器ブローダウン系統玉形弁
- ⑯ 原子炉補機冷却水系統玉形弁
- ⑰ 計器用空気系統玉形弁
- ⑱ 雑用空気系統玉形弁
- ⑲ 気体廃棄物処理系統玉形弁
- ⑳ 液体廃棄物処理系統玉形弁
- ㉑ 固体廃棄物処理系統玉形弁
- ㉒ 補助蒸気系統玉形弁
- ㉓ 換気空調系統玉形弁
- ㉔ 非常用ディーゼル発電機設備玉形弁
- ㉕ タービンEHガバナ制御油系統玉形弁
- ㉖ タービン潤滑油系統玉形弁
- ㉗ ほう酸回収系統玉形弁
- ㉘ 炭酸ガス系統玉形弁
- ㉙ 消火水系統玉形弁
- ㉚ 雑固体廃棄物焼却設備玉形弁

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	7
2.1 構造、材料および使用条件	7
2.2 経年劣化事象の抽出	28
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	41
3. 代表機器以外への展開	45
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	45
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	46

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されている玉形弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらの玉形弁を設置場所、内部流体および材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す玉形弁について、設置場所、内部流体および材料を分離基準として考えると、合計7個のグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：1次冷却材

このグループには1次冷却系統、化学体積制御系統、安全注入系統、余熱除去系統、格納容器内部スプレイ系統、燃料取替用水系統、燃料ピット冷却系統、1次系試料採取系統およびほう酸回収系統の玉形弁が属するが、重要度が高い抽出水止め弁を代表機器とする。

(2) 設置場所：屋内または屋内外、材料：ステンレス鋼、内部流体：蒸気、給水、純水またはヒドラジン水

このグループには1次冷却系統、主蒸気系統、主給水系統、補助蒸気系統、1次系試料採取系統、復水系統、補助給水系統、液体廃棄物処理系統、蒸気発生器ブローダウン系統、ほう酸回収系統および原子炉補機冷却水系統の玉形弁が属するが、重要度および温度が高く、口径の大きい加圧器計器気相部元弁を代表機器とする。

(3) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：炭酸ガス、空気、窒素、希ガス等、油またはフロン

このグループには炭酸ガス系統、1次冷却系統、化学体積制御系統、格納容器内部スプレイ系統、1次系試料採取系統、原子炉補機冷却水系統、計器用空気系統、気体廃棄物処理系統、液体廃棄物処理系統、固体廃棄物処理系統、換気空調系統、非常用ディーゼル発電機設備、タービンEHガバナ制御油系統、およびほう酸回収系統の玉形弁が属するが、重要度および圧力が高い1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離弁を代表機器とする。

(4) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：苛性ソーダ溶液

このグループには格納容器内部スプレイ系統の玉形弁のみが属することから、よう素除去薬品タンク出口止め弁を代表機器とする。

- (5) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：廃液
このグループには液体廃棄物処理系統および固体廃棄物処理系統の玉形弁が属するが、圧力が高い廃液蒸発装置濃縮液循環弁を代表機器とする。
- (6) 設置場所：屋内または屋内外、材料：炭素鋼または低合金鋼、内部流体：蒸気、給水、純水または淡水
このグループには主蒸気系統、グラウンド蒸気系統、ドレン系統、補助蒸気系統、非常用ディーゼル発電機設備、主給水系統、補助給水系統、復水系統、蒸気発生器ブローダウン系統、換気空調系統、および消火水系統の玉形弁が属するが、重要度および温度が高く、口径の大きい主蒸気逃がし弁を代表機器とする。
- (7) 設置場所：屋内または屋内外、材料：炭素鋼または低合金鋼、内部流体：窒素、空気、希ガス等、油、ヒドラジン水または亜硝酸水
このグループには安全注入系統、原子炉補機冷却水系統、換気空調系統、計器用空気系統、雑用空気系統、非常用ディーゼル発電機設備、気体廃棄物処理系統、雑固体廃棄物焼却設備、固体廃棄物処理系統、タービン潤滑油系統およびタービンEHガバナ制御油系統の玉形弁が属するが、重要度、温度および圧力が高い蓄圧タンク窒素供給隔離弁を代表機器とする。

表1-1 (1/4) 高浜4号炉 玉形弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)			
屋内	ステンレス鋼	1次冷却材	34	1次冷却系統	3/4~4	PS-1、MS-1、高*2、重*3	約18.8	約360	◎	抽出水止め弁 (3B)	重要度
			70	化学体積制御系統	3/4~3	MS-1、PS-2、MS-2、高*2、重*3	約18.8	約343			
			38	安全注入系統	3/4~6	MS-1、MS-2、高*2、重*3	約18.8	約343			
			17	余熱除去系統	3/4~2	MS-1、PS-2、MS-2、重*3	約17.2	約343			
			21	格納容器内部スプレイ系統	3/4~6	MS-1、高*2、重*3	約2.7	約150			
			2	燃料ピット冷却系統	2	MS-2	約1.0	約95			
			84	1次系試料採取系統	3/8~3/4	MS-1、MS-2、高*2、重*3	約19.8	約360			
			6	燃料取替用水系統	3/4~3	MS-2	約1.4	約95			
			6	ほう酸回収系統	1~2	高*2	約1.0	約150			
屋内外 屋内	ステンレス鋼	蒸気	4	1次冷却系統	3/4	MS-1	約17.2	約360	◎	加圧器計器気相部元弁 (3/4B)	重要度、温度、口径
			6	主蒸気系統	3/4	MS-1	約7.5	約291			
			12	主給水系統	3/4	MS-1	約7.5	約291			
			1	補助蒸気系統	1 1/2	高*2	約0.9	約185			
		給水	4	1次系試料採取系統	3/8	MS-1、高*2、重*3	約17.2	約360			
			20	主給水系統	3/4~20	MS-1、高	約10.2	約291			
			2	復水系統	3/4	MS-2	大気圧	約40			
			1	補助給水系統	4	重*3	約1.0	約40			
			純水	22	液体廃棄物処理系統	3/4~1 1/2	高*2	約1.0			
		5		ほう酸回収系統	1~1 1/2	高*2	約1.0	約150			
		2		補助蒸気系統	1	高*2	約0.9	約185			
		15		蒸気発生器ブローダウン系統	3/8	MS-1、高*2、重*3	約7.5	約291			
		4	原子炉補機冷却水系統	3/4~6	MS-2、重*3	約1.0	約163				

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

表1-1 (2/4) 高浜4号炉 玉形弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)			
屋内	ステンレス鋼	炭酸ガス 希ガス等	4	炭酸ガス系統	3/4~3	MS-1、重*3	約16.2	約132	◎	1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離弁 (3B)	重要度、圧力
			2	1次冷却系統	3/4	MS-1、重*3	約0.7	約170			
			2	気体廃棄物処理系統	3/4	PS-2	約1.0	約95			
			4	液体廃棄物処理系統	3/8~3/4	MS-1、重*3	約0.3	約132			
		窒素	1	ほう酸回収系統	3/4	高*2	約1.0	約150			
			2	1次冷却系統	1	MS-1、重*3	約1.0	約170			
			4	格納容器内部スプレイ系統	3/4	MS-1	約0.1	約150			
			3	原子炉補機冷却水系統	3/4	MS-2、重*3	約1.0	約95			
		空気	4	化学体積制御系統	3/4	MS-2	約0.1	約95			
			4	換気空調系統	3/4	MS-1、重*3	約0.3	約132			
			40	1次系試料採取系統	3/8~1 1/2	MS-1、MS-2、重*3	約1.0	約132			
			88	計器用空気系統	3/4~2	MS-1、MS-2、重*3	約0.8	約132			
		フロン 油	20	非常用ディーゼル発電機設備	3/8~2 1/2	MS-1、高*2	約3.2	約50			
			16	換気空調系統	1/4~1	MS-1	約0.1	約95			
			3	タービンEHガバナ制御油系統	1/4	高*2	約16.2	約75			
			12	換気空調系統	3/8~3/4	MS-1	約2.0	約95			
			8	固体廃棄物処理系統	3/4~1	高*2	約1.0	約120			
9	化学体積制御系統	3/8	MS-1	約0.7	約85						

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: 最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*3: 重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

表1-1 (3/4) 高浜4号炉 玉形弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定			
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由	
							最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)				
屋内	ステンレス鋼	苛性ソーダ溶液	8	格納容器内部スプレイ系統	3/4~2	MS-1	約2.7	約150	◎	よう素除去薬品タンク出口止め弁 (2B)		
屋内	ステンレス鋼	廃液	18	液体廃棄物処理系統	1~3	高*2	約1.0	約150	◎	廃液蒸発装置濃縮液循環弁 (3B)	圧力	
			1	固体廃棄物処理系統	2	高*2	大気圧	約300				
屋内	炭素鋼、または低合金鋼	蒸気	67	主蒸気系統	3/4~8	MS-1、高*2、重*3	約7.5	約291	◎	主蒸気逃がし弁 (6B)	重要度、温度 口径	
屋内外			31	グラント蒸気系統	1/2~8	高*2	約7.5	約291				
			70	ドレン系統	1~6	高*2	約7.5	約291				
			35	補助蒸気系統	1/2~8	高*2	約7.5	約291				
屋内			給水	4	非常用ディーゼル発電機設備	1~1 1/2	高*2	約0.9				約185
				44	ドレン系統	1~8	高*2	約7.5				約291
				70	主給水系統	1/2~16	MS-1、MS-2、高*2	約10.2				約235
			32	補助給水系統	3/4~5	MS-1、MS-2、重*3	約12.3	約291				
			48	復水系統	1/2~18	高*2	約10.2	約200				
			純水	9	補助蒸気系統	1~3	高*2	約2.7				約235
				6	蒸気発生器ブローダウン系統	3	MS-1、重*3	約7.5				約291
				38	換気空調系統	1 1/2~6	MS-1、MS-2、重*3	約1.0				約132
			8	非常用ディーゼル発電機設備	1/2~6	MS-1	約0.5	約90				
淡水			2	消火水系統	3/4~3	MS-1、重*3	約1.5	約132				

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

表1-1 (4/4) 高浜4号炉 玉形弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定			
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由	
							最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)				
屋内 屋内外 屋内	炭素鋼、低合金鋼 炭素鋼	窒素	2	安全注入系統	3/4~1	MS-1、重*3	約17.2	約132	◎	蓄圧タンク窒素供給隔離弁 (1B)	重要度、温度、圧力	
			1	原子炉補機冷却水系統	3/4	重*3	約0.3	約95				
	炭素鋼、低合金鋼 炭素鋼	空気	8	気体廃棄物処理系統	1	PS-2	約1.0	約95				
			9	換気空調系統	3/4~2	MS-1、重*3	約0.8	約132				
			43	計器用空気系統	1/2~6	MS-1、MS-2、重*3	約0.8	約132				
			2	雑用空気系統	3/4~2	MS-1、重*3	約0.8	約132				
			2	非常用ディーゼル発電機設備	1/2	MS-1	約3.2	約50				
			希ガス等	50	気体廃棄物処理系統	3/4~2	PS-2	約1.0				約95
				9	雑固体廃棄物焼却設備	8	高*2	大気圧				約950
				油	40	非常用ディーゼル発電機設備	1/2~2	MS-1、重*3				約0.8
			15		固体廃棄物処理系統	2 1/2~3	高*2	約0.5				約300
			4		タービン潤滑油系統	1/4	高*2	約2.2				約60
	27	タービンEHガバナ制御油系統	1/8~1		高*2	約16.2	約80					
	ヒドラジン水 亜硝酸水	102	原子炉補機冷却水系統	1/2~10	MS-1、MS-2、重*3	約1.2	約132					
		8	非常用ディーゼル発電機設備	1 1/2	MS-1	約0.5	約60					

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の7種類の玉形弁について技術評価を実施する。

- ① 抽出水止め弁
- ② 加圧器計器気相部元弁
- ③ 1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離弁
- ④ よう素除去薬品タンク出口止め弁
- ⑤ 廃液蒸発装置濃縮液循環弁
- ⑥ 主蒸気逃がし弁
- ⑦ 蓄圧タンク窒素供給隔離弁

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 抽出水止め弁

(1) 構造

高浜4号炉の抽出水止め弁は空気作動玉形弁であり、1次冷却系統に設置されている。

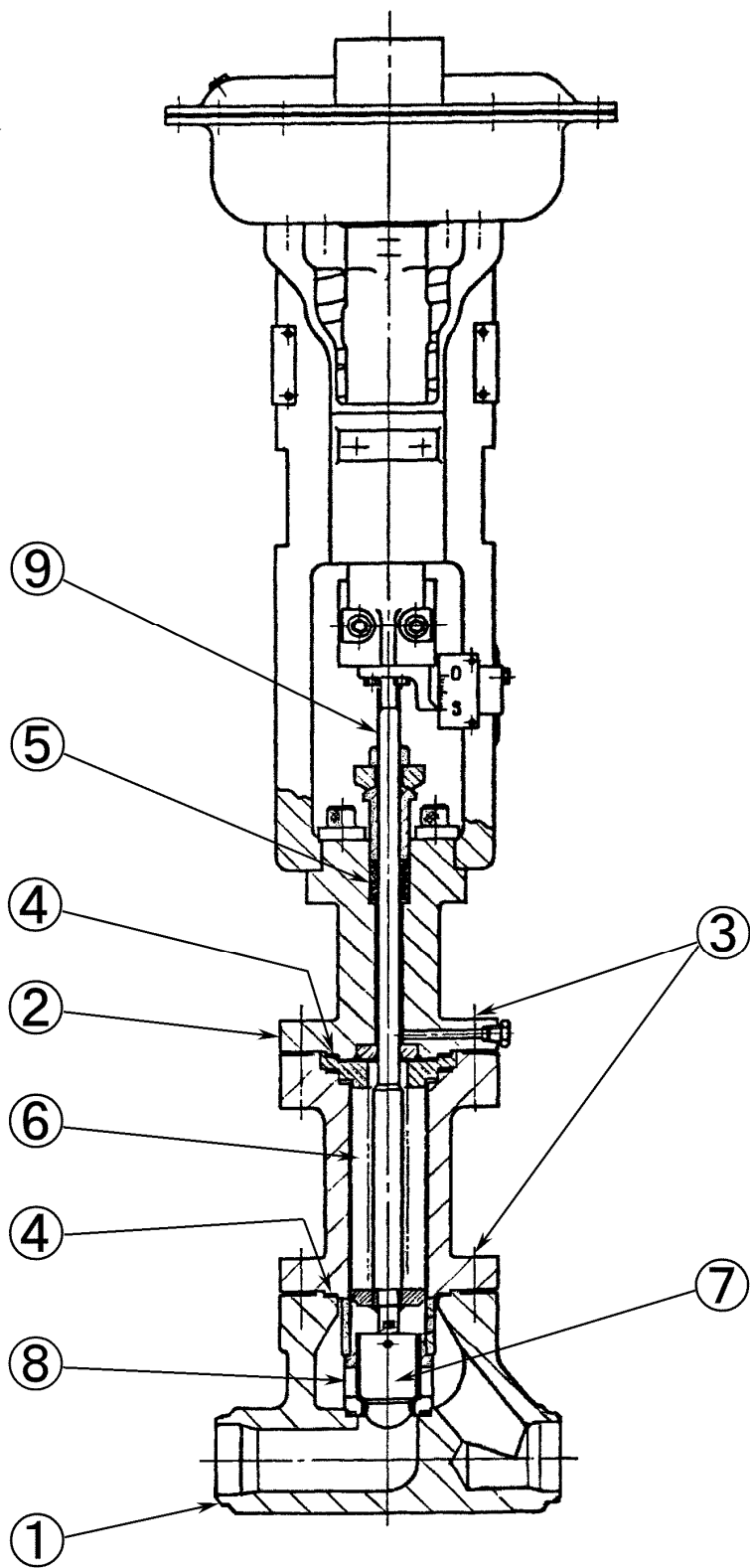
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン、ベローズ）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱、弁蓋および弁体にはステンレス鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。

高浜4号炉の抽出水止め弁の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の抽出水止め弁の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	ベローズ
⑦	弁体
⑧	弁座
⑨	弁棒

図2. 1-1 高浜4号炉 抽出水止め弁構造図

表2.1-1 高浜4号炉 抽出水止め弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼
弁蓋	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	耐熱鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
ベローズ	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁棒	ステンレス鋼

表2.1-2 高浜4号炉 抽出水止め弁の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa [gage]
最高使用温度	約343℃
内部流体	1次冷却材

2.1.2 加圧器計器気相部元弁

(1) 構造

高浜4号炉の加圧器計器気相部元弁は手動玉形弁であり、1次冷却系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、ダイヤフラム）、流体を仕切る隔離部（弁体）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱、弁蓋および弁体にはステンレス鋼を使用しており、蒸気に接している。

高浜4号炉の加圧器計器気相部元弁の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の加圧器計器気相部元弁の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。

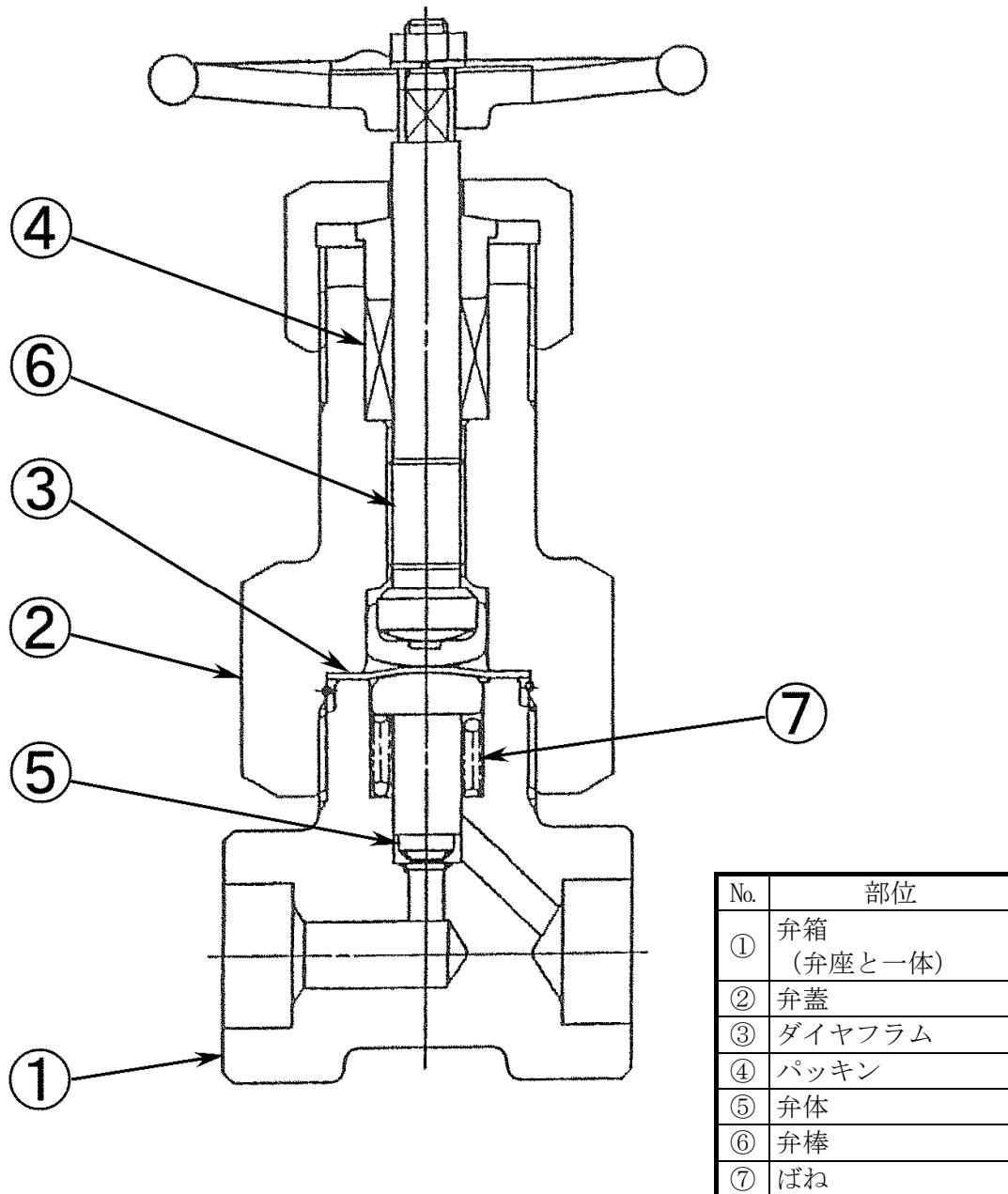


図2.1-2 高浜4号炉 加圧器計器気相部元弁構造図

表2.1-3 高浜4号炉 加圧器計器気相部元弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁蓋	ステンレス鋼
ダイヤフラム	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼
ばね	ステンレス鋼

表2.1-4 高浜4号炉 加圧器計器気相部元弁の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa [gage]
最高使用温度	約360℃
内部流体	蒸気

2.1.3 1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離弁

(1) 構造

高浜4号炉の1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離弁は空気作動玉形弁であり、炭酸ガス系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱にはステンレス鋼鋳鋼、弁蓋および弁体にはステンレス鋼を使用しており、炭酸ガスに接している。

高浜4号炉の1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離弁の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離弁の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。

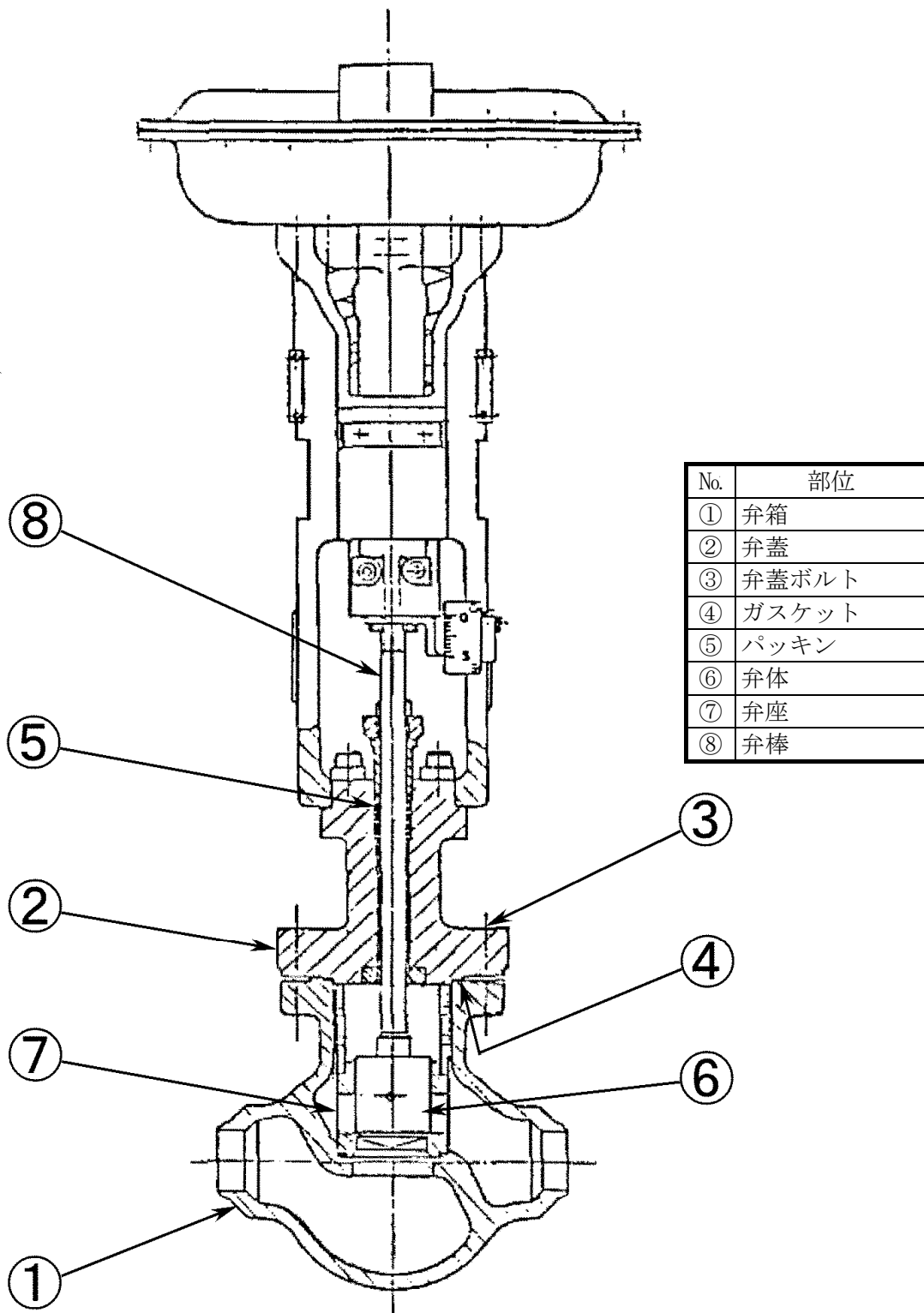


図2.1-3 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離弁構造図

表2.1-5 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離弁の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	耐熱鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁座	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼

表2.1-6 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離弁の使用条件

最高使用圧力	約16.2MPa [gage]
最高使用温度	約132℃
内部流体	炭酸ガス

2.1.4 よう素除去薬品タンク出口止め弁

(1) 構造

高浜4号炉のよう素除去薬品タンク出口止め弁は電動玉形弁であり、格納容器内部スプレイ系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱にはステンレス鋼鋳鋼、弁蓋および弁体にはステンレス鋼を使用しており、苛性ソーダ溶液に接液している。

高浜4号炉のよう素除去薬品タンク出口止め弁の構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉のよう素除去薬品タンク出口止め弁の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。

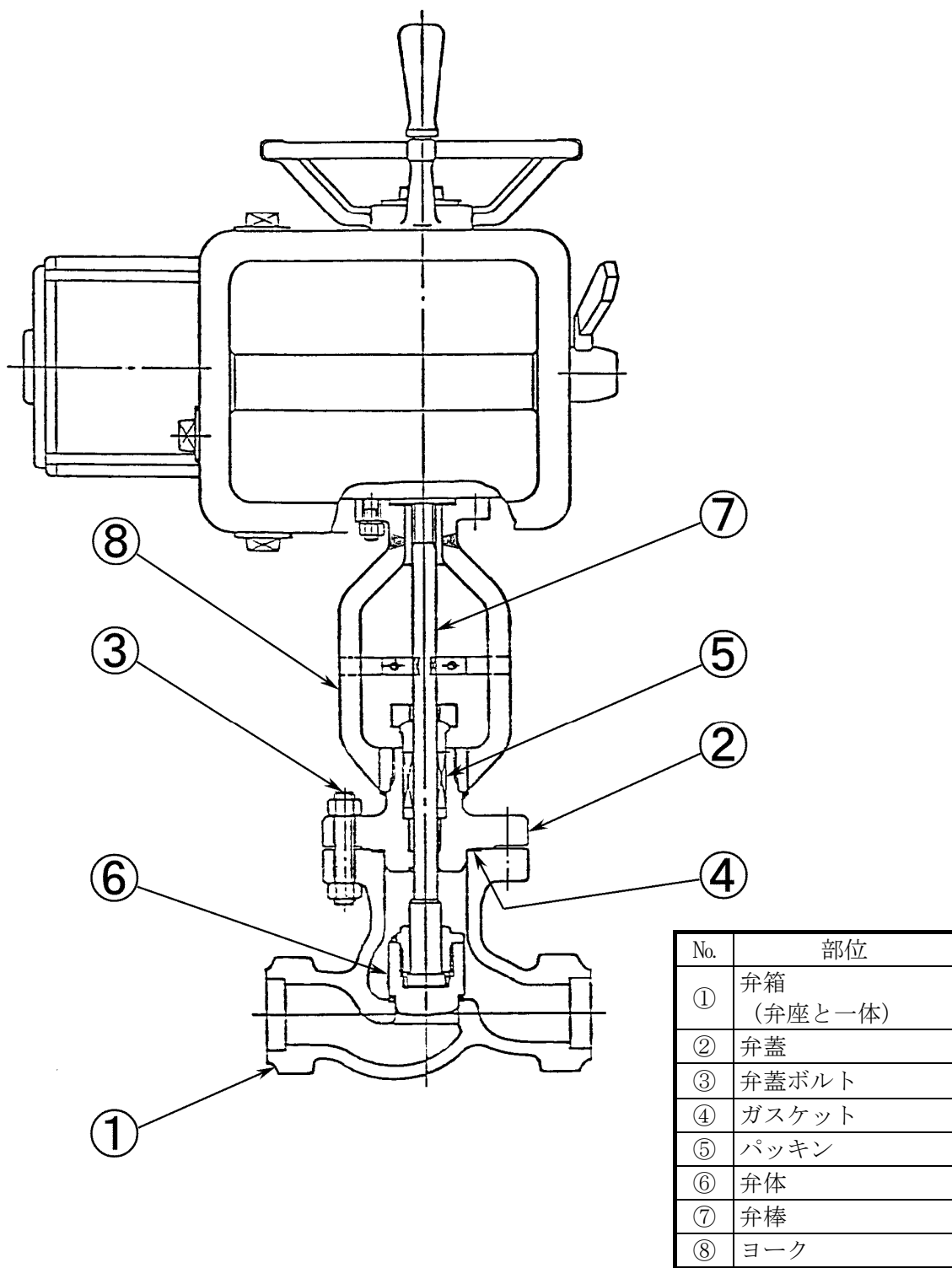


図2.1-4 高浜4号炉 よう素除去薬品タンク出口止め弁構造図

表2.1-7 高浜4号炉 よう素除去薬品タンク出口止め弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	ステンレス鋼鋳鋼（ステライト肉盛）
弁蓋	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼
ヨーク	炭素鋼鋳鋼、炭素鋼

表2.1-8 高浜4号炉 よう素除去薬品タンク出口止め弁の使用条件

最高使用圧力	約2.7MPa [gage]
最高使用温度	約150℃
内部流体	苛性ソーダ溶液

2.1.5 廃液蒸発装置濃縮液循環弁

(1) 構造

高浜4号炉の廃液蒸発装置濃縮液循環弁は空気作動玉形弁であり、液体廃棄物処理系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン、ベローズ）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱および弁蓋にはステンレス鋼、弁体にはステンレス鋼を使用しており、廃液に接液している。

高浜4号炉の廃液蒸発装置濃縮液循環弁の構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の廃液蒸発装置濃縮液循環弁の使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。

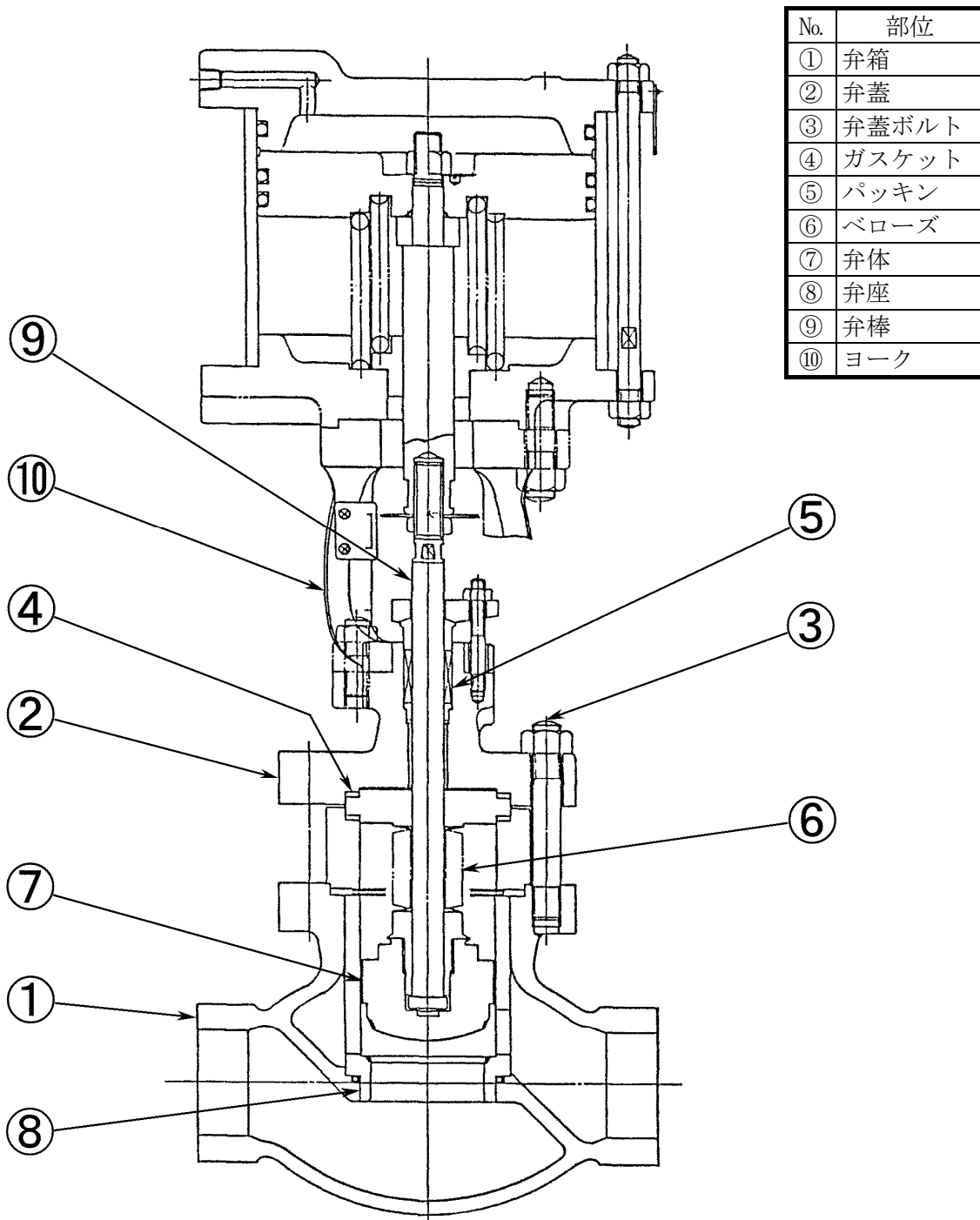


図2.1-5 高浜4号炉 廃液蒸発装置濃縮液循環弁構造図

表2.1-9 高浜4号炉 廃液蒸発装置濃縮液循環弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
ベローズ	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁座	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼
ヨーク	炭素鋼鋳鋼

表2.1-10 高浜4号炉 廃液蒸発装置濃縮液循環弁の使用条件

最高使用圧力	約1.0MPa [gage]
最高使用温度	約150℃
内部流体	廃液

2.1.6 主蒸気逃がし弁

(1) 構造

高浜4号炉の主蒸気逃がし弁は空気作動玉形弁であり、主蒸気系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱および弁蓋には低合金鋼鋳鋼、弁体にはステンレス鋼を使用しており、蒸気に接している。

高浜4号炉の主蒸気逃がし弁の構造図を図2.1-6に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の主蒸気逃がし弁の使用材料および使用条件を表2.1-11および表2.1-12に示す。

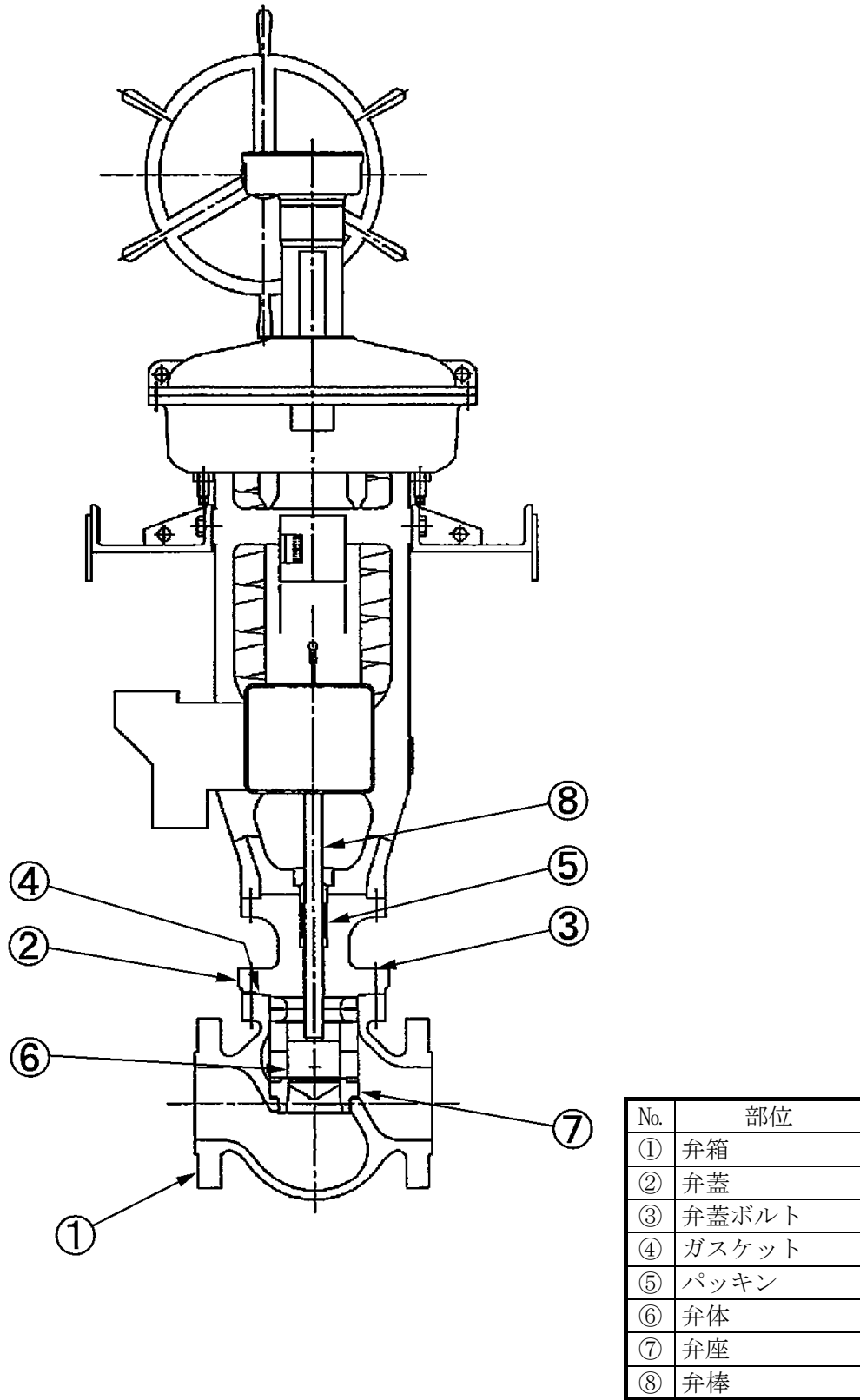


図2.1-6 高浜4号炉 主蒸気逃がし弁構造図

表2.1-11 高浜4号炉 主蒸気逃がし弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	低合金鋼鋳鋼
弁蓋	低合金鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁棒	ステンレス鋼

表2.1-12 高浜4号炉 主蒸気逃がし弁の使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa [gage]
最高使用温度	約291℃
内部流体	蒸気

2.1.7 蓄圧タンク窒素供給隔離弁

(1) 構造

高浜4号炉の蓄圧タンク窒素供給隔離弁は空気作動玉形弁であり、安全注入系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱および弁蓋には低合金鋼、弁体にはステンレス鋼を使用しており、窒素に接している。

高浜4号炉の蓄圧タンク窒素供給隔離弁の構造図を図2.1-7に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の蓄圧タンク窒素供給隔離弁の使用材料および使用条件を表2.1-13および表2.1-14に示す。

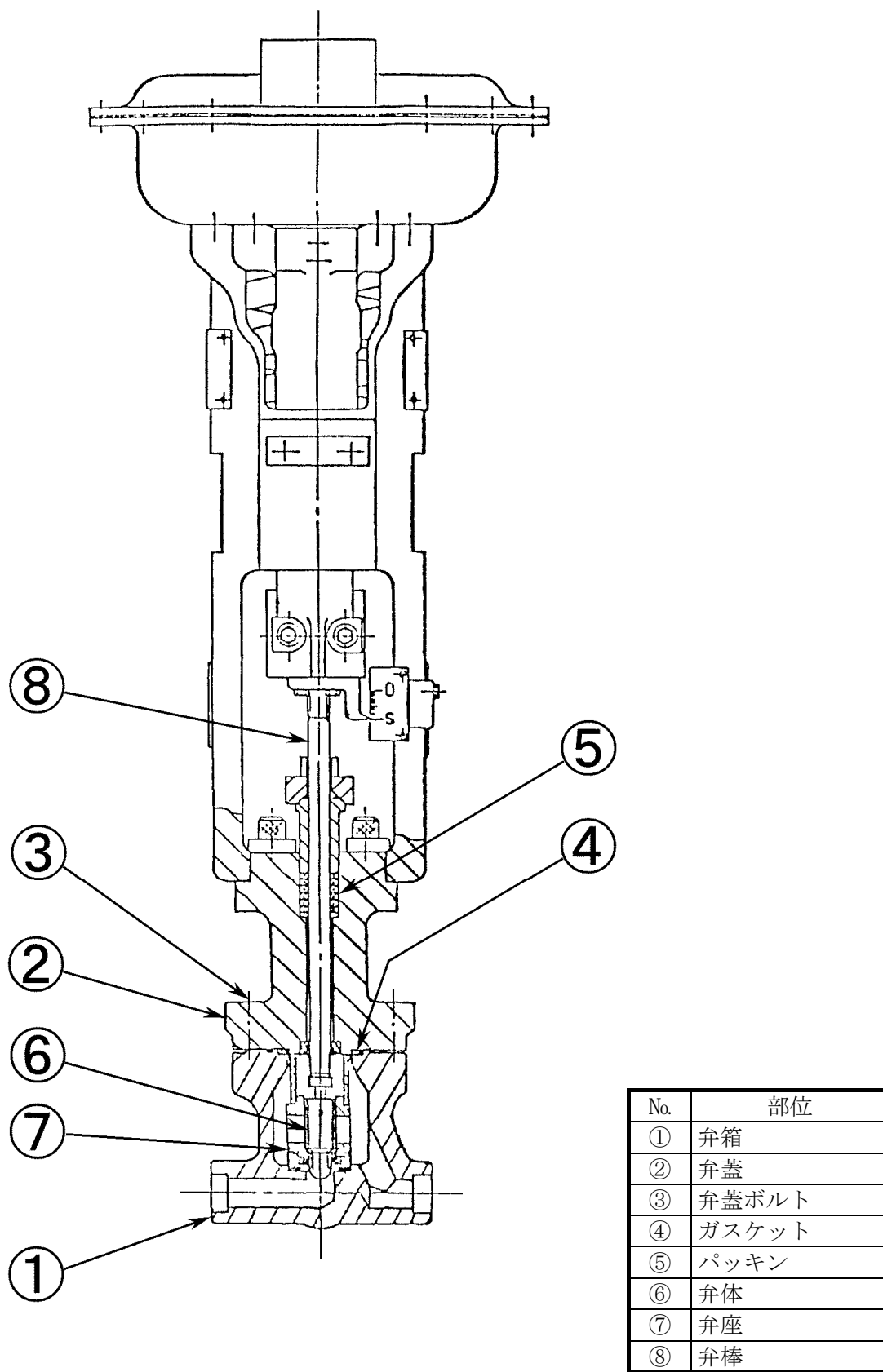


図2.1-7 高浜4号炉 蓄圧タンク窒素供給隔離弁構造図

表2.1-13 高浜4号炉 蓄圧タンク窒素供給隔離弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	低合金鋼
弁蓋	低合金鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁座	ステンレス鋼
弁棒	ステンレス鋼

表2.1-14 高浜4号炉 蓄圧タンク窒素供給隔離弁の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa [gage]
最高使用温度	約132℃
内部流体	窒素

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

玉形弁の機能である流体の仕切および流量調節機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

玉形弁個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（内部流体、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 弁箱の疲労割れ [抽出水止め弁]

抽出水止め弁はプラントの起動・停止時等に発生する内部流体のステップ状の大きな温度変化により、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 弁体、弁座または弁箱弁座部シート面の摩耗 [共通]

弁体、弁座または弁箱弁座部シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 弁棒（パッキン受け部）の摩耗 [共通]

弁棒は開閉に伴うパッキン受け部との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 弁棒の腐食（隙間腐食） [共通]

弁棒はパッキンとの接触部において腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (4) ヨークの腐食（全面腐食）〔よう素除去薬品タンク出口止め弁、廃液蒸発装置濃縮液循環弁〕

炭素鋼または炭素鋼鋳鋼のヨークは、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、分解点検時の目視確認により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (5) 弁箱等の応力腐食割れ〔廃液蒸発装置濃縮液循環弁〕

ステンレス鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座および弁棒は、内部流体の塩化物イオン濃度が高い廃液により、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認および漏えい確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (6) 弁箱、弁蓋の外側からの腐食（全面腐食）〔主蒸気逃がし弁、蓄圧タンク窒素供給隔離弁〕

低合金鋼または低合金鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋は、外側からの腐食が想定される。

しかしながら、外側の空気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、分解点検時の目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(7) 弁棒の応力腐食割れ [共通]

1989年3月、川内2号炉の仕切弁で水素脆化型の応力腐食割れ（遅れ割れ）による弁棒の亀裂損傷が発生しているが、弁開時にバックシートを効かせ過ぎたことにより過大な応力が発生したことが原因である。

しかしながら、高浜4号炉においては、手動弁は開弁時バックシートを効かせず、電動弁、空気作動弁はバックシート部の発生応力を制限して弁開時のバックシート部に過大な応力が発生しないようにしている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(8) 弁箱等の腐食（全面腐食） [よう素除去薬品タンク出口止め弁]

よう素除去薬品タンク出口止め弁は内部流体が苛性ソーダ溶液であり、接液部の腐食が想定される。

しかしながら、弁箱、弁蓋、弁体、弁棒はステンレス鋼であり、苛性ソーダの濃度および使用温度が低いことから、腐食が発生する可能性は小さく、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(9) 弁箱等の腐食（全面腐食） [主蒸気逃がし弁]

低合金鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋は、内部流体が蒸気であり、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (10) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔抽出水止め弁、よう素除去薬品タンク出口止め弁、廃液蒸発装置濃縮液循環弁、主蒸気逃がし弁〕

弁蓋ボルトは耐熱鋼または低合金鋼であり、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

- (11) ばねの変形（応力緩和）〔加圧器計器気相部元弁〕

ばねには、弁体位置を安定させるための荷重が加わっており、長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、通常、全開状態で使用されている弁であり、ばねにはほとんど荷重は加わっていない環境で使用している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時等の機能確認により、機器の健全性を確認している。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(12) 弁箱等の応力腐食割れ [よう素除去薬品タンク出口止め弁]

よう素除去薬品タンク出口止め弁は内部流体が苛性ソーダ溶液であり、弁箱、弁蓋、弁体、弁棒はステンレス鋼であることから、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、図2.2-1に示すように応力腐食割れ発生条件と比較して、苛性ソーダの濃度および使用温度が低いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

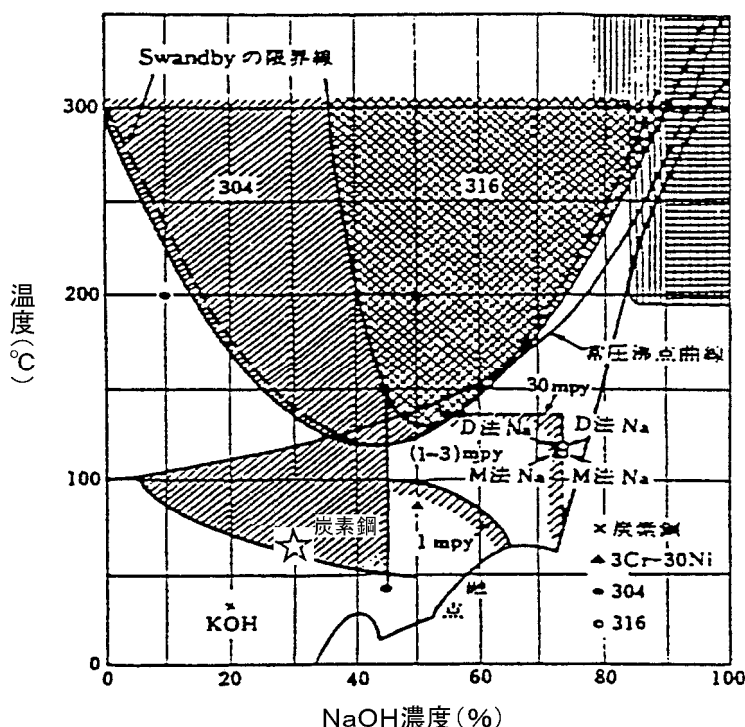


図2.2-1 SUS 304 / 316材のNaOH溶液中でのSCC感受性

[出典：大久保勝夫、徳永一弘：化学工学、40（1976）]

(☆：よう素除去薬品タンクの使用環境：65℃、30%を出典文献に追記)

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケット、パッキンおよびダイヤフラムは、分解点検時に取替える消耗品であり、ベローズは分解点検時の目視確認やリーク試験の結果に基づき取替えている消耗品であり、いずれも長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/7) 高浜4号炉 抽出水止め弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼			○					
	弁蓋		ステンレス鋼								
	弁蓋ボルト		耐熱鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
	ベローズ	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△	△		△				

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2. 2-1 (2/7) 高浜4号炉 加圧器計器気相部元弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△						*1：変形 (応力緩和)	
	弁蓋		ステンレス鋼								
	ダイヤフラム	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△	△		△				
	ばね		ステンレス鋼						△*1		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/7) 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋		ステンレス鋼								
	弁蓋ボルト		耐熱鋼								
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△	△		△				

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/7) 高浜4号炉 よう素除去薬品タンク出口止め弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱（弁座と一体）		ステンレス鋼鋳鋼（ステライト肉盛）	△	△		▲				
	弁蓋		ステンレス鋼		△		▲				
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼（ステライト肉盛）	△	△		▲				
	弁棒		ステンレス鋼	△	△		▲				
	ヨーク		炭素鋼鋳鋼 炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(5/7) 高浜4号炉 廃液蒸発装置濃縮液循環弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼				△				
	弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼				△				
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
	ベローズ	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ストレイト肉盛)	△			△				
	弁座		ステンレス鋼 (ストレイト肉盛)	△			△				
	弁棒		ステンレス鋼	△	△		△				
	ヨーク		炭素鋼鋳鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(6/7) 高浜4号炉 主蒸気逃がし弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			減肉
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		低合金鋼鋳鋼		△ ^{*1,2}					*1：全面腐食(外面) *2：全面腐食(内面) *3：隙間腐食	
	弁蓋		低合金鋼鋳鋼		△ ^{*1,2}						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△	△ ^{*3}		△				

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(7/7) 高浜4号炉 蓄圧タンク窒素供給隔離弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		低合金鋼		△						
	弁蓋		低合金鋼		△						
	弁蓋ボルト		低合金鋼								
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (スライト肉盛)	△							
	弁座		ステンレス鋼	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△	△		△				

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 弁箱の疲労割れ〔抽出水止め弁〕

a. 事象の説明

抽出水止め弁は、プラントの起動・停止時等に熱過渡を繰り返し受けるため、疲労が蓄積する。

b. 技術評価

① 健全性評価

抽出水止め弁の健全性評価にあたっては、「日本機械学会 設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007)」に基づき評価を行った。

評価対象部位を図2.3-1に示す。

また、使用環境を考慮した疲労については、「日本機械学会 環境疲労評価手法(JSME S NF1-2009)」に基づき評価した。

疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。

なお、運転期間延長認可申請に伴う評価として、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的*に設定した過渡回数とした。

*：評価条件として、2020年度以降の過渡発生頻度は実績の1.5倍以上を想定した。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値に対し余裕のある結果が得られている。

② 現状保全

弁箱の疲労割れに対しては、定期的な分解点検時に弁内面の目視確認を実施し、有意な異常がないことを確認するとともに、定期的な漏えい確認を実施し健全性を確認している。

さらに、高経年化技術評価に合わせて、実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、弁箱の疲労割れ発生の可能性はないと考える。

ただし、疲労評価は実績過渡回数に依存するため、今後も実績過渡回数を把握し評価する必要がある。

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、

異常のないことは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

弁箱の疲労割れについては、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認する。

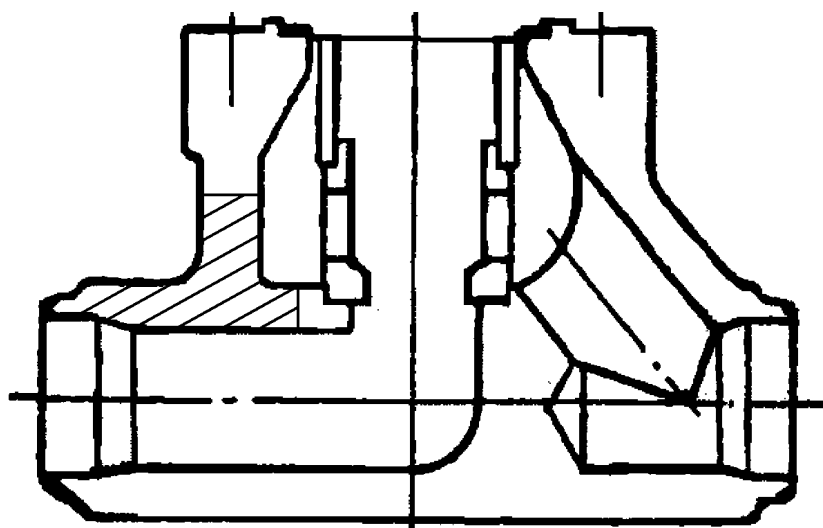


図2.3-1 高浜4号炉 抽出水止め弁の疲労評価対象部位（斜線部）

表2.3-1 高浜4号炉 抽出水止め弁の評価用過渡条件

運転状態Ⅰ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動(温度上昇率55.6℃/h)	35	71
停止(温度下降率55.6℃/h)	34	71
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	308	800
負荷減少(負荷減少率5%/min)	298	790
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	4
定常負荷運転時の変動*1	-	-
燃料交換	24	62
0%から15%への負荷上昇	35	66
15%から0%への負荷減少	25	55
1 ループ停止/1 ループ起動		
I) 停止	0	2
II) 起動	0	2
抽出ライン隔離および復帰	1	6
充てんライン隔離および復帰(保守)	0	2

運転状態Ⅱ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
負荷の喪失	4	6
外部電源喪失	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	0	2
100%からの原子炉トリップ		
I) 不注意な冷却を伴わないトリップ	3	6
II) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2
III) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	2
1次冷却系の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	0	2
タービン回転試験	3	3
1次系漏えい試験	31	65
充てんライン隔離および復帰(SI時)	0	6

*1:「設計評価においては、1次冷却材温度は±1.7℃、1次冷却材圧力±0.34MPa(±3.5kg/cm²)の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。」

表2.3-2 高浜4号炉 抽出水止め弁の疲労評価結果

部位	疲労累積係数（許容値：1以下）	
	設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
弁箱 (ステンレス鋼)	0.028	0.375

3. 代表機器以外への展開

本章では、2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 弁箱の疲労割れ [1次冷却系統の玉形弁]

プラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材のステップ状の大きな温度変化を受ける抽出水止め弁の疲労評価結果では表2.3-2に示すように許容値に対して余裕があり、当該弁と同等以下の過渡しか受けないその他の弁についても、疲労割れが発生する可能性はないと考える。

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、異常のないことは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、弁箱の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.2.1 弁体、弁座または弁箱弁座部シート面の摩耗 [共通]

弁体、弁座または弁箱弁座部シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.2 弁棒（パッキン受け部）の摩耗 [共通]

弁棒は開閉に伴うパッキン受け部との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.3 弁棒の腐食（隙間腐食） [共通]

弁棒はパッキンとの接触部において腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.4 ヨークの腐食（全面腐食） [ヨークのある弁共通]

炭素鋼鋳鋼または炭素鋼のヨークは、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.5 弁箱、弁蓋の外面からの腐食（全面腐食）〔屋内設置の炭素鋼鋳鋼、炭素鋼、低合金鋼の弁共通〕

炭素鋼鋳鋼、炭素鋼または低合金鋼の弁箱、弁蓋は、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.6 弁箱、弁蓋の外面からの腐食（全面腐食）〔屋外設置の炭素鋼の弁共通〕

屋外に設置された炭素鋼製の弁箱、弁蓋は雨水にさらされており、塗装や防水措置（保温）が不十分であると、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、塗装や防水措置（保温）の健全性を確認しており、腐食発生の可能性は小さい。

また、巡視点検等の目視確認により塗膜や防水措置（保温）の状態を確認し、異常が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.7 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食）〔内部流体が蒸気または高速水の系統の弁共通〕

内部流体が蒸気または高速の水であり、炭素鋼鋳鋼、炭素鋼の弁箱、弁蓋を用いている弁には、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.8 弁箱等の応力腐食割れ〔液体廃棄物処理系統および固体廃棄物処理系統の玉形弁〕

ステンレス鋼の弁箱、弁蓋、弁体および弁棒は、内部流体の塩化物イオン濃度が高い廃液により、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認および漏えい確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.9 弁体、弁座または弁箱弁座部シート面の腐食（エロージョン）〔中間開度で使用している弁共通〕

中間開度で使用している弁の弁体、弁座は、内部流体によるエロージョンにより減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.10 弁箱等の腐食（全面腐食）〔炭素鋼製の弁共通〕

炭素鋼、炭素鋼または低合金鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座を持つ弁のうち、内部流体が飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）水である弁については、長期使用により腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

また、内部流体が窒素、空気、油、希ガス等、ヒドラジン水（防錆剤注入水）または亜硝酸水（防錆剤注入水）の弁は腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.11 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔炭素鋼、耐熱鋼および低合金鋼製の弁蓋ボルトのある弁共通〕

弁蓋ボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

3.2.12 弁棒の応力腐食割れ〔共通〕

1989年3月、川内2号炉の仕切弁で水素脆化型の応力腐食割れ（遅れ割れ）による弁棒の亀裂損傷が発生しているが、弁開時にバックシートを効かせ過ぎたことにより過大な応力が発生したことが原因である。

しかしながら、高浜4号炉においては、手動弁は開弁時バックシートを効かせず、電動弁、空気作動弁はバックシート部の発生応力を制限して弁開時のバックシート部に過大な応力が発生しないようにしている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.13 ばねの変形（応力緩和）〔ばねのある弁共通〕

ばねには、弁体位置を安定させるための荷重が加わっており、長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本バネ工業会にて実施したばね材料と使用環境の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。通常、全開状態で使用されている弁であり、ばねにはほとんど荷重は加わっていない環境で使用している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時等の機能確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.14 弁箱、弁蓋の熱時効 [ステンレス鋼鑄鋼製の弁共通]

ステンレス鋼鑄鋼の弁箱、弁蓋であり、使用温度が250℃以上と高いものは、熱時効による材料特性変化を起こす可能性があるが、熱時効は材質変化に加え、欠陥が存在し、かつ高い応力が存在する場合について検討が必要となる。

しかしながら、弁は接続される配管と比較して厚板に製造されていることから発生応力は小さく、製造時の非破壊検査で有意な欠陥がないことを確認し、さらに疲労評価上厳しくなると考えられる代表弁では、運転開始後60年を想定した疲労評価でも許容値を満足することから、評価期間において欠陥の発生する要因があるとは考えにくい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.15 弁箱等の応力腐食割れ [格納容器内部スプレイ系統の玉形弁]

格納容器内部スプレイ系統玉形弁の弁箱、弁蓋、弁体、弁座、弁棒はステンレス鋼であり、内部流体が苛性ソーダ溶液であることから、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、代表機器と同様に図2.2-1に示すように応力腐食割れ発生条件と比較して、苛性ソーダの濃度および使用温度が低いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない

1.3 バタフライ弁

[対象機器]

- ① 余熱除去系統バタフライ弁
- ② 燃料ピット冷却系統バタフライ弁
- ③ 主蒸気系統バタフライ弁
- ④ 原子炉補機冷却水系統バタフライ弁
- ⑤ 液体廃棄物処理系統バタフライ弁
- ⑥ 海水系統バタフライ弁
- ⑦ 換気空調系統バタフライ弁
- ⑧ 非常用ディーゼル発電機設備バタフライ弁
- ⑨ ほう酸回収系統バタフライ弁

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	4
2.1 構造、材料および使用条件	4
2.2 経年劣化事象の抽出	25
3. 代表機器以外への展開	37
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	37

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されているバタフライ弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらのバタフライ弁を設置場所、内部流体および材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すバタフライ弁について、設置場所、内部流体および材料を分離基準として考えると、合計7個のグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

- (1) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：1次冷却材

このグループには、余熱除去系統、燃料ピット冷却系統およびほう酸回収系統のバタフライ弁が属するが、重要度が高い余熱除去冷却器出口流量調節弁を代表機器とする。

- (2) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：廃液

このグループには、液体廃棄物処理系統のバタフライ弁のみが属することから、廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁を代表機器とする。

- (3) 設置場所：屋内、材料：炭素鋼、内部流体：蒸気

このグループには、主蒸気系統のバタフライ弁のみが属することから、給水ポンプタービン排気弁を代表機器とする。

- (4) 設置場所：屋内外、材料：炭素鋼、内部流体：海水

このグループには、海水系統および非常用ディーゼル発電機設備のバタフライ弁が属するが、口径の大きい海水ストレーナ入口弁を代表機器とする。

- (5) 設置場所：屋内、材料：炭素鋼、内部流体：純水

このグループには、換気空調系統のバタフライ弁のみが属することから、安全補機開閉器室空調ユニット出口弁を代表機器とする。

- (6) 設置場所：屋内、材料：炭素鋼、内部流体：ヒドラジン水

このグループには、原子炉補機冷却水系統のバタフライ弁のみが属することから、余熱除去冷却器冷却水絞り弁を代表機器とする。

(7) 設置場所：屋内、材料：炭素鋼、内部流体：空気

このグループには、換気空調系統のバタフライ弁のみが属することから、格納容器給気第1隔離弁を代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 バタフライ弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径(B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力(MPa [gage])	最高使用温度(°C)			
屋内	ステンレス鋼	1次冷却材	4	余熱除去系統	8~10	MS-1、PS-2、重*3	約4.1	約200	◎	余熱除去冷却器出口流量調節弁(10B)	重要度
			2	燃料ピット冷却系統	10	MS-2	約1.0	約95			
			2	ほう酸回収系統	4	高*2	約1.0	約150			
屋内	ステンレス鋼	廃液	6	液体廃棄物処理系統	6	高*2	約1.0	約150	◎	廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁(6B)	
屋内	炭素鋼	蒸気	2	主蒸気系統	72	高*2	約0.1	約120	◎	給水ポンプタービン排気弁(72B)	
屋内外	炭素鋼	海水	38	海水系統	6~36	MS-1、重*3	約1.2	約50	◎	海水ストレーナ入口弁(36B)	口径
屋内			8	非常用ディーゼル発電機設備	6~8	MS-1	約0.7	約50			
屋内	炭素鋼	純水	6	換気空調系統	4~6	MS-1	約1.0	約45	◎	安全補機開閉器室空調ユニット出口弁(6B)	
屋内	炭素鋼	ヒドラジン水	4	原子炉補機冷却水系統	14	MS-1	約1.0	約95	◎	余熱除去冷却器冷却水絞り弁(14B)	
屋内	炭素鋼	空気	28	換気空調系統	6~48	MS-1、MS-2、重*3	約0.3	約132	◎	格納容器給気第1隔離弁(48B)	

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の7種類のバタフライ弁について技術評価を実施する。

- ① 余熱除去冷却器出口流量調節弁
- ② 廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁
- ③ 給水ポンプタービン排気弁
- ④ 海水ストレーナ入口弁
- ⑤ 安全補機開閉器室空調ユニット出口弁
- ⑥ 余熱除去冷却器冷却水絞り弁
- ⑦ 格納容器給気第1隔離弁

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 余熱除去冷却器出口流量調節弁

(1) 構造

高浜4号炉の余熱除去冷却器出口流量調節弁は、空気作動バタフライ弁であり、余熱除去系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱および弁体はステンレス鋼鋳鋼、弁蓋はステンレス鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。

高浜4号炉の余熱除去冷却器出口流量調節弁の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の余熱除去冷却器出口流量調節弁の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

No.	部位
①	弁箱 (弁座と一体)
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	弁体
⑦	弁棒
⑧	ブッシュ

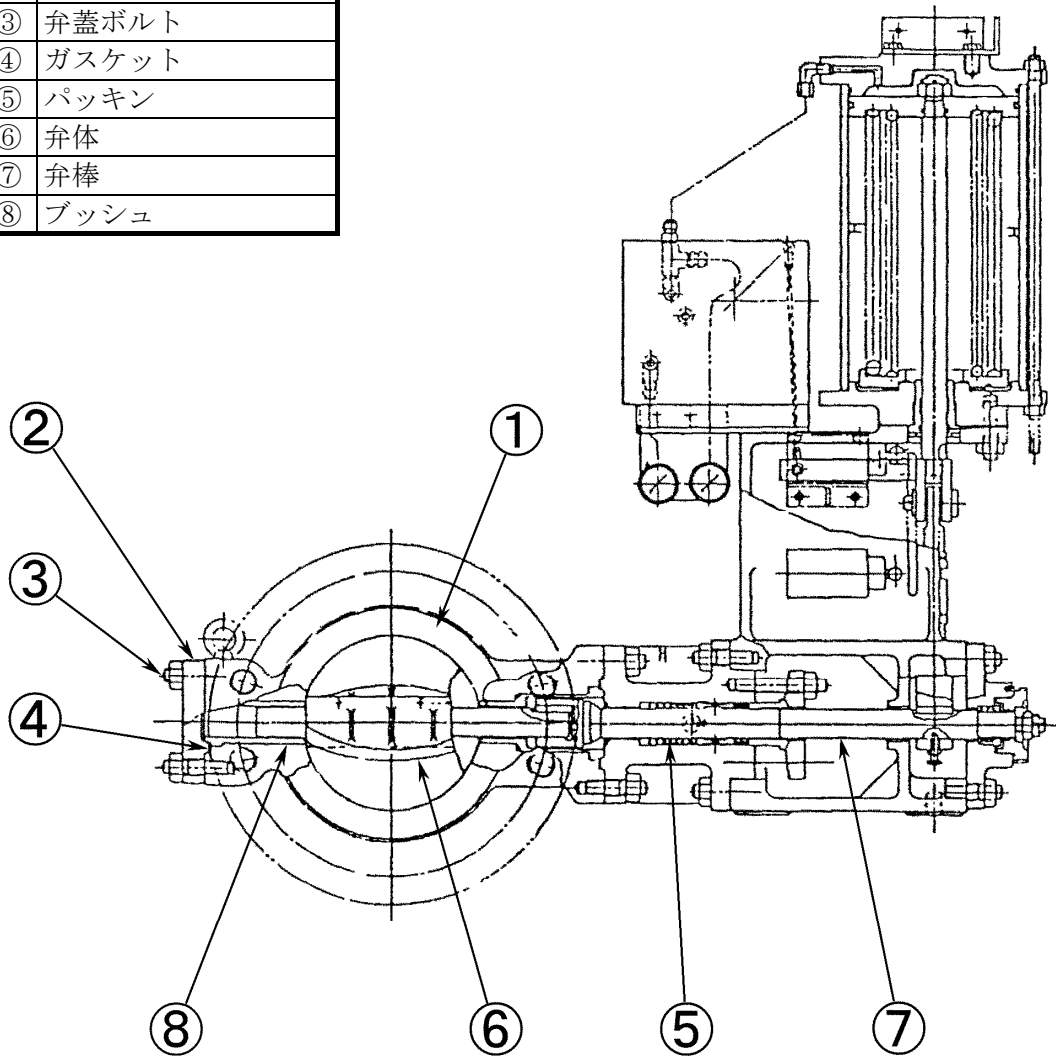


図2.1-1 高浜4号炉 余熱除去冷却器出口流量調節弁構造図

表2.1-1 高浜4号炉 余熱除去冷却器出口流量調節弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	ステンレス鋼鋳鋼（ステライト肉盛）
弁蓋	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼鋳鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼
ブッシュ	消耗品・定期取替品

表2.1-2 高浜4号炉 余熱除去冷却器出口流量調節弁の使用条件

最高使用圧力	約4.1MPa [gage]
最高使用温度	約200℃
内部流体	1次冷却材

2.1.2 廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁

(1) 構造

高浜4号炉の廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁は、手動バタフライ弁であり、液体廃棄物処理系統に設置されている。

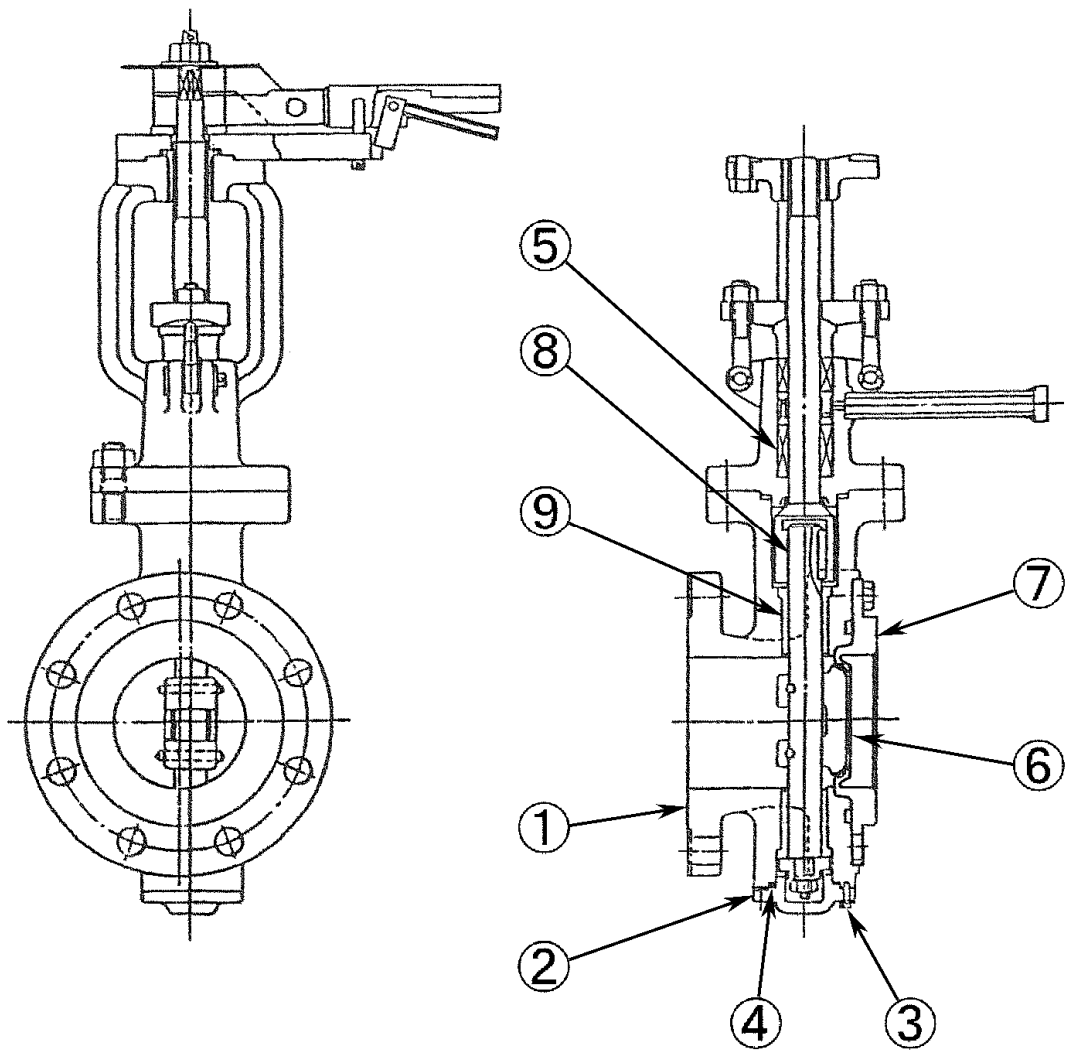
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱および弁体はステンレス鋼、弁蓋はステンレス鋼を使用しており、廃液に接液している。

高浜4号炉の廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	弁棒
⑨	ブッシュ

図2.1-2 高浜4号炉 廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁構造図

表2.1-3 高浜4号炉 廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	ステンレス鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼鋳鋼 (ステライト肉盛)
弁座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁棒	ステンレス鋼
ブッシュ	消耗品・定期取替品

表2.1-4 高浜4号炉 廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁の使用条件

最高使用圧力	約1.0MPa [gage]
最高使用温度	約150℃
内部流体	廃液

2.1.3 給水ポンプタービン排気弁

(1) 構造

高浜4号炉の給水ポンプタービン排気弁は、電動バタフライ弁であり、主蒸気系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、Oリング、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座、弁体シート）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱、弁蓋および弁体は炭素鋼を使用しており、蒸気に接している。

高浜4号炉の給水ポンプタービン排気弁の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の給水ポンプタービン排気弁の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。

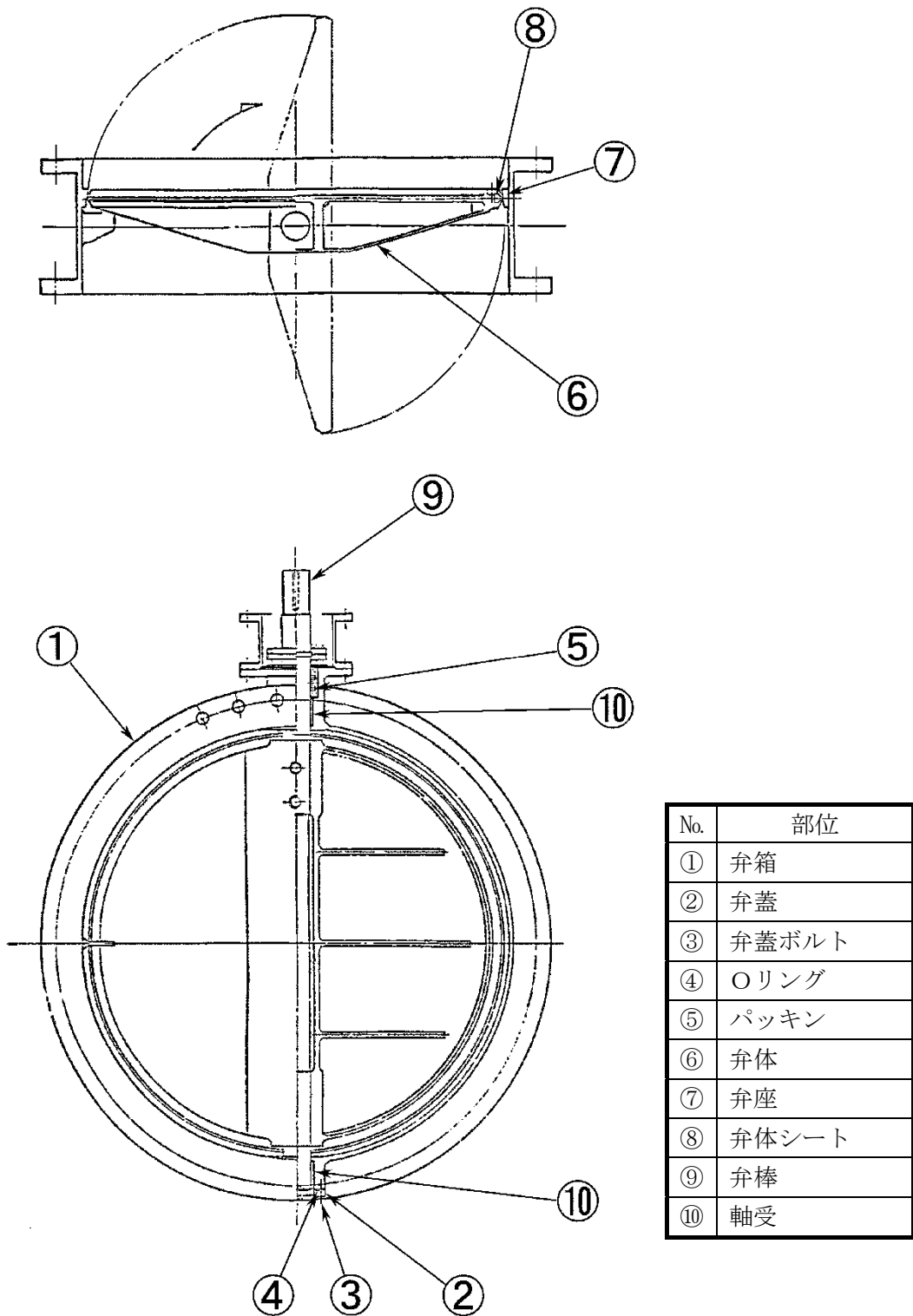


図2.1-3 高浜4号炉 給水ポンプタービン排気弁構造図

表2.1-5 高浜4号炉 給水ポンプタービン排気弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼
弁蓋	炭素鋼
弁蓋ボルト	炭素鋼
Oリング	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	炭素鋼
弁座	ステンレス鋼
弁体シート	消耗品・定期取替品
弁棒	ステンレス鋼
軸受	消耗品・定期取替品

表2.1-6 高浜4号炉 給水ポンプタービン排気弁の使用条件

最高使用圧力	約-0.1MPa [gage]
最高使用温度	約120℃
内部流体	蒸気

2.1.4 海水ストレーナ入口弁

(1) 構造

高浜4号炉の海水ストレーナ入口弁は、手動バタフライ弁であり、海水系統に設置されている。

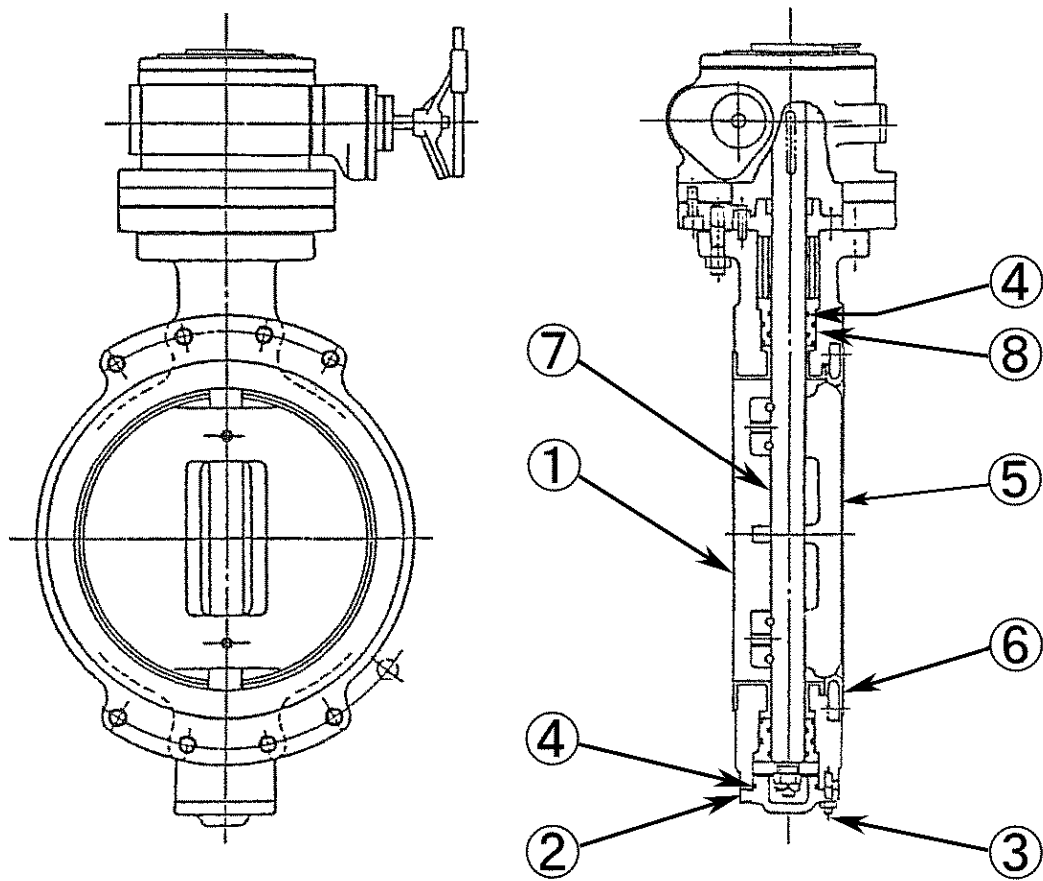
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、Oリング）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱および弁蓋は炭素鋼鋳鋼、弁体は銅合金鋳物を使用しており、海水に接液している。

高浜4号炉の海水ストレーナ入口弁の構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の海水ストレーナ入口弁の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	Oリング
⑤	弁体
⑥	弁座
⑦	弁棒
⑧	軸受

図2.1-4 高浜4号炉 海水ストレーナ入口弁構造図

表2.1-7 高浜4号炉 海水ストレーナ入口弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼（ゴムライニング）
弁蓋	炭素鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	炭素鋼
Oリング	消耗品・定期取替品
弁体	銅合金鋳物
弁座	消耗品・定期取替品
弁棒	銅合金
軸受	消耗品・定期取替品

表2.1-8 高浜4号炉 海水ストレーナ入口弁の使用条件

最高使用圧力	約0.7MPa [gage]
最高使用温度	約50℃
内部流体	海水

2.1.5 安全補機開閉器室空調ユニット出口弁

(1) 構造

高浜4号炉の安全補機開閉器室空調ユニット出口弁は、手動バタフライ弁であり、換気空調系統に設置されている。

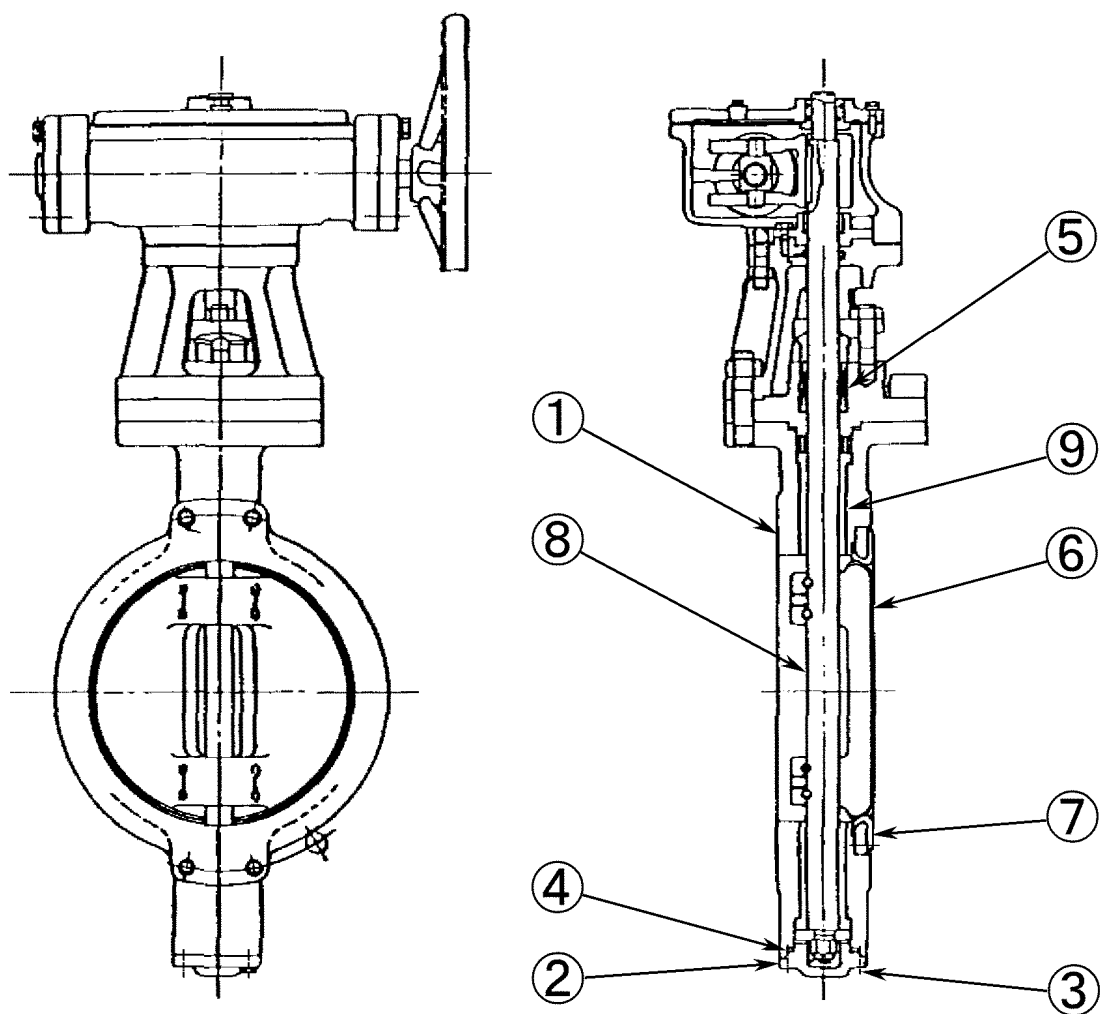
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱および弁体は炭素鋼鋳鋼、弁蓋は炭素鋼を使用しており、純水に接している。

高浜4号炉の安全補機開閉器室空調ユニット出口弁の構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の安全補機開閉器室空調ユニット出口弁の使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	弁棒
⑨	ブッシュ

図2.1-5 高浜4号炉 安全補機開閉器室空調ユニット出口弁構造図

表2.1-9 高浜4号炉 安全補機開閉器室空調ユニット出口弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼
弁蓋ボルト	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	炭素鋼鋳鋼
弁座	消耗品・定期取替品
弁棒	ステンレス鋼
ブッシュ	消耗品・定期取替品

表2.1-10 高浜4号炉 安全補機開閉器室空調ユニット出口弁の使用条件

最高使用圧力	約1.0MPa [gage]
最高使用温度	約45℃
内部流体	純水

2.1.6 余熱除去冷却器冷却水絞り弁

(1) 構造

高浜4号炉の余熱除去冷却器冷却水絞り弁は、手動バタフライ弁であり、原子炉補機冷却水系統に設置されている。

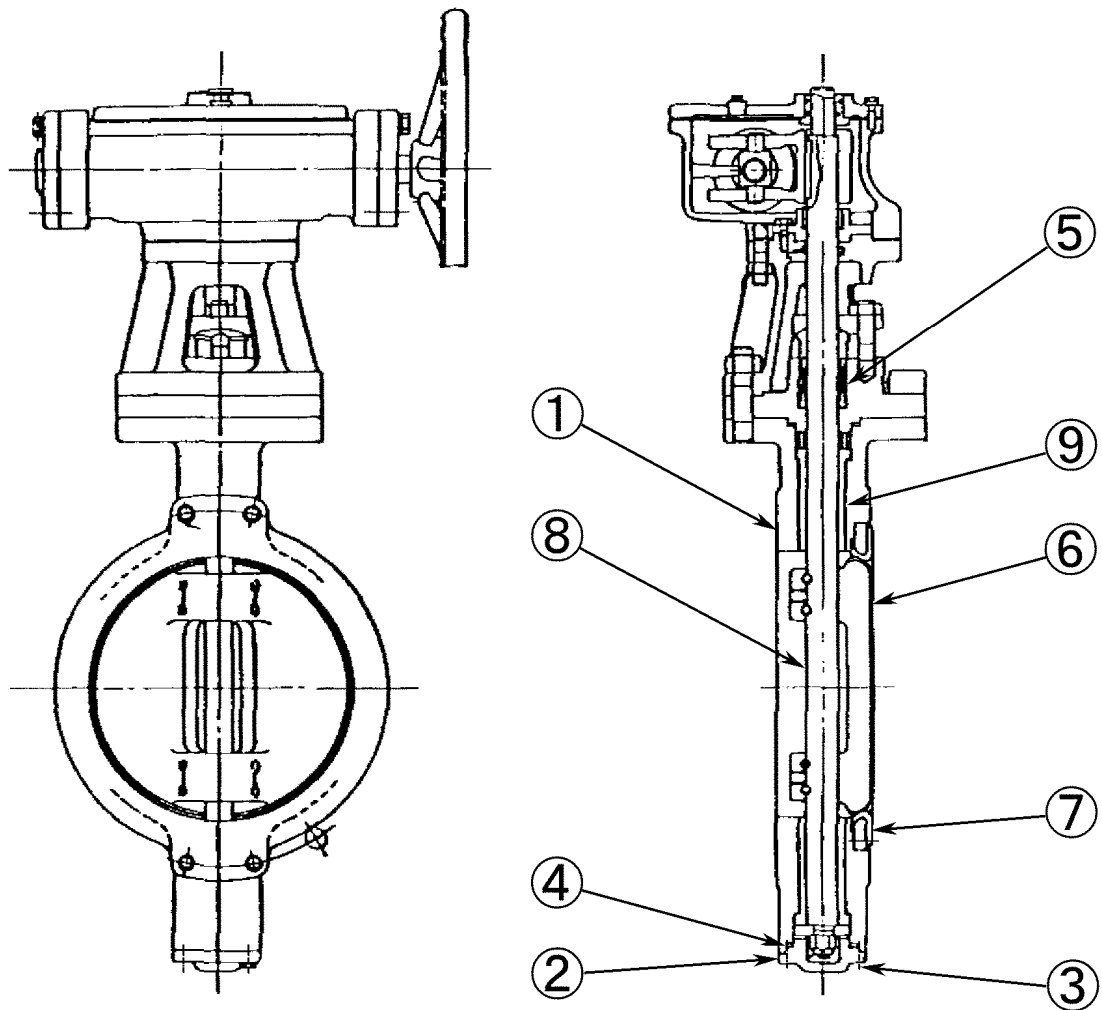
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱および弁体は炭素鋼鋳鋼、弁蓋は炭素鋼を使用しており、ヒドラジン水に接している。

高浜4号炉の余熱除去冷却器冷却水絞り弁の構造図を図2.1-6に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の余熱除去冷却器冷却水絞り弁の使用材料および使用条件を表2.1-11および表2.1-12に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	弁棒
⑨	ブッシュ

図2.1-6 高浜4号炉 余熱除去冷却器冷却水絞り弁構造図

表2.1-11 高浜4号炉 余熱除去冷却器冷却水絞り弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼
弁蓋ボルト	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	炭素鋼鋳鋼
弁座	消耗品・定期取替品
弁棒	ステンレス鋼
ブッシュ	消耗品・定期取替品

表2.1-12 高浜4号炉 余熱除去冷却器冷却水絞り弁の使用条件

最高使用圧力	約1.0MPa [gage]
最高使用温度	95℃
内部流体	ヒドラジン水

2.1.7 格納容器給気第1隔離弁

(1) 構造

高浜4号炉の格納容器給気第1隔離弁は、空気作動バタフライ弁であり、換気空調系統に設置されている。

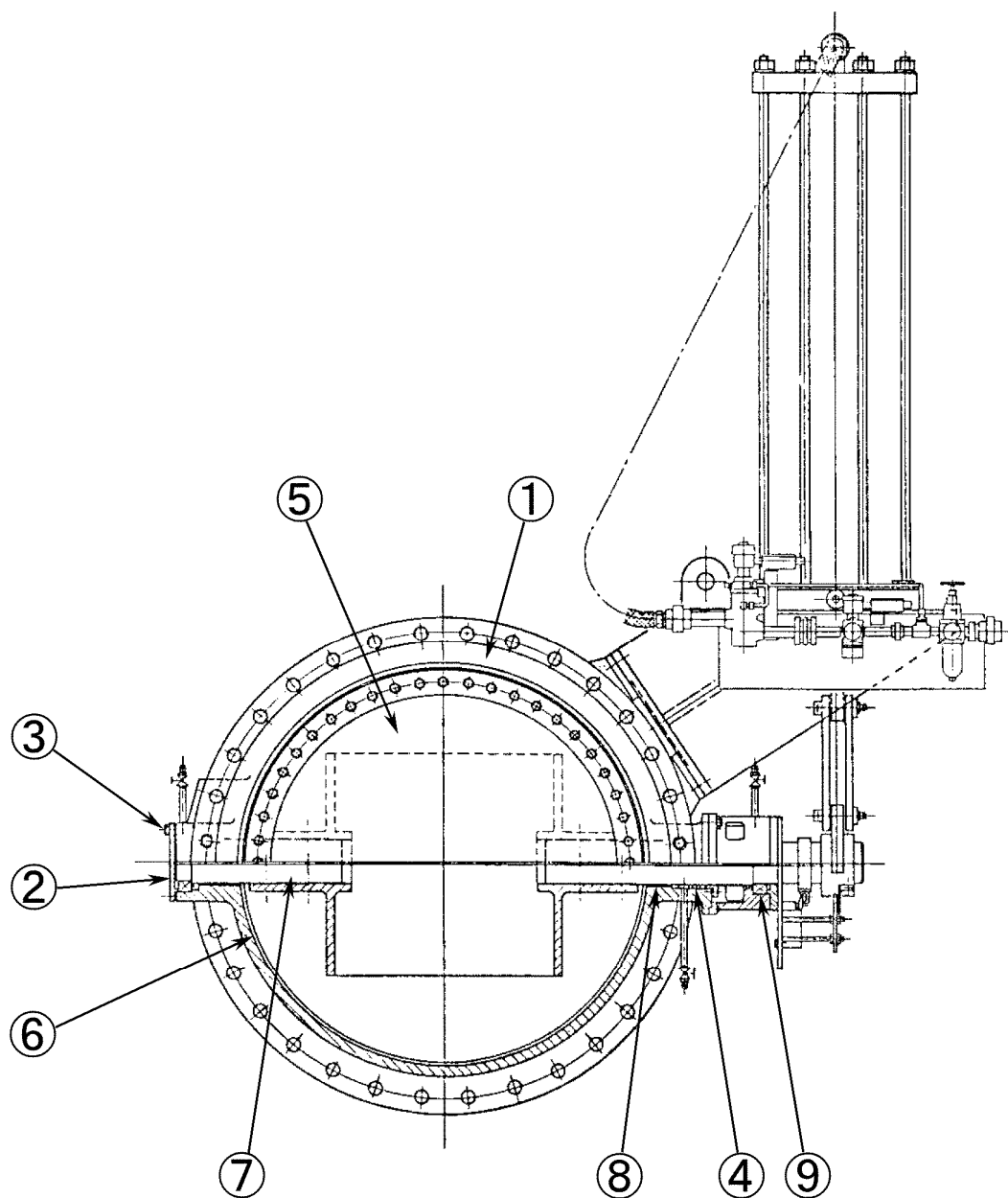
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁体シート）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱および弁体は炭素鋼鋳鋼、弁蓋はステンレス鋼を使用しており、空気に接している。

高浜4号炉の格納容器給気第1隔離弁の構造図を図2.1-7に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の格納容器給気第1隔離弁の使用材料および使用条件を表2.1-13および表2.1-14に示す。



No.	部位
①	弁箱 (弁座と一体)
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	パッキン
⑤	弁体
⑥	弁体シート
⑦	弁棒
⑧	ブッシュ
⑨	軸受 (ころがり)

図2.1-7 高浜4号炉 格納容器給気第1隔離弁構造図

表2.1-13 高浜4号炉 格納容器給気第1隔離弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	炭素鋼鋳鋼（ステンレス鋼肉盛）
弁蓋	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	炭素鋼
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	炭素鋼鋳鋼
弁体シート	消耗品・定期取替品
弁棒	ステンレス鋼
ブッシュ	銅合金鋳物
軸受（ころがり）	消耗品・定期取替品

表2.1-14 高浜4号炉 格納容器給気第1隔離弁の使用条件

最高使用圧力	約0.3MPa [gage]
最高使用温度	132℃
内部流体	空気

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

バタフライ弁の機能である流体の仕切および流量調節機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

バタフライ弁個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（内部流体、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象(日常劣化管理事象)を以下に示す。

- (1) 弁体、弁座または弁箱弁座部シート面の摩耗[余熱除去冷却器出口流量調節弁、廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁]
弁体、弁座または弁箱弁座部シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。
しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (2) 弁体、弁箱弁座部の腐食（エロージョン） [余熱除去冷却器出口流量調節弁]
中間開度で使用している弁体、弁箱弁座部には、エロージョンによる減肉が想定される。
しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (3) 弁棒（パッキン、Oリング受け部および軸保持部）の摩耗 [共通]
弁棒は開閉に伴うパッキン、Oリング受け部および軸保持部との摺動により、摩耗が想定される。
しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (4) 弁棒の腐食（隙間腐食）〔共通〕
弁棒はパッキンおよびOリングとの接触部において腐食が想定される。
しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (5) 弁箱等の応力腐食割れ〔廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁〕
ステンレス鋼またはステンレス鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座および弁棒は、内部流体の塩化物イオン濃度が高い廃液により、応力腐食割れが想定される。
しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (6) 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食）〔給水ポンプタービン排気弁、余熱除去冷却器冷却水絞り弁〕
炭素鋼の弁箱、弁蓋および弁体は、内部流体が蒸気またはヒドラジン水であり、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。
しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (7) 弁箱、弁蓋等の外面からの腐食（全面腐食）〔給水ポンプタービン排気弁、海水ストレーナ入口弁、安全補機開閉器室空調ユニット出口弁、格納容器給気第1隔離弁、余熱除去冷却器冷却水絞り弁〕
炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋等は、外面からの腐食が想定される。
しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。
また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (8) 弁箱、弁蓋の腐食（異種金属接触腐食を含む）〔海水ストレーナ入口弁〕
内部流体が海水であり、炭素鋼鋳鋼製の弁箱、弁蓋および弁座の接液部においては腐食が想定される。
しかしながら、定期的な分解点検時にライニング等の状況を目視確認し、機器の健全性を維持している。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (9) 弁棒等の腐食（孔食・隙間腐食）〔海水ストレーナ入口弁〕
内部流体が海水であり、銅合金または銅合金鋳物の弁棒および弁体の接液部においては、孔食・隙間腐食が想定される。
しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (10) 弁箱等の腐食（全面腐食）〔安全補機開閉器室空調ユニット出口弁、格納容器給気第1隔離弁、余熱除去冷却器冷却水絞り弁、給水ポンプタービン排気弁〕
炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座は、内部流体による腐食が想定される。
炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座を持つ弁のうち、内部流体が飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）水である弁については、長期使用により腐食が想定される。
しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
また、その他の弁については、内部流体が空気またはヒドラジン水（防錆剤注入水）で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

- (11) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁以外の弁〕
弁蓋ボルトは低合金鋼または炭素鋼であり、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時等の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

- (12) ブッシュの摩耗〔格納容器第1隔離弁〕

ブッシュは弁棒との摺動により摩耗が想定される。

しかしながら、格納容器第1隔離弁は作動回数が少なく、これまでに有意な摩耗が認められていないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケット、パッキンおよびOリングは分解点検時に取替える消耗品であり、弁体シート、弁座、軸受、ブッシュは分解点検時の目視確認等の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/7) 高浜4号炉 余熱除去冷却器出口流量調節弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		ステンレス鋼 （ステライト肉盛）	△	△*1						*1:エロージョン
	弁蓋		ステンレス鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 （ステライト肉盛）	△	△*1						
	弁棒		ステンレス鋼	△	△						
	ブッシュ	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/7) 高浜4号炉 廃液蒸発装置濃縮液ポンプ入口弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼				△				
	弁蓋		ステンレス鋼				△				
	弁蓋ボルト		ステンレス鋼								
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼鋳鋼 (ステライト肉盛)	△			△				
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△			△				
	弁棒		ステンレス鋼	△	△		△				
	ブッシュ	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/7) 高浜4号炉 給水ポンプタービン排気弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼		△*1,2,4						*1:流れ加速型腐食 *2:全面腐食(外面) *3:隙間腐食 *4:全面腐食(内面)
	弁蓋		炭素鋼		△*1,2,4						
	弁蓋ボルト		炭素鋼		△						
	Oリング	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		炭素鋼		△*1,4						
	弁座		ステンレス鋼								
	弁体シート	◎	—								
	弁棒		ステンレス鋼	△	△*3						
	軸受	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/7) 高浜4号炉 海水ストレーナ入口弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼 (ゴムライニング)		△ ^{*1,2}					*1:異種金属接触腐食を含む *2:全面腐食(外面) *3:孔食・隙間腐食	
	弁蓋		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1,2}						
	弁蓋ボルト		炭素鋼		△						
	Oリング	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		銅合金鋳物		△ ^{*3}						
	弁座	◎	—								
	弁棒		銅合金	△	△ ^{*3}						
	軸受	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(5/7) 高浜4号炉 安全補機開閉器室空調ユニット出口弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1,2}					*1:全面腐食(外面) *2:全面腐食(内面) *3:隙間腐食	
	弁蓋		炭素鋼		△ ^{*1,2}						
	弁蓋ボルト		炭素鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		炭素鋼鋳鋼		△						
	弁座	◎	—								
	弁棒		ステンレス鋼	△	△ ^{*3}						
	ブッシュ	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(6/7) 高浜4号炉 余熱除去冷却器冷却水絞り弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1,2,4}					*1:全面腐食(外面) *2:全面腐食(内面) *3:隙間腐食 *4:流れ加速型腐食	
	弁蓋		炭素鋼		△ ^{*1,2}						
	弁蓋ボルト		炭素鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*4}						
	弁座	◎	—								
	弁棒		ステンレス鋼	△	△ ^{*3}						
	ブッシュ	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(7/7) 高浜4号炉 格納容器給気第1隔離弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		炭素鋼鋳鋼 (ステンレス鋼肉盛)		△ ^{*1,2}					*1:全面腐食 (外面) *2:全面腐食 (内面)	
	弁蓋		ステンレス鋼								
	弁蓋ボルト		炭素鋼		△						
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		炭素鋼鋳鋼		△						
	弁体シート	◎	—								
	弁棒		ステンレス鋼	△	△						
	ブッシュ		銅合金鋳物	▲							
	軸受(ころがり)	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

3. 代表機器以外への展開

本章では、2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.1.1 弁体、弁座または弁箱弁座部シート面の摩耗 [金属シートタッチの弁共通]

弁体、弁座または弁箱弁座部シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.2 弁体、弁箱弁座部の腐食（エロージョン） [余熱除去系統のバタフライ弁]

中間開度で使用されている弁体、弁箱弁座部には、エロージョンによる減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.3 弁棒（パッキン、Oリング受け部および軸保持部）の摩耗 [共通]

弁棒は開閉に伴うパッキン、Oリング受け部および軸保持部との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.4 弁棒の腐食（隙間腐食）〔共通〕

弁棒はパッキンおよびOリングとの接触部において腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.5 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食）〔原子炉補機冷却水系統のバタフライ弁〕

中間開度で使用される弁の炭素鋼製の弁箱等においては内部流体による流れ加速型腐食による減肉が発生する可能性があるが、進行程度は正確に定量的な評価を行うことは困難である。

しかしながら、分解点検時に弁内面状態を確認することで、弁箱等の流れ加速型腐食により、機器の健全性に影響を与える可能性はない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.6 弁箱、弁蓋の外表面からの腐食（全面腐食）〔原子炉補機冷却水系統、海水系統、換気空調系統および非常用ディーゼル発電機設備のバタフライ弁〕

炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋は、外表面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.7 弁箱等の腐食（異種金属接触腐食を含む）〔海水系統および非常用ディーゼル発電機設備のバタフライ弁〕

内部流体が海水であり、炭素鋼鋳鋼製の弁箱、弁蓋の接液部においては腐食が想定される。

しかしながら、定期的な分解点検時にライニング等の状況を目視確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.8 弁体、弁棒の腐食（孔食・隙間腐食）〔海水系統および非常用ディーゼル発電機設備のバタフライ弁〕

内部流体が海水であり、銅合金、ステンレス鋼またはステンレス鋼鋳鋼の弁体および弁棒については、孔食・隙間腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.9 弁箱等の腐食（全面腐食）〔換気空調系統および原子炉補機冷却水系統のバタフライ弁〕

炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座は、内部流体による腐食が想定される。

炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座を持つ弁のうち、内部流体が飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）水である弁については、長期使用により腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

また、その他の弁については、内部流体が空気、ヒドラジン水（防錆剤注入水）で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.1.10 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔低合金鋼製または炭素鋼製の弁蓋ボルトのある弁共通〕

弁蓋ボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

3.1.11 ブッシュの摩耗 [換気空調系統のバタフライ弁]

ブッシュは弁棒との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

1.4 ダイヤフラム弁

[対象機器]

- ① 1次冷却系統ダイヤフラム弁
- ② 化学体積制御系統ダイヤフラム弁
- ③ 燃料取替用水系統ダイヤフラム弁
- ④ 1次系試料採取系統ダイヤフラム弁
- ⑤ 1次系洗浄水系統ダイヤフラム弁
- ⑥ 計器用空気系統ダイヤフラム弁
- ⑦ 気体廃棄物処理系統ダイヤフラム弁
- ⑧ 液体廃棄物処理系統ダイヤフラム弁
- ⑨ 海水系統ダイヤフラム弁
- ⑩ 非常用ディーゼル発電機設備ダイヤフラム弁
- ⑪ 廃樹脂処理装置ダイヤフラム弁

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料および使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	21
3. 代表機器以外への展開	31
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	31

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されているダイヤフラム弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらのダイヤフラム弁を設置場所、内部流体および材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すダイヤフラム弁について、設置場所、内部流体および材料を分離基準として考えると、合計6個のグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

- (1) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：1次冷却材または純水

このグループには、化学体積制御系統、1次冷却系統、燃料取替用水系統、1次系試料採取系統、1次系洗浄水系統および液体廃棄物処理系統のダイヤフラム弁が属するが、重要度および温度が高いほう酸ポンプ出口弁を代表機器とする。

- (2) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：希ガス等または空気

このグループには、気体廃棄物処理系統および計器用空気系統のダイヤフラム弁が属するが、重要度が高いガス減衰タンク出口弁を代表機器とする。

- (3) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：廃液

このグループには、廃樹脂処理装置ダイヤフラム弁のみが属することから、濃縮液移送弁を代表機器とする。

- (4) 設置場所：屋内外または屋内、材料：炭素鋼または鋳鉄、内部流体：海水

このグループには、海水系統および非常用ディーゼル発電機設備のダイヤフラム弁が属するが、口径が大きい海水ポンプ軸受潤滑水元弁を代表機器とする。

- (5) 設置場所：屋内、材料：炭素鋼、内部流体：希ガス等、窒素または空気

このグループには、気体廃棄物処理系統および計器用空気系統のダイヤフラム弁が属するが、重要度が高く、口径が大きいガス減衰タンク逃しライン入口弁を代表機器とする。

- (6) 設置場所：屋内、材料：鋳鉄、内部流体：廃液

このグループには、廃樹脂処理装置ダイヤフラム弁のみが属することから、濃縮液ポンプ入口弁を代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 ダイヤフラム弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)			
屋内	ステンレス鋼	1次冷却材	73	化学体積制御系統	3/4~3	MS-1、PS-2、高*2、重*3	約4.1	約150	◎	ほう酸ポンプ出口弁 (2B)	重要度 温度
			8	燃料取替用水系統	3/4~4	MS-1、MS-2、重*3	約1.4	約132			
			5	1次系試料採取系統	3/4	MS-2、高*2	約4.1	約95			
			4	液体廃棄物処理系統	2~3	MS-1、重*3	約1.4	約132			
			3	1次冷却系統	3/4~3	MS-1、重*3	約1.0	約132			
			2	1次系洗浄水系統	3/4~2	MS-1、重*3	約1.0	約132			
屋内	ステンレス鋼	希ガス等 空気	2	気体廃棄物処理系統	2	PS-2	約1.0	約95	◎	ガス減衰タンク出口弁 (2B)	重要度
			2	計器用空気系統	2	MS-2	約0.8	約50			
屋内	ステンレス鋼	廃液	1	廃樹脂処理装置	1	高*2	約1.0	約120	◎	濃縮液移送弁 (1B)	
屋内 外	炭素鋼、鋳鉄	海水	34	海水系統	3/4~2	MS-1、MS-2、重*3	約0.7	約50	◎	海水ポンプ軸受潤滑水元弁 (2B)	口径
屋内			2	非常用ディーゼル発電機設備	1 1/2	MS-1	約0.7	約50			
屋内	炭素鋼	希ガス等 窒素 空気	8	気体廃棄物処理系統	1~2	PS-2	約1.0	約95	◎	ガス減衰タンク逃しライン入口弁 (2B)	重要度、 口径
			2	気体廃棄物処理系統	1	PS-2	約1.0	約95			
			4	計器用空気系統	3	MS-2	約0.8	約65			
屋内	鋳鉄	廃液	3	廃樹脂処理装置	1~1 1/2	高*2	約1.0	約120	◎	濃縮液ポンプ入口弁 (1 1/2B)	

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の6種類のダイヤフラム弁について技術評価を実施する。

- ① ほう酸ポンプ出口弁
- ② ガス減衰タンク出口弁
- ③ 濃縮液移送弁
- ④ 海水ポンプ軸受潤滑水元弁
- ⑤ ガス減衰タンク逃しライン入口弁
- ⑥ 濃縮液ポンプ入口弁

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 ほう酸ポンプ出口弁

(1) 構造

高浜4号炉のほう酸ポンプ出口弁は、手動ダイヤフラム弁であり、化学体積制御系統に設置されている。

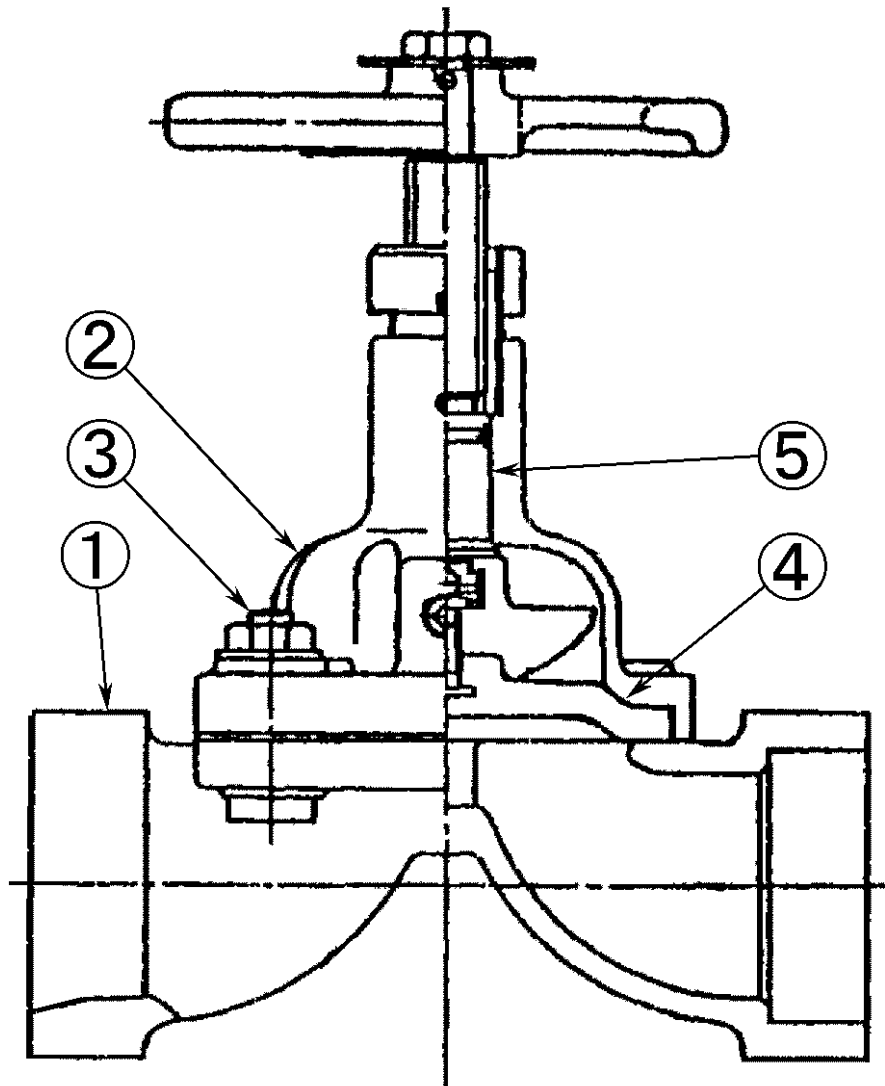
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト）、流体を仕切る隔離部（弁体：ダイヤフラム）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱はステンレス鋼鋳鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。

高浜4号炉のほう酸ポンプ出口弁の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉のほう酸ポンプ出口弁の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ダイヤフラム
⑤	弁棒

図2.1-1 高浜4号炉 ほう酸ポンプ出口弁構造図

表2.1-1 高浜4号炉 ほう酸ポンプ出口弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ダイヤフラム	消耗品・定期取替品
弁棒	ステンレス鋼

表2.1-2 高浜4号炉 ほう酸ポンプ出口弁の使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa [gage]
最高使用温度	約150℃
内部流体	1次冷却材

2.1.2 ガス減衰タンク出口弁

(1) 構造

高浜4号炉のガス減衰タンク出口弁は、手動ダイヤフラム弁であり、気体廃棄物処理系統に設置されている。

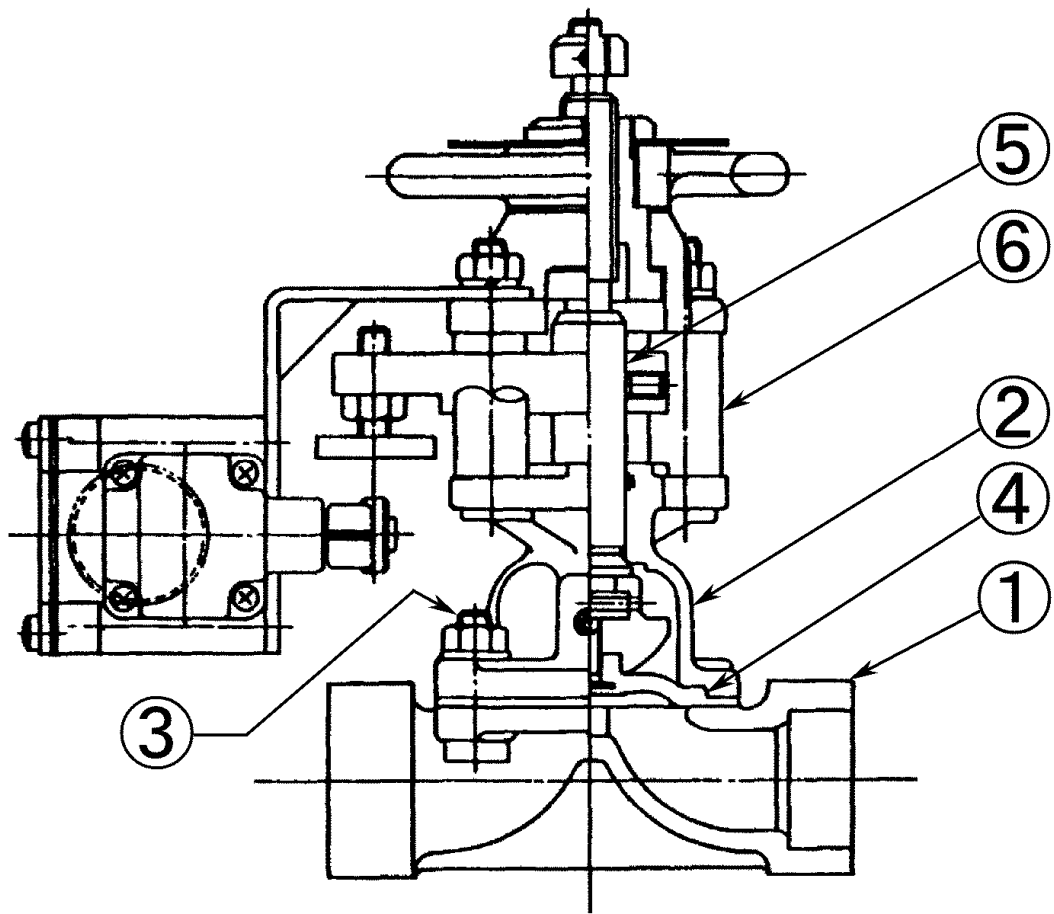
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト）、流体を仕切る隔離部（弁体：ダイヤフラム）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱はステンレス鋼鋳鋼を使用しており、希ガス等に接している。

高浜4号炉のガス減衰タンク出口弁の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉のガス減衰タンク出口弁の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ダイヤフラム
⑤	弁棒
⑥	ヨーク

図2.1-2 高浜4号炉 ガス減衰タンク出口弁構造図

表2.1-3 高浜4号炉 ガス減衰タンク出口弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ダイヤフラム	消耗品・定期取替品
弁棒	ステンレス鋼
ヨーク	炭素鋼

表2.1-4 高浜4号炉 ガス減衰タンク出口弁の使用条件

最高使用圧力	約1.0MPa [gage]
最高使用温度	約95℃
内部流体	希ガス等

2.1.3 濃縮液移送弁

(1) 構造

高浜4号炉の濃縮液移送弁は、空気作動ダイヤフラム弁であり、廃樹脂処理装置に設置されている。

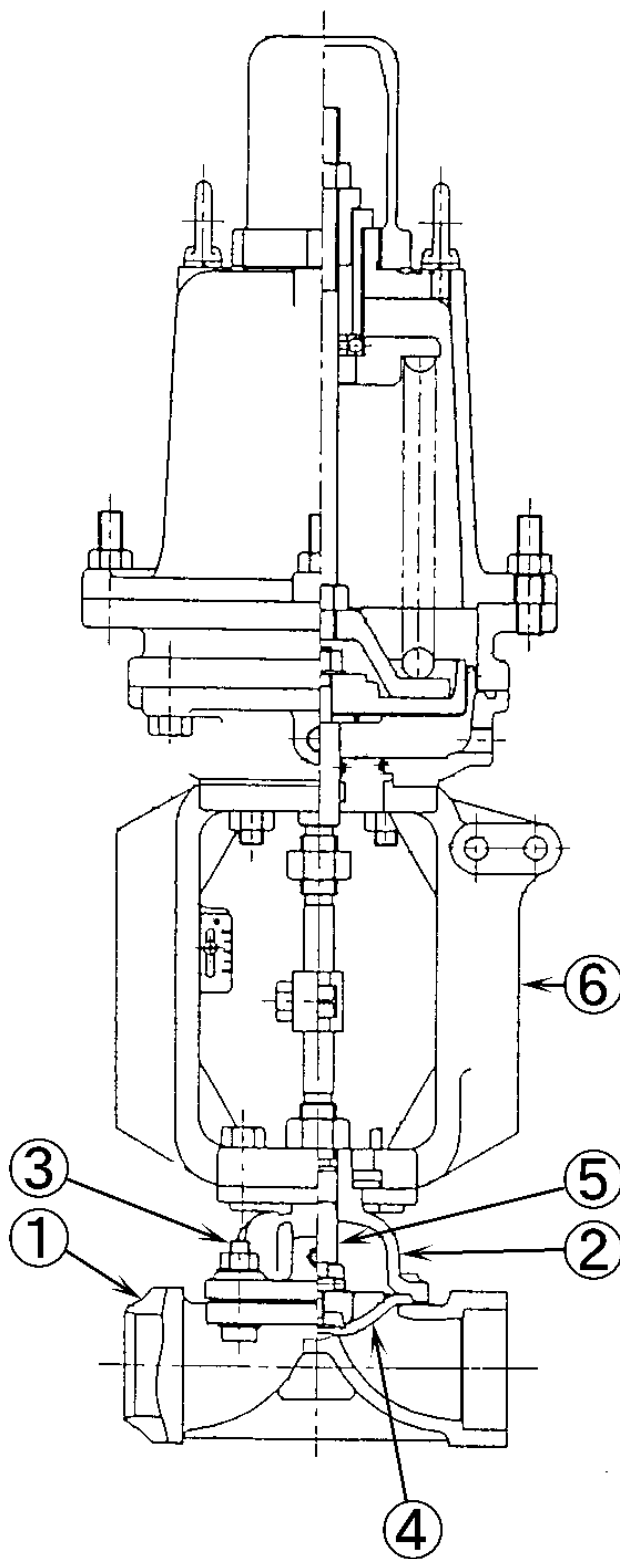
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト）、流体を仕切る隔離部（弁体：ダイヤフラム）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱はステンレス鋼鋳鋼を使用しており、廃液に接液している。

高浜4号炉の濃縮液移送弁の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の濃縮液移送弁の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。



No.	部 位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ダイヤフラム
⑤	弁棒
⑥	ヨーク

図2.1-3 高浜4号炉 濃縮液移送弁構造図

表2.1-5 高浜4号炉 濃縮液移送弁主要部位の使用材料

部 位	材 料
弁 箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁 蓋	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ダイヤフラム	消耗品・定期取替品
弁 棒	ステンレス鋼
ヨ ー ク	鋳鉄

表2.1-6 高浜4号炉 濃縮液移送弁の使用条件

最高使用圧力	約1.0MPa [gage]
最高使用温度	約120℃
内部流体	廃液

2.1.4 海水ポンプ軸受潤滑水元弁

(1) 構造

高浜4号炉の海水ポンプ軸受潤滑水元弁は、手動ダイヤフラム弁であり、海水系統に設置されている。

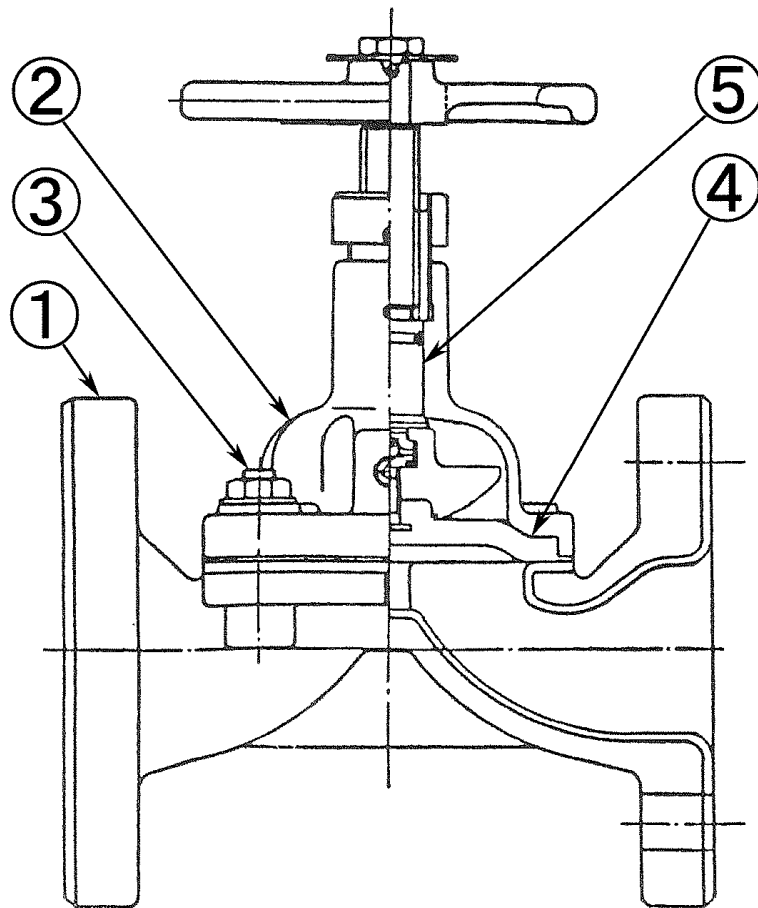
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト）、流体を仕切る隔離部（弁体：ダイヤフラム）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱は鋳鉄を使用しており、海水に接液している。

高浜4号炉の海水ポンプ軸受潤滑水元弁の構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の海水ポンプ軸受潤滑水元弁の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ダイヤフラム
⑤	弁棒

図2.1-4 高浜4号炉 海水ポンプ軸受潤滑水元弁構造図

表2.1-7 高浜4号炉 海水ポンプ軸受潤滑水元弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	鋳鉄（ゴムライニング）
弁蓋	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ダイヤフラム	消耗品・定期取替品
弁棒	ステンレス鋼

表2.1-8 高浜4号炉 海水ポンプ軸受潤滑水元弁の使用条件

最高使用圧力	約0.7MPa [gage]
最高使用温度	約50℃
内部流体	海水

2.1.5 ガス減衰タンク逃しライン入口弁

(1) 構造

高浜4号炉のガス減衰タンク逃しライン入口弁は、手動ダイヤフラム弁であり、気体廃棄物処理系統に設置されている。

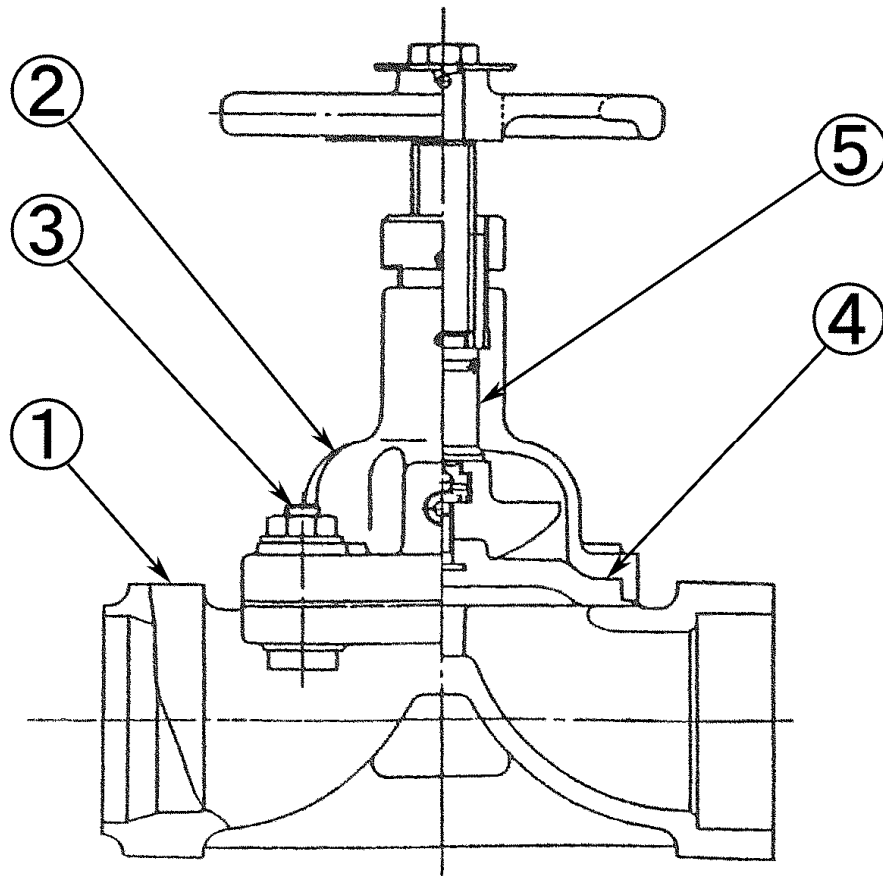
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト）、流体を仕切る隔離部（弁体：ダイヤフラム）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱は炭素鋼鋳鋼を使用しており、希ガス等に接している。

高浜4号炉のガス減衰タンク逃しライン入口弁の構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉のガス減衰タンク逃しライン入口弁の使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ダイヤフラム
⑤	弁棒

図2.1-5 高浜4号炉 ガス減衰タンク逃しライン入口弁構造図

表2.1-9 高浜4号炉 ガス減衰タンク逃しライン入口弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ダイヤフラム	消耗品・定期取替品
弁棒	ステンレス鋼

表2.1-10 高浜4号炉 ガス減衰タンク逃しライン入口弁の使用条件

最高使用圧力	約1.0MPa [gage]
最高使用温度	約95℃
内部流体	希ガス等

2.1.6 濃縮液ポンプ入口弁

(1) 構造

高浜4号炉の濃縮液ポンプ入口弁は、手動ダイヤフラム弁であり、廃樹脂処理装置に設置されている。

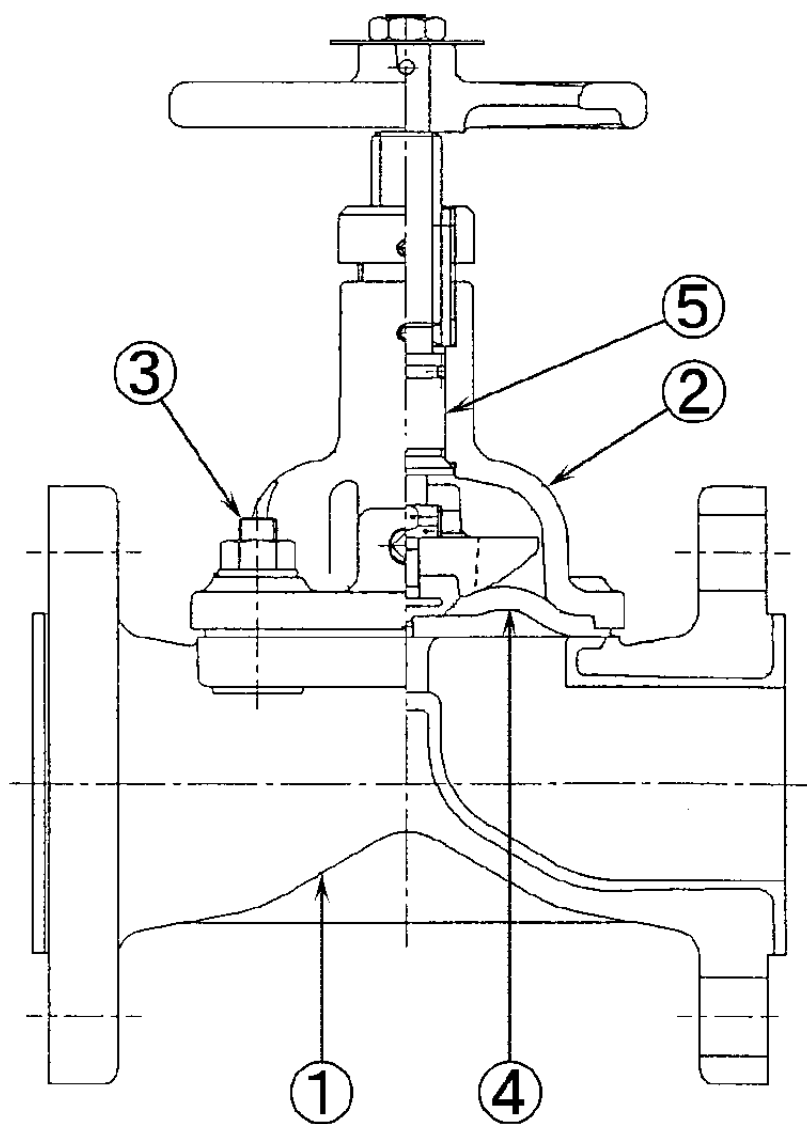
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト）、流体を仕切る隔離部（弁体：ダイヤフラム）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱は鋳鉄を使用しており、廃液に接液している。

高浜4号炉の濃縮液ポンプ入口弁の構造図を図2.1-6に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の濃縮液ポンプ入口弁の使用材料および使用条件を表2.1-11および表2.1-12に示す。



No.	部 位
①	弁 箱
②	弁 蓋
③	弁蓋ボルト
④	ダイヤフラム
⑤	弁 棒

図2.1-6 高浜4号炉 濃縮液ポンプ入口弁構造図

表2.1-11 高浜4号炉 濃縮液ポンプ入口弁主要部位の使用材料

部 位	材 料
弁 箱	鋳鉄（フッ素樹脂ライニング）
弁 蓋	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ダイヤフラム	消耗品・定期取替品
弁 棒	ステンレス鋼

表2.1-12 高浜4号炉 濃縮液ポンプ入口弁の使用条件

最高使用圧力	約1.0MPa [gage]
最高使用温度	約120℃
内部流体	廃液

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

ダイヤフラム弁の機能である流体の仕切機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

ダイヤフラム弁個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（内部流体、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 弁棒の摩耗 [共通]

弁棒は開閉に伴う弁蓋との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 弁箱の腐食（異種金属接触腐食を含む） [海水ポンプ軸受潤滑水元弁]

鋳鉄の弁箱は、海水が接液するためライニングを施工しているが、ライニングのはく離等により海水が接液した場合には、腐食が発生する可能性がある。

しかしながら、分解点検時にライニング等の状況を目視確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (3) 弁箱等の外面からの腐食（全面腐食）〔海水ポンプ軸受潤滑水元弁、ガス減衰タンク逃しライン入口弁、濃縮液ポンプ入口弁〕

鋳鉄または炭素鋼鋳鋼の弁箱は、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (4) 弁箱の腐食（全面腐食）〔ガス減衰タンク逃しライン入口弁〕

炭素鋼鋳鋼の弁箱は、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、ガス減衰タンク逃しライン入口弁の内部流体は希ガス等で、腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

- (5) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔ほう酸ポンプ出口弁、濃縮液移送弁、海水ポンプ軸受潤滑水元弁、濃縮液ポンプ入口弁〕

弁蓋ボルトは低合金鋼であり、ダイヤフラムからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

- (6) ヨークの腐食（全面腐食）〔ガス減衰タンク出口弁、濃縮液移送弁〕
炭素鋼または鋳鉄製のヨークは、腐食が想定される。
しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。
また、分解点検時に目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (7) 弁箱の応力腐食割れ〔濃縮液移送弁〕
内部流体は濃縮廃液であり、塩化物イオン濃度が高く、かつ高温であるため、ステンレス鋼製である弁箱は応力腐食割れが発生する可能性がある。
しかしながら、定期的な弁内面状態の目視確認および漏えい確認により、機器の健全性を維持している。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (8) 弁箱の腐食（全面腐食）〔濃縮液ポンプ入口弁〕
内部流体は廃液であり、鋳鉄製の弁箱は腐食が想定される。
しかしながら、接液部にはライニングが施されており、腐食の可能性は小さい。
また定期的な弁内部の目視確認により、機器の健全性を維持している。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ダイヤフラムは分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/6) 高浜4号炉 ほう酸ポンプ出口弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
閉止機能の維持 作動機能の維持	ダイヤフラム	◎	—								
	弁棒		ステンレス鋼	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/6) 高浜4号炉 ガス減衰タンク出口弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼								
閉止機能の維持 作動機能の維持	ダイヤフラム	◎	—								
	弁棒		ステンレス鋼	△							
	ヨーク		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/6) 高浜4号炉 濃縮液移送弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼				△				
	弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
閉止機能の維持 作動機能の維持	ダイヤフラム	◎	—								
	弁棒		ステンレス鋼	△							
	ヨーク		鋳鉄		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/6) 高浜4号炉 海水ポンプ軸受潤滑水元弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		鋳鉄 (ゴムライニング)		△*1,2					*1:全面腐食 (外面) *2:全面腐食 (内面)	
	弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
閉止機能の維持 作動機能の維持	ダイヤフラム	◎	—								
	弁棒		ステンレス鋼	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(5/6) 高浜4号炉 ガス減衰タンク逃しライン入口弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1,2}						*1:全面腐食(内面) *2:全面腐食(外面)
	弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼								
閉止機能の維持 作動機能の維持	ダイヤフラム	◎	—								
	弁棒		ステンレス鋼	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(6/6) 高浜4号炉 濃縮液ポンプ入口弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		鋳鉄 (フッ樹脂ライニング)		△ ^{*1,2}						*1:全面腐食 (内面) *2:全面腐食 (外面)
	弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
閉止機能の維持 作動機能の維持	ダイヤフラム	◎	—								
	弁棒		ステンレス鋼	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

3. 代表機器以外への展開

本章では、2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.1.1 弁棒の摩耗 [共通]

弁棒は開閉に伴う弁蓋との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.2 弁箱の腐食（異種金属接触腐食を含む） [海水系統および非常用ディーゼル発電機設備のダイヤフラム弁]

炭素鋼または鋳鉄の弁箱は、海水が接液するためライニングを施工しているが、ライニングのはく離等により海水が接液した場合には、腐食が発生する可能性がある。

しかしながら、分解点検時にライニング等の状況を目視確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.3 弁箱等の外面からの腐食（全面腐食） [海水系統のダイヤフラム弁]

屋外に設置された弁の炭素鋼製の弁箱等は雨水にさらされており、塗装や防水措置（保温）が不十分であると、外面からの腐食が発生する可能性は否定できない。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.4 弁箱、弁蓋の外面からの腐食（全面腐食） [非常用ディーゼル発電機設備、気体廃棄物処理系統および計器用空気系統のダイヤフラム弁]

鋳鉄または炭素鋼の弁箱、弁蓋は、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.5 弁箱等の腐食（全面腐食） [気体廃棄物処理系統および計器用空気系統のダイヤフラム弁]

炭素鋼の弁箱等は、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、内部流体が希ガス等、窒素または空気で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.1.6 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕

ダイヤフラムからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

3.1.7 ヨークの腐食（全面腐食）〔ヨークのある弁共通〕

鋳鉄または炭素鋼のヨークは、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.8 弁箱等の腐食（全面腐食）〔廃樹脂処理装置ダイヤフラム弁〕

廃樹脂処理装置ダイヤフラム弁の内部流体は廃液であり、鋳鉄製の弁箱は腐食が想定される。

しかしながら、接液部にはライニングが施されており、腐食の可能性は小さい。また定期的な弁内部の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

1.5 スイング逆止弁

[対象機器]

- ① 1次冷却系統スイング逆止弁
- ② 化学体積制御系統スイング逆止弁
- ③ 安全注入系統スイング逆止弁
- ④ 余熱除去系統スイング逆止弁
- ⑤ 格納容器内部スプレイ系統スイング逆止弁
- ⑥ 燃料取替用水系統スイング逆止弁
- ⑦ 主蒸気系統スイング逆止弁
- ⑧ 第3抽気系統スイング逆止弁
- ⑨ 第4抽気系統スイング逆止弁
- ⑩ 第5抽気系統スイング逆止弁
- ⑪ 第6抽気系統スイング逆止弁
- ⑫ ドレン系統スイング逆止弁
- ⑬ グランド蒸気系統スイング逆止弁
- ⑭ 主給水系統スイング逆止弁
- ⑮ 補助給水系統スイング逆止弁
- ⑯ 復水系統スイング逆止弁
- ⑰ 原子炉補機冷却水系統スイング逆止弁
- ⑱ 液体廃棄物処理系統スイング逆止弁
- ⑲ 固体廃棄物処理系統スイング逆止弁
- ⑳ 消火水系統スイング逆止弁
- ㉑ 海水系統スイング逆止弁
- ㉒ 補助蒸気系統スイング逆止弁
- ㉓ 換気空調系統スイング逆止弁
- ㉔ 非常用ディーゼル発電機設備スイング逆止弁
- ㉕ 炭酸ガス系統スイング逆止弁
- ㉖ タービン潤滑油系統スイング逆止弁

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	5
2.1 構造、材料および使用条件	5
2.2 経年劣化事象の抽出	29
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	43
3. 代表機器以外への展開	46
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	46
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	47

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されているスイング逆止弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらのスイング逆止弁を設置場所、内部流体および材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すスイング逆止弁について、設置場所、内部流体および材料を分離基準として考えると、合計8個のグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：1次冷却材

このグループには、1次冷却系統、化学体積制御系統、安全注入系統、余熱除去系統、格納容器内部スプレイ系統および燃料取替用水系統のスイング逆止弁が属するが、重要度が高い蓄圧タンク出口第2逆止弁を代表機器とする。

(2) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：廃液

このグループには液体廃棄物処理系統のスイング逆止弁のみが属することから、廃液蒸発装置濃縮液ポンプ出口逆止弁を代表機器とする。

(3) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：炭酸ガス、蒸気、給水または純水

このグループには炭酸ガス系統、1次冷却系統、第5抽気系統、第6抽気系統、補助給水系統および復水系統のスイング逆止弁が属するが、重要度および圧力が高い1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離逆止弁を代表機器とする。

(4) 設置場所：屋内、材料：炭素鋼、内部流体：蒸気、給水、純水または淡水

このグループには主蒸気系統、第3抽気系統、第4抽気系統、ドレン系統、グラウンド蒸気系統、主給水系統、補助給水系統、復水系統、補助蒸気系統、換気空調系統、非常用ディーゼル発電機設備および消火水系統のスイング逆止弁が属するが、重要度および温度が高く、口径の大きい主蒸気隔離弁を代表機器とする。

- (5) 設置場所：屋内、材料：炭素鋼、内部流体：ヒドラジン水または油
このグループには原子炉補機冷却水系統、固体廃棄物処理系統、非常用ディーゼル発電機設備およびタービン潤滑油系統のスイング逆止弁が属するが、重要度および温度が高い原子炉補機冷却水ポンプ出口逆止弁を代表機器とする。
- (6) 設置場所：屋内、材料：炭素鋼、内部流体：空気
このグループには換気空調系統のスイング逆止弁のみが属することから、格納容器真空逃し装置第1隔離弁を代表機器とする。
- (7) 設置場所：屋外、材料：炭素鋼、内部流体：海水
このグループには海水系統のスイング逆止弁のみが属することから、海水ポンプ出口逆止弁を代表機器とする。
- (8) 設置場所：屋外、材料：銅合金、内部流体：海水
このグループには海水系統のスイング逆止弁のみが属することから、海水ポンプ軸受潤滑水逆止弁を代表機器とする。

表1-1 (1/2) 高浜4号炉 スイング逆止弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)			
屋内	ステンレス鋼	1次冷却材	19	1次冷却系統	3~12	PS-1、重*3	約17.2	約343	◎	蓄圧タンク出口第2逆止弁(12B)	重要度
			9	化学体積制御系統	3~4	MS-1、PS-2、重*3	約18.8	約150			
			3	安全注入系統	8~14	MS-1、重*3	約4.1	約200			
			6	余熱除去系統	10~14	MS-1、重*3	約17.2	約200			
			9	格納容器内部スプレイ系統	6~14	MS-1、重*3	約2.7	約150			
			4	燃料取替用水系統	3~4	MS-1、MS-2	約1.4	約95			
屋内	ステンレス鋼	廃液	6	液体廃棄物処理系統	3	高*2	約1.0	約150	◎	廃液蒸発装置濃縮液ポンプ出口逆止弁(3B)	
屋内	ステンレス鋼	炭酸ガス	1	炭酸ガス系統	3	MS-1、重*3	約16.2	約132	◎	1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離逆止弁(3B)	重要度、 圧力
			3	第5抽気系統	18~24	高*2	約1.4	約200			
		1	第6抽気系統	20	高*2	約2.7	約235				
		1	補助蒸気系統	8	高*2	約2.7	約235				
		給水	4	補助給水系統	4~8	MS-1、重*3	約1.0	約40			
			3	復水系統	16	高*2	約4.1	約80			
純水	1	1次冷却系統	3	MS-1、重*3	約1.0	約132					

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

表1-1 (2/2) 高浜4号炉 スイング逆止弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)			
屋内	炭素鋼	蒸気	10	主蒸気系統	6~30	MS-1、MS-2、高*2、重*3	約7.5	約291	◎	主蒸気隔離弁 (30B)	重要度、温度、口径
			6	第3抽気系統	18	高*2	約0.2	約165			
			3	第4抽気系統	16	高*2	約0.5	約217			
			1	グラント蒸気系統	6	高*2	約3.9	約255			
			3	補助蒸気系統	8~10	高*2	約7.5	約291			
			3	ドレン系統	3~10	高*2	約7.5	約291			
		給水	6	主給水系統	16~18	高*2	約10.2	約235			
			15	補助給水系統	3~6	MS-1、重*3	約12.3	約235			
			1	復水系統	4	高*2	約4.1	約80			
			12	補助蒸気系統	3~6	高*2	約2.7	約235			
			2	換気空調系統	8	MS-1	約1.0	約45			
純水	2	非常用ディーゼル発電機設備	6	MS-1	約0.5	約90					
	1	消火水系統	3	MS-1、重*3	約1.5	約132					
屋内	炭素鋼	ヒドラジン水	7	原子炉補機冷却水系統	6~16	MS-1、重*3	約1.2	約132	◎	原子炉補機冷却水ポンプ出口逆止弁 (16B)	重要度、温度
			8	非常用ディーゼル発電機設備	2~8	MS-1、重*3	約0.8	約80			
		油	2	固体廃棄物処理系統	3	高*2	約0.5	約300			
			2	タービン潤滑油系統	1 1/2	高*2	約2.2	約60			
屋内	炭素鋼	空気	4	換気空調系統	24	MS-1、重*3	約0.3	約132	◎	格納容器真空逃し装置第1隔離弁 (24B)	
屋外	炭素鋼	海水	3	海水系統	36	MS-1、重*3	約0.7	約50	◎	海水ポンプ出口逆止弁 (36B)	
屋外	銅合金	海水	7	海水系統	3/4~2	MS-1	約0.7	約50	◎	海水ポンプ軸受潤滑水逆止弁 (2B)	

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: 最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*3: 重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の8種類のスイング逆止弁について技術評価を実施する。

- ① 蓄圧タンク出口第2逆止弁
- ② 廃液蒸発装置濃縮液ポンプ出口逆止弁
- ③ 1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離逆止弁
- ④ 主蒸気隔離弁
- ⑤ 原子炉補機冷却水ポンプ出口逆止弁
- ⑥ 格納容器真空逃し装置第1隔離弁
- ⑦ 海水ポンプ出口逆止弁
- ⑧ 海水ポンプ軸受潤滑水逆止弁

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 蓄圧タンク出口第2逆止弁

(1) 構造

高浜4号炉の蓄圧タンク出口第2逆止弁は、1次冷却系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を支持し作動させる作動部（弁棒、アーム）からなる。

弁箱にはステンレス鋼鋳鋼、弁蓋および弁体にはステンレス鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。

高浜4号炉の蓄圧タンク出口第2逆止弁の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の蓄圧タンク出口第2逆止弁の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

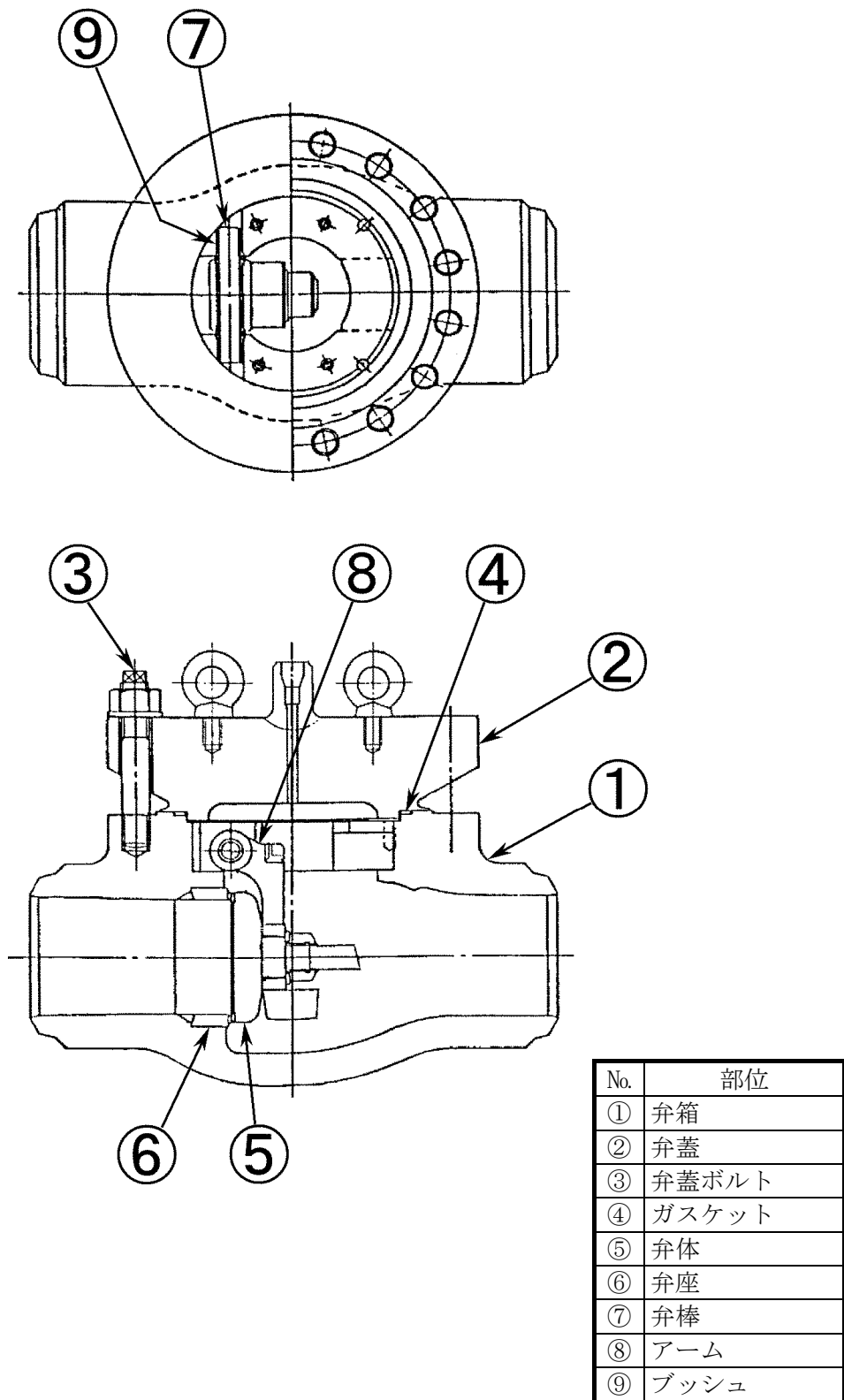


図2.1-1 高浜4号炉 蓄圧タンク出口第2逆止弁構造図

表2.1-1 高浜4号炉 蓄圧タンク出口第2逆止弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁棒	ステンレス鋼
アーム	ステンレス鋼
ブッシュ	ステライト

表2.1-2 高浜4号炉 蓄圧タンク出口第2逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa [gage]
最高使用温度	約343℃
内部流体	1次冷却材

2.1.2 廃液蒸発装置濃縮液ポンプ出口逆止弁

(1) 構造

高浜4号炉の廃液蒸発装置濃縮液ポンプ出口逆止弁は、液体廃棄物処理系統に設置されている。

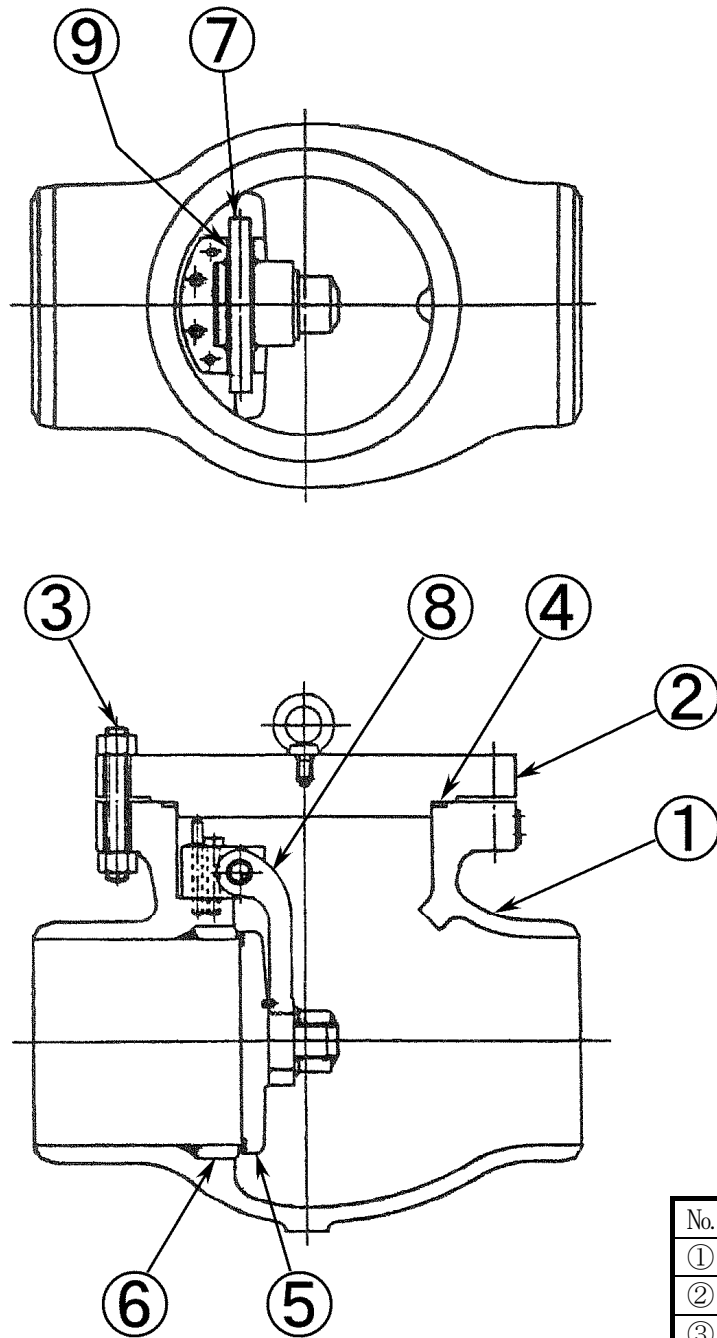
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を支持し作動させる作動部（弁棒、アーム）からなる。

弁箱にはステンレス鋼鋳鋼、弁蓋および弁体にはステンレス鋼を使用しており、廃液に接液している。

高浜4号炉の廃液蒸発装置濃縮液ポンプ出口逆止弁の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の廃液蒸発装置濃縮液ポンプ出口逆止弁の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	弁座
⑦	弁棒
⑧	アーム
⑨	ブッシュ

図2.1-2 高浜4号炉 廃液蒸発装置濃縮液ポンプ出口逆止弁構造図

表2.1-3 高浜4号炉 廃液蒸発装置濃縮液ポンプ出口逆止弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁棒	ステンレス鋼
アーム	ステンレス鋼
ブッシュ	ステライト

表2.1-4 高浜4号炉 廃液蒸発装置濃縮液ポンプ出口逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約1.0MPa [gage]
最高使用温度	約150℃
内部流体	廃液

2.1.3 1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離逆止弁

(1) 構造

高浜4号炉の1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離逆止弁は、炭酸ガス系統に設置されている。

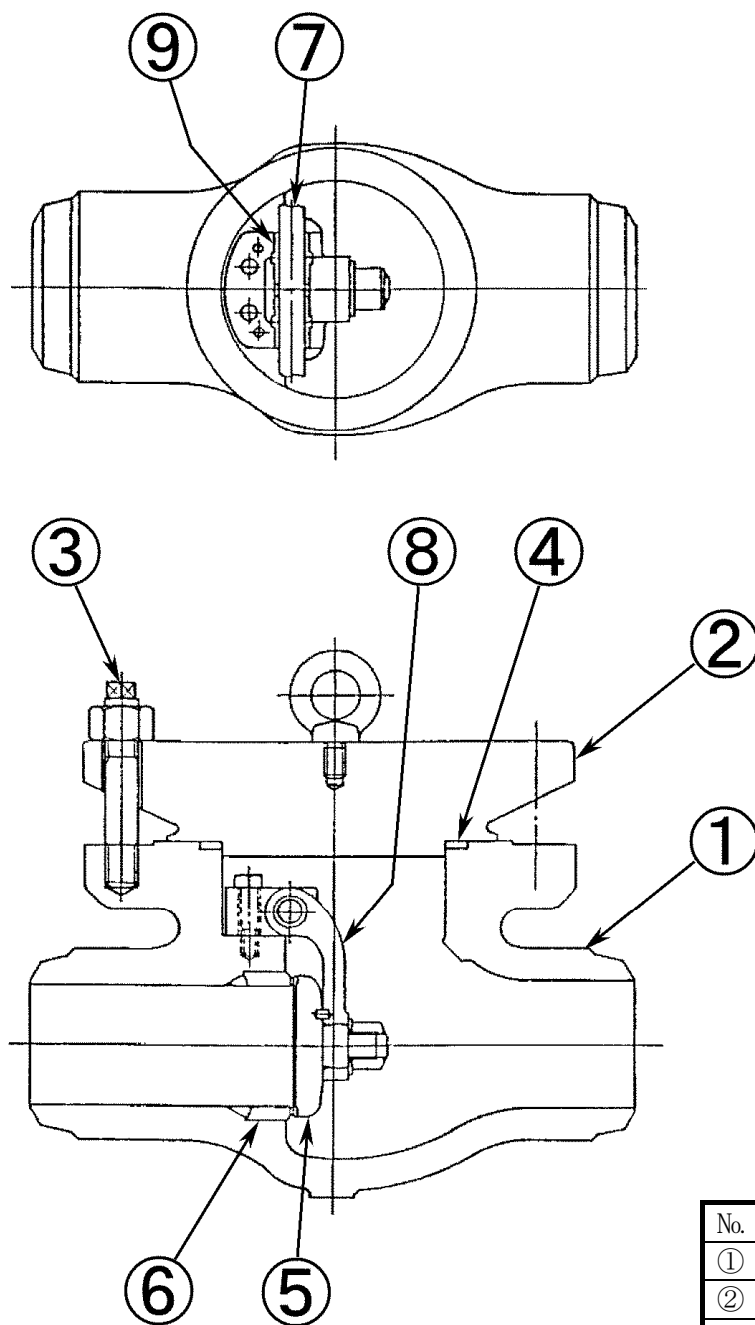
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を支持し作動させる作動部（弁棒、アーム）からなる。

弁箱にはステンレス鋼鋳鋼、弁蓋および弁体にはステンレス鋼を使用しており、炭酸ガスに接している。

高浜4号炉の1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離逆止弁の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離逆止弁の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	弁座
⑦	弁棒
⑧	アーム
⑨	プッシュユ

図2.1-3 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離逆止弁構造図

表2.1-5 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離逆止弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁棒	ステンレス鋼
アーム	ステンレス鋼
ブッシュ	ステライト

表2.1-6 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約16.2MPa [gage]
最高使用温度	約132℃
内部流体	炭酸ガス

2.1.4 主蒸気隔離弁

(1) 構造

高浜4号炉の主蒸気隔離弁は、空気作動スイング逆止弁であり主蒸気系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を支持し作動させる作動部（弁棒、アーム）からなる。

弁箱には炭素鋼、弁蓋および弁体には炭素鋼を使用しており、蒸気に接している。

高浜4号炉の主蒸気隔離弁の構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の主蒸気隔離弁の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。

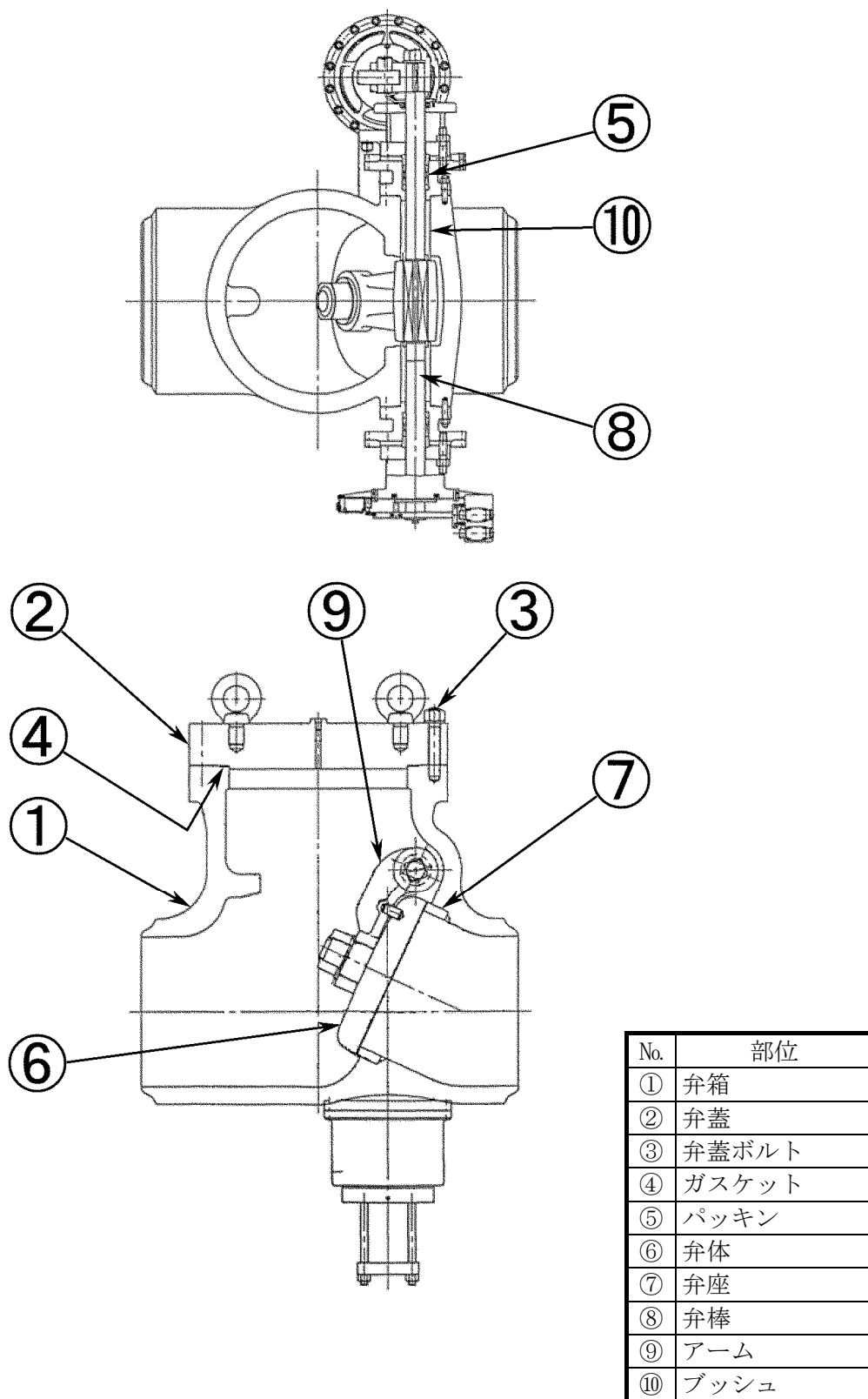


図2.1-4 高浜4号炉 主蒸気隔離弁構造図

表2.1-7 高浜4号炉 主蒸気隔離弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁座	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼
アーム	炭素鋼鋳鋼
ブッシュ	ニッケル基合金

表2.1-8 高浜4号炉 主蒸気隔離弁の使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa [gage]
最高使用温度	約291℃
内部流体	蒸気

2.1.5 原子炉補機冷却水ポンプ出口逆止弁

(1) 構造

高浜4号炉の原子炉補機冷却水ポンプ出口逆止弁は、原子炉補機冷却水系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒、アーム）からなる。

弁箱には炭素鋼、弁蓋および弁体には炭素鋼を使用しており、ヒドラジン水に接液している。

高浜4号炉の原子炉補機冷却水ポンプ出口逆止弁の構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の原子炉補機冷却水ポンプ出口逆止弁の使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。

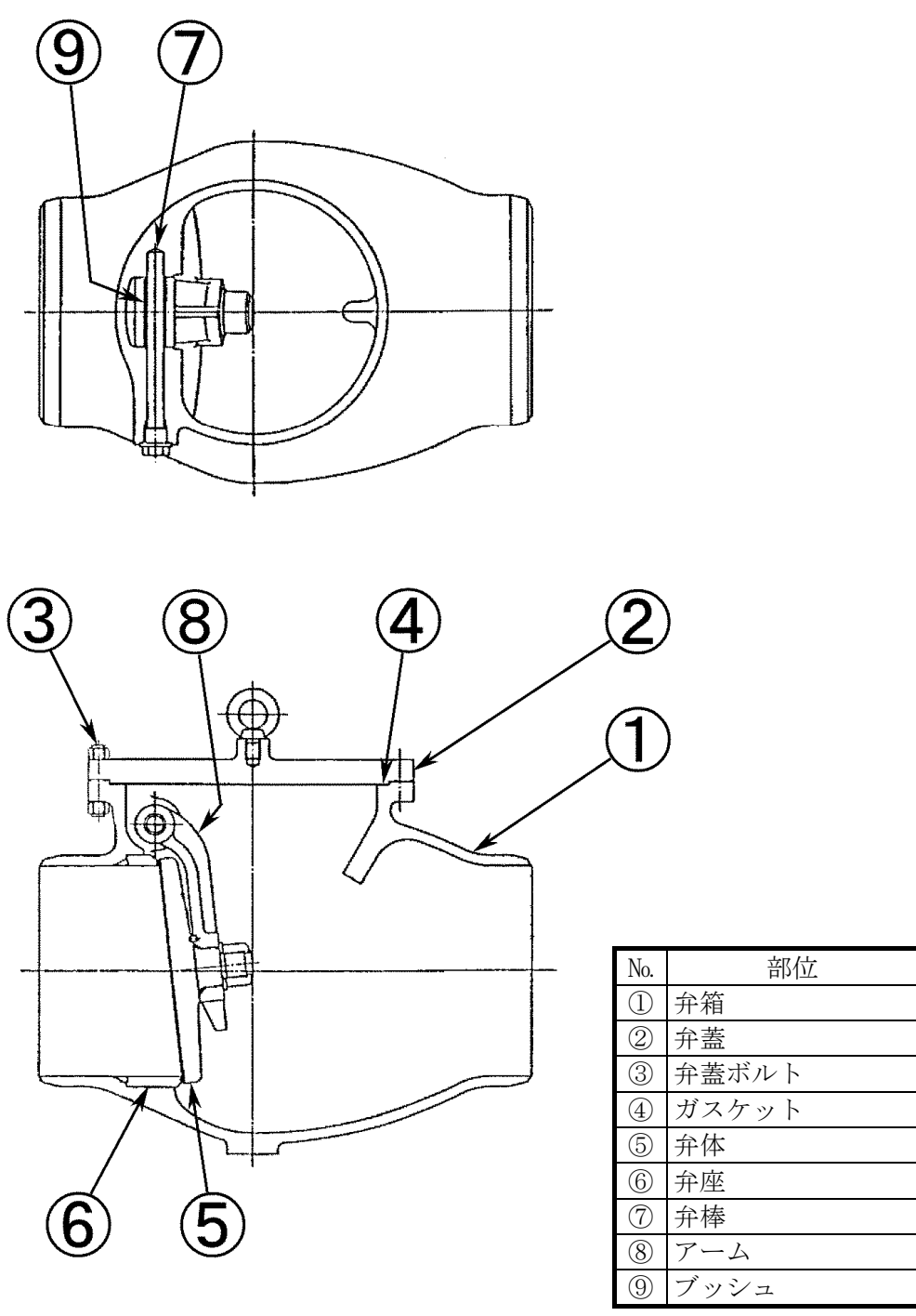


図2.1-5 高浜4号炉 原子炉補機冷却水ポンプ出口逆止弁構造図

表2.1-9 高浜4号炉 原子炉補機冷却水ポンプ出口逆止弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	炭素鋼 (ステライト肉盛)
弁座	炭素鋼 (ステライト肉盛)
弁棒	ステンレス鋼
アーム	炭素鋼
ブッシュ	ステライト

表2.1-10 高浜4号炉 原子炉補機冷却水ポンプ出口逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約1.2MPa [gage]
最高使用温度	約95℃
内部流体	ヒドラジン水

2.1.6 格納容器真空逃し装置第1隔離弁

(1) 構造

高浜4号炉の格納容器真空逃し装置第1隔離弁は、換気空調系統に設置されている。

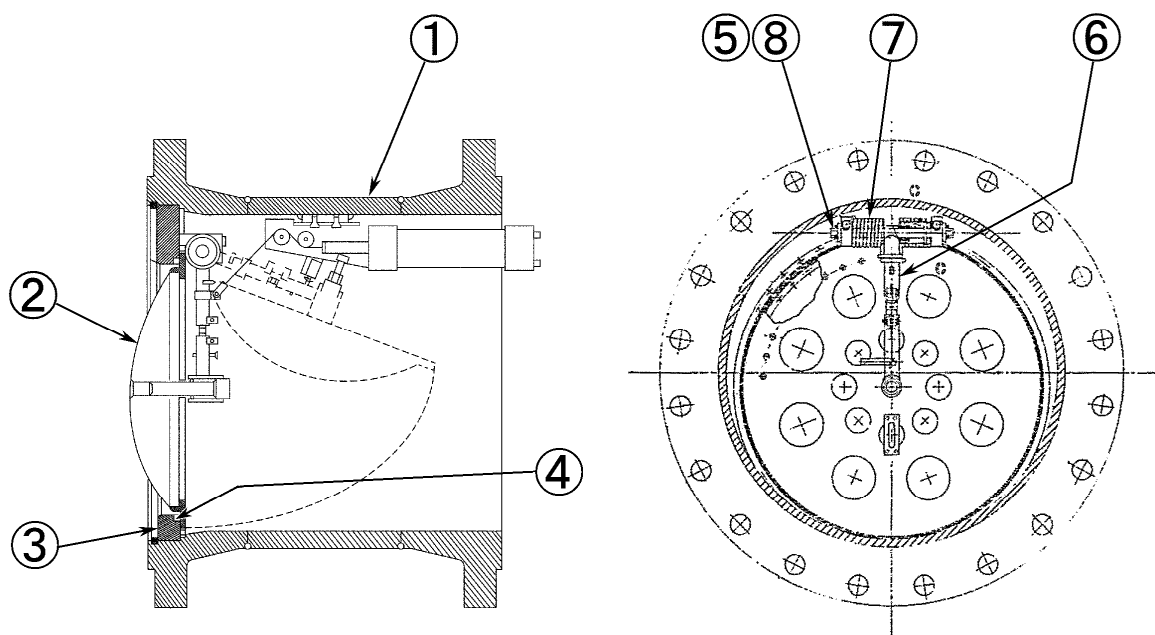
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座、弁座シートパッキン）および弁体を支持し作動させる作動部（弁棒、アーム）からなる。

弁箱には炭素鋼、弁体にはステンレス鋼を使用しており、空気に接している。

高浜4号炉の格納容器真空逃し装置第1隔離弁の構造図を図2.1-6に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の格納容器真空逃し装置第1隔離弁の使用材料および使用条件を表2.1-11および表2.1-12に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁体
③	弁座
④	弁座シートパッキン
⑤	弁棒
⑥	アーム
⑦	ばね
⑧	プッシュ

図2.1-6 高浜4号炉 格納容器真空逃し装置第1隔離弁構造図

表2.1-11 高浜4号炉 格納容器真空逃し装置第1隔離弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼
弁体	ステンレス鋼
弁座	炭素鋼
弁座シートパッキン	消耗品・定期取替品
弁棒	ステンレス鋼
アーム	ステンレス鋼
ばね	ステンレス鋼
ブッシュ	ステンレス鋼

表2.1-12 高浜4号炉 格納容器真空逃し装置第1隔離弁の使用条件

最高使用圧力	約0.3MPa [gage]
最高使用温度	約132℃
内部流体	空気

2.1.7 海水ポンプ出口逆止弁

(1) 構造

高浜4号炉の海水ポンプ出口逆止弁は、海水系統に設置されている。

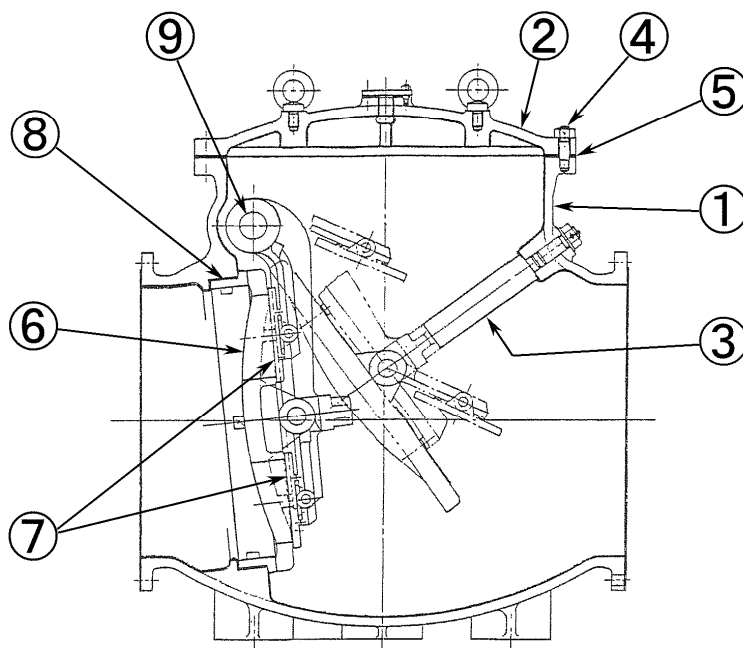
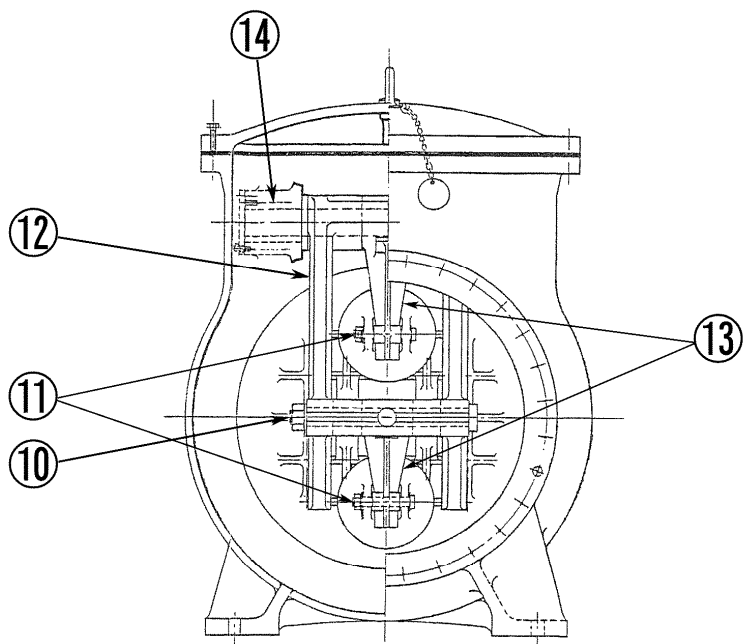
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を支持し作動させる作動部（軸、アーム）からなる。

弁箱および弁蓋には炭素鋼鋳鋼、弁体には銅合金鋳物を使用しており、海水に接液している。

高浜4号炉の海水ポンプ出口逆止弁の構造図を図2.1-7に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の海水ポンプ出口逆止弁の使用材料および使用条件を表2.1-13および表2.1-14に示す。



No.	部 位
①	弁箱
②	弁蓋
③	ストッパー
④	弁蓋ボルト
⑤	ガスケット
⑥	主弁体 (子弁弁座と一体)
⑦	子弁体
⑧	弁座
⑨	アーム軸
⑩	主弁軸
⑪	子弁軸
⑫	主弁アーム
⑬	子弁アーム
⑭	ブッシュ

図2.1-7 高浜4号炉 海水ポンプ出口逆止弁構造図

表2.1-13 高浜4号炉 海水ポンプ出口逆止弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鑄鋼 (ライニング)
弁蓋	炭素鋼鑄鋼 (ライニング)
ストッパー	銅合金
弁蓋ボルト	ステンレス鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
主弁体 (子弁弁座と一体)	銅合金鑄物
子弁体	銅合金鑄物
弁座	銅合金鑄物
アーム軸	銅合金
主弁軸	銅合金
子弁軸	銅合金
主弁アーム	銅合金鑄物
子弁アーム	銅合金鑄物
ブッシュ	銅合金鑄物

表2.1-14 高浜4号炉 海水ポンプ出口逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約0.7MPa [gage]
最高使用温度	約50℃
内部流体	海水

2.1.8 海水ポンプ軸受潤滑水逆止弁

(1) 構造

高浜4号炉の海水ポンプ軸受潤滑水逆止弁は、海水系統に設置されている。

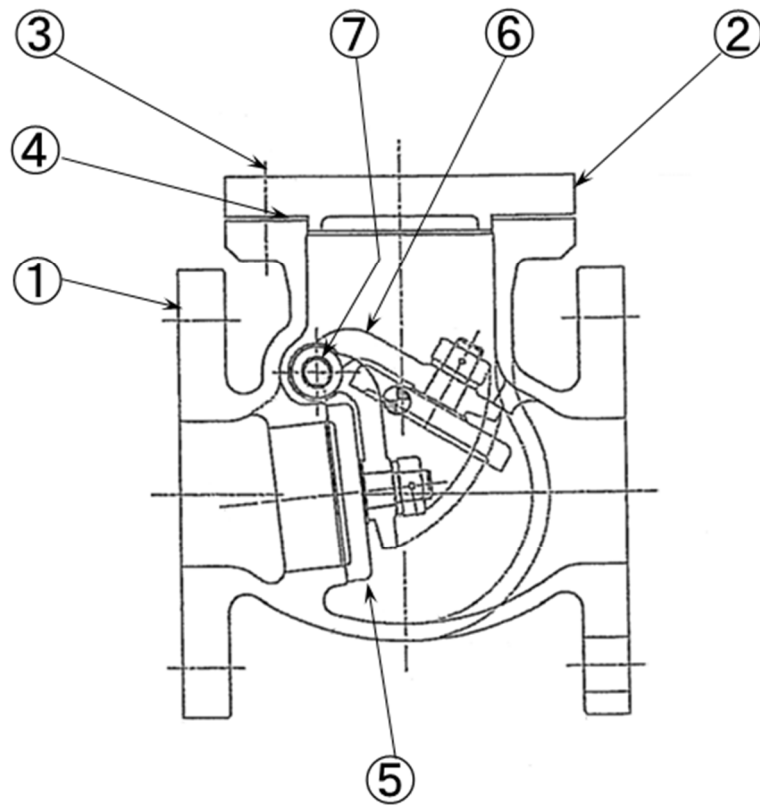
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱、弁蓋および弁体には銅合金鋳物を使用しており、海水に接液している。

高浜4号炉の海水ポンプ軸受潤滑水逆止弁の構造図を図2.1-8に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の海水ポンプ軸受潤滑水逆止弁の使用材料および使用条件を表2.1-15および表2.1-16に示す。



No.	部位
①	弁箱 (弁座と一体)
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	アーム
⑦	弁棒

図2.1-8 高浜4号炉 海水ポンプ軸受潤滑水逆止弁構造図

表2.1-15 高浜4号炉 海水ポンプ軸受潤滑水逆止弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	消耗品・定期取替品
弁蓋	消耗品・定期取替品
弁蓋ボルト	消耗品・定期取替品
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体（アームと一体）	消耗品・定期取替品
弁棒	消耗品・定期取替品

表2.1-16 高浜4号炉 海水ポンプ軸受潤滑水逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約0.7MPa [gage]
最高使用温度	約50℃
内部流体	海水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

スイング逆止弁の機能である流体の流れ方向制限機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

スイング逆止弁個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（内部流体、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 弁箱の疲労割れ [蓄圧タンク出口第2逆止弁]

蓄圧タンク出口第2逆止弁はプラントの起動・停止時等に発生する内部流体のステップ状の大きな温度変化により、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

- (1) 弁体、弁座の摩耗 [蓄圧タンク出口第2逆止弁、廃液蒸発装置濃縮液ポンプ出口逆止弁、1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離逆止弁、主蒸気隔離弁、原子炉補機冷却水ポンプ出口逆止弁、海水ポンプ出口逆止弁]

弁体、弁座部シート面は、弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (2) 弁棒、アームの弁棒嵌合部の摩耗 [海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン逆止弁以外]

弁棒、アームの弁棒嵌合部は開閉に伴う摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食）〔主蒸気隔離弁〕

炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座、アームは、内部流体が蒸気であり、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) 弁箱、弁蓋等の外面からの腐食（全面腐食）〔主蒸気隔離弁、原子炉補機冷却水ポンプ出口逆止弁、格納容器真空逃し装置第1隔離弁、海水ポンプ出口逆止弁〕

炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋等は、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) 弁箱等の腐食（全面腐食）〔原子炉補機冷却水ポンプ出口逆止弁、格納容器真空逃し装置第1隔離弁〕

炭素鋼または炭素鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座およびアームは、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、内部流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）または空気で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

- (6) 弁箱等の腐食（異種金属接触腐食を含む）〔海水ポンプ出口逆止弁〕
炭素鋼・鋳鋼の弁箱、弁蓋は、海水が接液するためライニングを施工しているが、ライニングのはく離等により海水が接液した場合には、腐食が発生する可能性がある。
しかしながら、分解点検時にライニング等の状況を目視確認し、機器の健全性を維持している。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (7) 弁体等の腐食（孔食・隙間腐食）〔海水ポンプ出口逆止弁〕
銅合金または銅合金鋳物のストッパー、弁体、弁座、弁軸、アームは、海水接液部において孔食・隙間腐食が想定される。
しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (8) 弁棒の腐食（隙間腐食）〔主蒸気隔離弁〕
弁棒はパッキンとの接触部において腐食が想定される。
しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (9) ブッシュの摩耗〔海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン逆止弁以外〕
ブッシュは弁棒との摺動により、摩耗が想定される。
しかしながら、分解点検時の寸法計測または目視確認により状態を確認し、必要に応じて取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (10) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔蓄圧タンク出口第2逆止弁、廃液蒸発装置濃縮液ポンプ出口逆止弁、1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離逆止弁、主蒸気隔離弁、原子炉補機冷却水ポンプ出口逆止弁〕

低合金鋼の弁蓋ボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

- (11) 弁箱の熱時効〔蓄圧タンク出口第2逆止弁〕

弁箱はステンレス鋼であり、使用温度が250℃以上と高いため、熱時効による材料特性変化を起こす可能性があるが、熱時効は材質変化に加え、欠陥が存在し、かつ高い応力が存在する場合について検討が必要となる。

しかしながら、弁は接続される配管と比較して厚板に製造されていることから発生応力は小さく、製造時の非破壊検査で有意な欠陥がないことを確認し、さらに運転開始後60年を想定した疲労評価でも許容値を満足することから、評価期間において欠陥の発生する要因があるとは考えにくい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(12) ばねの変形（応力緩和）〔格納容器真空逃し装置第1隔離弁〕

ばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が発生する可能性がある。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用しており、これまでに有意なばねの変形は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時等の機能確認により、機器の健全性を確認している。

(13) 弁箱等の応力腐食割れ〔廃液蒸発装置濃縮液ポンプ出口逆止弁〕

ステンレス鋼またはステンレス鋳鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座、弁棒およびアームは、内部流体の塩化物イオン濃度が高い廃液により、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケット、弁座シートおよびパッキンは、分解点検時に取替える消耗品であり、海水系統の銅合金製弁（海水ポンプ軸受潤滑水逆止弁）は定期取替品でありいずれも長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/8) 高浜4号炉 蓄圧タンク出口第2逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼			○		△			
	弁蓋		ステンレス鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△							
	アーム		ステンレス鋼	△							
	ブッシュ		ステライト	△							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/8) 高浜4号炉 廃液蒸発装置濃縮液ポンプ出口逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼				△				
	弁蓋		ステンレス鋼				△				
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△			△				
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△			△				
	弁棒		ステンレス鋼	△			△				
	アーム		ステンレス鋼	△			△				
	ブッシュ		ステライト	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/8) 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ消火二酸化炭素隔離逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋		ステンレス鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△							
	アーム		ステンレス鋼	△							
	ブッシュ		ステライト	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/8) 高浜4号炉 主蒸気隔離弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1,2}					*1: 流れ加速型腐食 *2: 全面腐食(外面) *3: 隙間腐食	
	弁蓋		炭素鋼		△ ^{*1,2}						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△ ^{*1}						
	弁座		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△ ^{*1}						
	弁棒		ステンレス鋼	△	△ ^{*3}						
	アーム		炭素鋼鋳鋼	△	△ ^{*1}						
	ブッシュ		ニッケル基合金	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(5/8) 高浜4号炉 原子炉補機冷却水ポンプ出口逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△*1,2					*1: 全面腐食(外面) *2: 全面腐食(内面)	
	弁蓋		炭素鋼		△*1,2						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△						
	弁座		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△						
	弁棒		ステンレス鋼	△							
	アーム		炭素鋼	△	△						
	ブッシュ		ステライト	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(6/8) 高浜4号炉 格納容器真空逃し装置第1隔離弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼		△ ^{*2,3}						*1: 変形 (応力緩和) *2: 全面腐食 (外面) *3: 全面腐食 (内面)
	弁体		ステンレス鋼								
	弁座		炭素鋼		△ ^{*2,3}						
	弁座シートパッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁棒		ステンレス鋼	△							
	アーム		ステンレス鋼	△							
	ばね		ステンレス鋼							△ ^{*1}	
	ブッシュ		ステンレス鋼	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(7/8) 高浜4号炉 海水ポンプ出口逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼 (ライニング)		△*1,2						*1:異種金属接触腐食を含む *2:全面腐食(外面) *3:孔食・隙間腐食
	弁蓋		炭素鋼鋳鋼 (ライニング)		△*1,2						
	ストッパー		銅合金		△*3						
	弁蓋ボルト		ステンレス鋼								
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	主弁体 (子弁弁座と一体)		銅合金鋳物	△	△*3						
	子弁体		銅合金鋳物	△	△*3						
	弁座		銅合金鋳物	△	△*3						
	アーム軸		銅合金	△	△*3						
	主弁軸		銅合金	△	△*3						
	子弁軸		銅合金	△	△*3						
	主弁アーム		銅合金鋳物	△	△*3						
	子弁アーム		銅合金鋳物	△	△*3						
	ブッシュ		銅合金鋳物	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(8/8) 高浜4号炉 海水ポンプ軸受潤滑水逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・ 定期 取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労 割れ	応力腐 食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)	◎	—								
	弁蓋	◎	—								
	弁蓋ボルト	◎	—								
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体 (アームと一体)	◎	—								
	弁棒	◎	—								

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 弁箱の疲労割れ〔蓄圧タンク出口第2逆止弁〕

a. 事象の説明

蓄圧タンク出口第2逆止弁は、プラントの起動・停止時等に熱過渡を繰り返すため、疲労が蓄積する。

b. 技術評価

① 健全性評価

蓄圧タンク出口第2逆止弁の健全性評価にあたっては、「日本機械学会 設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007)」に基づき評価を行った。

評価対象部位を図2.3-1に示す。

また、使用環境を考慮した疲労については、「日本機械学会 環境疲労評価手法(JSME S NF1-2009)」に基づき評価した。

疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。

なお、運転期間延長認可申請に伴う評価として、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的*に設定した過渡回数とした。

*：評価条件として、2020年度以降の過渡発生頻度は実績の1.5倍以上を想定した。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

② 現状保全

弁箱の疲労割れに対しては、定期的な分解点検時に弁内面の目視確認を実施し、有意な異常がないことを確認すると共に、定期的な漏えい確認を実施し健全性を確認している。

さらに、高経年化技術評価に合わせて、実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、弁箱の疲労割れ発生の可能性はないと考える。

ただし、疲労評価は実績過渡回数に依存するため、今後も実績過渡回数を把握し評価する必要がある。

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、異常のないことは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

弁箱の疲労割れについては、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認する。

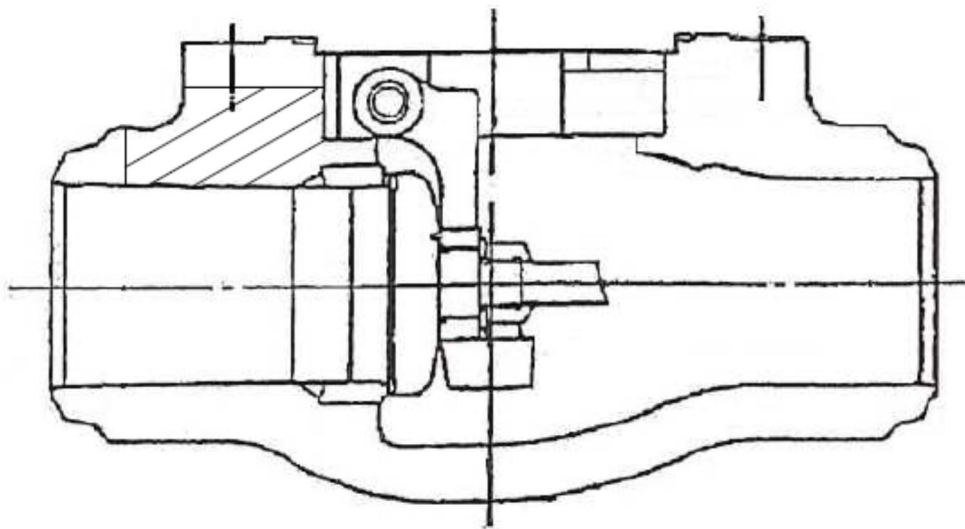


図2.3-1 高浜4号炉 蓄圧タンク出口第2逆止弁の疲労評価対象部位（斜線部）

表2.3-1 高浜4号炉 蓄圧タンク出口第2逆止弁の評価用過渡条件

運転状態Ⅰ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年時点の推定値
起動(温度上昇率55.6℃/h)	35	71
停止(温度下降率55.6℃/h)	34	71
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	308	800
負荷減少(負荷減少率5%/min)	298	790
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	4
定常負荷運転時の変動*1	-	-
燃料交換	24	62
0%から15%への負荷上昇	35	66
15%から0%への負荷減少	25	55
1ループ停止/1ループ起動		
Ⅰ) 停止	0	2
Ⅱ) 起動	0	2

運転状態Ⅱ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年時点の推定値
負荷の喪失	4	6
外部電源喪失	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	0	2
100%からの原子炉トリップ		
Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	3	6
Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2
Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	2
1次冷却系の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	0	2
タービン回転試験	3	3
1次系漏えい試験	31	65
蓄圧タンク出口電動弁の誤作動	0	2

*1: 「設計評価においては、1次冷却材温度は±1.7℃、1次冷却材圧力は±0.34MPa(±3.5kg/cm²)の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。」

表2.3-2 高浜4号炉 蓄圧タンク出口第2逆止弁の疲労評価結果

部位	疲労累積係数(許容値: 1以下)	
	設計・建設規格による解析	環境疲労評価手法による解析
弁箱 (ステンレス鋼鋳鋼)	0.100	0.918

3. 代表機器以外への展開

本章では、2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 弁箱の疲労割れ [共通]

プラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材のステップ状の大きな温度変化を受ける蓄圧タンク出口第2逆止弁の疲労評価結果では表2.3-2に示すように許容値に対して十分余裕があり、当該弁と同等以下の過渡しか受けないその他の弁についても、疲労割れが発生する可能性はないと考える。

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、また異常のないことは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、弁箱の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.2.1 弁体、弁座または弁箱弁座部シート面の摩耗 [金属製シート of 弁共通]

弁体、弁座または弁箱弁座部シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.2 弁棒、アームの弁棒嵌合部の摩耗 [弁棒、アームの弁棒嵌合部のある弁共通]

弁棒は開閉に伴うパッキン受け部および軸保持部との摺動により、摩耗が想定される。また、弁棒、アームまたは弁体の弁棒嵌合部は開閉に伴う摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.3 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食） [主蒸気系統、第3抽気系統、第4抽気系統、グランド蒸気系統、補助蒸気系統、ドレン系統、主給水系統および復水系統のスイング逆止弁]

内部流体が蒸気または高速の水であり、炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座を用いている弁には、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.4 弁箱、弁蓋の外面からの腐食（全面腐食）〔炭素鋼または低合金鋼のスイング逆止弁共通〕

炭素鋼鋳鋼、炭素鋼または低合金鋼の弁箱、弁蓋は、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により、塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.5 弁箱等の腐食（全面腐食）〔補助給水系統、補助蒸気系統、換気空調系統、非常用ディーゼル発電機設備および消火水系統のスイング逆止弁〕

炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座を持つ弁のうち、内部流体が飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）水である弁については、長期使用により腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.6 弁箱等の腐食（全面腐食）〔原子炉補機冷却水系統、非常用ディーゼル発電機設備、タービン潤滑油系統、固体廃棄物処理系統および換気空調系統のスイング逆止弁〕

炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁体等は、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、内部流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）、油または空気であり、腐食が発生し難い環境にある。

また、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.7 弁棒の腐食（隙間腐食） [パッキンのある弁共通]

弁棒はパッキンとの接触部において腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.8 ブッシュの摩耗 [ブッシュのある弁共通]

ブッシュは弁棒との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の寸法計測または目視確認により状態を確認し、必要に応じて取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.9 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食） [低合金鋼製または炭素鋼製の弁蓋ボルトのある弁共通]

弁蓋ボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

3.2.10 弁箱の熱時効 [1次冷却系統のステンレス鋼製鋼製の弁]

ステンレス鋼製の弁箱であり、使用温度が250℃以上と高いものは、熱時効による材料特性変化を起こす可能性があるが、熱時効は材質変化に加え、欠陥が存在し、かつ高い応力が存在する場合について検討が必要となる。

しかしながら、弁は接続される配管と比較して厚板に製造されていることから発生応力は小さく、製造時の非破壊検査で有意な欠陥がないことを確認し、さらに評価上厳しくなると考えられる代表弁では、運転開始後60年を想定した疲労評価でも許容値を満足することから、評価期間において欠陥の発生する要因があるとは考えにくい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.11 ばねの変形（応力緩和） [換気空調系統のスイング逆止弁]

ばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が発生する可能性がある。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用しており、これまでに有意なばねの変形は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時等の機能確認により、機器の健全性を確認している。

1.6 リフト逆止弁

[対象機器]

- ① 1次冷却系統リフト逆止弁
- ② 化学体積制御系統リフト逆止弁
- ③ 安全注入系統リフト逆止弁
- ④ 余熱除去系統リフト逆止弁
- ⑤ 格納容器内部スプレイ系統リフト逆止弁
- ⑥ 燃料ピット冷却系統リフト逆止弁
- ⑦ 燃料取替用水系統リフト逆止弁
- ⑧ 1次系試料採取系統リフト逆止弁
- ⑨ 1次系洗浄水系統リフト逆止弁
- ⑩ ドレン系統リフト逆止弁
- ⑪ 主給水系統リフト逆止弁
- ⑫ 補助給水系統リフト逆止弁
- ⑬ 復水系統リフト逆止弁
- ⑭ 原子炉補機冷却水系統リフト逆止弁
- ⑮ 計器用空気系統リフト逆止弁
- ⑯ 雑用空気系統リフト逆止弁
- ⑰ 気体廃棄物処理系統リフト逆止弁
- ⑱ 廃樹脂処理装置リフト逆止弁
- ⑲ 液体廃棄物処理系統リフト逆止弁
- ⑳ 固体廃棄物処理系統リフト逆止弁
- ㉑ 補助蒸気系統リフト逆止弁
- ㉒ 換気空調系統リフト逆止弁
- ㉓ 非常用ディーゼル発電機設備リフト逆止弁
- ㉔ ほう酸回収系統リフト逆止弁
- ㉕ 炭酸ガス系統リフト逆止弁

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	4
2.1 構造、材料および使用条件	4
2.2 経年劣化事象の抽出	16
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	24
3. 代表機器以外への展開	27
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	27
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	28

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されているリフト逆止弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらのリフト逆止弁を設置場所、内部流体および材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すリフト逆止弁について、設置場所、内部流体および材料を分離基準として考えると、合計4個のグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：1次冷却材

このグループには1次冷却系統、化学体積制御系統、安全注入系統、余熱除去系統、格納容器内部スプレー系統、燃料ピット冷却系統、燃料取替用水系統、1次系試料採取系統およびほう酸回収系統のリフト逆止弁が属するが、重要度が高い加圧器補助スプレー逆止弁を代表機器とする。

(2) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：純水、空気、希ガス等、油または炭酸ガス

このグループには1次系洗浄水系統、ほう酸回収系統、液体廃棄物処理系統、廃樹脂処理装置、換気空調系統、固体廃棄物処理系統、炭酸ガス系統、1次系試料採取系統、計器用空気系統、非常用ディーゼル発電機設備および気体廃棄物処理系統のリフト逆止弁が属するが、重要度、温度および圧力が高い格納容器内脱塩水供給隔離逆止弁を代表機器とする。

(3) 設置場所：屋内または屋外、材料：炭素鋼、内部流体：給水、純水または蒸気

このグループには補助給水系統、ドレン系統、主給水系統、復水系統および補助蒸気系統のリフト逆止弁が属するが、重要度が高い電動補助給水ポンプミニマムフロー逆止弁を代表機器とする。

(4) 設置場所：屋内、材料：炭素鋼、内部流体：窒素、空気またはヒドラジン水

このグループには安全注入系統、計器用空気系統、雑用空気系統、換気空調系統、非常用ディーゼル発電機設備および原子炉補機冷却水系統のリフト逆止弁が属するが、重要度および温度が高い蓄圧タンク窒素供給隔離逆止弁を代表機器とする。

表1-1 (1/2) 高浜4号炉 リフト逆止弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)			
屋内	ステンレス鋼	1次冷却材	19	1次冷却系統	1 1/2~2	PS-1、重*3	約17.2	約343	◎	加圧器補助スプレイ逆止弁 (2B)	重要度
			16	化学体積制御系統	3/4~2	MS-1、PS-2、重*3	約18.8	約343			
			3	安全注入系統	1~1 1/2	MS-1、高*2	約18.8	約343			
			2	余熱除去系統	2	PS-2	約4.1	約200			
			2	格納容器内部スプレイ系統	2	MS-1	約2.7	約150			
			1	燃料ピット冷却系統	2	MS-2	約1.0	約95			
			1	燃料取替用水系統	3/4	MS-1	約1.4	約132			
			13	1次系試料採取系統	3/8~3/4	MS-2	約19.8	約360			
			2	ほう酸回収系統	2	高*2	約1.0	約150			
			屋内	ステンレス鋼	純水	1	1次系洗浄水系統	2			
9	液体廃棄物処理系統	3/4				高*2	約0.1	約119			
1	廃樹脂処理装置	3/4				高*2	約1.0	約120			
2	ほう酸回収系統	1				高*2	約1.0	約150			
7	1次系試料採取系統	3/4~1 1/2				MS-1、MS-2、重*3	約0.3	約132			
空気	6	計器用空気系統			1~2	MS-1、MS-2、重*3	約0.8	約132			
	2	換気空調系統			3/4	MS-1、重*3	約0.3	約132			
	4	非常用ディーゼル発電機設備			1	高*2	約3.2	約50			
希ガス等	2	気体廃棄物処理系統			2	高*2	約1.0	約95			
	3	液体廃棄物処理系統			2	高*2	約0.1	約119			
油	1	ほう酸回収系統			1 1/2	高*2	約0.1	約150			
	2	固体廃棄物処理系統			1	高*2	約1.0	約120			
炭酸ガス	1	炭酸ガス系統			3/4	MS-1、重*3	約0.3	約132			

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

表1-1 (2/2) 高浜4号炉 リフト逆止弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)			
屋内	炭素鋼	給水	3	補助給水系統	1~1 1/2	MS-1	約12.3	約40	◎	電動補助給水ポンプミニマムフロー逆止弁 (1 1/2B)	重要度
			4	ドレン系統	1	高*2	約7.5	約291			
			6	主給水系統	1~2	高*2	約10.2	約200			
			1	復水系統	1	高*2	約4.1	約80			
			8	補助蒸気系統	3/4~1 1/2	高*2	約0.9	約185			
屋外		純水	1	補助蒸気系統	2	高*2	約1.4	約200			
屋内	炭素鋼	窒素	1	安全注入系統	1	MS-1、重*3	約4.9	約150	◎	蓄圧タンク窒素供給隔離逆止弁 (1B)	重要度、温度
			4	計器用空気系統	3/8	MS-1、MS-2	約0.8	約132			
			1	雑用空気系統	2	MS-1	約0.8	約132			
			2	換気空調系統	2	MS-1、重*3	約0.8	約132			
			2	非常用ディーゼル発電機設備	1 1/4	高*2	約3.2	約50			
		1	原子炉補機冷却水系統	3/4	MS-1、重*3	約1.0	約132				
		ヒドラジン水	1								

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の4種類のリフト逆止弁について技術評価を実施する。

- ① 加圧器補助スプレイ逆止弁
- ② 格納容器内脱塩水供給隔離逆止弁
- ③ 電動補助給水ポンプミニマムフロー逆止弁
- ④ 蓄圧タンク窒素供給隔離逆止弁

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 加圧器補助スプレイ逆止弁

(1) 構造

高浜4号炉の加圧器補助スプレイ逆止弁は、1次冷却系統に設置されている。

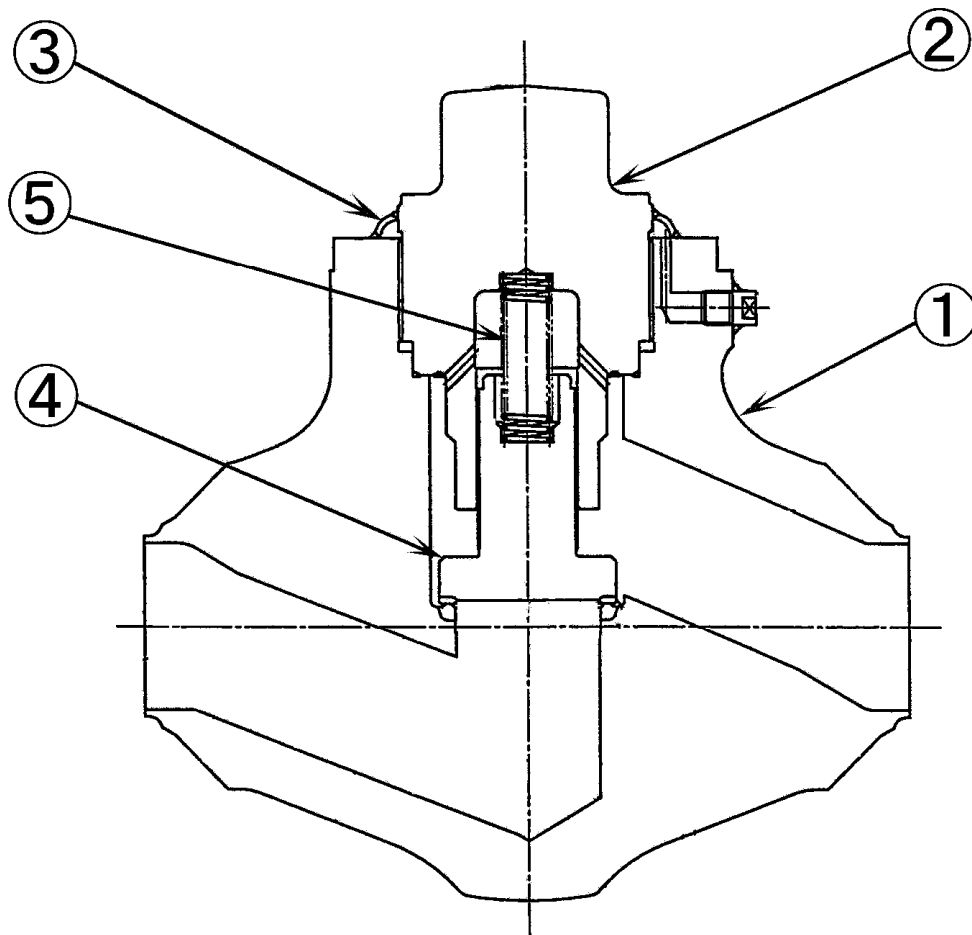
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、シールプレート）、流体を仕切る隔離部（弁体）および弁体を支持し作動をガイドする弁体ガイド（弁蓋と一体）からなる。

弁箱、弁蓋および弁体にはステンレス鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。

高浜4号炉の加圧器補助スプレイ逆止弁の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の加圧器補助スプレイ逆止弁の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	弁箱（弁座と一体）
②	弁蓋（弁体ガイドと一体）
③	シーลプレート
④	弁体
⑤	ばね

図2.1-1 高浜4号炉 加圧器補助スプレイ逆止弁構造図

表2.1-1 高浜4号炉 加圧器補助スプレイ逆止弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁蓋（弁体ガイドと一体）	ステンレス鋼
シールプレート	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
ばね	ステンレス鋼

表2.1-2 高浜4号炉 加圧器補助スプレイ逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa [gage]
最高使用温度	約343℃
内部流体	1次冷却材

2.1.2 格納容器内脱塩水供給隔離逆止弁

(1) 構造

高浜4号炉の格納容器内脱塩水供給隔離逆止弁は、1次系洗浄水系統に設置されている。

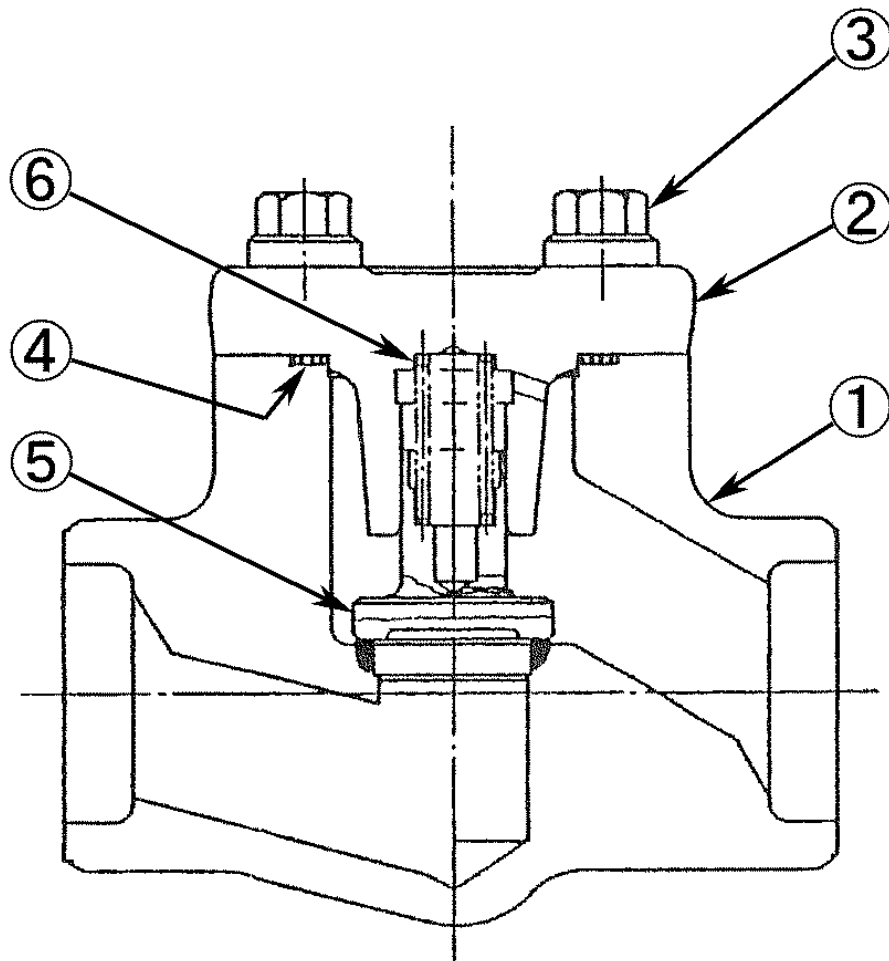
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体）および弁体を支持し作動をガイドする弁体ガイド（弁蓋と一体）からなる。

弁箱、弁蓋および弁体にはステンレス鋼を使用しており、純水に接液している。

高浜4号炉の格納容器内脱塩水供給隔離逆止弁の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の格納容器内脱塩水供給隔離逆止弁の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



No.	部位
①	弁箱 (弁座と一体)
②	弁蓋 (弁体ガイドと一体)
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	ばね

図2.1-2 高浜4号炉 格納容器内脱塩水供給隔離逆止弁構造図

表2.1-3 高浜4号炉 格納容器内脱塩水供給隔離逆止弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁蓋（弁体ガイドと一体）	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼
ばね	ステンレス鋼

表2.1-4 高浜4号炉 格納容器内脱塩水供給隔離逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約1.0MPa [gage]
最高使用温度	約132℃
内部流体	純水

2.1.3 電動補助給水ポンプミニマムフロー逆止弁

(1) 構造

高浜4号炉の電動補助給水ポンプミニマムフロー逆止弁は、補助給水系統に設置されている。

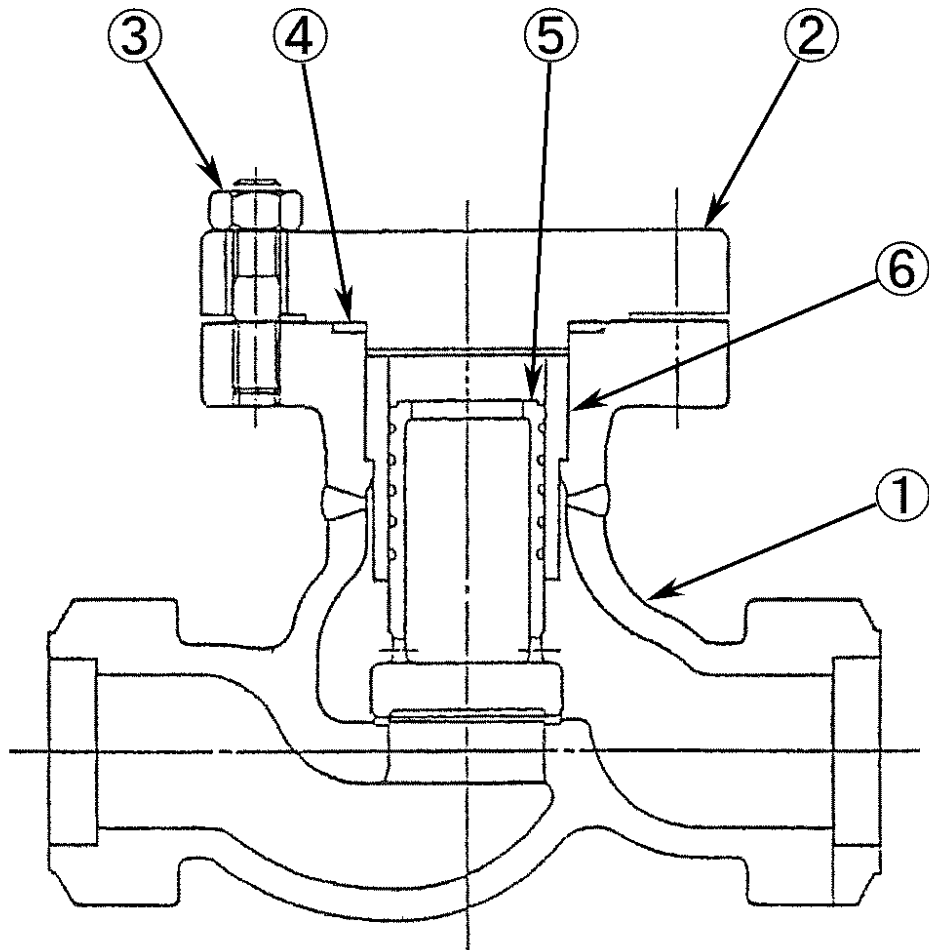
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体）および弁体を支持し作動をガイドする弁体ガイドからなる。

弁箱には炭素鋼鋳鋼および炭素鋼、弁蓋には炭素鋼、弁体にはステンレス鋼を使用しており、給水に接液している。

高浜4号炉の電動補助給水ポンプミニマムフロー逆止弁の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の電動補助給水ポンプミニマムフロー逆止弁の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。



No.	部位
①	弁箱（弁座と一体）
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	弁体ガイド

図2.1-3 高浜4号炉 電動補助給水ポンプミニマムフロー逆止弁構造図

表2.1-5 高浜4号炉 電動補助給水ポンプミニマムフロー逆止弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	炭素鋼鋳鋼（ステライト肉盛）、炭素鋼
弁蓋	炭素鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼
弁体ガイド	ステンレス鋼

表2.1-6 高浜4号炉 電動補助給水ポンプミニマムフロー逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約12.3MPa [gage]
最高使用温度	約40℃
内部流体	給水

2.1.4 蓄圧タンク窒素供給隔離逆止弁

(1) 構造

高浜4号炉の蓄圧タンク窒素供給隔離逆止弁は、安全注入系統に設置されている。

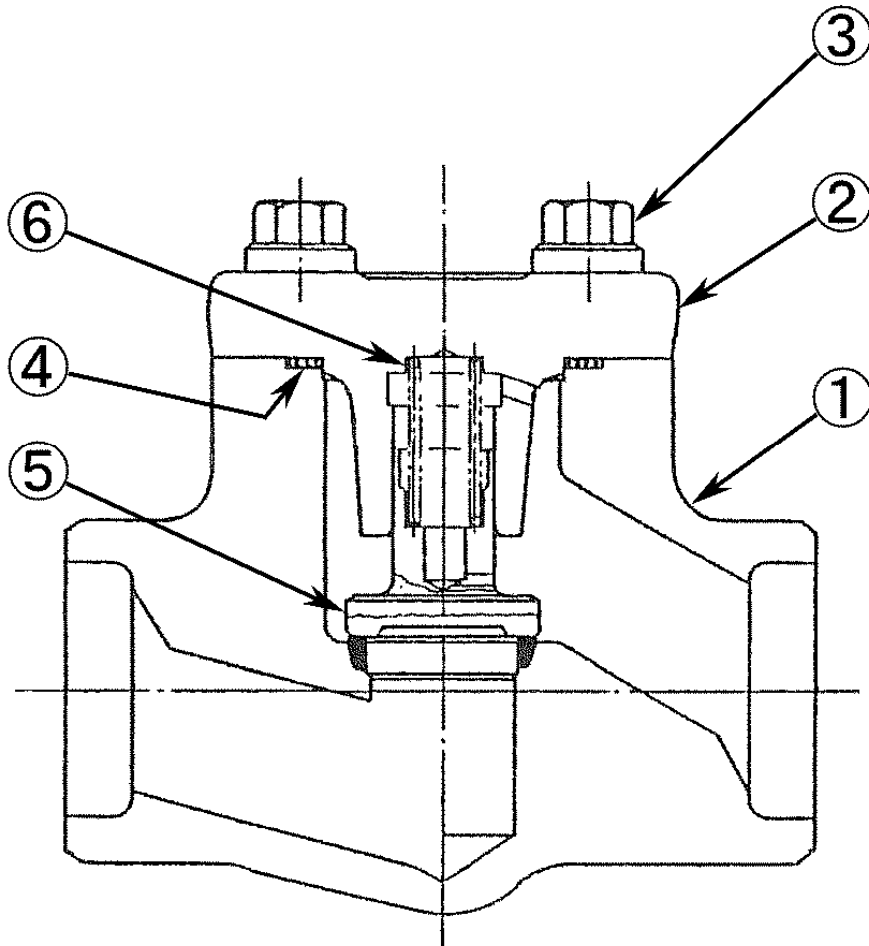
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体）および弁体を支持し作動をガイドする弁体ガイド（弁蓋と一体）からなる。

弁箱および弁蓋には炭素鋼、弁体にはステンレス鋼を使用しており、窒素に接液している。

高浜4号炉の蓄圧タンク窒素供給隔離逆止弁の構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の蓄圧タンク窒素供給隔離逆止弁の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。



No.	部位
①	弁箱（弁座と一体）
②	弁蓋（弁体ガイドと一体）
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	ばね

図2.1-4 高浜4号炉 蓄圧タンク窒素供給隔離逆止弁構造図

表2.1-7 高浜4号炉 蓄圧タンク窒素供給隔離逆止弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱 (弁座と一体)	炭素鋼 (ステライト肉盛)
弁蓋 (弁体ガイドと一体)	炭素鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼
ばね	ステンレス鋼

表2.1-8 高浜4号炉 蓄圧タンク窒素供給隔離逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約4.9MPa [gage]
最高使用温度	約150℃
内部流体	窒素

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

リフト逆止弁の機能である流体の流れ方向制限機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

リフト逆止弁個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々に部位の構造、材料、使用条件（内部流体、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 弁箱の疲労割れ [加圧器補助スプレイ逆止弁]

加圧器補助スプレイ逆止弁はプラントの起動・停止時等に発生する内部流体のステップ状の大きな温度変化により、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 弁体、弁箱弁座部シート面の摩耗 [共通]

弁体、弁箱弁座部シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 弁体、弁体ガイドの摩耗 [共通]

弁体と弁体ガイドの摺動部は、弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、摺動荷重は加わらず、有意な摩耗が発生する可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

- (3) 弁箱、弁蓋等の外面からの腐食（全面腐食）〔電動補助給水ポンプミニマムフロー逆止弁、蓄圧タンク窒素供給隔離逆止弁〕

炭素鋼または炭素鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋は、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (4) 弁箱等の腐食（全面腐食）〔電動補助給水ポンプミニマムフロー逆止弁、蓄圧タンク窒素供給隔離逆止弁〕

炭素鋼鋳鋼および炭素鋼の弁箱、弁蓋は、内部流体による腐食が想定される。

炭素鋼または炭素鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋を持つ弁のうち、内部流体が飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）水である電動補助給水ポンプミニマムフロー逆止弁については、長期使用により腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認や漏えい確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

また、蓄圧タンク窒素供給隔離逆止弁については、内部流体は窒素で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

- (5) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔格納容器内脱塩水供給隔離逆止弁、電動補助給水ポンプミニマムフロー逆止弁、蓄圧タンク窒素供給隔離逆止弁〕

弁蓋ボルトは低合金鋼であり、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

- (6) ばねの変形（応力緩和）〔加圧器補助スプレイ逆止弁、格納容器内脱塩水供給隔離逆止弁、蓄圧タンク窒素供給隔離逆止弁〕

ばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、リフト逆止弁のばねは、高粘性流体を取扱うラインにおける使用を考慮して、着座性をよくするために設けられているもので、高浜4号炉で使用している水や空気等を取扱うラインでは流体の粘性が低く、弁体の自重のみで閉止可能であるため、仮にばねの変形（応力緩和）が発生したとしても、弁の機能に影響しない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時等の機能確認により、機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品および定期取替品

シールプレートおよびガスケットは分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/4) 高浜4号炉 加圧器補助スプレイ逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△ ^{*1}		○				*1:シート面 *2:弁体ガイド摺動部 *3:変形 (応力緩和)	
	弁蓋 (弁体ガイドと一体)		ステンレス鋼	△ ^{*2}							
	シールプレート	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△ ^{*1,2}							
	ばね		ステンレス鋼						△ ^{*3}		

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2. 2-1(2/4) 高浜4号炉 格納容器内脱塩水供給隔離逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△ ^{*1}						*1:シート面 *2:弁体ガイド摺動部 *3:変形 (応力緩和)	
	弁蓋 (弁体ガイドと一体)		ステンレス鋼	△ ^{*2}							
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼	△ ^{*1,2}							
	ばね		ステンレス鋼						△ ^{*3}		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/4) 高浜4号炉 電動補助給水ポンプミニマムフロー逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		炭素鋼鋳鋼 (ステライト肉盛) 炭素鋼	△	△*1,4					*1:全面腐食 (外面) *2:シート面 *3:弁体ガイド摺動部 *4:全面腐食 (内面)	
	弁蓋		炭素鋼		△*1,4						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼	△*2,3							
	弁体ガイド		ステンレス鋼	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/4) 高浜4号炉 蓄圧タンク窒素供給隔離逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△*1	△*2,3					*1:シート面 *2:全面腐食(外面) *3:全面腐食(内面) *4:弁体ガイド摺動部 *5:変形(応力緩和)	
	弁蓋(弁体ガイドと一体)		炭素鋼	△*4	△*2,3						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼	△*1,4							
	ばね		ステンレス鋼						△*5		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 弁箱の疲労割れ [加圧器補助スプレイ逆止弁]

a. 事象の説明

加圧器補助スプレイ逆止弁は、プラントの起動・停止時等に熱過渡を繰り返すため、疲労が蓄積する。

b. 技術評価

① 健全性評価

加圧器補助スプレイ逆止弁の健全性評価にあたっては、「日本機械学会 設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007)」に基づき評価を行った。

評価対象部位を図2.3-1に示す。

また、使用環境を考慮した疲労について、「日本機械学会 環境疲労評価手法(JSME S NF1-2009)」に基づき評価した。

疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。

なお、運転期間延長認可申請に伴う評価として、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的*に設定した過渡回数とした。

*：評価条件として、2020年度以降の過渡発生頻度は実績の1.5倍以上を想定した。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

② 現状保全

弁箱の疲労割れに対しては、定期的な分解点検時に弁内面の目視確認を実施し、有意な異常がないことを確認するとともに、定期的な漏えい確認を実施し健全性を確認している。

さらに、高経年化技術評価に合わせて、実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、弁箱の疲労割れ発生の可能性はないと考える。

ただし、疲労評価は実績過渡回数に依存するため、今後も実績過渡回数を把握し評価する必要がある。

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、異常のないことは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

弁箱の疲労割れについては、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認する。

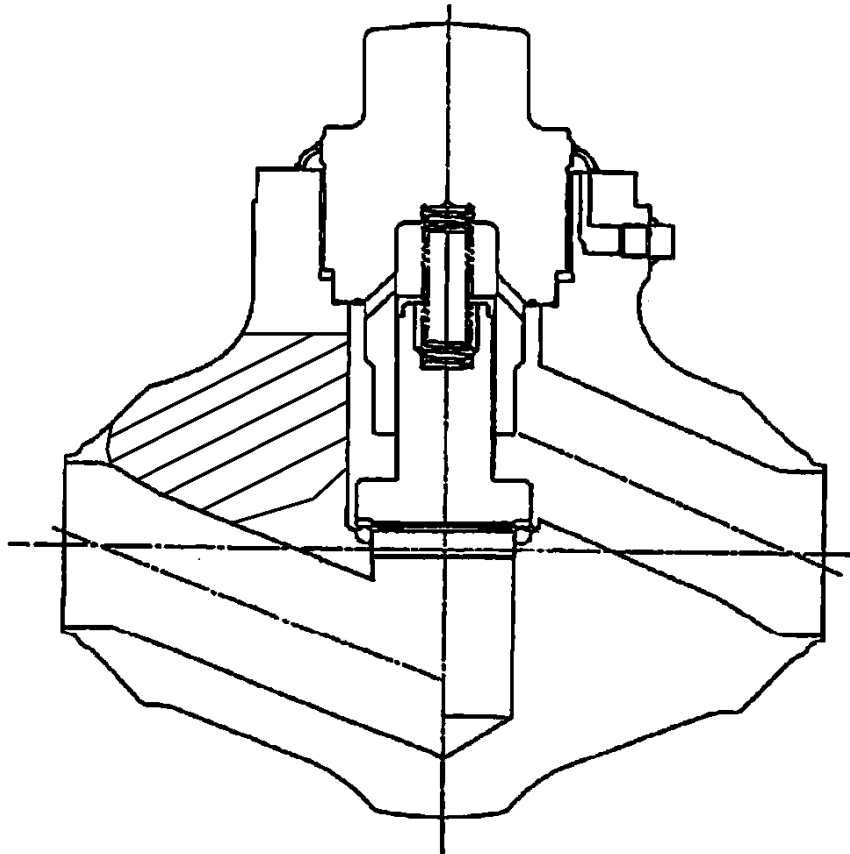


図2.3-1 高浜4号炉 加圧器補助スプレイ逆止弁の疲労評価対象部位（斜線部）

表2.3-1 高浜4号炉 加圧器補助スプレイ逆止弁の評価用過渡条件

運転状態 I

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動(温度上昇率55.6℃/h)	35	71
停止(温度下降率55.6℃/h)	34	71
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	308	800
負荷減少(負荷減少率5%/min)	298	790
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	4
定常負荷運転時の変動*1	-	-
燃料交換	24	62
0%から15%への負荷上昇	35	66
15%から0%への負荷減少	25	55
1 ループ停止 / 1 ループ起動		
I) 停止	0	2
II) 起動	0	2

運転状態 II

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
負荷の喪失	4	6
外部電源喪失	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	0	2
100%からの原子炉トリップ		
I) 不注意な冷却を伴わないトリップ	3	6
II) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2
III) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	2
1次冷却系の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	0	2
タービン回転試験	3	3
1次系漏えい試験	31	65

*1: 設計評価においては、1次冷却材温度 $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 、1次冷却材圧力 $\pm 0.34\text{MPa}$ ($\pm 3.5\text{kg/cm}^2$)の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

表2.3-2 高浜4号炉 加圧器補助スプレイ逆止弁の疲労評価結果

評価対象部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値: 1 以下)	
	設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
弁箱 (ステンレス鋼)	0.011	0.065

3. 代表機器以外への展開

本章では、2章で実施した代表機器の技術評価について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 弁箱の疲労割れ [1次冷却系統、化学体積制御系統および安全注入系統のリフト逆止弁]

プラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材のステップ状の大きな温度変化を受ける加圧器補助スプレイ逆止弁の疲労評価結果では表2.3-2に示すように許容値に対して余裕があり、当該弁と同等以下の過渡しか受けないその他の弁についても、疲労割れが発生する可能性はないと考える。

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、また異常のないことは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、弁箱の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.2.1 弁体、弁箱弁座部シート面の摩耗 [共通]

弁体、弁座または弁箱弁座部シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.2 弁体、弁体ガイド等の摩耗 [共通]

弁体と弁体ガイド等の摺動部は、弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、摺動荷重は加わず、有意な摩耗が発生する可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.3 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食） [ドレン系統、主給水系統、補助給水系統、復水系統および補助蒸気系統のリフト逆止弁]

内部流体が高速の水であり、炭素鋼製の弁箱、弁蓋、弁体、弁座を用いている弁には、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.4 弁箱、弁蓋の外面からの腐食（全面腐食）〔炭素鋼のリフト逆止弁共通〕

炭素鋼の弁箱、弁蓋は、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.5 弁箱等の腐食（全面腐食）〔計器用空気系統、雑用空気系統、換気空調系統、非常用ディーゼル発電機設備および原子炉補機冷却水系統のリフト逆止弁〕

炭素鋼の弁箱、弁蓋は、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、内部流体は窒素、空気またはヒドラジン水で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.6 弁箱等の腐食（全面腐食）〔補助給水系統および補助蒸気系統のリフト逆止弁〕

炭素鋼製の弁箱、弁蓋を持つ弁のうち、内部流体が飽和溶存酸素濃度（最大約 8 ppm）水である弁については、長期使用により腐食が発生する可能性がある。

しかしながら、分解点検時の弁内面の目視確認で有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難いことから、急激な腐食の進行により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

また、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.7 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔炭素鋼または低合金鋼の弁蓋ボルトのある弁共通〕

炭素鋼または低合金鋼の弁蓋ボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

3.2.8 ばねの変形（応力緩和）〔ばねのある弁共通〕

ばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、リフト逆止弁のばねは、高粘性流体を取扱うラインにおける使用を考慮して、着座性をよくするために設けられているもので、高浜4号炉で使用している水や空気等を取扱うラインでは流体の粘性が低く、弁体の自重のみで閉止可能であるため、仮にばねの変形（応力緩和）が発生したとしても、弁の機能に影響しない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の動作確認により、機器の健全性を確認している。

1.7 安全逃がし弁

[対象機器]

- ① 1次冷却系統安全逃がし弁
- ② 化学体積制御系統安全逃がし弁
- ③ 安全注入系統安全逃がし弁
- ④ 余熱除去系統安全逃がし弁
- ⑤ 廃樹脂処理装置安全逃がし弁
- ⑥ 主蒸気系統安全逃がし弁
- ⑦ ドレン系統安全逃がし弁
- ⑧ グランド蒸気系統安全逃がし弁
- ⑨ 主給水系統安全逃がし弁
- ⑩ 復水系統安全逃がし弁
- ⑪ 高温再熱蒸気系統安全逃がし弁
- ⑫ 気体廃棄物処理系統安全逃がし弁
- ⑬ 液体廃棄物処理系統安全逃がし弁
- ⑭ 固体廃棄物処理系統安全逃がし弁
- ⑮ 補助蒸気系統安全逃がし弁
- ⑯ 非常用ディーゼル発電機設備安全逃がし弁
- ⑰ ほう酸回収系統安全逃がし弁
- ⑱ 原子炉補機冷却水系統安全逃がし弁
- ⑲ 1次系試料採取系統安全逃がし弁

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	4
2.1 構造、材料および使用条件	4
2.2 経年劣化事象の抽出	19
3. 代表機器以外への展開	28
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象.....	28

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されている安全逃がし弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらの安全逃がし弁を設置場所、内部流体および材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す安全逃がし弁について、設置場所、内部流体および材料を分離基準として考えると、合計5個のグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：1次冷却材

このグループには1次冷却系統、化学体積制御系統、安全注入系統および余熱除去系統の安全逃がし弁が属するが、重要度が高い加圧器安全弁を代表機器とする。

(2) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：蒸気

このグループには廃樹脂処理装置のみが属するため、代表機器は蒸発器安全弁とする。

(3) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：希ガス等、油、空気または窒素

このグループには非常用ディーゼル発電機設備、1次系試料採取系統、液体廃棄物処理系統、固体廃棄物処理系統、ほう酸回収系統および安全注入系統の安全逃がし弁が属するが、重要度が高く、圧力の高いDG空気圧縮機出口安全弁を代表機器とする。

(4) 設置場所：屋内または屋外、材料：炭素鋼、内部流体：蒸気または給水

このグループには主蒸気系統、ドレン系統、グラウンド蒸気系統、主給水系統、復水系統、高温再熱蒸気系統および補助蒸気系統の安全逃がし弁が属するが、重要度が高い主蒸気安全弁を代表機器とする。

(5) 設置場所：屋内、材料：炭素鋼、内部流体：希ガス等、窒素、空気またはヒドロジン水

このグループには気体廃棄物処理系統、固体廃棄物処理系統、非常用ディーゼル発電機設備および原子炉補機冷却水系統の安全逃がし弁が属するが、重要度が高い水素再結合ガス減衰タンク安全弁を代表機器とする。

表1-1(1/2) 高浜4号炉 安全逃がし弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定			
設置場所	材料	内部流体			口径(B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由	
							最高使用圧力 (MPa [gag e])	最高使用温度 (°C)				
屋内	ステンレス鋼	1次冷却材	3	1次冷却系統	6	PS-1、重*3	約17.2	約360	◎	加圧器安全弁(6B)	重要度	
			7	化学体積制御系統	1~3	MS-1、高*2、重*3	約4.1	約200				
			1	安全注入系統	1	高*2、重*3	約18.8	約150				
			5	余熱除去系統	3/4~3	MS-1、高*2、重*3	約4.1	約200				
屋内	ステンレス鋼	蒸気	1	廃樹脂処理装置	3/4	高*2	約0.1	約120	◎	蒸発器安全弁(3/4B)		
屋内	ステンレス鋼	空気	2	非常用ディーゼル発電機設備	3/4	高*2	約3.2	約50	◎	DG空気圧縮機出口安全弁(3/4B)	重要度 圧力	
			3	1次系試料採取系統	3/4	重*3	約1.0	約95				
			3	液体廃棄物処理系統	4	高*2	約0.1	約119				
		希ガス等	1	ほう酸回収系統	6	高*2	約0.1	約150				
			油	2	固体廃棄物処理系統	3/4	高*2	約1.0				約120
				3	安全注入系統	1	重*3	約4.9				約150

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が95℃を超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

表1-1(2/2) 高浜4号炉 安全逃がし弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径(B)	重要度*1	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力(MPa [gauge])	最高使用温度(°C)			
屋内 屋外 屋内	炭素鋼	蒸気	21	主蒸気系統	5	MS-1、重*3	約7.5	約291	◎	主蒸気安全弁(5B)	重要度
			8	ドレン系統	3	高*2	約2.7	約235			
			2	グラント蒸気系統	2~5	高*2	約7.5	約291			
			9	補助蒸気系統	3/4~8	高*2	約2.7	約235			
		10	高温再熱蒸気系統	1 1/2~16	高*2	約1.4	約291				
		2	給水	主給水系統	1	高*2	約10.2	約200			
				3	復水系統	1	高*2	約4.1			
屋内	炭素鋼	希ガス等	10	気体廃棄物処理系統	1	PS-2	約1.0	約95	◎	水素再結合ガス減衰タンク安全弁(1B)	重要度
			1	固体廃棄物処理系統	3/4	高*2	約0.3	約300			
		1	原子炉補機冷却水系統	4	重*3	約0.3	約95				
		4	空気	非常用ディーゼル発電機設備	6	高*2、重*3	約3.2	約50			
				10	原子炉補機冷却水系統	3/4	重*3	約1.0			
		ヒドラジン水									

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の5種類の安全逃がし弁について技術評価を実施する。

- ① 加圧器安全弁
- ② 蒸発器安全弁
- ③ DG空気圧縮機出口安全弁
- ④ 主蒸気安全弁
- ⑤ 水素再結合ガス減衰タンク安全弁

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 加圧器安全弁

(1) 構造

高浜4号炉の加圧器安全弁は、ばね安全弁であり、1次冷却系統に設置されている。

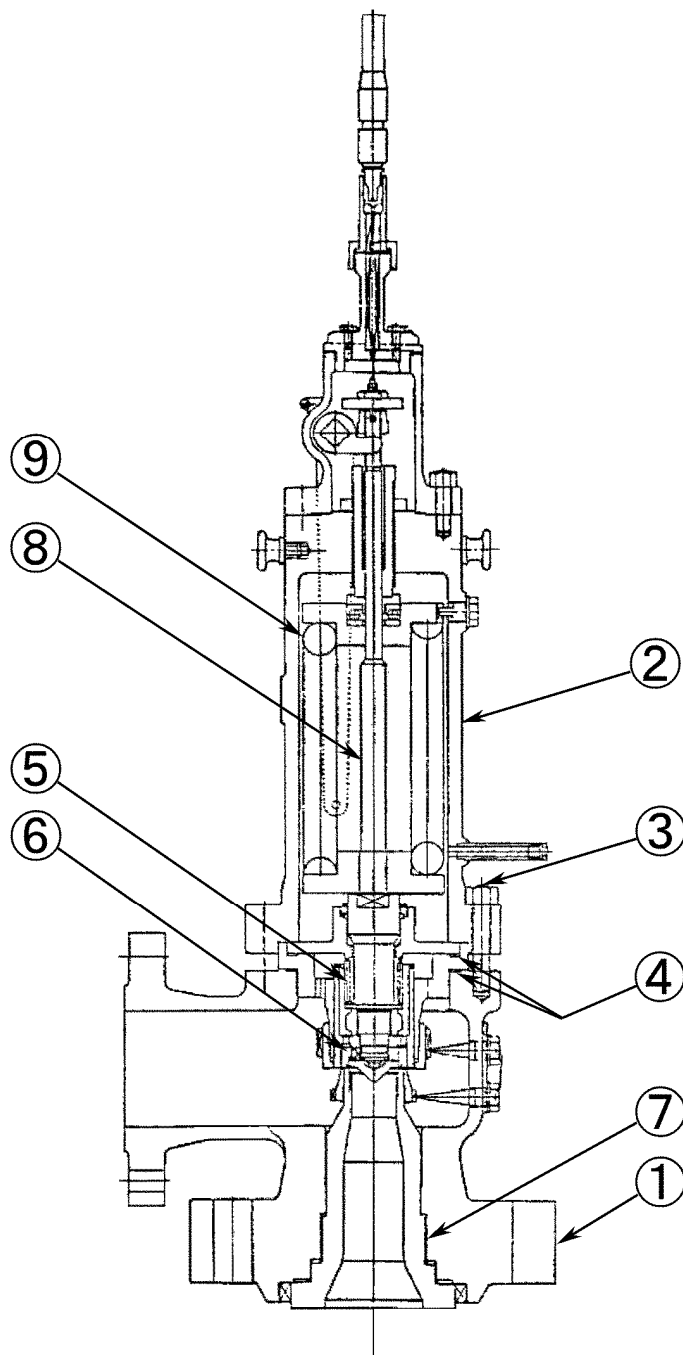
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、ベローズ）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒、ばね）からなる。

弁箱にはステンレス鋼鋳鋼、弁座にはステンレス鋼、弁体にはニッケル基合金を使用しており、1次冷却材に接液している。

高浜4号炉の加圧器安全弁の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の加圧器安全弁の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	ベローズ
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	弁棒
⑨	ばね

図2. 1-1 高浜4号炉 加圧器安全弁構造図

表2.1-1 高浜4号炉 加圧器安全弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
ベローズ	ニッケル基合金
弁体	ニッケル基合金
弁座	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
ばね	ばね鋼

表2.1-2 高浜4号炉 加圧器安全弁の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa [gage]
最高使用温度	約360℃
内部流体	1次冷却材

2.1.2 蒸発器安全弁

(1) 構造

高浜4号炉の蒸発器安全弁は、ばね安全弁であり、廃樹脂処理装置に設置されている。

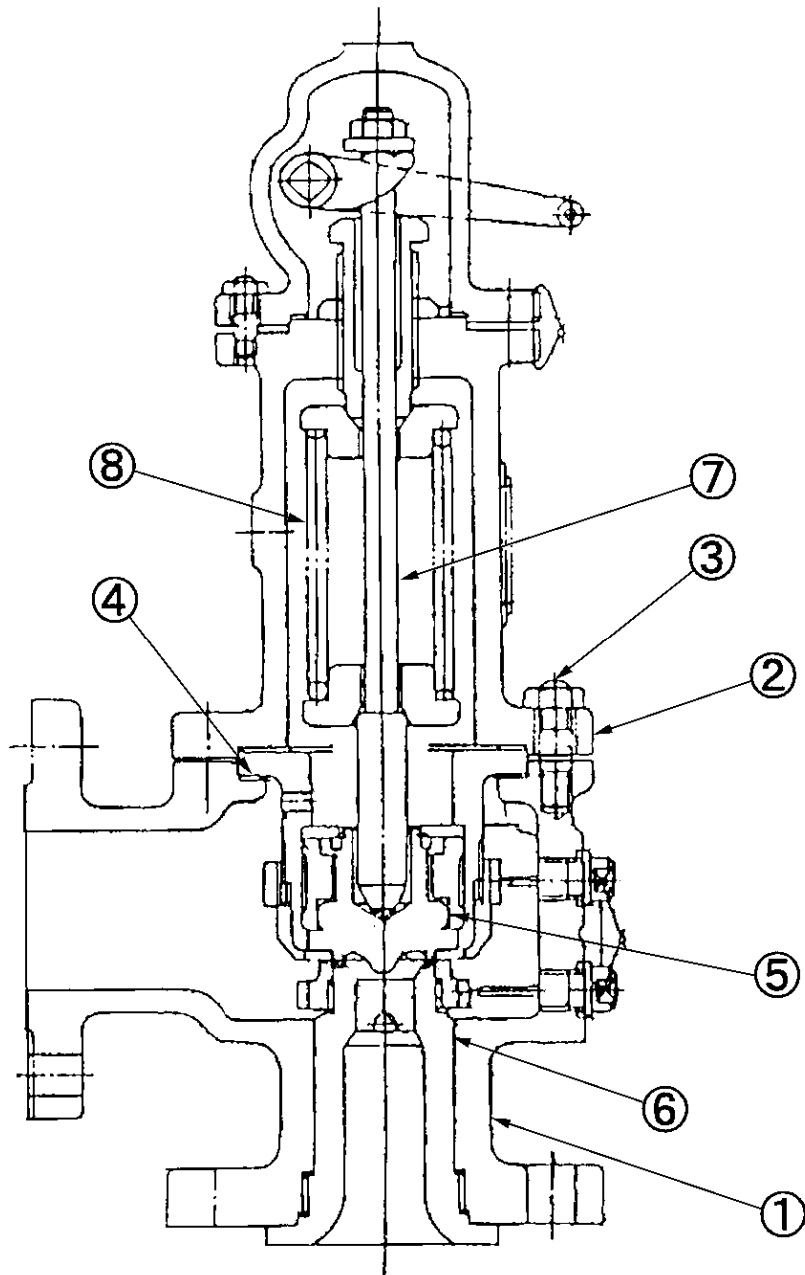
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒、ばね）からなる。

弁箱にはステンレス鋼鋳鋼、弁体及び弁座にはステンレス鋼を使用しており、上記に接している。

高浜4号炉の蒸発器安全弁の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の蒸発器安全弁の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



No.	部 位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	弁座
⑦	弁棒
⑧	ばね

図2.1-2 高浜4号炉 蒸発器安全弁構造図

表2.1-3 高浜4号炉 蒸発器安全弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	ステンレス鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼
弁座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁棒	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
ばね	ステンレス鋼

表2.1-4 高浜4号炉 蒸発器安全弁の使用条件

最高使用圧力	約0.1MPa [gage]
最高使用温度	約120℃
内部流体	蒸気

2.1.3 DG 空気圧縮機出口安全弁

(1) 構造

高浜4号炉のDG空気圧縮機出口安全弁は、ばね安全弁であり、非常用ディーゼル発電機設備に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体）および弁体を作動させる作動部（弁棒、ばね）からなる。

弁箱および弁体にはステンレス鋼を使用しており、空気に接している。

高浜4号炉のDG空気圧縮機出口安全弁の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉のDG空気圧縮機出口安全弁の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。

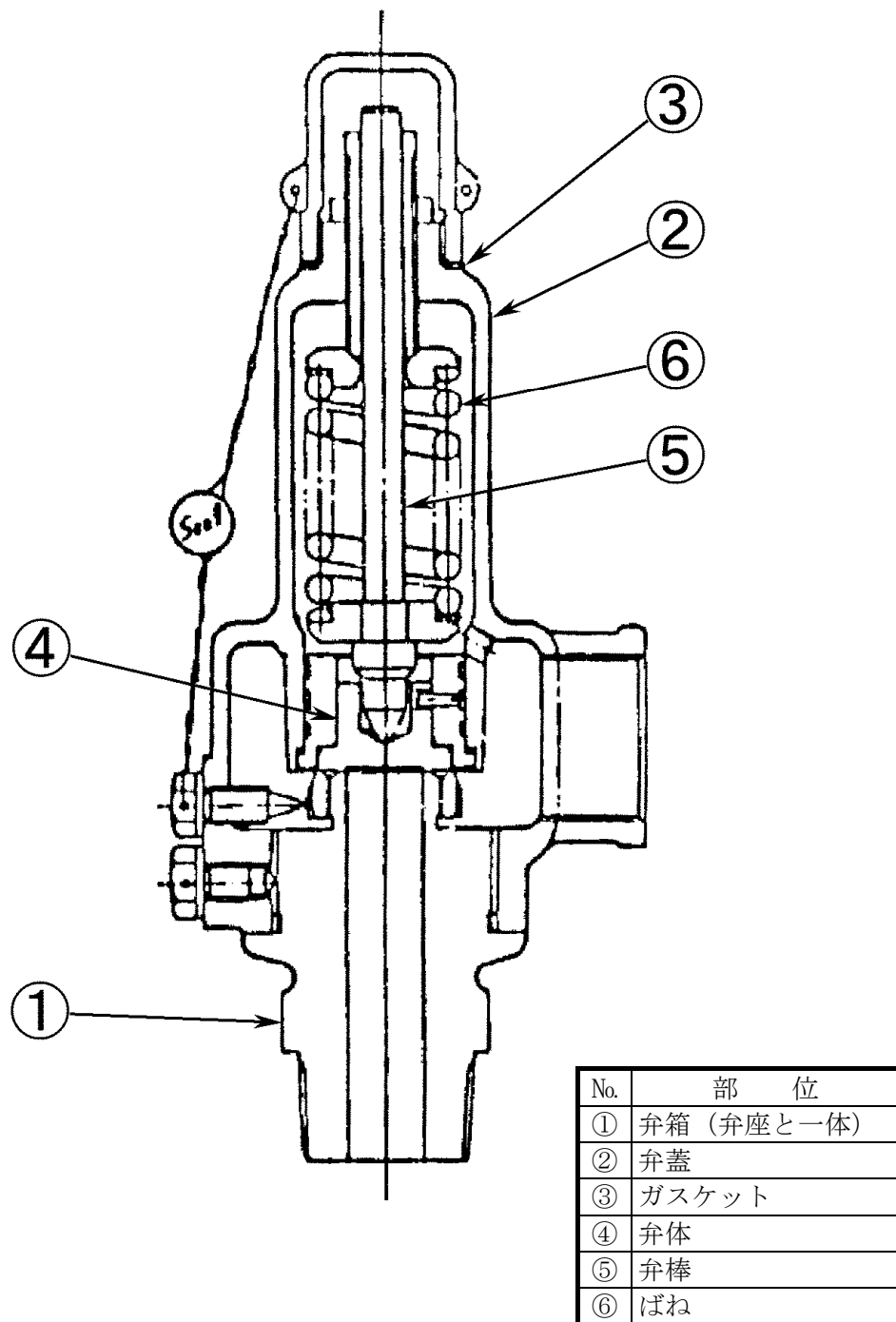


図2.1-3 高浜4号炉 DG空気圧縮機出口安全弁構造図

表2.1-5 高浜4号炉 DG空気圧縮機出口安全弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	ステンレス鋼
弁蓋	銅合金鋳物
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼
弁棒	ステンレス鋼
ばね	ステンレス鋼

表2.1-6 高浜4号炉 DG空気圧縮機出口安全弁の使用条件

最高使用圧力	約3.2MPa [gage]
最高使用温度	約50℃
内部流体	空気

2.1.4 主蒸気安全弁

(1) 構造

高浜4号炉の主蒸気安全弁は、ばね安全弁であり、主蒸気系統に設置されている。

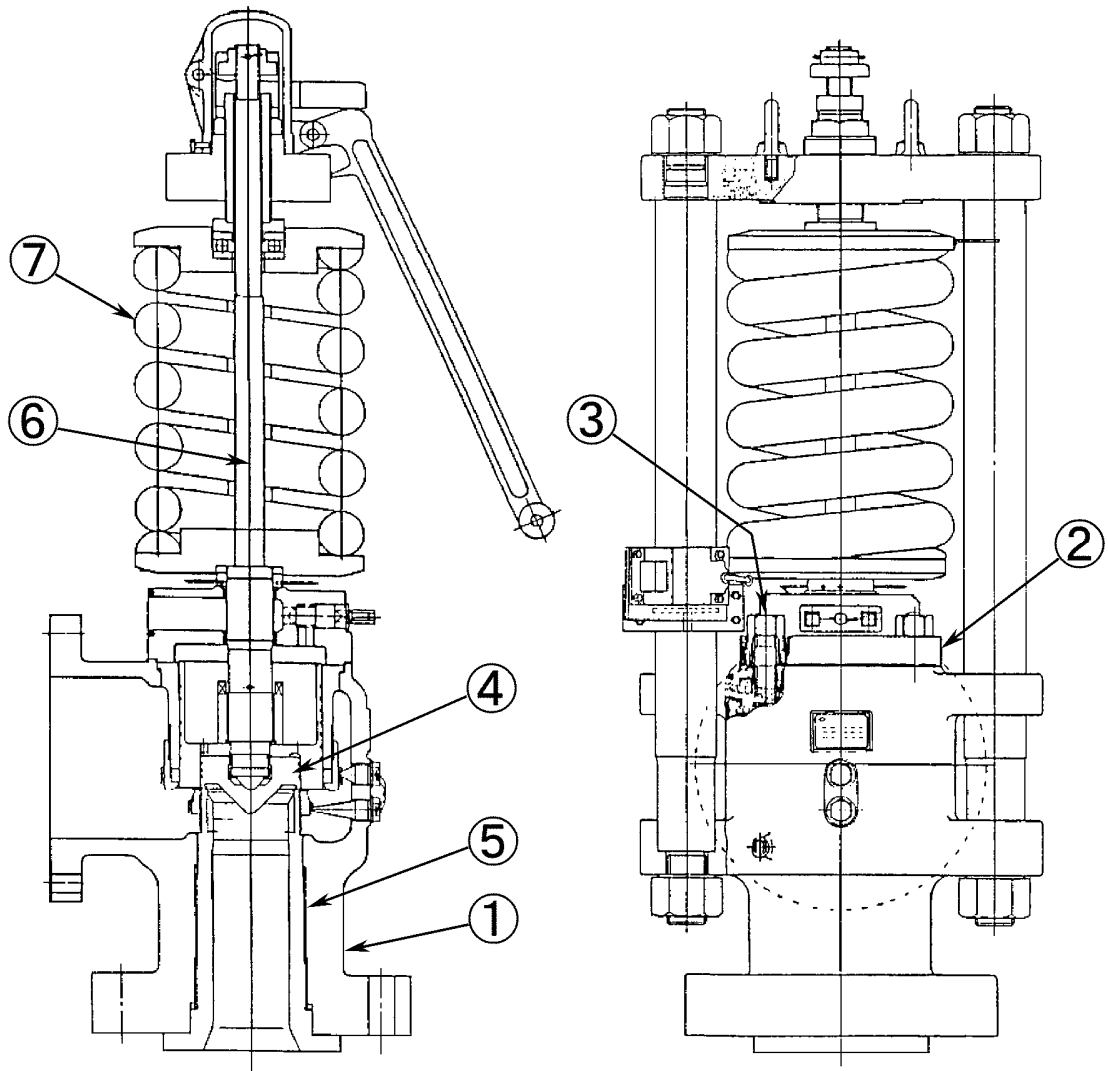
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒、ばね）からなる。

弁箱には炭素鋼鋳鋼、弁体にはクロムニッケルモリブデン鋼、弁座には炭素鋼を使用しており、蒸気に接している。

高浜4号炉の主蒸気安全弁の構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の主蒸気安全弁の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	弁体
⑤	弁座
⑥	弁棒
⑦	ばね

図2.1-4 高浜4号炉 主蒸気安全弁構造図

表2.1-7 高浜4号炉 主蒸気安全弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
弁体	クロムニッケルモリブデン鋼
弁座	炭素鋼 (ステライト肉盛)
弁棒	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
ばね	ばね鋼

表2.1-8 高浜4号炉 主蒸気安全弁の使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa [gage]
最高使用温度	約291℃
内部流体	蒸気

2.1.5 水素再結合ガス減衰タンク安全弁

(1) 構造

高浜4号炉の水素再結合ガス減衰タンク安全弁は、ばね安全弁であり、気体廃棄物処理系統に設置されている。

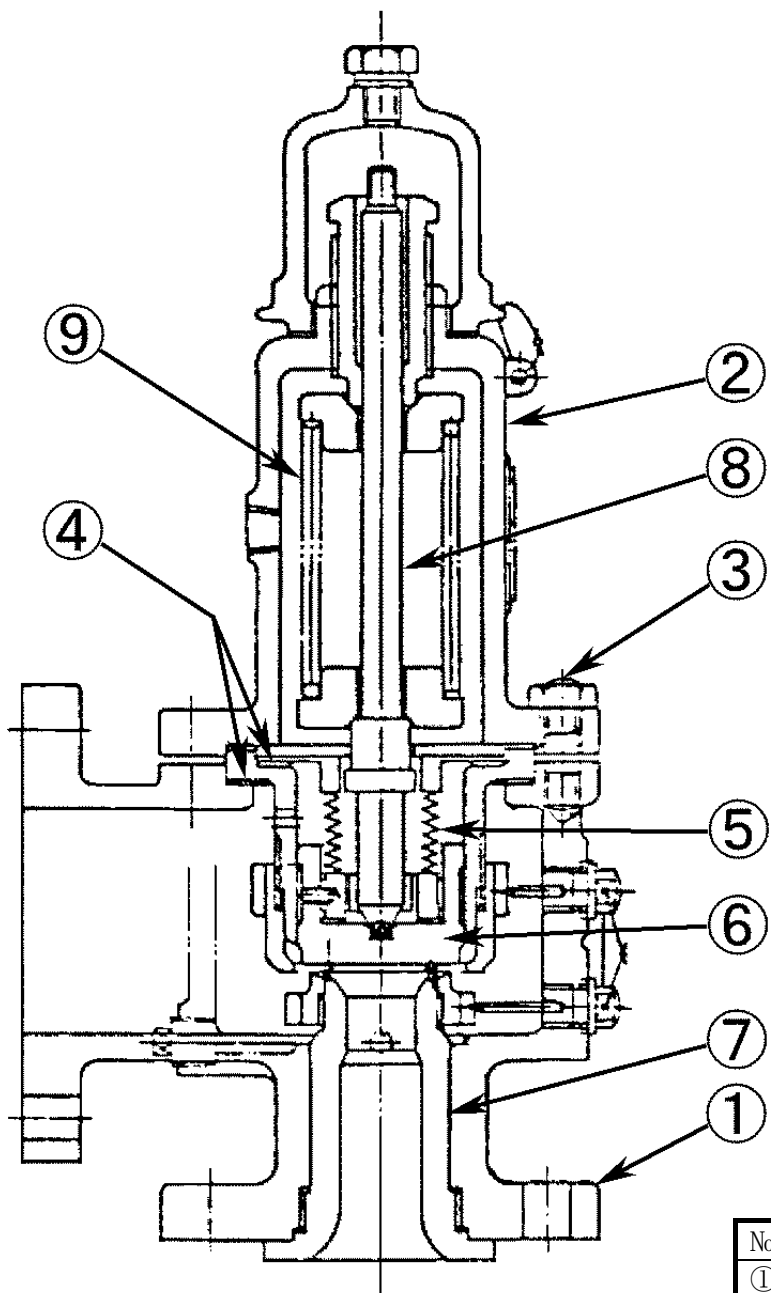
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、ベローズ）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒、ばね）からなる。

弁箱には炭素鋼鋳鋼、弁体および弁座にはステンレス鋼を使用しており、希ガス等に接している。

高浜4号炉の水素再結合ガス減衰タンク安全弁の構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の水素再結合ガス減衰タンク安全弁の使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	ベローズ
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	弁棒
⑨	ばね

図2.1-5 高浜4号炉 水素再結合ガス減衰タンク安全弁構造図

表2.1-9 高浜4号炉 水素再結合ガス減衰タンク安全弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
ベローズ	ステンレス鋼
弁体	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁座	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
ばね	ばね用オイルテンパー線

表2.1-10 高浜4号炉 水素再結合ガス減衰タンク安全弁の使用条件

最高使用圧力	約1.0MPa [gage]
最高使用温度	約95℃
内部流体	希ガス等

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

安全逃がし弁の機能である圧力抑制機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

安全逃がし弁個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（内部流体、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 弁箱、弁蓋等の外面からの腐食（全面腐食）〔蒸発器安全弁以外の弁〕

炭素鋼鋳鋼または銅合金鋳物の弁箱、弁蓋等には、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、外面の大气接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、分解点検時の目視により、塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 弁箱等の腐食（全面腐食）〔蒸発器安全弁以外の弁〕

炭素鋼、炭素鋼鋳鋼または銅合金鋳物の弁箱、弁蓋の内面および弁座には腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (3) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔加圧器安全弁、主蒸気安全弁、水素再結合ガス減衰タンク安全弁〕

炭素鋼または低合金鋼の弁蓋ボルトは、ガスケット部等からの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

- (4) ベローズの疲労割れ〔加圧器安全弁、水素再結合減衰タンク安全弁〕

ベローズは弁の開閉による疲労割れが想定される。

しかしながら、安全弁は系統の異常昇圧時の保護目的で設置されており作動回数は少なく、これまでに有意な割れは認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器点検時の漏えい確認より、機器の健全性を確認している。

- (5) 弁体、弁座または弁箱弁座部シート面の摩耗〔共通〕

弁体、弁座または弁箱弁座部シート面は弁の開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、安全弁は系統の異常昇圧時の保護目的で設置されており作動回数は少なく、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 弁棒の摩耗 [共通]

弁棒は開閉に伴う弁蓋との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、安全弁は系統の異常昇圧時の保護目的で設置されており作動回数は少なく、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) ばねの変形（応力緩和） [共通]

ばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が発生する可能性がある。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用しており、これまでに有意なばねの変形は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時等の機能確認により、機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットは分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/5) 高浜4号炉 加圧器安全弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼							*1: 全面腐食 (外面)	
	弁蓋		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1,2}					*2: 全面腐食 (内面)	
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△					*3: 変形 (応力緩和)	
	ガスケット	◎	—								
	ベローズ		ニッケル基合金			△					
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ニッケル基合金	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	ばね		ばね鋼						△ ^{*3}		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/5) 高浜4号炉 蒸発器安全弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼							*1: 変形 (応力緩和)	
	弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋ボルト		ステンレス鋼								
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	ばね		ステンレス鋼						△*1		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/5) 高浜4号炉 DG空気圧縮機出口安全弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力疲労割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱（弁座と一体）		ステンレス鋼	△							*1：全面腐食（外面）
	弁蓋		銅合金鋳物		△*1,2						*2：全面腐食（内面）
	ガスケット	◎	—								*3：変形（応力緩和）
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△							
	ばね		ステンレス鋼							△*3	

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/5) 高浜4号炉 主蒸気安全弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1,2}					*1: 全面腐食 (外面)	
	弁蓋		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1,2}					*2: 全面腐食 (内面)	
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△					*3: 変形 (応力緩和)	
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		クロムニッケル モリブデン鋼	△							
	弁座		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△						
	弁棒		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	ばね		ばね鋼						△ ^{*3}		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(5/5) 高浜4号炉 水素再結合ガス減衰タンク安全弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1,2}					*1: 全面腐食 (外面)	
	弁蓋		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1,2}					*2: 全面腐食 (内面)	
	弁蓋ボルト		炭素鋼		△					*3: 変形 (応力緩和)	
	ガスケット	◎	—								
	ペローズ		ステンレス鋼			△					
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	ばね		ばね用 オイルテンパー線						△ ^{*3}		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

3. 代表機器以外への展開

本章では、2章で実施した代表機器の技術評価について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.1.1 弁箱、弁蓋の外側からの腐食（全面腐食）〔炭素鋼の弁箱、弁蓋のある弁共通〕

炭素鋼製の弁箱、弁蓋は、外側からの腐食が発生する可能性がある。

しかしながら、塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.2 弁箱等の腐食（全面腐食）〔炭素鋼製の弁箱、弁蓋、弁座のある弁共通〕

炭素鋼製の弁箱、弁蓋の内面および弁座には腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.3 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食） [炭素鋼または低合金鋼製の弁蓋ボルトのある弁共通]

弁蓋ボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

3.1.4 ベローズの疲労割れ [ベローズのある弁共通]

ベローズは弁の開閉による疲労割れが想定される。

しかしながら、安全弁は系統の異常昇圧時の保護目的で設置されており作動回数は少なく、これまでに有意な割れは認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器点検時の漏えい確認より、機器の健全性を確認している。

3.1.5 弁体、弁座または弁箱弁座部シート面の摩耗 [共通]

弁体、弁座または弁箱弁座部シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、安全弁は系統の異常昇圧時の保護目的で設置されており作動回数は少なく、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器点検時の漏えい確認より、機器の健全性を確認している。

3.1.6 弁棒の摩耗 [共通]

弁棒は開閉に伴う弁蓋との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、安全弁は系統の異常昇圧時の保護目的で設置されており作動回数は少なく、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器点検時の漏えい確認より、機器の健全性を確認している。

3.1.7 ばねの変形（応力緩和） [共通]

ばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が発生する可能性がある。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用しており、これまでに有意なばねの変形は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時等の機能確認により、機器の健全性を確認している。

3.1.8 弁箱等の腐食（全面腐食） [内部流体が空気、希ガス、窒素またはヒドラジン水の安全逃がし弁]

炭素鋼製の弁箱、弁蓋の内面には、腐食が想定される。

しかしながら、内部流体が空気、希ガス、窒素またはヒドラジン水であり、腐食が発生しがたい環境にある。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

2 一般弁（駆動部）

[対象機器]

- 2.1 電動装置
- 2.2 空気作動装置

2.1 電動装置

[対象機器]

- ① 1次冷却系統電動弁
- ② 化学体積制御系統電動弁
- ③ 安全注入系統電動弁
- ④ 余熱除去系統電動弁
- ⑤ 格納容器内部スプレイ系統電動弁
- ⑥ 1次系試料採取系統電動弁
- ⑦ 燃料取替用水系統電動弁
- ⑧ 主蒸気系統電動弁
- ⑨ 主給水系統電動弁
- ⑩ 補助給水系統電動弁
- ⑪ 原子炉補機冷却水系統電動弁
- ⑫ ポンプタービン駆動蒸気系統電動弁
- ⑬ 計器用空気系統電動弁
- ⑭ 海水系統電動弁
- ⑮ 換気空調系統電動弁
- ⑯ 非常用ディーゼル発電機設備電動弁

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料および使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	12
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	18
3. 代表機器以外への展開	22
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	22
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	23

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されている弁を駆動する電動装置主要部位の主な仕様を表1-1に示す。

これらの電動装置をモータ型式の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

電動装置はモータや駆動装置等の組み合わせにより構成されており、使用する系統の条件には関係なく、弁本体の駆動力等の条件に適合する仕様を選定している。

構成機器のうち、駆動装置については電動装置の仕様に依存せず、構造、材料等が同等であることから、経年劣化に対する健全性評価はいずれの仕様においても同等として評価する。

1.2 代表機器の選定

(1) モータ型式：交流

モータ型式が交流の電動装置の中から、原子炉格納容器内のループ室内設置であり、弁本体が大口径で大きな駆動力を必要とする余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁電動装置を代表機器とする。

(2) モータ型式：直流

モータ型式が直流の電動装置の中から、弁本体が大口径で大きな駆動力を必要とするタービン動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁電動装置を代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 電動装置の主な仕様

分離基準	台数	選定基準				代表機器の選定		
		重要度*1	口径(B)	使用場所		代表弁	選定理由	
				原子炉格納容器内	原子炉格納容器外			
交流	142	MS-1、2、重*2	3/8～26	○*3	○*4	◎	余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁 (SMB-3、12B)	使用条件、弁本体の口径
直流	5	MS-1、重*2	6～8	—	○*4	◎	タービン動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁 (SMB-00、8B)	弁本体の口径

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

*3：設計基準事故（1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失）を考慮する。

*4：設計基準事故（主蒸気管破断）を考慮する。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の電動装置について技術評価を実施する。

- ① 余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁電動装置
- ② タービン動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁電動装置

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁電動装置

(1) 構造

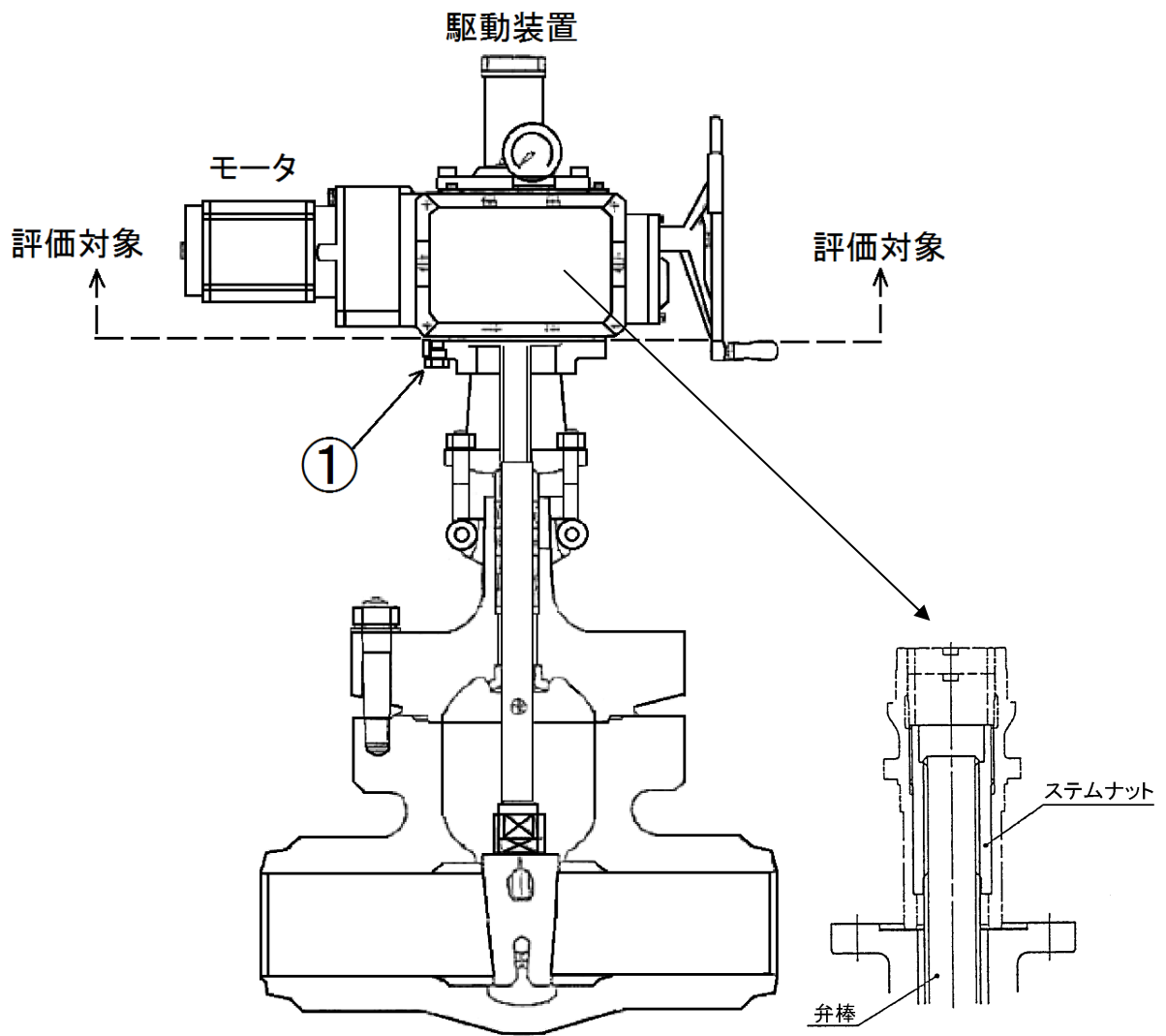
高浜4号炉の余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁電動装置はSMB-3型で1台設置されている。

電動装置は、モータ（交流モータ）および歯車等を内蔵した駆動装置で構成されており、モータの回転力を歯車（ギア）を介して、ステムナット、弁棒に伝達し、弁を駆動させる構造としている。

高浜4号炉の余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁電動装置の構造図および構造概念図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁電動装置の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	取付ボルト

図2.1-1(1/3) 高浜4号炉 余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁電動装置構造図

No.	部位
①	フレーム
②	固定子コア
③	固定子コイル
④	回転子コア
⑤	口出線・接続部品
⑥	軸受（ころがり）
⑦	ガスケット

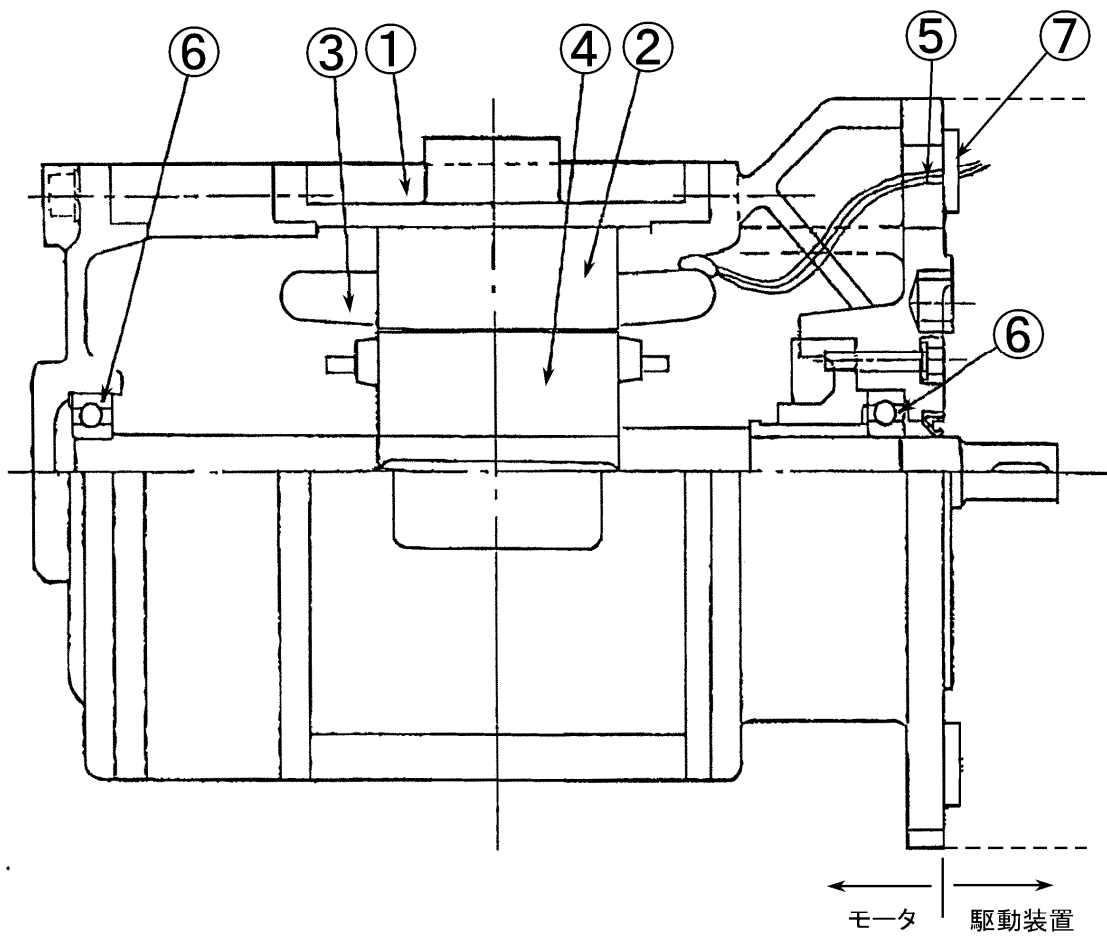
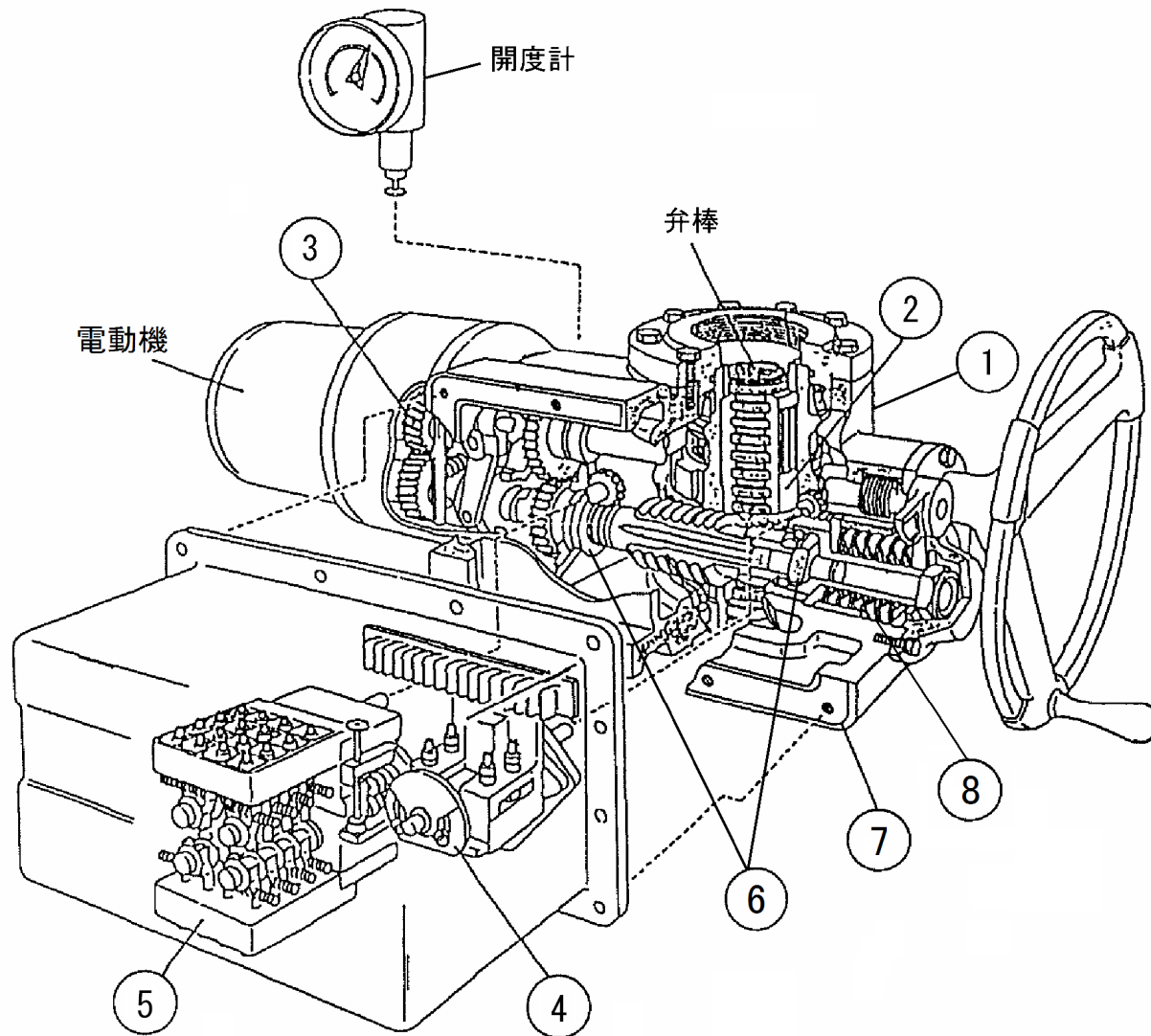


図2. 1-1(2/3) 高浜4号炉 余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁
電動装置（モータ）構造図



No.	部位
①	駆動装置ハウジング
②	ステムナット
③	歯車
④	トルクスイッチ
⑤	リミットスイッチ
⑥	軸受 (ころがり)
⑦	ガスケット
⑧	トルクスプリングパック

図2. 1-1 (3/3) 高浜4号炉 余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁電動装置 (駆動装置) 構造概念図

表2.1-1 高浜4号炉 余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁電動装置
主要部位の使用材料

部位		材料
モータ 組立部品	フレーム	鋳鉄
	固定子コア	珪素鋼板
	固定子コイル	銅、ポリイミド/ポリアミドイミド (H種絶縁)、エポキシ樹脂
	回転子コア	珪素鋼板
	口出線・接続部品	銅、シリコンゴム (H種絶縁)
	軸受 (ころがり)	消耗品・定期取替品
	ガスケット	消耗品・定期取替品
駆動装置 組立部品	駆動装置ハウジング	鋳鉄
	ステムナット	銅合金鋳物
	歯車	低合金鋼、銅合金鋳物
	トルクスイッチ	消耗品・定期取替品
	トルクスプリングパック	消耗品・定期取替品
	リミットスイッチ	消耗品・定期取替品
	軸受 (ころがり)	軸受鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
支持部品	取付ボルト	低合金鋼

表2.1-2 高浜4号炉 余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁電動装置の使用条件

	通常運転時	設計基準事故時
定格出力	7.9kW	
定格電圧	AC440V	
周囲温度	約36℃*1	約125℃ (最高温度)
圧力	約0.0098MPa [gage] 以下	約0.25MPa [gage] (最高圧力)
放射線	0.1696Gy/h*2	675kGy (最大集積線量)

*1：通常運転時の原子炉格納容器ループ室内弁電動装置周囲の平均温度の最大実測値

*2：通常運転時の原子炉格納容器ループ室内弁電動装置周囲の平均線量率の最大実測値

2.1.2 タービン動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁電動装置

(1) 構造

高浜4号炉のタービン動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁電動装置はSMB-00型で1台設置されている。

電動装置は、モータ（直流モータ）および歯車等を内蔵した駆動装置で構成されており、モータの回転力を歯車（ギア）を介して、ステムナット、弁棒に伝達し、弁を駆動させる構造としている。

高浜4号炉のタービン動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁電動装置の構造図および構造概念図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉のタービン動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁電動装置の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。

No.	部位
①	取付ボルト

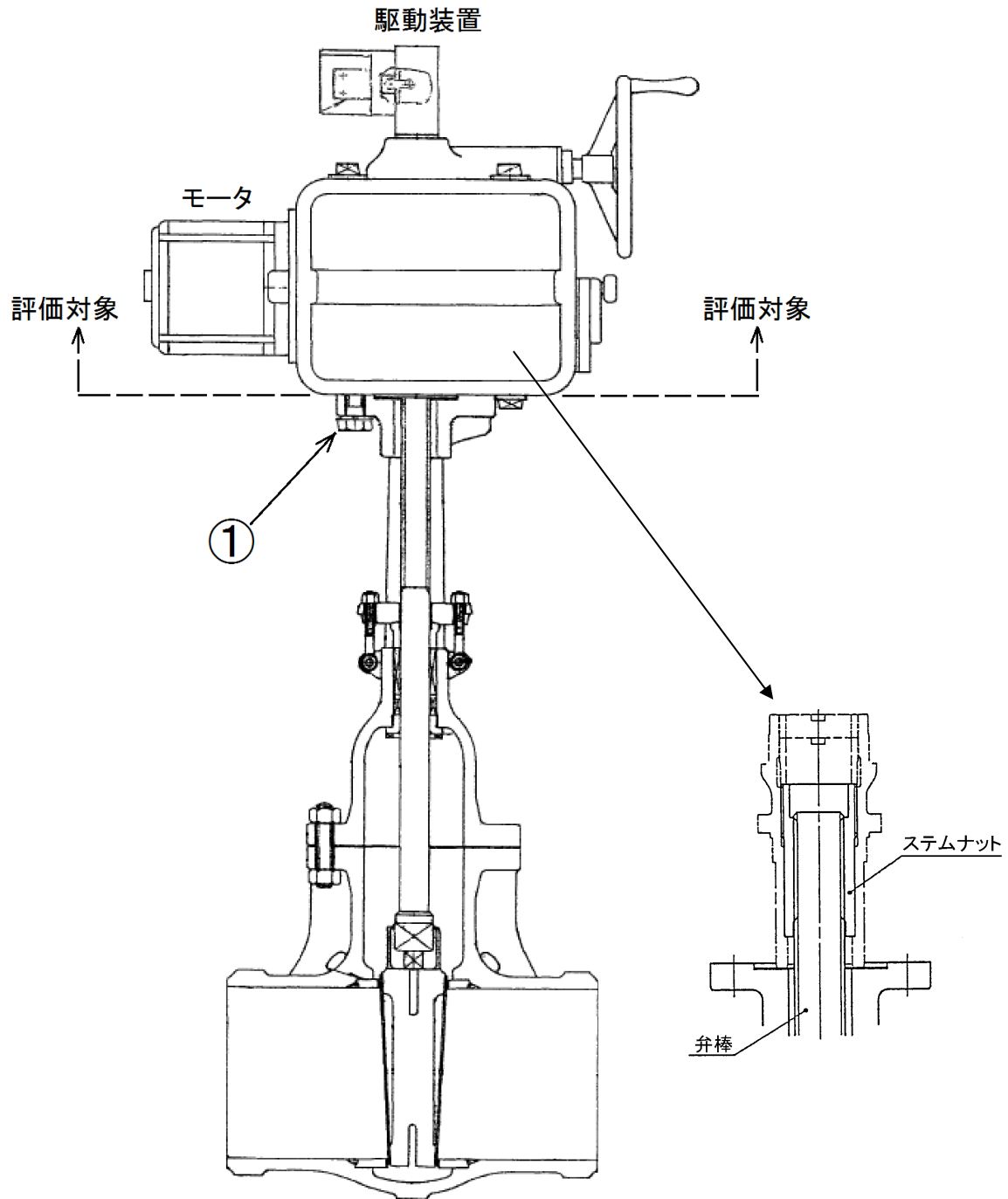
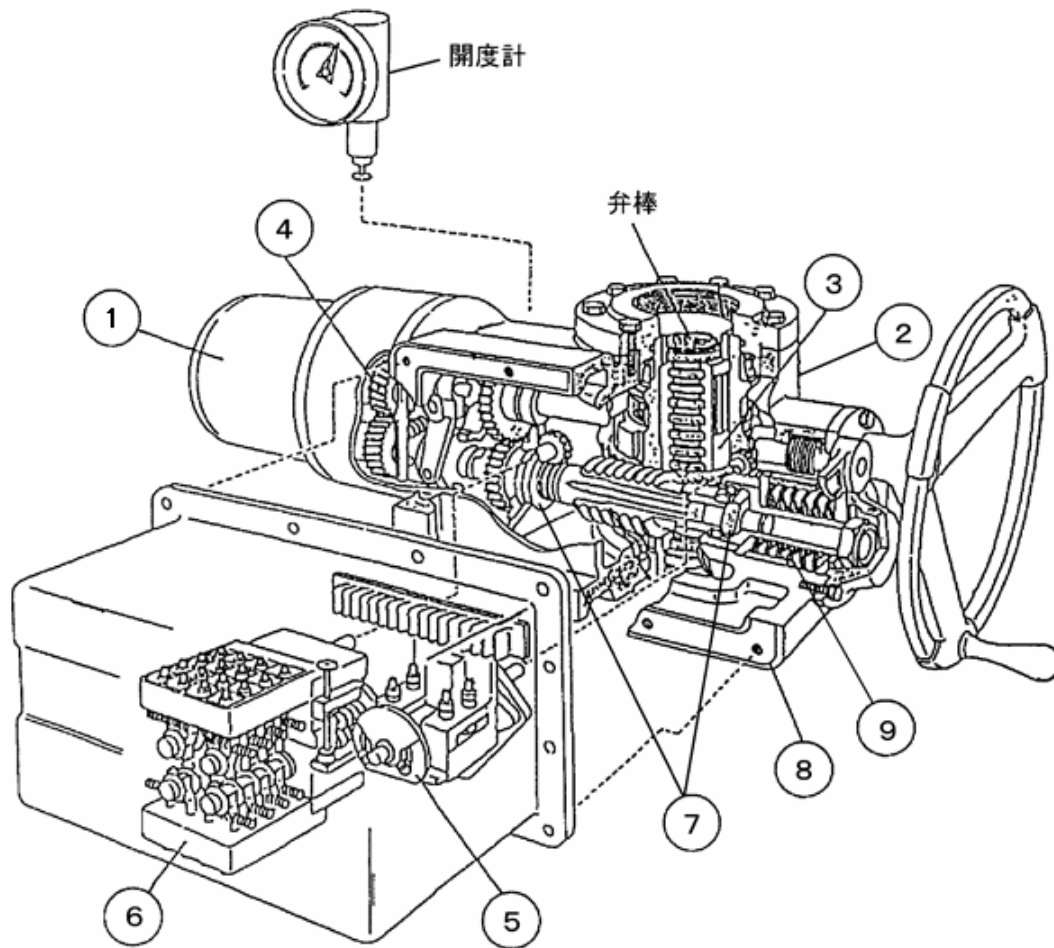


図2.1-2(1/2) 高浜4号炉 タービン動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁
電動装置構造図



No.	部位
①	直流モータ
②	駆動装置ハウジング
③	ステムナット
④	歯車
⑤	トルクスイッチ
⑥	リミットスイッチ
⑦	軸受 (ころがり)
⑧	ガスケット
⑨	トルクスプリングパック

図2.1-2(2/2) 高浜4号炉 タービン動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁電動装置(駆動装置)構造概念図

表2.1-3 高浜4号炉 タービン動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁電動装置
主要部位の使用材料

部位		材料
モータ 組立部品	直流モータ	消耗品・定期取替品
駆動装置 組立部品	駆動装置ハウジング	鋳鉄
	ステムナット	銅合金鋳物
	歯車	低合金鋼、銅合金鋳物
	トルクスイッチ	消耗品・定期取替品
	トルクスプリングパック	消耗品・定期取替品
	リミットスイッチ	消耗品・定期取替品
	軸受（ころがり）	軸受鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
支持部品	取付ボルト	炭素鋼

表2.1-4 高浜4号炉 タービン動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁電動装置の使用条件

定格出力	0.5kW
定格電圧	DC125V
周囲温度	約40℃*1

*1：通年の最高温度を考慮した雰囲気温度

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

電動装置の機能である弁棒作動機能を維持するためには、次の2つの項目が必要である。

- ① 弁棒作動機能の確保
- ② 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

電動装置個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験を考慮し、代表機器ごとに表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては、以下の事象がある。

- (1) 固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下 [余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁電動装置]

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) フレーム [余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁電動装置] および駆動装置ハウジング [共通] の腐食（全面腐食）

フレームおよび駆動装置ハウジングは鋳鉄であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、分解点検時の目視確認で塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) ステムナットの摩耗 [共通]

ステムナットは弁棒との嵌合による摺動部があり、弁の開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、動作確認および自動診断装置による機能試験により摩耗の進展傾向を確認することで、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 歯車および駆動装置組立部品の軸受（ころがり）の摩耗 [共通]

歯車および駆動装置組立部品の軸受（ころがり）は、弁の開閉に伴う摺動により摩耗が想定される。

しかしながら、潤滑油により摩耗を防止しており、摩耗が発生しがたい環境にある。

また、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器点検時の動作確認により、機器の健全性を確認している。

(4) 取付ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

取付ボルトは低合金鋼または炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(5) モータ（交流モータ）の固定子コアおよび回転子コアの腐食（全面腐食） [余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁電動装置]

固定子コアおよび回転子コアは珪素鋼板であり、腐食が想定される。

しかしながら、固定子コアおよび回転子コアはエポキシモールド等により腐食を防止している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

交流モータ組立部品の軸受（ころがり）およびガスケットは分解点検時に取替える消耗品、直流モータ、トルクスイッチ、トルクスプリングパックおよびリミットスイッチは定期取替品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/2) 高浜4号炉 余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁電動装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象									備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	信号	材質	その他		
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化	材質劣化			
弁棒作動機能の確保	モータ組立部品	フレーム	鋳鉄		△									
		固定子コア	珪素鋼板		▲									
		固定子コイル	銅、ポリイミド/ポリアミドイミド、エポキシ樹脂					○						
		回転子コア	珪素鋼板		▲									
		口出線・接続部品	銅、シリコーンゴム					○						
		軸受（ころがり）	◎	－										
		ガスケット	◎	－										
	駆動装置組立部品	駆動装置ハウジング		鋳鉄		△								
		ステムナット		銅合金鋳物	△									
		歯車		低合金鋼、銅合金鋳物	△									
		トルクスイッチ	◎	－										
		トルクスプリングパック	◎	－										
		リミットスイッチ	◎	－										
		軸受（ころがり）		軸受鋼	△									
ガスケット	◎	－												
機器の支持	取付ボルト		低合金鋼		△									

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(2/2) 高浜4号炉 タービン動補助給水ポンプ復水タンク側入口弁電動装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象									備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	信号	材質	その他		
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化	材質劣化			
弁棒作動機能の確保	モータ組立部品	直流モータ	◎	—										
	駆動装置組立部品	駆動装置ハウジング		鋳鉄		△								
		ステムナット		銅合金鋳物	△									
		歯車		低合金鋼、銅合金鋳物	△									
		トルクスイッチ	◎	—										
		トルクスプリングバック	◎	—										
		リミットスイッチ	◎	—										
		軸受（ころがり）		軸受鋼	△									
		ガスケット	◎	—										
機器の支持	取付ボルト		炭素鋼		△									

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下 [余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁電動装置]

a. 事象の説明

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電気的および環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

事故時雰囲気内で機能要求がある余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁電動装置については、絶縁物の温度、放射線、機械的および設計基準事故時雰囲気による劣化を考慮した評価を、実機同等品による長期健全性試験において、判定基準を除き、IEEE Std.382-1996「IEEE Standard for Qualification of Actuators for Power-Operated Valve Assemblies With Safety-Related Functions for Nuclear Power Plants」（以下「IEEE Std.382-1996」という。）の規格に準じて実施しており、この結果に基づき長期間の健全性を評価した。

図2.3-1に長期健全性試験手順を、表2.3-1に長期健全性試験条件を示す。試験条件は、電動装置の絶縁物の60年間の運転期間を想定した温度、放射線および機械的劣化条件を包絡している。

試験結果は、表2.3-2に示す通り判定基準を満足しており、60年間の通常運転後においても、絶縁機能を維持できると判断する。

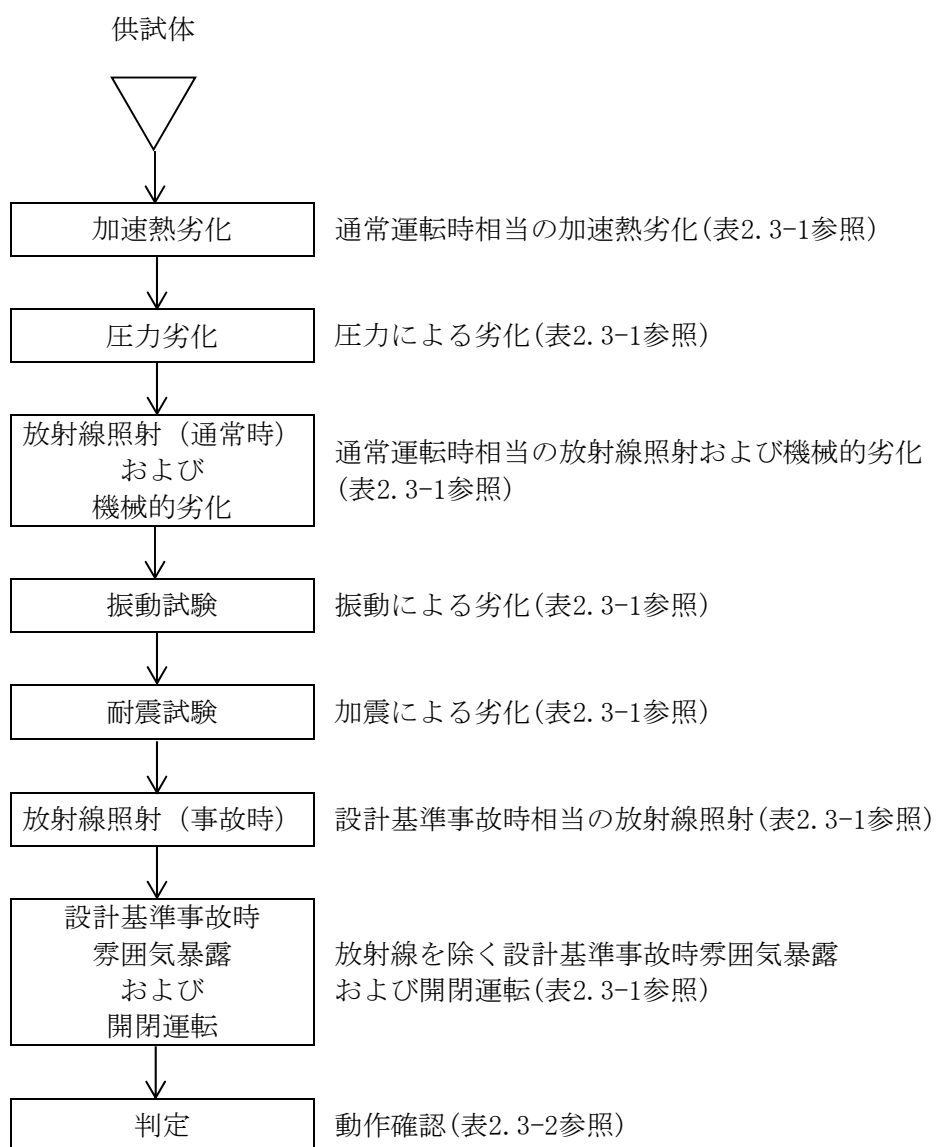


図2.3-1 余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁電動装置の長期健全性試験手順

表2.3-1 余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁電動装置の絶縁低下に関する長期健全性試験条件*1

	試験条件	妥当性説明
加速熱劣化	130℃×475時間*3 および 115℃×139時間*4	高浜4号炉の原子炉格納容器内の環境条件に余裕をみた温度(75℃)で、60年間運転を包絡している。
圧力劣化	0.45MPa×3分×23回	高浜4号炉の60年間運転を包絡している。
放射線照射 (通常時) および 機械的劣化	放射線照射量：500kGy (10kGy/h以下) 機械劣化：3,000回開閉操作	高浜4号炉の60年間の通常時線量90kGy*2を包絡している。 高浜4号炉の60年間の動作回数(約1,000回)を包絡している。
振動試験	0.75G-5~100~5Hz×135分	IEEE Std. 382-1996に基づく。
耐震試験	加振波形：正弦波 加速度：水平方向6G 鉛直方向6G	「日本電気協会 原子力発電所耐震設計技術指針追補版 (JEAG 4601-1991)」に基づく。
放射線照射 (事故時)	放射線照射量：1,500kGy (10kGy/h以下)	高浜4号炉の設計基準事故時線量675kGyを包絡している。
設計基準事故時 雰囲気暴露 および 開閉運転	温度：最高温度190℃ 圧力：最高圧力0.41MPa 時間：360時間 開閉往復運動回数：13回	高浜4号炉の設計基準事故時の最高圧力、最高温度を包絡している。 IEEE Std. 382-1996に基づく。

*1：電磁ブレーキ付き交流モータの電動装置で実施

*2：原子炉格納容器内の空間線量率0.1696Gy/h×(24h×365.25日×60年)=90kGy

*3：モータ単体での加速熱劣化試験条件

*4：モータ等を組み込んだ弁電動装置一式での加速熱劣化試験条件

表2.3-2 余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁電動装置の長期健全性試験結果

項目	判定 (メーカー基準)
動作確認	良

② 現状保全

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることの確認を行っている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

3. 代表機器以外への展開

本章では、2章で実施した代表機器の技術評価について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定しているが、直流モータに特有の経年劣化事象については、代表機器と同様、直流モータが定期取替品であることから、本評価書には含んでいない。

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 モータ(交流モータ)の固定子コイル、口出線・接続部品[交流モータの弁電動装置共通]および電磁ブレーキ[電磁ブレーキ付き交流モータの弁電動装置共通]の絶縁低下

原子炉格納容器内の設計基準事故時雰囲気内等で機能要求がある弁電動装置の固定子コイルおよび口出線・接続部品については、代表機器と同様な仕様、構造および使用条件であり、健全性評価結果から判断して、絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。また、電磁ブレーキの絶縁物は交流モータの固定子コイルと同じ絶縁物を使用しており、健全性評価結果から判断して、絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

原子炉格納容器外の設計基準事故時雰囲気内で機能要求がある弁電動装置の固定子コイルおよび口出線・接続部品については、代表機器同様に、判定基準を除きIEEE Std. 382-1996の規格に準じて実施した実機相当品による長期健全性試験結果を用いて評価した結果、60年間の運転期間および設計基準事故後においても絶縁機能を維持できると判断する。

事故時雰囲気内で機能要求がない弁電動装置については、密閉構造であり塵埃および湿分が付着しにくい環境にある。また、連続運転ではなく間欠的に作動するもので、弁開閉にともなう作動時間も数十秒程度と短いことから、コイルの発熱による温度上昇は小さいと考える。さらに、固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁は使用温度に比べて、十分余裕のある絶縁種(最高許容温度 B種: 130℃、H種: 180℃、E種: 120℃)を選択して使用していることから、絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下が生じる可能性は否定できない。

絶縁低下は、絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、固定子コイル、口出線・接続部品および電磁ブレーキの絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

3.2.1 フレームおよび駆動装置ハウジングの腐食（全面腐食） [共通]

フレームおよび駆動装置ハウジングは鋳鉄等であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、分解点検時の目視確認で塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.2 ステムナットおよびドライブスリーブの摩耗 [ステムナットまたはドライブスリーブのある弁電動装置共通]

ステムナットおよびドライブスリーブは弁棒との嵌合による摺動部があり、弁の開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、ステムナットについては、動作確認および自動診断装置による機能試験により摩耗の進展傾向を確認することで、機器の健全性を維持している。

また、ドライブスリーブについては、潤滑油により摩耗を防止するとともに、動作確認により機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.3 歯車および駆動装置組立部品の軸受（ころがり）の摩耗 [共通]

歯車および駆動装置組立部品の軸受（ころがり）は、弁の開閉に伴う摺動により摩耗が想定される。

しかしながら、潤滑油により摩耗を防止しており、摩耗が発生しがたい環境にある。

また、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器点検時の動作確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.4 取付ボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕

取付ボルトは低合金鋼または炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.3 2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

3.2.5 モータ（交流モータ）の固定子コアおよび回転子コアの腐食（全面腐食）〔交流モータの弁電動装置共通〕

固定子コアおよび回転子コアは珪素鋼板であり、腐食が想定される。

しかしながら、固定子コアおよび回転子コアはエポキシモールド等により腐食を防止している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.6 電磁ブレーキのライニングのはく離〔電磁ブレーキ付きモータの弁電動装置共通〕

2008年7月、敦賀2号炉のタービン動補助給水ポンプ起動入口弁の直流モータ用電磁ブレーキにおいて、電磁ブレーキのライニングのはく離が発生しているが、この事象は、当該弁が外気の影響を受ける高湿度エリアに設置されていたことに伴い発生した結露水がライニングの接着面に浸透し、接着力を低下させたものである。

高浜4号炉の弁電動装置は高湿度環境にはなく、結露水が発生しやすい環境にないことから、はく離の可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2 空気作動装置

[対象機器]

- ① 1次冷却系統空気作動弁
- ② 化学体積制御系統空気作動弁
- ③ 安全注入系統空気作動弁
- ④ 余熱除去系統空気作動弁
- ⑤ 1次系試料採取系統空気作動弁
- ⑥ 主蒸気系統空気作動弁
- ⑦ 補助給水系統空気作動弁
- ⑧ 蒸気発生器ブローダウン系統空気作動弁
- ⑨ 換気空調系統空気作動弁
- ⑩ 液体廃棄物処理系統空気作動弁
- ⑪ 非常用ディーゼル発電設備空気作動弁
- ⑫ 消火水系統空気作動弁
- ⑬ ポンプタービン駆動蒸気系統空気作動弁
- ⑭ 炭酸ガス系統空気作動弁
- ⑮ 原子炉補機冷却水系統空気作動弁
- ⑯ 燃料ピット冷却系統空気作動弁

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料および使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	10
3. 代表機器以外への展開	17
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	17

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜 4 号炉で使用されている弁を駆動する空気作動装置の主な仕様を表1-1に示す。

これらの空気作動装置を型式および設置場所の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

空気作動装置は、ダイヤフラム型とシリンダ型に分かれるが、いずれもダイヤフラムまたはシリンダとばねから成る駆動部と付属品の組み合わせにより構成されている。使用されている各構成部位は空気作動装置の仕様に依存せず、構造、材料等が同等であることから、空気作動装置の経年劣化に対する健全性評価はいずれの仕様においても同等として評価する。

したがって、表1-1に示す空気作動装置について、型式および設置場所を分離基準として考えると、合計 2 個のグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 型式：ダイヤフラム型、設置場所：屋内

ダイヤフラム型で屋内設置の空気作動装置の中から、弁本体が大口径で大きな駆動力を必要とする主蒸気逃がし弁の空気作動装置を代表機器とする。

(2) 型式：シリンダ型、設置場所：屋内

シリンダ型で屋内設置の空気作動装置の中から、弁本体が大口径で大きな駆動力を必要とし、かつ主要構成部位が多い主蒸気隔離弁の空気作動装置を代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 空気作動装置の主な仕様

分離基準		台数	仕様	選定基準		選定	代表弁	選定理由
型式	設置場所			口径 (B)	重要度*1			
空気作動弁用 ダイヤフラム型 空気作動装置	屋内	82	連続制御 ON-OFF制御	3/8~6	MS-1、MS-2、重*2	◎	主蒸気逃がし弁 (連続制御、6B)	口径
空気作動弁用 シリンダ型 空気作動装置	屋内	39	連続制御 ON-OFF制御	3/8~48	MS-1、MS-2、重*2	◎	主蒸気隔離弁 (ON-OFF制御、30B)	口径、 主要構成部位

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の2種類の空気作動装置について技術評価を実施する。

- ① 主蒸気逃がし弁空気作動装置
- ② 主蒸気隔離弁空気作動装置

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 主蒸気逃がし弁空気作動装置

(1) 構造

高浜4号炉の主蒸気逃がし弁空気作動装置はダイヤフラム型空気作動装置であり、3台設置されている。

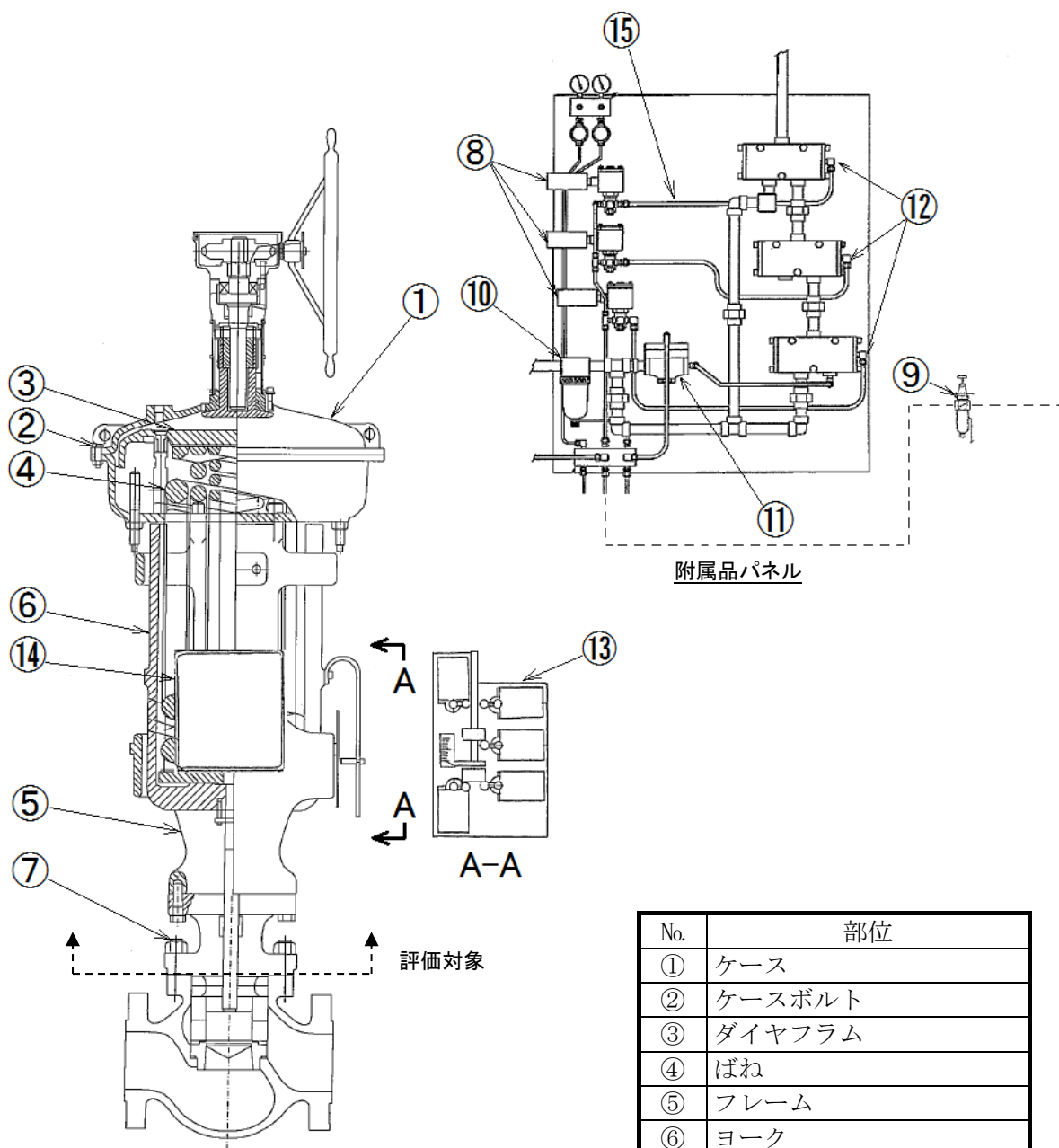
ダイヤフラム型空気作動装置は、ばね復帰型の空気操作ダイヤフラム、電磁弁、フィルター付減圧弁、リミットスイッチ等で構成されており、空気圧によりダイヤフラムを加圧することで、弁を駆動させる構造としている。

駆動用の空気には、乾燥された制御用空気を用いている。

高浜4号炉の主蒸気逃がし弁空気作動装置の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の主蒸気逃がし弁空気作動装置の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	ケース
②	ケースボルト
③	ダイヤフラム
④	ばね
⑤	フレーム
⑥	ヨーク
⑦	取付ボルト
⑧	電磁弁
⑨	フィルター付減圧弁
⑩	エアフィルター
⑪	ブースターリレー
⑫	スプール弁
⑬	リミットスイッチ
⑭	ポジショナー
⑮	銅管および継手

図2.1-1 高浜4号炉 主蒸気逃がし弁空気作動装置構造図

表2. 1-1 高浜 4 号炉 主蒸気逃がし弁空気作動装置主要部位の使用材料

部位		材料
耐圧組立品	ケース	炭素鋼鋳鋼
	ケースボルト	低合金鋼
	ダイヤフラム	消耗品・定期取替品
駆動力伝達部品	ばね	ばね鋼
	フレーム	炭素鋼鋳鋼
	ヨーク	炭素鋼鋳鋼
付属品	電磁弁	消耗品・定期取替品
	フィルター付減圧弁	銅合金、フィルター、合成ゴム
	エアフィルター	ステンレス鋼鋳鋼、フィルター、合成ゴム
	ブースターリレー	消耗品・定期取替品
	スプール弁	消耗品・定期取替品
	リミットスイッチ	消耗品・定期取替品
	ポジショナー	アルミニウム合金、炭素鋼
	銅管および継手	銅合金
支持部品	取付ボルト	低合金鋼、炭素鋼

表2. 1-2 高浜 4 号炉 主蒸気逃がし弁空気作動装置の使用条件

空気圧力	約0. 7MPa
定格電圧 (電磁弁電源)	DC125V
周囲温度	約28℃*1

*1：MS区画（主蒸気・主給水管室）の平均温度

2.1.2 主蒸気隔離弁空気作動装置

(1) 構造

高浜4号炉の主蒸気隔離弁空気作動装置はシリンダ型空気作動装置であり、3台設置されている。

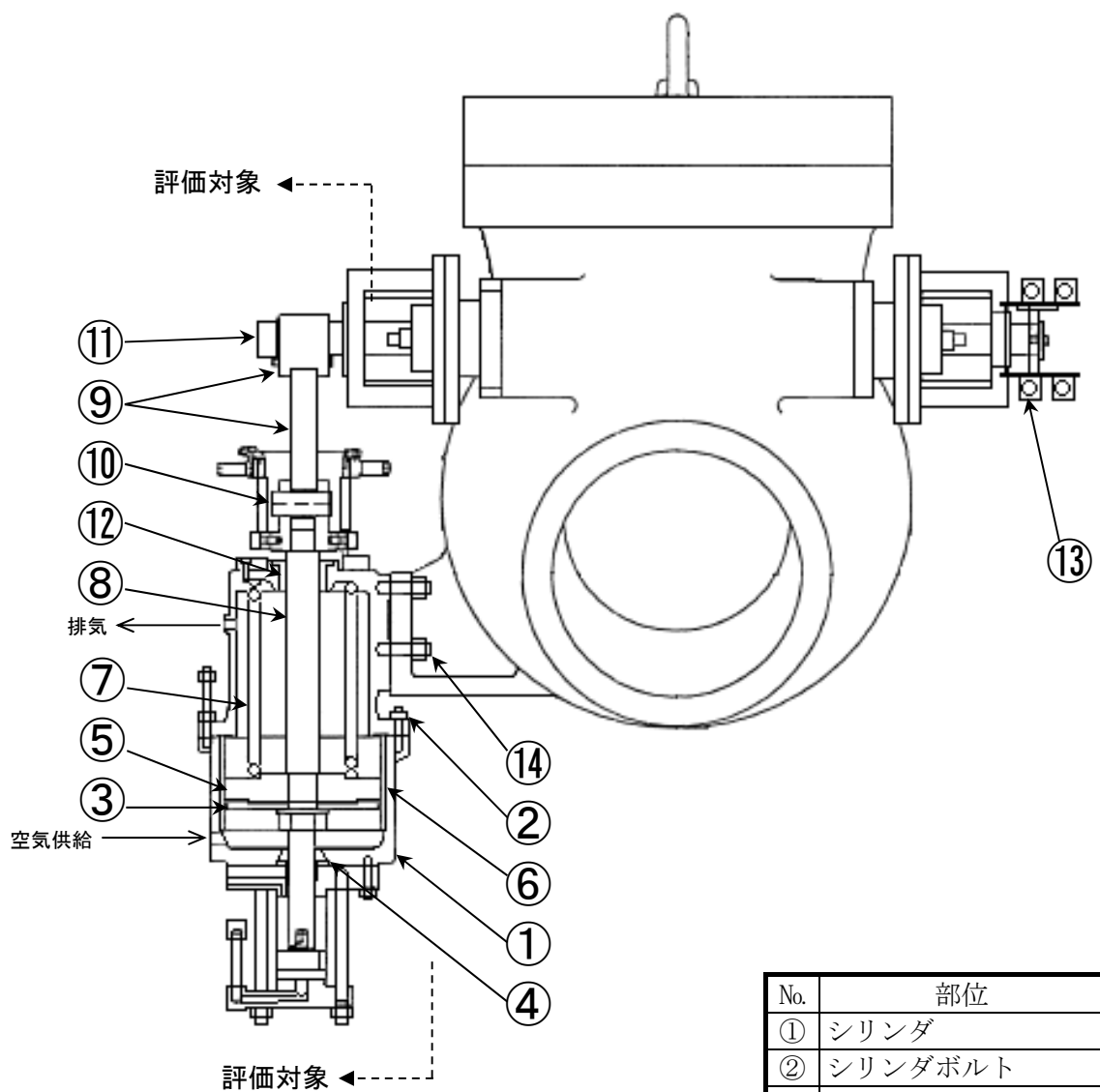
シリンダ型空気作動装置は、ばね復帰型の空気操作シリンダ、電磁弁、リミットスイッチ等で構成されており、空気圧によりシリンダを加圧することで、弁を駆動させる構造としている。

駆動用の空気には、乾燥された制御用空気を用いている。

高浜4号炉の主蒸気隔離弁空気作動装置の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の主蒸気隔離弁空気作動装置の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



No.	部位
①	シリンダ
②	シリンダボルト
③	パッキン
④	Oリング
⑤	ピストン
⑥	ピストンガイド
⑦	ばね
⑧	ピストンロッド
⑨	レバー
⑩	ピン
⑪	ナット
⑫	ブッシュ
⑬	リミットスイッチ
⑭	取付ボルト

図2. 1-2 (1/2) 高浜4号炉 主蒸気隔離弁空気作動装置構造図

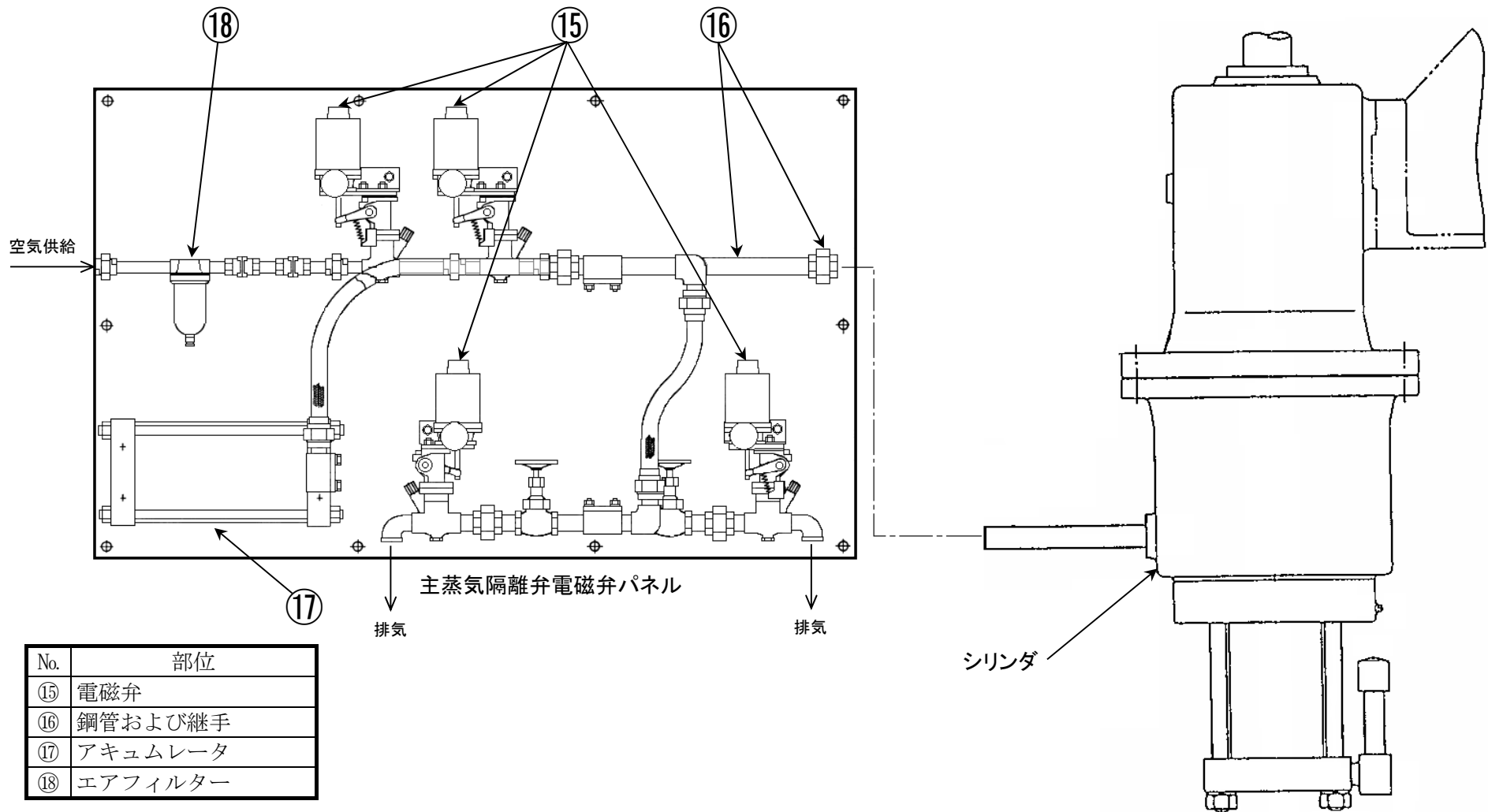


図2. 1-2 (2/2) 高浜4号炉 主蒸気隔離弁空気作動装置構造図

表2.1-3 高浜4号炉 主蒸気隔離弁空気作動装置主要部位の使用材料

部位		材料
耐圧組立品	シリンダ	炭素鋼・鋳鋼
	シリンダボルト	低合金鋼、炭素鋼
	パッキン	消耗品・定期取替品
	Oリング	消耗品・定期取替品
駆動力伝達部品	ピストン	炭素鋼
	ピストンガイド	炭素鋼
	ばね	ばね鋼
	ピストンロッド	炭素鋼
	レバー	炭素鋼
	ピン	ステンレス鋼
	ナット	炭素鋼
	ブッシュ	消耗品・定期取替品
付属品	リミットスイッチ	消耗品・定期取替品
	電磁弁	消耗品・定期取替品
	鋼管および継手	炭素鋼
	アキュムレータ	炭素鋼
	エアフィルター	アルミニウム合金、フィルター、合成ゴム
支持部品	取付ボルト	低合金鋼、炭素鋼

表2.1-4 高浜4号炉 主蒸気隔離弁空気作動装置の使用条件

空気圧力	約0.7MPa
定格電圧 (電磁弁電源)	DC125V
周囲温度	約28℃*1

*1：MS区画（主蒸気・主給水管室）の平均温度

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

空気作動装置の機能である弁棒作動機能を維持するためには、次の2つの項目が必要である。

- ① 弁棒作動機能の確保
- ② 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

空気作動装置個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（温度等）および現在までの運転経験を考慮し、代表機器ごとに表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

- (1) ケース、フレーム、ヨーク〔主蒸気逃がし弁空気作動装置〕、シリンダ、レバー、鋼管および継手、アキュムレータ〔主蒸気隔離弁空気作動装置〕の外面からの腐食（全面腐食）

ケース、フレーム、ヨーク、シリンダ、レバー、鋼管、継手およびアキュムレータは炭素鋼または炭素鋼鋳鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (2) ケースボルト〔主蒸気逃がし弁空気作動装置〕、シリンダボルト、ナット〔主蒸気隔離弁空気作動装置〕および取付ボルト〔共通〕の腐食（全面腐食）

ケースボルト、シリンダボルト、ナットおよび取付ボルトは低合金鋼または炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時にボルト・ナットの手入れを行い、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) ポジショナーの摩耗 [主蒸気逃がし弁空気作動装置]

ポジショナーは弁の開閉に伴う作動により、パイロットバルブ等の摩耗が想定される。

しかしながら、空気作動弁はON-OFF制御の場合は作動頻度が少なく、連続制御の場合も弁開度はほぼ一定であり、弁の動きはゆるやかで開弁の程度も小さい。

また、ポジショナーは数十万回の作動試験を行い、耐久性を確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器点検時の特性試験により、機器の健全性を確認している。

(4) 銅管および継手の疲労割れ [主蒸気逃がし弁空気作動装置]

銅管および継手は弁開閉時の振動および配管振動により、疲労割れが想定される。

しかしながら、銅管および継手は設計時に振動による影響を考慮している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(5) ピストンとピストンガイド、ピストンロッドとブッシュ、レバーとピンの摩耗
[主蒸気隔離弁空気作動装置]

ピストンとピストンガイド、ピストンロッドとブッシュ、レバーとピンは開閉作動による摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、ピストンとピストンガイドの間にはクリアランスがあり実際には接触しておらず、ピストンとパッキン押え板により固定されたゴム製のパッキンがピストンガイドに接触するようにしているため、ピストンやピストンガイドに摩耗が発生することはない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

同様に、ピストンロッドとブッシュについては硬度差を設けてピストンロッドの摩耗を防止している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

さらに、レバーとピンの摺動部には銅合金製のブッシュを設け、硬度差を設けてレバーとピンの摩耗を防止しており、主蒸気隔離弁の動作頻度は年に数回と少ない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、ピストン、ピストンロッド、レバーおよびピンは、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) ばねの変形（応力緩和） [共通]

ばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

- (7) ケース〔主蒸気逃がし弁空気作動装置〕、シリンダ、鋼管および継手、アキュムレータ〔主蒸気隔離弁空気作動装置〕の内面からの腐食（全面腐食）

ケース、シリンダ、鋼管、継手およびアキュムレータは炭素鋼または炭素鋼鋳鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、内面については、内部流体が制御用空気であり、清浄な乾燥空気雰囲気であるため、腐食が発生しがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (8) ヨーク（弁棒接続部）の摩耗〔主蒸気逃がし弁空気作動装置〕

ヨーク（弁棒接続部）は、弁の開閉動作に伴う摩耗が想定される。

しかしながら、弁棒はヨーク（弁棒接続部）にねじ込みキャップスクリューで固定する構造としており、接続部のゆるみ等によって摩耗が発生する可能性はないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

パッキン、Oリング、フィルター付減圧弁のフィルターおよびエアフィルターのフィルターは分解点検時に取替える消耗品である。また、ダイヤフラム、リミットスイッチ、電磁弁、ブースターリレーおよびスプール弁は定期取替品であるため、長期間使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

ブッシュは分解点検時の目視確認や寸法計測の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/2) 高浜4号炉 主蒸気逃がし弁空気作動装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	信号	材質		その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化	材質劣化		
弁棒作動機能の確保	ケース		炭素鋼鋳鋼		△*1 ▲*2								*1：外面からの腐食 *2：内面からの腐食 *3：変形(応力緩和) *4：弁棒接続部の摩耗
	ケースボルト		低合金鋼		△								
	ダイヤフラム	◎	—										
	ばね		ばね鋼									△*3	
	フレーム		炭素鋼鋳鋼		△								
	ヨーク		炭素鋼鋳鋼		▲*4 △								
	電磁弁	◎	—										
	フィルター付減圧弁		銅合金、合成ゴム										
	フィルター	◎	—										
	エアフィルター		ステンレス鋼鋳鋼、合成ゴム										
	フィルター	◎	—										
	プースターリレー	◎	—										
	スプール弁	◎	—										
	リミットスイッチ	◎	—										
ポジショナー		アルミニウム合金、炭素鋼		△									
銅管および継手		銅合金				△							
機器の支持	取付ボルト		低合金鋼、炭素鋼		△								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(2/2) 高浜4号炉 主蒸気隔離弁空気作動装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象									備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	信号	材質	その他	
				摩耗	腐食	疲労 割れ	応力腐 食割れ	絶縁 低下	導通 不良	特性 変化	材質 劣化		
弁棒作動機能 の確保	シリンダ		炭素鋼鋳鋼		△*1 ▲*2								*1：外面からの 腐食 *2：内面からの 腐食 *3：変形（応力 緩和）
	シリンダボルト		低合金鋼、炭素鋼		△								
	パッキン	◎	—										
	Oリング	◎	—										
	ピストン		炭素鋼	△									
	ピストンガイド		炭素鋼	△									
	ばね		ばね鋼								△*3		
	ピストンロッド		炭素鋼	△									
	レバー		炭素鋼	△	△								
	ピン		ステンレス鋼	△									
	ナット		炭素鋼		△								
	ブッシュ	◎	—										
	リミットスイッチ	◎	—										
	電磁弁	◎	—										
	鋼管および継手		炭素鋼		△*1 ▲*2								
	アキュムレータ		炭素鋼		△*1 ▲*2								
	エアフィルター		アルミニウム合金、 合成ゴム										
フィルター	◎	—											
機器の支持	取付ボルト		低合金鋼、炭素鋼		△								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

3. 代表機器以外への展開

本章では、2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

3.1.1 ケース、フレーム、ヨーク、シリンダ、レバー、エアモータ、鋼管および継手、アキュムレータの外面からの腐食（全面腐食）〔炭素鋼のケース、フレーム、ヨーク、シリンダ、レバー、エアモータ、鋼管および継手、アキュムレータを使用している空気作動装置共通〕

炭素鋼のケース、フレーム、ヨーク、シリンダ、レバー、エアモータ、鋼管および継手、アキュムレータは、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.2 ケースボルト、シリンダボルト、ナットおよび取付ボルトの腐食（全面腐食）〔炭素鋼または低合金鋼のケースボルト、シリンダボルト、ナットおよび取付ボルトのある空気作動装置共通〕

低合金鋼または炭素鋼のケースボルト、シリンダボルト、ナットおよび取付ボルトは、腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時にボルト・ナットの手入れを行い、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.3 ポジショナーの摩耗 [ポジショナーのある空気作動装置共通]

ポジショナーは弁の開閉に伴う作動により、パイロットバルブ等の摩耗が想定される。

しかしながら、空気作動弁はON-OFF制御の場合は作動頻度が少なく、連続制御の場合も弁開度はほぼ一定であり、弁の動きはゆるやかで開弁の程度も小さい。

また、ポジショナーは数十万回の作動試験を行い、耐久性を確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器点検時の特性試験により、機器の健全性を確認している。

3.1.4 銅管および継手の疲労割れ [銅管および継手のある空気作動装置共通]

銅管および継手は弁開閉時の振動および配管振動により、疲労割れが想定される。

しかしながら、銅管および継手は設計時に振動による影響を考慮している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.1.5 ピストンとピストンガイドまたはシリンダ、ピストンロッドとブッシュ、レバーとピンの摩耗 [シリンダ型空気作動装置]

ピストンとピストンガイドまたはシリンダ、ピストンロッドとブッシュ、レバーとピンは開閉作動による摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、ピストンとピストンガイドの間にはクリアランスがあり実際には接触しておらず、ピストンとパッキン押え板により固定されたゴム製のパッキンがピストンガイドに接触するようにしているため、ピストンやピストンガイドに摩耗が発生することはない。

ピストンガイドを設置していない機器は、ピストンとシリンダの摺動部に消耗品であるOリングを装着しており、ピストンとシリンダの摺動による摩耗を防止している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

同様に、ピストンロッドとブッシュについては、硬度差を設けてピストンロッドの摩耗を防止しており、ブッシュについては分解点検時に目視により状態を確認し、取替を前提として適切に対処している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

さらに、レバーとピンの摺動部にはベアリングまたはブッシュを設置して摩耗を防止しており、動作頻度は年に数回と少ない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、ピストン、ピストンガイド、シリンダ、ピストンロッド、レバーおよびピンは、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.1.6 ばねの変形（応力緩和） [共通]

ばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

2.2.3 2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

3.1.7 ケース、シリンダ、エアモータ、鋼管および継手、アキュムレータの内面からの腐食（全面腐食） [炭素鋼のケース、シリンダ、エアモータ、鋼管および継手、アキュムレータを使用している空気作動装置共通]

炭素鋼のケース、シリンダ、エアモータ、鋼管および継手、アキュムレータは、腐食が想定される。

しかしながら、内面については、内部流体が制御用空気または窒素ガスであり、清浄な乾燥空気またはガス雰囲気であるため、腐食が発生しがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.8 ヨーク（弁棒接続部）の摩耗 [共通]

ヨーク（弁棒接続部）は、弁の開閉動作に伴う摩耗が想定される。

しかしながら、弁棒はヨーク（弁棒接続部）にねじ込みキャップスクリューで固定する構造、ステムをねじ込んだコネクタにねじ込み固定する構造、あるいは、ステムにねじ込みロックナットで固定する構造としており、接続部のゆるみ等によって摩耗が発生する可能性はないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3 特殊弁

[対象機器]

- 3.1 主蒸気止め弁
- 3.2 蒸気加減弁
- 3.3 インターセプト弁・レヒートストップ弁
- 3.4 タービン動主給水ポンプ蒸気止め弁・蒸気加減弁

3.1 主蒸気止め弁

[対象機器]

- ① 主蒸気止め弁

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 主蒸気止め弁の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	6
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	6

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されている主蒸気止め弁の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 主蒸気止め弁の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件	
		最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (℃)
主蒸気止め弁 (4)	高*2	約7.5	約291

*1：最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が95℃を超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

2. 主蒸気止め弁の技術評価

2.1 構造、材料および使用条件

(1) 構造

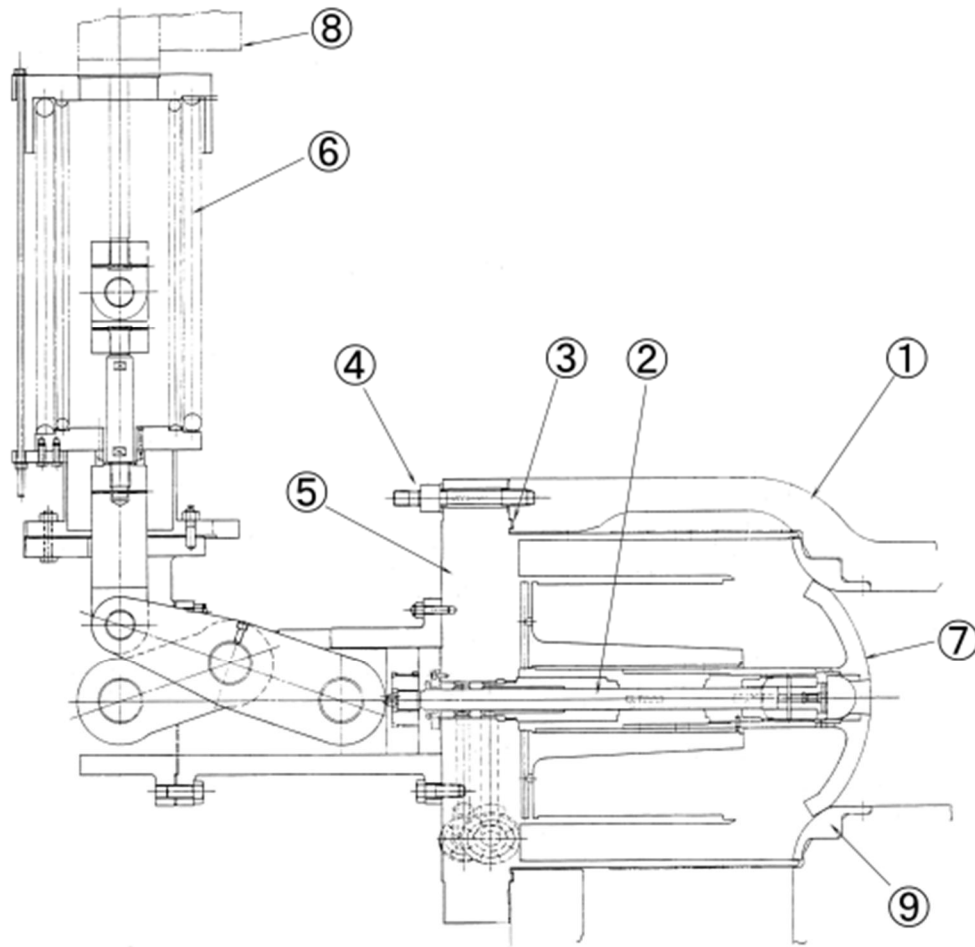
高浜4号炉の主蒸気止め弁は、高圧タービン入口に4台設置されている。

弁箱には炭素鋼鋳鋼、弁蓋には炭素鋼、弁体には耐熱鋼を使用しており、蒸気に接している。

高浜4号炉の主蒸気止め弁の構造図を図2.1-1(1/2)(2/2)に示す。

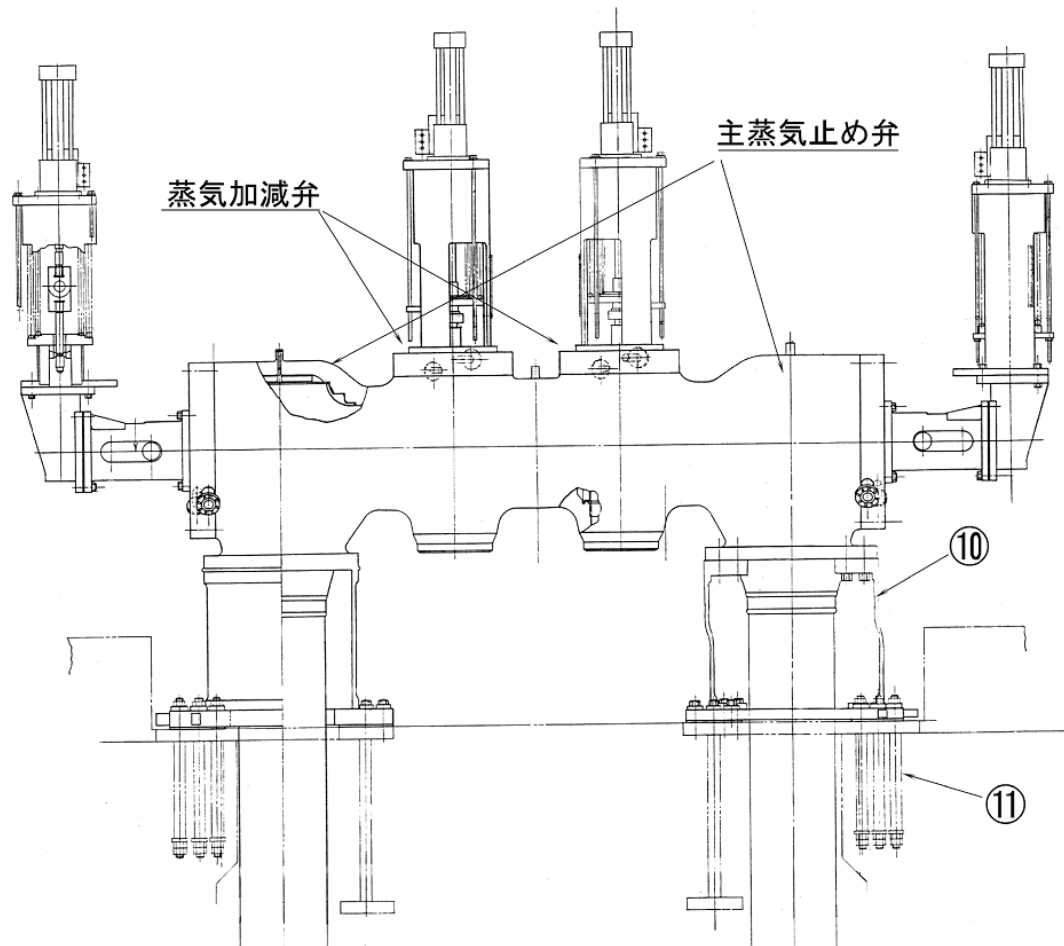
(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の主蒸気止め弁の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁棒
③	ガスケット
④	弁蓋ボルト
⑤	弁蓋
⑥	閉鎖ばね
⑦	弁体
⑧	アクチュエータ
⑨	弁座

図2.1-1(1/2) 高浜4号炉 主蒸気止め弁構造図



No.	部位
⑩	支持脚
⑪	基礎ボルト

図2.1-1(2/2) 高浜4号炉 主蒸気止め弁構造図

表2.1-1 高浜4号炉 主蒸気止め弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁棒	耐熱鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁蓋ボルト	低合金鋼
弁蓋	炭素鋼
閉鎖ばね	ばね鋼
弁体	耐熱鋼
アクチュエータ	ステンレス鋼 耐熱鋼 炭素鋼 鋳鉄
弁座	ステンレス鋼
支持脚	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 主蒸気止め弁の使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa[gage]
最高使用温度	約291℃
内部流体	蒸気

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

主蒸気止め弁の機能である耐圧、開閉および遮断機能を維持するためには、次の4つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持
- ④ 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

主蒸気止め弁について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の材料、構造、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食および弁棒のエロージョン）

弁箱および弁蓋は炭素鋼、炭素鋼であり、内部流体が蒸気であるため、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

また、弁棒の高減圧部では、エロージョンにより減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 支持脚の腐食（全面腐食）

支持脚は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 弁体および弁座シート面の摩耗

弁体および弁座シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、アクチュエータのダッシュポット部で減速し衝撃力を和らげており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(4) 弁箱、弁蓋およびアクチュエータの外表面からの腐食（全面腐食）

弁箱、弁蓋およびアクチュエータは炭素鋼、耐熱鋼、炭素鋼または鋳鉄であり、外表面からの腐食が想定される。

しかしながら、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

(5) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）

弁蓋ボルトは低合金鋼であり、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

(6) 弁体の疲労割れ

弁体の応力集中部においては、急閉時に発生する弁体と弁座との衝突により、材料に疲労が蓄積することから、疲労割れが想定される。

しかしながら、主蒸気止め弁は、アクチュエータで減速し衝撃力を和らげ、発生応力が小さくなる様に設計上の考慮をしている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(7) 弁棒の摩耗

弁棒の摺動部は弁の開閉動作による摩耗が想定される。

しかしながら、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(8) アクチュエータの摩耗

アクチュエータの摺動部は摩耗が想定される。

しかしながら、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(9) 閉鎖ばねの変形（応力緩和）

閉鎖ばねは弁開位置での荷重が加わった状態で長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時等の機能確認により、機器の健全性を確認している。

(10) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットは分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 高浜4号炉 主蒸気止め弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △					*1：流れ加速型腐食 *2：エロージョン *3：変形(応力緩和)	
	弁蓋		炭素鋼		△ ^{*1} △						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		耐熱鋼	△		△					
	弁座		ステンレス鋼	△							
	弁棒		耐熱鋼	△	△ ^{*2}						
	閉鎖ばね		ばね鋼						△ ^{*3}		
	アクチュエータ		ステンレス鋼 炭素鋼 耐熱鋼 鋳鉄	△	△						
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

3.2 蒸気加減弁

[対象機器]

- ① 蒸気加減弁

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 蒸気加減弁の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	5

1. 技術評価対象機器

高浜 4 号炉で使用されている蒸気加減弁の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜 4 号炉 蒸気加減弁の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件	
		最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)
蒸気加減弁 (4)	高*2	約7.5	約291

*1：最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

2. 蒸気加減弁の技術評価

2.1 構造、材料および使用条件

(1) 構造

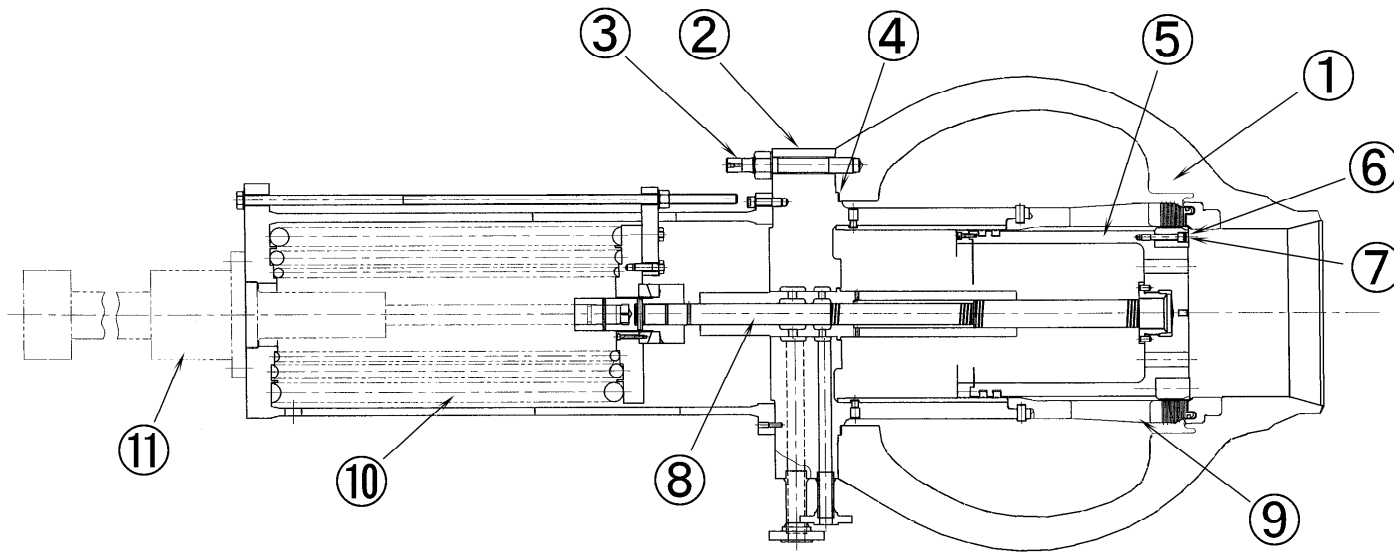
高浜4号炉の蒸気加減弁は、主蒸気止め弁の下流に4台設置されている。

弁箱には炭素鋼鋳鋼および炭素鋼、弁蓋には炭素鋼、主弁には耐熱鋼、弁体には炭素鋼（ステライト肉盛）、マフラにはステンレス鋼を使用しており、蒸気に接している。

高浜4号炉の蒸気加減弁の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の蒸気加減弁の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	弁箱 (弁座と一体)
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	主弁
⑥	弁体
⑦	弁体ボルト
⑧	弁棒
⑨	マフラ
⑩	閉鎖ばね
⑪	アクチュエータ

図2.1-1 高浜4号炉 蒸気加減弁構造図

表2.1-1 高浜4号炉 蒸気加減弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	炭素鋼鑄鋼、炭素鋼（12%クロム鋼肉盛）
弁蓋	炭素鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
主弁	耐熱鋼
弁体	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁体ボルト	耐熱鋼
弁棒	耐熱鋼
マフラ	ステンレス鋼
閉鎖ばね	ばね鋼
アクチュエータ	ステンレス鋼 耐熱鋼 炭素鋼 鋳鉄

表2.1-2 高浜4号炉 蒸気加減弁の使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa[gage]
最高使用温度	約291℃
内部流体	蒸気

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

蒸気加減弁の機能である耐圧、開閉および流量制御機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

蒸気加減弁について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の材料、構造、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食および弁棒のエロージョン）

弁箱は炭素鋼鋳鋼および炭素鋼、弁蓋は炭素鋼であり、内部流体が蒸気であるため、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

また、弁棒の高減圧部では、エロージョンにより減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上注目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 弁体の腐食（流れ加速型腐食）

マフラ穴からの噴流による流れ加速型腐食対策として弁体外周はステライト肉盛を施しているが、ステライト肉盛のない弁体下面については、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時に目視確認および浸透探傷検査を実施し、腐食進行程度の把握を行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 弁体および弁箱弁座部の摩耗

弁体および弁箱弁座部は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、弁体および弁箱弁座部にはそれぞれ耐摩耗性に優れたステライトおよび12%クロム鋼を肉盛しており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(4) 弁箱（弁座と一体）、弁蓋およびアクチュエータの外面からの腐食（全面腐食）

弁箱、弁蓋およびアクチュエータは炭素鋼であり、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認で有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

(5) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）

弁蓋ボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上注目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 弁棒の摩耗

弁棒の摺動部は弁の開閉動作による摩耗が想定される。

しかしながら、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。したがって今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) アクチュエータの摩耗

アクチュエータの摺動部は摩耗が想定される。

しかしながら、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(8) 閉鎖ばねの変形（応力緩和）

閉鎖ばねは弁開位置での荷重が加わった状態で長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時等の機能確認により、機器の健全性を確認している。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(9) 弁体ボルトの応力腐食割れ

弁体ボルトの座面コーナ部およびねじ部の応力集中部は、内部流体によるボルトの応力腐食割れが想定される。

しかしながら、耐応力腐食割れ性に優れた耐熱鋼（高Cr・Mo鋼）であり、これまでに有意な応力腐食割れは認められないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガasketは分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 高浜4号炉 蒸気加減弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		炭素鋼鋳鋼 炭素鋼 (12%クロム鋼肉盛)	△	△*1 △					*1：流れ加速型腐食 *2：エロージョン *3：変形(応力緩和)	
	弁蓋		炭素鋼		△*1 △						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	主弁		耐熱鋼								
	弁体		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△*1						
	弁体ボルト		耐熱鋼				▲				
	弁棒		耐熱鋼	△	△*2						
	マフラ		ステンレス鋼								
	閉鎖ばね		ばね鋼						△*3		
	アクチュエータ		ステンレス鋼 炭素鋼 鋳鉄 耐熱鋼	△	△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

3.3 インターセプト弁・レヒートストップ弁

[対象機器]

- ① インターセプト弁
- ② レヒートストップ弁

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. インターセプト弁の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	5

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されているインターセプト弁およびレヒートストップ弁の主な仕様を表1-1に示す。

インターセプト弁とレヒートストップ弁は同一条件、型式であることから、インターセプト弁を対象機器として技術評価を実施する。

表1-1 高浜4号炉 インターセプト弁およびレヒートストップ弁の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件	
		最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
インターセプト弁 (6)	高*2	約1.4	約291
レヒートストップ弁 (6)	高*2	約1.4	約291

*1：最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

2. インターセプト弁の技術評価

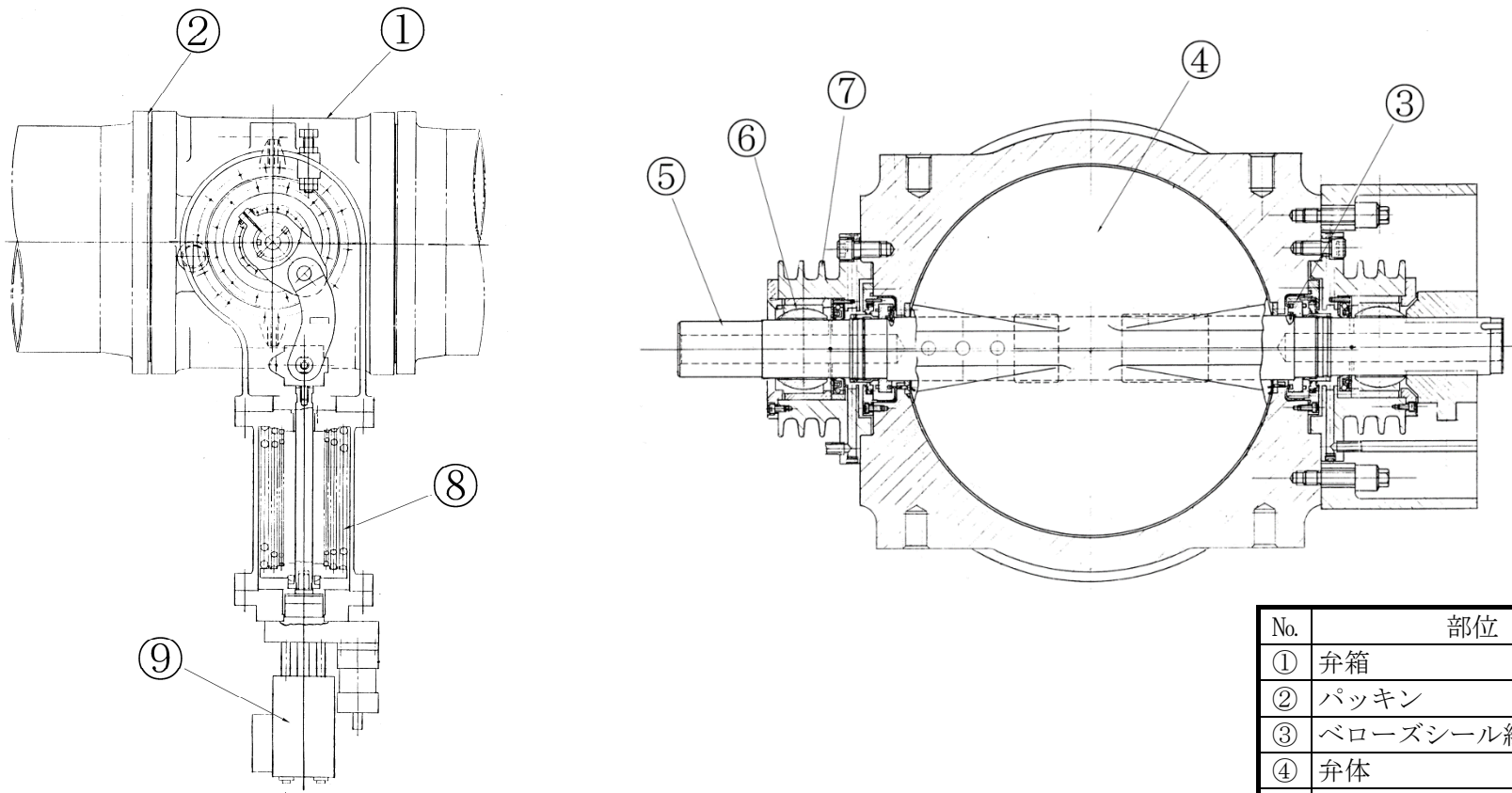
2.1 構造、材料および使用条件

(1) 構造

高浜4号炉のインターセプト弁は、低圧タービン入口に6台設置されている。弁箱には炭素鋼鋳鋼、弁体には低合金鋼を使用しており、蒸気に接している。高浜4号炉のインターセプト弁の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉のインターセプト弁の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	パッキン
③	ベローズシール組立品
④	弁体
⑤	弁棒
⑥	軸受
⑦	軸受サポート
⑧	閉鎖ばね
⑨	アクチュエータ

図2.1-1 高浜4号炉 インターセプト弁構造図

表2.1-1 高浜4号炉 インターセプト弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
パッキン	消耗品・定期取替品
ベローズシール組立品	消耗品・定期取替品
弁体	低合金鋼
弁棒	低合金鋼
軸受	消耗品・定期取替品
軸受サポート	炭素鋼鋳鋼
閉鎖ばね	ばね鋼
アクチュエータ	炭素鋼 鋳鉄 ステンレス鋼 耐熱鋼

表2.1-2 高浜4号炉 インターセプト弁の使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa[gage]
最高使用温度	約291℃
内部流体	蒸気

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

インターセプト弁の機能である耐圧、開閉および流量制御機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

インターセプト弁について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の材料、構造、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象以外）はなかった。

(1) 弁箱の腐食（流れ加速型腐食）

弁箱は炭素鋼鋳鋼であり、内部流体が蒸気であるため、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、蒸気は乾き蒸気であり、これまでに有意な減肉は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(2) 弁箱等の外面からの腐食（全面腐食）

弁箱、軸受サポートおよびアクチュエータは炭素鋼鋳鋼、炭素鋼または耐熱鋼および鋳鉄であり、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(3) 弁棒（軸保持部）の摩耗

弁棒は開閉に伴う軸保持部との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、軸保持部は潤滑性の良いブッシュを使用しており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(4) 弁棒の腐食（全面腐食）

弁棒は低合金鋼であり、弁棒貫通部からの漏えいにより、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、ベローズシールにより内部流体はシールされており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(5) アクチュエータの摩耗

アクチュエータの摺動部は摩耗が想定される。

しかしながら、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(6) 閉鎖ばねの変形（応力緩和）

閉鎖ばねは弁開位置での荷重が加わった状態で長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時等の機能確認により、機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品および定期取替品

パッキンは分解点検時に取替える消耗品であり、ベローズシール組立品および軸受は分解点検時の寸法計測や目視確認等の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 高浜4号炉 インターセプト弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1,*2}					*1：流れ加速型腐食 *2：全面腐食(外面) *3：変形(応力緩和)	
	パッキン	◎	—								
	ベローズシール組立品	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		低合金鋼								
	弁棒		低合金鋼	△	△						
	軸受	◎	—								
	軸受サポート		炭素鋼鋳鋼		△						
	閉鎖ばね		ばね鋼						△ ^{*3}		
	アクチュエータ		炭素鋼 鋳鉄 ステンレス鋼 耐熱鋼	△	△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

3. 4 タービン動主給水ポンプ 蒸気止め弁・蒸気加減弁

[対象機器]

- ① タービン動主給水ポンプ高圧蒸気止め弁・蒸気加減弁
- ② タービン動主給水ポンプ低圧蒸気止め弁・蒸気加減弁

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. タービン動主給水ポンプ蒸気止め弁・蒸気加減弁の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	12

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されているタービン動主給水ポンプ蒸気止め弁・蒸気加減弁の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 タービン動主給水ポンプ蒸気止め弁・蒸気加減弁の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件	
		最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (℃)
タービン動主給水ポンプ 高圧蒸気止め弁 (2)	高*2	約7.5	約291
タービン動主給水ポンプ 高圧蒸気加減弁 (2)	高*2	約7.5	約291
タービン動主給水ポンプ 低圧蒸気止め弁 (2)	高*2	約1.4	約291
タービン動主給水ポンプ 低圧蒸気加減弁 (2)	高*2	約1.4	約291

*1：最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が95℃を超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

2. タービン動主給水ポンプ蒸気止め弁・蒸気加減弁の技術評価

本章では、1章で対象とした以下のタービン動主給水ポンプ蒸気止め弁・蒸気加減弁について技術評価を実施する。

- ① タービン動主給水ポンプ高圧蒸気止め弁・蒸気加減弁
- ② タービン動主給水ポンプ低圧蒸気止め弁・蒸気加減弁

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 タービン動主給水ポンプ高圧蒸気止め弁・蒸気加減弁

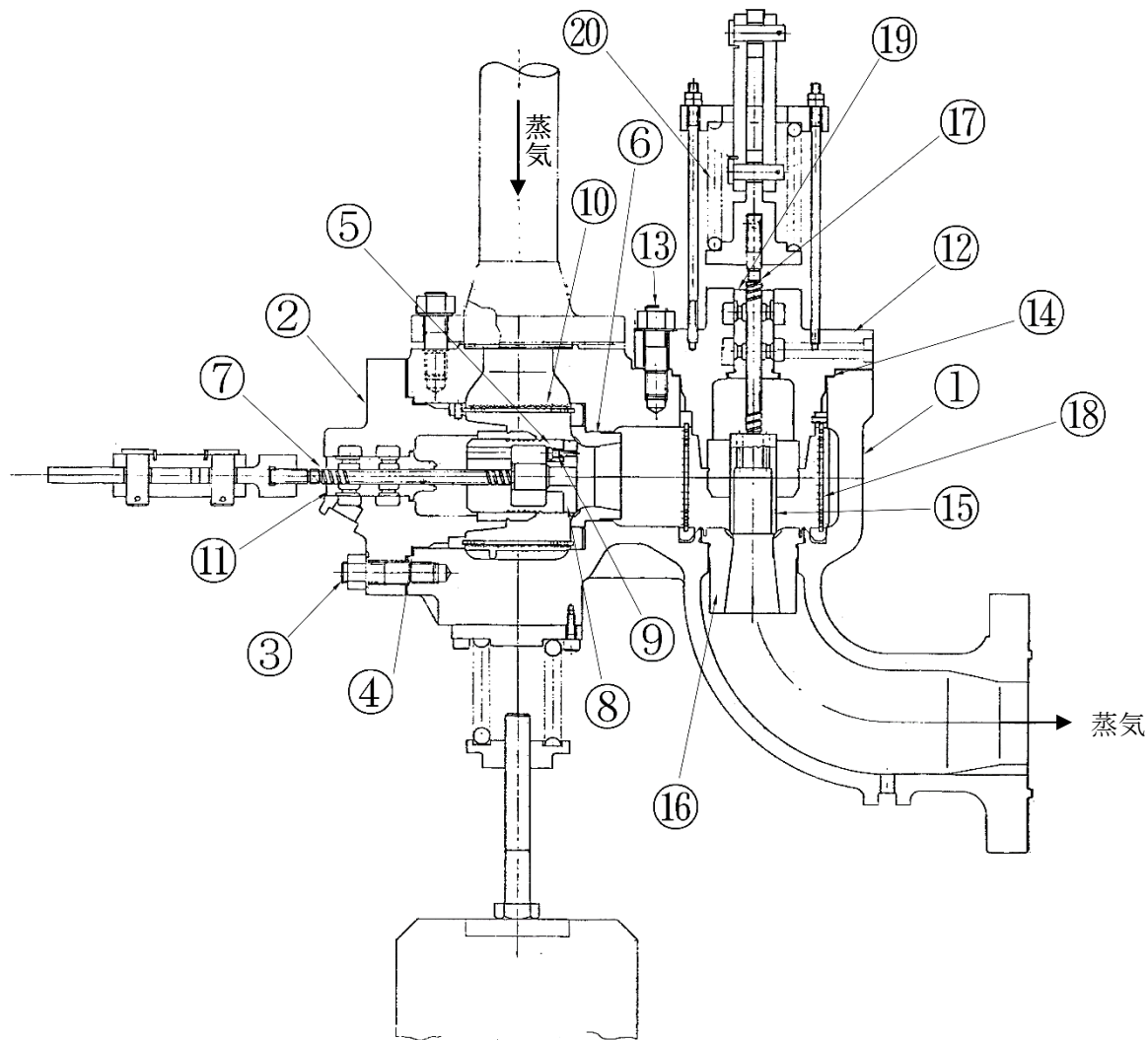
(1) 構造

高浜4号炉のタービン動主給水ポンプ高圧蒸気止め弁は、タービン動主給水ポンプタービン入口に設置されており、その下流にタービン動主給水ポンプ高圧蒸気加減弁が設置されている。タービン動主給水ポンプ高圧蒸気止め弁とタービン動主給水ポンプ高圧蒸気加減弁で弁箱を共有している。

高浜4号炉のタービン動主給水ポンプ高圧蒸気止め弁・蒸気加減弁の構造図を図2.1-1および図2.1-2に示す。

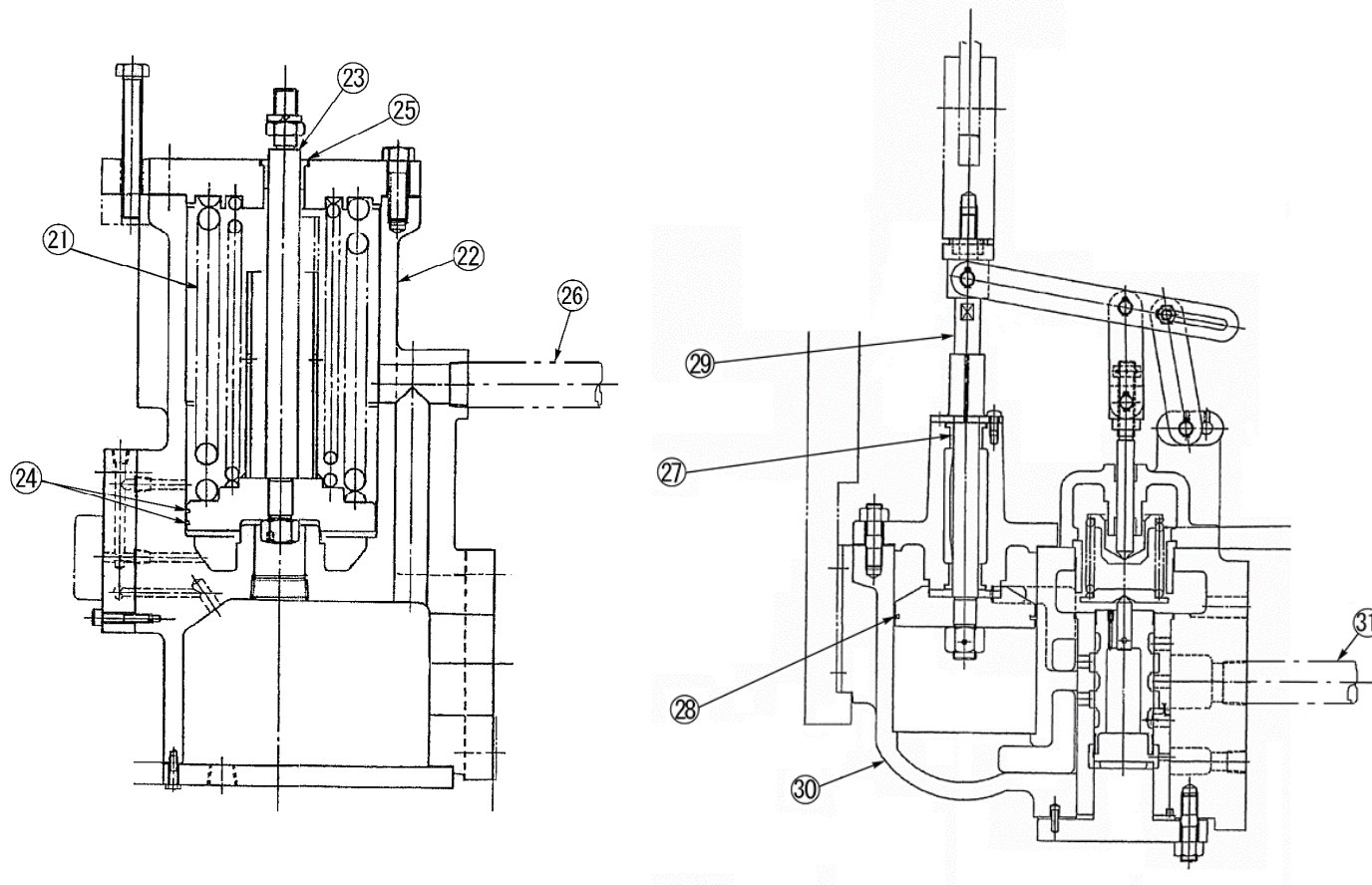
(2) 材料および使用条件

高浜4号炉のタービン動主給水ポンプ高圧蒸気止め弁・蒸気加減弁の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	高圧蒸気止め弁 弁蓋
③	高圧蒸気止め弁 弁蓋ボルト
④	高圧蒸気止め弁 ガasket
⑤	高圧蒸気止め弁 主弁
⑥	高圧蒸気止め弁 弁座
⑦	高圧蒸気止め弁 弁棒
⑧	高圧蒸気止め弁 弁体
⑨	高圧蒸気止め弁 弁体ボルト
⑩	高圧蒸気止め弁 ストレーナ
⑪	高圧蒸気止め弁 ブッシュ
⑫	高圧蒸気加減弁 弁蓋
⑬	高圧蒸気加減弁 弁蓋ボルト
⑭	高圧蒸気加減弁 ガasket
⑮	高圧蒸気加減弁 弁体
⑯	高圧蒸気加減弁 弁座
⑰	高圧蒸気加減弁 弁棒 (弁体と一体)
⑱	高圧蒸気加減弁 ストレーナ
⑲	高圧蒸気加減弁 ブッシュ
⑳	高圧蒸気加減弁駆動装置 閉鎖ばね

図2.1-1 高浜4号炉 タービン動主給水ポンプ高圧蒸気止め弁・蒸気加減弁構造図



No.	部 位
②①	高圧蒸気止め弁駆動装置 閉鎖ばね
②②	高圧蒸気止め弁駆動装置 シリンダ
②③	高圧蒸気止め弁駆動装置 ピストンロッド
②④	高圧蒸気止め弁駆動装置 ピストンリング
②⑤	高圧蒸気止め弁駆動装置 ブッシュ
②⑥	高圧蒸気止め弁駆動装置 油管
②⑦	高圧蒸気加減弁駆動装置 ブッシュ
②⑧	高圧蒸気加減弁駆動装置 ピストンリング
②⑨	高圧蒸気加減弁駆動装置 ピストンロッド
③①	高圧蒸気加減弁駆動装置 シリンダ
③②	高圧蒸気加減弁駆動装置 油管

図2.1-2 高浜4号炉 タービン動主給水ポンプ高圧蒸気止め弁・蒸気加減弁構造図

表2.1-1 高浜4号炉 タービン動主給水ポンプ
 高圧蒸気止め弁・蒸気加減弁主要部位の使用材料

部位		材料	
弁箱		炭素鋼鋳鋼	
タービン動 主給水ポンプ 高圧蒸気 止め弁	弁蓋	炭素鋼鋳鋼	
	弁蓋ボルト	低合金鋼	
	ガスケット	消耗品・定期取替品	
	主弁	耐熱鋼	
	弁座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	
	弁棒	耐熱鋼	
	弁体	ステンレス鋼	
	弁体ボルト	低合金鋼	
	ストレーナ	ステンレス鋼	
	ブッシュ	低合金鋼	
	駆動装置	閉鎖ばね	ばね鋼
		シリンダ	炭素鋼鋳鋼
		ピストロッド	炭素鋼
		ピストリング	鋳鉄
ブッシュ		オイルレスメタル	
油管		炭素鋼	
タービン動 主給水ポンプ 高圧蒸気 加減弁	弁蓋	炭素鋼鋳鋼	
	弁蓋ボルト	低合金鋼	
	ガスケット	消耗品・定期取替品	
	弁体	耐熱鋼	
	弁座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	
	弁棒 (弁体と一体)	耐熱鋼	
	ストレーナ	ステンレス鋼	
	ブッシュ	低合金鋼	
	駆動装置	閉鎖ばね	ばね鋼
		ブッシュ	オイルレスメタル、銅合金
		ピストリング	鋳鉄
		ピストロッド	炭素鋼
		シリンダ	鋳鉄
		油管	炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 タービン動主給水ポンプ高圧蒸気止め弁・蒸気加減弁の使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa [gage]
最高使用温度	約291℃
内部流体	蒸気

2.1.2 タービン動主給水ポンプ低圧蒸気止め弁・蒸気加減弁

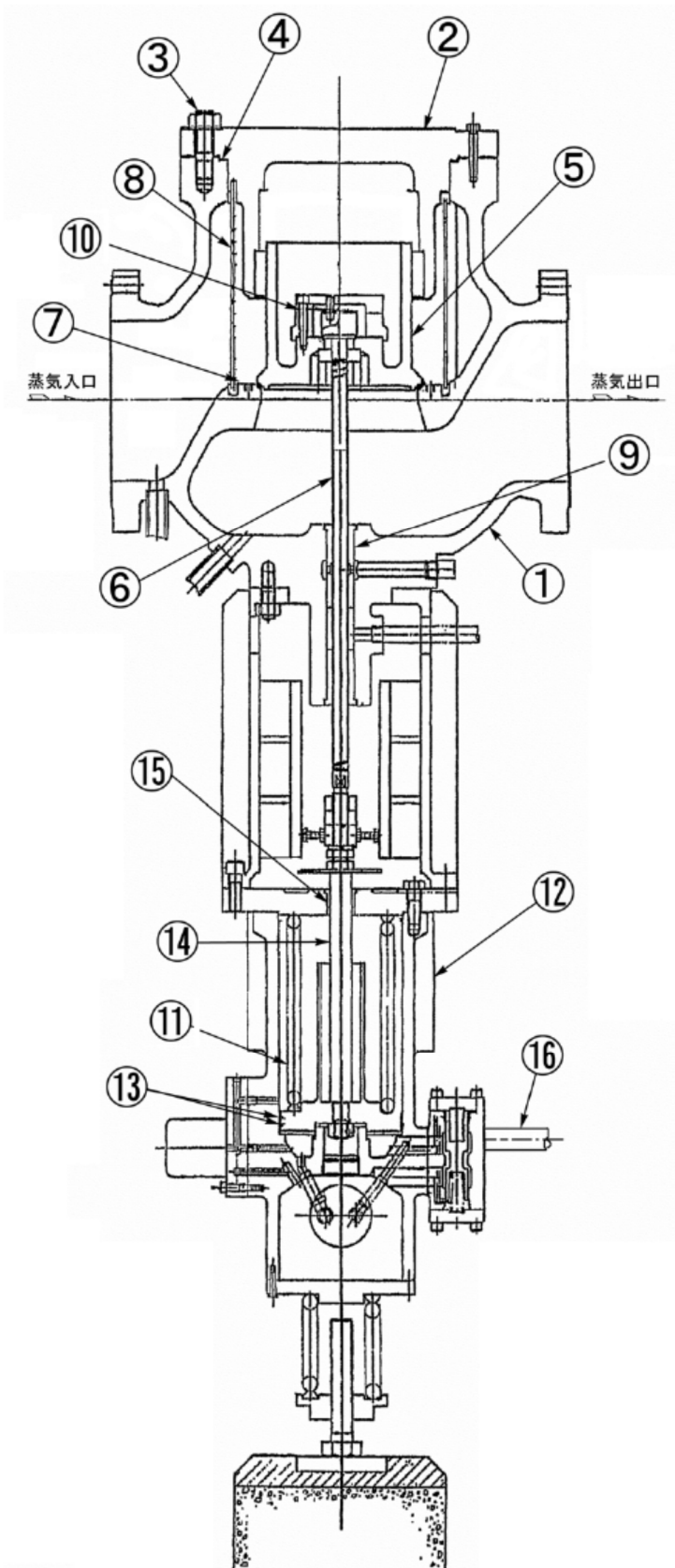
(1) 構造

高浜4号炉のタービン動主給水ポンプ低圧蒸気止め弁は、タービン動主給水ポンプタービン入口に設置されており、その下流にタービン動主給水ポンプ低圧蒸気加減弁が設置されている。

高浜4号炉のタービン動主給水ポンプ低圧蒸気止め弁・蒸気加減弁の構造図を図2.1-3および図2.1-4に示す。

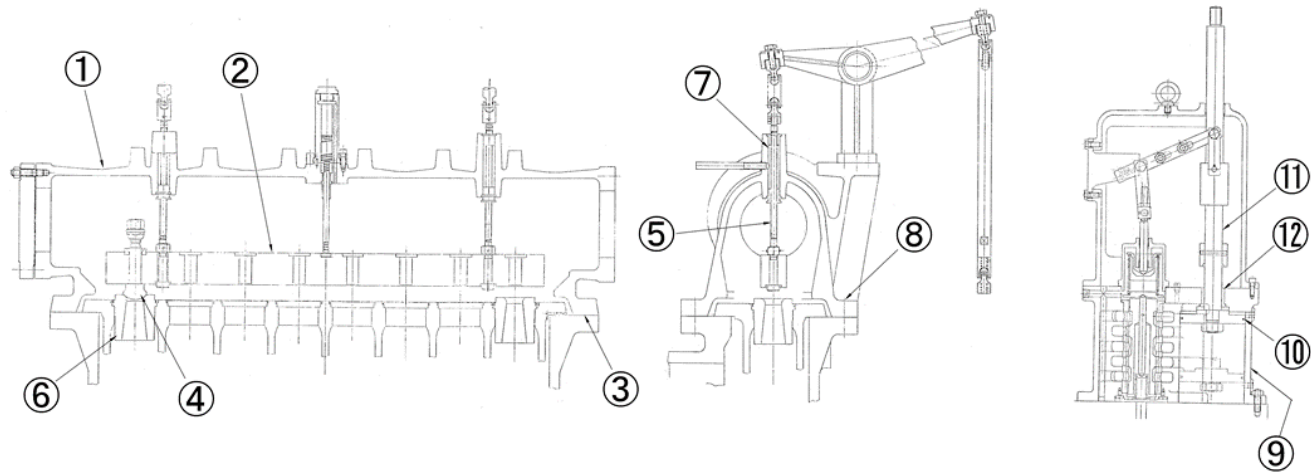
(2) 材料および使用条件

高浜4号炉のタービン動主給水ポンプ低圧蒸気止め弁・蒸気加減弁の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



No.	部位
①	低圧蒸気止め弁 弁箱
②	低圧蒸気止め弁 弁蓋
③	低圧蒸気止め弁 弁蓋ボルト
④	低圧蒸気止め弁 ガasket
⑤	低圧蒸気止め弁 弁体
⑥	低圧蒸気止め弁 弁棒
⑦	低圧蒸気止め弁 弁座
⑧	低圧蒸気止め弁 ストレーナ
⑨	低圧蒸気止め弁 ブッシュ
⑩	低圧蒸気止め弁 弁体ボルト
⑪	低圧蒸気止め弁駆動装置 閉鎖ばね
⑫	低圧蒸気止め弁駆動装置 シリンダ
⑬	低圧蒸気止め弁駆動装置 ピストンリング
⑭	低圧蒸気止め弁駆動装置 ピストンロッド
⑮	低圧蒸気止め弁駆動装置 ブッシュ
⑯	低圧蒸気止め弁駆動装置 油管

図2.1-3 高浜4号炉 タービン動主給水ポンプ低圧蒸気止め弁構造図



No.	部位
①	低圧蒸気加減弁 蒸気室
②	低圧蒸気加減弁 弁揚板
③	低圧蒸気加減弁 ガスケット
④	低圧蒸気加減弁 弁体
⑤	低圧蒸気加減弁 弁棒
⑥	低圧蒸気加減弁 弁座
⑦	低圧蒸気加減弁 ブッシュ
⑧	低圧蒸気加減弁 蒸気室ボルト
⑨	低圧蒸気加減弁駆動装置 シリンダ
⑩	低圧蒸気加減弁駆動装置 ピストンリング
⑪	低圧蒸気加減弁駆動装置 ピストンロッド
⑫	低圧蒸気加減弁駆動装置 ブッシュ

図2.1-4 高浜4号炉 タービン動主給水ポンプ低圧蒸気加減弁構造図

表2.1-3 高浜4号炉 タービン動主給水ポンプ低圧蒸気止め弁・蒸気加減弁主要部位の
使用材料

部位		材料	
タービン動 主給水ポンプ 低圧蒸気 止め弁	弁箱	炭素鋼鋳鋼	
	弁蓋	炭素鋼鋳鋼	
	弁蓋ボルト	低合金鋼	
	ガスケット	消耗品・定期取替品	
	弁体	低合金鋼（ステライト肉盛）	
	弁棒	耐熱鋼	
	弁座	ステンレス鋼（ステライト肉盛）	
	ストレーナ	ステンレス鋼	
	ブッシュ	低合金鋼	
	弁体ボルト	低合金鋼	
	駆動装置	閉鎖ばね	ばね鋼
		シリンダ	炭素鋼鋳鋼
		ピストリング	鋳鉄
ピストロッド		炭素鋼	
ブッシュ		オイルレスメタル	
油管		炭素鋼	
タービン動 主給水ポンプ 低圧蒸気 加減弁	蒸気室	炭素鋼鋳鋼	
	弁揚板	炭素鋼	
	ガスケット	消耗品・定期取替品	
	弁体	ステンレス鋼（ステライト肉盛）	
	弁棒	ステンレス鋼	
	弁座	ステンレス鋼（ステライト肉盛）	
	ブッシュ	低合金鋼	
	蒸気室ボルト	低合金鋼	
	駆動装置	シリンダ	鋳鉄
		ピストリング	鋳鉄
		ピストロッド	炭素鋼
ブッシュ		銅合金	

表2.1-4 高浜4号炉 タービン動主給水ポンプ低圧蒸気止め弁・蒸気加減弁の使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa [gage]
最高使用温度	約291℃
内部流体	蒸気

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

タービン動主給水ポンプ蒸気止め弁・蒸気加減弁の機能である耐圧、開閉および流量制御機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

タービン動主給水ポンプ蒸気止め弁・蒸気加減弁について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の材料、構造、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 弁箱、弁蓋、蒸気室および弁揚板の腐食（流れ加速型腐食） [共通]

弁箱、弁蓋および蒸気室は炭素鋼鋳鋼、弁揚板は炭素鋼であり、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上注目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 弁箱、弁蓋および蒸気室の外表面からの腐食（全面腐食） [共通]

弁箱、弁蓋および蒸気室は炭素鋼鋳鋼であり、外表面からの腐食が想定される。

しかしながら、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上注目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(3) 弁蓋ボルトおよび蒸気室ボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕

弁蓋ボルトおよび蒸気室ボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(4) 弁体および弁座の摩耗〔共通〕

弁体および弁座は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(5) 弁体ボルトの腐食（流れ加速型腐食）

〔タービン動主給水ポンプ高圧蒸気止め弁、タービン動主給水ポンプ低圧蒸気止め弁〕

弁体ボルトは低合金鋼であり、内部流体による流れ加速型腐食が想定される。

しかしながら、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 弁棒およびブッシュの摩耗〔共通〕

弁棒およびブッシュの摺動部は弁の開閉動作による摩耗が想定される。

しかしながら、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 駆動装置シリンダ、ピストンリングの摩耗 [共通]

駆動装置シリンダおよびピストンリングの摺動部は、弁の開閉動作による摩耗が想定される。

しかしながら、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(8) 閉鎖ばねの変形（応力緩和）

[タービン動主給水ポンプ高圧蒸気止め弁、タービン動主給水ポンプ高圧蒸気加減弁、タービン動主給水ポンプ低圧蒸気止め弁]

閉鎖ばねは弁開位置での荷重が加わった状態で長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時等の機能確認により、機器の健全性を確認している。

(9) 駆動装置ピストンロッドおよびブッシュの摩耗 [共通]

駆動装置ピストンロッドおよびブッシュの摺動部は、弁の開閉動作による摩耗が想定される。

しかしながら、ブッシュ部は油雰囲気でこれまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

- (10) 駆動装置シリンダおよび駆動装置油管の外面からの腐食（全面腐食） [共通]
駆動装置シリンダおよび駆動装置油管は炭素鋼、鋳鉄および炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、巡視点検等の目視確認により、機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットは分解点検時に取替えている消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/4) 高浜4号炉 タービン動主給水ポンプ高圧蒸気止め弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △						*1：流れ加速型腐食 *2：変形（応力緩和）
	弁蓋		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	主弁		耐熱鋼								
	弁座		ステンレス鋼 (ステイト肉盛)	△							
	弁棒		耐熱鋼	△							
	弁体		ステンレス鋼	△							
	弁体ボルト		低合金鋼		△ ^{*1}						
	ストレーナ		ステンレス鋼								
	ブッシュ		低合金鋼	△							
	駆動装置閉鎖ばね		ばね鋼							△ ^{*2}	
	駆動装置シリンダ		炭素鋼鋳鋼	△	△						
	駆動装置ピストンロッド ^g		炭素鋼	△							
	駆動装置ピストンリング ^g		鋳鉄	△							
	駆動装置ブッシュ		オイルスチール	△							
駆動装置油管		炭素鋼		△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/4) 高浜4号炉 タービン動主給水ポンプ高圧蒸気加減弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △						*1：流れ加速型腐食 *2：変形（応力緩和）
	弁蓋		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		耐熱鋼	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒（弁体と一体）		耐熱鋼	△							
	ストレーナ		ステンレス鋼								
	ブッシュ		低合金鋼	△							
	駆動装置閉鎖ばね		ばね鋼							△ ^{*2}	
	駆動装置ブッシュ		オイルステル 銅合金	△							
	駆動装置 ^h ストリンク ^g		鋳鉄	△							
	駆動装置 ^h ストロッド ^g		炭素鋼	△							
	駆動装置シリンダ		鋳鉄	△	△						
駆動装置油管		炭素鋼		△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/4) 高浜4号炉 タービン動主給水ポンプ低圧蒸気止め弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △						*1：流れ加速型腐食 *2：変形（応力緩和）
	弁蓋		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		低合金鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		耐熱鋼	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	ストレーナ		ステンレス鋼								
	ブッシュ		低合金鋼	△							
	弁体ボルト		低合金鋼		△ ^{*1}						
	駆動装置閉鎖ばね		ばね鋼							△ ^{*2}	
	駆動装置シリンダ		炭素鋼鋳鋼	△	△						
	駆動装置ピストンリング		鋳鉄	△							
	駆動装置ピストンロッド		炭素鋼	△							
	駆動装置ブッシュ		オイルスチール	△							
	駆動装置油管		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/4) 高浜4号炉 タービン動主給水ポンプ低圧蒸気加減弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	蒸気室		炭素鋼鋳鋼		△*1 △						*1：流れ加速型腐食
	ガスケット	◎	—								
	蒸気室ボルト		低合金鋼		△						
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁揚板		炭素鋼		△*1						
	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	ブッシュ		低合金鋼	△							
	駆動装置シリンダ		鋳鉄	△	△						
	駆動装置ピストンリング*		鋳鉄	△							
	駆動装置ピストンロッド*		炭素鋼	△							
駆動装置ブッシュ		銅合金	△								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

高浜発電所 4 号炉

炉内構造物の技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

関西電力株式会社

本評価書は高浜発電所4号炉（以下、高浜4号炉という。）で使用されている主要な炉内構造物の高経年化に係わる技術評価についてまとめたものである。本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考え。表1に評価対象部位を示す。

なお、本評価書における分解点検には、定期的実施する分解点検に加え、状態監視や傾向監視等の結果に基づき計画、実施する分解点検を含んでいる。

また、点検等で確認した結果、異常が認められた場合は速やかに対策を施すこととしており、異常が認められた場合に対策を実施する旨の記載は省略している。

さらに、設置してから分解点検等の実績がない場合も、保全計画が定められていれば「確認している」等と表記している。

なお、制御棒は「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含まれていない。

表1 高浜4号炉 炉内構造物の評価対象部位一覧

部位名称 (個数)	重要度*1
上部炉心板 (1)	PS-1、重*2
上部燃料集合体案内ピン (314)	PS-1
上部炉心支持柱 (40)	PS-1、重*2
上部炉心支持板 (1)	PS-1、重*2
制御棒クラスト案内管 (52)	MS-1
支持ピン (104)	MS-1
下部炉心板 (1)	PS-1、重*2
下部燃料集合体案内ピン (314)	PS-1
下部炉心支持柱 (68)	PS-1、重*2
下部炉心支持板 (1)	PS-1、重*2
炉心そう (1)	PS-1、重*2
炉心バッフル (44)	PS-1
炉心バッフル取付板 (72)	PS-1
バッフルフォーマボルト (1080)	PS-1
バレルフォーマボルト (612)	PS-1
熱遮蔽材 (4組)	PS-1
熱遮蔽材固定用ボルト (128)	PS-1
押えリング (1)	PS-1
炉内計装用シンプルチューブ (50)	PS-2
ラジアルキー (4)	—*3

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

*3：安全重要度分類上、性能に関する規定は特にはないが、炉内構造物一式として他部位と合わせて評価する。

炉内構造物

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 炉内構造物の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	19
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	31

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されている炉内構造物の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 炉内構造物の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件	
		最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)
炉内構造物 (1)	PS-1、重*2	約17.2	約343

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器
および構造物であることを示す。

2. 炉内構造物の技術評価

2.1 構造、材料および使用条件

(1) 構造

高浜4号炉の炉内構造物は、炉心の支持、1次冷却材の流路形成・配分等の機能を有し、上部炉内構造物と下部炉内構造物とに分かれており、それぞれ一体として原子炉容器から取り外すことができる構造となっている。

炉内構造物は大部分がステンレス鋼であり、一部ニッケル基合金を用いている。

上部炉内構造物と下部炉内構造物は燃料集合体を上下からはさむ形で支持しており、それら自身は原子炉容器フランジ部で、押えリングをはさむ形で支持されている。

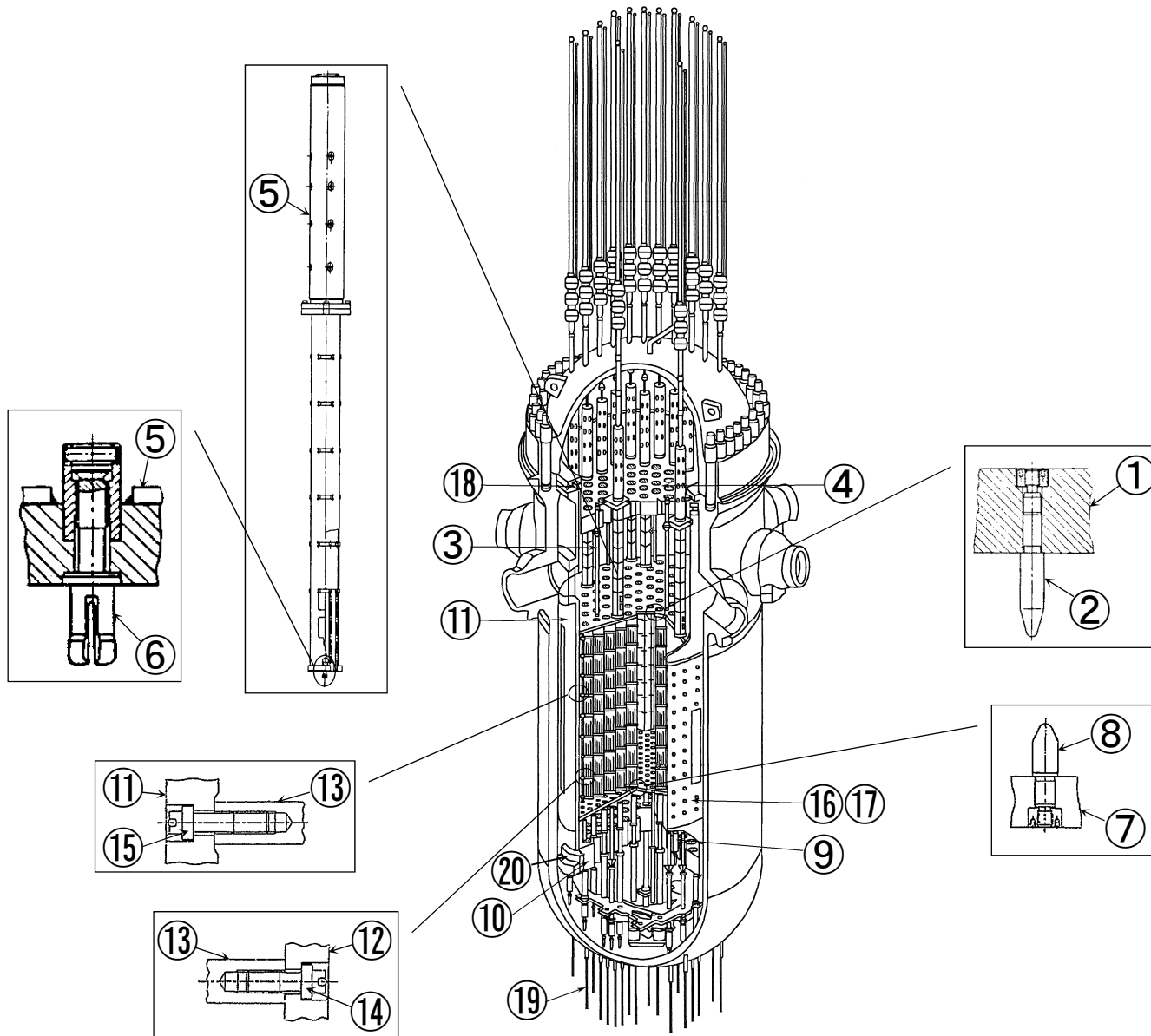
上部炉内構造物は、上部炉心支持板、上部炉心支持柱および上部炉心板の組立体である上部炉心支持構造物に、制御棒クラスタ案内管等の構造物が取り付けられたものである。制御棒クラスタ案内管は上部炉心支持板にボルト固定され、支持ピンが上部炉心板にはまり込む構造となっている。

下部炉内構造物は、炉心そう、下部炉心支持板、下部炉心支持柱および下部炉心板の組立体である下部炉心支持構造物に、炉心バップル、熱遮蔽材等が取り付けられたものである。

高浜4号炉の炉内構造物の構造を図2.1-1～図2.1-14に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の炉内構造物の使用材料および使用条件を表2.1-1、表2.1-2に示す。



No.	部位
	(上部炉内構造物)
①	上部炉心板
②	上部燃料集合体案内ピン
③	上部炉心支持柱
④	上部炉心支持板
⑤	制御棒クラスタ案内管
⑥	支持ピン
	(下部炉内構造物)
⑦	下部炉心板
⑧	下部燃料集合体案内ピン
⑨	下部炉心支持柱
⑩	下部炉心支持板
⑪	炉心そう
⑫	炉心バッフル
⑬	炉心バッフル取付板
⑭	バッフルフォーマボルト
⑮	バレルフォーマボルト
⑯	熱遮蔽材
⑰	熱遮蔽材固定用ボルト
	(その他)
⑱	押えリング
⑲	炉内計装用シンプルチューブ
⑳	ラジアルキー

図2.1-1 高浜4号炉 炉内構造物全体図

No.	部位
①	上部炉心板
②	上部燃料集合体案内ピン
③	上部炉心支持柱
④	上部炉心支持板
⑤	制御棒クラスター案内管
⑥	支持ピン

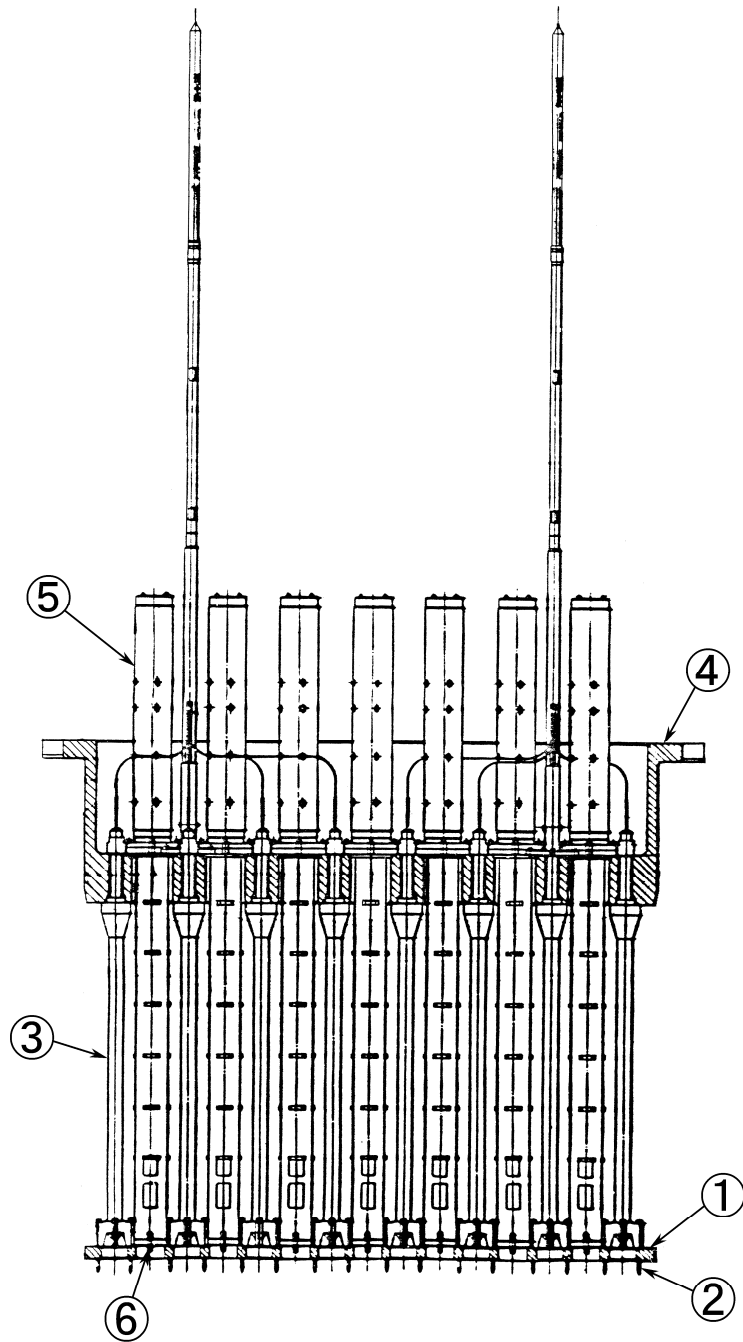


図2.1-2 高浜4号炉 炉内構造物・上部炉内構造物構造図

No.	部位
①	上部炉心板
②	上部燃料集合体案内ピン

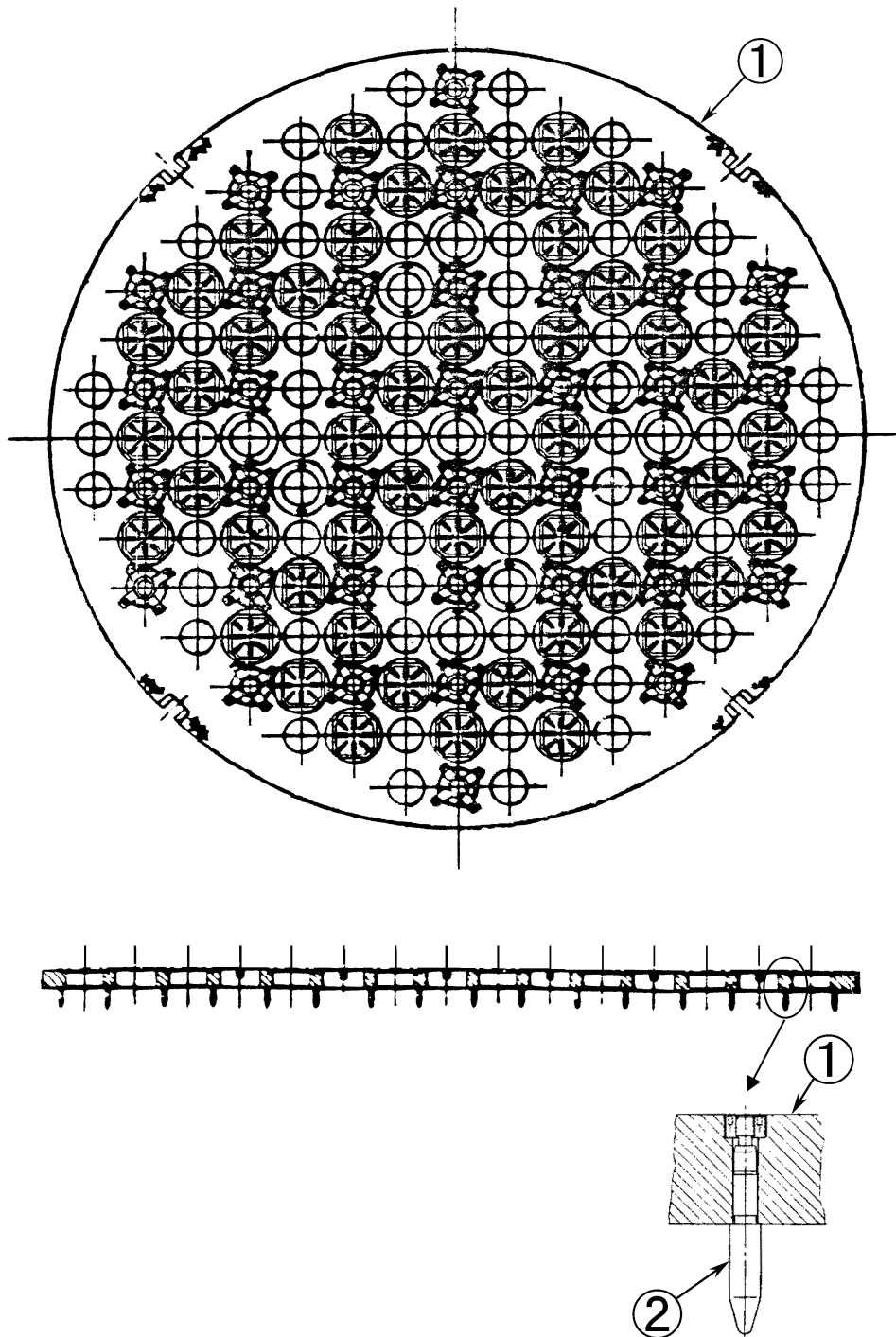


图2.1-3 高浜4号炉 上部炉心板構造図

No.	部位
③	上部炉心支持柱

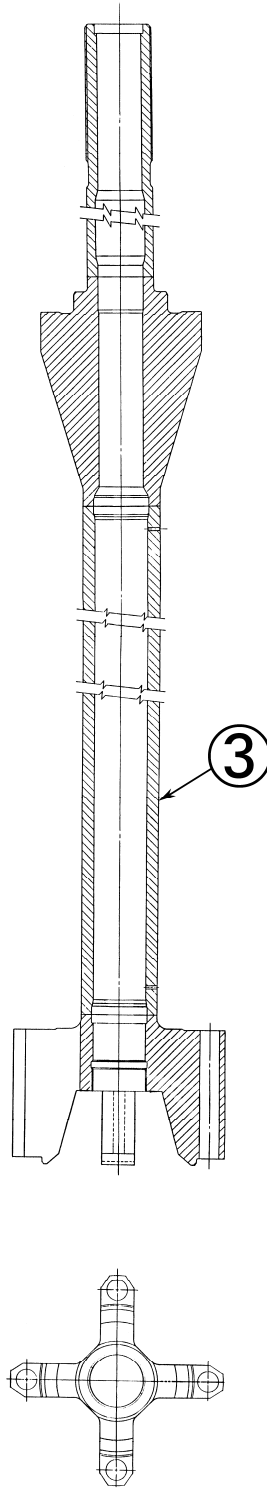


图2.1-4 高浜4号炉 上部炉心支持柱組立図

No.	部位
④	上部炉心支持板

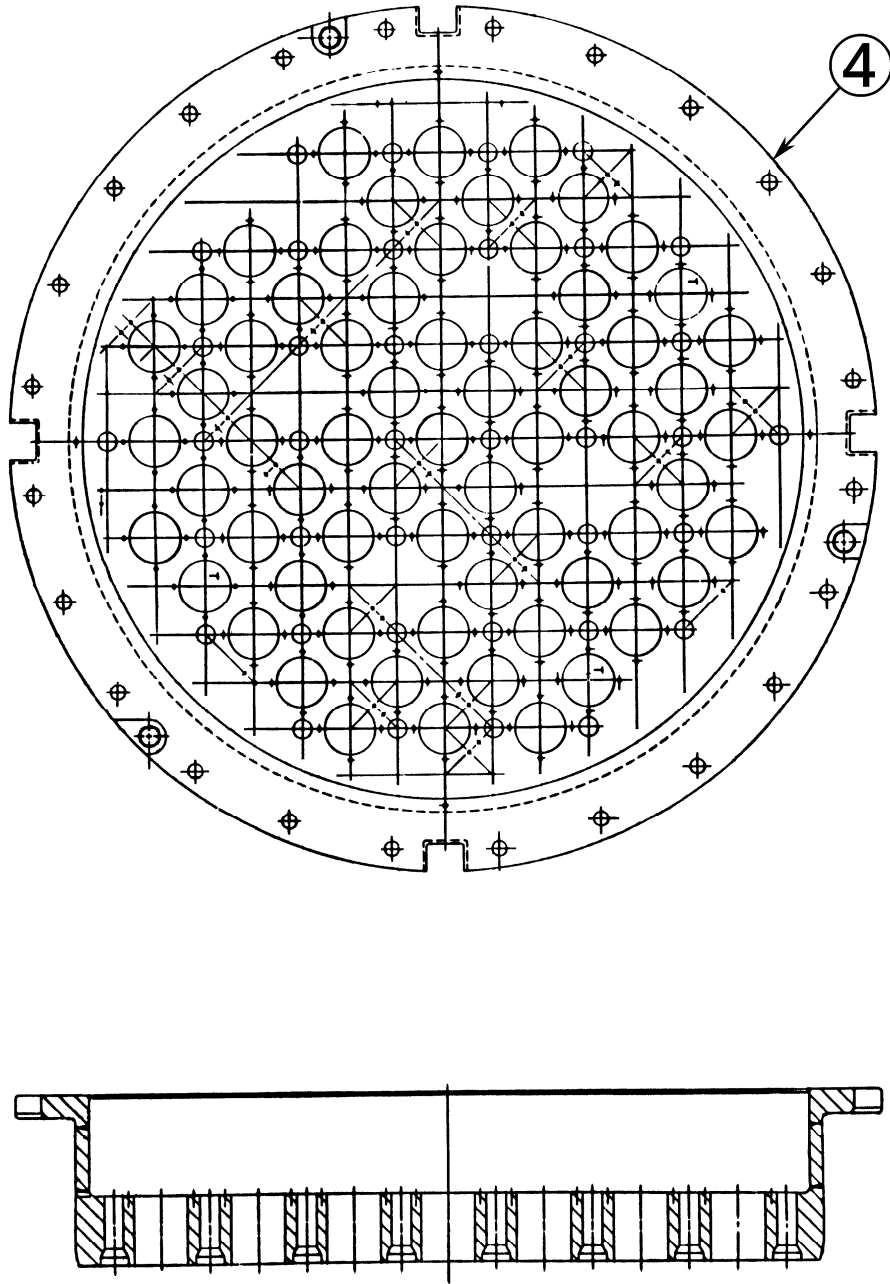


图2.1-5 高浜4号炉 上部炉心支持板組立図

No.	部位
⑤	制御棒クラスタ案内管
⑥	支持ピン

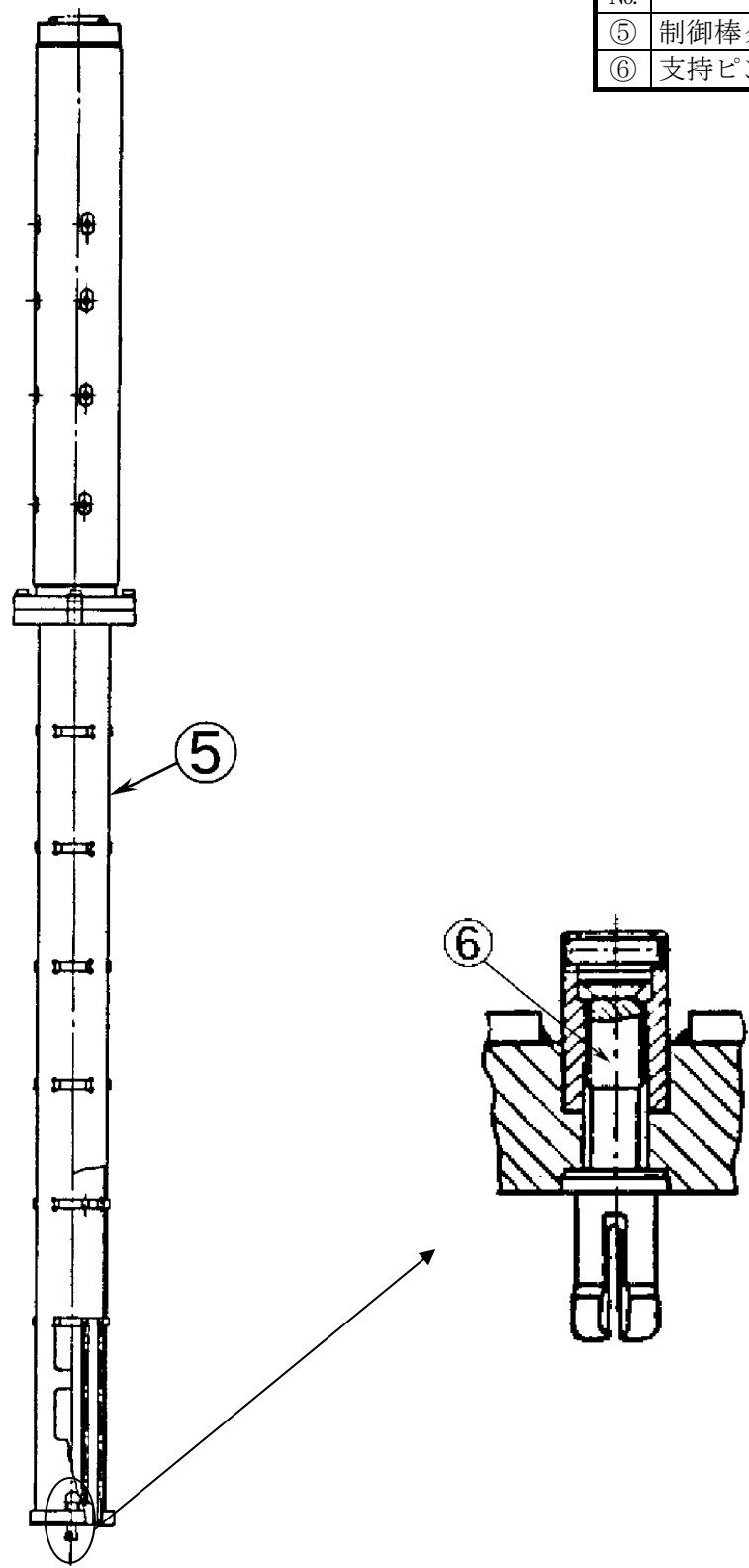


図2.1-6 高浜4号炉 制御棒クラスタ案内管組立図

No.	部位
⑦	下部炉心板
⑧	下部燃料集合体案内ピン
⑨	下部炉心支持柱
⑩	下部炉心支持板
⑪	炉心そう
⑫	炉心バップル
⑬	炉心バップル取付板
⑭	バップルフォーマボルト
⑮	バレルフォーマボルト
⑯	熱遮蔽材
⑰	熱遮蔽材固定用ボルト
⑳	ラジアルキー

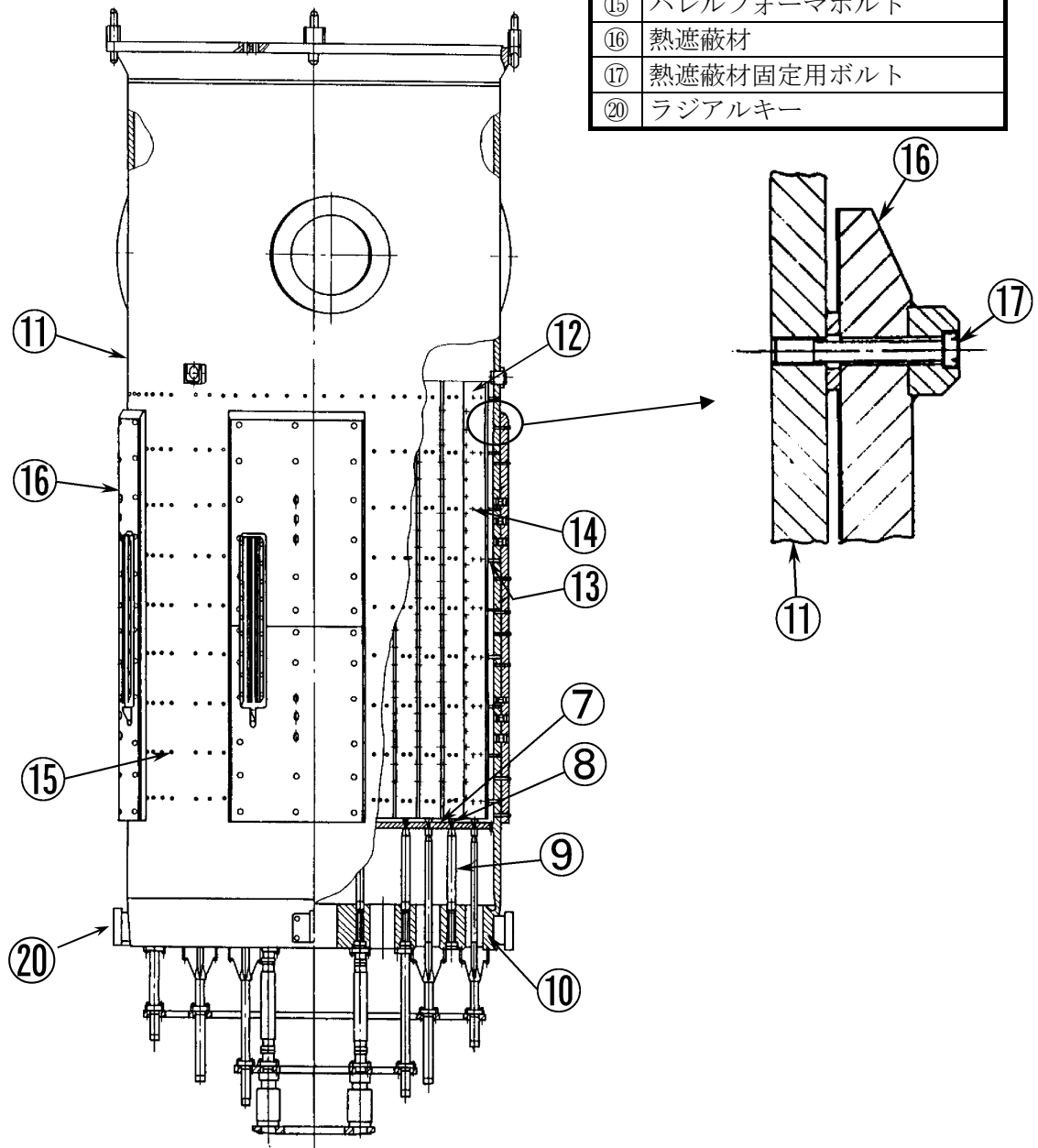


図2.1-7 高浜4号炉 炉内構造物・下部炉内構造物構造図

No.	部位
⑦	下部炉心板
⑧	下部燃料集合体案内ピン

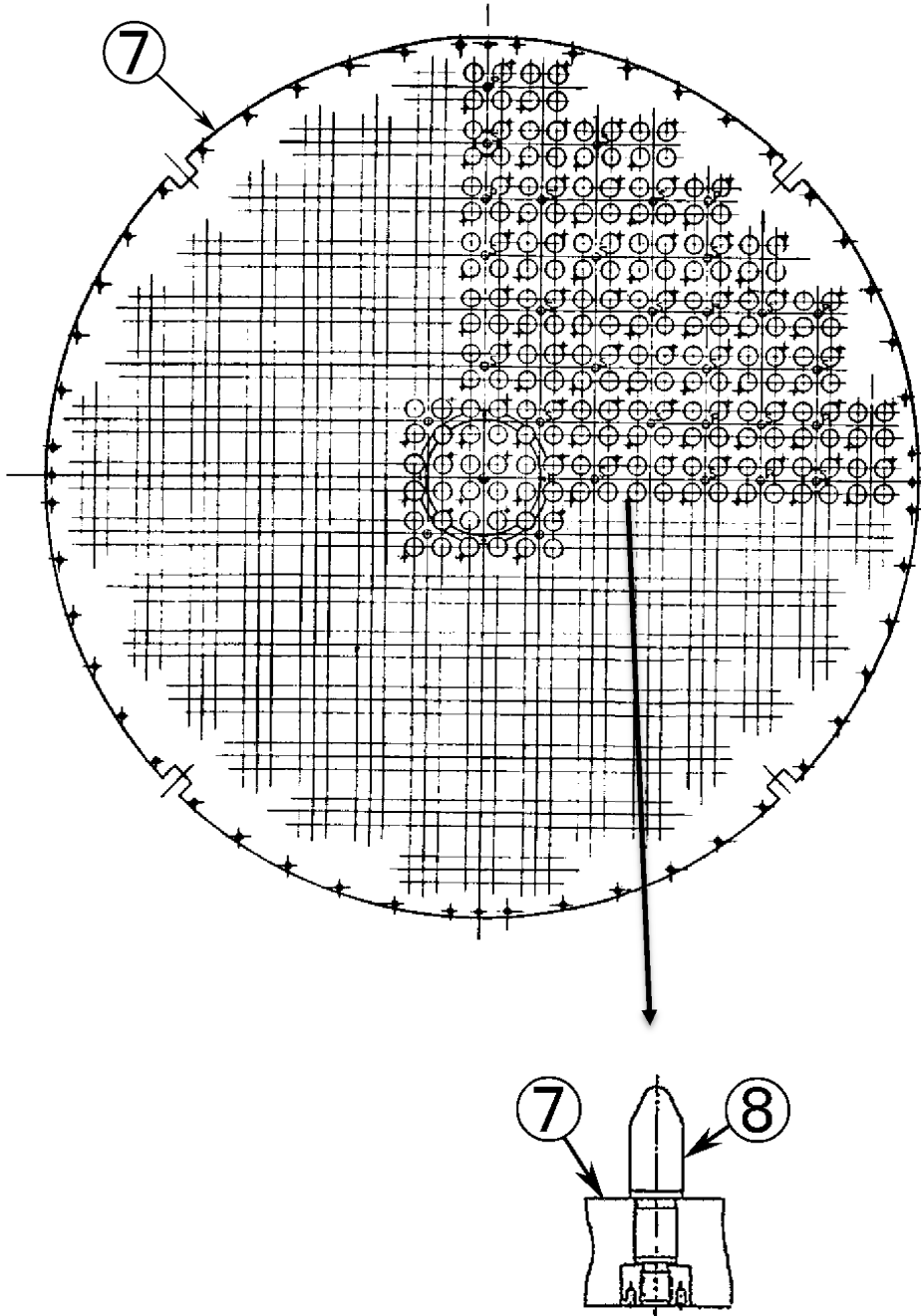


图2.1-8 高浜4号炉 下部炉心板構造图

No.	部位
⑨	下部炉心支持柱

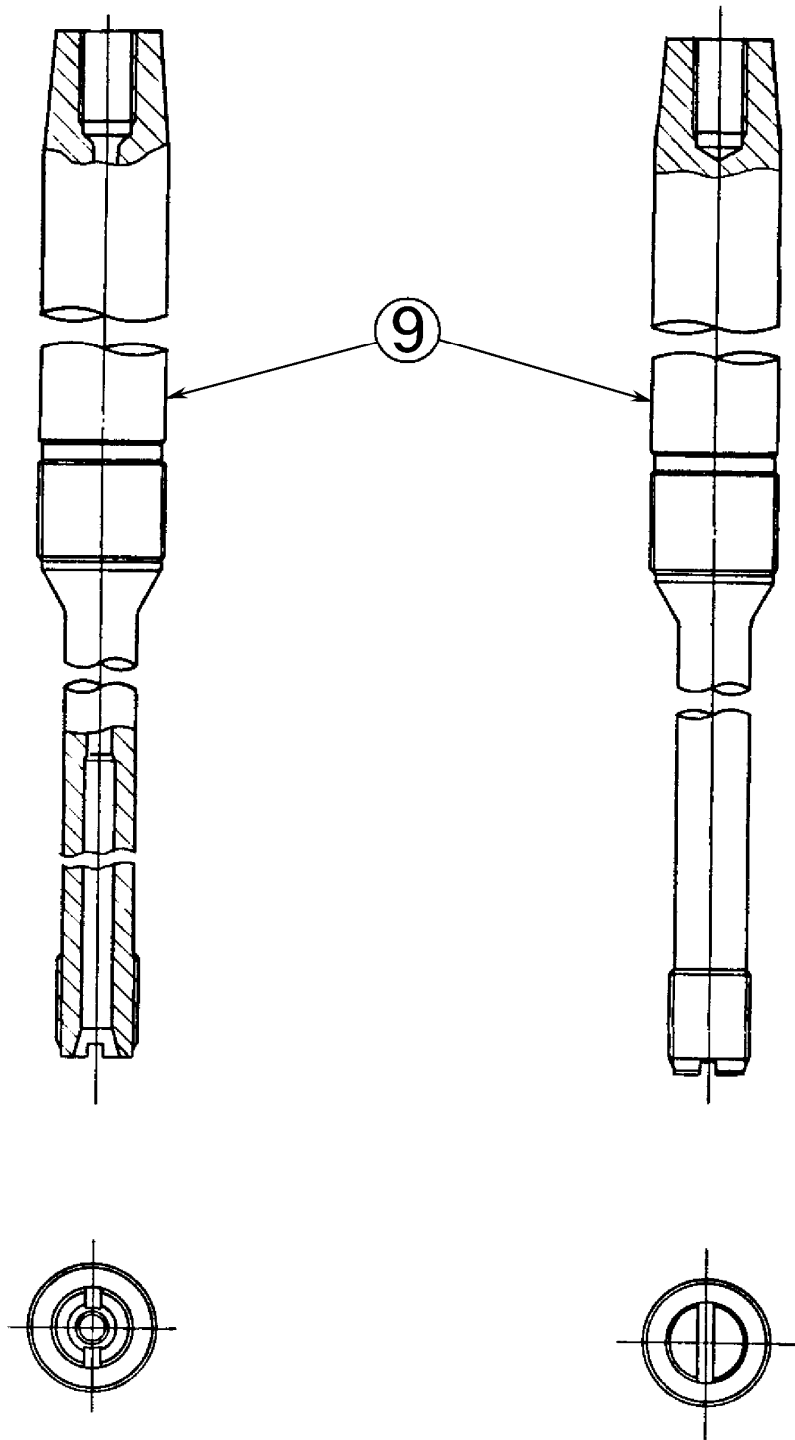


图2.1-9 高浜4号炉 下部炉心支持柱組立図

No.	部位
⑩	下部炉心支持板
⑪	炉心そう

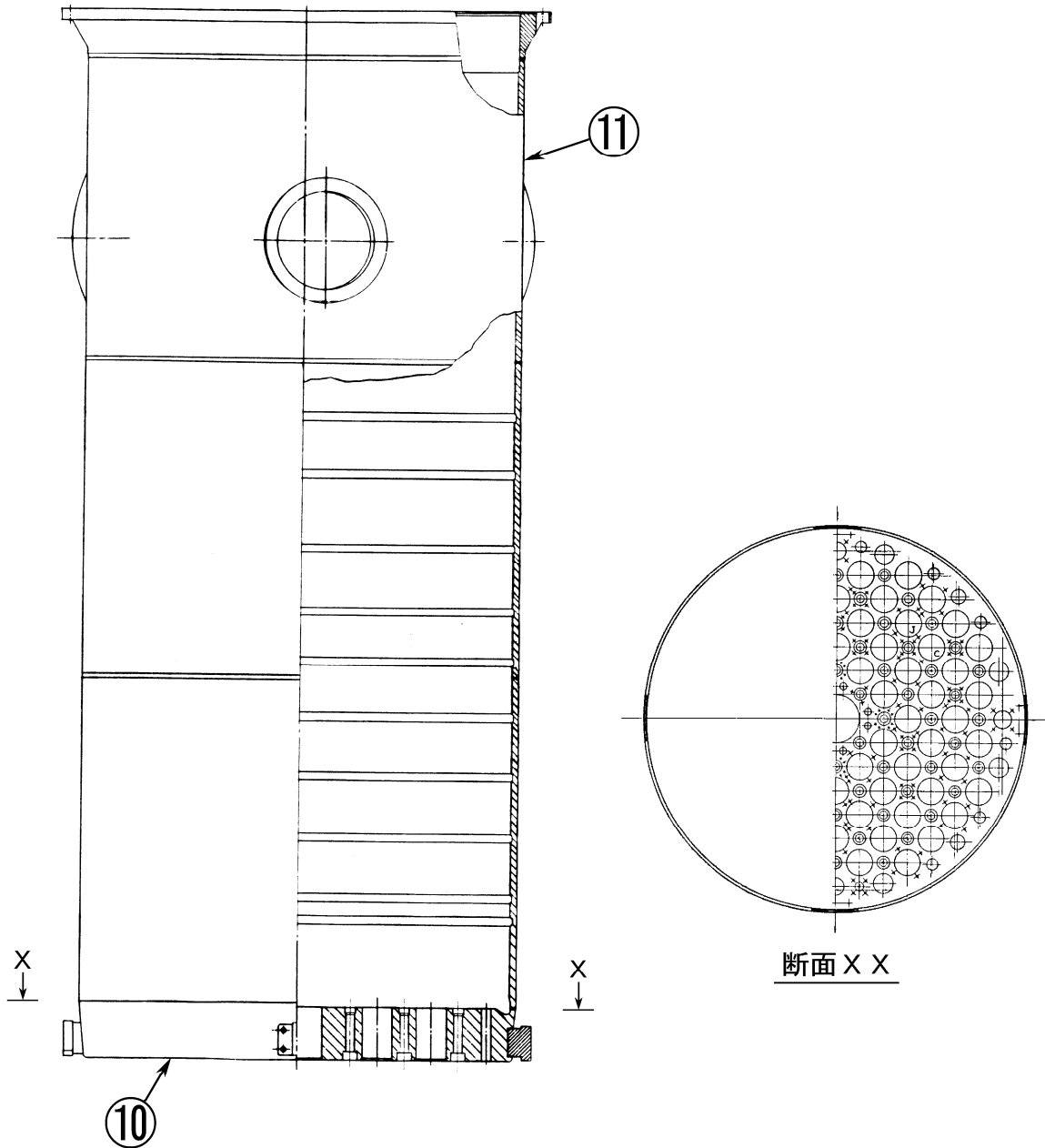


図2.1-10 高浜4号炉 炉心そう組立図

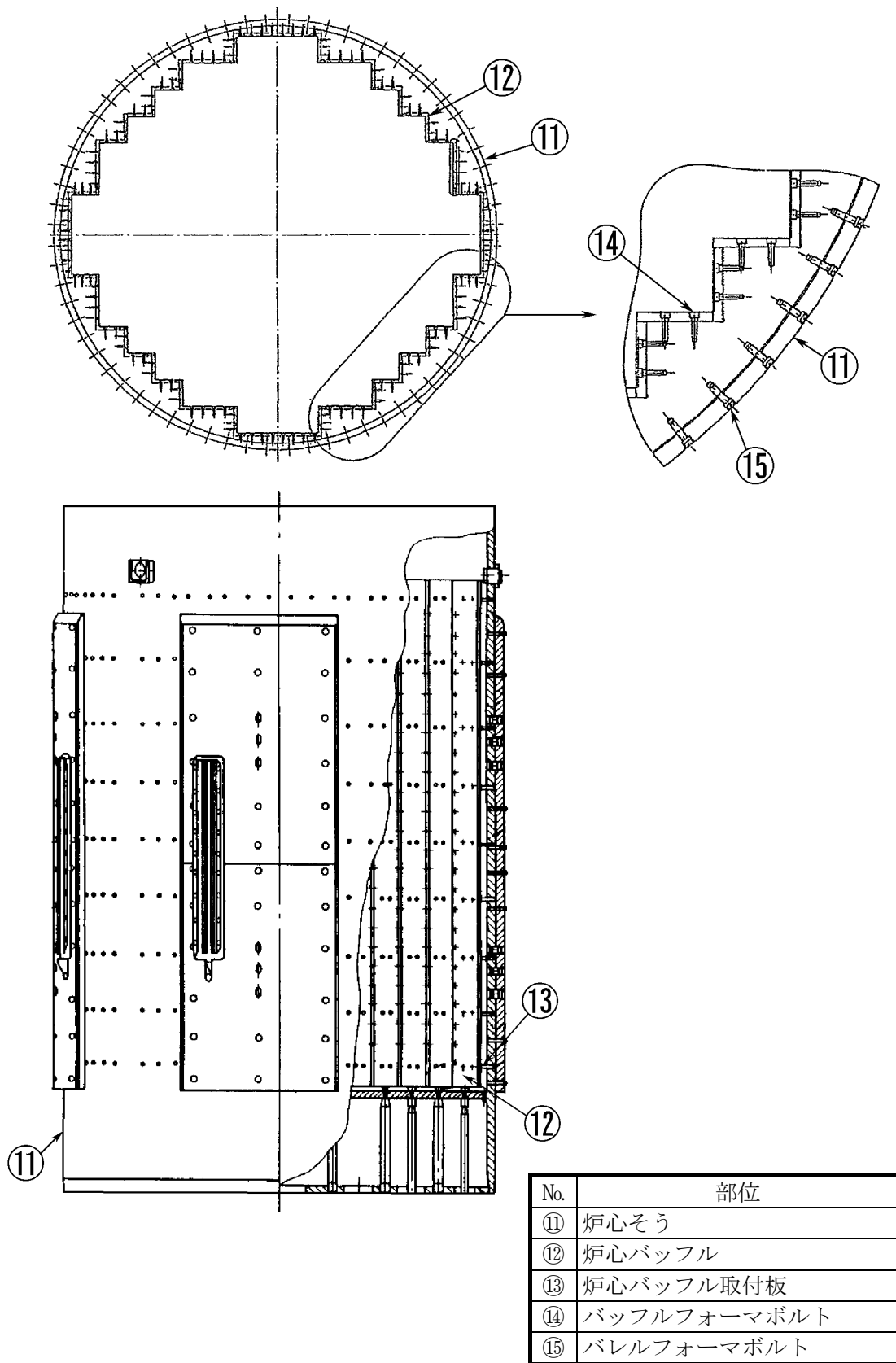


図2.1-11 高浜4号炉 炉心バップル組立図

No.	部位
⑩	熱遮蔽材
⑪	熱遮蔽材固定用ボルト

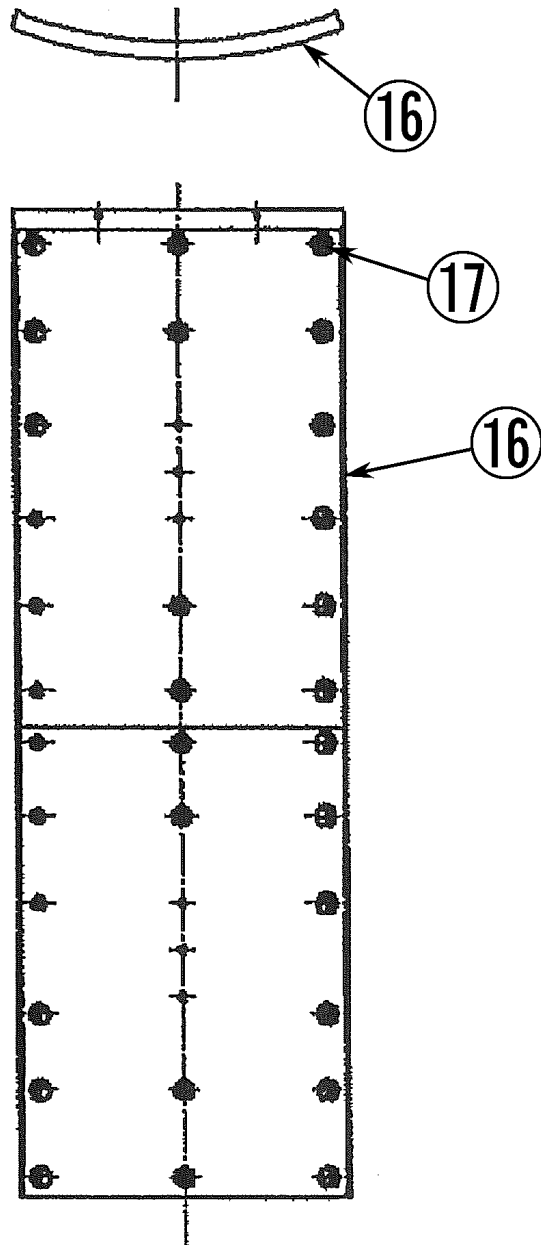
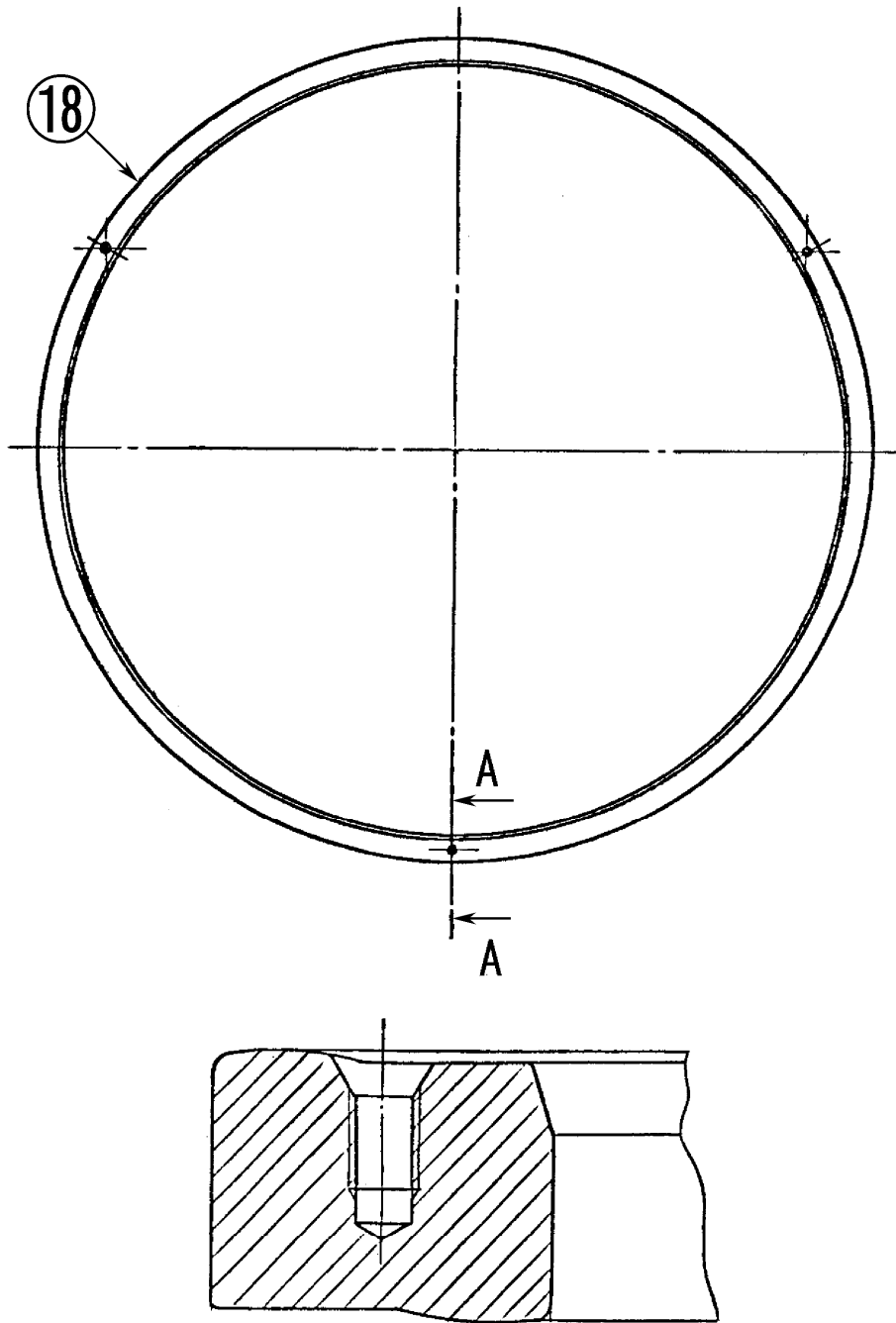


図2.1-12 高浜4号炉 熱遮蔽材



断面AA

No.	部位
⑱	押えリング

図2.1-13 高浜4号炉 押えリング

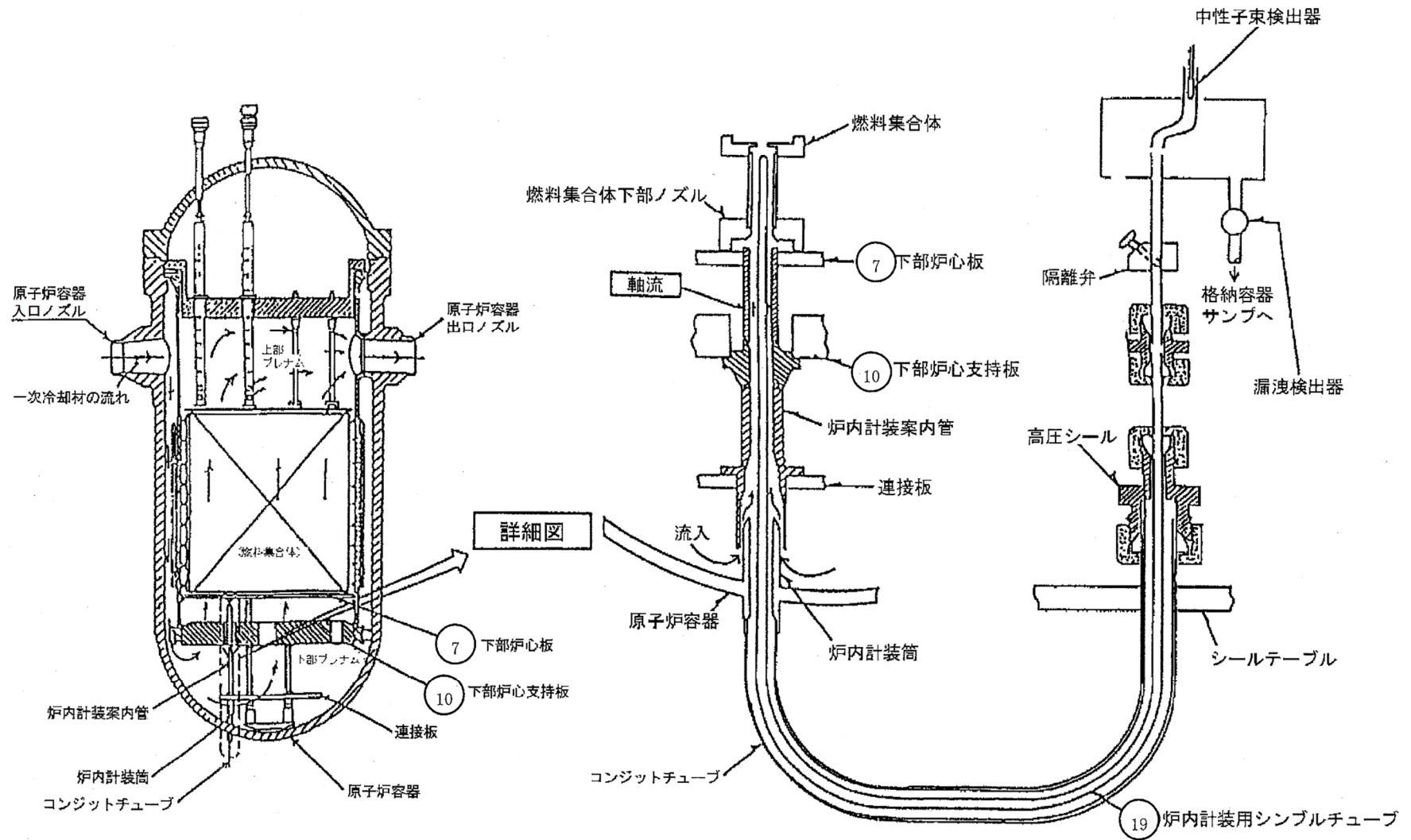


図2.1-14 炉内計装用シンプルチューブ概念図

表2. 1-1 高浜4号炉 炉内構造物主要部位の使用材料

部位	材料
上部炉心板	ステンレス鋼
上部炉心支持柱	ステンレス鋼
上部炉心支持板	ステンレス鋼
下部炉心板	ステンレス鋼
下部炉心支持柱	ステンレス鋼
下部炉心支持板	ステンレス鋼
炉心そう	ステンレス鋼
ラジアルキー	ステンレス鋼
上部燃料集合体案内ピン	ステンレス鋼 (原子力発電用規格 G316CW相当)
下部燃料集合体案内ピン	ステンレス鋼 (原子力発電用規格 G316CW相当)
制御棒クラスタ案内管	ステンレス鋼
支持ピン	ニッケル基合金 (750合金)
炉心バッフル	ステンレス鋼
炉心バッフル取付板	ステンレス鋼
バッフルフォーマボルト	ステンレス鋼 (原子力発電用規格 G316CW相当)
バレルフォーマボルト	ステンレス鋼 (原子力発電用規格 G316CW相当)
炉内計装用シンプルチューブ	ステンレス鋼
熱遮蔽材	ステンレス鋼
熱遮蔽材固定用ボルト	ステンレス鋼 (原子力発電用規格 G316CW相当)
押えリング	ステンレス鋼

表2.1-2 高浜4号炉 炉内構造物の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa[gage]
最高使用温度	約343℃
内部流体	1次冷却材

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

炉内構造物の機能である

- ・ 炉心、すなわち燃料集合体の支持および位置決め
- ・ 制御棒クラスタの位置決め、案内および保護
- ・ 1次冷却材の流路形成および流量の適正配分
- ・ 炉内計装の通路形成、支持および保護
- ・ 原子炉容器に対する中性子遮蔽

を維持するためには、次の6つの項目が必要である。

- ① 炉心支持および炉心位置決め部材信頼性の維持
- ② 制御棒クラスタ案内構造信頼性の維持
- ③ 1次冷却材流路形成構成部材信頼性の維持
- ④ 炉内計装案内構造部材信頼性の維持
- ⑤ 中性子遮蔽構造信頼性の維持
- ⑥ 機器の支持構造信頼性の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

炉内構造物について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

- (1) 炉心支持構造物（上部炉心板、上部炉心支持柱、上部炉心支持板、下部炉心板、下部炉心支持柱、下部炉心支持板、炉心そう）の疲労割れ

炉心支持構造物（上部炉心板、上部炉心支持柱、上部炉心支持板、下部炉心板、下部炉心支持柱、下部炉心支持板、炉心そう）はプラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材の温度、圧力および流量の変化により、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

- (2) バッフルフォーマボルト等の照射誘起型応力腐食割れ

フランスにおける1988年のブジュー（Bugey）発電所2号炉およびその後の類似プラントにおいて確認されたバッフルフォーマボルトの損傷事例および1998年以降に米国で確認された同様の事例より、高照射領域にある高応力のステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れの可能性が考えられることから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗

通常運転時の1次冷却材の流れにより、制御棒クラスタ案内管内で制御棒が流体振動を起こす。その結果、制御棒と制御棒クラスタ案内管（案内板）との間で摩耗が想定される。

制御棒被覆管については摩耗減肉が認められていることから、長期的には制御棒クラスタ案内管（案内板）側が摩耗する可能性は否定できない。

制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗により、制御棒の案内機能に影響を及ぼす可能性がある事象としては、制御棒の制御棒クラスタ案内管（案内板）からの抜け出しが考えられる。制御棒被覆管の摩耗が進行し、径が細くなると、制御棒クラスタ案内管（案内板）から抜け出しやすい状態となる。現行の制御棒の管理では、予防保全的に制御棒被覆管の摩耗深さが肉厚を超えないよう定期的に制御棒の取替等を行っている。制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗管理については、安全側に制御棒被覆管の摩耗深さが肉厚に至った場合を仮定すると、制御棒クラスタ案内管（案内板）からの抜け出しの可能性が出てくると考えられるのは図2.2-1に示す摩耗長さ68%と評価されることから、高浜4号炉の制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗が制御棒の案内機能に与える影響については、次のように評価される。

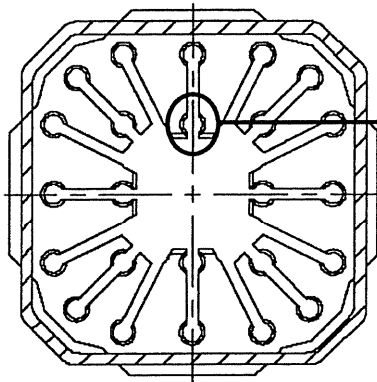
高浜4号炉で採用している3ループ17×17型制御棒クラスタ案内管について、「発電用原子力設備規格 維持規格（JSME S NA1-2012）」に基づき評価を実施した結果、高浜4号炉の制御棒クラスタ案内管（案内板）が摩耗長さ68%に達するまでの時間は約30.4万時間と評価される。一方、2021年3月時点の運転実績は約21.5万時間である。

以上より、高浜4号炉の制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗が制御棒の案内機能に直ちに影響を及ぼす可能性はないと考える。

また、制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗による制御棒の案内機能への影響は、全制御棒の落下試験を実施し、挿入時間に問題がないことによりその健全性を確認している。

さらに、運転時間25万時間での摩耗計測を実施予定である。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。



摩耗長さ[%] = $a / b \times 100$

a : 摩耗進行距離

b : 制御棒が制御棒クラスタ案内管(案内板)より抜け出る距離 (摩耗長さ100%)

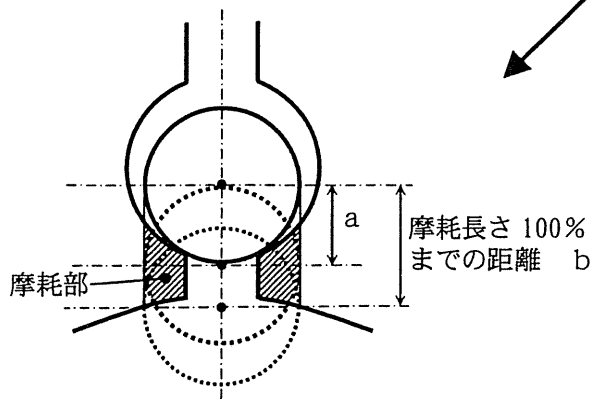


図2.2-1 高浜4号炉 制御棒クラスタ案内管(案内板) 摩耗長さ

(2) 炉内計装用シンプルチューブの摩耗

1981年3月、米国セーレム (Salem) 発電所 1 号炉他で炉内計装用シンプルチューブの摩耗による減肉が認められており、国内でも同様の事象が認められていることから、摩耗が想定される。

炉内計装用シンプルチューブの減肉が、シンプルチューブまわりの軸流による流体振動に起因することをモックアップ試験により確認している。また、減肉した炉内計装用シンプルチューブの耐圧健全性を確認するため、実機での減肉形状を模擬して外圧による圧壊試験を行い、限界減肉率を求めている。

一方、摩耗に関する一般知見として、現象が同じであれば単位時間当たりの摩耗体積は一定であり、摩耗発生箇所においては、炉内計装用シンプルチューブおよび炉内計装案内管の各形状 (図2.2-2) から、摩耗の進展に応じて、X部、Y部では接触面積が大きくなるため、摩耗深さの進展は緩やかになる。

炉内計装用シンプルチューブの摩耗による減肉については、限界減肉率に比べ十分小さい状態で管理している。

また、炉内計装用シンプルチューブの摩耗に対しては、渦流探傷検査により摩耗状況を確認するとともに、必要に応じて位置変更または取替を実施している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

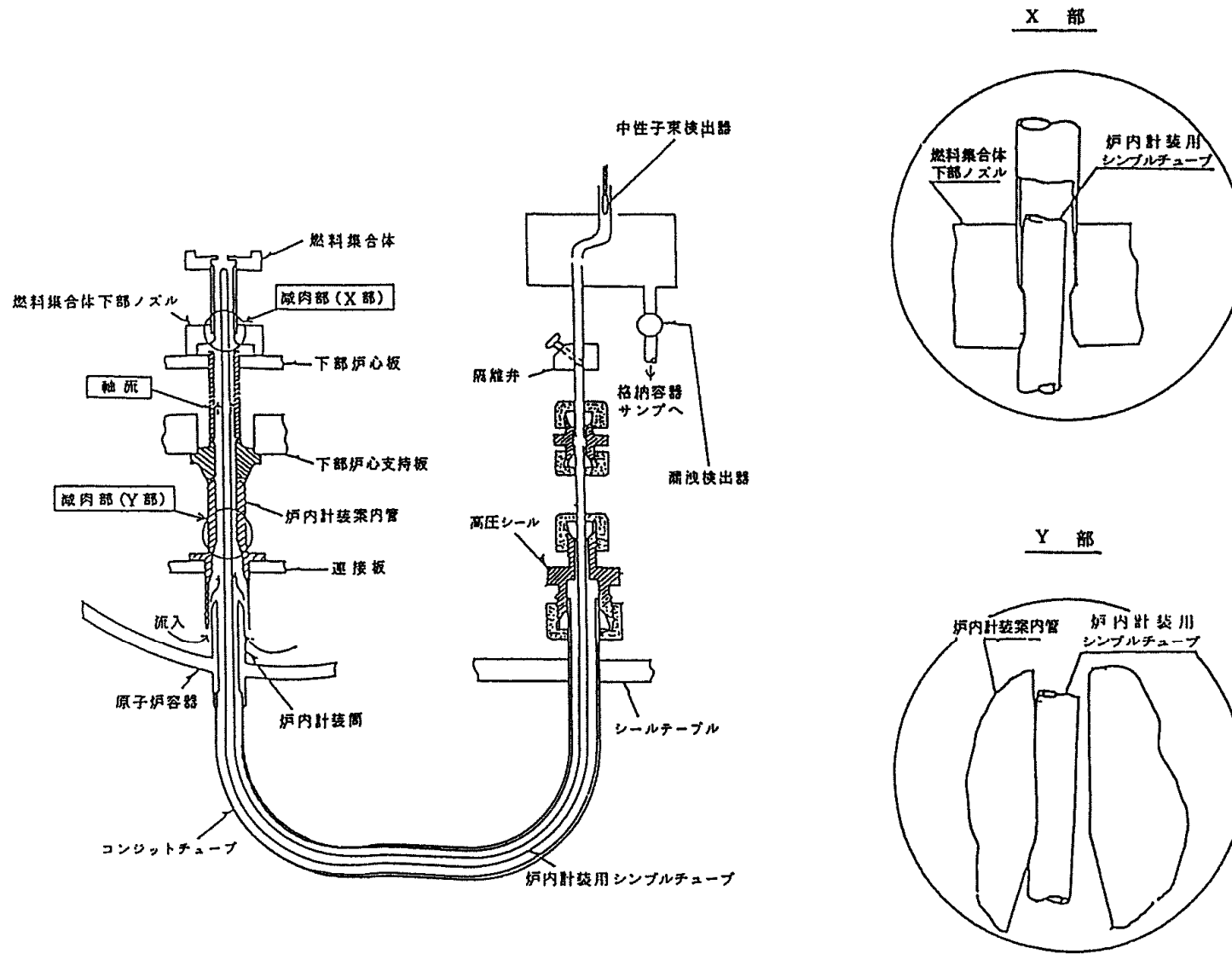


図2.2-2 炉内計装用シンプルチューブ減肉部位および形状概念図

(3) 支持ピン（止めピン）の摩耗

支持ピン（止めピン）については、1次冷却材の流体振動によりナットピン穴とピン部に摩耗が想定される。

しかしながら、目視確認を実施し、摩耗が認められた場合は取替を実施することで、健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) 炉心そうの中性子照射による靱性低下

炉心そうに使用しているステンレス鋼は、中性子照射により靱性低下など機械的特性が変化する。

中性子照射による靱性低下は、従来より原子炉容器を中心に検討評価されてきている。原子炉容器に使用されている材料はフェライト系の材料であり、この材料は中性子照射によって、関連温度の上昇や上部棚吸収エネルギーの低下が顕著なため、従来から重要な経年劣化事象として評価されている。

一方、炉心支持構造物であり強度上重要な炉心そうに使用されている材料はオーステナイト系の材料であって、フェライト系材料とは金属結晶構造が異なり、靱性が高い材料である。しかし、発電設備技術検査協会「平成8年度 プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」によるとオーステナイト系照射ステンレス鋼の破壊靱性値 J_{IC} 試験の結果、図2.2-3に示すように、中性子照射に対して靱性値の低下が認められる。

しかしながら、中性子照射により、靱性値が低下しても、炉内構造物に有意な欠陥が存在しなければ、不安定破壊を起こす可能性は小さいと考える。なお、炉心そう溶接部は、応力集中がなく照射量が少ないため「発電用原子力設備規格維持規格（JSME S NA1-2012）」に基づく評価では、照射誘起型応力腐食割れ発生の可能性は小さい。

さらに、ここで万一有意な欠陥が存在すると仮定し、地震発生時の亀裂安定性評価を実施した。想定欠陥は、「日本機械学会 設計・建設規格（JSME S NC1-2005/2007）」を準用し深さを板厚の1/4、長さは板厚の1.5倍の表面欠陥を周方向に仮定した（図2.2-4）。平板中の半楕円表面亀裂の応力拡大係数Kを求めるRaju-Newmanの式（Raju, I. S. and Newman, J. C., Jr., NASA Technical Paper 1578, 1979.）を用いて想定欠陥の応力拡大係数Kを算出した結果、 $6.9 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ となった。一方、図2.2-3中の J_{IC} 最下限値 14 kJ/m^2 から、換算式により破壊靱性値 K_{IC} を求めると $51 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ となる。

$$K_{IC} = \sqrt{\frac{E}{(1-\nu^2)}} \times J_{IC}$$

E : 縦弾性係数 (173,000 MPa at 350°C)

ν : ポアソン比 (0.3)

J_{IC} : 破壊靱性値の下限 (14 kJ/m² at 350°C)

よって、想定欠陥の応力拡大係数は、破壊靱性値を下回っており、不安定破壊は生じないことを確認した。

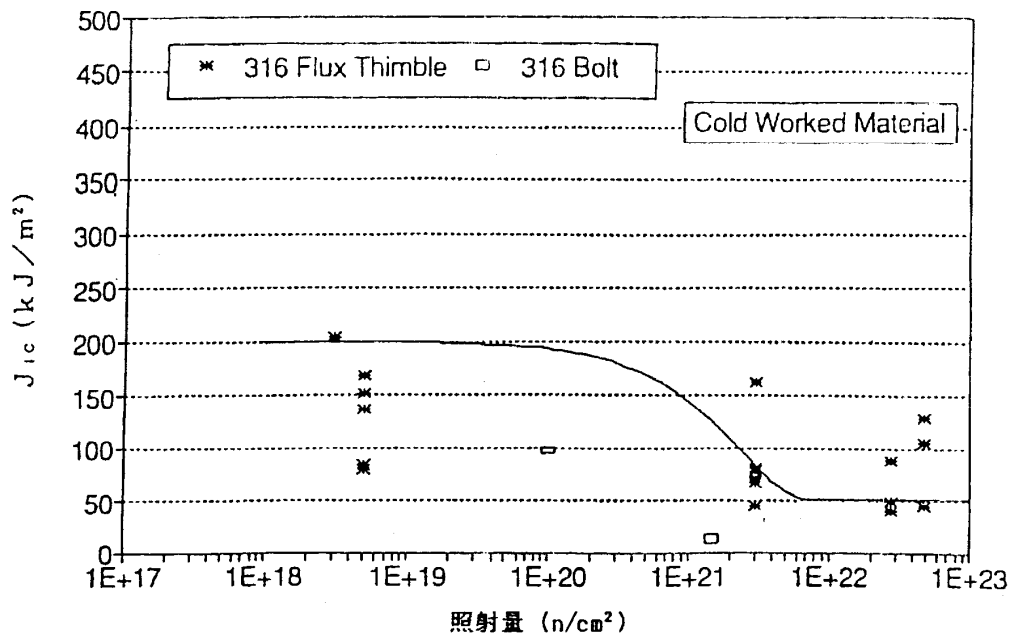


図2.2-3 破壊靱性値 J_{IC} と照射量の関係

[出典：発電設備技術検査協会「平成8年度 プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」]

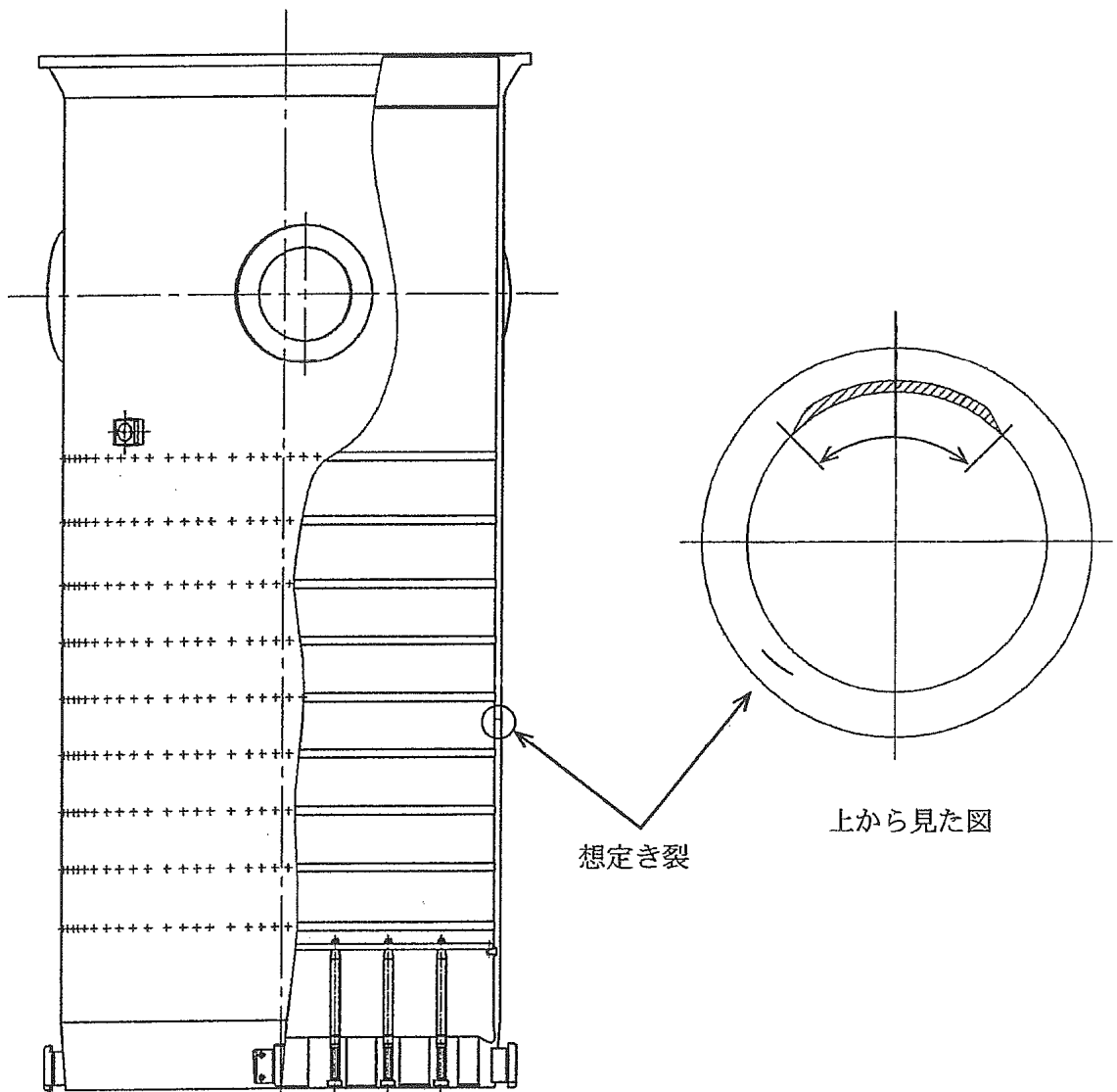


図2.2-4 高浜4号炉 中性子照射による靱性低下に対する炉心そうの想定欠陥

また、炉心そうについては、水中テレビカメラによる可視範囲の目視確認を実施し、異常のないことを確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) 炉心そう等の高サイクル疲労割れ

下部炉内構造物の炉心そうと熱遮蔽材、上部炉内構造物の上部炉心支持柱と制御棒クラスタ案内管は冷却材高速流れにさらされており、流体によるランダム振動が発生する可能性があるため、振動発生時に繰返し応力を受ける炉心そう、上部炉心支持柱、制御棒クラスタ案内管に高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、15×15燃料3ループプラントを対象にした1/5スケールモデル流動試験を実施し、問題ないことを確認している。

また、1999年7月に敦賀2号炉の再生熱交換器連絡管において、温度の異なる冷却材の合流による温度ゆらぎ（サーマルストライピング）が生じ、高サイクル熱疲労による疲労割れが発生しているが、炉内構造物において温度の異なる冷却材が合流する炉心そう出口ノズル部、上部炉心支持板および制御棒クラスタ案内管等については、最大の温度差を考慮しても有意な応力は発生しないため、高サイクル疲労割れ発生の可能性はない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、水中テレビカメラによる目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 上部炉心支持柱等の応力腐食割れ

ステンレス鋼の上部炉心支持柱等は、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、1次冷却材の水質を溶存酸素濃度5ppb以下に管理していることから、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、水中テレビカメラによる目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 支持ピンの応力腐食割れ

ニッケル基合金（750合金）の支持ピンについては1978年10月美浜3号炉にて応力腐食割れが認められている。

しかしながら、高浜4号炉の支持ピンは、応力腐食割れ感受性低減のため、新熱処理材応力低減化構造としていることから、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、水中テレビカメラによる目視確認により、機器の健全性を確認している。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(8) 炉心そう等の照射下クリープ

高照射環境下で使用される炉心そうおよびバッフルフォーマボルト（ステンレス鋼）には照射下クリープが想定される。

しかし、クリープ破断を生じる荷重制御型応力は微小であり、プラント運転に対し問題とはならない。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(9) 炉心バッフルの照射スウェリング

PWRプラントでの照射スウェリング量は小さく、炉心バッフルの上下に十分な隙間が存在することから、炉心バッフルの炉心形成機能が失われるようなことはなく、また、運転時間が先行している海外PWRプラントでもそのような事例は発生していないため、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。（参考文献：J. P. Foster and J. E. Flinn, Journal of Nuclear Materials 89(1980)99-112）

(10) 押えリングの変形（応力緩和）

プラント運転中の押えリングは、高温環境下で一定圧縮ひずみのまま保持されているため、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、押えリングに使用されているステンレス鋼（ASME SA182 Gr. F6b）は、応力緩和を生じにくい材料であり、押えリングの変形（応力緩和）が問題となる可能性はなく、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

表2.2-1 高浜4号炉 炉内構造物に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
炉心支持および炉心位置決め部材信頼性の維持	上部炉心板		ステンレス鋼			○	○ ^{*3} △				*1：高サイクル疲労割れ
	上部炉心支持柱		ステンレス鋼			○ △ ^{*1}	△				*2：高サイクル熱疲労割れ
	上部炉心支持板		ステンレス鋼			○ △ ^{*2}	△				*3：照射誘起型応力腐食割れ
	下部炉心板		ステンレス鋼			○	○ ^{*3} △				*4：中性子照射による靱性低下
	下部炉心支持柱		ステンレス鋼			○	○ ^{*3} △				*5：照射スウェリング
	下部炉心支持板		ステンレス鋼			○	△				*6：照射下クリープ
	炉心そう		ステンレス鋼			○ △ ^{*1,2}	○ ^{*3} △		△ ^{*4}	▲ ^{*6}	*7：変形（応力緩和）
	ラジアルキー		ステンレス鋼				△				
	上部燃料集合体案内ピン		ステンレス鋼				○ ^{*3} △				
	下部燃料集合体案内ピン		ステンレス鋼				○ ^{*3} △				
制御棒クラスタ案内構造信頼性の維持	制御棒クラスタ案内管		ステンレス鋼	△		△ ^{*1,2}	△				
	支持ピン		ニッケル基合金	△			△				
1次冷却材流路形成構成部材信頼性の維持	炉心バップル		ステンレス鋼				○ ^{*3} △			▲ ^{*5}	
	炉心バップル取付板		ステンレス鋼				○ ^{*3} △				
	バップルフォーマボルト		ステンレス鋼				○ ^{*3} △			▲ ^{*6}	
	バレルフォーマボルト		ステンレス鋼				○ ^{*3} △				
炉内計装案内構造部材信頼性の維持	炉内計装用シンプルチューブ		ステンレス鋼	△			△				
中性子遮蔽構造信頼性の維持	熱遮蔽材		ステンレス鋼				○ ^{*3} △				
	熱遮蔽材固定用ボルト		ステンレス鋼				○ ^{*3} △				
機器の支持構造信頼性の維持	押えリング		ステンレス鋼				△			▲ ^{*7}	

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 炉心支持構造物（上部炉心板、上部炉心支持柱、上部炉心支持板、下部炉心板、下部炉心支持柱、下部炉心支持板、炉心そう）の疲労割れ

a. 事象の説明

炉心支持構造物は、プラントの起動・停止時等に熱過渡を繰り返し受けるため、疲労が蓄積する。

b. 技術評価

① 健全性評価

炉心支持構造物の健全性評価にあたっては、構造が不連続であり、かつ、変形に対する拘束が大きいと、比較的大きな熱応力の発生する部位を対象として「日本機械学会 設計・建設規格（JSME S NC1-2005/2007）」に基づき評価を行った。

評価対象部位の代表部位を図2.3-1～図2.3-3に示す。

また、使用環境を考慮した疲労について、「日本機械学会 環境疲労評価手法（JSME S NF1-2009）」に基づき評価した。

疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。

なお、運転期間延長認可申請に伴う評価として、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的*に設定した過渡回数とした。

*：評価条件として、2020年度以降の過渡発生頻度は実績の1.5倍以上を想定した。

それぞれの代表箇所における評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

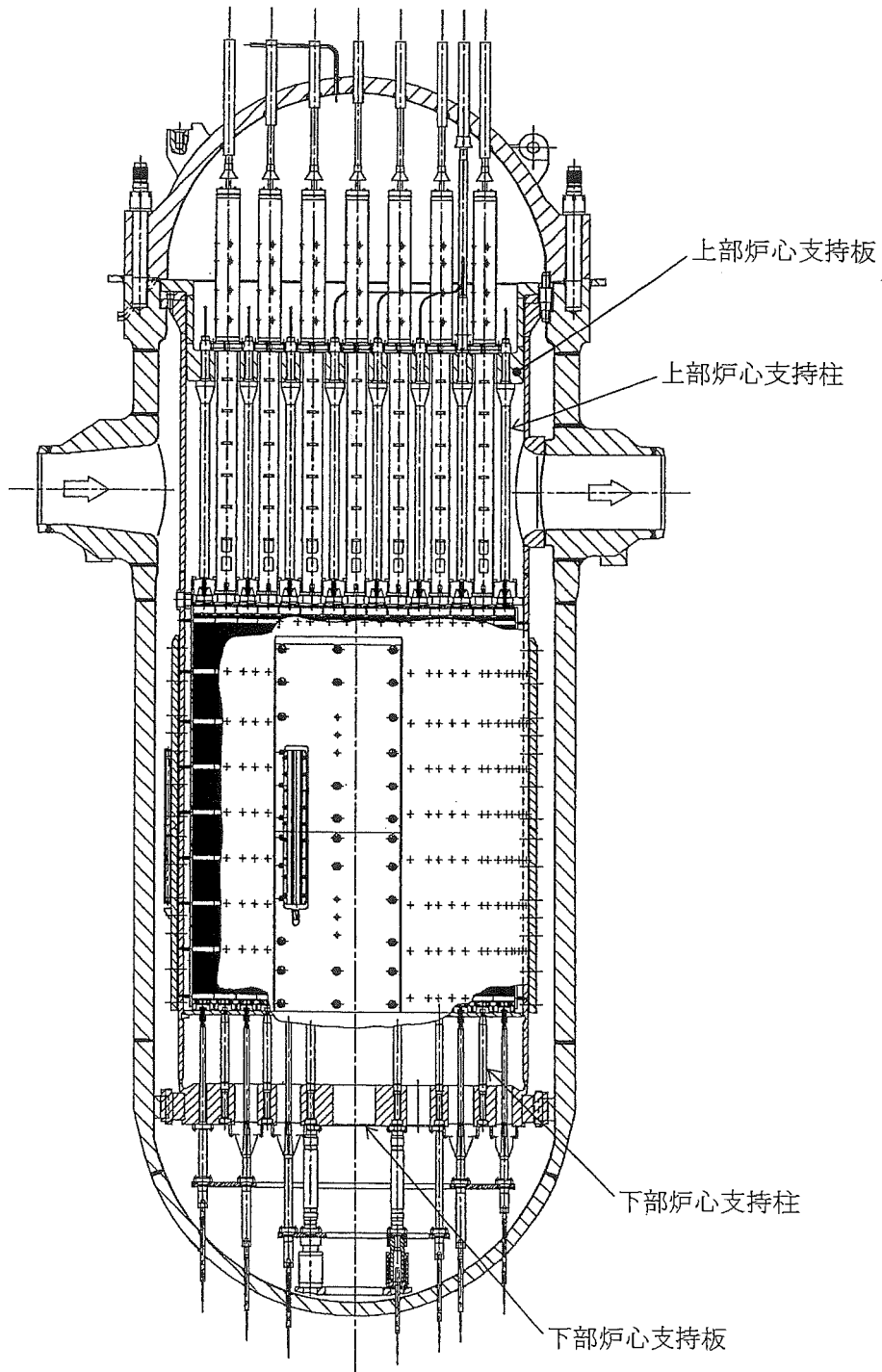


图2.3-1 高滨4号炉 炉心支持构造物疲劳评估部位

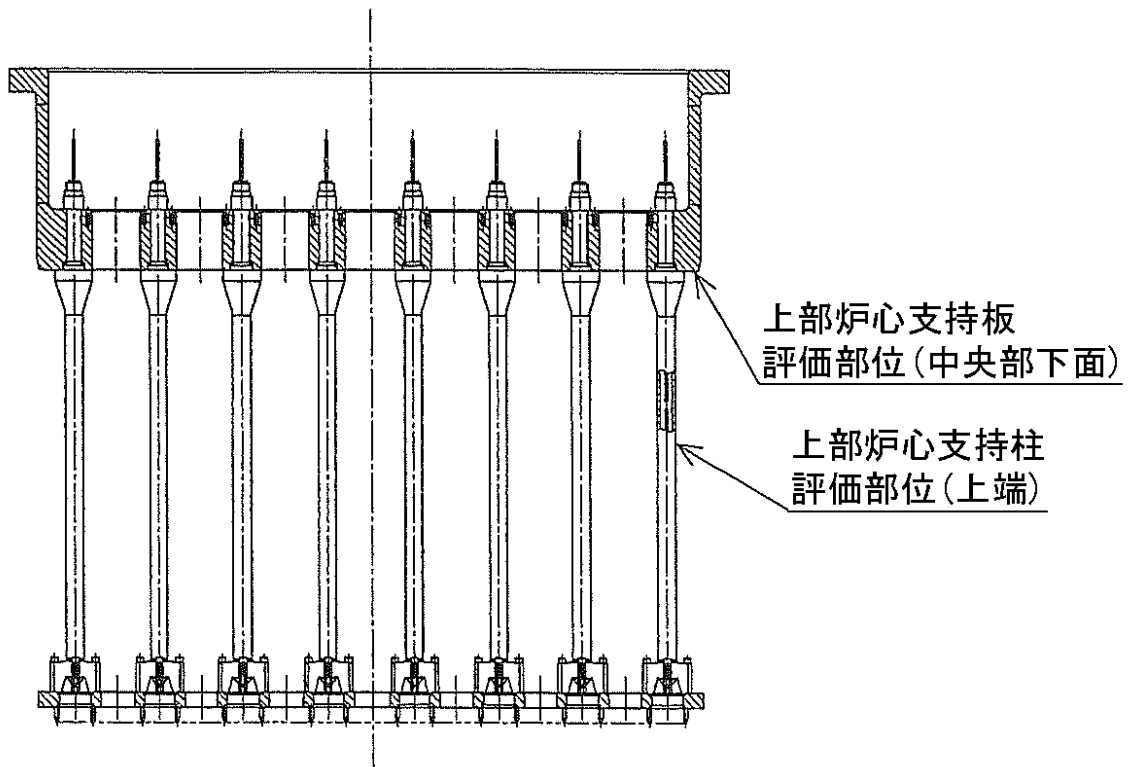


图 2.3-2 高浜 4 号炉 上部炉心支持板、上部炉心支持柱疲劳評価部位

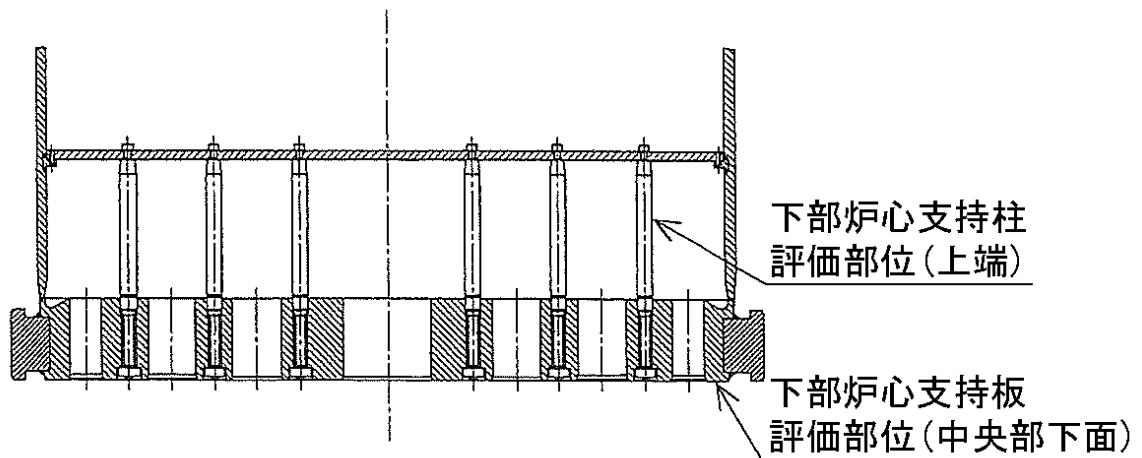


图2.3-3 高浜4号炉 下部炉心支持板、下部炉心支持柱疲劳評価部位

表2.3-1 高浜4号炉 炉心支持構造物の疲労評価に用いた過渡回数

運転状態 I

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年時点での推定値
起動（温度上昇率55.6°C/h）	35	71
停止（温度下降率55.6°C/h）	34	71
負荷上昇（負荷上昇率5%/min）	308	800
負荷減少（負荷減少率5%/min）	298	790
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	4
定常負荷運転時の変動*1	—	—
燃料交換	24	62
0%から15%への負荷上昇	35	66
15%から0%への負荷減少	25	55
1 ループ停止 / 1 ループ起動		
Ⅰ) 停止	0	2
Ⅱ) 起動	0	2

運転状態 II

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年時点での推定値
負荷の喪失	4	6
外部電源喪失	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	0	2
100%からの原子炉トリップ		
Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	3	6
Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2
Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	2
1次冷却系の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	0	2
タービン回転試験	3	3
1次系漏えい試験	31	65

*1：設計評価においては、1次冷却材温度±1.7°C、1次冷却材圧力±0.34MPa（±3.5kg/cm²）の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

表2.3-2 高浜4号炉 炉心支持構造物の疲労評価結果

評価対象部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値：1以下)	
	設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
上部炉心支持板 (ステンレス鋼)	0.003	0.020
上部炉心支持柱 (ステンレス鋼)	0.001	0.001
下部炉心支持板 (ステンレス鋼)	0.002	0.022
下部炉心支持柱 (ステンレス鋼)	0.003	0.031

② 現状保全

炉心支持構造物の疲労割れについては、定期的に可視範囲について水中テレビカメラによる目視確認を実施し、有意な欠陥がないことを確認している。さらに、高経年化技術評価に合わせて実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、疲労割れ発生の可能性はないと考える。ただし、疲労評価は実績過渡回数に依存するため、今後も実績過渡回数を把握し評価する必要がある。

また、疲労割れは目視確認にて検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

炉心支持構造物の疲労割れについては、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認する。

2.3.2 バッフルフォーマボルト等の照射誘起型応力腐食割れ

a. 事象の説明

ステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れの発生要因としては、材料、応力、環境の三要因が考えられ、運転時間が経過し、非常に高い中性子照射量を受けると応力腐食割れとして顕在化してくる可能性がある。

① 材料要因

ステンレス鋼については、PWR 1次系水質環境においては溶存酸素濃度が低いために、仮に材料が溶接等の熱影響により鋭敏化していても応力腐食割れ感受性がないことが知られている。

しかし、長年の中性子照射によってステンレス鋼の材料特性に経年変化が生じ、非常に高い中性子照射量を受けたステンレス鋼においては、PWR 1次系水質環境において応力腐食割れ感受性があることが明らかになっている。

② 応力要因

材料が応力腐食割れ感受性を有する場合、熱荷重や外荷重、溶接残留応力等により大きな応力が作用する部位には応力腐食割れが発生する可能性がある。他の応力腐食割れと同様に、照射誘起型応力腐食割れについても、応力腐食割れが発生し破断するまでの時間は応力レベルに依存しており応力が高いほど破断時間の短いことが知られている。

③ 環境要因

PWR 1次系水質環境下における応力腐食割れの環境要因としては、溶存酸素や塩化物イオン等の化学成分および温度が重要要因となるが、PWRの1次系水は、水素注入や脱塩処理により、溶存酸素濃度や塩化物イオン濃度等を極力低減している。

また、定期分析等により十分な水質管理を行っており、水環境の悪化は考えられない。よって、環境要因としては温度が重要要因となる。

温度依存性については温度が高いほど、応力腐食割れ感受性が高くなることが知られている。

b. 技術評価

① 健全性評価

発電設備技術検査協会「平成8年度 プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」で得られた照射ステンレス鋼を用いたPWR 1次系水質環境での低ひずみ速度引張試験結果および電力共通研究の結果を合わせて図2.3-4および図2.3-5に示す。325℃の場合、 $10^{21}\text{n/cm}^2 [E > 0.1\text{MeV}]$ オーダー以上の中性子照射を受けたステンレス鋼に対して応力腐食割れ感受性が発生している。また、温度が高くなるほどその応力腐食割れ感受性発生の中性子照射量しきい値が低下している。

また、原子力安全基盤機構「平成20年度 照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術に関する報告書」で得られた照射ステンレス鋼を用いたPWR 1次系水質環境での定荷重応力腐食割れ試験結果を図2.3-6に示す。高応力であるほど亀裂発生までの時間が短いことが示されている。

以上の知見を踏まえ、炉内構造物のステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れについて、実機の中性子照射量、応力、温度条件および海外での損傷事例をもとに、各部に対する亀裂発生可能性の評価を実施し、その結果を表2.3-3に示す。

これにより、バッフルフォーマボルトについては、照射誘起型応力腐食割れ発生の可能性に対して特に検討を要すると考えられる。

なお、バッフルフォーマボルト以外については、バッフルフォーマボルトの評価結果を基準に、相対的な評価を行っている。

○炉心バッフル、炉心バッフル取付板

中性子照射量および温度条件はバッフルフォーマボルトと同等であるが、発生応力レベルが小さいため、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断した。

○炉心そう

温度はバッフルフォーマボルトと同等であるが、中性子照射量が小さい。また、炉心そう溶接部の残留応力値は、首下に応力集中のあるバッフルフォーマボルトの応力より小さいと考えられることから、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断した。

○上部炉心板、上部燃料集合体案内ピン

温度はバッフルフォーマボルトと同等であるが、中性子照射量および発生応力レベルが緩やかであるため、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断した。

○下部燃料集合体案内ピン、下部炉心支持柱、熱遮蔽材

バッフルフォーマボルトに比べて、中性子照射量、発生応力レベルおよび温度条件が緩やかであるため、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断した。

○下部炉心板、熱遮蔽材固定用ボルト

発生応力レベルはバッフルフォーマボルトと同等であるが、中性子照射量および温度条件が緩やかであるため、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断した。

○バレルフォーマボルト

温度および発生応力レベルはバッフルフォーマボルトと同等であるが、中性子照射量が小さい。また、「発電用原子力設備規格 維持規格 (JSME S NA1-2012)」によると、照射量、発生応力等を考慮し評価した結果、バッフルフォーマボルトに比べて十分余裕のある損傷予測結果となっている。

以下に、バッフルフォーマボルトについて、照射誘起型応力腐食割れ発生の可能性を評価した。

海外トラブル事例があり、中性子照射量、温度および応力が比較的高いバッフルフォーマボルトについては、現状では異常は認められないものの運転の長期化を考慮すると、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性は否定できない。

なお、バッフルフォーマボルトは多数のボルトによりその機能を維持しており、フランスでは一部のバッフルフォーマボルトが損傷しても炉内構造物全体の健全性は残りの健全なバッフルフォーマボルトにより十分確保されるとして適宜点検により損傷本数を確認しながら運転が継続されている。

また、米国ではクリティカルボルト（炉心の健全性が確保できる配置、本数のバッフルフォーマボルト）について取替を実施してきている。

一方、国内では、「発電用原子力設備規格 維持規格 (JSME S NA1-2012)」に基づく、バッフルフォーマボルトは縦列に2本のボルトが残存すればよく、ボルト本数全体の約7割が損傷した場合でも炉心の健全性は確保可能であると評価されている。

また、「発電用原子力設備規格 維持規格 (JSME S NA1-2012)」ではバッフルフォーマボルトの仕様によってプラントをグループ1～4に分類しており、高浜4号炉が属するグループ4のプラントの管理損傷ボルト数（全体の20%）に至るまでの期間は約50年以上と評価されている。

なお、バッフルフォーマボルトについては、原子力安全基盤機構「平成20年度照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術に関する報告書」で得られた知見を用いて評価した結果、運転開始後60年時点でのボルトの損傷本数は0本となり、安全に関わる機能を維持できることから、炉心の健全性に影響を与える可能性は小さいと考える。

以上より、バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れが炉心の健全性に影響を与える可能性は低いと考える。

表2.3-3(1/2) 高浜4号炉 ステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れの可能性評価

部位	実機条件			海外の損傷事例	可能性評価
	中性子照射量レベル*1 [n/cm ² ·E > 0.1MeV]	応力レベル*2 (応力支配因子)	温度 [°C]		
バッフルフォーマボルト	1×10 ²³	大 { 締付+熱曲げ +照射スウェリング }	321	有	発生の可能性有り。炉心バッフルの照射スウェリングにより応力増加が生じるため、亀裂発生の可能性が大きくなる。海外損傷事例もあり最も厳しい。
炉心バッフル	1×10 ²³	小 (熱応力)	321	無	バッフルフォーマボルトよりも応力レベルが小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
炉心バッフル取付板	1×10 ²³	小 (熱応力)	321	無	バッフルフォーマボルトよりも応力レベルが小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
バレルフォーマボルト	2×10 ²²	大 (締付+熱曲げ)	321	無	応力レベルは大きいですが、バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
炉心そう	3×10 ²²	大*3 (溶接部) (溶接残留応力)	321	無	溶接残留応力が存在し応力レベルは大きいですが、バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
上部炉心板	1×10 ²¹	小 (熱応力)	321	無	バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量および応力レベルが小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
上部燃料集合体案内ピン	1×10 ²¹	小 (締付け)	321	無	バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量および応力レベルが小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。

*1：中性子照射量レベルは運転開始後60年時点での各部位の推定最大中性子照射量レベルを示す。

*2：応力レベルは各部位の最大応力値を示す。

応力レベル 大：> S_y (非照射材の降伏応力) 中：≒ S_y (非照射材の降伏応力) 小：< S_y (非照射材の降伏応力)

バッフルフォーマボルト、バレルフォーマボルトおよび熱遮蔽材固定用ボルトは、初期締付応力に加えて炉心バッフル組立体および炉心そうと熱遮蔽材との組立体の熱変形による熱曲げ応力が作用するため、高応力となる。

*3：炉心そう溶接部の残留応力は大きいですが、「発電用原子力設備規格 維持規格 (JSME S NA1-2012)」にて、炉心そう溶接部応力は、照射誘起型応力腐食割れ発生に対し余裕があると評価されている。

表2.3-3(2/2) 高浜4号炉 ステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れの可能性評価

部位	実機条件			海外の損傷事例	可能性評価
	中性子照射量レベル*1 [n/cm ² :E > 0.1MeV]	応力レベル*2 (応力支配因子)	温度 [°C]		
下部燃料集合体 案内ピン	9×10 ²¹	小 (締付け)	284	無	バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量、応力レベルおよび温度が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
下部炉心板	9×10 ²¹	大 (熱応力)	284	無	応力レベルは大きいですが、バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量および温度が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
下部炉心支持柱	5×10 ²¹	中 (曲げ)	284	無	バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量、応力レベルおよび温度が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
熱遮蔽材	1×10 ²²	小 (熱応力)	284	無	バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量、応力レベルおよび温度が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
熱遮蔽材 固定用ボルト	1×10 ²²	大 (締付+熱曲げ)	284	無	応力レベルは大きいですが、バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量および温度が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。

*1：中性子照射量レベルは運転開始後60年時点での各部位の推定最大中性子照射量レベルを示す。

*2：応力レベルは各部位の最大応力値を示す。

応力レベル 大：> S_y（非照射材の降伏応力） 中：≒ S_y（非照射材の降伏応力） 小：< S_y（非照射材の降伏応力）

バッフルフォーマボルト、バレルフォーマボルトおよび熱遮蔽材固定用ボルトは、初期締付応力に加えて炉心バッフル組立体および炉心そうと熱遮蔽材との組立体の熱変形による熱曲げ応力が作用するため、高応力となる。

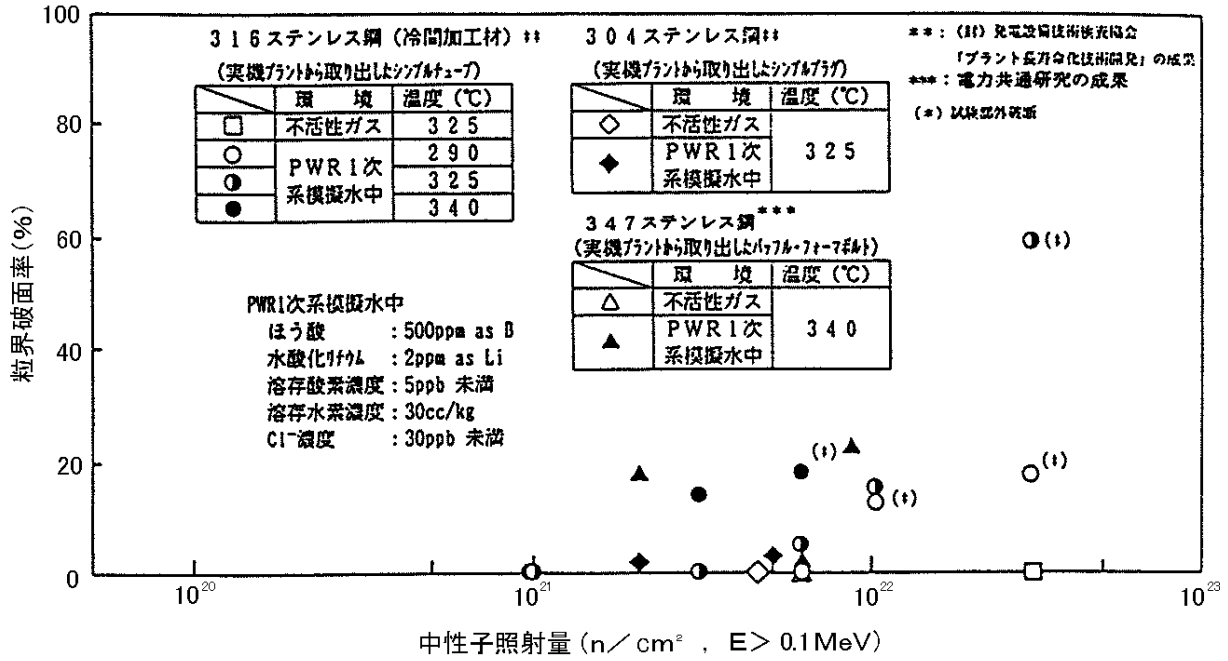


図2.3-4 粒界破面率と照射量の関係

[出典：発電設備技術検査協会「平成8年度 プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」]

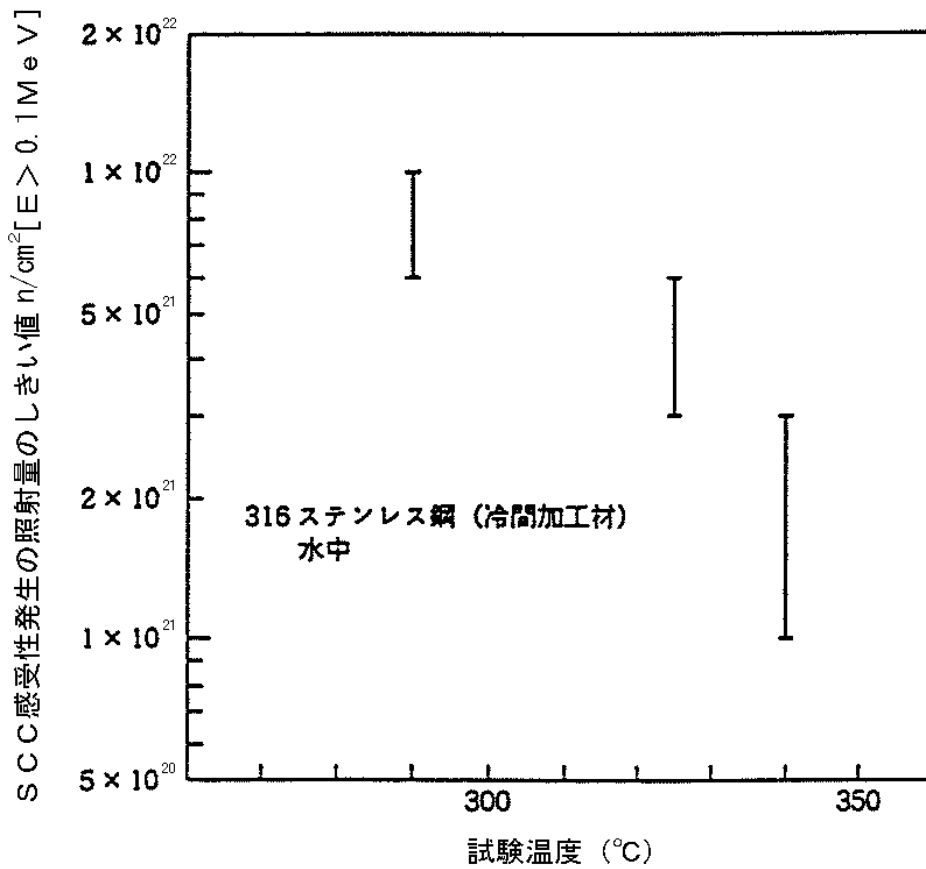


図2.3-5 応力腐食割れ (SCC) 感受性発生の中性子照射量のしきい値と試験温度の関係

[出典：発電設備技術検査協会「平成8年度 プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」]

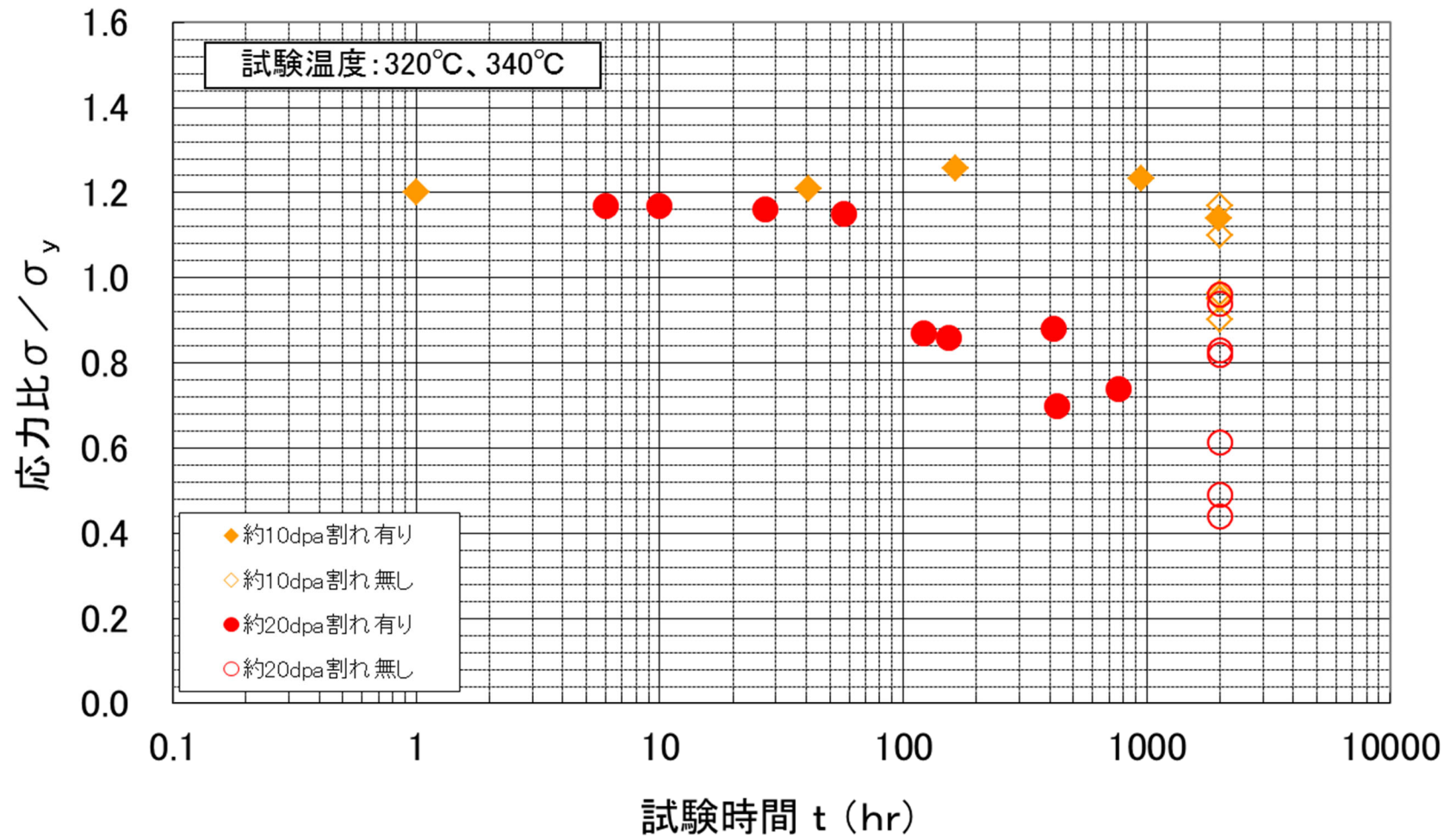


図2.3-6 定荷重応力腐食割れ試験結果

(316ステンレス鋼 (冷間加工材), $>1.5 \times 10^{22}$ n/cm²)

[出典: 原子力安全基盤機構「平成20年度 照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術に関する報告書」(バッフルフォーマボルトデータのみプロット)]

② 現状保全

炉内構造物のステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れについては、定期的に炉内構造物の可視範囲について水中テレビカメラによる目視確認を実施し、異常がないことを確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、バッフルフォーマボルトについては、照射誘起型応力腐食割れの発生が否定できないと考えられる。

ただし、原子力安全基盤機構「平成20年度 照射誘起型応力腐食割れ (IASCC) 評価技術に関する報告書」で得られた知見を用いて評価した結果、運転開始後60年時点でのボルトの損傷本数は0本となり、バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れが炉内構造物の構造強度・機能の健全性に影響を与える可能性は小さいと考える。

バッフルフォーマボルト以外については、バッフルフォーマボルトに比べて、中性子照射量、応力、温度の実機条件が相対的に低いレベルであるため、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと考える。

c. 高経年化への対応

ステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。