

川内原子力発電所 2 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]

九州電力株式会社

川内2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の機器及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も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する。

なお、点検等で確認した結果、異常が認められた場合、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。

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。

タービン動補助給水ポンプ及びタービン動主給水ポンプにおけるタービンは「タービン設備の技術評価書」にて、ポンプ用電動機は「ポンプ用電動機の技術評価書」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、ポンプに含まれる配管及び弁は「配管の技術評価書」及び「弁の技術評価書」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。

また、川内1、2号炉の共用設備のうち1号炉で設置されているポンプについては、「川内原子力発電所2号炉 共用設備（他号炉設備）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 川内2号炉 主要なポンプ

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準			選定	選定理由	
型式	内部流体	材料		重要度*5	使用条件				
					運転	最高使用圧力 (MPa[gage])			最高使用温度 (°C)
ターボポンプ たて置斜流形	海水	ステンレス鋼鋳鋼	海水ポンプ (4)	MS-1、重*7	連続	約 0.7	約 50	◎	
ターボポンプ よこ置うず巻形	1次冷却材	低合金鋼*1	充てん/高圧注入ポンプ (3)	MS-1、重*8	連続 (充てん時) 一時 (高圧注入時)	約18.8	約150	◎	重要度 温度、圧力
			1次冷却材 ほう酸水	ステンレス鋼鋳鋼	余熱除去ポンプ (2)	MS-1、重*8	連続 (余熱除去時) 一時 (低圧注入時)	約 4.1	
	格納容器スプレイポンプ (2)	MS-1、重*8			一時	約 2.7	約150		
	燃料取替用水ポンプ (2)	MS-2			連続	約 1.4	約 95		
	ほう酸ポンプ (2)	MS-1、重*8			連続	約0.98	約 95		
	ヒドラジン水	炭素鋼鋳鋼*2	原子炉補機冷却水ポンプ (4)	MS-1、重*7	連続	約0.98	約 95	◎	
			給水 純水	炭素鋼鋳鋼*2	1次系補助蒸気復水ポンプ (4)	高*6	一時	約0.49	約100
	鋳鉄*3	補助蒸気復水回収ポンプ (2)			高*6	一時	約0.64	約100	
	ステンレス鋼鋳鋼	タービン動補助給水ポンプ (1)		MS-1、重*8	一時	約12.3	約 40		
		電動補助給水ポンプ (2)		MS-1、重*8	一時	約12.3	約 40		
		電動主給水ポンプ (1)		高*6	一時	約11.0	約200		
		タービン動主給水ポンプ (2)		高*6	連続	約11.0	約200		
		復水ブースタポンプ (3)		高*6	連続	約 4.0	約 80		
湿分離器ドレンポンプ (2)		高*6		連続	約 1.9	約200			
湿分離加熱器ドレンポンプ (4)		高*6		連続	約 3.1	約235			
常設電動注入ポンプ (1)		重*8		一時	約 2.1	約 40			
ターボポンプ たて置うず巻形	給水	炭素鋼*4	給水ブースタポンプ (3)	高*6	連続	約 3.9	約200	◎	温度、圧力
			低圧給水加熱器ドレンポンプ (3)	高*6	連続	約 2.7	約 85		
ターボポンプ たて置斜流形	1次冷却材	ステンレス鋼鋳鋼	1次冷却材ポンプ (3)	PS-1、重*8	連続	約17.2	約343	◎	

*1：ケーシングは低合金鋼（内面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：ケーシングは炭素鋼、主軸はステンレス鋼、羽根車はステンレス鋼鋳鋼
 *5：機能は最上位の機能を示す
 *6：最高使用温度が95℃を超え、又は最高使用圧力が1,900kPa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
 *7：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及び構造物であることを示す（A号機、B号機）
 *8：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及び構造物であることを示す

表2 川内2号炉 主要なポンプの機能

ポンプ	機能
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次冷却材系統より取り出された1次冷却材を、体積制御タンクより再び1次冷却材系統に送る。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。
余熱除去ポンプ	炉を停止した後の1次冷却材系統顕熱、炉心の崩壊熱及び1次冷却材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次冷却材系統を降温させる。 また、冷却材喪失事故時には安全注入系統の作動と平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。
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。
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。
原子炉補機冷却水ポンプ	1次冷却材系、非常用炉心冷却系、余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。
1次系補助蒸気復水ポンプ	1次系で使用された補助蒸気の復水を復水回収タンク又はスチームコンバータへ送水する。
補助蒸気復水回収ポンプ	2次系で使用された補助蒸気の復水をスチームコンバータへ送水する。
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。
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。
タービン動主給水ポンプ	脱気器タンクの給水を蒸気発生器へ送水する。
復水ブースタポンプ	復水フィルタからの復水を復水系統へ送水する。
湿分分離器ドレンポンプ	湿分分離器ドレンを脱気器へ送水する。
湿分分離加熱器ドレンポンプ	湿分分離加熱器ドレンを高圧第6給水加熱器へ送水する。
常設電動注入ポンプ	重大事故等時に原子炉容器内に送水又は原子炉格納容器内へのスプレイ水を送水する。
給水ブースタポンプ	給水ポンプの有効吸込ヘッドを確保する。
低圧給水加熱器ドレンポンプ	低圧給水加熱器ドレンを復水系統へ送水する。
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。

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 余熱除去ポンプ
- ④ 格納容器スプレイポンプ
- ⑤ 燃料取替用水ポンプ
- ⑥ ほう酸ポンプ
- ⑦ 原子炉補機冷却水ポンプ
- ⑧ 1次系補助蒸気復水ポンプ
- ⑨ 補助蒸気復水回収ポンプ
- ⑩ タービン動補助給水ポンプ
- ⑪ 電動補助給水ポンプ
- ⑫ 電動主給水ポンプ
- ⑬ タービン動主給水ポンプ
- ⑭ 復水ブースタポンプ
- ⑮ 湿分分離器ドレンポンプ
- ⑯ 湿分分離加熱器ドレンポンプ
- ⑰ 常設電動注入ポンプ
- ⑱ 給水ブースタポンプ
- ⑲ 低圧給水加熱器ドレンポンプ

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	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、材料及び使用条件	4
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	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. 対象機器及び代表機器の選定

川内2号炉で使用されている主要なターボポンプ（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、内部流体及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及び結果

表1-1に示すターボポンプについて、型式、内部流体及び材料を分離基準として考えると、合計6つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

- (1) 型式：たて置斜流形、内部流体：海水、材料：ステンレス鋼鋳鋼

このグループには海水ポンプのみが属するため、代表機器は海水ポンプとする。

- (2) 型式：よこ置うず巻形、内部流体：1次冷却材、材料：低合金鋼

このグループには充てん／高圧注入ポンプのみが属するため、代表機器は充てん／高圧注入ポンプとする。

- (3) 型式：よこ置うず巻形、内部流体：1次冷却材及びほう酸水、材料：ステンレス鋼鋳鋼

このグループには余熱除去ポンプ、格納容器スプレイポンプ、燃料取替用水ポンプ及びほう酸ポンプが属するが、重要度、温度及び圧力の高い余熱除去ポンプを代表機器とする。

- (4) 型式：よこ置うず巻形、内部流体：ヒドラジン水、材料：炭素鋼鋳鋼

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ため、代表機器は原子炉補機冷却水ポンプとする。

- (5) 型式：よこ置うず巻形、内部流体：給水及び純水、材料：炭素鋼鋳鋼、鋳鉄及びステンレス鋼鋳鋼

このグループには1次系補助蒸気復水ポンプ、補助蒸気復水回収ポンプ、タービン動補助給水ポンプ、電動補助給水ポンプ、電動主給水ポンプ、タービン動主給水ポンプ、復水ブースタポンプ、湿分分離器ドレンポンプ、湿分分離加熱器ドレンポンプ及び常設電動注入ポンプが属するが、重要度が高く、ケーシングカバーの材料が炭素鋼鋳鋼であるタービン動補助給水ポンプを代表機器とする。

- (6) 型式：たて置うず巻形、内部流体：給水、材料：炭素鋼

このグループには給水ブースタポンプ及び低圧給水加熱器ドレンポンプが属するが、温度、圧力が高い給水ブースタポンプを代表機器とする。

表1-1 川内2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			選定	選定理由	
				重要度*5	使用条件				
型式	内部流体	材料			運 転	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)		
たて置 斜流形	海 水	ステンレス鋼鋳鋼	海水ポンプ (4)	MS-1、重*7	連 続	約 0.7	約 50	◎	
よこ置 うず巻形	1次冷却材	低合金鋼*1	充てん/高压注入ポンプ (3)	MS-1、重*8	連続 (充てん時) 一時 (高压注入時)	約18.8	約150	◎	重要度 温度、圧力
			1次冷却材 ほう酸水	ステンレス鋼鋳鋼	余熱除去ポンプ (2)	MS-1、重*8	連続 (余熱除去時) 一時 (低圧注入時)		
	格納容器スプレイポンプ (2)	MS-1、重*8			一 時	約 2.7	約150		
	燃料取替用水ポンプ (2)	MS-2			連 続	約 1.4	約 95		
	ほう酸ポンプ (2)	MS-1、重*8			連 続	約0.98	約 95		
	ヒドラジン水	炭素鋼鋳鋼*2	原子炉補機冷却水ポンプ (4)	MS-1、重*7	連 続	約0.98	約 95	◎	
	給 水 純 水	炭素鋼鋳鋼*2	1次系補助蒸気復水ポンプ (4)	高*6	一 時	約0.49	約100	◎	重要度 ケーシング カバーの材 料
			鋳 鉄*3	補助蒸気復水回収ポンプ (2)	高*6	一 時	約0.64		
		ステンレス鋼鋳鋼	タービン動補助給水ポンプ (1)	MS-1、重*8	一 時	約12.3	約 40		
			電動補助給水ポンプ (2)	MS-1、重*8	一 時	約12.3	約 40		
			電動主給水ポンプ (1)	高*6	一 時	約11.0	約200		
			タービン動主給水ポンプ (2)	高*6	連 続	約11.0	約200		
			復水ブースタポンプ (3)	高*6	連 続	約 4.0	約 80		
湿分分離器ドレンポンプ (2)			高*6	連 続	約 1.9	約200			
湿分分離加熱器ドレンポンプ (4)			高*6	連 続	約 3.1	約235			
常設電動注入ポンプ (1)	重*8	一 時	約 2.1	約 40					
たて置 うず巻形	給 水	炭 素 鋼*4	給水ブースタポンプ (3)	高*6	連 続	約 3.9	約200	◎	温度、圧力
			低圧給水加熱器ドレンポンプ (3)	高*6	連 続	約 2.7	約 85		

*1：ケーシングは低合金鋼（内面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：ケーシングは炭素鋼、主軸はステンレス鋼、羽根車はステンレス鋼鋳鋼

*5：機能は最上位の機能を示す

*6：最高使用温度が95℃を超え、又は最高使用圧力が1,900kPa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

*7：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及び構造物であることを示す（A号機、B号機）

*8：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及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種類のポンプについて技術評価を実施する。

- ① 海水ポンプ
- ② 充てん／高圧注入ポンプ
- ③ 余熱除去ポンプ
- ④ 原子炉補機冷却水ポンプ
- ⑤ タービン動補助給水ポンプ
- ⑥ 給水ブースタポンプ

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 海水ポンプ

(1) 構造

川内2号炉の海水ポンプは、たて置単段の斜流形である。

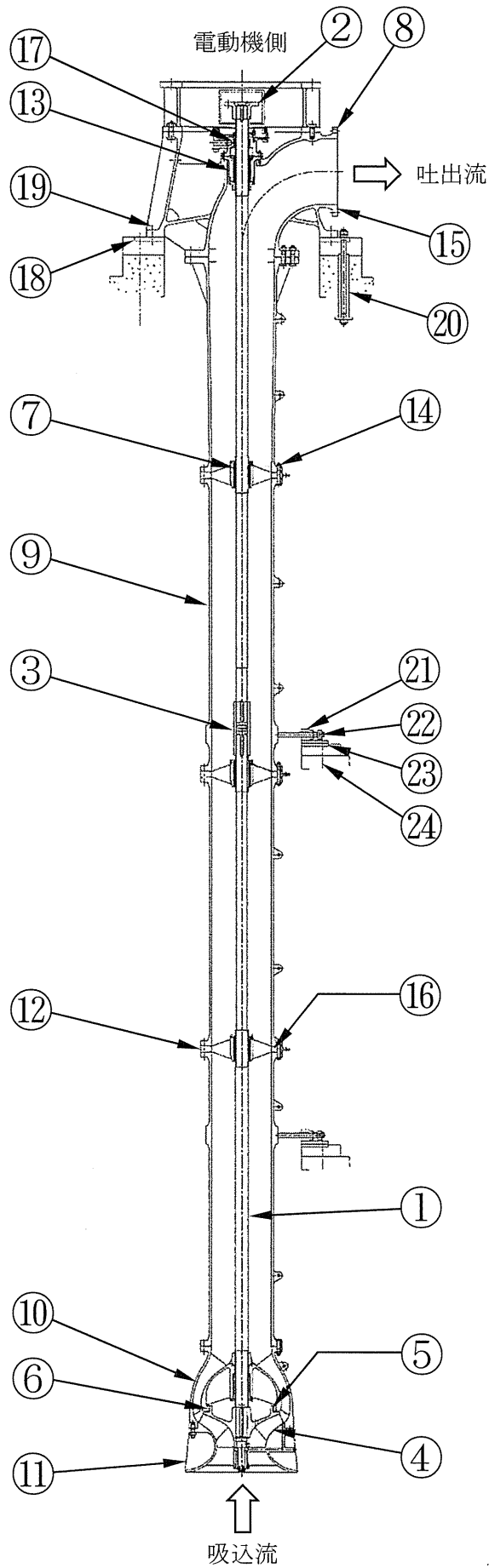
主軸、羽根車、吐出管及び案内羽根には耐食ステンレス鋼又は耐食ステンレス鋼鋳鋼を使用しており、それぞれ海水に接液している。

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。

川内2号炉の海水ポンプの構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の海水ポンプの使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部 位
①	主 軸
②	軸 継 手
③	中間軸継手
④	羽 根 車
⑤	羽根車リング
⑥	ケーシングリング
⑦	水中軸受 (すべり)
⑧	吐出曲管
⑨	吐 出 管
⑩	案内羽根
⑪	吸 込 口
⑫	中間軸受箱
⑬	軸 受 箱
⑭	ケーシングボルト
⑮	ガスケット
⑯	Ｏリング
⑰	グランドパッキン
⑱	上部据付板
⑲	取付ボルト
⑳	基礎ボルト
㉑	振れ止め台
㉒	振れ止めボルト
㉓	下部据付板
㉔	振れ止め台用基礎ボルト

*
*
*
*
*
*

* : ケーシング組立品の構成品

図2.1-1 川内2号炉 海水ポンプ構造図

表2.1-1 川内2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	耐食ステンレス鋼鑄鋼
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
水中軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
吐出曲管	耐食ステンレス鋼鑄鋼
吐 出 管	耐食ステンレス鋼鑄鋼
案内羽根	耐食ステンレス鋼鑄鋼
吸 込 口	耐食ステンレス鋼鑄鋼
中間軸受箱	耐食ステンレス鋼鑄鋼
軸 受 箱	耐食ステンレス鋼鑄鋼
ケーシングボルト	ステンレス鋼 耐食ステンレス鋼
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
上部据付板	炭 素 鋼
取付ボルト	ステンレス鋼
基礎ボルト	炭 素 鋼
振れ止め台	ステンレス鋼
振れ止めボルト	ステンレス鋼
下部据付板	ステンレス鋼
振れ止め台用基礎ボルト	ステンレス鋼

表2.1-2 川内2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 充てん／高圧注入ポンプ

(1) 構造

川内2号炉の充てん／高圧注入ポンプは、よこ置多段のうず巻形である。

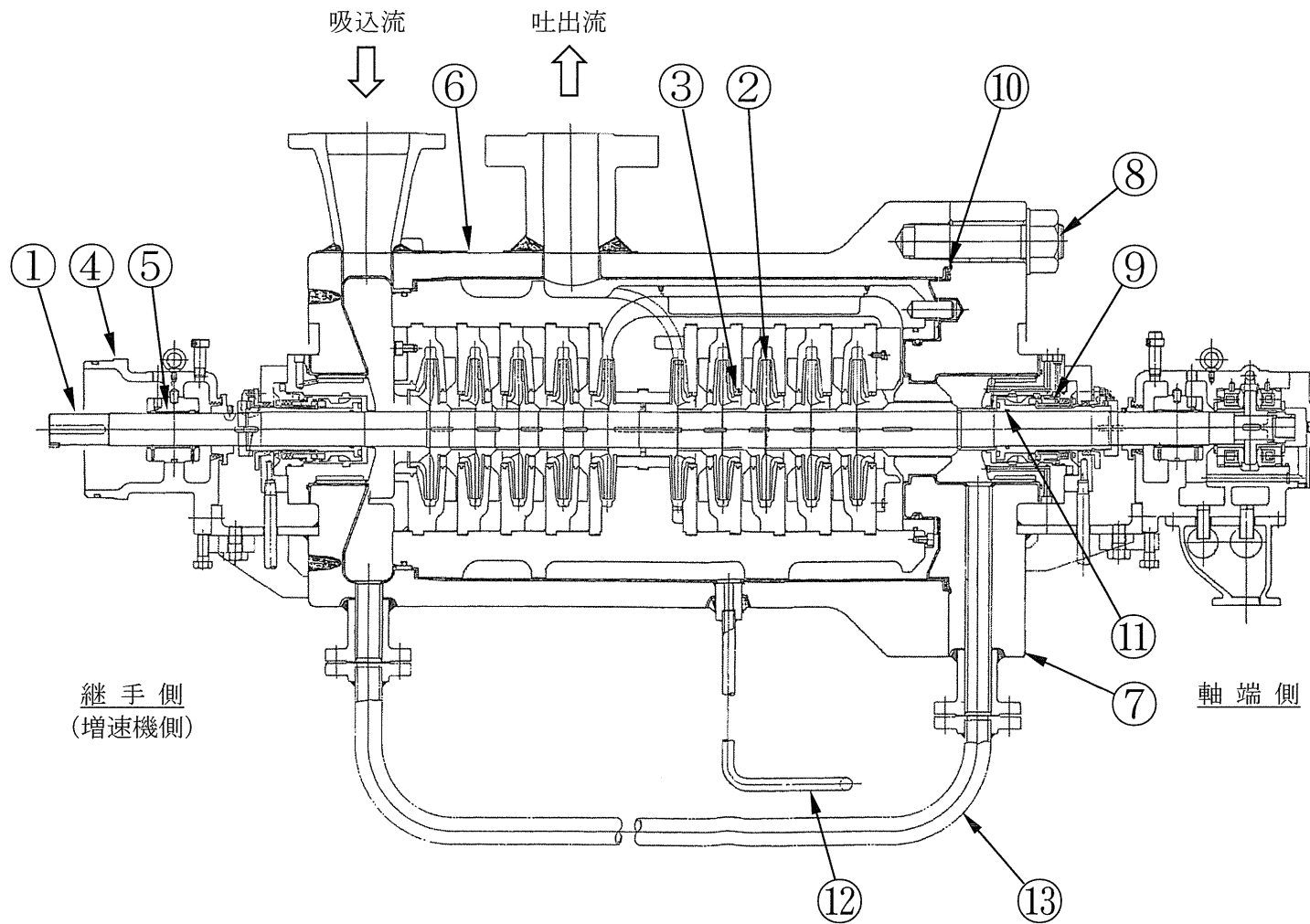
主軸にはステンレス鋼、羽根車にはステンレス鋼鋳鋼、ケーシング等には低合金鋼を使用しており、それぞれ1次冷却材に接液している。

軸封部には、1次冷却材の漏れを防止するため、メカニカルシールを使用している。

川内2号炉の充てん／高圧注入ポンプの構造図を図2.1-2に示す。

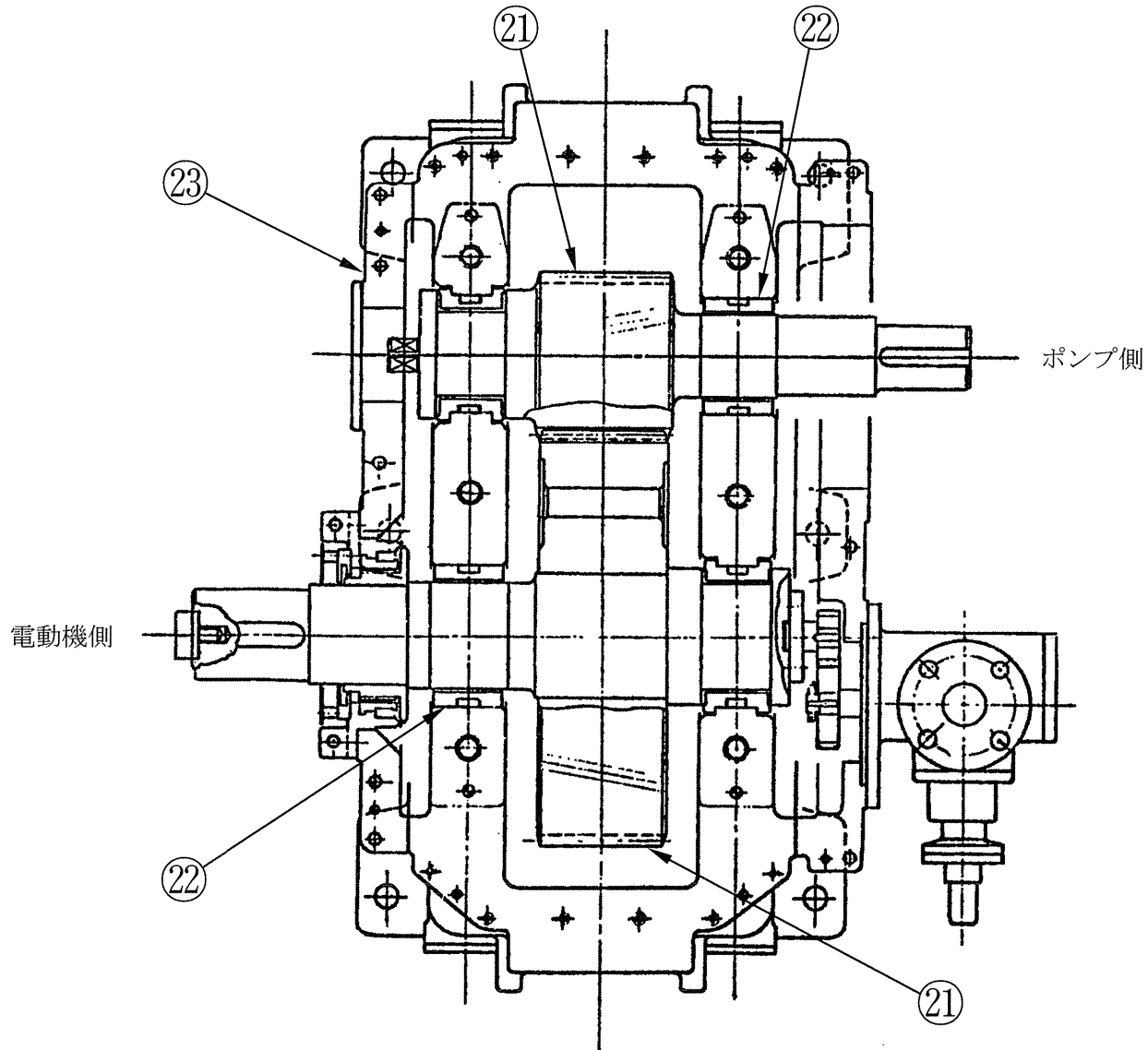
(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の充てん／高圧注入ポンプの使用材料及び使用条件を表2.1-3及び表2.1-4に示す。



No.	部 位
①	主 軸
②	羽 根 車
③	ケーシングリング
④	軸 受 箱
⑤	軸受 (すべり)
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	メカニカルシール
⑩	ガスケット
⑪	Oリング
⑫	ケーシングドレン管
⑬	バランス管

図2.1-2(1/3) 川内2号炉 充てん/高圧注入ポンプ構造図



No.	部 位
②①	増速機歯車
②②	増速機軸受 (すべり)
②③	増速機ケーシング

図2.1-2(3/3) 川内2号炉 充てん/高圧注入ポンプ増速機構造図

表2.1-3 川内2号炉 充てん/高圧注入ポンプ主要部位の使用材料

部 位	材 料	
ポンプ組立品	主 軸	ステンレス鋼
	羽 根 車	ステンレス鋼鋳鋼
	ケーシングリング	消耗品・定期取替品
	軸 受 箱	鋳 鉄
	軸受 (すべり)	消耗品・定期取替品
	ケーシング	低合金鋼 (内面ステンレス鋼内張り)
	ケーシングカバー	低合金鋼 (内面ステンレス鋼内張り)
	ケーシングボルト	低合金鋼
	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
	ケーシングドレン管	ステンレス鋼
	バランス管	ステンレス鋼
	軸継手 (ポンプ側)	低合金鋼
	軸継手 (電動機側)	炭 素 鋼
	メカニカルシールクーラ	ステンレス鋼
	潤滑油ユニット	炭 素 鋼 鋳 鉄
	台 板	炭 素 鋼
	取付ボルト	炭 素 鋼
	基礎ボルト	炭 素 鋼
増速機組立品	増速機歯車	低合金鋼
	増速機軸受 (すべり)	消耗品・定期取替品
	増速機ケーシング	鋳 鉄

表2.1-4 川内2号炉 充てん/高圧注入ポンプの使用条件

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

2.1.3 余熱除去ポンプ

(1) 構造

川内2号炉の余熱除去ポンプは、よこ置単段のうず巻形である。

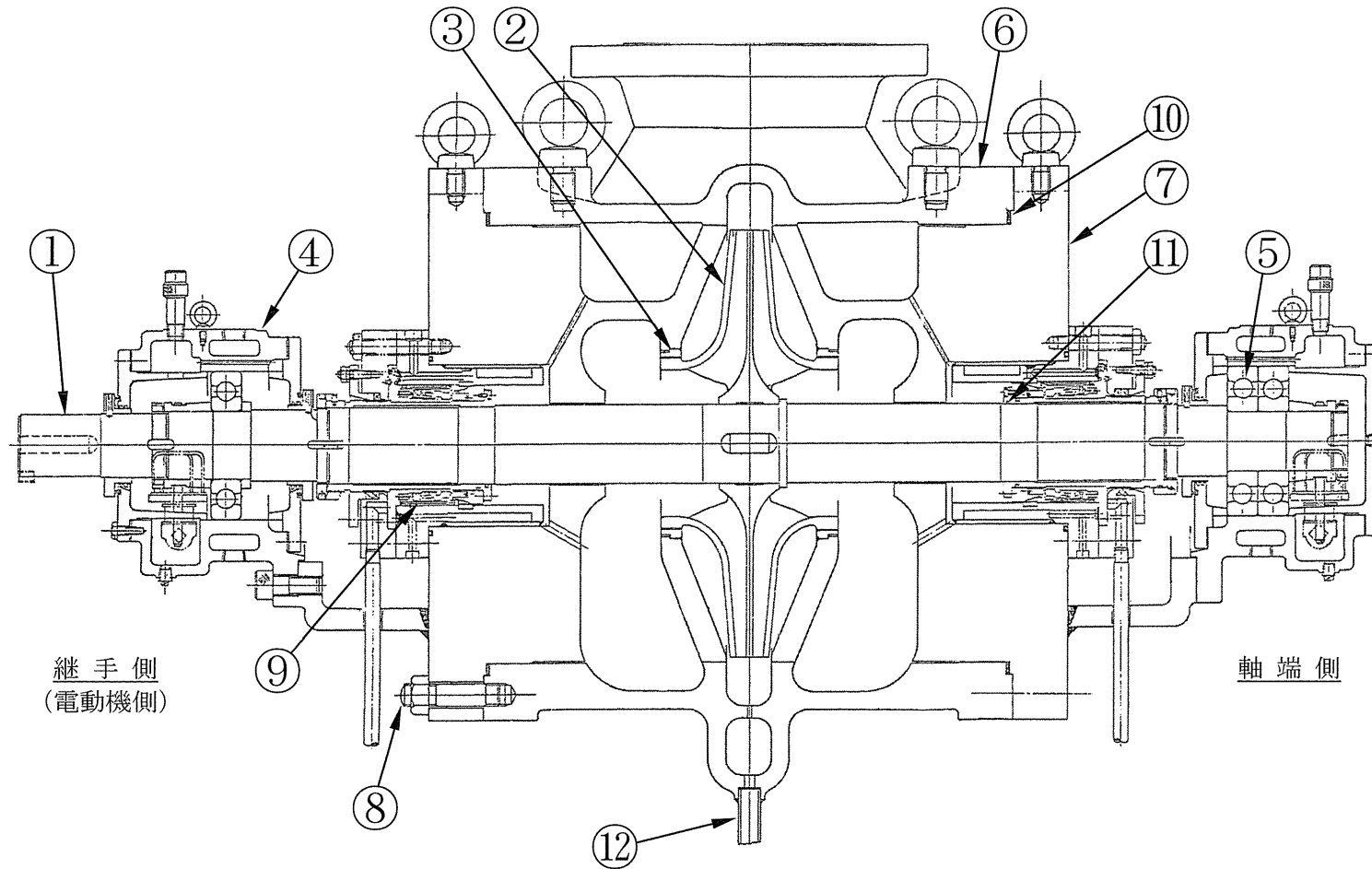
主軸、羽根車、ケーシング等にはステンレス鋼又はステンレス鋼鋳鋼を使用しており、それぞれ1次冷却材に接液している。

軸封部には、1次冷却材の漏れを防止するため、メカニカルシールを使用している。

川内2号炉の余熱除去ポンプの構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の余熱除去ポンプの使用材料及び使用条件を表2.1-5及び表2.1-6に示す。



No.	部 位
①	主 軸
②	羽 根 車
③	ケーシングリング
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	メカニカルシール
⑩	ガスケット
⑪	Oリング
⑫	ケーシングドレン管

図2.1-3(1/2) 川内2号炉 余熱除去ポンプ構造図

No.	部 位
⑬	軸 継 手
⑭	メカニカルシールクーラ
⑮	台 板
⑯	取付ボルト
⑰	基礎ボルト

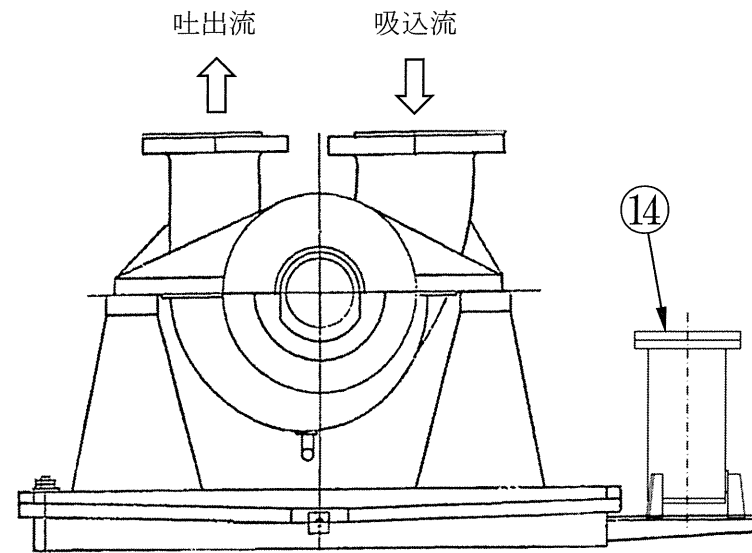
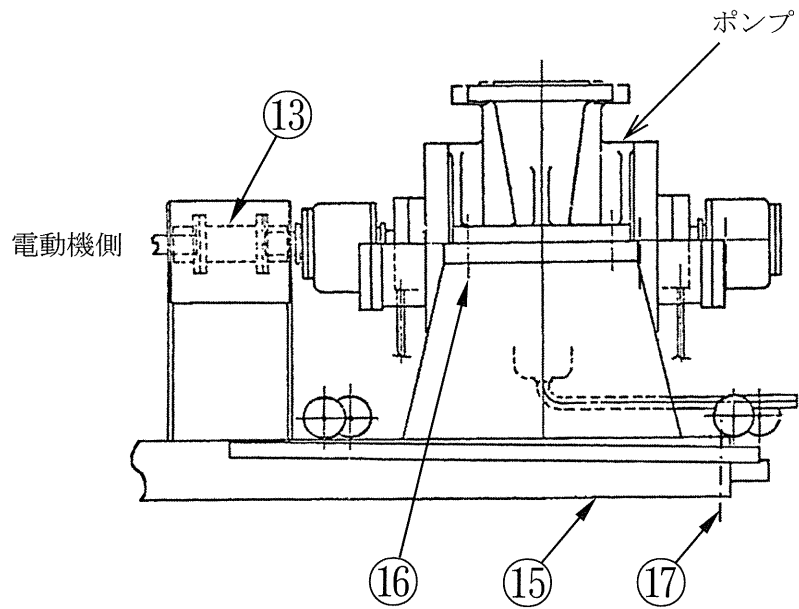


図2.1-3(2/2) 川内2号炉 余熱除去ポンプ構造図

表2.1-5 川内2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
ケーシングリング	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
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
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
ケーシングドレン管	ステンレス鋼
軸 継 手	炭 素 鋼
メカニカルシールクーラ	ステンレス鋼
台 板	炭 素 鋼
取付ボルト	炭 素 鋼
基礎ボルト	炭 素 鋼

表2.1-6 川内2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

2.1.4 原子炉補機冷却水ポンプ

(1) 構造

川内2号炉の原子炉補機冷却水ポンプは、よこ置単段のうず巻形である。

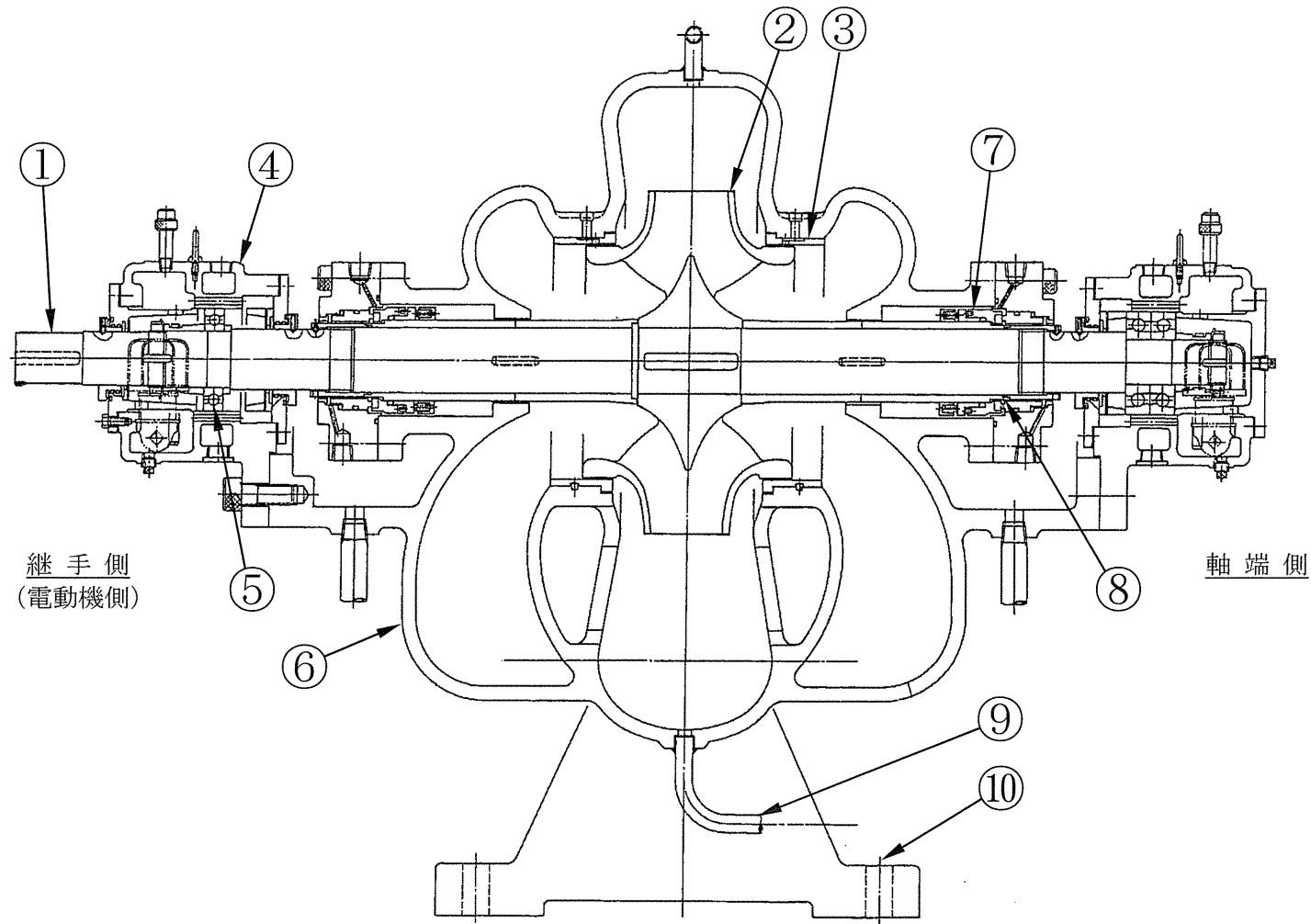
主軸にはステンレス鋼、羽根車にはステンレス鋼鋳鋼、ケーシングには炭素鋼鋳鋼を使用しており、それぞれヒドラジン水に接液している。

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。

川内2号炉の原子炉補機冷却水ポンプの構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の原子炉補機冷却水ポンプの使用材料及び使用条件を表2.1-7及び表2.1-8に示す。



No.	部 位
①	主 軸
②	羽 根 車
③	ケーシングリング
④	軸 受 箱
⑤	軸受 (ころがり)
⑥	ケーシング
⑦	メカニカルシール
⑧	Oリング
⑨	ケーシングドレン管
⑩	取付ボルト

図2.1-4(1/2) 川内2号炉 原子炉補機冷却水ポンプ構造図

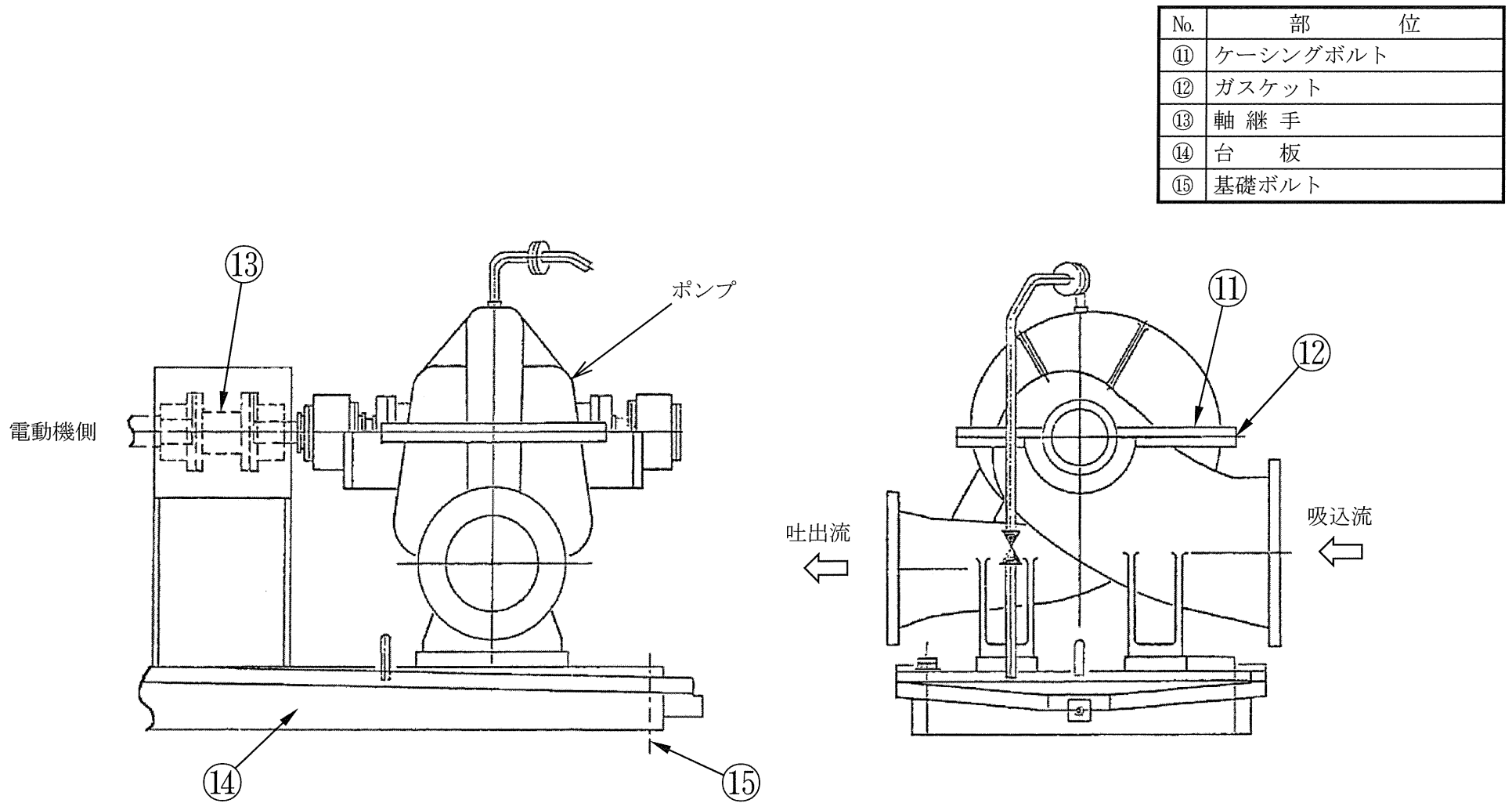


図2.1-4(2/2) 川内2号炉 原子炉補機冷却水ポンプ構造図

表2.1-7 川内2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
ケーシングリング	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
ケーシング	炭素鋼鋳鋼
メカニカルシール	消耗品・定期取替品
Ｏリング	消耗品・定期取替品
ケーシングドレン管	炭 素 鋼
取付ボルト	炭 素 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
軸 継 手	炭 素 鋼
台 板	炭 素 鋼
基礎ボルト	炭 素 鋼

表2.1-8 川内2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0.98MPa[gage]
最高使用温度	約95℃
内 部 流 体	ヒドラジン水

2.1.5 タービン動補助給水ポンプ

(1) 構造

川内2号炉のタービン動補助給水ポンプは、よこ置多段のうず巻形である。

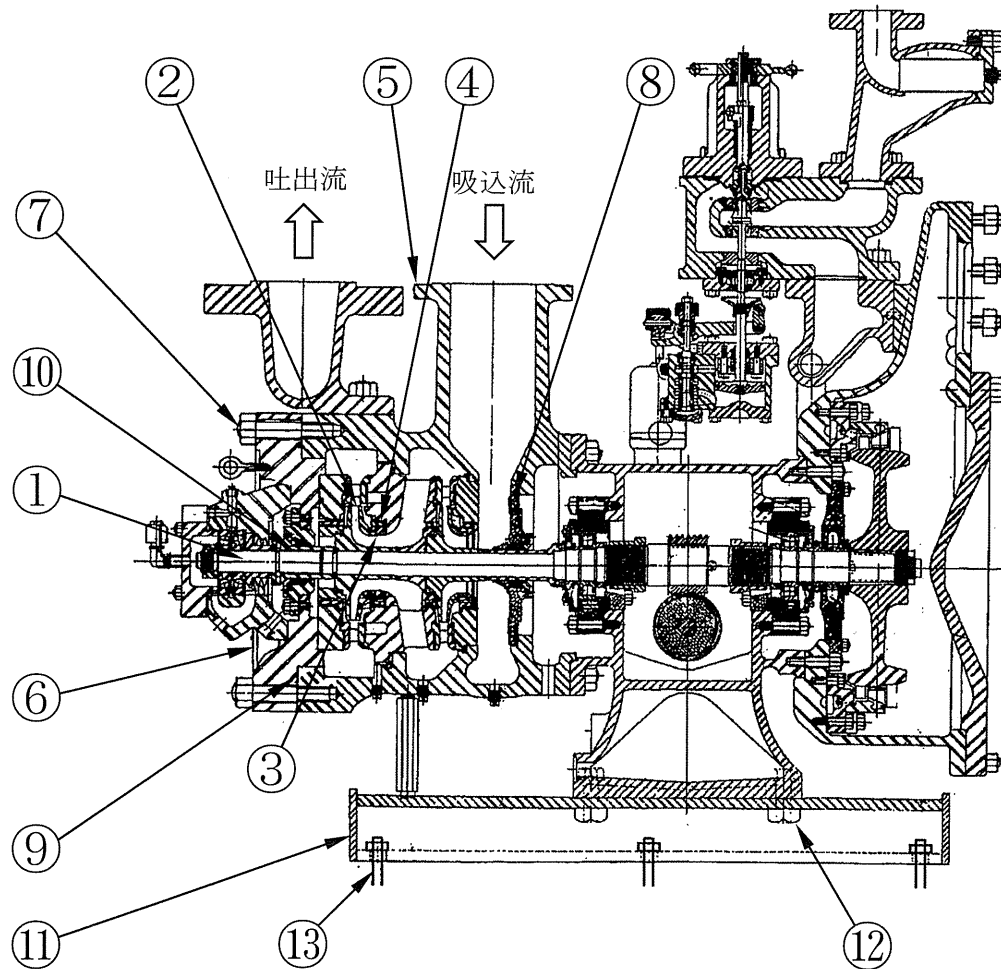
主軸には低合金鋼、羽根車にはステンレス鋼鋳鋼、ケーシング等にはステンレス鋼鋳鋼又は炭素鋼鋳鋼を使用しており、それぞれ給水に接液している。

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。

川内2号炉のタービン動補助給水ポンプの構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉のタービン動補助給水ポンプの使用材料及び使用条件を表2.1-9及び表2.1-10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	ケーシング
⑥	ケーシングカバー
⑦	ケーシングボルト
⑧	ガスケット
⑨	Oリング
⑩	グランドパッキン
⑪	台 板
⑫	取付ボルト
⑬	基礎ボルト

図2.1-5 川内2号炉 タービン動補助給水ポンプ構造図

表2.1-9 川内2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
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
グラウンドパッキン	消耗品・定期取替品
台 板	炭 素 鋼
取付ボルト	炭 素 鋼
基礎ボルト	炭 素 鋼

表2.1-10 川内2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12.3MPa[gage]
最高使用温度	約40℃
内 部 流 体	給 水

2.1.6 給水ブースタポンプ

(1) 構造

川内2号炉の給水ブースタポンプは、たて置多段のうず巻形である。

主軸にはステンレス鋼、羽根車にはステンレス鋼鋳鋼、上部ケーシング等には炭素鋼又はステンレス鋼を使用しており、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。

川内2号炉の給水ブースタポンプの構造図を図2.1-6に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の給水ブースタポンプの使用材料及び使用条件を表2.1-11及び表2.1-12に示す。

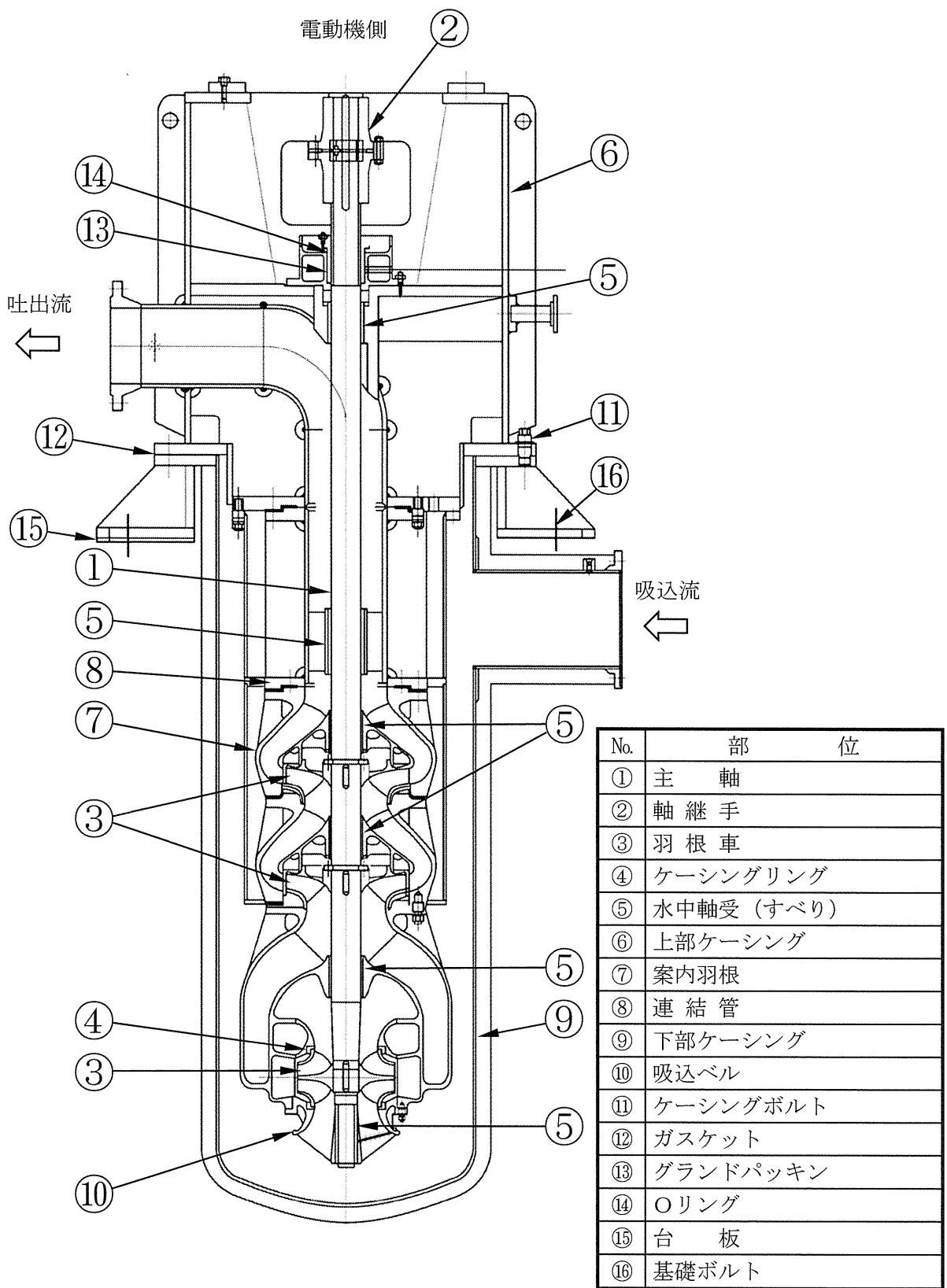


図2.1-6 川内2号炉 給水ブースタポンプ構造図

表2.1-11 川内2号炉 給水ブースタポンプ主要部位の使用材料

部 位	材 料
主 軸	ステンレス鋼
軸 継 手	炭 素 鋼
羽 根 車	ステンレス鋼鋳鋼
ケーシングリング	消耗品・定期取替品
水中軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
上部ケーシング	炭 素 鋼
案内羽根	ステンレス鋼鋳鋼
連 結 管	ステンレス鋼
下部ケーシング	炭 素 鋼
吸込ベル	ステンレス鋼鋳鋼
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
グランドパッキン	消耗品・定期取替品
Ｏリング	消耗品・定期取替品
台 板	炭 素 鋼
基礎ボルト	炭 素 鋼

表2.1-12 川内2号炉 給水ブースタポンプの使用条件

最高使用圧力	約3.9MPa[gage]
最高使用温度	約200℃
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3つ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）及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～表2.2-6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～表2.2-6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及び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～表2.2-6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、又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)又は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。

軸受の定期取替時の軸受引き抜き時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。この場合は、主軸表面がわずかに摩耗し、主軸と軸受間で微小隙間が生じ運転中にフレットニングにより摩耗する可能性がある。

しかしながら、分解点検時の寸法管理によりフレットニングが発生しないようにしており、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難い。

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、吐出管等接液部の腐食（孔食及び隙間腐食） [海水ポンプ]

主軸、吐出管等は、耐食ステンレス鋼又は耐食ステンレス鋼鋳鋼であり、海水接液部においては孔食及び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各部の腐食の有無又は塗装の劣化の有無を確認し、腐食が発生している部位は、手入れや充てん材等による補修を行い、腐食が著しく発生している部位については、取替えを実施している。また、塗装のはく離が認められた場合には必要に応じて補修を行うことにより、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) 主軸のフレット疲労割れ [充てん/高圧注入ポンプ、余熱除去ポンプ]
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の主軸と羽根車の焼きばめ部において、フレット疲労による主軸の疲労割れが発生している。

しかしながら、「金属材料疲れ強さの設計資料 ((社) 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のないことの触診や目視による確認) 及び定期的な振動確認 (変位、速度、加速度の測定等) 並びに分解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) 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、高平均応力下において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。

川内1号炉及び玄海3号炉を始めとする国内PWRプラントで発生したターボポンプ主軸折損に係る事例は、製作施工段階での主軸の段付き溝部コーナーの曲率半径不足と主軸の振動を拡大させる運用が重畳したものであり、川内2号炉の充てん/高圧注入ポンプについては、応力集中を緩和した主軸への取替え及び運用の改善を図るとともに、充てん/高圧注入ポンプ以外のポンプについては、同様の事例が発生しないことを確認している。また、主軸の取替えを行った充てん/高圧注入ポンプについては、分解点検時に浸透探傷検査により段付き溝部に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。

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のないことの触診や目視による確認）、定期的な振動確認（変位、速度、加速度の測定等）並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。

(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、ポンプ及び機器配置の設計時にはキャビテーションを考慮しており、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、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) 軸受箱の腐食（全面腐食）

[充てん／高圧注入ポンプ、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、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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難い環境であり、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難い。

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) 軸継手の摩耗

[充てん／高圧注入ポンプ、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、摩耗が発生し難い環境であり、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難い。

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) 潤滑油ユニットの腐食（全面腐食）〔充てん／高圧注入ポンプ〕

潤滑油ユニットは炭素鋼又は鋳鉄を使用しており、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、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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又はヒドラジン水（防錆剤注入水）で腐食が発生し難い環境であり、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難い。

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) 増速機歯車の摩耗〔充てん／高圧注入ポンプ〕

増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わせ使用しており、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及び寸法計測により、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。

(10) 増速機ケーシングの腐食（全面腐食）〔充てん／高圧注入ポンプ〕

増速機ケーシングは鋳鉄であり、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、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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、内面については歯車及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下で腐食が発生し難い環境であり、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難い。

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) ステンレス鋼使用部位の応力腐食割れ〔余熱除去ポンプ〕

余熱除去ポンプのケーシング等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、余熱除去ポンプは、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し、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、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(12) ケーシング等の腐食（全面腐食）

[原子炉補機冷却水ポンプ、給水ブースタポンプ]

ケーシング等は炭素鋼又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、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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）又はpH等を管理した脱気水（給水）で腐食が発生し難い環境であり、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難い。

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。

(13) ケーシングカバーの腐食（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、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、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）の流体であるため、長期使用により腐食が想定されるが、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。

(14) ケーシングボルトの腐食（全面腐食）

[充てん／高圧注入ポンプ、余熱除去ポンプ、原子炉補機冷却水ポンプ、タービン動補助給水ポンプ、給水ブースタポンプ]

ケーシングボルトは低合金鋼であり、ガスケット又は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難い。

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。

(15) 台板等の腐食（全面腐食）[共通]

台板等は炭素鋼であり、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、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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) 取付ボルトの腐食（全面腐食）

[充てん／高圧注入ポンプ、余熱除去ポンプ、原子炉補機冷却水ポンプ、タービン動補助給水ポンプ]

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、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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。

(17) 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のうち「基礎ボルト」にて評価を実施するものとし、本評価書には含めていない。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

軸シール（メカニカルシール及びグランドパッキン）、Oリング、軸受（ころがり）及びガスケットは分解点検時に取り替えている消耗品であり、軸受（すべり）、羽根車リング及びケーシングリングは分解点検時の目視確認や寸法計測の結果に基づき取り替えている消耗品である。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 川内2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：孔食及び隙間腐食 *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}						
	羽根車リング	◎	—								
	ケーシングリング	◎	—								
	水中軸受（すべり）	◎	—								
ハウンドリの維持	吐出曲管		耐食ステンレス鋼鋳鋼		△ ^{*1}						
	吐出管		耐食ステンレス鋼鋳鋼		△ ^{*1}						
	案内羽根		耐食ステンレス鋼鋳鋼		△ ^{*1}						
	吸込口		耐食ステンレス鋼鋳鋼		△ ^{*1}						
	中間軸受箱		耐食ステンレス鋼鋳鋼		△ ^{*1}						
	軸受箱		耐食ステンレス鋼鋳鋼		△ ^{*1}						
	ケーシングボルト		ステンレス鋼 耐食ステンレス鋼		△ ^{*1}						
	ガスケット	◎	—								
	Oリング	◎	—								
	グランドパッキン	◎	—								
機器の支持	上部据付板		炭素鋼		△						
	取付ボルト		ステンレス鋼								
	基礎ボルト		炭素鋼		△						
	振れ止め台		ステンレス鋼		△ ^{*1}						
	振れ止めボルト		ステンレス鋼		△ ^{*1}						
	下部据付板		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2.2-2 川内2号炉 充てん/高圧注入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}						
	ケーシングリング	◎	—								
	軸 受 箱		鋳 鉄		△						
	軸受（すべり）	◎	—								
	軸継手（ポンプ側）		低合金鋼								
	軸継手（電動機側）		炭 素 鋼	△							
	潤滑油ユニット		炭 素 鋼 鋳 鉄		△						
	増速機歯車		低合金鋼	△							
	増速機軸受（すべり）	◎	—								
増速機ケーシング		鋳 鉄		△							
バウダリの維持	ケーシング		低合金鋼 (内面ステンレス鋼内張り)								
	ケーシングカバー		低合金鋼 (内面ステンレス鋼内張り)								
	ケーシングボルト		低合金鋼		△						
	メカニカルシール	◎	—								
	ガスケット	◎	—								
	Oリング	◎	—								
	ケーシングドレン管		ステンレス鋼								
	バランス管		ステンレス鋼								
メカニカルシールケーラ		ステンレス鋼									
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2.2-3 川内2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：フレッキング疲労割れ *2：高サイクル疲労割れ *3：キャビテーション	
	軸 継 手		炭 素 鋼	△							
	羽 根 車		ステンレス鋼鋳鋼		△ ^{*3}						
	ケーシングリング	◎	—								
	軸 受 箱		鋳 鉄		△						
	軸受（ころがり）	◎	—								
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		ステンレス鋼鋳鋼			○	△				
	ケーシングボルト		低合金鋼		△						
	メカニカルシール	◎	—								
	ガスケット	◎	—								
	Oリング	◎	—								
	ケーシングドレン管		ステンレス鋼				△				
	メカニカルシールケーラ		ステンレス鋼								
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2.2-4 川内2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				*1：高サイクル疲労割れ *2：キャビテーション	
	軸継手		炭素鋼	△							
	羽根車		ステンレス鋼鋳鋼		△*2						
	ケーシングリング	◎	－								
	軸受箱		鋳 鉄		△						
	軸受（ころがり）	◎	－								
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		△						
	メカニカルシール	◎	－								
	ガスケット	◎	－								
	Oリング	◎	－								
	ケーシングドレン管		炭素鋼		△						
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2.2-5 川内2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	応力腐蝕割れ	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	◎	—								
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		△						
	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2.2-6 川内2号炉 給水ブースタ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		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	
	軸継手		炭素鋼								
	羽根車		ステンレス鋼鋳鋼		△*2						
	ケーシングリング	◎	—								
	水中軸受（すべり）	◎	—								
バウンダリの維持	上部ケーシング		炭素鋼		△						
	案内羽根		ステンレス鋼鋳鋼								
	連結管		ステンレス鋼								
	下部ケーシング		炭素鋼		△						
	吸込ベル		ステンレス鋼鋳鋼								
	ケーシングボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	グランドパッキン	◎	—								
	Oリング	◎	—								
機器の支持	台 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）

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

ケーシングの健全性評価にあたっては、「(社) 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。

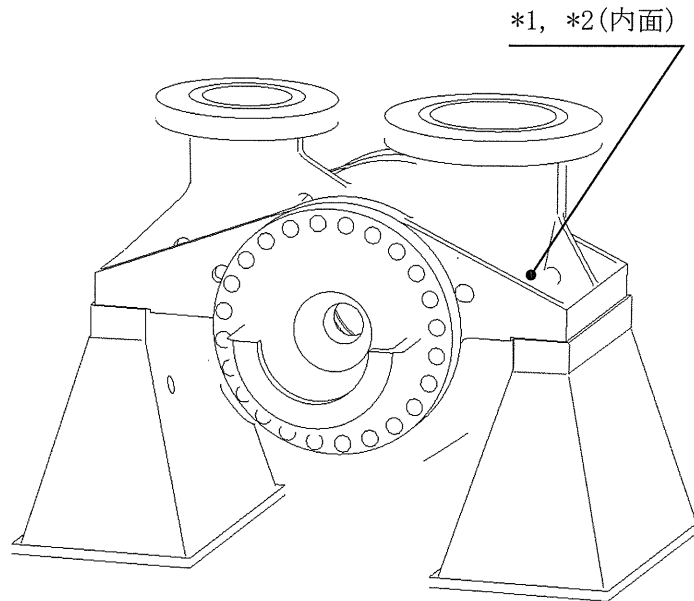
評価対象部位を図2.3-1に示す。

また、使用環境を考慮した疲労については、「(社) 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 川内2号炉 余熱除去ポンプ ケーシング疲労評価対象部位

表2.3-1 川内2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	
	2020年3月末時点	運転開始後60年 時点での推定値
起 動	36	69
停 止	34	69
1次系漏えい試験	31	64

表2.3-2 川内2号炉 余熱除去ポンプ ケーシングの疲労評価結果

評価部位	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
吸込ノズル (図2.3-1参照)	0.092	0.419

② 現状保全

ケーシングの疲労割れに対しては、定期的な目視確認により、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 格納容器スプレイポンプ
- ② 燃料取替用水ポンプ
- ③ ほう酸ポンプ
- ④ 1次系補助蒸気復水ポンプ
- ⑤ 補助蒸気復水回収ポンプ
- ⑥ 電動補助給水ポンプ
- ⑦ 電動主給水ポンプ
- ⑧ タービン動主給水ポンプ
- ⑨ 復水ブースタポンプ
- ⑩ 湿分分離器ドレンポンプ
- ⑪ 湿分分離加熱器ドレンポンプ
- ⑫ 常設電動注入ポンプ
- ⑬ 低圧給水加熱器ドレンポンプ

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（ケーシングカバー含む）の疲労割れ

代表機器では、起動・停止及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)又は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 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。

軸受の定期取替時の軸受引き抜き時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。この場合は、主軸表面がわずかに摩耗し、主軸と軸受間で微小隙間が生じ運転中にフレットングにより摩耗する可能性がある。

しかしながら、分解点検時の寸法管理によりフレットングが発生しないようにしており、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難い。

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 主軸のフレット疲労割れ

[格納容器スプレイポンプ、電動補助給水ポンプ、電動主給水ポンプ、タービン動主給水ポンプ、復水ブースタポンプ、湿分分離器ドレンポンプ、湿分分離加熱器ドレンポンプ]

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の主軸と羽根車の焼きばめ部においてフレット疲労による主軸の疲労割れが発生している。

しかしながら、「金属材料疲れ強さの設計資料（(社)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のないことの触診や目視による確認）及び定期的な振動確認（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。

3.2.3 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、高平均応力下において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。

川内1号炉及び玄海3号炉を始めとする国内PWRプラントで発生したターボポンプ主軸折損に係る事例は、製作施工段階での主軸の段付き溝部コーナーの曲率半径不足と主軸の振動を拡大させる運用が重畳したものであり、川内2号炉の充てん／高圧注入ポンプ以外のポンプについては、同様の事例が発生し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、巡視点検時の振動確認（通常運転時の振動状態と差異のないことの触診や目視による確認）、定期的な振動確認（変位、速度、加速度の測定等）並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。

3.2.4 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、ポンプ及び機器配置の設計時にはキャビテーションを考慮しており、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、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 軸受箱の腐食（全面腐食）

[格納容器スプレイポンプ、燃料取替用水ポンプ、ほう酸ポンプ、1次系補助蒸気復水ポンプ、補助蒸気復水回収ポンプ、電動補助給水ポンプ、電動主給水ポンプ、タービン動主給水ポンプ、復水ブースタポンプ、湿分分離器ドレンポンプ、湿分分離加熱器ドレンポンプ、常設電動注入ポンプ]

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、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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難い環境であり、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難い。

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 軸継手の摩耗

[格納容器スプレイポンプ、燃料取替用水ポンプ、1次系補助蒸気復水ポンプ、電動補助給水ポンプ、電動主給水ポンプ、タービン動主給水ポンプ、復水ブースタポンプ]

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、摩耗が発生し難い環境であり、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難い。

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 潤滑油ユニットの腐食（全面腐食）

[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を使用しており、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、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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又はヒドラジン水（防錆剤注入水）で腐食が発生し難い環境であり、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難い。

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 増速機歯車の摩耗 [電動主給水ポンプ]

増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わせ使用しており、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及び寸法計測により、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 増速機ケーシングの腐食（全面腐食）〔電動主給水ポンプ〕

増速機ケーシングは鋳鉄であり、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、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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、内面については歯車及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下で腐食が発生し難い環境であり、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難い。

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 ケーシング等の腐食（全面腐食）〔低圧給水加熱器ドレンポンプ〕

ケーシング等は炭素鋼又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、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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pH等を管理した脱気水（給水）で腐食が発生し難い環境であり、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難い。

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 ケーシング等の腐食（全面腐食）

[1次系補助蒸気復水ポンプ、補助蒸気復水回収ポンプ]

ケーシング等は、炭素鋼、炭素鋼鋳鋼又は鋳鉄であり、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、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）の流体であるため、長期使用により腐食が想定されるが、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。

3.2.12 ケーシングボルトの腐食（全面腐食）[常設電動注入ポンプを除くポンプ共通]

ケーシングボルトは低合金鋼又は炭素鋼であり、ガスケット又は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難い。

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 メカニカルシールクーラの腐食（全面腐食）

[湿分分離加熱器ドレンポンプ]

メカニカルシールクーラのシェルは炭素鋼であり、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、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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）で腐食が発生し難い環境であり、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難い。

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 台板の腐食（全面腐食）[共通]

台板は炭素鋼又は鋳鉄であり、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、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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 取付ボルトの腐食（全面腐食）

[格納容器スプレイポンプ、燃料取替用水ポンプ、ほう酸ポンプ、1次系補助蒸気復水ポンプ、補助蒸気復水回収ポンプ、電動補助給水ポンプ、電動主給水ポンプ、タービン動主給水ポンプ、復水ブースタポンプ、湿分分離器ドレンポンプ、湿分分離加熱器ドレンポンプ]

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、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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。

3.2.16 基礎ボルトの腐食（全面腐食）及び樹脂の劣化

[格納容器スプレイポンプ、1次系補助蒸気復水ポンプ、補助蒸気復水回収ポンプ、電動補助給水ポンプ、電動主給水ポンプ、タービン動主給水ポンプ、復水ブースタポンプ、湿分分離器ドレンポンプ、湿分分離加熱器ドレンポンプ、常設電動注入ポンプ、低圧給水加熱器ドレンポンプ]

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。また、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のうち「基礎ボルト」にて評価を実施するものとし、本評価書には含めていない。

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. 対象機器	1
2. 1次冷却材ポンプの技術評価	2
2.1 構造、材料及び使用条件	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. 対象機器

川内2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 川内2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	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
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及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、材料及び使用条件

2.1.1 1次冷却材ポンプ

(1) 構造

川内2号炉の1次冷却材ポンプは、斜流形である。

主軸、羽根車、ケーシング等にはステンレス鋼又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。

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

川内2号炉の1次冷却材ポンプの構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の1次冷却材ポンプの使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。

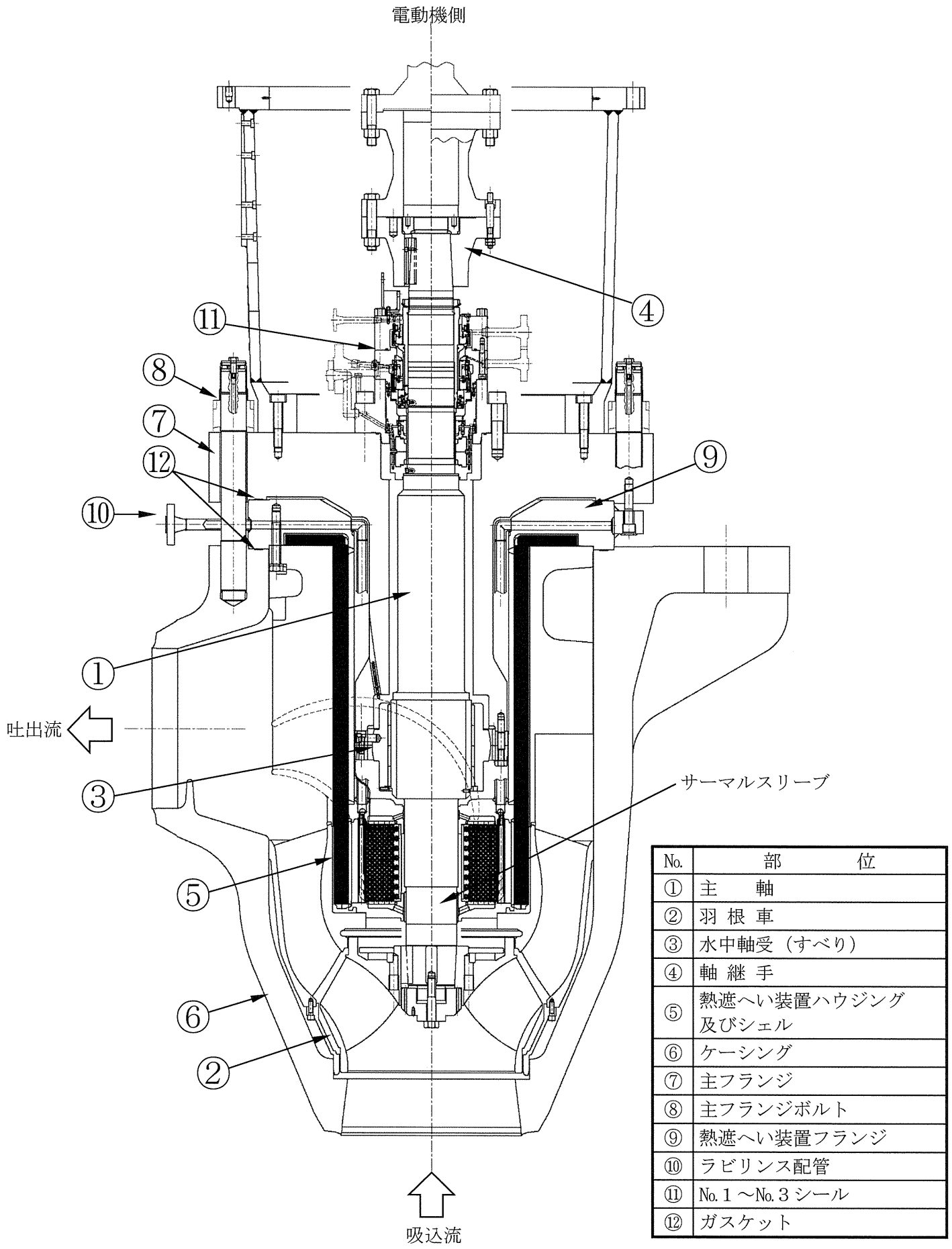


図2.1-1 川内2号炉 1次冷却材ポンプ構造図

表2.1-1 川内2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
軸 継 手	炭 素 鋼
熱遮へい装置ハウジング 及びシェル	ステンレス鋼
ケーシング	ステンレス鋼鋳鋼
主フランジ	ステンレス鋼鋳鋼
主フランジボルト	低合金鋼
熱遮へい装置フランジ	ステンレス鋼
ラビリンス配管	ステンレス鋼
No.1～No.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

表2.1-2 川内2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3つ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）及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、圧力及び流量変化により、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) 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（2相ステンレス鋼）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△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、又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)又は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

主軸は回転中に熱遮へい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主軸当該部の直径計測により、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、高平均応力下で繰り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、試運転時及び機能確認時における振動確認並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、試運転時及び機能確認時における振動確認並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、分解点検時の羽根車当該部の直径計測により、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降下すると、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及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(2相ステンレス鋼)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、き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) 熱遮へい装置のハウジング、シェル及びフランジの疲労割れ

熱遮へい装置のハウジング、シェル及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、仏国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)の熱遮へい装置ハウジング内側側面及びフランジ下面(ハウジング付根部内側)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、仏国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、熱遮へい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、熱遮へい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。

一方、川内2号炉の1次冷却材ポンプ(93A型)の熱遮へい装置は、熱遮へい装置ハウジングが直接高温水に接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、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難い。

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) ラビリンス配管の高サイクル疲労割れ

1次冷却材ポンプの熱遮へい装置に接続しているラビリンス配管が、運転中の振動により共振し、配管付根部に繰り返し応力が生じることにより、高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、発生応力は疲労限に対して余裕があり、また、配管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、試運転時及び機能確認時における振動確認並びに分解点検時の応力集中部に対する浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

ガスケットは分解点検時に取り替えている消耗品であり、水中軸受（すべり）及びNo.1～No.3シールは分解点検時の目視確認や寸法計測の結果に基づき取り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 川内2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		炭 素 鋼								
作動信頼性の維持	熱遮へい装置ハウジング 及びシェル		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		ステンレス鋼鋳鋼								
	主フランジボルト		低合金鋼		△						
	熱遮へい装置フランジ		ステンレス鋼			△					
	ラビリンス配管		ステンレス鋼			△ ^{*1}					
	No.1～No.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

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、吐出ノズル及び脚部を対象として「(社)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。

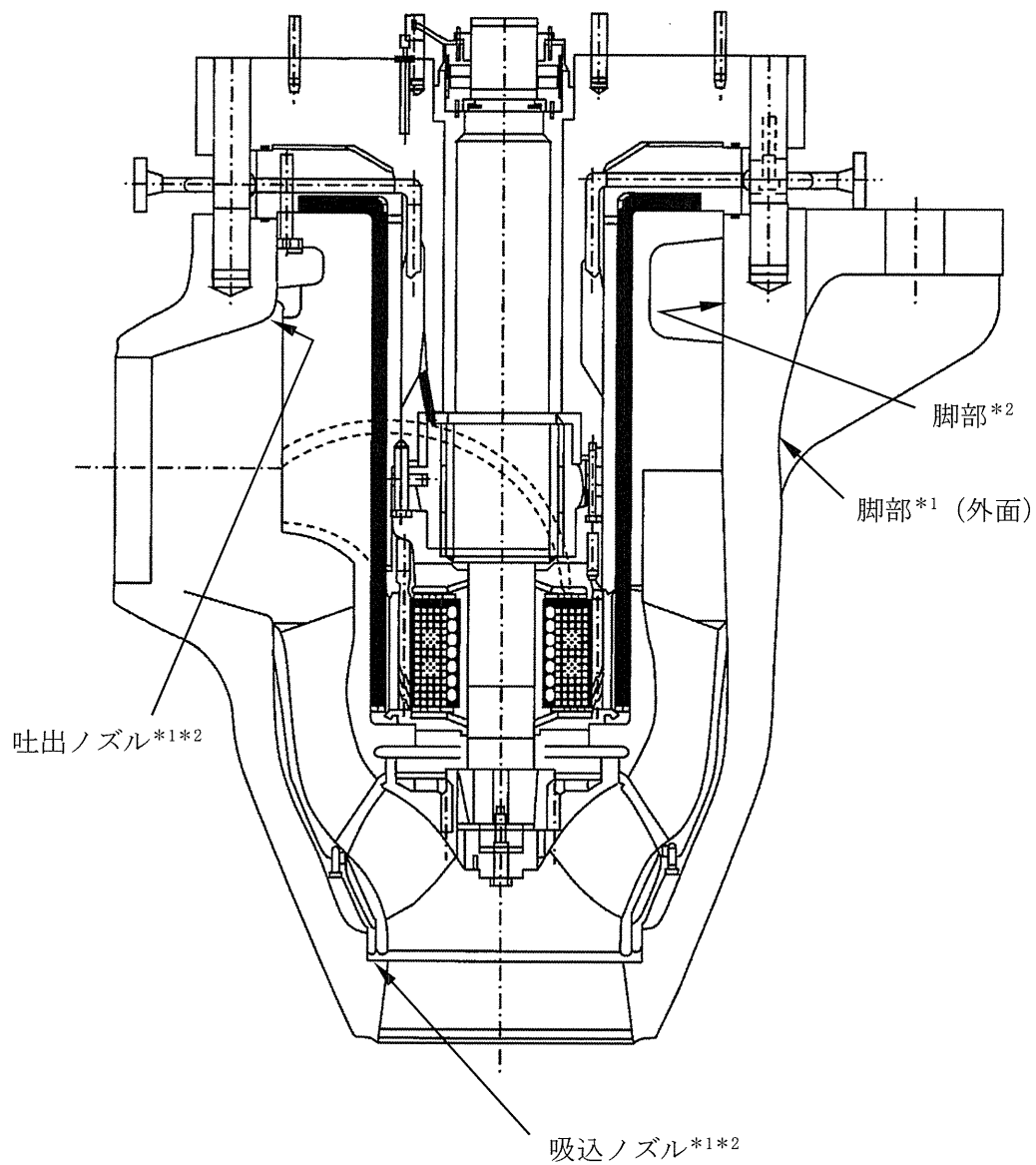
評価対象部位を図2.3-1に示す。

また、使用環境を考慮した疲労については、「(社)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、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 川内2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 川内2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	
	2020年3月末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動（温度上昇率55.6℃/h）	36	69
停止（温度下降率55.6℃/h）	34	69
負荷上昇（負荷上昇率5%/min）	322	824
負荷減少（負荷減少率5%/min）	313	815
90%から100%へのステップ状負荷上昇	1	3
100%から90%へのステップ状負荷減少	2	4
100%からの大きいステップ状負荷減少	1	3
定常負荷運転時の変動*1	—	—
燃料交換	24	63
0%から15%への負荷上昇	35	67
15%から0%への負荷減少	28	60
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	
	2020年3月末時点	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	1	7
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	2	2
1次系漏えい試験	31	64

*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 川内2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)	0.050	0.516
ケーシング脚部 (ステンレス鋼鋳鋼)	0.080	0.470 ^{*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・建設規格に基づく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や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、疲労割れは目視確認又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

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^{*3}が多く、使用温度及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、き裂の存在を仮定し、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。初期き裂については、「(社)日本電気協会 原子力発電所配管破損防護設計技術指針 (JEAG4613-1998)」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年時点までの疲労き裂進展長さを考慮した評価用き裂^{*1}を想定しても、材料のき裂進展抵抗はき裂進展力を上回ることから^{*2}、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^{*3}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次冷却材ポンプケーシング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（原子炉停止機能喪失）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：運転開始後60年時点までの疲労き裂の進展を考慮しても、当該き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、保守的に貫通き裂を想定した

*2：初期き裂の想定、き裂進展、貫通き裂の想定及びき裂進展力は「(社)日本電気協会 原子力発電所配管破損防護設計技術指針 (JEAG4613-1998)」の評価手法に準拠した。そのため、き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

*3：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

表2.3-3 川内2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 [°C]	応力 [MPa]
1次冷却材ポンプ ケーシング (吸込ノズル)	約12.2	約283.6	約68
1次冷却材ポンプ ケーシング (吐出ノズル)	約12.2	約283.6	約104
1次冷却材管 (ホットレグ直管)	約17.3	約321.1	約149

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、ケーシング内面全体の目視確認及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、目視確認や漏えい検査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。

川内原子力発電所 2 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]

九州電力株式会社

川内2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の機器及び常設重大事故等対処設備に属する機器を型式、内部流体及び材料でグループ化し、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も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する。

なお、点検等で確認した結果、異常が認められた場合、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。

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 2重管式熱交換器

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、本評価書には含まれていない。

表1 川内2号炉 主要な熱交換器

分離基準					機器名称 (台数)	選定基準				選定	選定理由
型式	内部流体 (管側/胴側)	材 料				重要度*1	使用条件(管側/胴側)				
		胴 板	水 室	伝 熱 管			運 転	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/ 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)	MS-1、重*6	連続	約18.8 / 約17.2	約343 / 約343	◎	
	1次冷却材、 ほう酸水/ ヒドラジン水	炭素鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	非再生冷却器(1)	PS-2	連続	約4.1 / 約0.98	約200 / 約95	◎	重要度 温度、圧力
					格納容器スプレイ冷却器(2)	MS-1、重*6	一時	約2.7 / 約0.98	約150 / 約95		
					封水冷却器(1)	PS-2	連続	約0.98 / 約0.98	約95 / 約95		
					余熱除去冷却器(2)	MS-1、重*6	一時	約4.1 / 約0.98	約200 / 約95		
	ほう酸水/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*2	連続	約0.98 / 約0.93	約95 / 約185	◎	
	蒸気/蒸気	炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	湿分離加熱器(2)	高*2	連続	約7.5*5 / 約1.4	約291*5 / 約291	◎	
	給水/ 蒸気・給水	炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	高圧第6給水加熱器(2)	高*2	連続	約11.0 / 約2.8	約235 / 約235	◎	温度、圧力
					低圧第1給水加熱器(3)	高*2	連続	約4.0 / 約-0.10	約85 / 約85		
					低圧第2給水加熱器(3)	高*2	連続	約4.0 / 約-0.10	約100 / 約100		
低圧第3給水加熱器(3)					高*2	連続	約4.0 / 約0.20	約135 / 約135			
低圧第4給水加熱器(3)	高*2	連続	約4.0 / 約0.54	約165 / 約220							
多管円筒形 直管式	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*7	連続	約0.69 / 約0.98	約50 / 約95	◎	
	給水/蒸気	炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	グランド蒸気復水器(1)	高*2	連続	約1.2 / 約0	約80 / 約180	◎	
多管円筒形 U字管式	1次冷却材/ 給水	低合金鋼	低合金鋼	ニッケル 基合金	蒸気発生器本体(3)	PS-1、重*6	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*3,4	約200*3,4	◎	
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	試料採取設備サンプル冷却器(3)	高*2	連続	約17.2 / 約0.98	約360 / 約95	◎	重要度 使用条件
					事故後サンプル冷却器(2)	MS-2	一時	約17.2 / 約0.98	約360 / 約95		
	給水/ ヒドラジン水				ブローダウンサンプル冷却器(3)	高*2	連続	約7.5 / 約0.98	約291 / 約95		
	空気/ ヒドラジン水				ガスサンプリング冷却器(1)	重*8	一時	約0.98 / 約0.98	約127 / 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、又は最高使用圧力が1,900kPa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: 加熱器側
 *4: タンク側
 *5: 2段側加熱器の使用条件を示す
 *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及び構造物であることを示す
 *7: 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及び構造物(A号機、B号機)であることを示す
 *8: 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及び構造物(A号機)であることを示す

表2 川内2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次冷却材系統の抽出水と充てん水の間で熱交換を行い系統からの熱損失を低減させ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	事故時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。
封水冷却器	1次冷却材ポンプからの封水戻り、余剰抽出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。
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。
余剰抽出冷却器	通常の抽出系統が使用できない場合、余剰抽出系統により抽出する1次冷却材ポンプ封水を確保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、さらに加熱させるための熱交換器である。
高圧第6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。
低圧第1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。
低圧第2給水加熱器	低圧第1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。
低圧第3給水加熱器	低圧第2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。
低圧第4給水加熱器	低圧第3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。
原子炉補機冷却水冷却器	1次系の各機器を冷却して温度が上昇した冷却水(ヒドラジン水)を、海水によって冷却するための熱交換器である。
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。
蒸気発生器本体	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。
試料採取設備サンプル冷却器	1次冷却材系統、加圧器気相又は加圧器液相から抽出した高温の試料を冷却するための熱交換器である。
事故後サンプル冷却器	事故後の1次冷却材系統から抽出した高温試料を冷却するための熱交換器である。
ブローダウンサンプル冷却器	蒸気発生器2次側器内水から抽出した高温の試料を冷却するための熱交換器である。
ガスサンプリング冷却器	原子炉格納容器内から抽出した試料を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 非再生冷却器
- ③ 格納容器スプレイ冷却器
- ④ 封水冷却器
- ⑤ 余熱除去冷却器
- ⑥ 余剰抽出冷却器
- ⑦ 燃料取替用水タンク加熱器
- ⑧ 湿分分離加熱器
- ⑨ 高圧第 6 給水加熱器
- ⑩ 低圧第 1 給水加熱器
- ⑪ 低圧第 2 給水加熱器
- ⑫ 低圧第 3 給水加熱器
- ⑬ 低圧第 4 給水加熱器
- ⑭ 原子炉補機冷却水冷却器
- ⑮ グランド蒸気復水器

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	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、材料及び使用条件	4
2.2 経年劣化事象の抽出	25
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	42
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. 対象機器及び代表機器の選定

川内2号炉で使用されている主要な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、内部流体及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及び結果

表1-1に示す熱交換器は、伝熱管の形状からU字管式と直管式に分類されるが、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7つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

- (1) 型式：U字管式、内部流体：（管側）1次冷却材（胴側）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) 型式：U字管式、内部流体：（管側）1次冷却材、ほう酸水（胴側）ヒドラジン水

このグループには非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、封水冷却器、余熱除去冷却器及び余剰抽出冷却器が属するが、重要度、温度及び圧力の高い余熱除去冷却器を代表機器とする。

- (3) 型式：U字管式、内部流体：（管側）ほう酸水（胴側）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) 型式：U字管式、内部流体：（管側）蒸気（胴側）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) 型式：U字管式、内部流体：（管側）給水（胴側）蒸気・給水

このグループには高圧第6給水加熱器、低圧第1給水加熱器、低圧第2給水加熱器、低圧第3給水加熱器及び低圧第4給水加熱器が属するが、高温、高圧となる高圧第6給水加熱器を代表機器とする。

(6) 型式：直管式、内部流体：(管側) 海水 (胴側) 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。

(7) 型式：直管式、内部流体：(管側) 給水 (胴側) 蒸気

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

表 1-1 川内 2 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				選定	選定理由
型式	内部流体 (管側/胴側)	材 料				重要度*1	使用条件(管側/胴側)				
		胴 板	水 室	伝 熱 管			運 転	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)		
U字管式	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)	MS-1、重*4	連 続	約18.8 / 約 17.2	約343 / 約343	◎	
	1次冷却材、 ほう酸水/ ヒドラジン水	炭 素 鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	非再生冷却器 (1)	PS-2	連 続	約 4.1 / 約 0.98	約200 / 約 95	◎	重要度 温度、圧力
					格納容器スプレイ冷却器 (2)	MS-1、重*4	一 時	約 2.7 / 約 0.98	約150 / 約 95		
					封水冷却器 (1)	PS-2	連 続	約0.98 / 約 0.98	約 95 / 約 95		
					余熱除去冷却器 (2)	MS-1、重*4	一 時	約 4.1 / 約 0.98	約200 / 約 95		
					余剰抽出冷却器 (1)	PS-2	一 時	約17.2 / 約 0.98	約343 / 約 95		
	ほう酸水/ 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*2	連 続	約0.98 / 約 0.93	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)	高*2	連 続	約 7.5*3/ 約 1.4	約291*3/ 約291	◎	
	給 水/ 蒸気・給水	炭 素 鋼	炭 素 鋼	ステンレス鋼	高圧第 6 給水加熱器 (2)	高*2	連 続	約11.0 / 約 2.8	約235 / 約235	◎	温度、圧力
					低圧第 1 給水加熱器 (3)	高*2	連 続	約 4.0 / 約-0.10	約 85 / 約 85		
低圧第 2 給水加熱器 (3)					高*2	連 続	約 4.0 / 約-0.10	約100 / 約100			
低圧第 3 給水加熱器 (3)					高*2	連 続	約 4.0 / 約 0.20	約135 / 約135			
				低圧第 4 給水加熱器 (3)	高*2	連 続	約 4.0 / 約 0.54	約165 / 約220			
直管式	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*5	連 続	約0.69 / 約 0.98	約 50 / 約 95	◎	
	給水/蒸気	炭 素 鋼	炭 素 鋼	ステンレス鋼	グランド蒸気復水器 (1)	高*2	連 続	約 1.2 / 約 0	約 80 / 約180	◎	

*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、又は最高使用圧力が1,900kPa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

*3：2段側加熱器の使用条件を示す

*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及び構造物であることを示す

*5：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及び構造物（A号機、B号機）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 高圧第6給水加熱器
- ⑥ 原子炉補機冷却水冷却器
- ⑦ グランド蒸気復水器

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 再生熱交換器

(1) 構造

川内2号炉の再生熱交換器は、横置3胴U字管式の熱交換器であり、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。

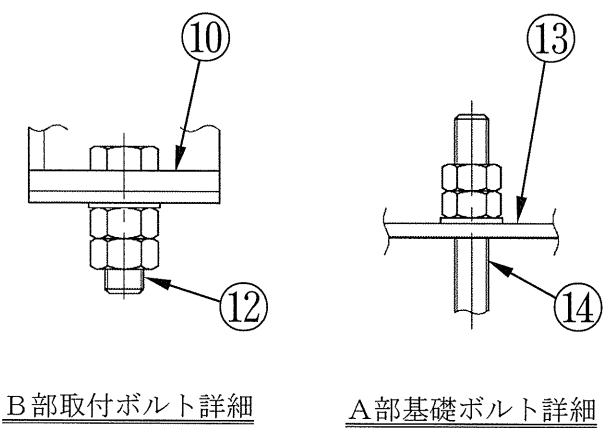
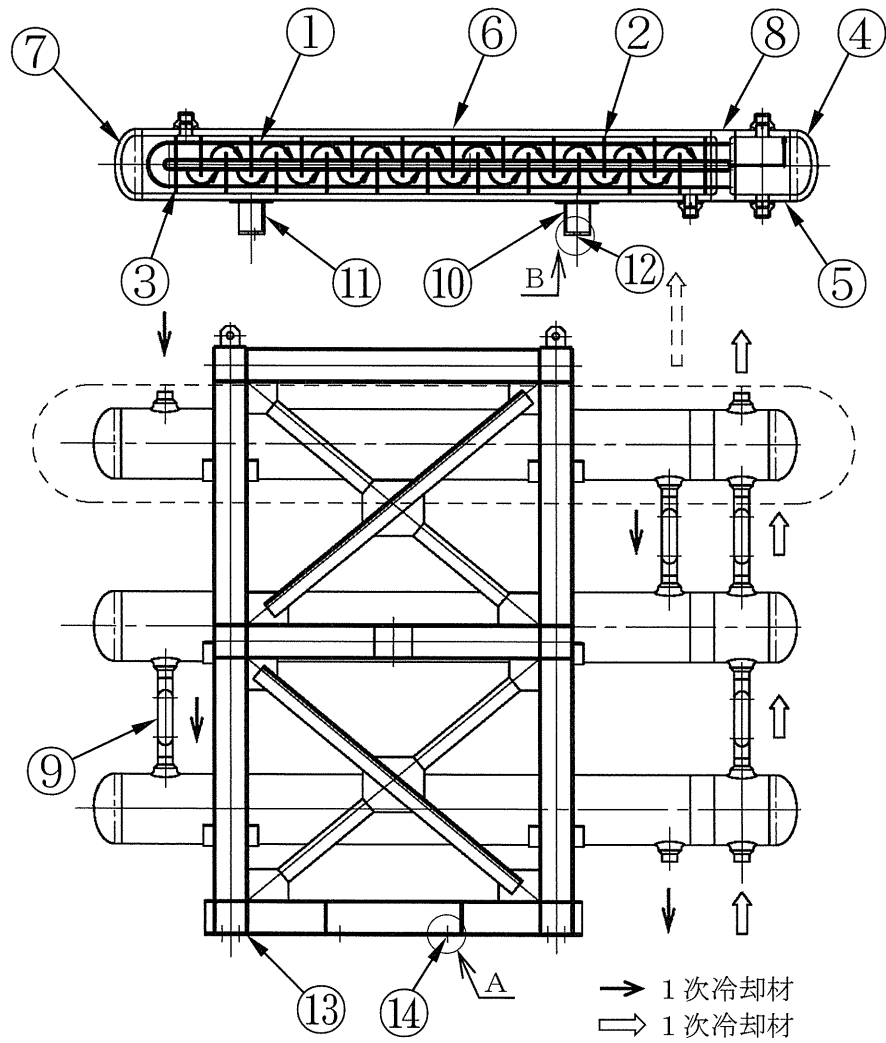
各胴及び連絡管は全て溶接構造である。

伝熱管、管側耐圧構成品及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。

川内2号炉の再生熱交換器の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の再生熱交換器の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部 位
①	伝熱管
②	邪魔板
③	支持板
④	管側鏡板
⑤	管側胴板
⑥	胴側胴板
⑦	胴側鏡板
⑧	管 板
⑨	連絡管
⑩	支持脚
⑪	支持脚 (スライド脚)
⑫	取付ボルト
⑬	架 台
⑭	基礎ボルト

図 2.1-1 川内 2 号炉 再生熱交換器構造図

表 2.1-1 川内 2 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	ステンレス鋼
	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
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 バウンダリ構成品	管 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
	取付ボルト	炭 素 鋼
	架 台 基礎ボルト	炭 素 鋼

表 2.1-2 川内 2 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

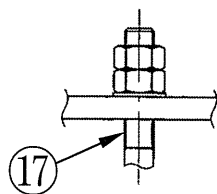
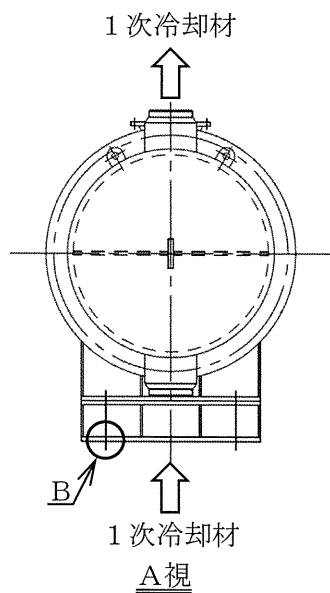
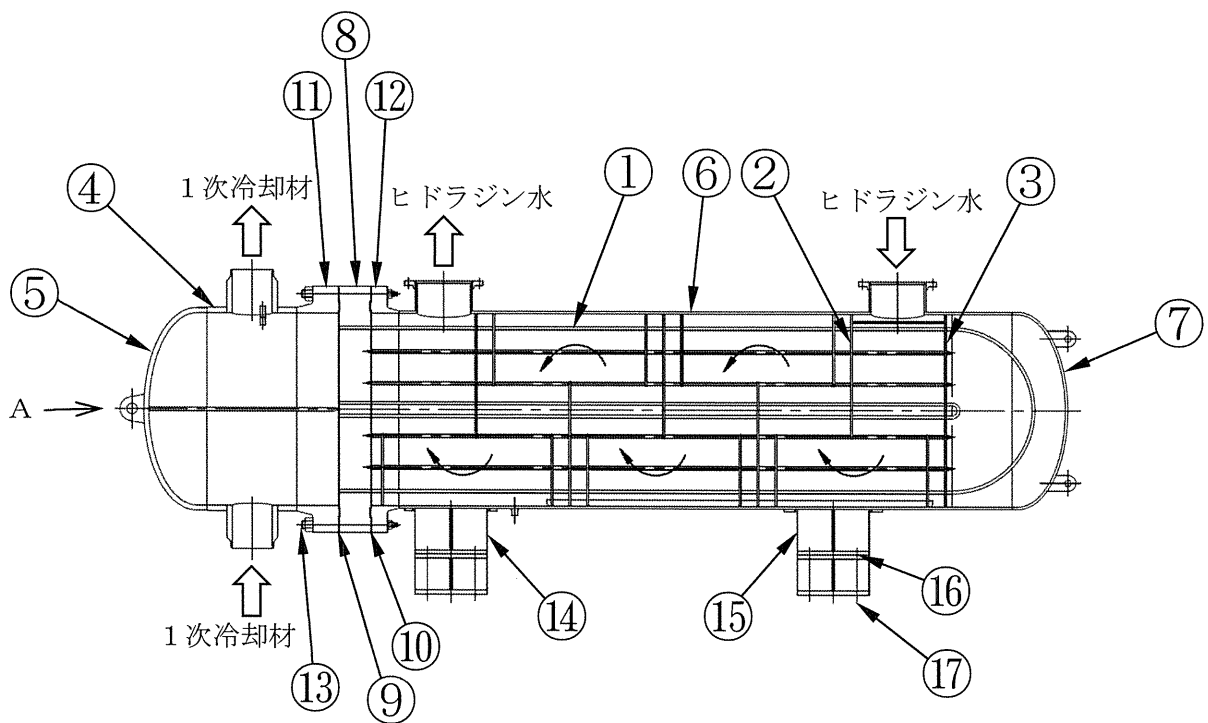
川内2号炉の余熱除去冷却器は、横置U字管式の熱交換器であり、伝熱管にはステンレス鋼を使用しており、1次冷却材、ヒドラジン水（防錆剤注入水）に接液している。

管側耐圧構成品にはステンレス鋼、胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、それぞれ1次冷却材、ヒドラジン水（防錆剤注入水）に接液している。

川内2号炉の余熱除去冷却器の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の余熱除去冷却器の使用材料及び使用条件を表2.1-3及び表2.1-4に示す。



B部基礎ボルト詳細

No.	部 位
①	伝熱管
②	邪魔板
③	支持板
④	管側胴板
⑤	管側鏡板
⑥	胴側胴板
⑦	胴側鏡板
⑧	管 板
⑨	管側ガスケット
⑩	胴側ガスケット
⑪	管側フランジ
⑫	胴側フランジ
⑬	フランジボルト
⑭	支持脚
⑮	支持脚 (スライド脚)
⑯	取付ボルト
⑰	基礎ボルト

図 2.1-2 川内 2 号炉 余熱除去冷却器構造図

表 2.1-3 川内 2 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	ステンレス鋼
	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
胴側耐圧構成品	胴側胴板 胴側鏡板	炭 素 鋼
管側/胴側 バウンダリ構成品	管 板	ステンレス鋼
	管側ガスケット 胴側ガスケット	消耗品・定期取替品
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
	基礎ボルト	炭 素 鋼

表 2.1-4 川内 2 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0.98MPa[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

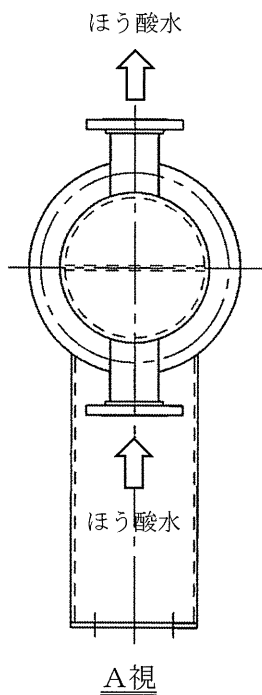
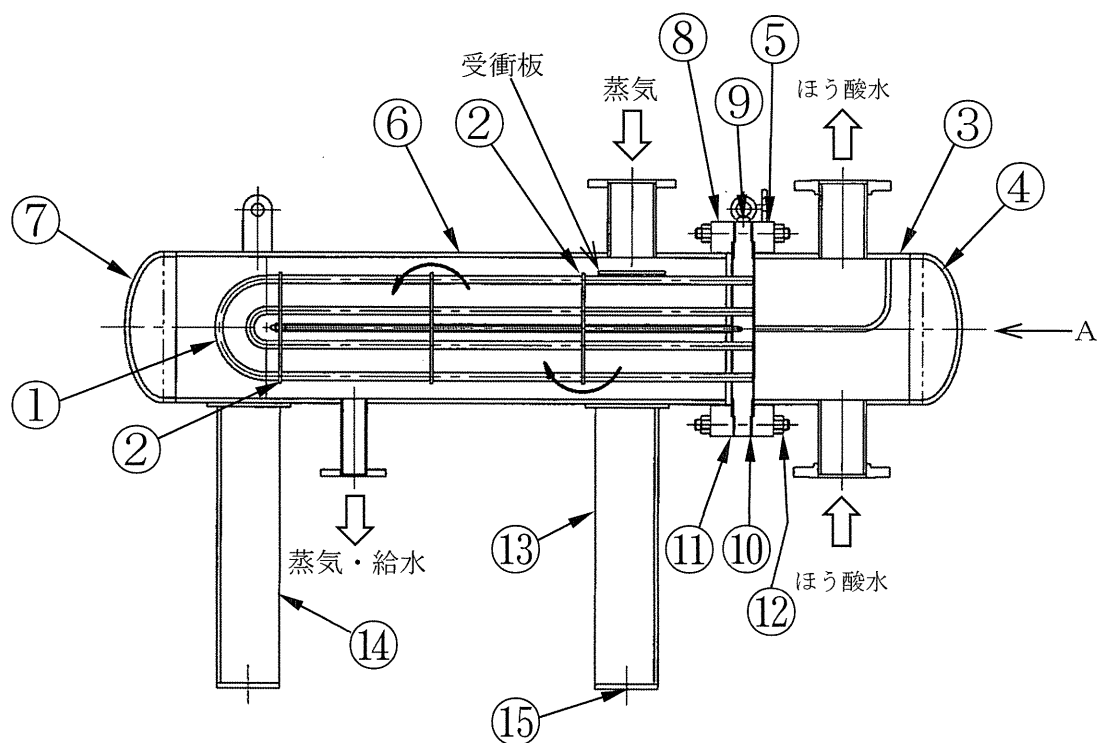
川内2号炉の燃料取替用水タンク加熱器は、横置U字管式の熱交換器であり、伝熱管にはステンレス鋼を使用しており、ほう酸水、蒸気に接液している。

管側耐圧構成品にはステンレス鋼、胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、それぞれほう酸水、蒸気に接液している。

川内2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) 材料及び使用条件

川内2号炉の燃料取替用水タンク加熱器の使用材料及び使用条件を表2.1-5及び表2.1-6に示す。



No.	部 位
①	伝熱管
②	支持板
③	管側胴板
④	管側鏡板
⑤	管側フランジ
⑥	胴側胴板
⑦	胴側鏡板
⑧	胴側フランジ
⑨	管 板
⑩	管側ガスケット
⑪	胴側ガスケット
⑫	フランジボルト
⑬	支持脚
⑭	支持脚 (スライド脚)
⑮	取付ボルト

図 2.1-3 川内 2 号炉 燃料取替用水タンク加熱器構造図

表 2.1-5 川内 2 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	支 持 板	ステンレス鋼
管側耐圧構成品	管側胴板 管側鏡板 管側フランジ	ステンレス鋼
胴側耐圧構成品	胴側胴板 胴側鏡板 胴側フランジ	炭 素 鋼
管側/胴側 バウンダリ構成品	管 板	ステンレス鋼
	管側ガスケット 胴側ガスケット	消耗品・定期取替品
	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 川内 2 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0.98MPa[gage]	(胴側) 約0.93MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約95℃	(胴側) 約185℃
内 部 流 体	(管側) ほう酸水	(胴側) 蒸 気

2.1.4 湿分分離加熱器

(1) 構造

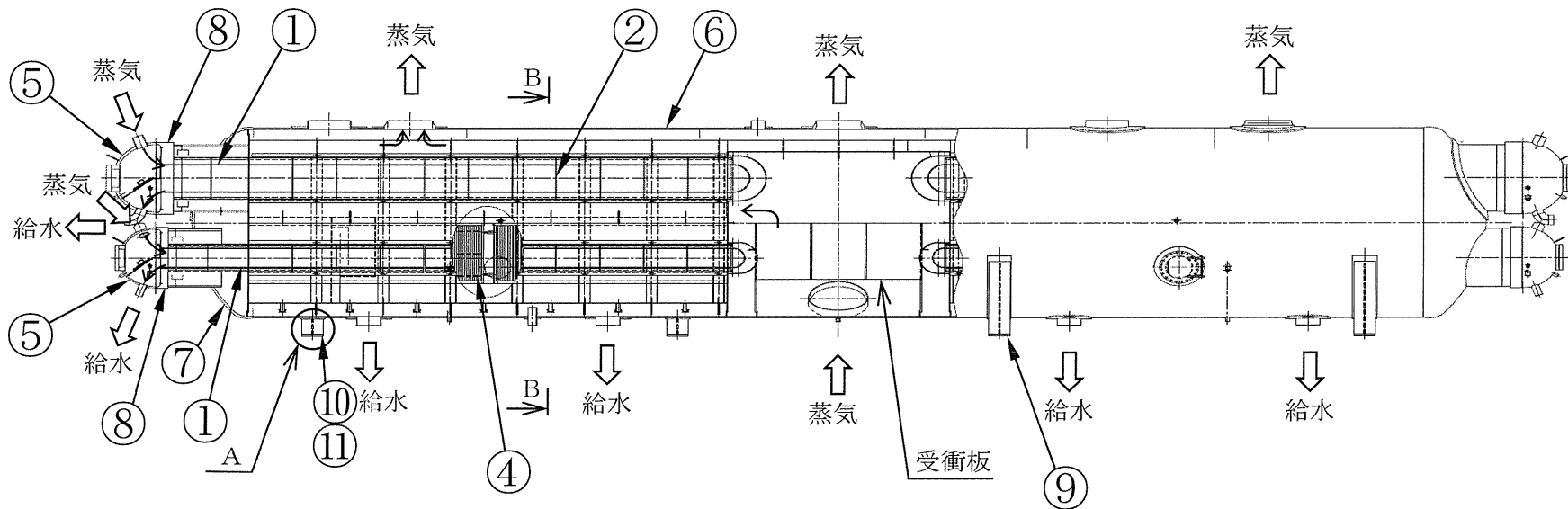
川内 2 号炉の湿分分離加熱器は、横置 2 段加熱 U 字管式の熱交換器であり、湿分分離加熱器は加熱管部、加熱蒸気室部、胴部及び湿分分離部により構成されている。

加熱管にはステンレス鋼を使用しており、蒸気に接している。管側耐圧構成品及び胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、それぞれ蒸気に接している。また、高圧タービン排気の湿分を除去する湿分分離器にはステンレス鋼を使用している。

川内 2 号炉の湿分分離加熱器の構造図を図 2.1-4 に示す。

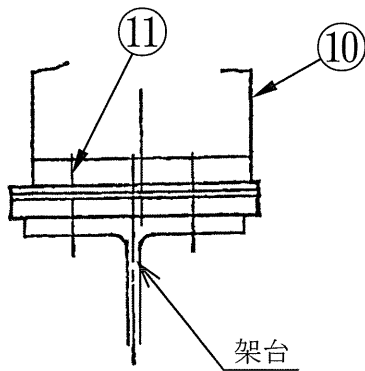
(2) 材料及び使用条件

川内 2 号炉の湿分分離加熱器の使用材料及び使用条件を表 2.1-7 及び表 2.1-8 に示す。

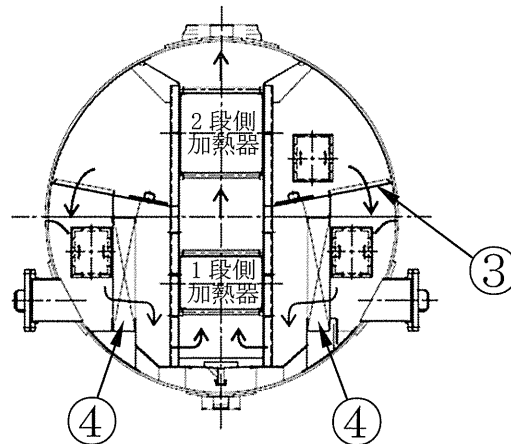


他の支持脚は
全てスライド脚

No.	部 位
①	加 熱 管
②	支 持 板
③	マニホールド
④	湿分分離器
⑤	蒸気室カバー
⑥	胴
⑦	胴 鏡 板
⑧	蒸気室管板
⑨	支 持 脚
⑩	支持脚 (スライド脚)
⑪	取付ボルト



A部 取付ボルト詳細



断面B B

図 2.1-4 川内 2 号炉 湿分分離加熱器構造図

表 2.1-7 川内 2 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	加 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
	湿分分離器	ステンレス鋼
管側耐圧構成品	蒸気室カバー	炭 素 鋼
胴側耐圧構成品	胴	炭素鋼（ステンレス鋼内張り）
	胴 鏡 板	炭 素 鋼
管側/胴側 バウンダリ構成品	蒸気室管板	炭素鋼（ニッケル基合金肉盛）
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 川内 2 号炉 湿分分離加熱器の使用条件

最高使用圧力	(管側) 約2.8MPa[gage] ^{*1} 約7.5MPa[gage] ^{*2}	(胴側) 約1.4MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約291℃ ^{*1} 約291℃ ^{*2}	(胴側) 約291℃
内 部 流 体	(管側) 蒸 気	(胴側) 蒸 気

*1：1 段側加熱器

*2：2 段側加熱器

2.1.5 高圧第6給水加熱器

(1) 構造

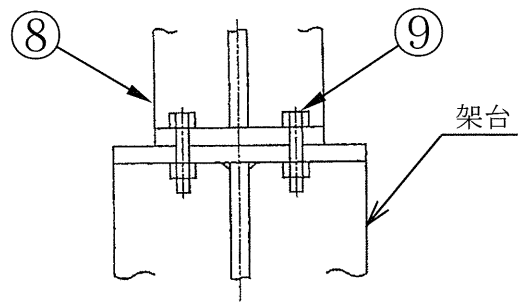
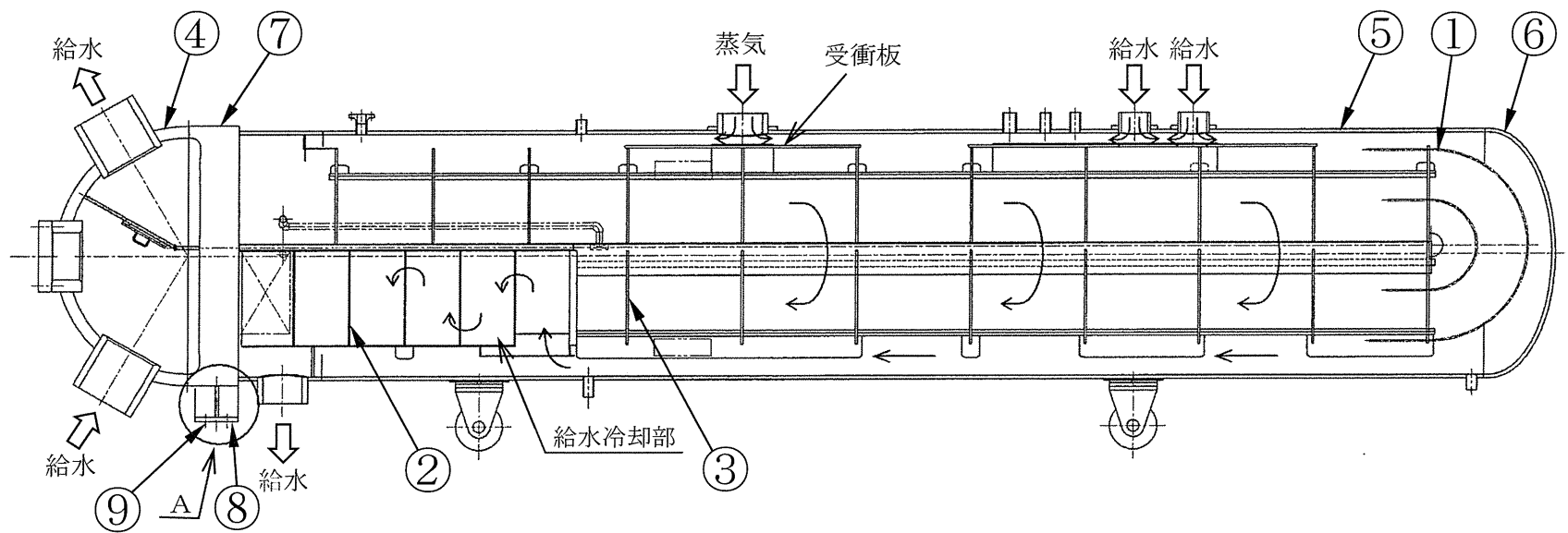
川内2号炉の高圧第6給水加熱器は、横置U字管式の熱交換器であり、加熱管にはステンレス鋼を使用し、給水、蒸気に接液している。

管側耐圧構成品及び胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、それぞれ給水、蒸気に接液している。

川内2号炉の高圧第6給水加熱器の構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の高圧第6給水加熱器の使用材料及び使用条件を表2.1-9及び表2.1-10に示す。



A部 取付ボルト詳細

No.	部 位
①	加 熱 管
②	邪 魔 板
③	支 持 板
④	水 室 鏡 板
⑤	胴
⑥	胴 側 鏡 板
⑦	管 板
⑧	支 持 脚
⑨	取 付 ボ ル ト

図 2.1-5 川内 2 号 炉 高 圧 第 6 給 水 加 熱 器 構 造 図

表 2.1-9 川内 2 号炉 高圧第 6 給水加熱器主要部位の使用材料

部 位		材 料
熱交換伝熱構成品	加 熱 管	ステンレス鋼
流路構成品	邪 魔 板	炭 素 鋼
	支 持 板	炭 素 鋼
管側耐圧構成品	水室鏡板	炭 素 鋼
胴側耐圧構成品	胴 胴側鏡板	炭 素 鋼
管側/胴側 バウンダリ構成品	管 板	炭素鋼 (ステンレス鋼肉盛)
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 川内 2 号炉 高圧第 6 給水加熱器の使用条件

最高使用圧力	(管側) 約11.0MPa[gage]	(胴側) 約2.8MPa[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・給水

2.1.6 原子炉補機冷却水冷却器

(1) 構造

川内2号炉の原子炉補機冷却水冷却器は、横置直管式の熱交換器であり、伝熱管には銅合金を使用しており、海水、ヒドラジン水（防錆剤注入水）に接液している。

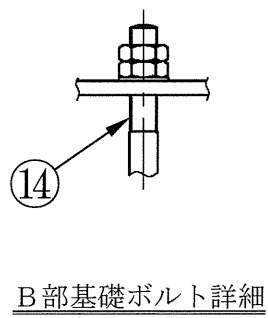
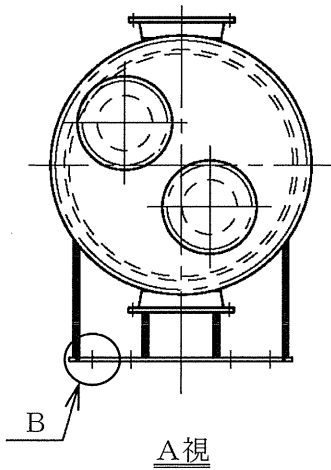
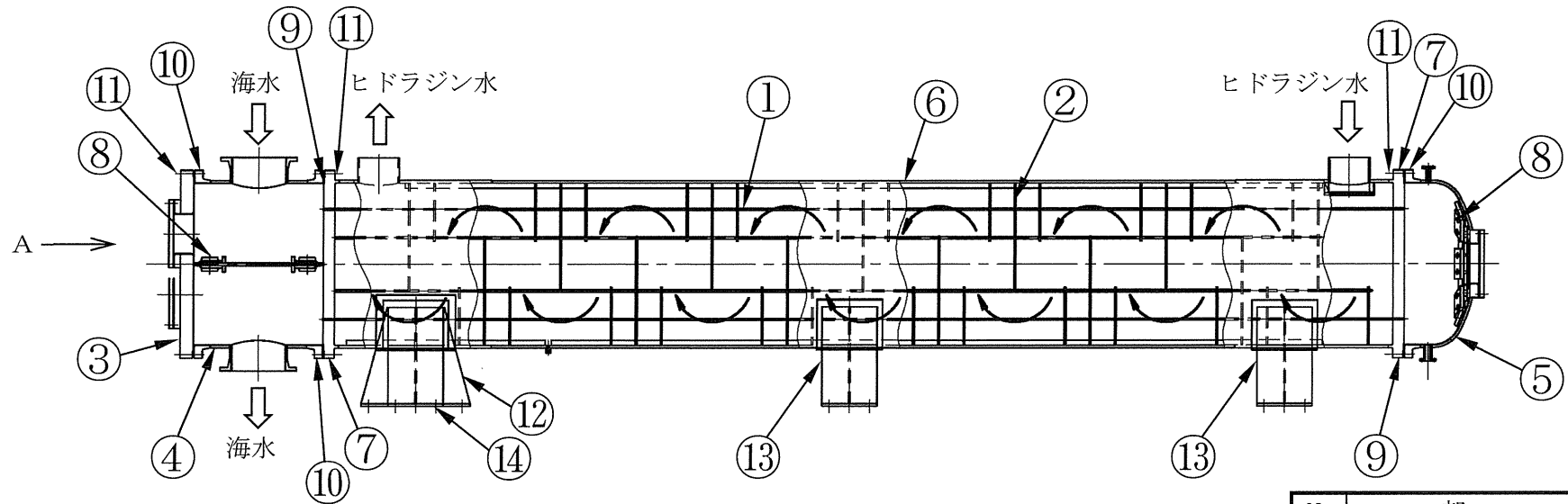
胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、ヒドラジン水（防錆剤注入水）に接液している。

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。

川内2号炉の原子炉補機冷却水冷却器の構造図を図2.1-6に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の原子炉補機冷却水冷却器の使用材料及び使用条件を表2.1-11及び表2.1-12に示す。



No.	部 位
①	伝熱管
②	邪魔板
③	管側端板
④	管側胴板
⑤	管側鏡板
⑥	胴側胴板
⑦	管 板
⑧	防食亜鉛板
⑨	ガスケット
⑩	管側フランジ
⑪	フランジボルト
⑫	支持脚
⑬	支持脚 (スライド脚)
⑭	基礎ボルト

図 2.1-6 川内 2 号炉 原子炉補機冷却水冷却器構造図

表 2.1-11 川内 2 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	管側端板 管側胴板 管側鏡板	炭素鋼（ライニング）
胴側耐圧構成品	胴側胴板	炭 素 鋼
管側/胴側 バウンダリ構成品	管 板	炭素鋼（銅合金内張り）
	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
管側フランジ 構成品	管側フランジ	炭素鋼（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 2.1-12 川内 2 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0.69MPa[gage]	（胴側） 約0.98MPa[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

2.1.7 グランド蒸気復水器

(1) 構造

川内2号炉のグランド蒸気復水器は、横置直管式の熱交換器であり、冷却管にはステンレス鋼を使用しており、給水、蒸気に接液している。

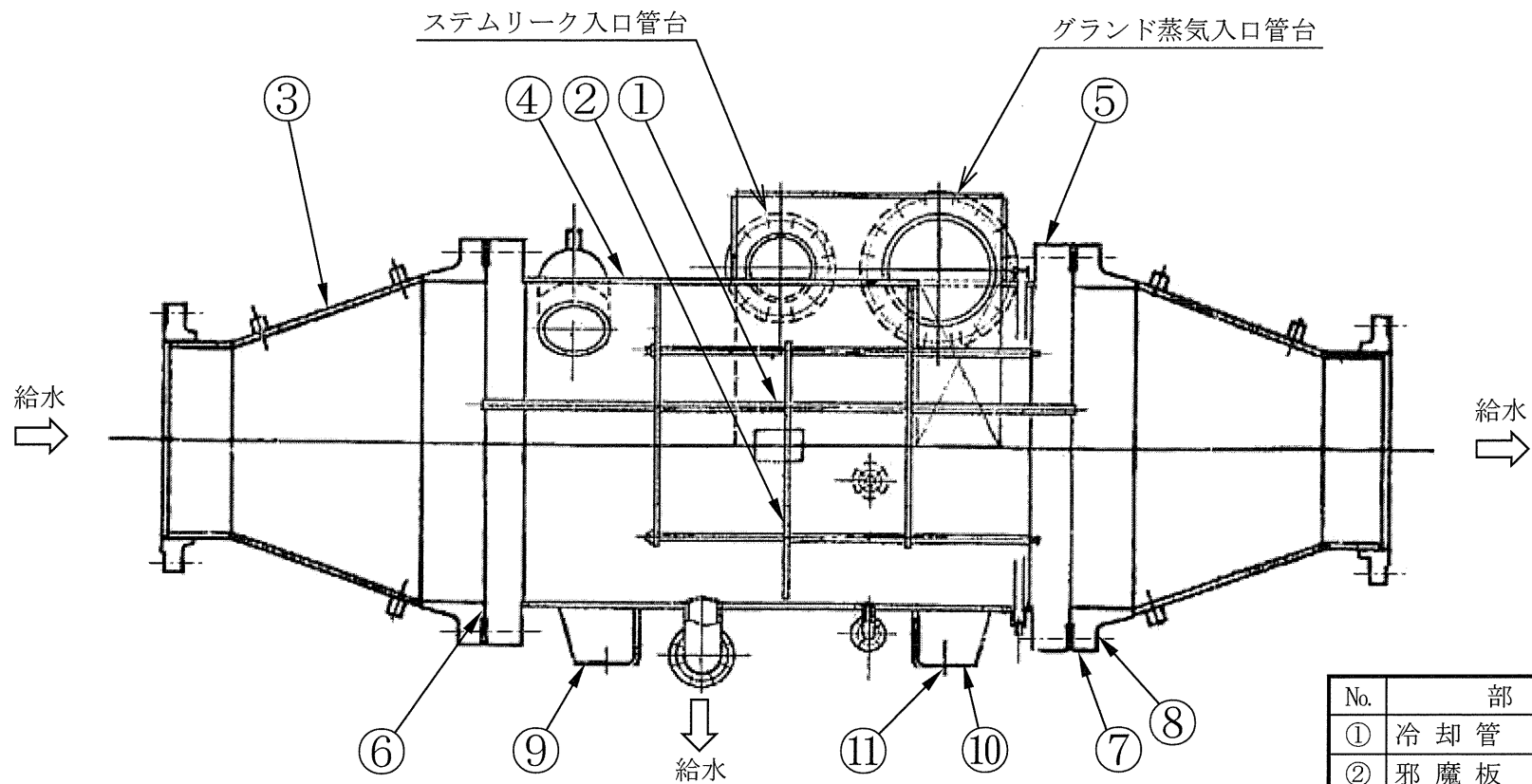
管側耐圧構成品及び胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、それぞれ給水、蒸気に接液している。

給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。

川内2号炉のグランド蒸気復水器の構造図を図2.1-7に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉のグランド蒸気復水器の使用材料及び使用条件を表2.1-13及び表2.1-14に示す。



No.	部 位
①	冷 却 管
②	邪 魔 板
③	水 室
④	胴
⑤	管 板
⑥	ガスケット
⑦	水室フランジ
⑧	フランジボルト
⑨	支 持 脚
⑩	支持脚 (スライド脚)
⑪	取付ボルト

図 2.1-7 川内 2 号炉 グランド蒸気復水器構造図

表 2.1-13 川内 2 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	冷 却 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
胴側耐圧構成品	胴	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
フランジ構成品	水室フランジ	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 2.1-14 川内 2 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1.2MPa[gage]	(胴側) 約 0MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約80℃	(胴側) 約180℃
内 部 流 体	(管側) 給 水	(胴側) 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

多管円筒形熱交換器の機能である熱除去機能(冷却器の場合)及び加熱機能(加熱器の場合)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

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)及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～表2.2-7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～表2.2-7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]

再生熱交換器及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2.2-1～表2.2-7で△又は▲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、又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)又は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（加熱管、冷却管を含む）の摩耗及び高サイクル疲労割れ [共通]

管内流体及び胴側流体により伝熱管振動が発生した場合、支持板等で伝熱管に摩耗又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、開放点検時の渦流探傷検査又は漏えい試験等により、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（加熱管、冷却管を含む）の内面腐食（流れ加速型腐食）

[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、高圧第6給水加熱器、グラント蒸気復水器]

伝熱管は、内部流体により流れ加速型腐食の発生が想定される。

しかしながら、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おり、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、開放点検時の渦流探傷検査又は漏えい試験等により、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）[原子炉補機冷却水冷却器]

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可能性があるが、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、開放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。

(4) 伝熱管（加熱管、冷却管を含む）の外面腐食（流れ加速型腐食）〔共通〕

伝熱管は、管外流体により流れ加速型腐食の発生が想定される。

しかしながら、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、高圧第6給水加熱器及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であることから、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、開放点検時の渦流探傷検査又は漏えい試験等により、機器の健全性を確認している。

(5) 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、高圧第6給水加熱器、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し、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、開放点検時の渦流探傷検査又は漏えい試験等により、機器の健全性を確認している。

(6) 伝熱管（加熱管、冷却管を含む）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、高圧第6給水加熱器、グラント蒸気復水器]

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ことが想定される。

しかしながら、内部流体は、1次冷却材、ほう酸水、給水、蒸気及びヒドラジン水（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。また、渦流探傷検査実施前の洗浄や運転中の流体温度及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。

(7) 伝熱管のスケール付着 [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ことが想定される。

しかしながら、開放点検時の洗浄により、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) 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、湿分分離加熱器、高圧第6給水加熱器、グラント蒸気復水器]

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、開放点検時の目視確認又は肉厚測定により、有意な減肉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。

(9) 管側耐圧構成品等の腐食（流れ加速型腐食）〔湿分分離加熱器〕

湿分を含む蒸気が管側内部を流れる場合、蒸気室カバー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、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。

(10) 管側耐圧構成品等の腐食（流れ加速型腐食）

〔高圧第6給水加熱器、グランド蒸気復水器〕

管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、高圧第6給水加熱器及びグランド蒸気復水器の内部流体はpH等を管理した脱気水で内面の腐食が発生し難い環境であり、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難い。

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。

(11) 管側耐圧構成品等の海水による腐食（異種金属接触腐食を含む）

〔原子炉補機冷却水冷却器〕

原子炉補機冷却水冷却器は管側流体が海水であり、管板に使用している銅合金が長期使用により腐食が想定される。

また、原子炉補機冷却水冷却器の炭素鋼使用部位には、海水接液面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炭素鋼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、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。

(12) 胴側耐圧構成品等の腐食（全面腐食）〔余熱除去冷却器〕

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、余熱除去冷却器の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難い環境であり、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難い。

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。

(13) 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、高圧第6給水加熱器、原子炉補機冷却水冷却器、グラウンド蒸気復水器〕

胴板、鏡板、管板、フランジ等は炭素鋼であり、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗装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装の状態を確認し、はく離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。

(14) 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、原子炉補機冷却水冷却器、グラウンド蒸気復水器〕

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難い。

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。

(15) 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。

しかしながら、この事象は内筒付再生熱交換器特有のものであり、川内2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、連絡管溶接部については、超音波探傷検査及び漏えい検査により、機器の健全性を確認している。

(16) 支持脚等の腐食（全面腐食） [共通]

支持脚及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、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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。

(17) 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、原子炉補機冷却水冷却器、グラウンド蒸気復水器]

横置の熱交換器である再生熱交換器、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、原子炉補機冷却水冷却器及びグラウンド蒸気復水器には、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。

(18) 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、高圧第6給水加熱器、グラント蒸気復水器]

取付ボルトは炭素鋼又は低合金鋼であり、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、塗装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装の状態を確認し、はく離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。

(19) 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、原子炉補機冷却水冷却器]

基礎ボルトは炭素鋼又は低合金鋼であり、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のうち「基礎ボルト」にて評価を実施するものとし、本評価書には含めていない。

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。

(20) 胴側耐圧構成品等の腐食（全面腐食）〔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、原子炉補機冷却水冷却器の内部流体は、ヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、内面の腐食が発生し難い環境であることから、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 消耗品及び定期取替品

防食亜鉛板及びガスケットは開放点検時に取り替えている消耗品であり、長期使用はせず取替え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 川内2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	応力腐蝕割れ	熱時効	劣 化		
伝熱性能の確保	伝熱管		ステンレス鋼	△*1	△*2(内面) △*2(外面)	△*1	△			△*3	*1：摩耗・高サイクル疲労割れ *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		ステンレス鋼				△				
	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				△				
	胴側胴板		ステンレス鋼				△				
	胴側鏡板		ステンレス鋼				△				
	管 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）

表 2.2-2 川内 2 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	△*2(内面) △*2(外面)	△*1	△			△*3	*1：摩耗・高サイクル疲労割れ *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		ステンレス鋼				△				
	支持板		ステンレス鋼				△				
バウンダリの維持	管側胴板 管側鏡板		ステンレス鋼				△				
	胴側胴板		炭素鋼		△(内面) △(外面)						
	胴側鏡板		炭素鋼		△(内面) △(外面)						
	管 板		ステンレス鋼			○	△				
	管側ガスケット 胴側ガスケット	◎	—								
	管側フランジ		ステンレス鋼				△				
	胴側フランジ		炭素鋼		△(内面) △(外面)						
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		△						
	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 2.2-3 川内 2 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	応力腐蝕割れ	熱時効	劣 化		
伝熱性能の確保	伝熱管		ステンレス鋼	△*1	△*2(内面) △*2(外面)	△*1	△			△*3	*1：摩耗・高サイクル疲労割れ *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		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				△				
	管側フランジ		ステンレス鋼				△				
	胴側胴板		炭素鋼		△*2(内面) △(外面)						
	胴側鏡板		炭素鋼		△*2(内面) △(外面)						
	胴側フランジ		炭素鋼		△(外面)						
	管 板		ステンレス鋼				△				
	管側ガスケット 胴側ガスケット	◎	—								
	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）

表 2.2-4 川内 2 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	加 熱 管		ステンレス鋼	△*1	△*2(内面) △*2(外面)	△*1	△			△*3	*1：摩耗・高サイクル疲労割れ *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						
	湿分分離器		ステンレス鋼				△				
バウンダリの維持	蒸気室カバー		炭 素 鋼		△*2(内面) △ (外面)						
	胴		炭 素 鋼 (ステンレス鋼内張り)		△*2(内面) △ (外面)		△ (ステンレス鋼内張り)				
	胴 鏡 板		炭 素 鋼		△*2(内面) △ (外面)						
	蒸気室管板		炭 素 鋼 (ニッケル基合金肉盛)		△*2(内面) △ (外面)						
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）

表 2.2-5 川内 2 号炉 高圧第 6 給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	加 熱 管		ステンレス鋼	△*1	△*2(内面) △*2(外面)	△*1	△			△*3	*1：摩耗・高サイクル疲労割れ *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着
	邪 魔 板		炭 素 鋼		△*2						
	支 持 板		炭 素 鋼		△*2						
バウンダリの維持	水室鏡板		炭 素 鋼		△*2(内面) △ (外面)						
	胴		炭 素 鋼		△*2(内面) △ (外面)						
	胴側鏡板		炭 素 鋼		△*2(内面) △ (外面)						
	管 板		炭素鋼 (ステンレス鋼肉盛)		△*2(内面) △ (外面)						
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）

表 2.2-6 川内 2 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	△*2(内面) △*2(外面)	△*1				△*3	*1：摩耗・高サイクル疲労割れ *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着 *4：異種金属接触腐食を含む *5：スライド部の腐食
	邪魔板		炭素鋼		▲						
バウンダリの維持	管側端板		炭素鋼 (ライニング)		△*4(内面) △(外面)						
	管側胴板		炭素鋼 (ライニング)		△*4(内面) △(外面)						
	管側鏡板		炭素鋼 (ライニング)		△*4(内面) △(外面)						
	胴側胴板		炭素鋼		▲(内面) △(外面)						
	管 板		炭素鋼 (銅合金内張り)		△*4(内面) △(外面)						
	防食亜鉛板	◎	—								
	ガスケット	◎	—								
	管側フランジ		炭素鋼 (ライニング)		△*4(内面) △(外面)						
	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 2.2-7 川内 2 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	冷 却 管		ステンレス鋼	△*1	△*2(内面) △*2(外面)	△*1	△			△*3	*1：摩耗・高サイクル疲労割れ *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		炭 素 鋼		△*2(内面) △ (外面)						
	胴		炭 素 鋼		△*2(内面) △ (外面)						
	管 板		炭 素 鋼		△*2(内面) △ (外面)						
	ガスケット	◎	—								
	水室フランジ		炭 素 鋼		△*2(内面) △ (外面)						
	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）

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、「(社)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。

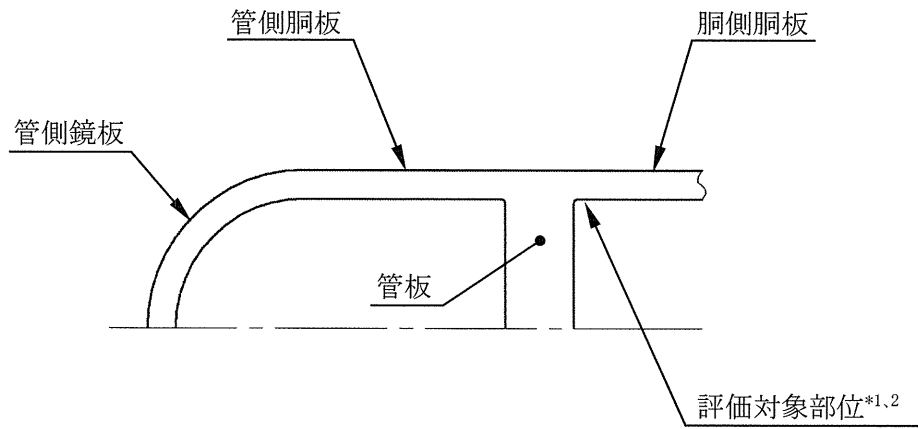
管板に発生する応力については、2次元FEMモデルを作成し評価することとし、「(社)日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007)」及び「ASME Sec. III Appendix A-8000」に基づき疲労評価を行った。

また、使用環境を考慮した疲労については、「(社)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。

評価対象部位を図2.3-1及び図2.3-2に、疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1及び表2.3-2に示す。

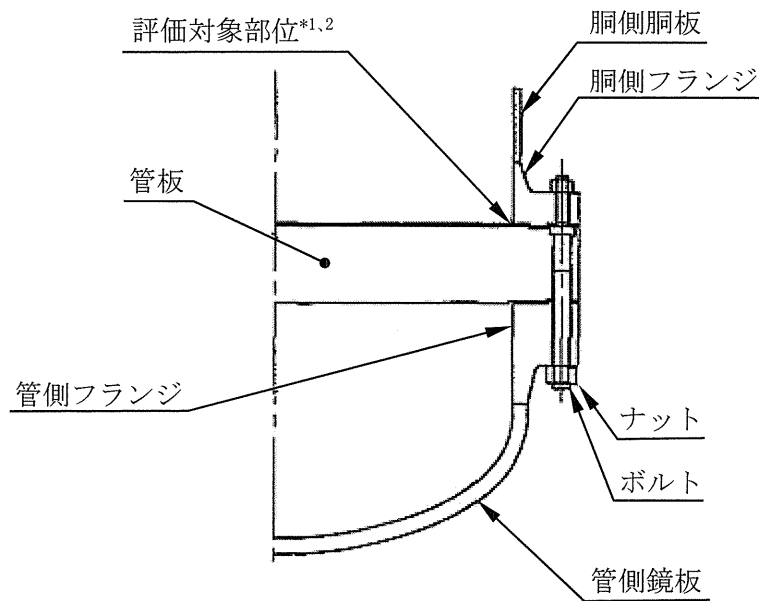
なお、運転期間延長認可申請に伴う評価として、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的に設定した過渡回数とした。

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 川内2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 川内2号炉 余熱除去冷却器 管板の疲労評価対象部位

表 2.3-1 川内 2 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	
	2012年3月末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起 動	34	69
停 止	32	69
抽出ラインの隔離及び復帰	0	6
充てんラインの隔離及び復帰（保守）	0	2
充てんラインの隔離及び復帰（安全注入時）	0	6
充てん流量50%の減少及び復帰	292	827
充てん流量50%の増加及び復帰	292	853
抽出流量50%の減少及び復帰	32	69
抽出流量100%の増加及び復帰	289	824

表 2.3-2 川内 2 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	
	2012年3月末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起 動	34	69
停 止	32	69
1次系漏えい試験	27	64

表 2.3-3 川内 2 号炉 再生熱交換器、余熱除去冷却器の疲労評価結果

評価対象	評価部位	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
再生熱交換器	管 板 部	0.067	0.284
余熱除去冷却器	管 板 部	0.053	0.078

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、定期的に漏えい試験等や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、漏えい試験等や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

再生熱交換器及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 非再生冷却器
- ② 格納容器スプレイ冷却器
- ③ 封水冷却器
- ④ 余剰抽出冷却器
- ⑤ 低圧第1給水加熱器
- ⑥ 低圧第2給水加熱器
- ⑦ 低圧第3給水加熱器
- ⑧ 低圧第4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 [共通]

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を受ける再生熱交換器及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)又は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 伝熱管（加熱管を含む）の摩耗及び高サイクル疲労割れ [共通]

管内流体及び胴側流体により伝熱管振動が発生した場合、支持板等で伝熱管に摩耗又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、現状保全として、開放点検時の渦流探傷検査又は漏えい試験等により、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。

3.2.2 伝熱管（加熱管を含む）の内面腐食（流れ加速型腐食） [共通]

伝熱管は内部流体により、流れ加速型腐食の発生が想定される。

しかしながら、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、開放点検時の渦流探傷検査又は漏えい試験等により、機器の健全性を確認している。

3.2.3 伝熱管（加熱管を含む）の外表面腐食（流れ加速型腐食）〔共通〕

伝熱管は管外流体により、流れ加速型腐食の発生が想定される。

しかしながら、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、外表面からの流れ加速型腐食が発生する可能性は小さい。

また、低圧第1給水加熱器、低圧第2給水加熱器、低圧第3給水加熱器及び低圧第4給水加熱器については、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、開放点検時の渦流探傷検査又は漏えい試験等により、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、開放点検時の渦流探傷検査又は漏えい試験等により、機器の健全性を確認している。

3.2.5 伝熱管（加熱管を含む）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、内部流体は1次冷却材、ほう酸水、給水、蒸気及びヒドラジン水（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。また、渦流探傷検査実施前の洗浄や運転中の流体温度及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 胴側耐圧構成品等の腐食（流れ加速型腐食）

[低圧第1給水加熱器、低圧第2給水加熱器、低圧第3給水加熱器、低圧第4給水加熱器]

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、開放点検時の肉厚測定により、減肉進行程度を把握し、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。

3.2.7 管側耐圧構成品等の腐食（流れ加速型腐食）

[低圧第1給水加熱器、低圧第2給水加熱器、低圧第3給水加熱器、低圧第4給水加熱器]

管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pH等を管理した脱気水であり、内面の腐食が発生し難い環境であり、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難い。

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。

3.2.8 胴側耐圧構成品等の腐食（全面腐食）

[非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、封水冷却器、余剰抽出冷却器]

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）で腐食が発生し難い環境であり、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難い。

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。

3.2.9 胴板等の外面からの腐食（全面腐食）〔共通〕

胴板、鏡板、管板及びフランジは炭素鋼であり、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、塗装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装の状態を確認し、はく離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 フランジボルトの腐食（全面腐食）

〔非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、封水冷却器、余剰抽出冷却器〕

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難い。

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。

3.2.11 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、非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、封水冷却器、余剰抽出冷却器、低圧第3給水加熱器及び低圧第4給水加熱器については、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗装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装の状態を確認し、はく離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、低圧第1給水加熱器及び低圧第2給水加熱器については、復水器内に支持脚があるが、復水器内はpH等を管理した脱気水（蒸気）であるため、腐食が発生し難い環境であり、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難い。

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、定期的な目視により塗装の状態を確認し、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。

3.2.12 支持脚（スライド脚）の腐食（全面腐食）

[非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、封水冷却器、低圧第1給水加熱器、低圧第2給水加熱器、低圧第3給水加熱器、低圧第4給水加熱器]

いずれの熱交換器においても、支持脚（スライド脚）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、非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、封水冷却器、低圧第3給水加熱器及び低圧第4給水加熱器については、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。

また、低圧第1給水加熱器及び低圧第2給水加熱器は復水器内に支持脚（スライド脚）があるが、復水器内はpH等を管理した脱気水（蒸気）であるため、腐食が発生し難い環境であり、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難い。

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、低圧第1給水加熱器及び低圧第2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。

3.2.13 取付ボルトの腐食（全面腐食）[共通]

取付ボルトは炭素鋼又は低合金鋼であり、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、塗装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装の状態を確認し、はく離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。

3.2.14 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

[非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、封水冷却器、余剰抽出冷却器]

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のうち「基礎ボルト」にて評価を実施するものとし、本評価書には含めていない。

2 蒸気発生器

[対象機器]

- ① 蒸気発生器本体

目 次

1. 対象機器	1
2. 蒸気発生器本体の技術評価	2
2.1 構造、材料及び使用条件	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	21

1. 対象機器

川内2号炉で使用されている蒸気発生器本体の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 川内2号炉 蒸気発生器本体の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件(1次側/2次側)		
		運 転	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
蒸気発生器本体 (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及び構造物であることを示す

2. 蒸気発生器本体の技術評価

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 蒸気発生器本体

(1) 構造

川内2号炉の蒸気発生器本体は、たて置きU字管式熱交換器である。

蒸気発生器伝熱管には690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。1次側耐圧構成品である1次側鏡板にはステンレス鋼、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。2次側耐圧構成品である2次側胴板には低合金鋼を使用しており、給水に接液している。

川内2号炉の蒸気発生器本体の構造図を図2.1-1に示す。

なお、川内2号炉の蒸気発生器本体は、第22回定期検査時（2018年度）に取替えを実施しており、以降の評価は取替え後の蒸気発生器本体で実施している。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の蒸気発生器本体の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。

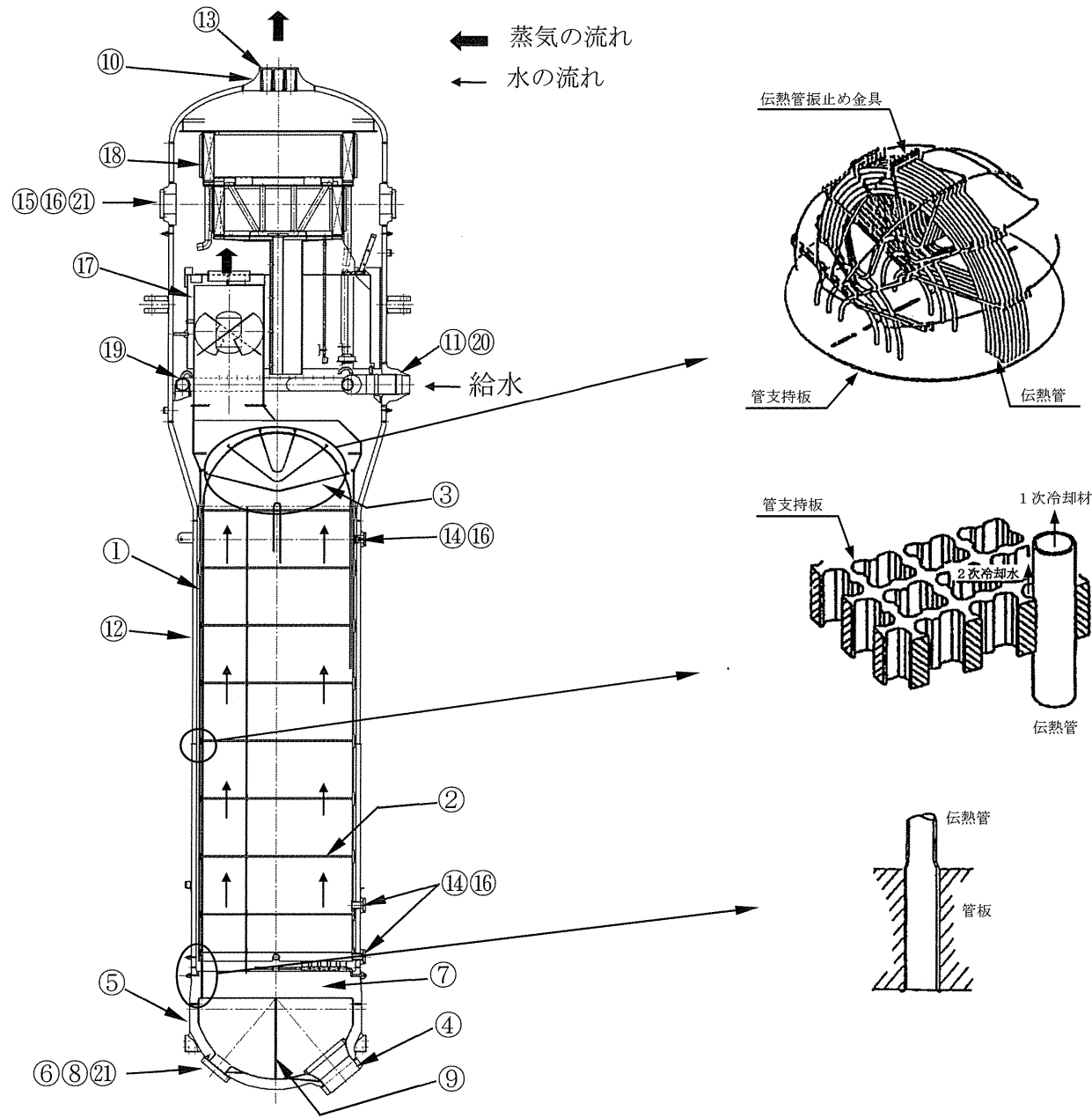


図 2.1-1 川内 2 号炉 蒸気発生器本体構造図

No.	部 位
①	蒸気発生器伝熱管
②	管支持板
③	伝熱管振止め金具
④	冷却材出入口管台セーフエンド
⑤	1 次側鏡板
⑥	1 次側マンホール
⑦	管 板
⑧	ガスケット (1 次側マンホール)
⑨	仕 切 板
⑩	蒸気出口管台
⑪	給水入口管台
⑫	2 次側胴板
⑬	フローリストリクタベンチュリー
⑭	検査用穴
⑮	2 次側マンホール
⑯	ガスケット (2 次側マンホール、検査用穴)
⑰	気水分離器
⑱	湿分分離器
⑲	給水リング (J チューブ)
⑳	サーマルスリーブ
㉑	マンホール用ボルト

(注) 冷却材出入口管台セーフエンド④と 1 次側マンホール⑥及び仕切板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④、⑥及び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

表 2.1-1 川内 2 号炉 蒸気発生器本体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	蒸気発生器伝熱管	690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 690系ニッケル基合金（内張り）
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 690系ニッケル基合金（溶接金属）
		1 次側鏡板	低合金鋼 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 （1 次側マンホール）	消耗品・定期取替品	
1 次側流路 構成品	仕 切 板	690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
		伝熱管振止め金具 （A V B）	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 次側胴板	低合金鋼
		フローリストリクタ ベンチュリー	690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（2 次側マ ンホール、検査用穴）	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
		湿分分離器	炭 素 鋼
	給水内管構成品	給水リング （J チューブ）	低合金鋼
サーマルスリーブ		低合金鋼	

表2.1-2 川内2号炉 蒸気発生器本体の使用条件

	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

蒸気発生器本体の機能である伝熱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 伝熱性能の確保
- 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

蒸気発生器本体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）及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) 管板及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次冷却材又は給水の温度、圧力及び流量変化により、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廻り及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2.2-1で△又は▲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、又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)又は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) 蒸気発生器伝熱管の損傷

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経験から、図2.2-1に示すような経年劣化事象が想定される。損傷モードごとに以下に事象の説明を行う。

① 伝熱管振止め金具（A V B : Anti Vibration Bar）部摩耗

伝熱管振止め金具による蒸気発生器伝熱管の支持が不十分な場合、蒸気発生器伝熱管の外側を流れる流体によって蒸気発生器伝熱管が振動し、伝熱管振止め金具と接触を繰り返すことにより生じる2次側表面からの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本組伝熱管振止め金具に対し、川内2号炉の蒸気発生器本体では3本組伝熱管振止め金具を採用しており、蒸気発生器伝熱管の支持状態は向上している。

曲げ半径の大きい蒸気発生器伝熱管において、3本組伝熱管振止め金具の場合、2点以上の非接触部が存在すると、流力弾性振動が発生し、伝熱管振止め金具部に摩耗減肉が発生する可能性は否定できないが、伝熱管振止め金具の板厚を大きくし、挿入時隙間管理を行っていることから、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)

管支持板クレビス部等で2次冷却水中の遊離アルカリの濃縮と酸化銅等による酸化性雰囲気重畳し、2次側表面からの結晶粒界に沿った割れを伴う腐食が発生する可能性がある。

しかしながら、川内2号炉の蒸気発生器本体では、蒸気発生器伝熱管材料に耐粒界腐食割れ性に優れた690系ニッケル基合金(特殊熱処理材)を使用し、管支持板穴形状は管支持板クレビス部での不純物濃縮対策としてBEC穴(Broached Egg Crate)を採用していることから、粒界腐食割れが発生する可能性は小さい。

③ ピットイング (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、ピットイングが発生する可能性は小さい。

④ 管板直上部腐食損傷

拡管による残留応力と管板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グ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及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。

川内2号炉は、690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、腐食が発生する可能性は小さい。

(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

伝熱管振止め金具の挿入不足により、蒸気発生器伝熱管の外表面を流れる流体によって蒸気発生器伝熱管が振動し、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、伝熱管振止め金具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 管板拡管部及び拡管境界部応力腐食割れ (SCC : Stress Corrosion Cracking)

製作時の拡管による残留応力と運転中の作用応力が重畳することにより1次側表面からの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要因により発生し、運転時間の経過に伴い顕在化してくる時間依存型の損傷であるが、川内2号炉では690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の向上を図り、また液圧拡管を採用し、ローラ拡管と比較して残留応力低減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小さい。

⑦ 小曲げUベンド部応力腐食割れ (SCC)

製作時の小半径Uベ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要因により発生し、運転時間の経過に伴い顕在化してくる時間依存型の損傷であるが、川内2号炉では、690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、内圧及び熱伸び差による作用応力も小さく、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

⑧ デンティン

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蒸気発生器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、形状及び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、A V T (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 6 0 年時点での予想される腐食量はわずかである。川内 2 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 B E C 穴を採用していること、国内の取替え前蒸気発生器 (炭素鋼製管支持板とドリル穴の組合せ) でも発生していないことも勘案して、デンティン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・停止に伴いはく離れ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。

しかしながら、川内 2 号炉については、2 次側水質は A V T (All Volatile Treatment : 全揮発性薬品処理) 及び高 p H 運転で管理しており、通常運転中の給水の水質を p H 9 . 8 以上と適切な管理により鉄持込量を抑制している。

また、川内 2 号炉の鉄持込量については、蒸気発生器内に採取可能な稠密なスケールがなかった高浜 2 号炉の鉄持込量と比較して十分小さいことを確認している。今後は適切な水質管理で鉄持込量を抑制し、スケールの稠密層が厚く成長するような鉄持込量に至っていないことを監視することとしているため、スケールによる摩耗減肉が発生する可能性は小さい。

また、蒸気発生器伝熱管に対しては、定期的に全数渦流探傷検査を実施し、健全性を維持している。さらに、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行っている。

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。

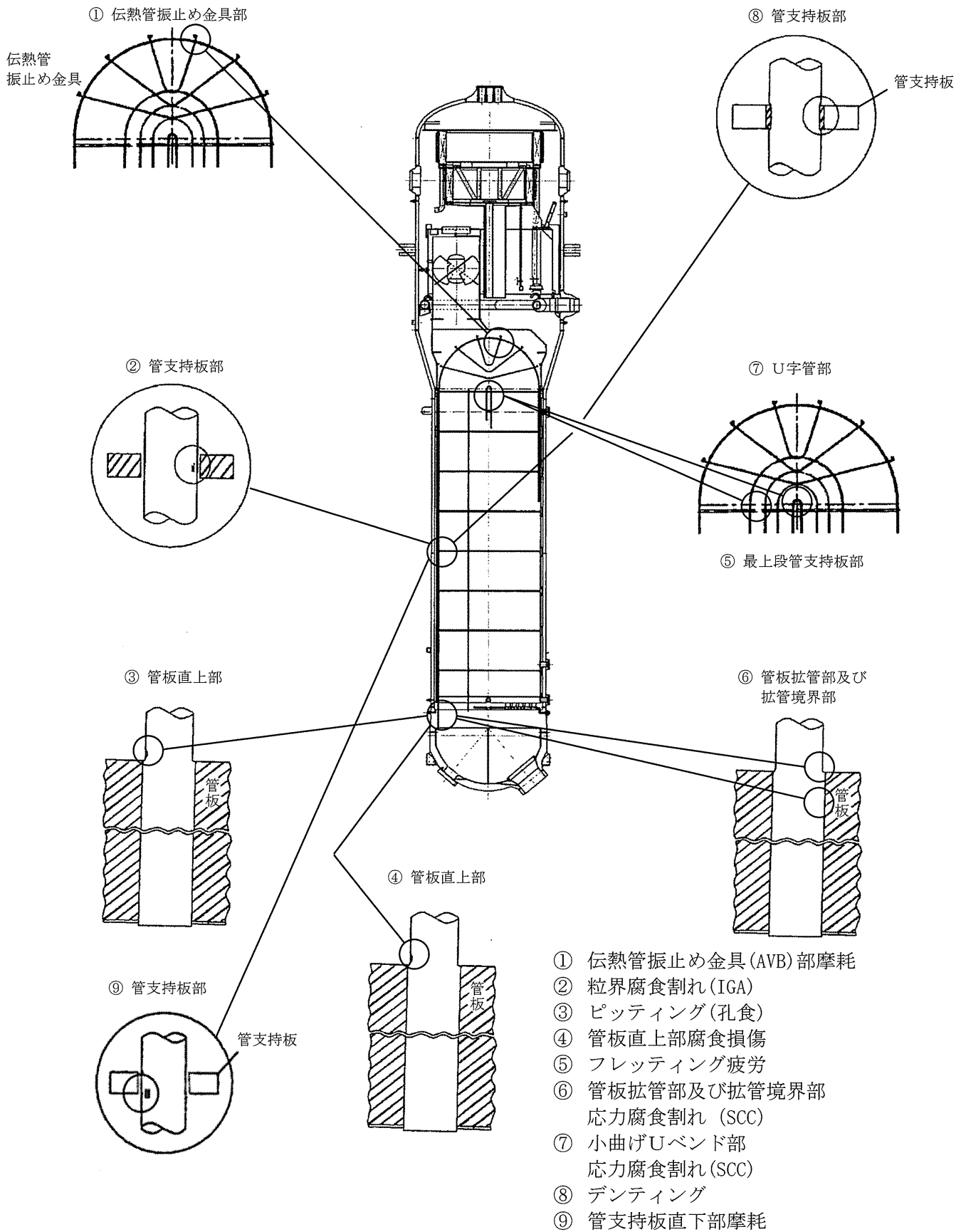


図 2.2-1 川内 2 号炉 蒸気発生器伝熱管の損傷が想定される部位

(2) 蒸気発生器伝熱管の管板クレビス部応力腐食割れ

蒸気発生器伝熱管は全厚液圧拡管としており、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) 蒸気発生器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、プラント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、B E C (Broached Egg Crate)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B E C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本体の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、川内2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、プラント運転中の蒸気発生器広域水位の監視により、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。

(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-蒸気発生器本体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、川内2号炉の冷却材出入口管台については、超音波ショットピーニング（応力緩和）を施工しており、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及び浸透探傷検査により有意な欠陥がないことを確認し、漏えい検査により耐圧部の健全性を確認している。

(6) 2次側構成品の腐食（流れ加速型腐食を含む）

2次側構成品のうち、炭素鋼又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次側胴板、検査用穴、2次側マンホール、気水分離器、湿水分離器、給水リング（Jチューブ）、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（流れ加速型腐食）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）及び高pH運転で管理しており、通常運転中の溶存酸素濃度を5ppb以下、pH9.8以上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 μm 〔「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」（財）発電設備技術検査協会〕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他プラント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水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等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チューブ及びサーマルスリーブである。

気水分離器及び湿水分離器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690系ニッケル基合金のフローリストリ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。

(7) 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難い。

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。

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) 冷却材出入口管台ニッケル基合金溶接部及び管板ニッケル基合金内張り部の応力腐食割れ

冷却材出入口管台とセーフエンドの溶接部及び管板内張り部には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2.2-2に示す民間研究による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。

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。

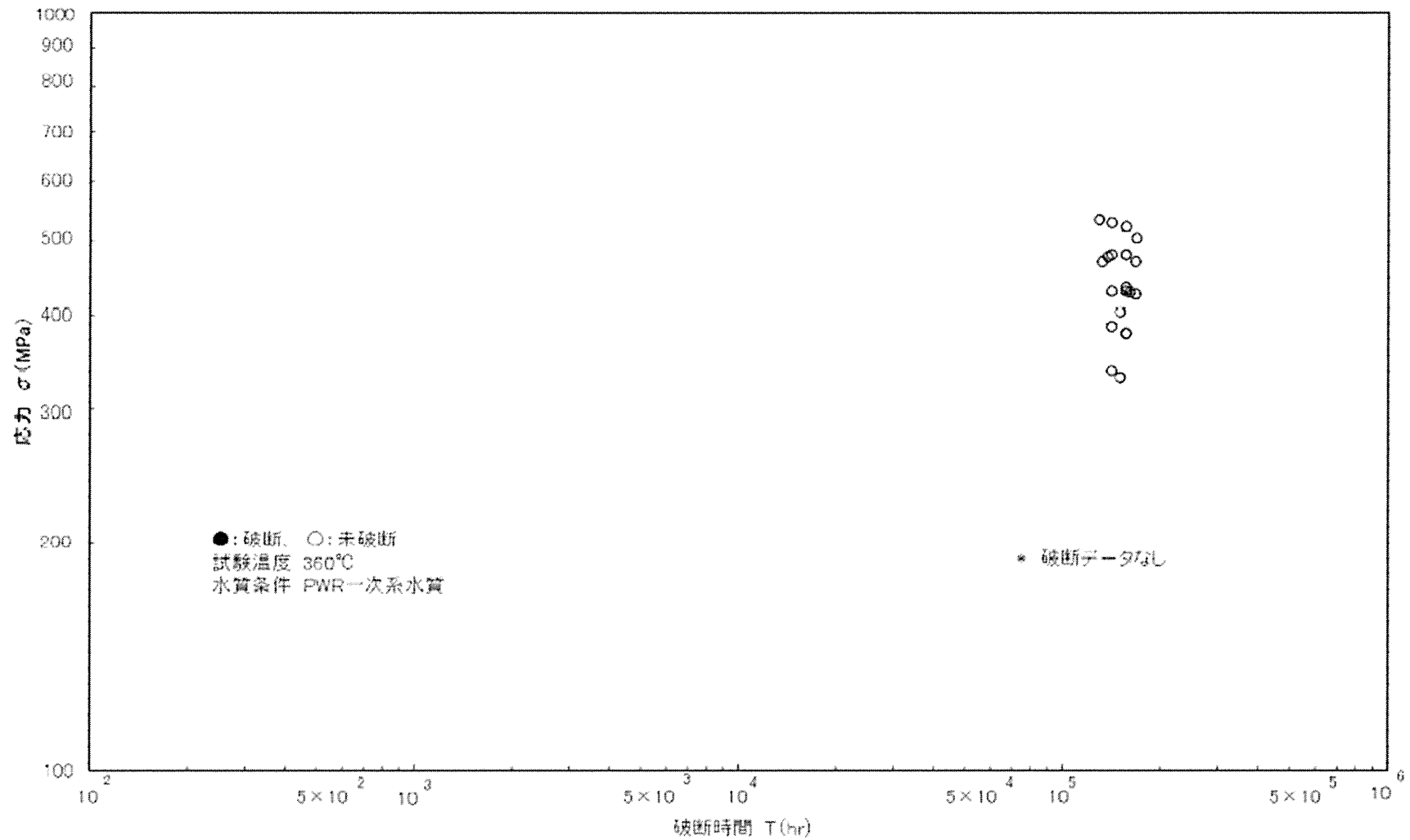


図2.2-2 690系ニッケル基合金の定荷重応力腐食割れ（SCC）試験結果

[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）]

(9) 1次側低合金鋼部の内張り下層部のき裂

1次側鏡板及び管板には低合金鋼を用いており、ステンレス鋼及びニッケル基合金の内張りを施している。一部の低合金鋼（SA508 Cl.2）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き裂が発生することが米国P V R C（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。

川内2号炉においては図2.2-3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、き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。

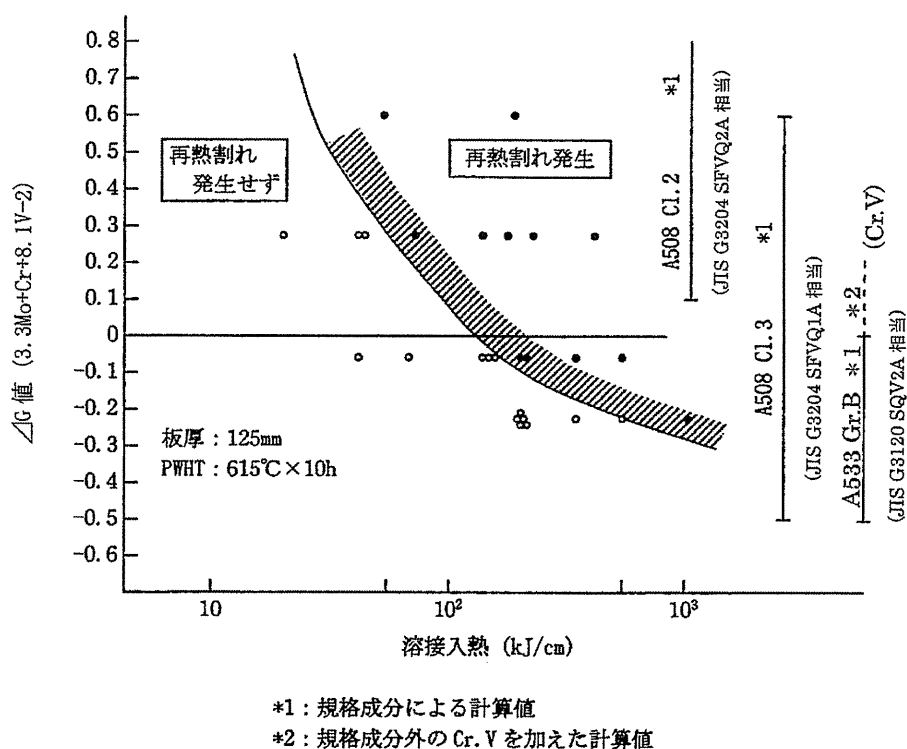


図 2.2-3 再熱割れ発生に及ぼす ΔG 値及び溶接入熱の影響

[出典：三菱重工技報 Vol.14 No.1 (1977-1)]

(10) 仕切板の応力腐食割れ

仕切板には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、差込式として作用応力を逃がす構造となっており、また、図2.2-2に示す民間研究による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。

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 消耗品及び定期取替品

ガスケットは開放点検時に取り替えている消耗品であり、長期使用はせず取替え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 川内 2 号炉 蒸気発生器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	蒸気発生器伝熱管 ^{*A}		690系ニッケル基合金 (特殊熱処理材)	△ ^{*1,*2}	△ ^{*3}	△ ^{*4}	△ ^{*5,*11,*12}		△ ^{*6,*7}	*1:伝熱管振止め金具 (AVB) 部摩耗	
	管支持板 ^{*C}		ステンレス鋼						△ ^{*7}	*2:管支持板直下部摩耗	
	伝熱管振止め金具 ^{*C}		ステンレス鋼	△ ^{*1}						*3:粒界腐食割れ ピitting 管板直上腐食損傷	
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 (690系ニッケル基合金溶接金属)				△(ステンレス鋼) ▲(ニッケル基合金)			*4:フルッティング [*] 疲労割れ *5:クリブ [*] 部応力腐食割れ	
	1次側鏡板 ^{*B}		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り)						▲ ^{*9}	*6:デンティング *7:スケール付着	
	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)							*8:内張り部応力腐食割れ	
	管 板 ^{*A}		低合金鋼 (690系ニッケル基合金内張り)			○	▲ ^{*8}		▲ ^{*9}	*9:内張り下層部の割れ	
	マンホール用ホルト ^{*B,*C}		低合金鋼		△					*10:流れ加速型腐食	
	ガスケット ^{*B,*C}	◎	—							*11:管板拵管部及び拵管 境界部応力腐食割れ	
	仕 切 板 ^{*B}		690系ニッケル基合金				▲			*12:小曲げUバンド部 応力腐食割れ	
	蒸気出口管台 ^{*C}		低合金鋼		△ ^{*10}						
	給水入口管台 ^{*C}		低合金鋼		△ ^{*10}	○					
	2次側胴板 ^{*C}		低合金鋼		△ ^{*10}						
	フローリストラクタベンチュリー ^{*C}		690系ニッケル基合金							*A: 1次側/2次側バウ ンダリ構成	
	検査用穴 ^{*C}		低合金鋼		△					*B: 1次側構成	
	2次側マンホール ^{*C}		低合金鋼		△					*C: 2次側構成	
	気水分離器 ^{*C}		炭素鋼 低合金鋼		△ ^{*10}						
	湿水分離器 ^{*C}		炭素鋼		△ ^{*10}						
給水リング (Jチューブ) ^{*C}		低合金鋼		△ ^{*10}							
サーマルスリーブ ^{*C}		低合金鋼		△ ^{*10}							

○：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 管板及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・停止時等による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

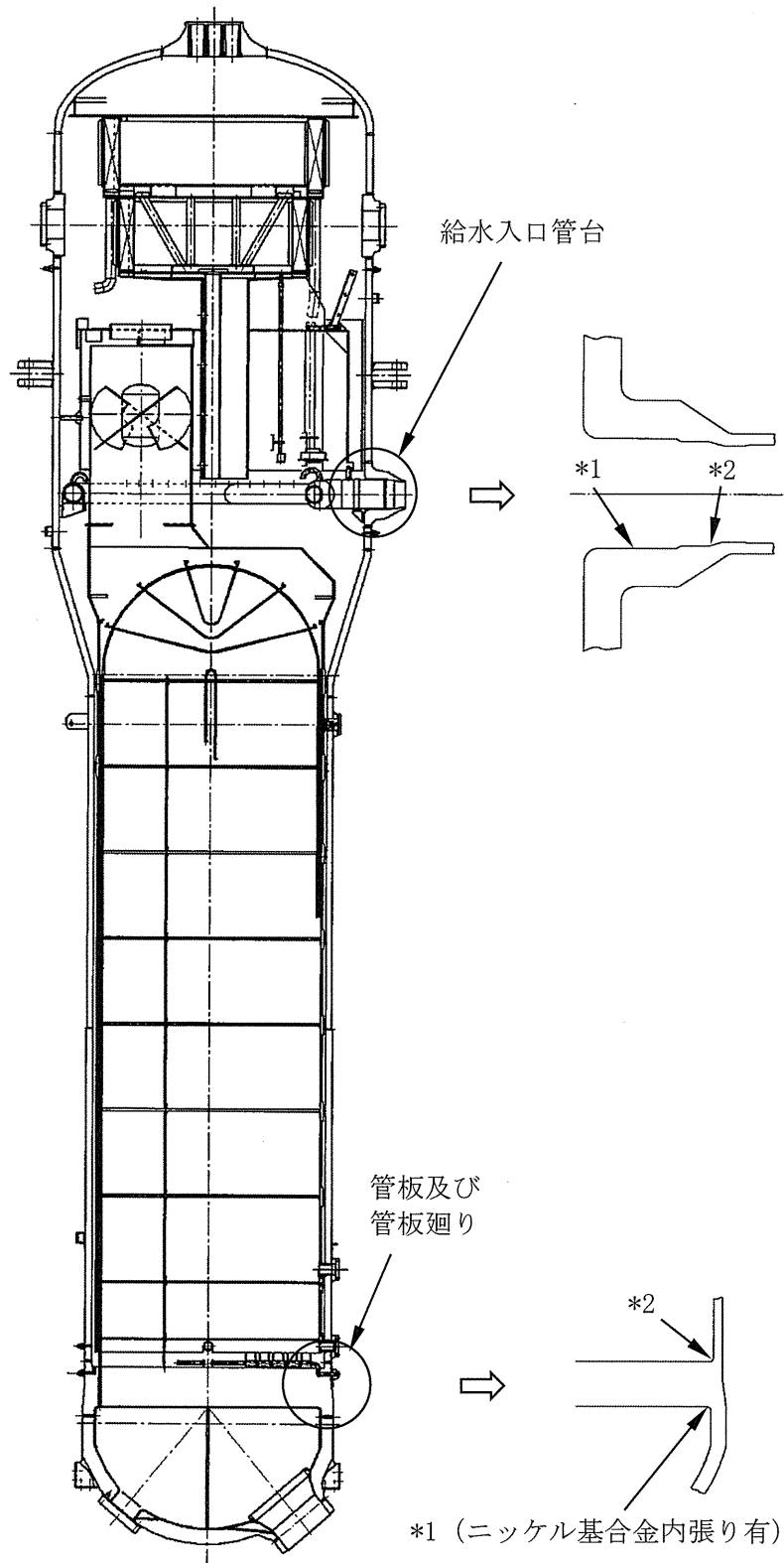
熱過渡が厳しい、あるいは構造不連続で応力が大きい管板廻り及び給水入口管台を対象として「(社)日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007)」に基づき疲労評価を行った。なお、管板穴部については、ASME Section. III Appendix A-8000と同様の手法で応力強さを補正しており、補正データはW. J. O' Donnellの論文から引用した。(参考文献：W. J. O' Donnell, “A Study of Perforated Plates with Square Penetration Patterns,” Welding Research Council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

なお、川内2号炉の蒸気発生器本体は、第22回定期検査時(2018年度)に取替えが実施されており、取替え後の蒸気発生器本体の各評価部位に対して、疲労評価を行った。

また、使用環境を考慮した疲労については、「(社)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。

疲労評価対象部位を図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、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 川内 2 号炉 蒸気発生器本体管板及び給水入口管台の疲労評価対象部位

表2.3-1 川内2号炉 蒸気発生器本体管板及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	
	2020年3月末時点	運転開始後60年 時点の推定値*1
起動(温度上昇率55.6℃/h)	4	37
停止(温度下降率55.6℃/h)	3	37
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	18	520
負荷減少(負荷減少率5%/min)	17	519
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*2	—	—
燃料交換	1	40
0%から15%への負荷上昇	2	34
15%から0%への負荷減少	1	33
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*4	—	905

運転状態 II

過 渡 項 目	運転実績に基づく過渡回数	
	2020年3月末時点	運転開始後60年 時点の推定値*1
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	0	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	0	0
1 次系漏えい試験	2	35
2 次系漏えい試験	—	35*3
運転状態 II における冷水注入*4	—	58

*1：運転開始後32年時点での蒸気発生器本体取替えに伴い、プラント運転開始後60年時点の過渡回数としては、蒸気発生器本体取替えからプラント運転開始後60年時点までの年数である28年間の過渡回数とした

*2：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

*3：1次系漏えい試験と同じ回数とした

*4：蒸気発生器給水入口管台固有の過渡である

表2.3-2 川内2号炉 蒸気発生器本体管板及び給水入口管台の疲労割れ疲労評価結果

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
管板廻り (低合金鋼) (ニッケル基合金内張り)	0.093	0.112* ¹
給水入口管台 (低合金鋼)	0.092	0.309* 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結果であり、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、定期的に見視確認により、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、疲労割れが発生す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）のないことを見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

管板及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. 対象機器	1
2. 脱気器の技術評価	2
2.1 構造、材料及び使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	5

1. 対象機器

川内2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 川内2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	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、又は最高使用圧力が1,900kPa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、材料及び使用条件

2.1.1 脱気器

(1) 構造

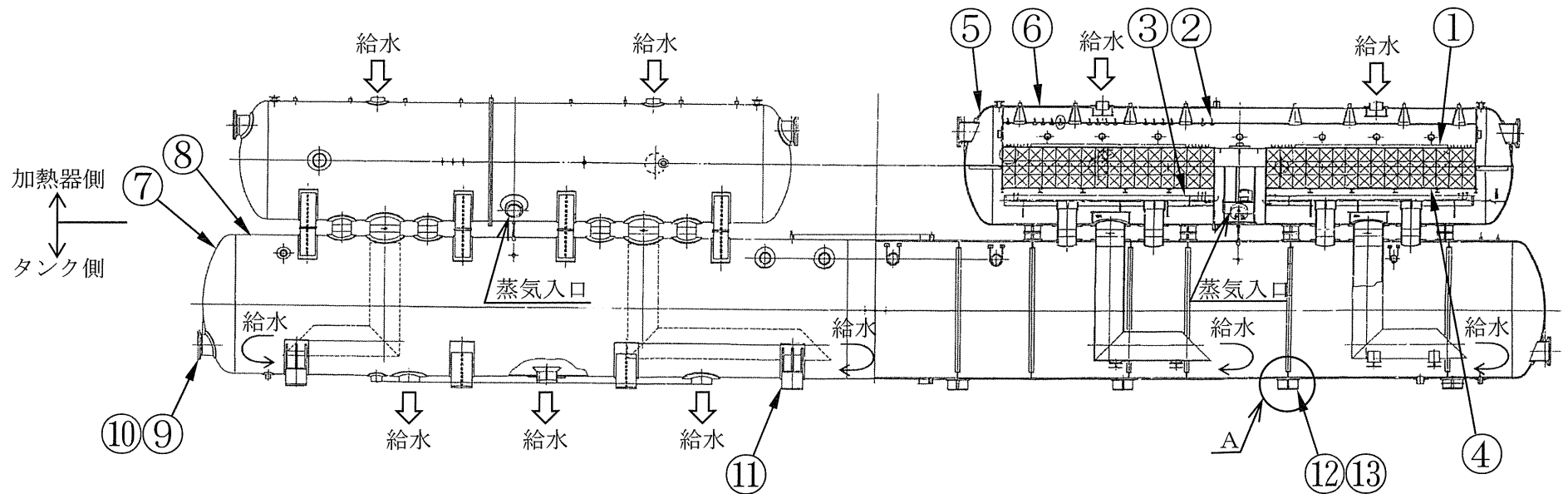
川内2号炉の脱気器は、給水と蒸気との直接接触式熱交換器とタンクがあり、直接接触式熱交換器をタンクの上に設置している。

トレイ及びスプレイ弁にはステンレス鋼を使用し、給水、蒸気に接液している。また、加熱器耐圧構成品、タンク耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、給水、蒸気に接液している。

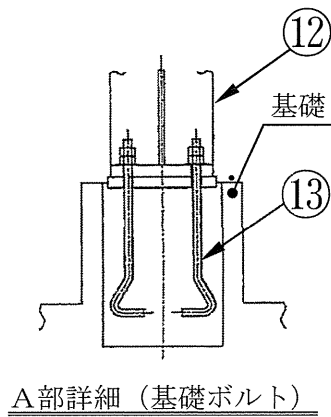
川内2号炉の脱気器の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の脱気器の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



他の支持脚は
全てスライド脚



No.	部 位
①	ト レ 伊
②	ス プ レ イ 弁
③	蒸 気 噴 出 管
④	グ レ ー チ ン グ
⑤	鏡 板 (加 熱 器 側)
⑥	胴 板 (加 熱 器 側)
⑦	鏡 板 (タ ン ク 側)
⑧	胴 板 (タ ン ク 側)
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	基 礎 ボ ル ト

図2.1-1 川内2号炉 脱気器構造図

表2.1-1 川内2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	蒸気噴出管	炭 素 鋼 ステンレス鋼
	グレーチング	ステンレス鋼
加熱器耐圧構成品	鏡 板 胴 板	炭 素 鋼
タンク耐圧構成品	鏡 板 胴 板	炭 素 鋼
	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) 基礎ボルト	炭 素 鋼

表2.1-2 川内2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、応力、温度等）及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、又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)又は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。

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

なお、定期的に動作確認を行い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おり、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、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) 耐圧構成品等の腐食（流れ加速型腐食）

蒸気噴出管及び胴板等耐圧構成品は炭素鋼であり、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、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。

(4) 胴板等耐圧構成品の外面からの腐食（全面腐食）

脱気器は屋外に設置しており、炭素鋼を使用している胴板等耐圧構成品は、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装や防水措置（保温）により腐食を防止しており、塗装や防水措置（保温）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装や防水措置（保温）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) 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、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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。

(6) 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、プラント起動時に目視によりスライド部が正常に作動していることを確認し、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。

(7) 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のうち「基礎ボルト」にて評価を実施するものとし、本評価書には含めていない。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

ガスケットは開放点検時に取り替えている消耗品であり、長期使用はせず取替え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 川内2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 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	応力腐蝕割れ	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						
	蒸気噴出管		炭素鋼 ステンレス鋼		△*1						
	グレーチング		ステンレス鋼								
バウンダリの維持	加熱器鏡板・胴板		炭素鋼		△*1(内面) △(外面)						
	タンク鏡板・胴板		炭素鋼		△*1(内面) △(外面)						
	マンホール蓋		炭素鋼		△*1(内面) △(外面)						
	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 △						
	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）

4 2重管式熱交換器

[対象機器]

- ① 試料採取設備サンプル冷却器
- ② 事故後サンプル冷却器
- ③ ブローダウンサンプル冷却器
- ④ ガスサンプリング冷却器

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	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、材料及び使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	7
3. 代表機器以外への展開	11
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	11
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	11

1. 対象機器及び代表機器の選定

川内2号炉で使用されている主要な2重管式熱交換器の主な仕様を表1-1に示す。

これらの熱交換器を型式及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及び結果

表1-1に示す熱交換器について、型式及び材料の観点から1つのグループにまとめられる。

1.2 代表機器の選定

重要度が高く、使用条件が厳しい事故後サンプル冷却器を代表機器とする。

表1-1 川内2号炉 2重管式熱交換器の主な仕様

分離基準				機器名称 (台数)	選定基準				選定	選定理由
型式	内部流体 (管側/胴側)	材 料			重要度*1	使用条件(管側/胴側)				
		胴 管	伝 熱 管			運 転	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	試料採取設備サンプル冷却器 (3)	高*2	連 続	約17.2/約0.98	約360/約95	◎	重 要 度 使用条件
				事故後サンプル冷却器 (2)	MS-2	一 時	約17.2/約0.98	約360/約95		
	給 水/ ヒドラジン水			プローダウンサンプル冷却器 (3)	高*2	連 続	約 7.5/約0.98	約291/約95		
	空 気/ ヒドラジン水			ガスサンプリング冷却器 (1)	重*3	一 時	約0.98/約0.98	約127/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、又は最高使用圧力が1,900kPa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及び構造物（A号機）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重管式熱交換器について技術評価を実施する。

① 事故後サンプル冷却器

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 事故後サンプル冷却器

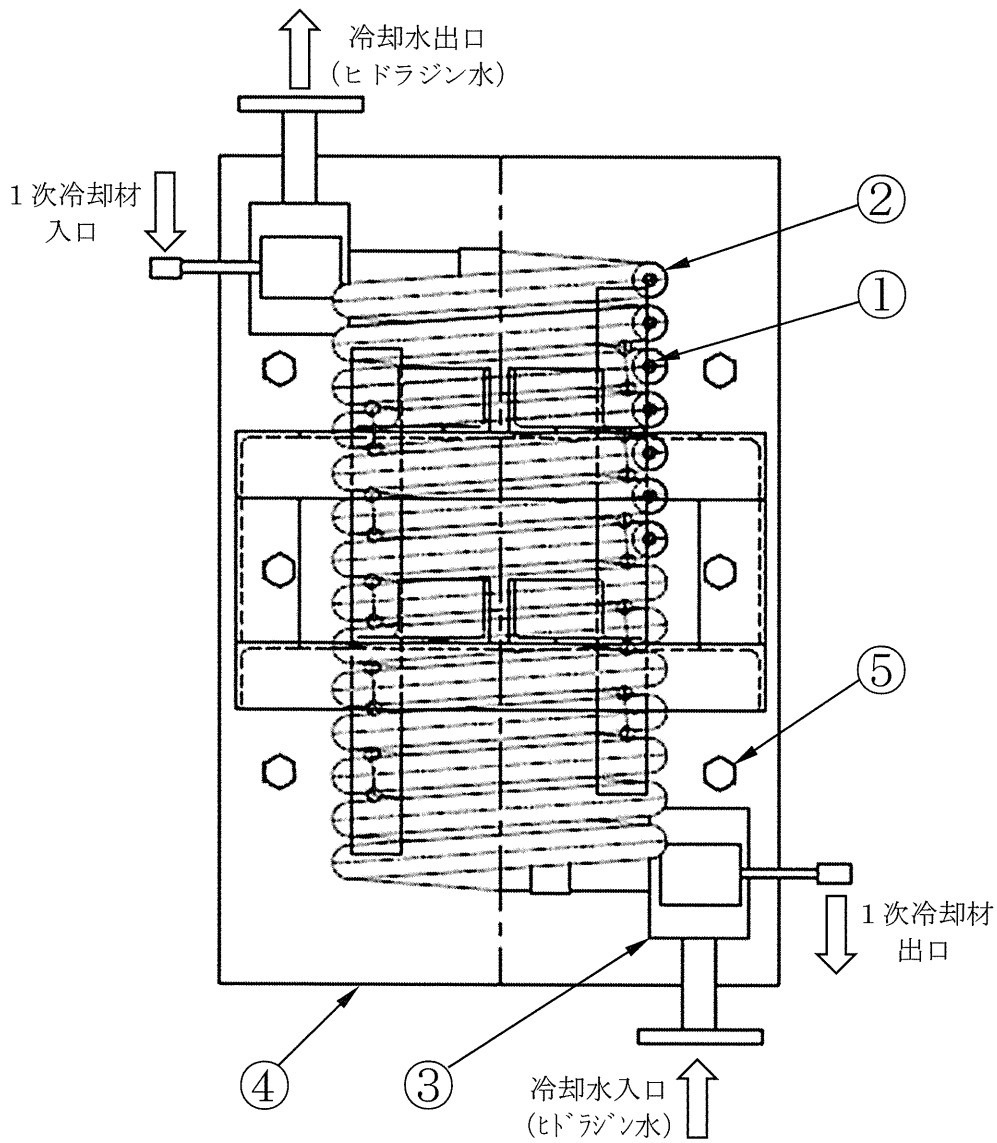
(1) 構造

川内2号炉の事故後サンプル冷却器は、2重管式熱交換器であり、冷却水を保有する胴管（冷却水コイル）とその中へ浸漬される伝熱管（サンプルコイル）で構成しており、それぞれ、ステンレス鋼を使用している。

川内2号炉の事故後サンプル冷却器の構造図を図2.1-1に示す。

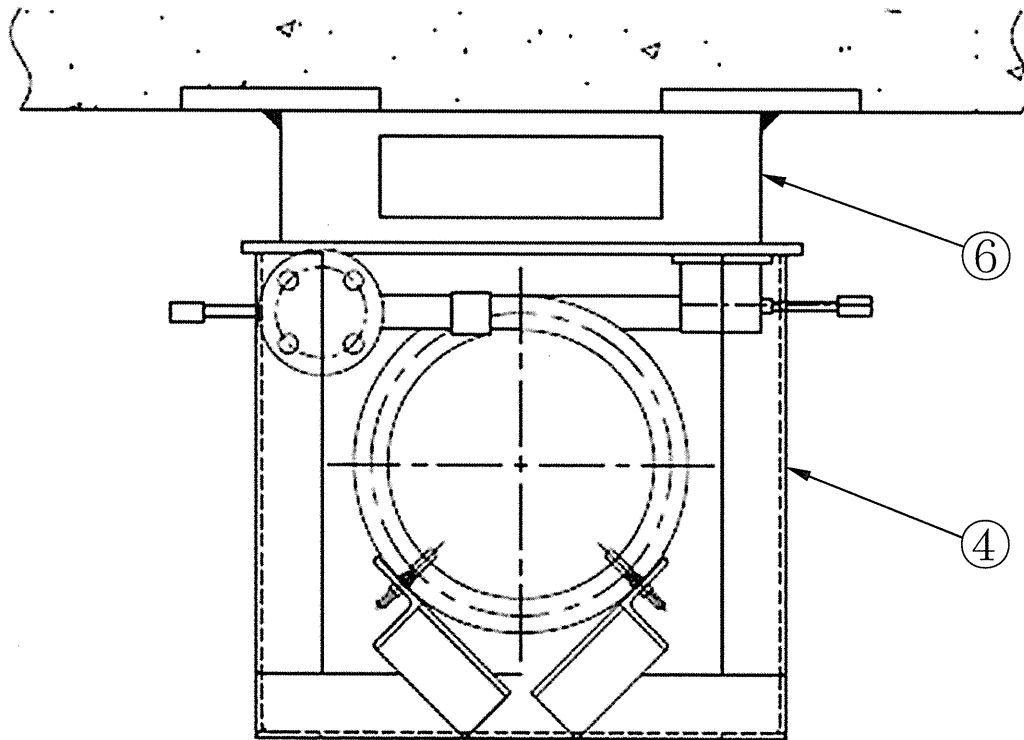
(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の事故後サンプル冷却器の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部 位
①	伝熱管 (サンプルコイル)
②	胴管 (冷却水コイル)
③	支持金物
④	台 座
⑤	取付ボルト

図2.1-1(1/2) 川内2号炉 事故後サンプル冷却器構造図



No.	部 位
④	台 座
⑥	取付ベース

図2.1-1(2/2) 川内2号炉 事故後サンプル冷却器構造図

表2.1-1 川内2号炉 事故後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 (サンプルコイル)	ステンレス鋼
胴側耐圧構成品	胴 管 (冷却水コイル)	ステンレス鋼
支持構造物	支持金物	ステンレス鋼
	台 座	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼
	取付ベース	炭素鋼

表2.1-2 川内2号炉 事故後サンプル冷却器の使用条件

最高使用圧力	(伝熱管) 約17.2MPa[gage]	(胴管) 約0.98MPa[gage]
最高使用温度	(伝熱管) 約360℃	(胴管) 約95℃
内 部 流 体	(伝熱管) 1次冷却材	(胴管) 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

事故後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

事故後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）及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△又は▲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、又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)又は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、取付ボルト及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、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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) 伝熱管及び胴管の腐食（流れ加速型腐食）

伝熱管及び胴管は内部流体により、流れ加速型腐食による減肉が想定される。

しかしながら、伝熱管及び胴管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おり、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

内部流体により振動が発生した場合、伝熱管に高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、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

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、内部流体である1次冷却材の水質を溶存酸素濃度0.1ppm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 川内 2 号炉 事故後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 (サンプルコイル)		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 (冷却水コイル)		ステンレス鋼		▲*1							
機器の支持	支持金物		ステンレス鋼									
	台 座		炭素鋼		△							
	取付ボルト		炭素鋼		△							
	取付ベース		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。

- ① 試料採取設備サンプル冷却器
- ② ブローダウンサンプル冷却器
- ③ ガスサンプリング冷却器

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

水平展開機器各々の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）及び現在までの運転経験を考慮すると、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

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の1)又は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 台座等の腐食（全面腐食）[共通]

台座、取付ボルト及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、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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 基礎ボルトの腐食（全面腐食）[ガスサンプリング冷却器]

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のうち「基礎ボルト」にて評価を実施するものとし、本評価書には含めていない。

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。

3.2.3 伝熱管及び胴管の腐食（流れ加速型腐食）〔共通〕

伝熱管及び胴管は内部流体により、流れ加速型腐食による減肉が想定される。

しかしながら、伝熱管及び胴管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おり、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。

3.2.4 伝熱管の高サイクル疲労割れ〔共通〕

内部流体により振動が発生した場合、伝熱管に高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、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。

3.2.5 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0.1ppm以下に管理された1次冷却材、給水又は空気であり、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。

3.2.6 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、給水又は空気、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。

川内原子力発電所 2 号炉

ポンプ用電動機の技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

九州電力株式会社

川内2号炉のポンプ用電動機のうち、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の機器及び常設重大事故等対処設備に属する機器を電圧区分、型式及び設置場所でグループ化し、同一グループ内の複数の機器の存在を考慮して、重要度、運転条件等の観点から代表機器を選定した。

これらの一覧を表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も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ます。

なお、点検等で確認した結果、異常が認められた場合、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。

本評価書ではポンプ用電動機の使用電圧等を基に、以下の2つに分類している。

- 1 高圧ポンプ用電動機
- 2 低圧ポンプ用電動機

また、川内1、2号炉の共用設備のうち1号炉で設置されている電動機については、「川内原子力発電所2号炉 共用設備（他号炉設備）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 (1/2) 川内 2 号炉 主要なポンプ用電動機

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準					選定	選定理由
				仕様 (定格出力× 定格回転数) (kW×rpm)	重要度*1	使用条件				
電圧区分	型式	設置場所	運転			定格電圧 (V)	周囲温度 (°C)			
高圧	全閉	屋外	海水ポンプ用電動機 (4)	380× 885	MS-1、重*3	連続	6,600	約40	◎	
			屋内	充てん/高圧注入ポンプ用電動機 (3)	780×1,770	MS-1、重*2	一時/連続	6,600	約40	◎
		格納容器スプレイポンプ用電動機 (2)		700×1,770	MS-1、重*2	一時	6,600	約40		
		余熱除去ポンプ用電動機 (2)		250×1,780	MS-1、重*2	一時/連続	6,600	約40		
		原子炉補機冷却水ポンプ用電動機 (4)		300×1,180	MS-1、重*3	連続	6,600	約40		
	開放	電動補助給水ポンプ用電動機 (2)	400×3,530	MS-1、重*2	一時	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及び構造物であることを示す

*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及び構造物（A号機、B号機）であることを示す

表 1 (2/2) 川内 2 号炉 主要なポンプ用電動機

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			選定	選定理由	
電圧区分	型式	設置場所			重要度*1	使用条件				
						運転	定格電圧 (V)			周囲温度 (°C)
低圧	全閉	屋内	ほう酸ポンプ用電動機 (2)	1.5/11× 1,780/3,530	MS-1、重*2	連続	440	約40	◎	重要度
			燃料取替用水ポンプ用電動機 (2)	18.5×3,520	MS-2	連続	440	約40		
			常設電動注入ポンプ用電動機 (1)	132×3,560	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及び構造物であることを示す

1 高圧ポンプ用電動機

[対象機器]

- ① 海水ポンプ用電動機
- ② 充てん／高圧注入ポンプ用電動機
- ③ 格納容器スプレイポンプ用電動機
- ④ 余熱除去ポンプ用電動機
- ⑤ 原子炉補機冷却水ポンプ用電動機
- ⑥ 電動補助給水ポンプ用電動機

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	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、材料及び使用条件	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	20
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	28
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	29

1. 対象機器及び代表機器の選定

川内2号炉で使用されている高圧ポンプ用電動機的主要仕様を表1-1に示す。

これらの高圧ポンプ用電動機を、型式及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及び結果

表1-1に示す高圧ポンプ用電動機を型式及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) 型式：全閉形、設置場所：屋外

このグループには、海水ポンプ用電動機のみが属するため、海水ポンプ用電動機を代表機器とする。

(2) 型式：全閉形、設置場所：屋内

このグループには、充てん／高圧注入ポンプ用電動機、格納容器スプレイポンプ用電動機、余熱除去ポンプ用電動機及び原子炉補機冷却水ポンプ用電動機が属するが、定格出力及び運転条件の観点から充てん／高圧注入ポンプ用電動機を代表機器とする。

(3) 型式：開放形、設置場所：屋内

このグループには、電動補助給水ポンプ用電動機のみが属するため、電動補助給水ポンプ用電動機を代表機器とする。

表 1-1 川内 2 号炉 高圧ポンプ用電動機的主要仕様

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準					選定	選定理由
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				
			運 転			定格電圧 (V)	周囲温度 (°C)			
高 圧	全閉	屋 外	海水ポンプ用電動機 (4)	380× 885	MS-1、重*3	連 続	6,600	約40	◎	
		屋 内	充てん／高圧注入ポンプ用電動機 (3)	780×1,770	MS-1、重*2	一時/連続	6,600	約40	◎	定格出力 運転条件
			格納容器スプレイポンプ用電動機 (2)	700×1,770	MS-1、重*2	一 時	6,600	約40		
			余熱除去ポンプ用電動機 (2)	250×1,780	MS-1、重*2	一時/連続	6,600	約40		
			原子炉補機冷却水ポンプ用電動機 (4)	300×1,180	MS-1、重*3	連 続	6,600	約40		
	開放	電動補助給水ポンプ用電動機 (2)	400×3,530	MS-1、重*2	一 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及び構造物であることを示す

*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及び構造物（A号機、B号機）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種類のポンプ用電動機について技術評価を実施する。

- ① 海水ポンプ用電動機
- ② 充てん／高圧注入ポンプ用電動機
- ③ 電動補助給水ポンプ用電動機

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 海水ポンプ用電動機

(1) 構造

川内2号炉の海水ポンプ用電動機は、定格出力380kW、定格回転数885rpmの全閉屋外形三相誘導電動機である。

ポンプに直結している主軸には炭素鋼を使用している。

電動機上部には、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、電動機上部及び下部にはラジアル方向の荷重を支えるためのガイド軸受を備えている。

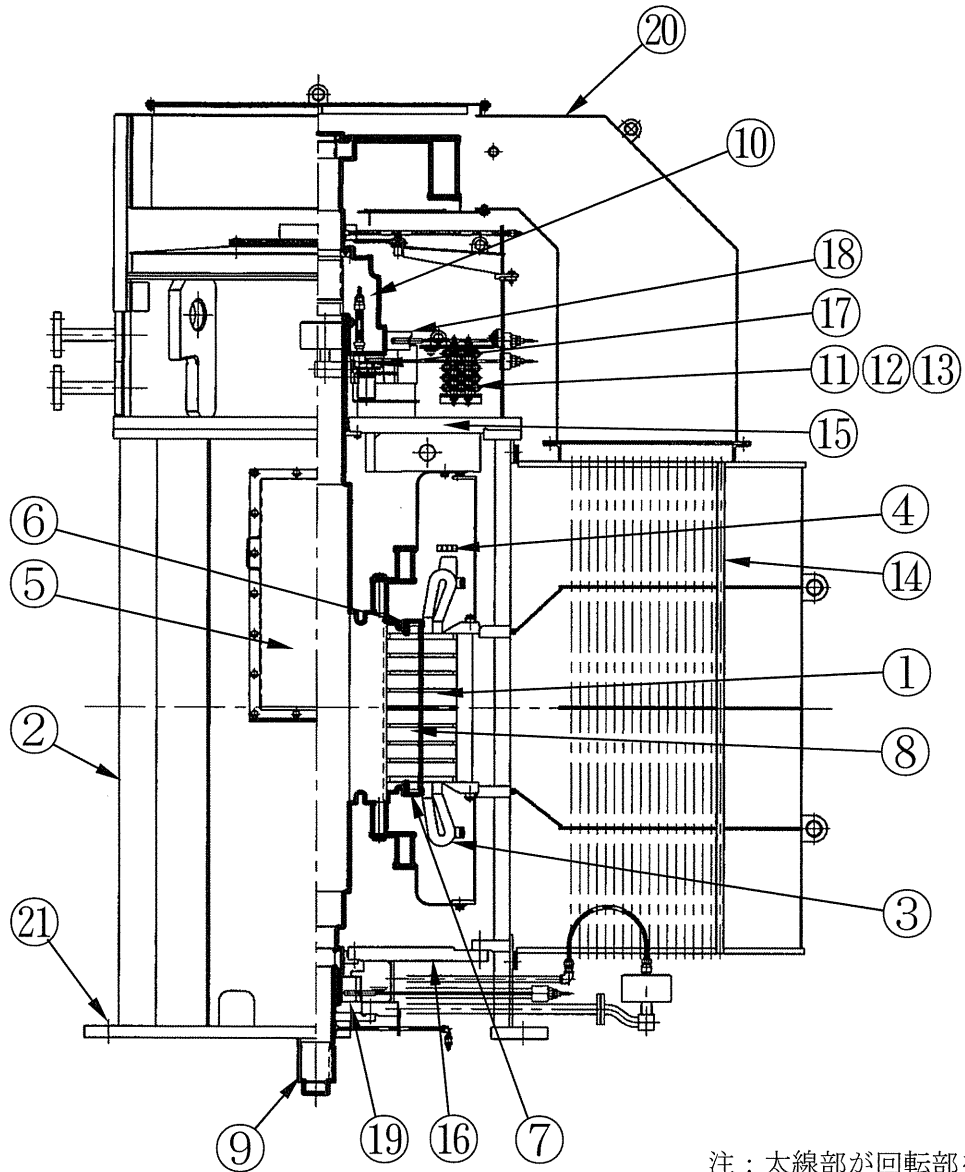
各軸受は、軸受表面に油膜を形成させ、軸受から発生する熱を取り除くために潤滑油が満たされており、上部潤滑油は水冷式油冷却器により冷却される。

また、固定子や回転子から発生する熱を取り除くため、フレーム内の空気は空冷式空気冷却器により冷却される。

川内2号炉の海水ポンプ用電動機の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の海水ポンプ用電動機の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表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	⑫	油冷却器水室
②	フレーム	⑬	油冷却器管板
③	固定子コイル	⑭	空気冷却器伝熱管
④	口出線・接続部品	⑮	上部ブラケット
⑤	端子箱	⑯	下部ブラケット
⑥	回転子棒	⑰	スラスト軸受 (すべり)
⑦	エンドリング	⑱	上部ガイド軸受 (すべり)
⑧	回転子コア	⑲	下部ガイド軸受 (すべり)
⑨	主 軸	⑳	外扇カバー
⑩	ランナー	㉑	取付ボルト
⑪	油冷却器伝熱管		

図 2.1-1 川内 2 号炉 海水ポンプ用電動機構造図

表 2.1-1 川内 2 号炉 海水ポンプ用電動機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
	ランナー	鋳 鉄
冷却器組立品	油冷却器伝熱管	チタン合金
	油冷却器水室	チタン合金
	油冷却器管板	チタン合金
	空気冷却器伝熱管	銅 合 金
軸受組立品	上部・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
カバー組立品	外扇カバー	炭 素 鋼
支持組立品	取付ボルト	炭 素 鋼

表2.1-2 川内 2 号炉 海水ポンプ用電動機の使用条件

定 格 出 力	380kW
周 囲 温 度	約40℃*1
定 格 電 圧	6,600V
定 格 回 転 数	885rpm

*1：通年の屋外の最高温度を考慮した雰囲気温度

2.1.2 充てん／高圧注入ポンプ用電動機

(1) 構造

川内2号炉の充てん／高圧注入ポンプ用電動機は、定格出力780kW、定格回転数1,770rpmの全閉屋内形三相誘導電動機である。

ポンプに直結している主軸には炭素鋼を使用している。

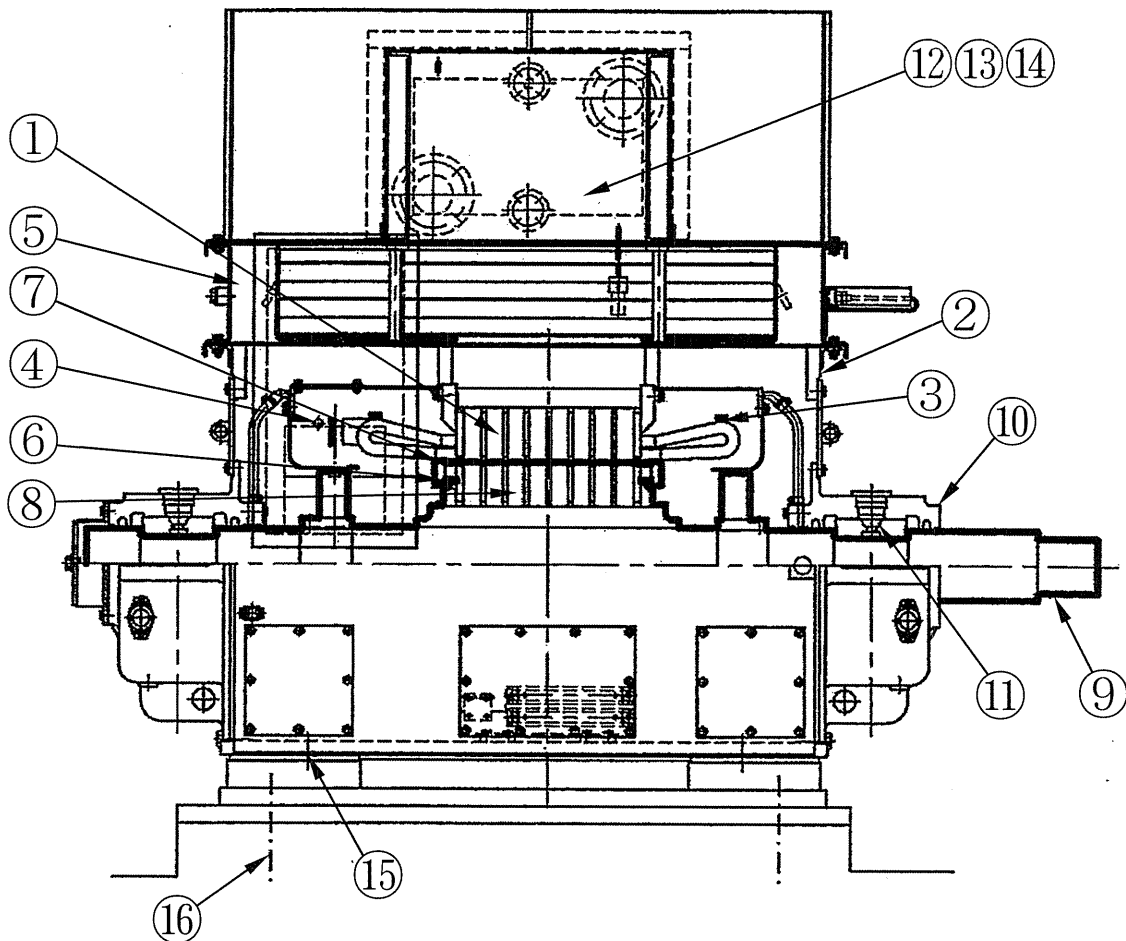
負荷側及び反負荷側軸受部には、回転体を支えるためのブラケットが取り付けられ、内側には電動機回転子重量を支えるための軸受を備えている。

また、固定子や回転子から発生する熱を取り除くため、フレーム内の空気は水冷式空気冷却器により冷却される。

川内2号炉の充てん／高圧注入ポンプ用電動機の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の充てん／高圧注入ポンプ用電動機の使用材料及び使用条件を表2.1-3及び表2.1-4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	⑨	主 軸
②	フレーム	⑩	ブラケット
③	固定子コイル	⑪	軸受 (すべり)
④	口出線・接続部品	⑫	空気冷却器伝熱管
⑤	端子箱	⑬	空気冷却器水室
⑥	回転子棒	⑭	空気冷却器管板
⑦	エンドリング	⑮	取付ボルト
⑧	回転子コア	⑯	基礎ボルト

図 2.1-2 川内 2 号炉 充てん／高圧注入ポンプ用電動機構造図

表2.1-3 川内2号炉 充てん/高圧注入ポンプ用電動機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
軸受組立品	ブラケット	鑄 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
	空気冷却器水室	炭 素 鋼
	空気冷却器管板	銅 合 金
支持組立品	取付ボルト	炭 素 鋼
	基礎ボルト	炭 素 鋼

表2.1-4 川内2号炉 充てん/高圧注入ポンプ用電動機の使用条件

定 格 出 力	780kW
周 囲 温 度	約40°C*1
放 射 線	$0.55 \times 10^{-3} \text{Gy/h}^{*2}$
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：通常時の原子炉格納容器外の最大実測値

2.1.3 電動補助給水ポンプ用電動機

(1) 構造

川内2号炉の電動補助給水ポンプ用電動機は、定格出力400kW、定格回転数3,530rpmの開放屋内形三相誘導電動機である。

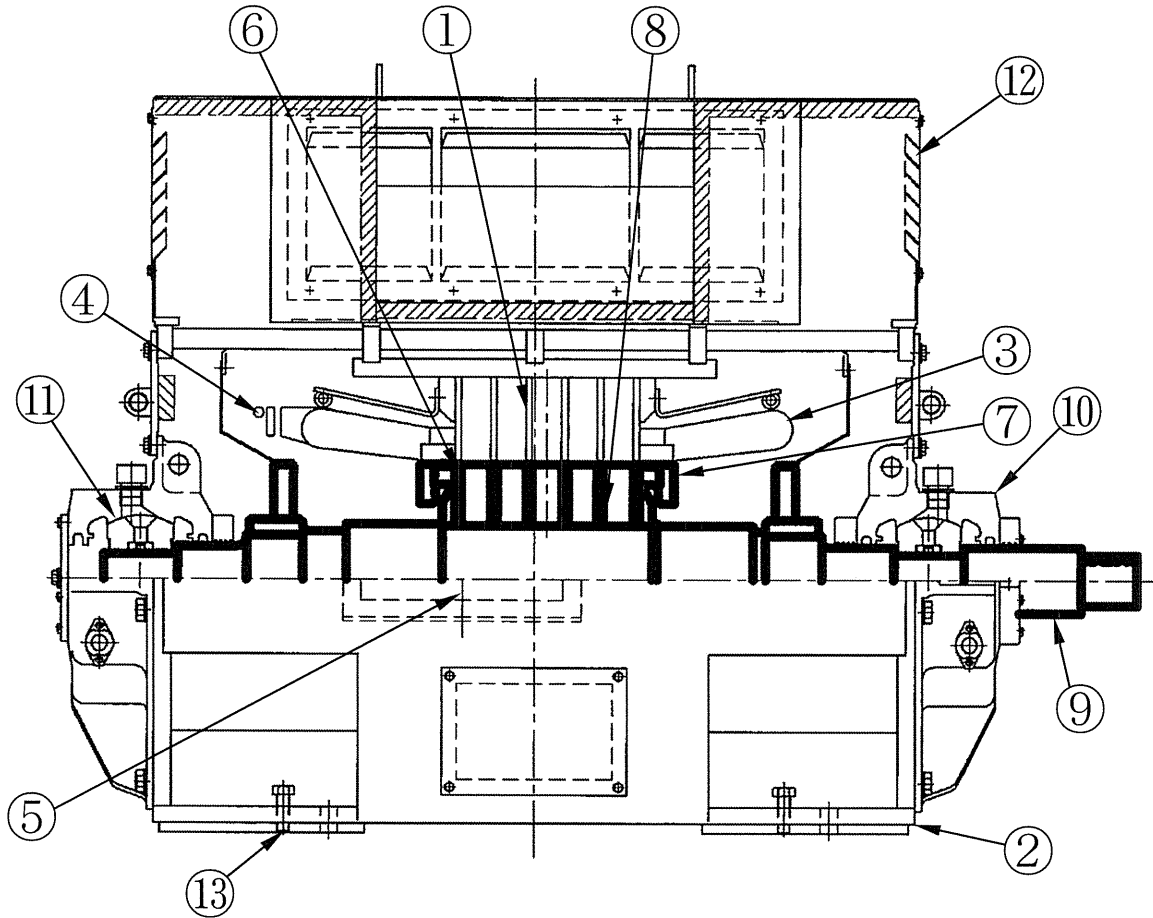
ポンプに直結している主軸には炭素鋼を使用している。

負荷側及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、内側には電動機回転子重量を支えるための軸受を備えている。

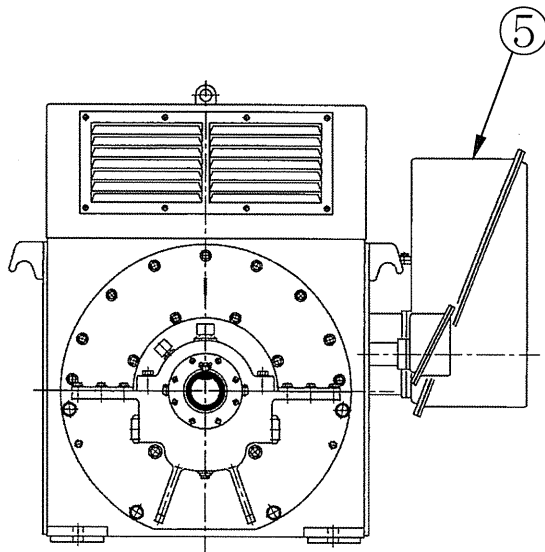
川内2号炉の電動補助給水ポンプ用電動機の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の電動補助給水ポンプ用電動機の使用材料及び使用条件を表2.1-5及び表2.1-6に示す。



注：太線部が回転部を示す



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	回転子棒
⑦	エンドリング
⑧	回転子コア
⑨	主 軸
⑩	ブラケット
⑪	軸受 (すべり)
⑫	防音カバー
⑬	取付ボルト

図 2.1-3 川内 2 号炉 電動補助給水ポンプ用電動機構造図

表2.1-5 川内2号炉 電動補助給水ポンプ用電動機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
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
カバー組立品	防音カバー	炭素鋼
支持組立品	取付ボルト	炭素鋼

表2.1-6 川内2号炉 電動補助給水ポンプ用電動機の使用条件

定 格 出 力	400kW
周 囲 温 度	約40℃*1
定 格 電 圧	6,600V
定 格 回 転 数	3,530rpm

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

高圧ポンプ用電動機の機能であるポンプ駆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 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

高圧ポンプ用電動機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（電圧、温度等）及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～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2.2-1～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) 固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下〔共通〕

固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的及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。（電気学会絶縁材料研究会資料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～表2.2-3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、又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)又は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) 固定子コア及び回転子コアの腐食（全面腐食）〔共通〕

固定子コア及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、固定子コア及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難い。

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〕、外扇カバー〔海水ポンプ用電動機〕及び防音カバー〔電動補助給水ポンプ用電動機〕の腐食（全面腐食）

フレーム、端子箱、ブラケット、外扇カバー及び防音カバーは炭素鋼又は鋳鉄であり腐食が想定される。

しかしながら、内外面とも塗装により腐食を防止しており、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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・エンドリングは、電動機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] 及びランナー [海水ポンプ用電動機] の摩耗

海水ポンプ用電動機の主軸については、ランナー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ー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、ランナーと軸受間に潤滑油が供給され膜が形成されるため、摺動摩耗の生じる可能性も小さい。

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難い。

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。

充てん／高圧注入ポンプ用電動機及び電動補助給水ポンプ用電動機の主軸については、軸受（すべり）との摺動による摩耗が想定される。

しかしながら、充てん／高圧注入ポンプ用電動機及び電動補助給水ポンプ用電動機は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、摺動摩耗の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難い。

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]

電動機運転時には主軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下において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、電動機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及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) 空気冷却器伝熱管の腐食 (全面腐食)

[海水ポンプ用電動機、充てん／高圧注入ポンプ用電動機]

海水ポンプ用電動機及び充てん／高圧注入ポンプ用電動機の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、海水ポンプ用電動機は、内外面ともに流体が空気であり腐食し難い環境にある。また、充てん／高圧注入ポンプ用電動機の内面についてはヒドラジン水 (防錆剤注入水) であり、外面については空気であるため腐食し難い環境にある。

さらに、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難い。

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) 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、塗装が健全であれば腐食の進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修を実施することにより、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) 空気冷却器水室及び空気冷却器管板の腐食（全面腐食）

[充てん／高圧注入ポンプ用電動機]

充てん／高圧注入ポンプ用電動機の空気冷却器水室及び空気冷却器管板は炭素鋼及び銅合金であり腐食が想定される。

しかしながら、接液流体がヒドラジン水（防錆剤注入水）及び空気であり、腐食し難い環境であり、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難い。

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) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）[充てん／高圧注入ポンプ用電動機]

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のうち「基礎ボルト」にて評価を実施するものとし、本評価書には含めていない。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

スラスト軸受（すべり）、ガイド軸受（すべり）及び軸受（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り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 川内2号炉 海水ポンプ用電動機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 (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						
	ランナー		鋳 鉄	△								
	油冷却器伝熱管		チタン合金									
	油冷却器水室		チタン合金									
	油冷却器管板		チタン合金									
	空気冷却器伝熱管		銅合金		△							
	上部・下部ブラケット		炭素鋼		△							
	スラスト軸受 (すべり) 上部・下部がけ軸受 (すべり)	◎	—									
外扇カバー		炭素鋼		△								
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 2.2-2 川内2号炉 充てん/高圧注入ポンプ用電動機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 マカ、エポキシ樹脂 (F種絶縁)					○				
	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		△							
	空気冷却器水室		炭素鋼		△							
空気冷却器管板		銅合金		△								
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）

表2.2-3 川内2号炉 電動補助給水ポンプ用電動機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 マカ、エポキシ樹脂 (F種絶縁)					○				
	端子箱		炭素鋼		△							
	回転子棒・エントリング		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)	◎	—									
防音カバー		炭素鋼		△								
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）

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 固定子コイル及び口出線・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が施されている。口出線は、ポンプ用電動機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、固定子コイルと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。

固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的及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。

絶縁低下が生じる可能性のある部位を図2.3-1に示す。

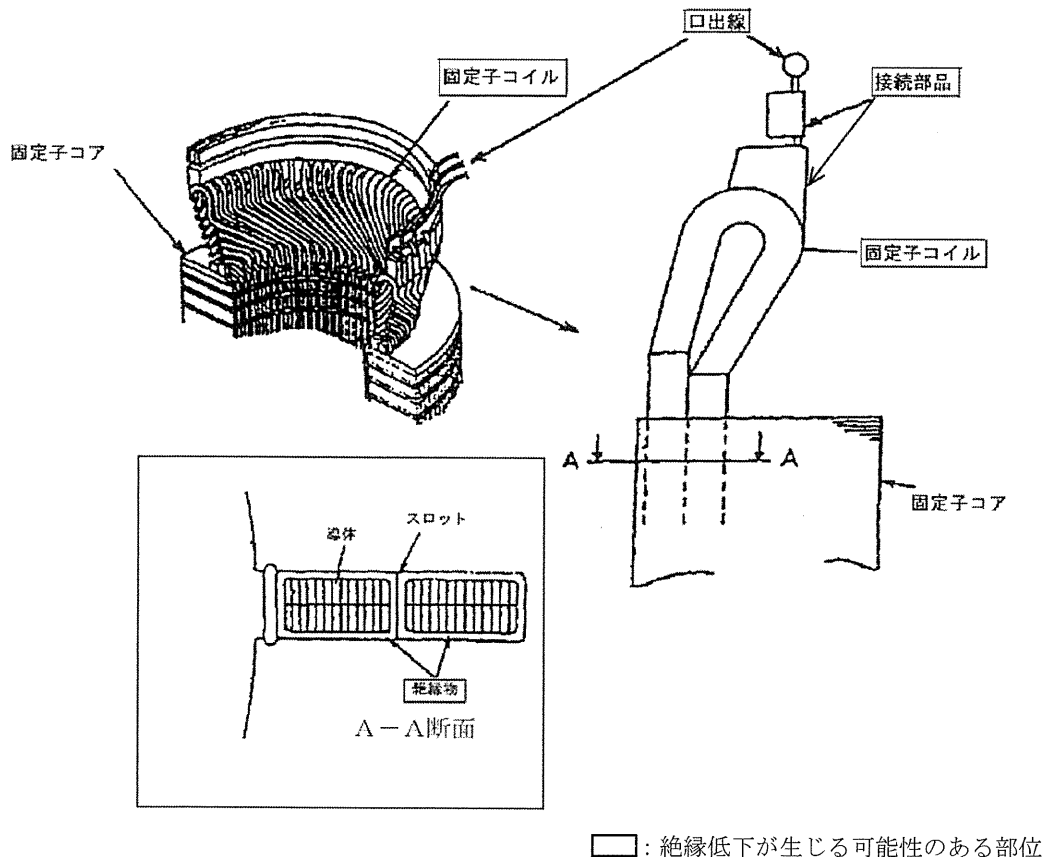
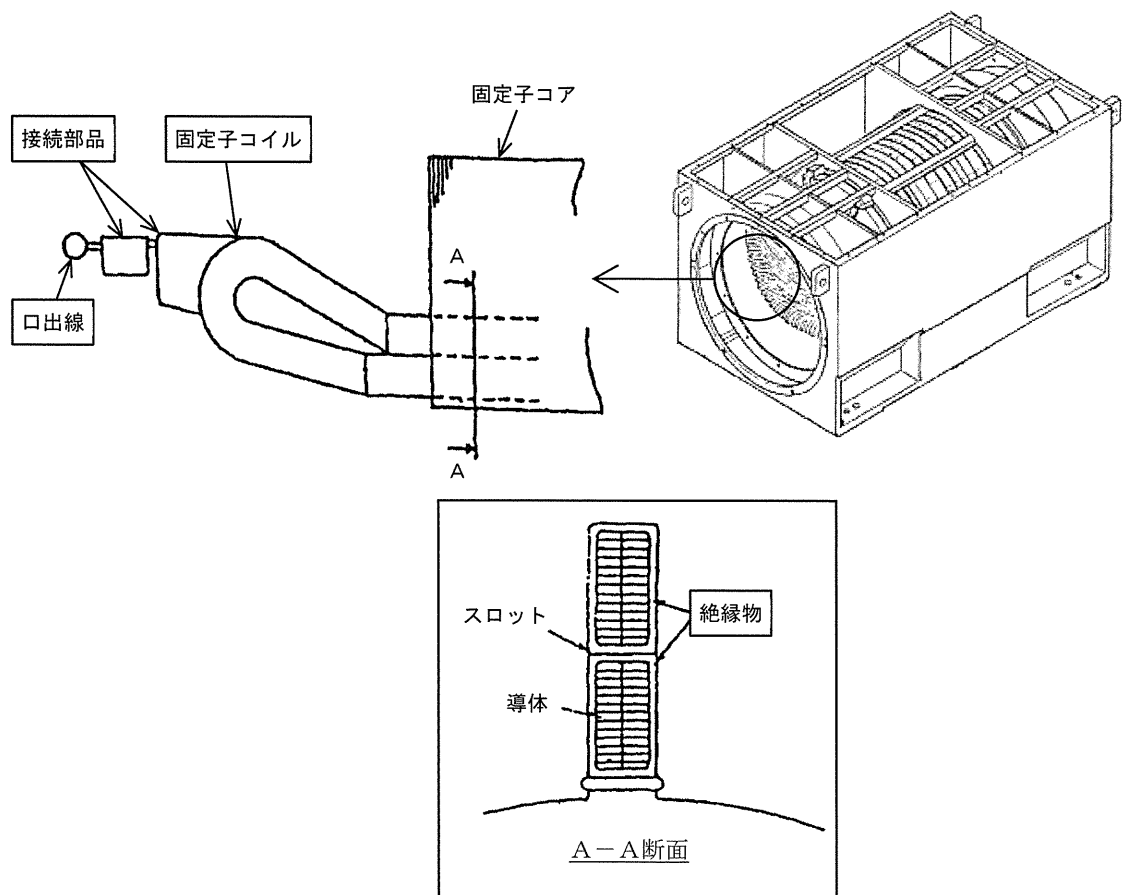


図2.3-1(1/2) 川内2号炉 海水ポンプ用電動機 固定子コイル及び
口出線・接続部品の絶縁部位



□: 絶縁低下が生じる可能性のある部位

図2.3-1(2/2) 川内2号炉 充てん／高圧注入ポンプ用電動機、電動補助給水ポンプ用電動機 固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁部位

b. 技術評価

① 健全性評価

高圧ポンプ用電動機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. 275-1966「IEEE Proposed Test Procedure for Evaluation of Systems of insulating Materials for A-C Electric Machinery Employing Form-Wound Pre-insulated Stator Coil for Machines Rated at 50 to 2000 horsepower 35 to 1500 Kilowatts mechanical output and below 6600 volts」(以下、「IEEE Std.275-1966」という。)の規格に準じて実施した評価試験結果より固定子コイルの長期健全性を評価した。

IEEE Std. 275-1966では、熱的、機械的、環境的及び電氣的な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、電動機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。

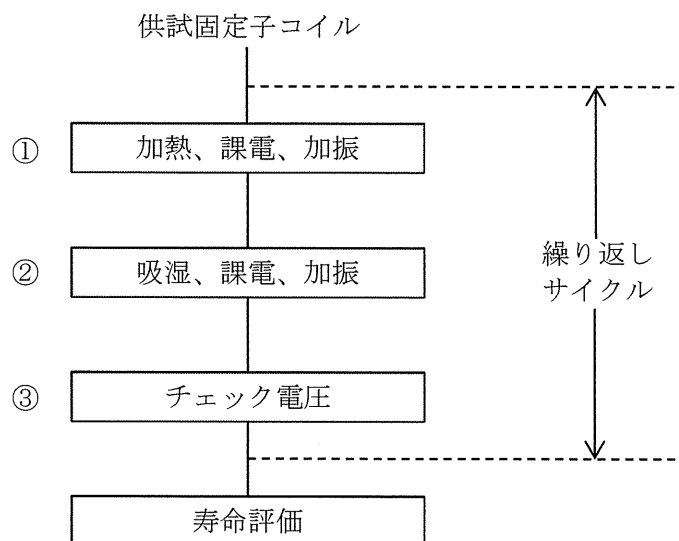


図2.3-2 固定子コイル長期健全性評価手順

図2.3-2の評価手順①(64回程度の繰り返し)、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り返し、170℃及び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

$$\log Y = -A + \frac{B}{273 + t} \dots\dots\dots (1)$$

Y : 寿命時間 (h)
t : 運転温度 (°C)
A、B : 定数
log Y : 自然対数

この耐熱寿命曲線は、電動機に適用している絶縁固有の特性を表す。
この (1) 式に当該電動機の運転温度*² t (°C) 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。

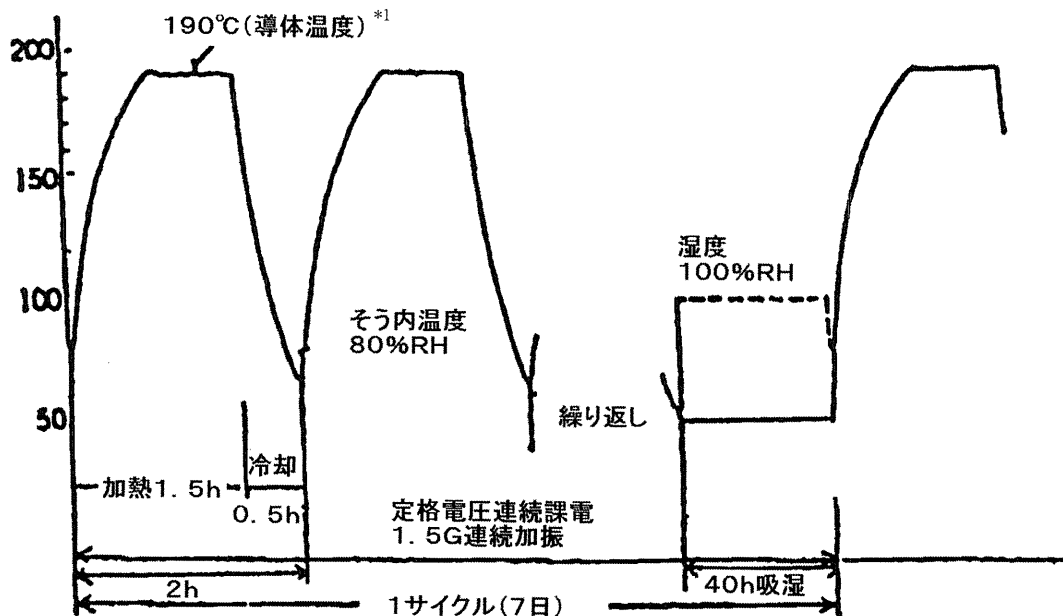
使用最高温度 = 周囲温度 + 固定子コイルの温度上昇
+ 測定ポイントとホットスポットとの差 (マージン)

固定子コイルの絶縁寿命は、評価結果より稼働率 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1.5 h、冷却0.5 h、at80%RH)	190°C×2 時間(加熱1.5 h、冷却0.5 h、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 : 絶縁体温度 170°C×2 時間相当

図2.3-3 ヒートサイクル方法例 (試験条件1)

また、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。

同図では、縦軸の絶縁破壊値は新品の値を100%として示している。

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(「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、固定子コイルの運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、18.5年と判断する。

以上の検討結果より、高圧ポンプ用電動機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旧機のコイル破壊電圧の測定値を評価した結果を採用し、18.5年と判断する。

また、ヒートサイクル方法及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・接続部品が含まれていることから、口出線・接続

部品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、18.5年と判断する。

なお、海水ポンプ用電動機は屋外設置であるが、IEEE Std. 275-1966の規格に準じて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及び絶縁破壊試験（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。

*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

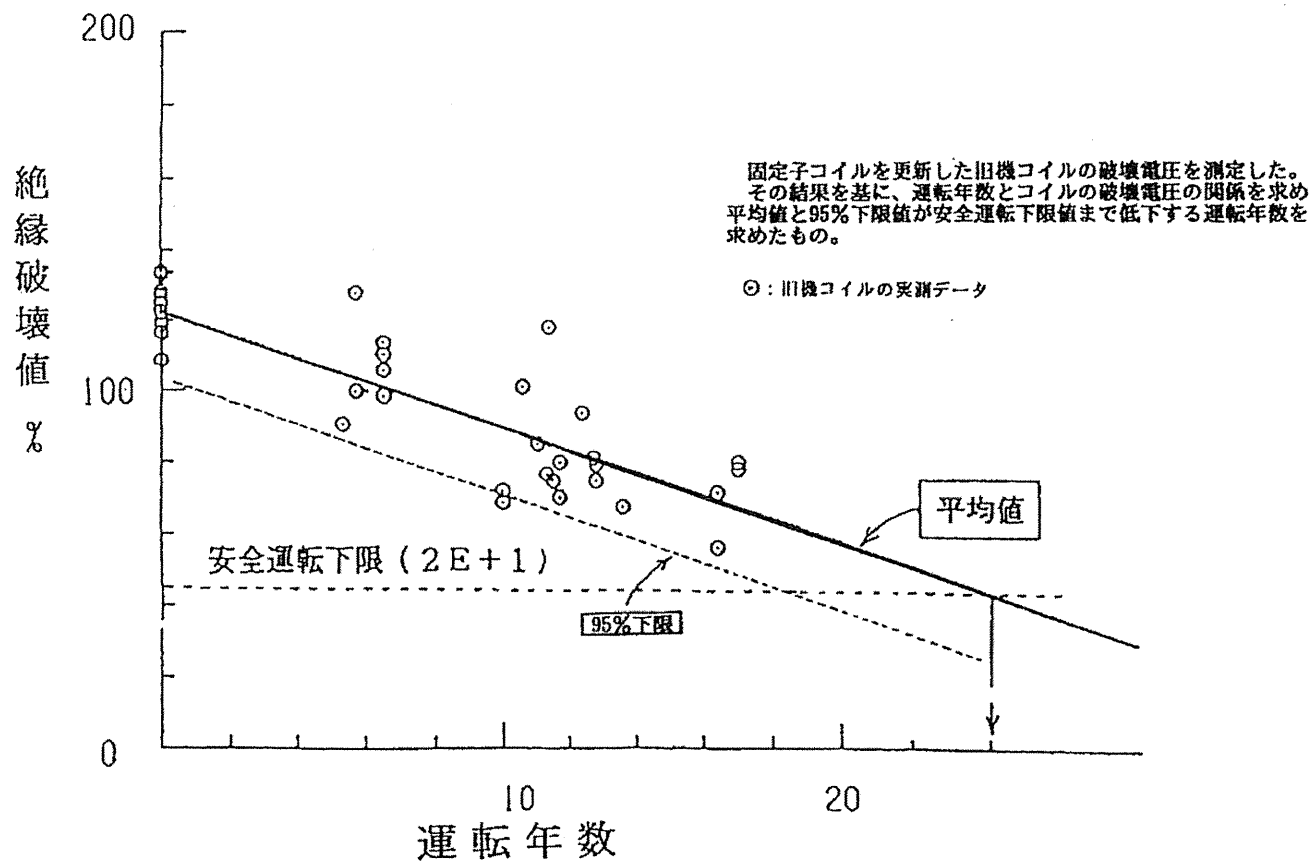


図2.3-4 運転年数と絶縁破壊値の関係

[出典：民間データ]

② 現状保全

固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定を行い、許容値以上であることを確認している。さらに、絶縁診断（直流吸収試験、 $\tan \delta$ 試験、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、絶縁抵抗測定及び絶縁診断結果に基づき、必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替えを実施していく。

なお、予防保全のため 2 C 充てん／高圧注入ポンプ用電動機については、第 15 回定期検査時（2004 年度）に、2 A 充てん／高圧注入ポンプ用電動機については、第 16 回定期検査時（2006 年度）に、2 A 海水ポンプ用電動機については、第 17 回定期検査時（2007 年度）に、2 D 海水ポンプ用電動機及び 2 B 充てん／高圧注入ポンプ用電動機については、第 18 回定期検査時（2008 年度）に、2 B 海水ポンプ用電動機については、第 19 回定期検査時（2010 年度）に、2 C 海水ポンプ用電動機については、第 20 回定期検査時（2011 年度～2015 年度）に絶縁更新を行っている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下については、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、絶縁抵抗測定及び絶縁診断で検知可能であり、点検手法として適切である。

よって、現状保全を継続することで、健全性を維持できると考える。

c. 高経年化への対応

固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下については、引き続き定期的な絶縁抵抗測定及び絶縁診断を実施していくとともに、運転年数及び点検結果に基づき必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替えを実施していく。

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以下の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用電動機
- ② 余熱除去ポンプ用電動機
- ③ 原子炉補機冷却水ポンプ用電動機

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下 [共通]

格納容器スプレイポンプ用電動機、余熱除去ポンプ用電動機及び原子炉補機冷却水ポンプ用電動機は、絶縁仕様、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、18.5年以降において発生の可能性は否定できない。

絶縁低下は、定期的な絶縁抵抗測定及び絶縁診断で検知可能であり、点検手法として適切である。

よって、現状保全を継続することで、健全性を維持できると考える。

したがって、固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下については、引き続き定期的な絶縁抵抗測定及び絶縁診断を実施していくとともに、運転年数及び点検結果に基づき必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替えを実施していく。

なお、予防保全のため2C、2D原子炉補機冷却水ポンプ用電動機については、第18回定期検査時（2008年度）に、2A、2B原子炉補機冷却水ポンプ用電動機については、第20回定期検査時（2011年度～2015年度）に絶縁更新を行っている。

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)又は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 固定子コア及び回転子コアの腐食（全面腐食）[共通]

固定子コア及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、固定子コア及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難い。

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、端子箱及びブラケットの腐食（全面腐食）[共通]

フレーム、端子箱及びブラケットは炭素鋼又は鋳鉄であり腐食が想定される。

しかしながら、内外面とも塗装により腐食を防止しており、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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・エンドリングは、電動機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]

主軸については、軸受（すべり）との摺動による摩耗が想定される。

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、摺動摩耗の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難い。

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]

ポンプ用電動機運転時には主軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下において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、電動機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及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であるため腐食が発生し難い環境にある。

さらに、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難い。

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、分解点検時に渦流探傷検査及び外面の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.7 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、塗装が健全であれば腐食の進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修を実施することにより、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。

3.2.8 空気冷却器水室及び空気冷却器管板の腐食（全面腐食）〔共通〕

空気冷却器水室及び空気冷却器管板は鋳鉄、炭素鋼及び銅合金であり腐食が想定される。

しかしながら、接液流体がヒドラジン水（防錆剤注入水）及び空気であり、腐食し難い環境であり、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難い。

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 低圧ポンプ用電動機

[対象機器]

- ① ほう酸ポンプ用電動機
- ② 燃料取替用水ポンプ用電動機
- ③ 常設電動注入ポンプ用電動機

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	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、材料及び使用条件	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. 対象機器及び代表機器の選定

川内2号炉で使用されている低圧ポンプ用電動機的主要仕様を表1-1に示す。

これらの低圧ポンプ用電動機を、型式及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及び結果

表1-1に示す低圧ポンプ用電動機について、型式及び設置場所の観点から1つのグループにまとめられる。

1.2 代表機器の選定

重要度の高いほう酸ポンプ用電動機を代表機器とする。

表1-1 川内2号炉 低圧ポンプ用電動機的主要仕様

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			選定	選定理由	
					重要度*1	使用条件				
電圧区分	型式	設置場所				運 転	定格電圧 (V)	周囲温度 (°C)		
低 圧	全閉	屋 内	ほう酸ポンプ用電動機 (2)	1.5/11× 1,780/3,530	MS-1、重*2	連 続	440	約40	◎	重要度
			燃料取替用水ポンプ用電動機 (2)	18.5×3,520	MS-2	連 続	440	約40		
			常設電動注入ポンプ用電動機 (1)	132×3,560	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及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ポンプ用電動機について技術評価を実施する。

① ほう酸ポンプ用電動機

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 ほう酸ポンプ用電動機

(1) 構造

川内2号炉のほう酸ポンプ用電動機は、定格出力1.5kW、定格回転数1,780rpm及び定格出力11kW、定格回転数3,530rpmの全閉屋内形三相誘導電動機である。

電動機の主軸には炭素鋼を使用している。

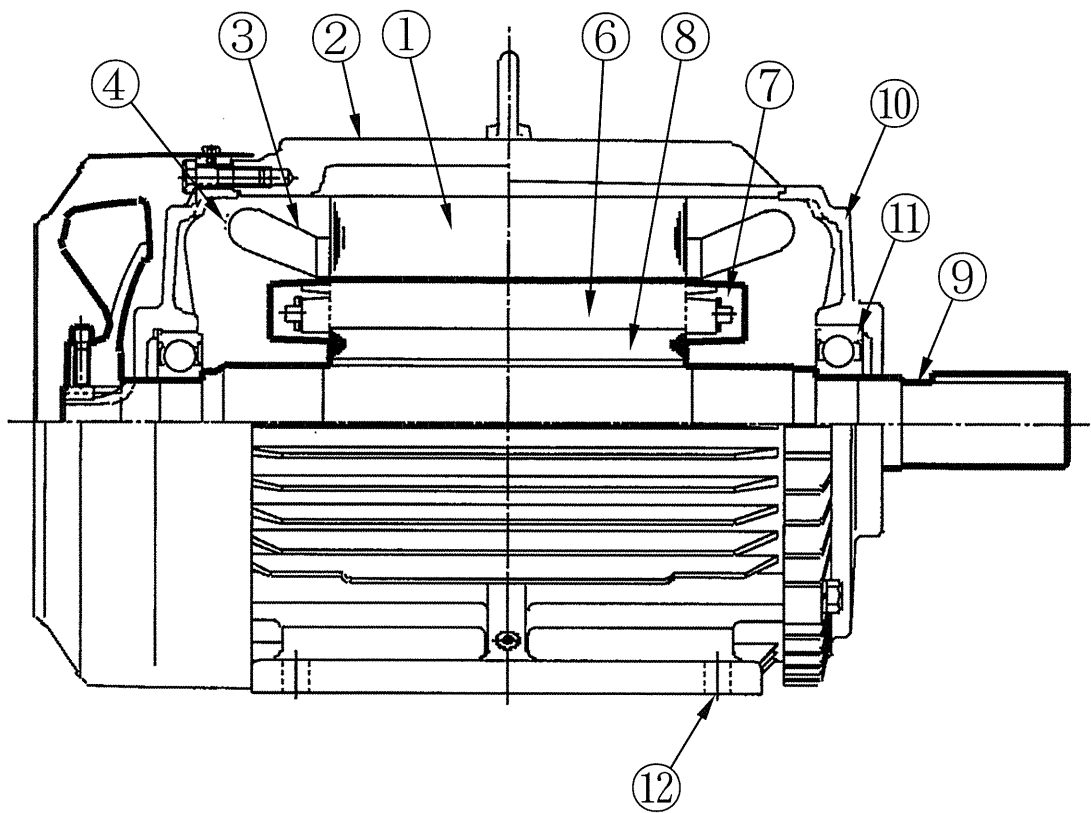
負荷側及び反負荷側軸受部には、回転体を支えるためのブラケットが取付けられ、内側には電動機回転子重量を支えるための軸受を備えている。

また、通常運転時、プラント停止時及び事故時に要求される流量が異なるため、ポンプ用電動機の出力及び回転数が切り替えられる構造となっている。

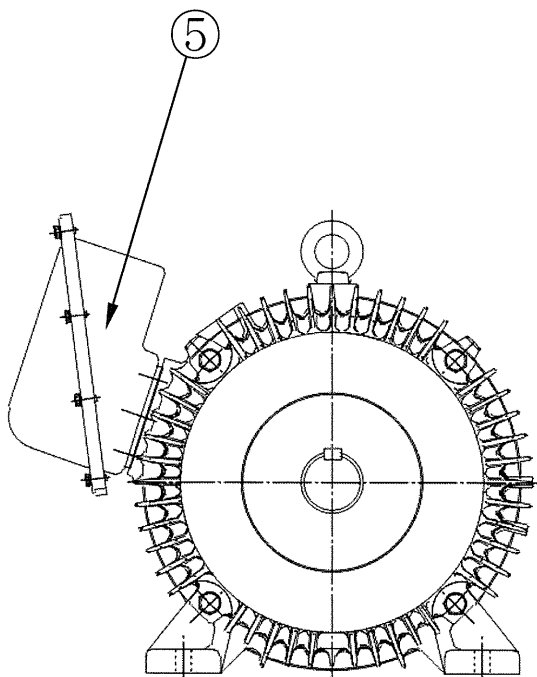
川内2号炉のほう酸ポンプ用電動機の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉のほう酸ポンプ用電動機の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



注：太線部が回転部を示す



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
⑤	端子箱
⑥	回転子棒
⑦	エンドリング
⑧	回転子コア
⑨	主 軸
⑩	ブラケット
⑪	軸受 (ころがり)
⑫	取付ボルト

図2.1-1 川内2号炉 ほう酸ポンプ用電動機構造図

表2.1-1 川内2号炉 ほう酸ポンプ用電動機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、ポリエステルイミド+ポリアミドイミド ／ポリエステル樹脂 (F種絶縁)
	口 出 線	銅、シリコーンゴム (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	アルミニウム
	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 川内2号炉 ほう酸ポンプ用電動機の使用条件

定 格 出 力	1.5/11kW
周 囲 温 度	約40℃*1
放 射 線	$0.55 \times 10^{-3} \text{Gy/h}^{*2}$
定 格 電 圧	440V
定 格 回 転 数	1,780/3,530rpm

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

*2：通常時の原子炉格納容器外の最大実測値

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

低圧ポンプ用電動機の機能であるポンプの駆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 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

低圧ポンプ用電動機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）及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) 固定子コイル及び口出線の絶縁低下

固定子コイル及び口出線の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電気的及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。（電気学会絶縁材料研究会資料 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、又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)又は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) 固定子コア及び回転子コアの腐食（全面腐食）

固定子コア及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、固定子コア及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難い。

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、端子箱及びブラケットの腐食（全面腐食）

フレーム、端子箱及びブラケットは炭素鋼又は鋳鉄であり腐食が想定される。

しかしながら、内外面とも塗装により腐食を防止しており、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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

回転子棒・エンドリングについては、電動機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、回転子棒・エンドリングは、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なく、疲労割れが発生し難い構造である。

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。

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。

軸受の定期取替時の軸受引き抜き時に主軸表面にわずかな線形模様が生じることあり、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。この場合は、主軸表面がわずかに摩耗し、主軸と軸受間で微小隙間が生じ運転中にフレットニングにより摩耗する可能性がある。

しかしながら、分解点検時の寸法管理によりフレットニングが発生しないようにしており、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難い。

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及び寸法計測により、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

電動機運転時には主軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下において、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、電動機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及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) 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、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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 消耗品及び定期取替品

軸受（ころがり）は分解点検時に取り替えている消耗品であり、長期使用はせず取替え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 川内2号炉 ほう酸ポンプ用電動機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	応力腐蝕割れ	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		鑄 鉄		△							
	固定子コイル		銅 ポリエステルイミド+ ポリアミドイミド/ ポリエステル樹脂 (F種絶縁)					○				
	口出線		銅 シリコンゴム (F種絶縁)					○				
	端子箱		炭素鋼		△							
	回転子棒・エンドリング		アルミニウム			△						
	回転子コア		珪素鋼板		△							
	主 軸		炭素鋼	△		△*1						
	ブラケット		鑄 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）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

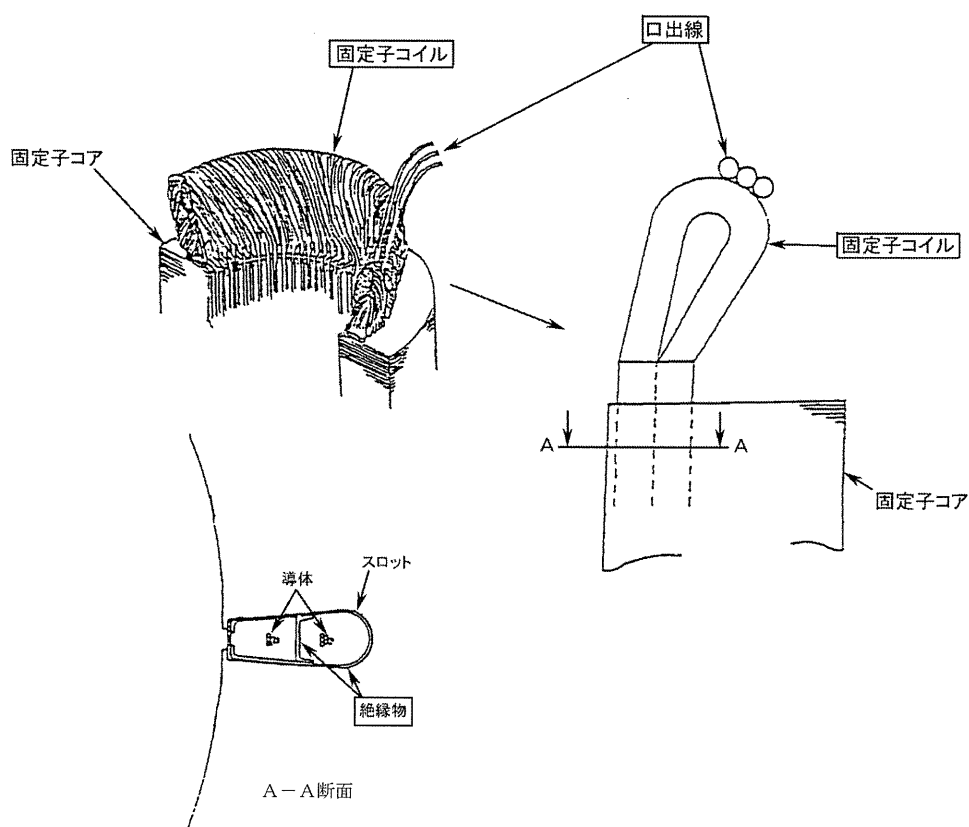
2.3.1 固定子コイル及び口出線の絶縁低下

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が施されている。口出線は、ポンプ用電動機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が施されている。

固定子コイル及び口出線の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的及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。

絶縁低下が生じる可能性のある部位を図2.3-1に示す。



□: 絶縁低下が生じる可能性のある部位

図2.3-1 川内2号炉 ほう酸ポンプ用電動機

固定子コイル及び口出線の絶縁部位

b. 技術評価

① 健全性評価

低圧ポンプ用電動機の固定子コイルの健全性評価は、同種の一般的な低圧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。）の規格に準じて実施した評価試験結果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、熱的、機械的、環境的及び電気的な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、電動機はこれら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。

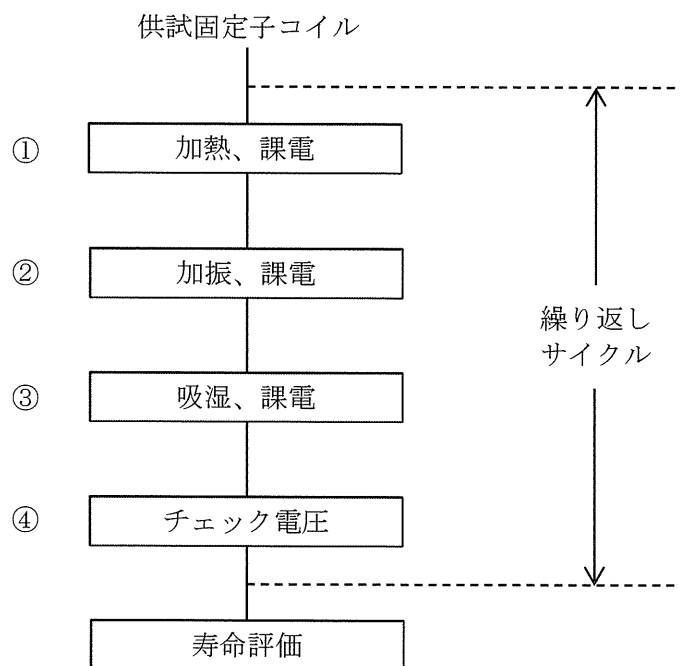


図2.3-2 固定子コイル長期健全性評価手順

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り返し、190℃及び220℃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

$$\log Y = -A + \frac{B}{273 + t} \dots\dots\dots (1)$$

Y : 寿命時間 (h)
t : 運転温度 (°C)
A、B : 定数
log Y : 自然対数

この耐熱寿命曲線は、電動機に適用している絶縁固有の特性を表す。
この (1) 式に当該電動機の運転温度*2 t (°C) 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)

固定子コイルの絶縁寿命は、評価結果より稼働率 80% で 16 年以上と判断する。

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	190°C-7日	220°C-1日	最大145°C
	電圧	440V-常時印加	440V-常時印加	440V
②	振動	1.5G-1時間 (at 140°C)	1.5G-1時間 (at 140°C)	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)

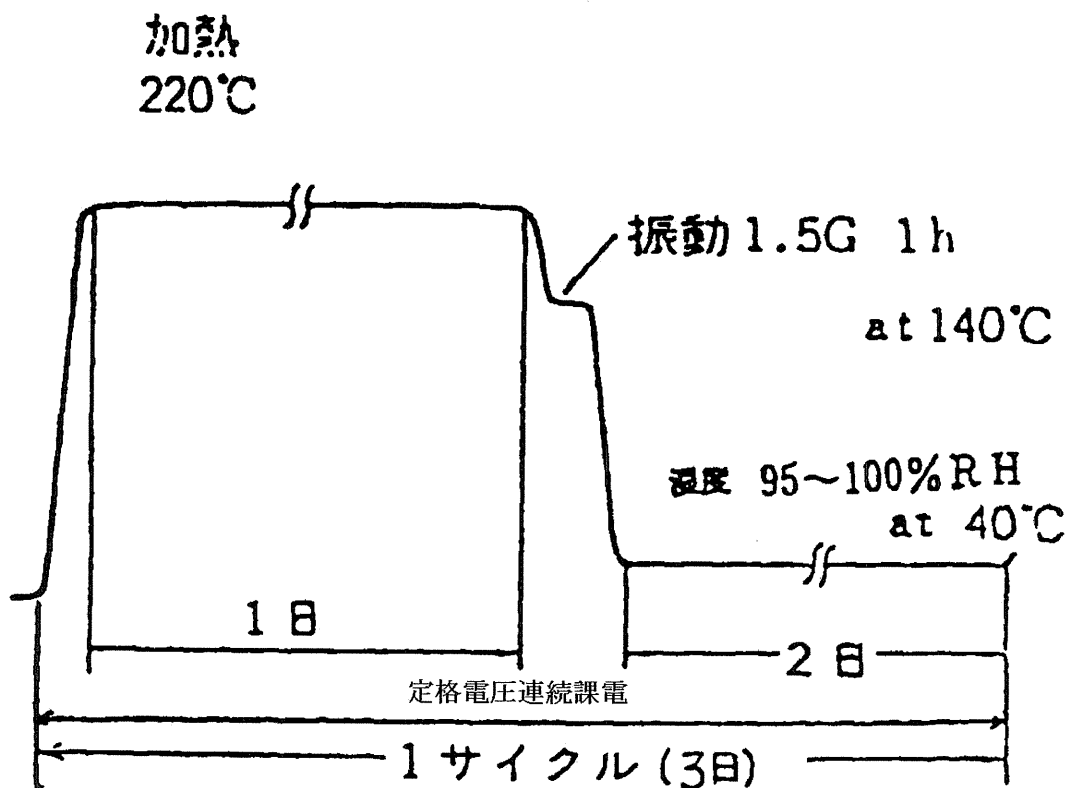


図2.3-3 ヒートサイクル方法例 (試験条件2)

また、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、設置経過年数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。

同図では縦軸の絶縁破壊値は新品の値を100%として示している。

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、低圧ポンプ用電動機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ヒートサイクル方法から求めたアレニウス則による評価結果を採用し、16年と判断する。

また、ヒートサイクル方法及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、16年と判断する。

固定子コイルを更新した旧機コイルの破壊電圧を測定した。
 その結果を基に、運転年数とコイルの破壊電圧の関係を求め平均値
 と95%下限値が安全運転下限値まで低下する運転年数を求めたもの。

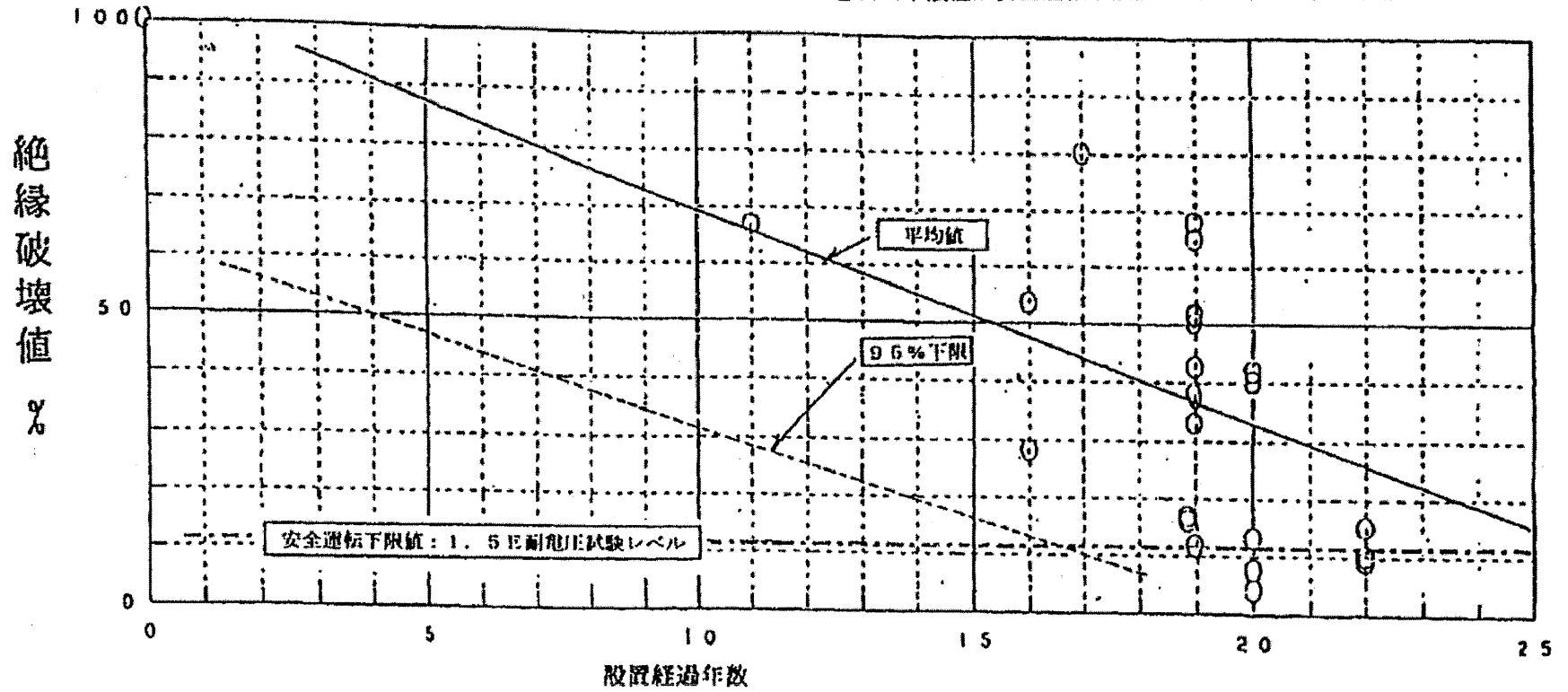


図2.3-4 設置経過年数と絶縁破壊値の関係
 [出典：メーカーデータ]

② 現状保全

固定子コイル及び口出線の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定を行い、許容値以上であることを確認している。

また、絶縁抵抗測定の結果に基づき、必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替えを実施していく。

なお、予防保全のため2 Aほう酸ポンプ用電動機及び2 Bほう酸ポンプ用電動機については、第20回定期検査時（2011年度～2015年度）に取替えを行っている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、固定子コイル及び口出線の絶縁低下については、16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。

よって、現状保全を継続することで、健全性を維持できると考える。

c. 高経年化への対応

固定子コイル及び口出線の絶縁低下については、引き続き定期的な絶縁抵抗測定を実施していくとともに、点検結果に基づき必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替えを実施していく。

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以下の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いる。

- ① 燃料取替用水ポンプ用電動機
- ② 常設電動注入ポンプ用電動機

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 固定子コイル及び口出線 [共通]・接続部品[常設電動注入ポンプ用電動機]の絶縁低下

いずれの低圧ポンプ用電動機も絶縁仕様、使用環境等は代表機器と同様であることから、16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。

よって、現状保全を継続することで、健全性を維持できると考える。

したがって、固定子コイル及び口出線の絶縁低下については、引き続き定期的な絶縁抵抗測定を実施していくとともに、点検結果に基づき必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替えを実施していく。

なお、予防保全のため2A燃料取替用水ポンプ用電動機については、2021年度補機計画整備工事に取替えを行っている。

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)又は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 固定子コア及び回転子コアの腐食（全面腐食）〔共通〕

固定子コア及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、固定子コア及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難い。

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、端子箱及びブラケットの腐食（全面腐食）〔共通〕

フレーム、端子箱及びブラケットは炭素鋼又は鋳鉄であり腐食が想定される。

しかしながら、内外面とも塗装により腐食を防止しており、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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、電動機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、回転子棒・エンドリングはアルミ充てん式（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、疲労割れが発生し難い構造である。

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。

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]

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。

軸受の定期取替時の軸受引き抜き時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。この場合は、主軸表面がわずかに摩耗し、主軸と軸受間で微小隙間が生じ運転中にフレットニングにより摩耗する可能性がある。

しかしながら、分解点検時の寸法管理によりフレットニングが発生しないようにしており、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難い。

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及び寸法確認により、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]

電動機運転時には主軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下において、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、電動機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及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 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、塗装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装の状態を確認し、はく離が認められた場合に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。

川内原子力発電所 2 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]

九州電力株式会社

川内2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の機器及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、圧力等の観点から代表機器を選定した。

これらの一覧を表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も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ます。

なお、点検等で確認した結果、異常が認められた場合、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。

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 プール形容器

なお、原子炉容器及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及び鉄骨構造物の技術評価書」にて、また、原子炉格納容器機械ペネトレーションに付属する貫通配管は「配管の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含まれていない。

また、川内1、2号炉の共用設備のうち1号炉で設置されている容器については、「川内原子力発電所2号炉 共用設備（他号炉設備）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 (1/2) 川内 2 号炉 主要な容器

分 離 基 準			機 器 名 称 (台 数)	選 定 基 準			選 定	選 定 理 由
				重要度*1	使 用 条 件			
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・ たて置円筒形	1次冷却材	低合金鋼 (ステンレス鋼内張り)	原子炉容器本体 (1)	PS-1、重*3	約 17.2	約343	◎	
			加圧器本体 (1)	PS-1、重*3	約 17.2	約360	◎	
	空 気	炭 素 鋼	原子炉格納容器本体 (1)	MS-1、重*3	約0.245	約127	◎	
	1次冷却材 ほう酸水	炭 素 鋼 (ステンレス鋼内張り)	蓄圧タンク (3)	MS-1、重*3	約 4.9	約150	◎	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 0.49	約 95	◎
				ほう酸タンク (2)	MS-1、重*3	大 気 圧	約 95	
希ガス等	炭 素 鋼	ガス減衰タンク (8)	PS-2	約 0.98	約65/約95	◎		
屋内・ 横置円筒形	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 0.34	約 95	◎	
	苛性ソーダ溶液	ステンレス鋼	よう素除去薬品タンク (1)	MS-1	約 0.07	約 65	◎	
屋内・たて置、 横置円筒形	給 水	炭 素 鋼	湿分分離加熱器第 2 段ドレンタンク (4)	高*2	約 7.5	約291	◎	圧力
			湿分分離加熱器第 1 段ドレンタンク (4)	高*2	約 2.8	約235		
			湿分分離器ドレンタンク (2)	高*2	約 1.4	約200		
			1次系補助蒸気復水タンク (2)	高*2	大 気 圧	約100		
			補助蒸気復水回収タンク (1)	高*2	大 気 圧	約100		

*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、又は最高使用圧力が1,900kPa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及び構造物であることを示す

表 1 (2/2) 川内 2 号炉 主要な容器

分 離 基 準			機 器 名 称 (台 数)	選 定 基 準			選 定	選 定 理 由
				重要度*1	使 用 条 件			
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)		
屋外・ たて置円筒形	ほう酸水	ステンレス鋼	燃料取替用水タンク (1)	MS-1、重*3	大気圧	約 95	◎	
	純水	炭素鋼	復水タンク (1)	MS-1、重*3	大気圧	約 85	◎	
屋内・ たて置円筒形	1次冷却材	ステンレス鋼	冷却材フィルタ (1)	PS-2	約 1.4	約 95	◎	重要度
			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 0.98	約 95		
	ほう酸水		ほう酸フィルタ (1)	MS-1、重*3	約 0.98	約 95		
屋内・ディスク型	空気	ステンレス鋼	格納容器再循環サフスクリーン (2)	MS-1、重*3	約0.245	約127	◎	
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 1.4	約 65	◎	常時使用
			冷却材陽イオン脱塩塔 (1)	PS-2	約 1.4	約 65		
			ほう酸除去脱塩塔 (2)	PS-2	約 1.4	約 65		
屋内・ コンクリート製 埋込みプール形	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 (2)	PS-2、重*3	大気圧	約 65	◎	常時使用
			原子炉キャビティ (1)	PS-2	大気圧	約 65		
			燃料取替用チャネル (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：最高使用温度が95℃を超え、又は最高使用圧力が1,900kPa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及び構造物であることを示す

表 2 (1/2) 川内 2 号炉 主要な容器の機能

容 器	機 能
原子炉容器本体	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。
加圧器本体	1次冷却系の圧力制御のための加熱及び加圧を行う容器である。
原子炉格納容器本体	1次冷却材喪失事故時等に圧力障壁となり、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1次冷却材を保有し、1次冷却系圧力が蓄圧タンク圧力より低くなると1次冷却材を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	主蒸気管破断事象時等に正の反応度添加を補償するためのほう酸水を貯蔵するためのタンクである。
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、1次冷却材中の飽和濃度の水素の維持並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。
ガス減衰タンク	気体廃棄物の放射能の受入及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。
原子炉補機冷却水サージタンク	補機冷却水の膨張、収縮、補給及び被冷却機器からの漏れを吸収するタンクである。
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。
湿分分離加熱器第2段ドレンタンク	湿分分離加熱器第2段加熱蒸気ドレン流量の変動を吸収し、かつ、当該加熱器の安定な水位制御を行うためのサージタンクである。
湿分分離加熱器第1段ドレンタンク	湿分分離加熱器第1段加熱蒸気ドレン流量の変動を吸収し、かつ、当該加熱器の安定な水位制御を行うためのサージタンクである。
湿分分離器ドレンタンク	湿分分離器ドレン流量の変動を吸収し、かつ、当該分離器の安定な水位制御を行うためのサージタンクである。
1次系補助蒸気復水タンク	1次系で使用された補助蒸気のドレン水を貯蔵するタンクである。
補助蒸気復水回収タンク	1次系及び2次系で使用された補助蒸気のドレン水を貯蔵するタンクである。

表 2 (2/2) 川内 2 号炉 主要な容器の機能

容 器	機 能
燃料取替用水タンク	燃料交換作業時に原子炉キャビティ及び燃料取替用チャンネ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、余熱除去ポンプ及び格納容器スプレィポンプにほう酸水を供給するタンクである。
復水タンク	補助給水の水源となるとともに、復水器の水位上昇時のスピルオーバー水を受入れるタンクである。
冷却材フィルタ	抽出水中の浮遊物及び破碎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を取り除くためのフィルタである。
封水フィルタ	1次冷却材ポンプ封水の戻り水及び余剰抽出冷却器を通る抽出水から浮遊物を取り除くためのフィルタである。
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。
格納容器再循環サンプスクリーン	1次冷却材喪失時に破損する保温材及び原子炉格納容器内に存在する他の異物をろ過する機器である。
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、核分裂生成物及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。
ほう酸除去脱塩塔	1次冷却材中からほう酸を除去するための脱塩塔である。
使用済燃料ピット	使用済燃料の貯蔵及び使用済燃料を冷却、遮へいしているほう酸水を保持するためのプール形容器である。
原子炉キャビティ	定期検査時に燃料を冷却、遮へいしているほう酸水を保持するためのプール形容器である。
燃料取替用チャンネル	定期検査時に燃料を移送するためのプール形容器である。
キャスクピット	使用済燃料輸送容器を置くためのプール形容器である。

1 原子炉容器

[対象機器]

- ① 原子炉容器本体

目 次

1. 対象機器	1
2. 原子炉容器本体の技術評価	2
2.1 構造、材料及び使用条件	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	14

1. 対象機器

川内2号炉で使用されている原子炉容器本体の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 川内2号炉 原子炉容器本体の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件		
		運 転	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
原子炉容器本体 (1)	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及び構造物であることを示す

2. 原子炉容器本体の技術評価

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 原子炉容器本体

(1) 構造

川内2号炉の原子炉容器本体は、たて置円筒上下半球鏡容器であり、上部ふたは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。

原子炉容器本体は、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厚さ約5mmのステンレス鋼の内張りをしている。また、冷却材出口管台とセーフエンドの溶接部には690系ニッケル基合金のクラッドを施工している。

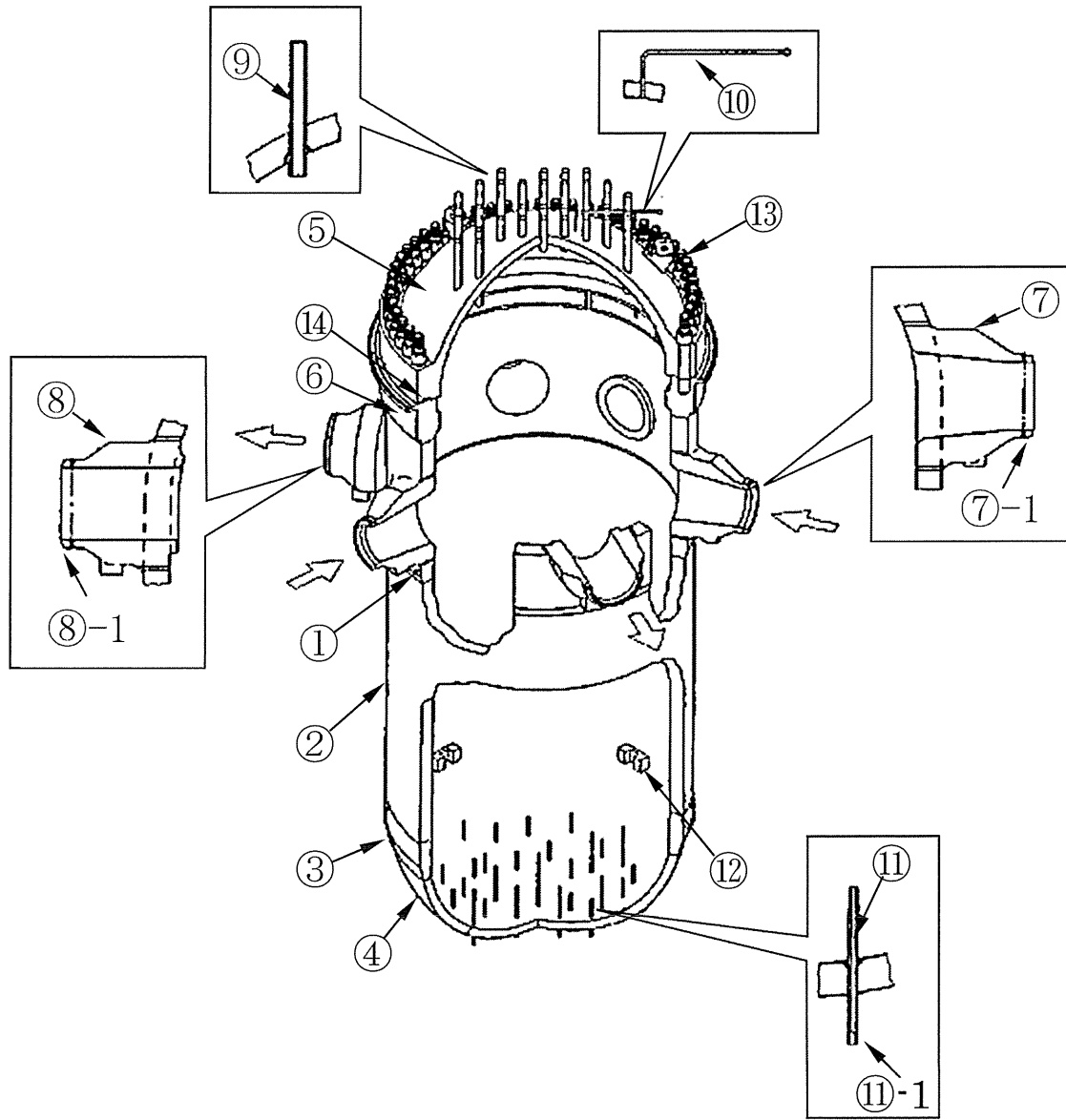
川内2号炉の原子炉容器本体の構造を図2.1-1に示す。

なお、原子炉容器上部ふたは、ふた管台の応力腐食割れに対する予防保全処置として、第18回定期検査時（2008年度）に取替えを実施している。

また、あわせて、スタッドボルトの取替えも実施している。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の原子炉容器本体の使用材料、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及び使用条件を表2.1-1～表2.1-3に示す。



No.	部 位
①	上 部 胴
②	下 部 胴
③	トランジションリング
④	下部鏡板
⑤	上部ふた
⑥	上部胴フランジ
⑦	入口管台
⑦-1	入口管台セーフエンド
⑧	出口管台
⑧-1	出口管台セーフエンド
⑨	ふた管台
⑩	空気抜管台
⑪	炉内計装筒
⑪-1	炉内計装筒セーフエンド
⑫	炉心支持金物
⑬	スタッドボルト
⑭	〇リング

図2.1-1 川内2号炉 原子炉容器本体構造図

表2. 1-1 川内 2 号炉 原子炉容器本体の使用材料

部 位	材 料
上部胴、下部胴、トランジションリング、下部鏡板	低合金鋼（ステンレス鋼内張り）
上部ふた	低合金鋼（ステンレス鋼内張り）
上部胴フランジ	低合金鋼（ステンレス鋼内張り）
入口管台 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 出口管台及び出口管台セーフエンド溶接部の接液部には690系ニッケル基合金クラッド施工
ふた管台	690系ニッケル基合金 上部ふたとの溶接金属は690系ニッケル基合金 制御棒クラスタ駆動装置との溶接金属は690系ニッケル基合金
空気抜管台	690系ニッケル基合金 溶接金属は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 川内2号炉 原子炉容器本体胴部（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	Cu	Ni	Mn	Mo	Si	P	S
母 材	0.037	0.62	1.50	0.47	0.31	0.003	0.002
溶接金属*	0.019	0.88	1.16	0.50	0.31	0.008	0.003

*：溶接方法はサブマージドアーク溶接

表2.1-3 川内2号炉 原子炉容器本体の使用条件

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

原子炉容器本体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

原子炉容器本体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）及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) 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、圧力及び流量変化により、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) 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年時点での中性子照射量が $1.0 \times 10^{17} \text{ n/cm}^2$ ($E > 1 \text{ MeV}$)を超える原子炉容器本体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、上部棚吸収エネルギー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△又は▲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、又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)又は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) 上部ふた及び上部胴フランジシート面のピitting

原子炉容器本体の上部ふた及び上部胴フランジシール部は狭あい部であり、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ル部のステンレス鋼肉盛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。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、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) 600系ニッケル基合金使用部位の応力腐食割れ

1991年9月、仏国のブジェー（Bugey）発電所3号炉において発生したふた管台損傷事象は、管台材料である600系ニッケル基合金の1次系水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及びJ溶接部に1次系水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次系水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、米国のデービスベッセ (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蓋貫通部から冷却水が漏えいし、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次系水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次冷却材管の溶接部にき裂が発見されたが、これは建設時の溶接補修の繰り返しにより、引張り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、炉内計装筒J-溶接部及び入口管台継手については、第17回定期検査時(2007年度)に施工前の確認として、渦流探傷検査又は目視確認を実施した上で、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、冷却材入口管台については定期的に超音波探傷検査を、炉内計装筒については定期的にベアメタル検査を、炉心支持金物については定期的に目視確認を実施し、機器の健全性を確認している。また、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、炉内計装筒の内面に対して渦流探傷検査を、炉内計装筒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。

(3) ふた管台及び空気抜管台等の応力腐食割れ

ふた管台、空気抜管台及び冷却材出口管台溶接部の接液部には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、現時点の知見において、応力腐食割れの発生の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。また、冷却材出口管台については、超音波探傷検査及び浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(4) スタッドボルトの腐食（全面腐食）

スタッドボルトは、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難い。

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。

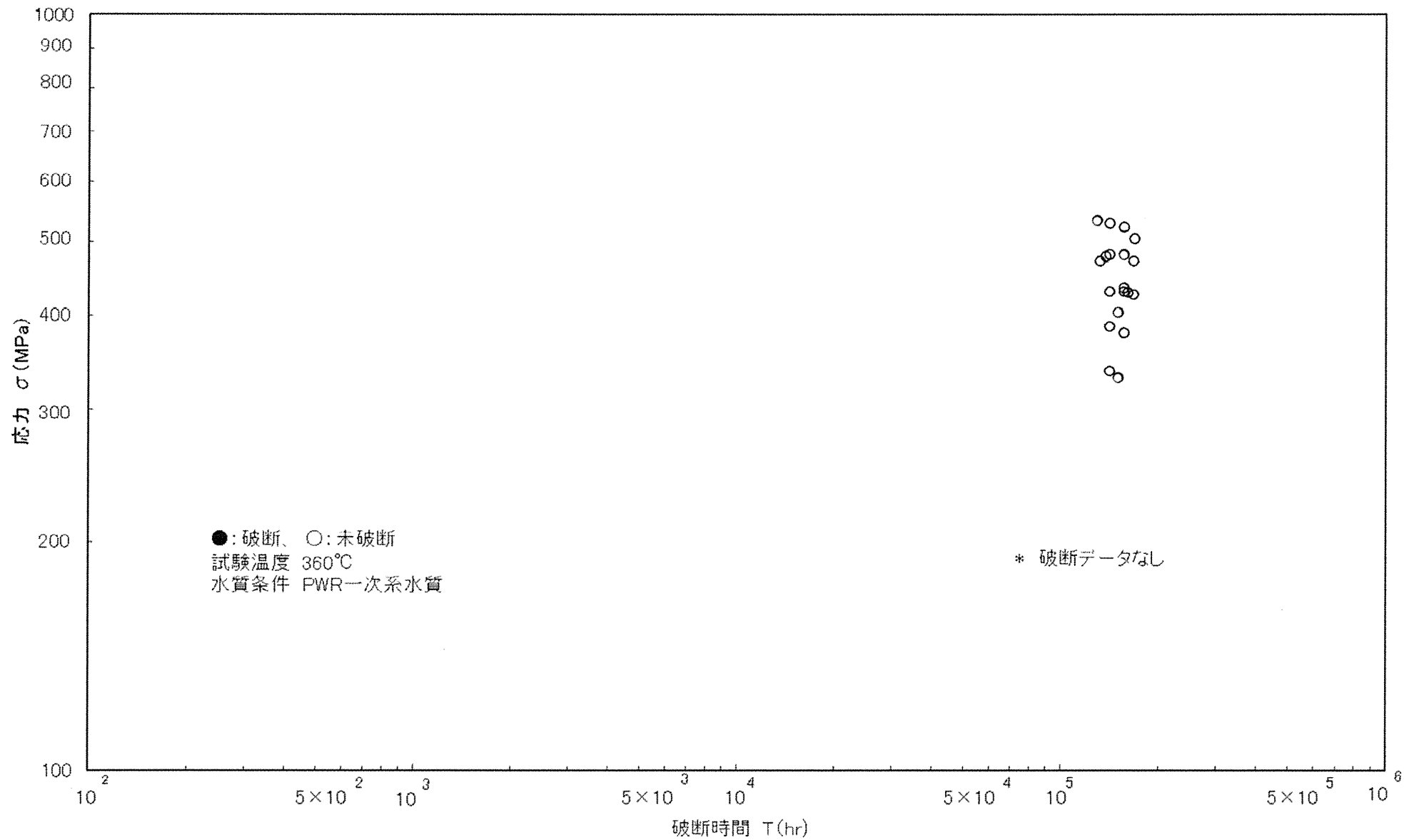


図2.2-1 690系ニッケル基合金の定荷重応力腐食割れ (SCC) 試験結果

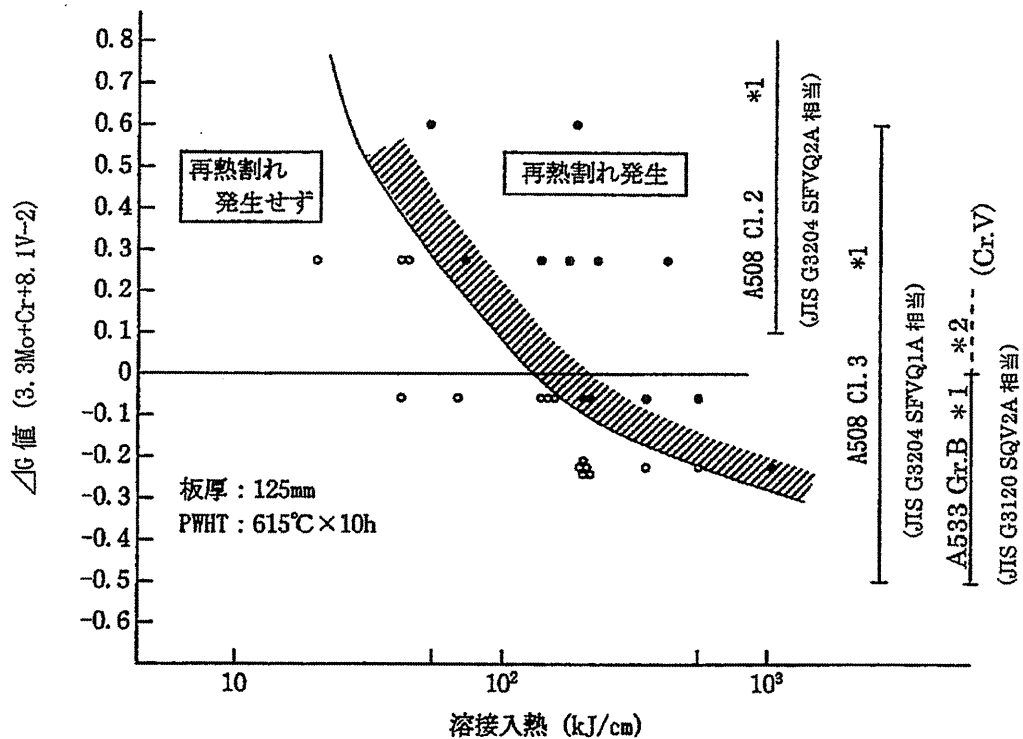
[出典: 電力共同研究「690合金のPWSCC長期信頼性確証試験 (STEP5)」2020年度 (最終報告書)]

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。

(5) 上部ふた等低合金鋼部の内張り下層部のき裂

上部ふた、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（SA508 Cl.2）では大入熱溶接を用いた肉盛で溶接後熱処理が行われると局部的にき裂が発生することが米国 P V R C（Pressure Vessel Research Council）の研究により確認されている。これは肉盛溶接の際、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。

川内2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、き裂の発生する可能性は小さく、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。



*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 値及び溶接入熱の影響

[出典：三菱重工技報 Vol.14 No.1 (1977-1)]

2.2.4 消耗品及び定期取替品

○リングは開放点検時に取り替えている消耗品であり、長期使用はせず取替え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 川内2号炉 原子炉容器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	応力腐蝕割れ	熱時効	劣 化		
バウンダリの維持	上部胴、下部胴、トランジションリング、下部鏡板		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り)			○			○*1	▲*2	*1：中性子照射脆化 (下部胴) *2：内張り下層部の き裂 *3：ピitting
	上部ふた 上部胴フランジ		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り)		△*3	○				▲*2	
	入口管台		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り) 〔セーフェント*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)			▲*2	
	出口管台		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り) 〔セーフェント*はステンレス鋼 溶接金属は600系ニッケル 基合金 溶接接液部は690系 ニッケル基合金クワット*施工〕			○	△ (溶接金属)			▲*2	
	ふた管台 空気抜管台		690系ニッケル基合金			○	△ (溶接金属含む)				
	炉内計装筒		600系ニッケル基合金 〔セーフェント*はステンレス鋼 溶接金属は600系ニッケル 基合金〕			○	△ (溶接金属含む)				
	炉心支持金物		600系ニッケル基合金			○	△ (溶接金属含む)				
	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 出入口管台等の疲労割れ

a. 事象の説明

出入口管台等は、プラントの起動・停止時等による熱過渡を繰り返し受けるため、疲労が蓄積する可能性がある。

b. 技術評価

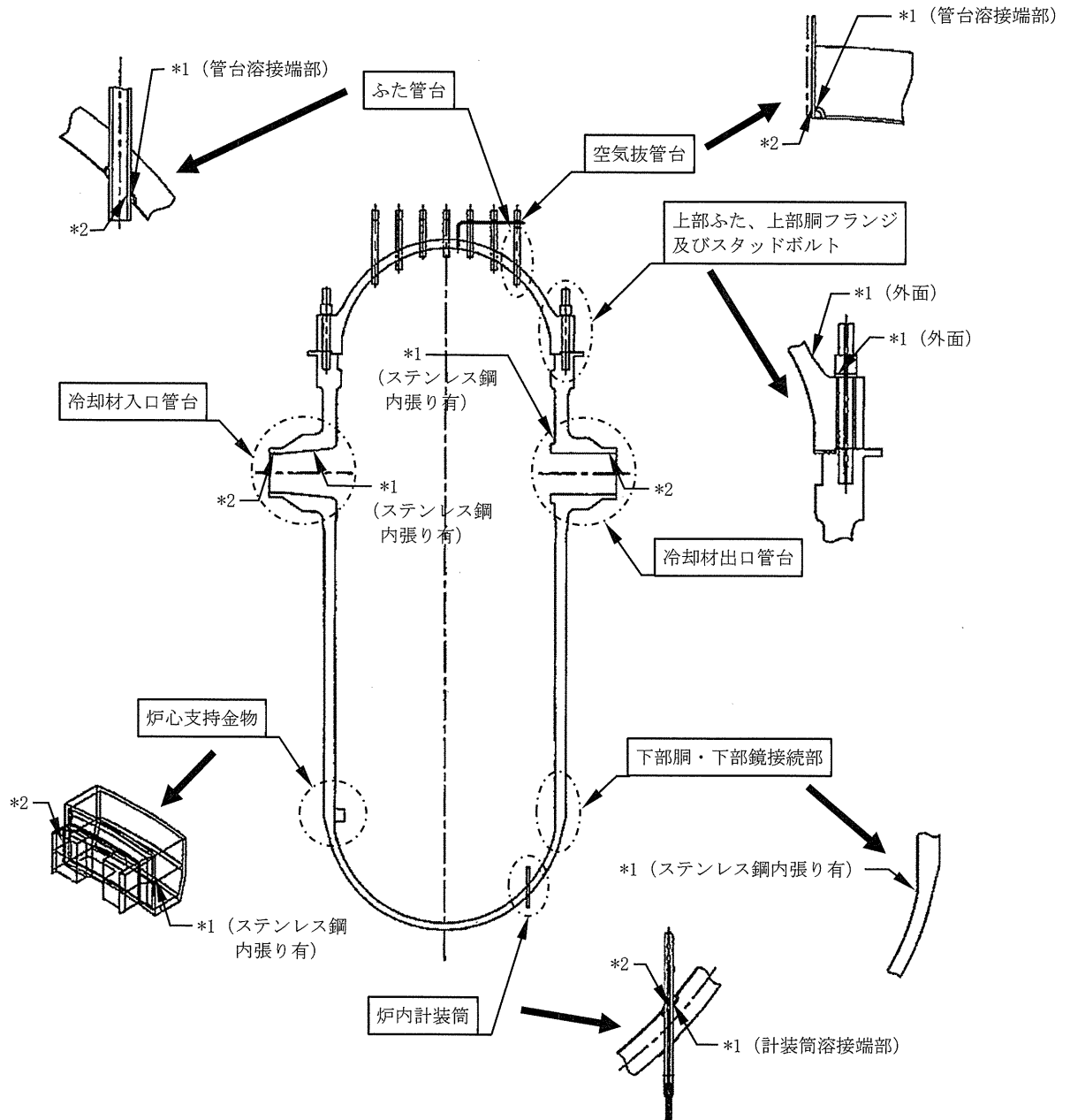
① 健全性評価

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、「(社)日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007)」に基づき疲労評価を行った。

また、使用環境を考慮した疲労評価については、「(社)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。

評価対象部位を図2.3-1に、疲労評価に用いた運転開始後60年時点での推定過渡回数を表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。

それぞれの評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果を得た。



*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 川内2号炉 原子炉容器本体 出入口管台等の疲労評価対象部位

表2.3-1(1/2) 川内2号炉 原子炉容器本体 出入口管台等の疲労評価に用いた過渡回数
(上部ふた、ふた管台、空気抜管台及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	
	2020年3月末時点	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)	36	69
停止 (温度下降率55.6°C/h)	34	69
負荷上昇 (負荷上昇率5%/min)	322	824
負荷減少 (負荷減少率5%/min)	313	815
90%から100%へのステップ状負荷上昇	1	3
100%から90%へのステップ状負荷減少	2	4
100%からの大きいステップ状負荷減少	1	3
定常負荷運転時の変動*1	—	—
燃料交換	24	63
0%から15%への負荷上昇	35	67
15%から0%への負荷減少	28	60
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	
	2020年3月末時点	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	1	7
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	2	2
1次系漏えい試験	31	64

*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 $\pm 0.34\text{MPa}$ 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) 川内2号炉 原子炉容器本体 出入口管台等の疲労評価に用いた過渡回数
(上部ふた、ふた管台、空気抜管台及びスタッドボルト)

運転状態 I

過 渡 項 目	運転実績に基づく過渡回数	
	2020年3月末時点	運転開始後60年 時点での推定値*2
起動 (温度上昇率55.6°C/h)	8	41(44)*3
停止 (温度下降率55.6°C/h)	7	41(44)*3
負荷上昇 (負荷上昇率5%/min)	73	575
負荷減少 (負荷減少率5%/min)	72	574
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	45
0%から15%への負荷上昇	7	39
15%から0%への負荷減少	6	38
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	
	2020年3月末時点	運転開始後60年 時点での推定値*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	0	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	0	0
1次系漏えい試験	7	40(41)*3

*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23年時点(第18回定期検査(2008年度))での上部ふた及びスタッドボルト取替に伴い、プラント運転開始後60年時点での過渡回数としては、上部ふた及びスタッドボルト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37年間の過渡回数とした

*3: () 内はスタッドボルトの過渡回数を示す

表2.3-2 川内2号炉 原子炉容器本体 出入口管台等の疲労評価結果

評価部位	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
① 入口管台	0.038	0.001*2
② 出口管台	0.043	0.001*2
③ ふた管台*1	0.113	0.001*2
④ 空気抜管台*1	0.014	0.001*2
⑤ 炉内計装筒	0.137	0.004*2
⑥ 上部ふた*1、上部胴フランジ	0.008	非接液部
⑦ 下部胴・トランジションリング・ 下部鏡板接続部	0.004	非接液部
⑧ 炉心支持金物	0.006	0.001*2
⑨ スタッドボルト*1	0.220	非接液部

*1：第18回定期検査時（2008年度）に上部ふた及びスタッドボルトを取り替えているため、37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・建設規格に基づく疲労評価対象箇所と異なる

② 現状保全

出入口管台等の疲労割れに対しては、定期的な超音波探傷検査等により有意な欠陥がないことを確認し、漏えい検査により耐圧部の健全性を確認している（表2.3-3）。

また、原子炉容器本体内面の内張りについては、開放点検時の目視確認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 川内2号炉 原子炉容器本体の供用期間中検査の内容

評価対象	検査部位	検査内容
① 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 ベアメタル検査
② 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 ふた管台	制御棒駆動装置ハウジングの溶接継手	浸透探傷検査
④ 空気抜管台	上部鏡板の貫通部	漏えい検査
⑤ 炉内計装筒	下部鏡板の貫通部	ベアメタル検査
⑥ 上部胴フランジ	溶接部（円周方向）	超音波探傷検査
⑦ 下部胴・トランジションリング・下部鏡板接続部	溶接部（円周方向、長手方向）	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、原子炉容器本体内部表面の内張りについては、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

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

原子炉容器本体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。原子炉容器本体の胴部（炉心領域部）においては、中性子照射とともに関連温度（ RT_{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）。

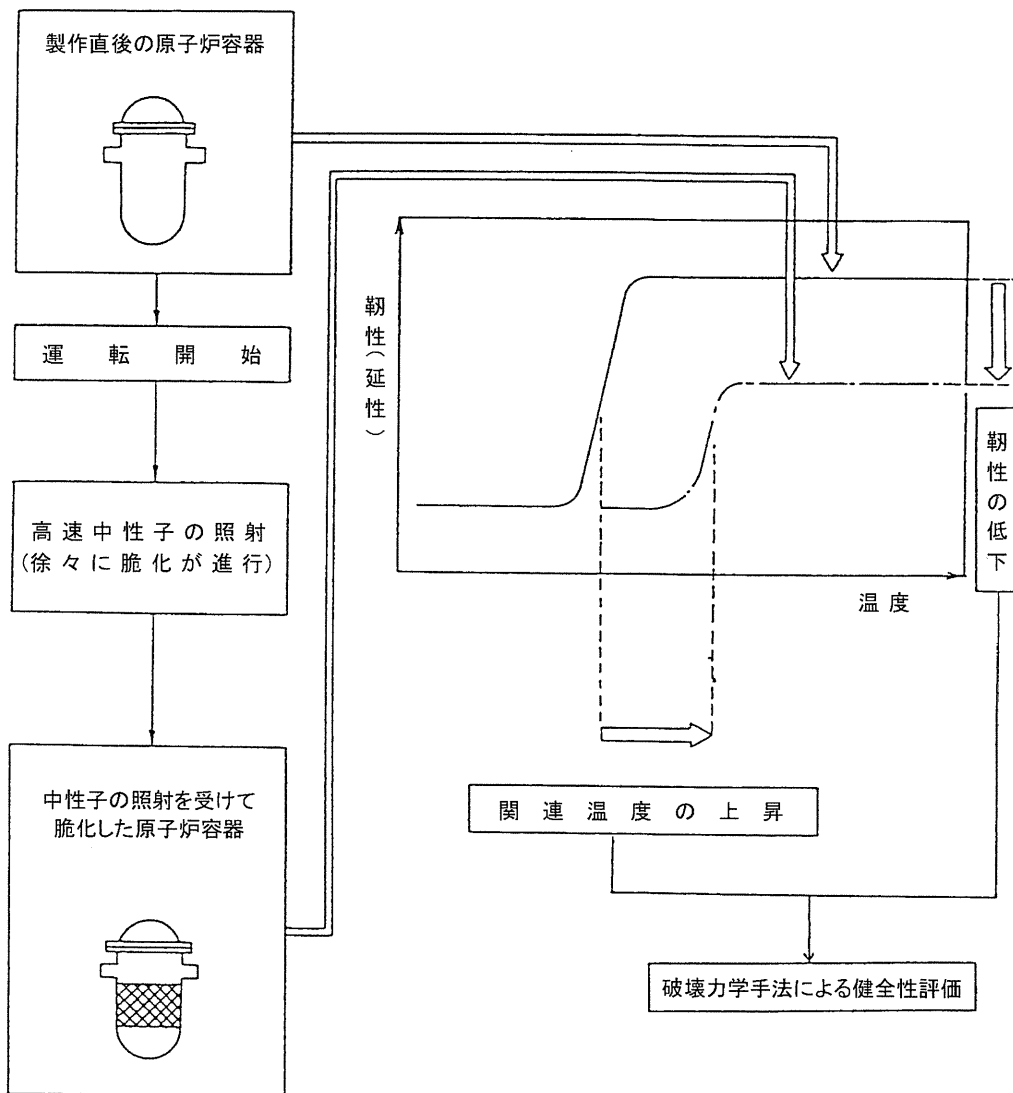


図2.3-2 原子炉容器本体胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化に対する健全性評価

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*1は、現時点（2020年3月末時点）で $4.48 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$ ($E > 1\text{MeV}$)、運転開始後60年時点*2で $8.91 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$ ($E > 1\text{MeV}$)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、上部胴及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。

川内2号炉の現在までの監視試験結果を表2.3-4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。

*1：第4回監視試験片の中性子照射量実測値と炉内中性子束解析により求めた監視試験片位置と胴内表面との中性子束の比率に基づき算出。

*2：2020年4月以降の設備利用率100%で運転すると仮定して算出。

表2.3-4 川内2号炉 原子炉容器本体胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化に対する監視試験結果

監視試験	中性子照射量 ($\times 10^{19}\text{n/cm}^2$) [E>1MeV]	Tr 30 (°C) *3			上部棚吸収エネルギー(J)		
		母材	溶接金属	熱影響部	母材	溶接金属	熱影響部
初期値	0	-44	-57	-104	229	247	231
第1回	0.545 [約5EFPY] *1	-34	-33	-88	211	195	215
第2回	4.71 [約43EFPY] *1	-8	-24	-68	203	198	215
第3回	9.49 [約87EFPY] *1	17	16	-31	205	194	191
第4回	12.3*4 [約113EFPY] *1*2	31	25	-16	180*4	183*4	171*4

*1：内表面から板厚の1/4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4回監視試験実施時の定格負荷相当年数は約26EFPY

*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】川内2号炉 母材：-30°C 溶接金属：-60°C 熱影響部：-55°C

*4：国内USE予測式の適用範囲外（照射量 $1.2 \times 10^{20}\text{n/cm}^2$ 以上）であるが、参考のため記載

「(社)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) の国内脆化予測法による現時点 (2020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及び国内USE予測式による上部棚吸収エネルギー予測値並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2.3-5及び表2.3-6並びに図2.3-3に示す。

評価の結果、関連温度実測値は予測の範囲内であった。

表2.3-5 川内2号炉 原子炉容器本体胴部 (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 ($\times 10^{19}\text{n}/\text{cm}^2$) [E>1MeV]	関連温度*2 (°C)		
		母材	溶接金属	熱影響部
現時点 (2020年3月末時点)	2.81	7	-15	-10
運転開始後60年時点*3	5.59	24	2	7

*1: 内表面から板厚の1/4深さでの中性子照射量、内表面の中性子照射量に JEAC4201 附属書B「中性子照射による関連温度移行量及び上部棚吸収エネルギー減少率の予測」に示される式で求めた減衰率を乗じて算出

*2: 内表面から板厚の1/4深さでの予測値

*3: 2020年4月以降の設備利用率100%で運転すると仮定して算出

表2.3-6 川内2号炉 原子炉容器本体胴部 (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 ($\times 10^{19}\text{n}/\text{cm}^2$) [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 (2020年3月末時点)	2.81	205	197	197
運転開始後60年時点*3	5.59	202	191	193

*1: 内表面から板厚の1/4深さでの中性子照射量、内表面の中性子照射量に JEAC4201 附属書B「中性子照射による関連温度移行量及び上部棚吸収エネルギー減少率の予測」に示される式で求めた減衰率を乗じて算出

*2: 内表面から板厚の1/4深さでの予測値

*3: 2020年4月以降の設備利用率100%で運転すると仮定して算出

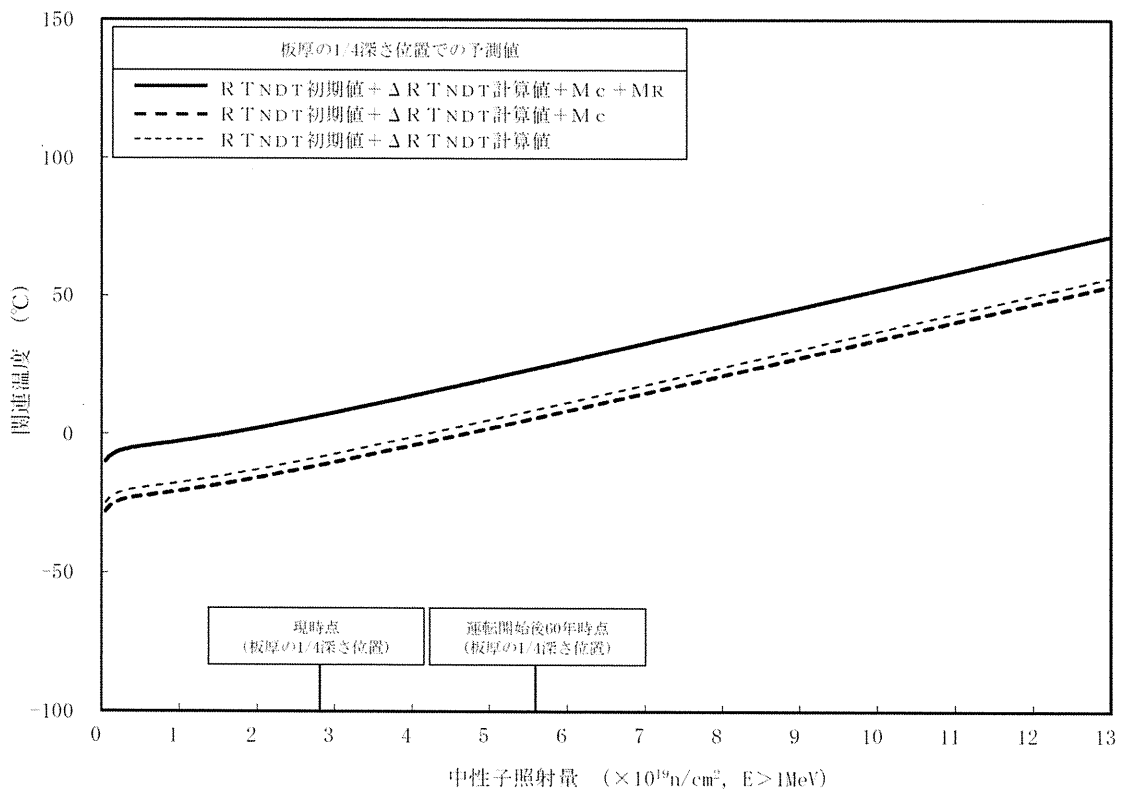
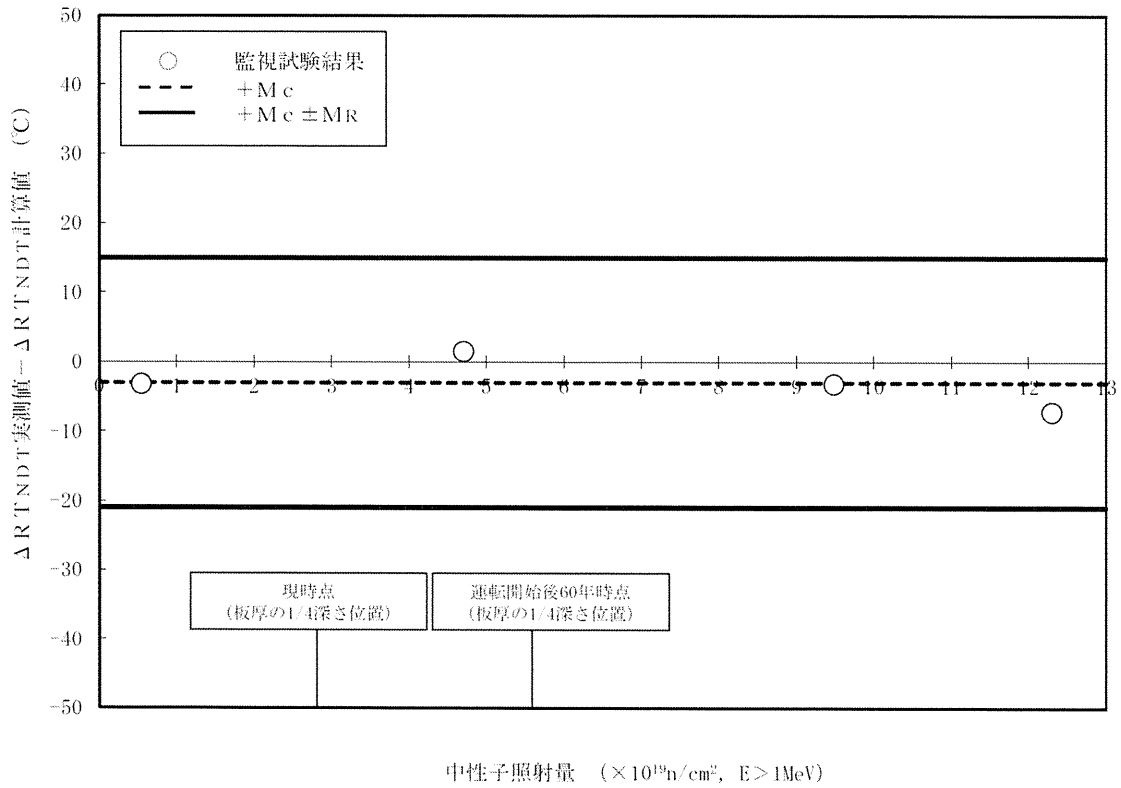
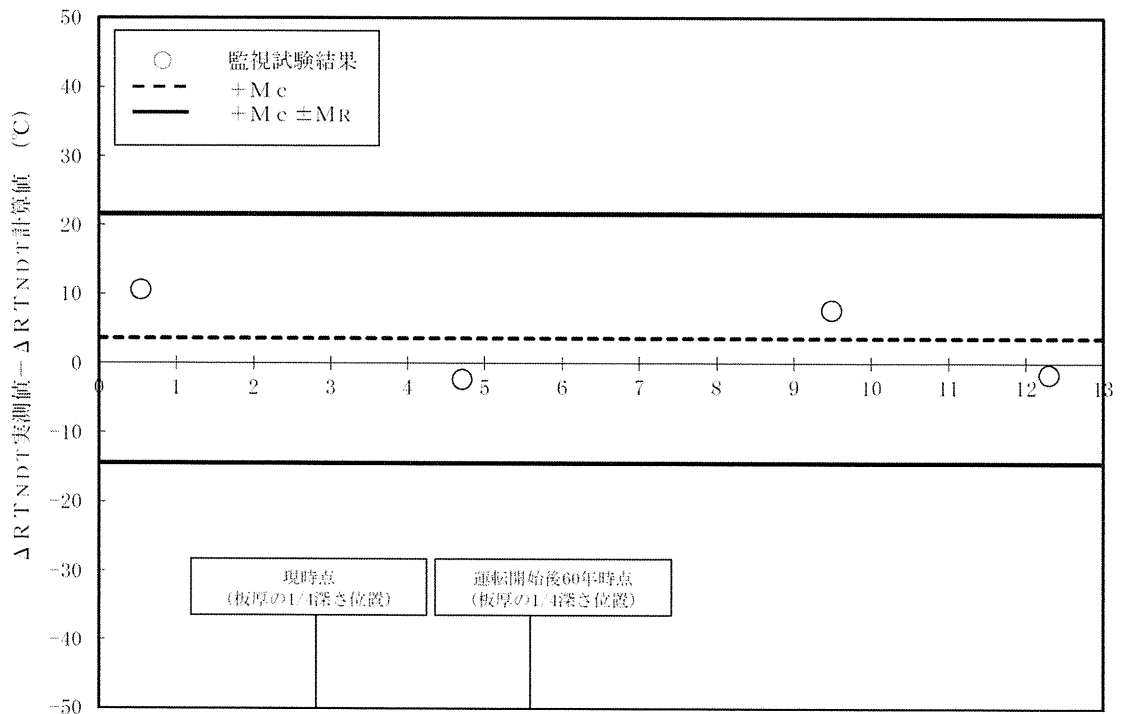
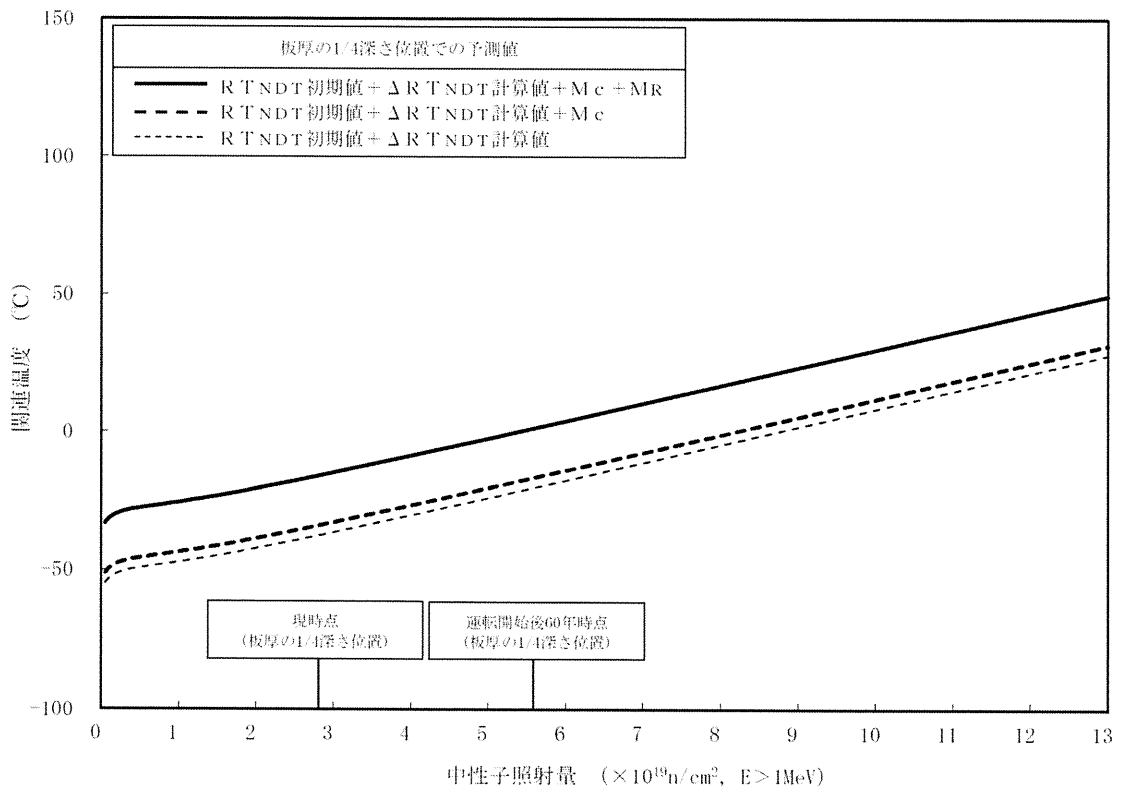


図2.3-3(1/2) 川内2号炉 原子炉容器本体胴部(炉心領域部)の中性子照射脆化に対する
 関連温度の国内脆化予測法による予測と監視試験結果の関係(母材)
 M_C : 実測値で補正する場合に用いるマージン
 M_R : マージン



中性子照射量 (×10¹⁹n/cm², E>1MeV)



中性子照射量 (×10¹⁹n/cm², E>1MeV)

図2.3-3(2/2) 川内2号炉 原子炉容器本体胴部(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)
 Mc: 実測値で補正する場合に用いるマージン
 MR: 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及び上部棚領域部の靱性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、「(社) 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) の附属書 C「供用状態 C、D における加圧水型原子炉压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¹⁾に基づき川内 2 号炉原子炉容器本体の胴部 (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、主蒸気管破断事故及び 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。

$$K_{IC} = 20.16 + 129.9 \exp \{ 0.0161 (T - T_P) \} \text{ (MPa} \sqrt{\text{m}})$$

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。

川内 2 号炉を評価した結果、 T_P は現時点 (2020 年 3 月末時点) までで 66°C 、プラント運転開始後 60 年時点で 95°C 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 に評価結果を示す。

初期き裂を想定しても、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、川内 2 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及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。

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」及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、第1～3回監視試験のデータについては測定した T_{r30} 実測値と第4回監視試験で測定した T_{r30} 実測値の差分だけ温度シフトさせた。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J E A C 4 2 0 6の附属書Cに従い設定した。図2.3-4に示す評価結果のとおり、 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、通常の1次冷却系の加熱・冷却時の1次冷却材温度・圧力の制限範囲及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・圧力曲線及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、通常運転時及び試験時に制限範囲を遵守可能であることを確認した。

*1:PTS評価では、想定き裂先端部の中性子照射量には原子炉容器内表面の値を用いている。

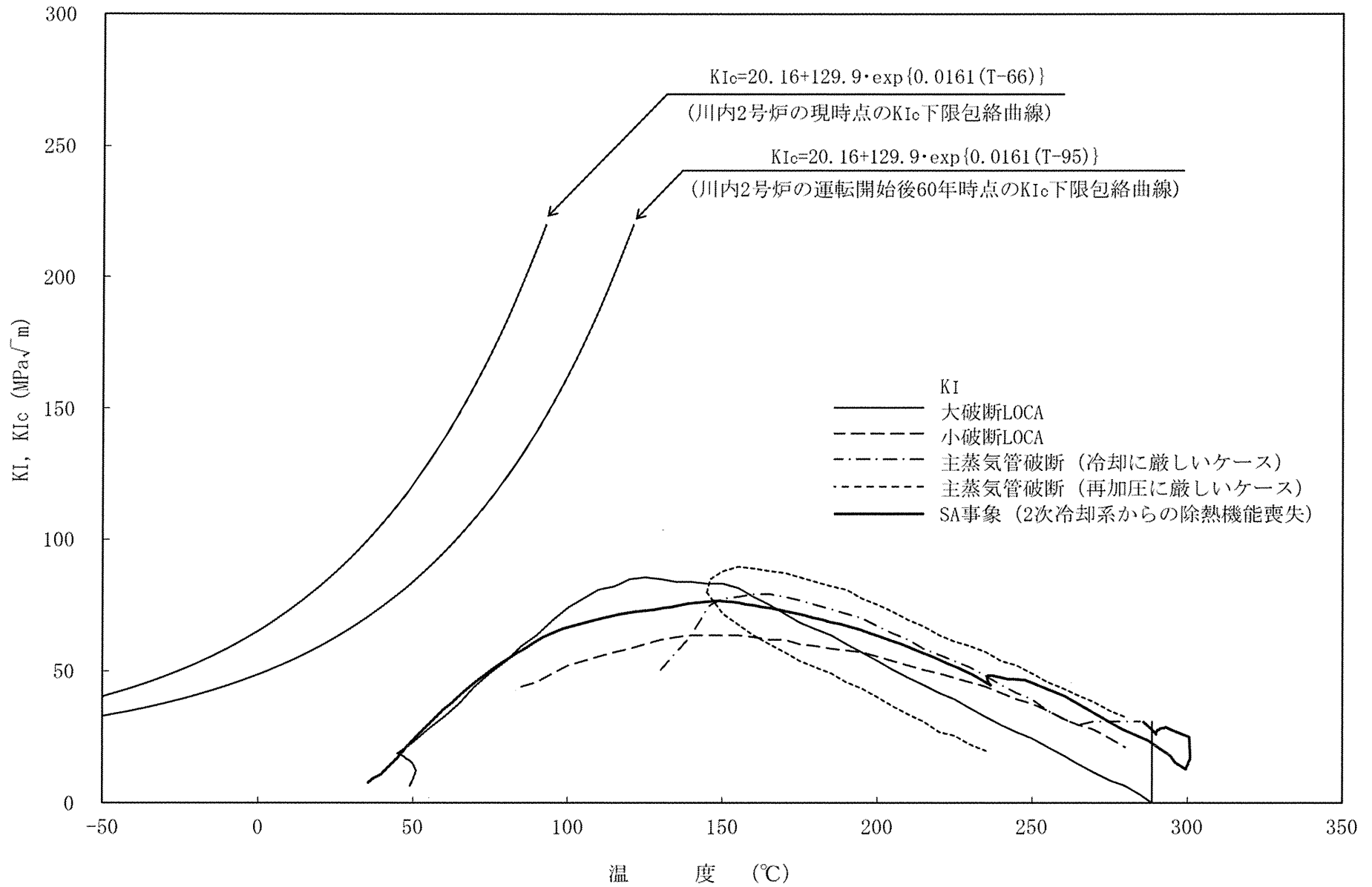


図2.3-4(1/2) 川内2号炉 原子炉容器本体胴部(炉心領域部)中性子照射脆化に対するPTS評価結果
 [深さ10mmの想定き裂を用いた評価]

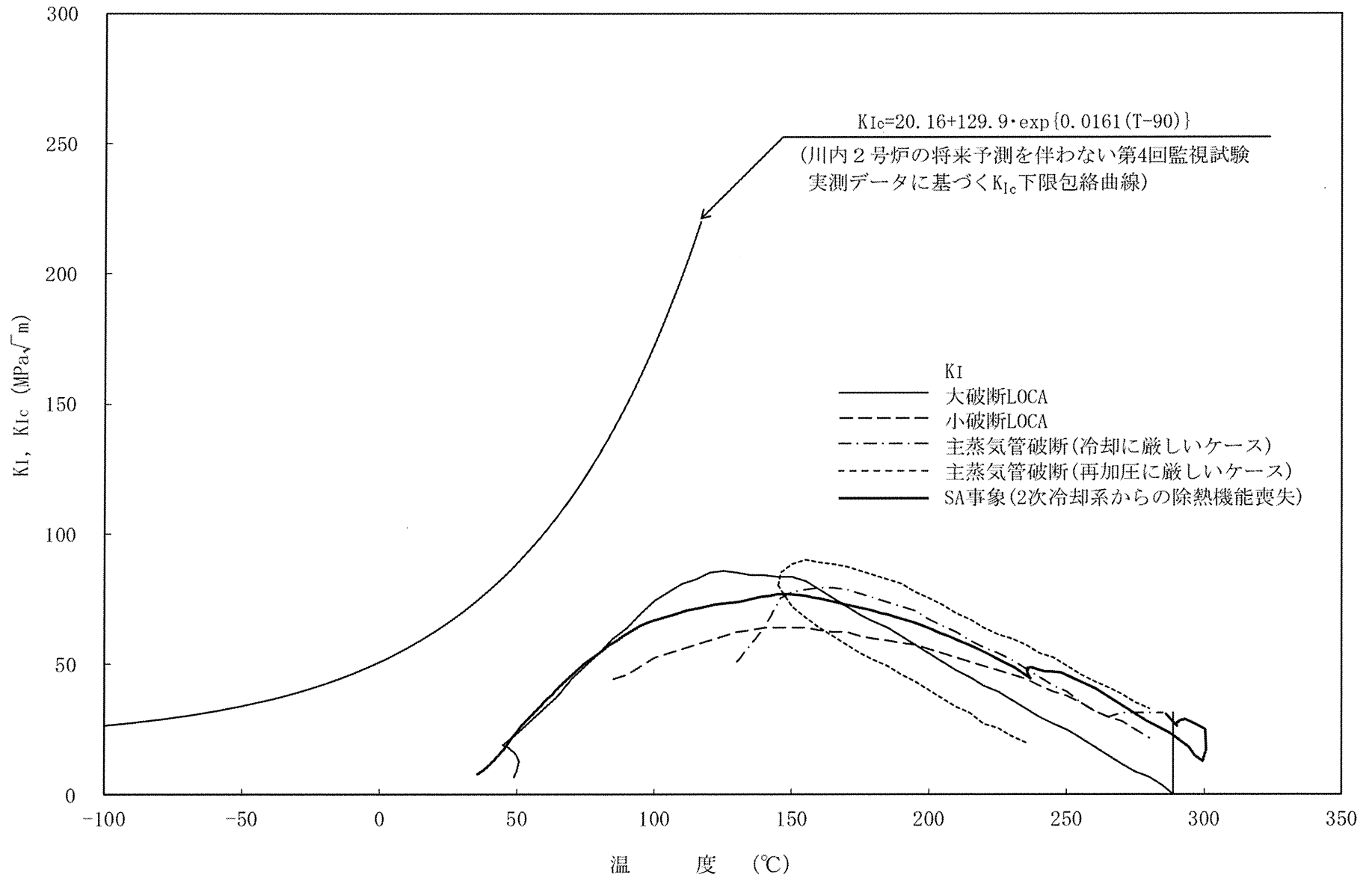
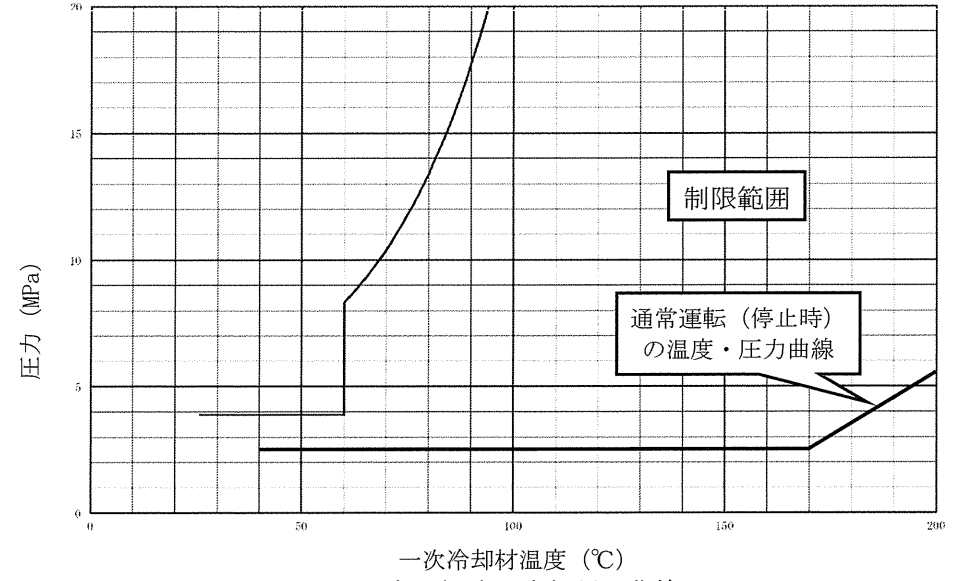
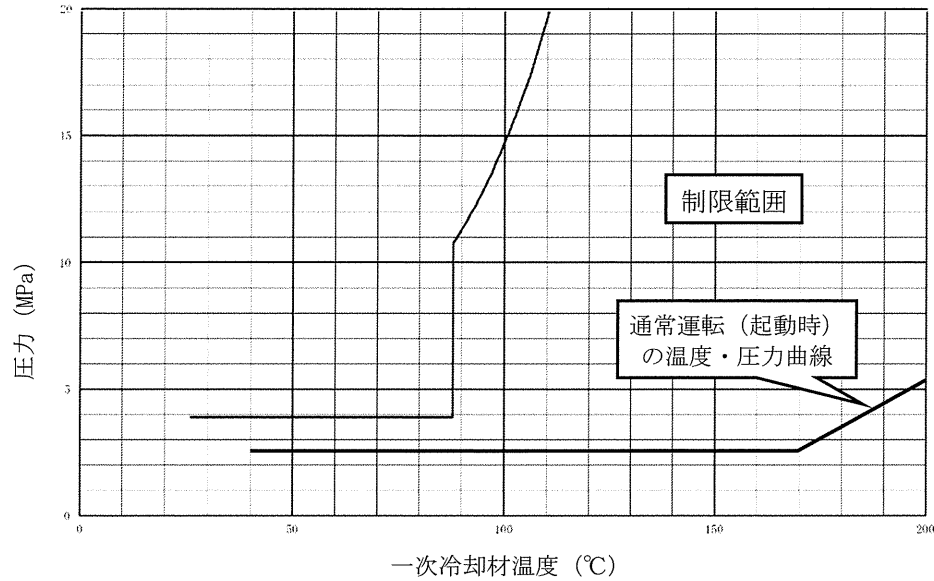
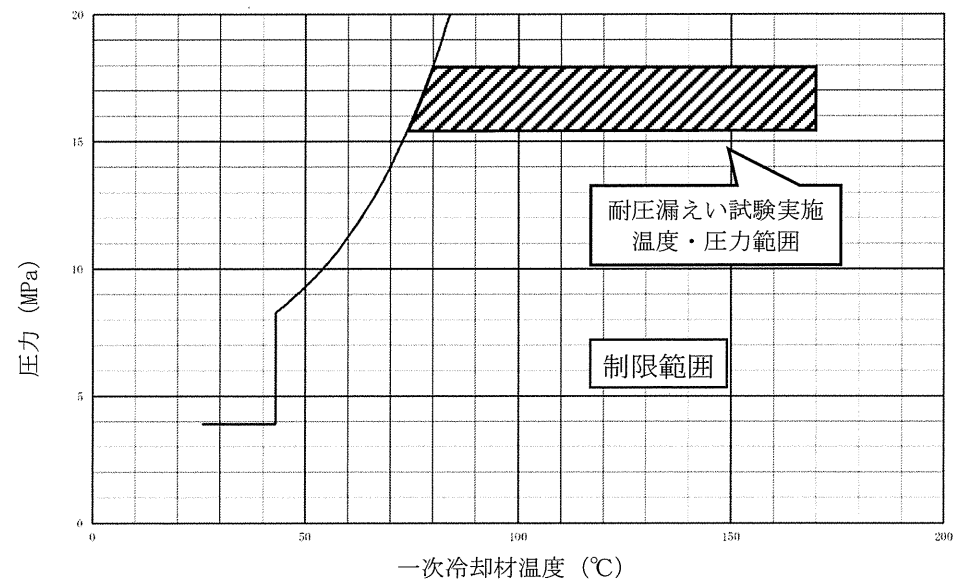
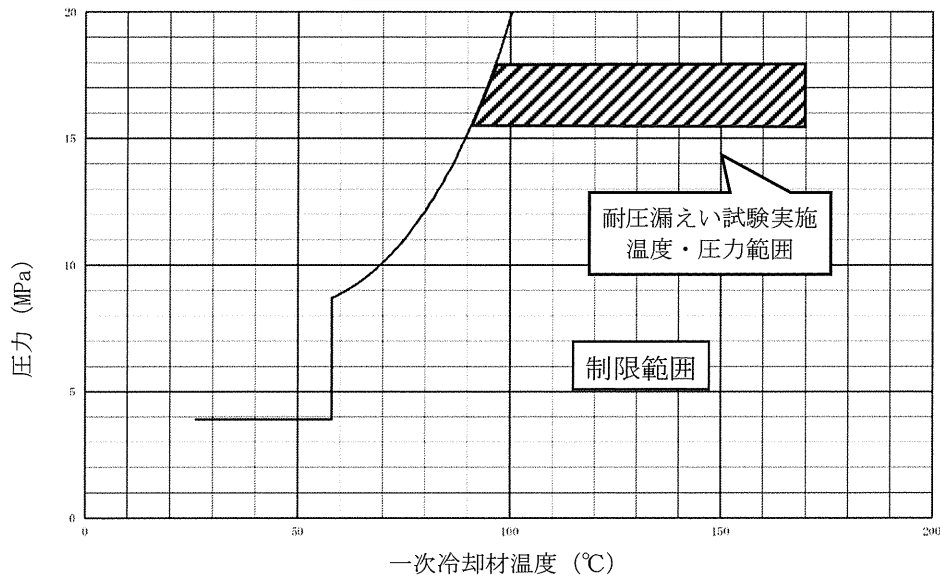


図2.3-4(2/2) 川内2号炉 原子炉容器本体胴部(炉心領域部)中性子照射脆化に対するPTS評価結果
[照射脆化の将来予測を伴わない実測データに基づく評価]



一次冷却材温度 (°C)
通常運転時の加熱制限曲線

一次冷却材温度 (°C)
通常運転時の冷却制限曲線



一次冷却材温度 (°C)
試験時の加熱制限曲線

一次冷却材温度 (°C)
試験時の冷却制限曲線

図2.3-5 川内2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（JEAC4201の国内USE予測式）を用いて、運転開始後60年時点での上部棚吸収エネルギー予測値を評価した。

その結果、表2.3-7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ことを確認した。

表2.3-7 川内2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 (2020年3月末) *1	運転開始後 60年時点*1
母 材	L方向*2	222	197	193
	T方向*3	229	205	202
溶接金属	溶接線に 直角方向	247	197	191

*1：板厚の1/4深さでの予測値

*2：圧延方向（参考値）

*3：試験片の長手方向が圧延方向に直角

② 現状保全

原子炉容器本体に対しては、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。

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、J E A C 4 2 0 1に基づいて、計画的に監視試験を実施し、将来の破壊靱性の変化を先行把握している。川内2号炉は、当初監視試験カプセルを6体挿入し、現在までに4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い、原子炉容器本体の健全性を評価している。

また、監視試験結果から、J E A C 4 2 0 6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得る温度・圧力の範囲（加熱冷却制限曲線）及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及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、また有意な欠陥が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、J E A C 4 2 0 1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、J E A C 4 2 0 6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得る温度・圧力の範囲（加熱冷却制限曲線）及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5回監視試験を実施する。

2 加 圧 器

[対象部位]

2.1 加圧器本体

2.2 加圧器ヒータ

川内2号炉で使用されている加圧器の部位は、本体及びヒータに大きく分類されるため、技術評価書においては、これら対象部位2種類についての技術評価を行う。

本技術評価書では、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 加压器本体

目 次

1. 対象機器	1
2. 加圧器本体の技術評価	2
2.1 構造、材料及び使用条件	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	13

1. 対象機器

川内2号炉で使用されている加圧器本体の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 川内2号炉 加圧器本体の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件		
		運 転	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
加圧器本体 (1)	PS-1、重*2	連 続	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及び構造物であることを示す

2. 加圧器本体の技術評価

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 加圧器本体

(1) 構造

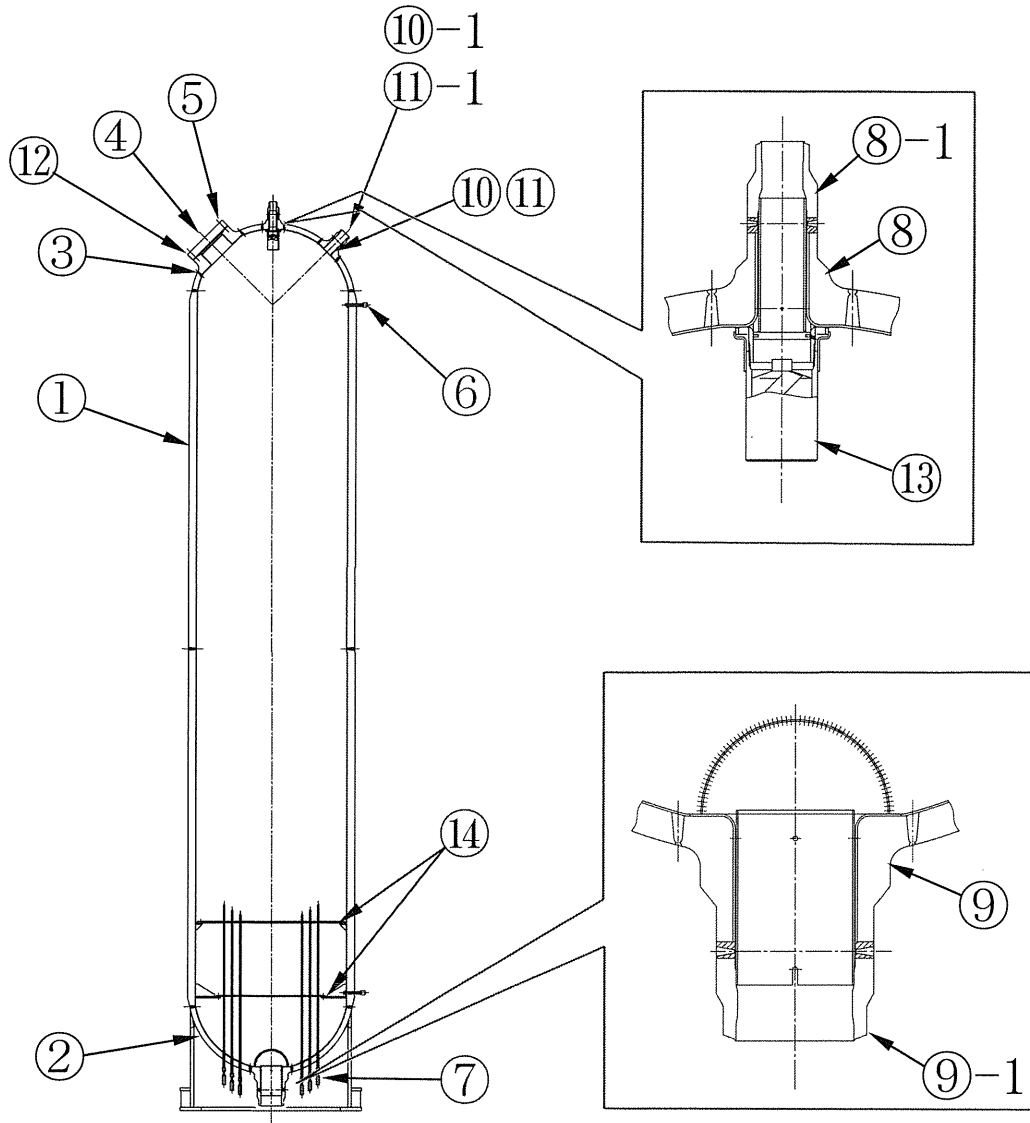
川内2号炉の加圧器本体は、たて置円筒形である。

胴板と鏡板で構成されており、主要部分は全溶接構造にて製作している。また、1次冷却材と接する内面は、ステンレス鋼の内張りをしている。川内2号炉の加圧器本体の構造図を図2.1-1に示す。

なお、加圧器本体の各管台のうち、スプレイライン用管台、サージ用管台並びに安全弁及び逃がし弁用管台については、第19回定期検査時（2010年度）に管台の取替えを実施しており、溶接金属を600系ニッケル基合金から690系ニッケル基合金へと変更している。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の加圧器本体の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部 位
①	胴 板
②	鏡 板
③	マンホール座
④	マンホールふた
⑤	マンホールボルト
⑥	計測用管台
⑦	ヒータスリーブ
⑧	スプレライン用管台
⑧-1	スプレライン用管台セーフエンド
⑨	サージ用管台
⑨-1	サージ用管台セーフエンド
⑩	安全弁用管台
⑩-1	安全弁用管台セーフエンド
⑪	逃がし弁用管台
⑪-1	逃がし弁用管台セーフエンド
⑫	ガスケット
⑬	スプレイノズル
⑭	ヒータサポートプレート

図2.1-1 川内2号炉 加圧器本体構造図

表2.1-1 川内2号炉 加圧器本体主要部位の使用材料

部 位	材 料
胴 板 鏡 板	低合金鋼 (ステンレス鋼内張り)
マンホール座	低合金鋼 (ステンレス鋼内張り)
マンホールふた	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
ガスケット	消耗品・定期取替品
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

表2.1-2 川内2号炉 加圧器本体の使用条件

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

加圧器本体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

加圧器本体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）及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、圧力及び流量変化により、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。

2.2.3 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△又は▲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、又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)又は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

加圧器本体のマンホールシート部は、狭あい部でありピittingの発生が考えられる。

しかしながら、一度運転に入ると高温状態となりシール部のステンレス鋼肉盛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。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、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、内部流体による腐食が考えられる。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、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。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、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、応力腐食割れが発生する可能性がある。

しかしながら、川内2号炉の加圧器本体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、川内2号炉においては、水素注入や脱塩処理により、1次系水質を維持し、プラント起動時等のサンプリング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系ニッケル基合金製であり、316系ステンレス鋼製である川内2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が発生する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系ステンレス鋼製であり、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、川内2号炉のヒータスリーブ（316系ステンレス鋼製）については、電力共同研究で当該部を想定した最も厳しい酸素型応力腐食割れ発生環境中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お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。

- (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及び安全弁用管台において、600系ニッケル基合金溶接部の応力腐食割れが発生している。

川内2号炉のスプレイライン用管台、サージ用管台並びに安全弁及び逃がし弁用管台は第19回定期検査時(2010年度)に690系ニッケル基合金に取替えを実施しており、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、現時点の知見において、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、溶接部を対象とした超音波探傷検査及び浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

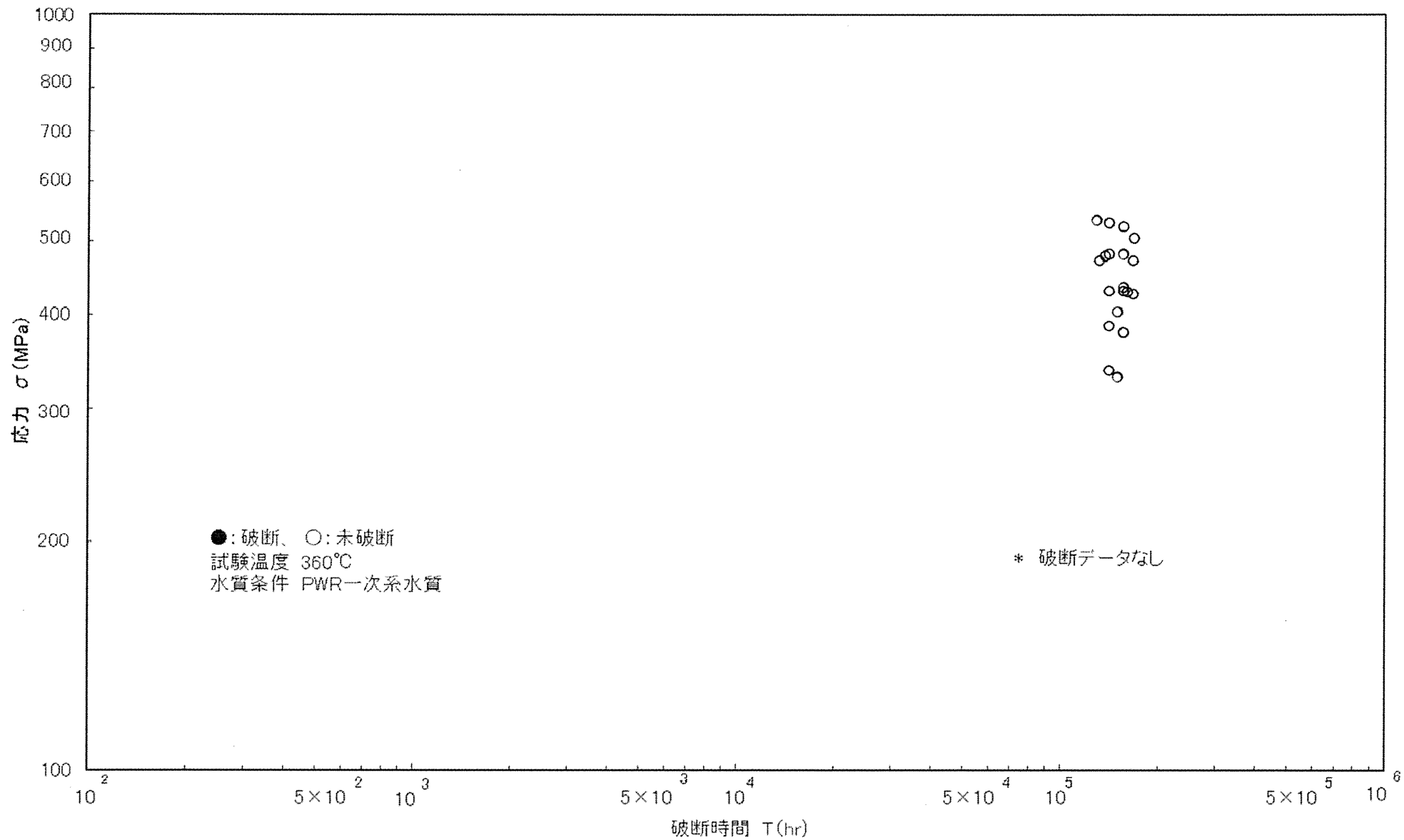


図2.2-1 690系ニッケル基合金の定荷重応力腐食割れ (SCC) 試験結果

[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) スプレイノズルの熱時効

加圧器本体スプレイノズルに使用しているステンレス鋼鋳鋼については、熱時効による材料特性変化を起こす可能性がある。

しかしながら、耐圧部材ではないこと、外荷重を受けないため発生する応力は十分小さいことから、熱時効による材料特性の変化が問題となることはなく、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(7) 鏡板等低合金鋼部の内張り下層部のき裂

鏡板、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（SA508 Cl. 2）では大入熱溶接を用いた肉盛で溶接後熱処理が行われると局部的にき裂が発生することが米国 P V R C（Pressure Vessel Research Council）の研究により確認されている。これは肉盛溶接の際、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。

川内2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、き裂が発生する可能性は小さく、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

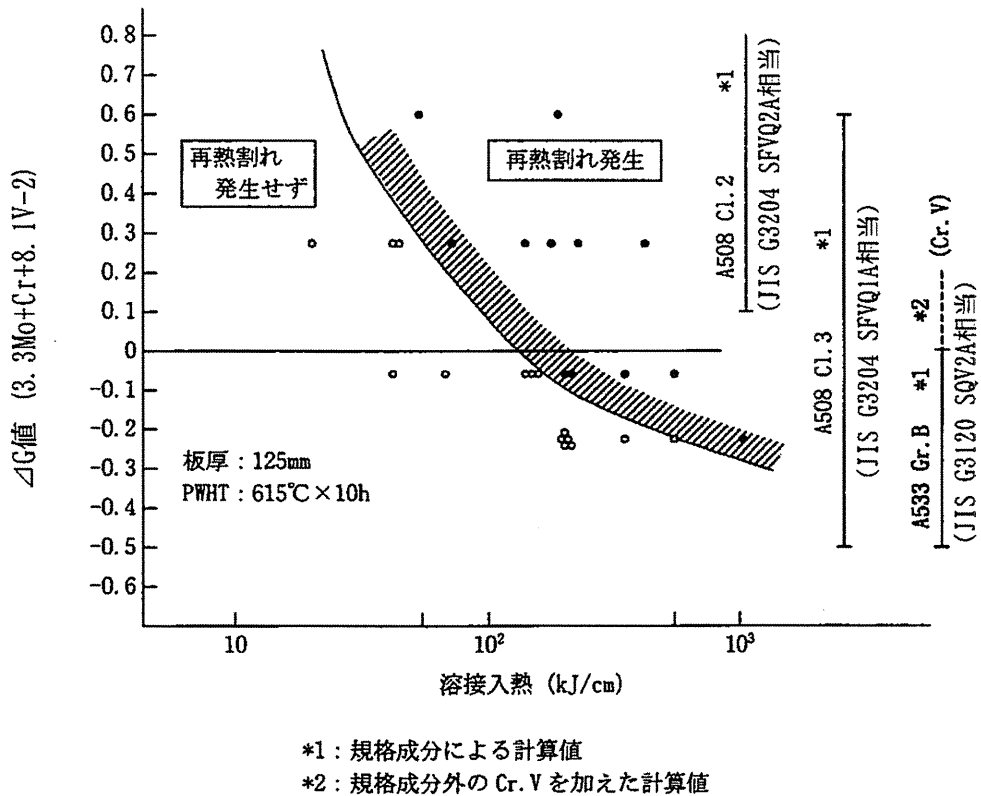


図2.2-2 再熱割れ発生に及ぼす ΔG 値及び溶接入熱の影響

[出典：三菱重工技報 Vol.14 No.1 (1977-1)]

2.2.4 消耗品及び定期取替品

ガスケットは開放点検時に取り替えている消耗品であり、長期使用はせず取替え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 川内2号炉 加圧器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	応力腐蝕れ	熱時効	劣 化		
バウンダリの維持	胴板、鏡板		低合金鋼 (ステン鋼内張り)							▲*1	*1：内張り下層部のき裂 *2：ピitting *3：インサートプレートにより接触しない
	マンホール座		低合金鋼 (ステン鋼内張り)		△*2					▲*1	
	マンホールふた		低合金鋼*3								
	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 (ステン鋼内張り) セーフエントはステン鋼 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 (ステン鋼内張り) セーフエントはステン鋼 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 (ステン鋼内張り) セーフエントはステン鋼 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 (ステン鋼内張り) セーフエントはステン鋼 溶接金属は690系 ニッケル基合金				△ (溶接金属)			▲*1	
ガスケット	◎	-									
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・停止時等による熱過渡を繰り返すため、疲労が蓄積する可能性がある。

b. 技術評価

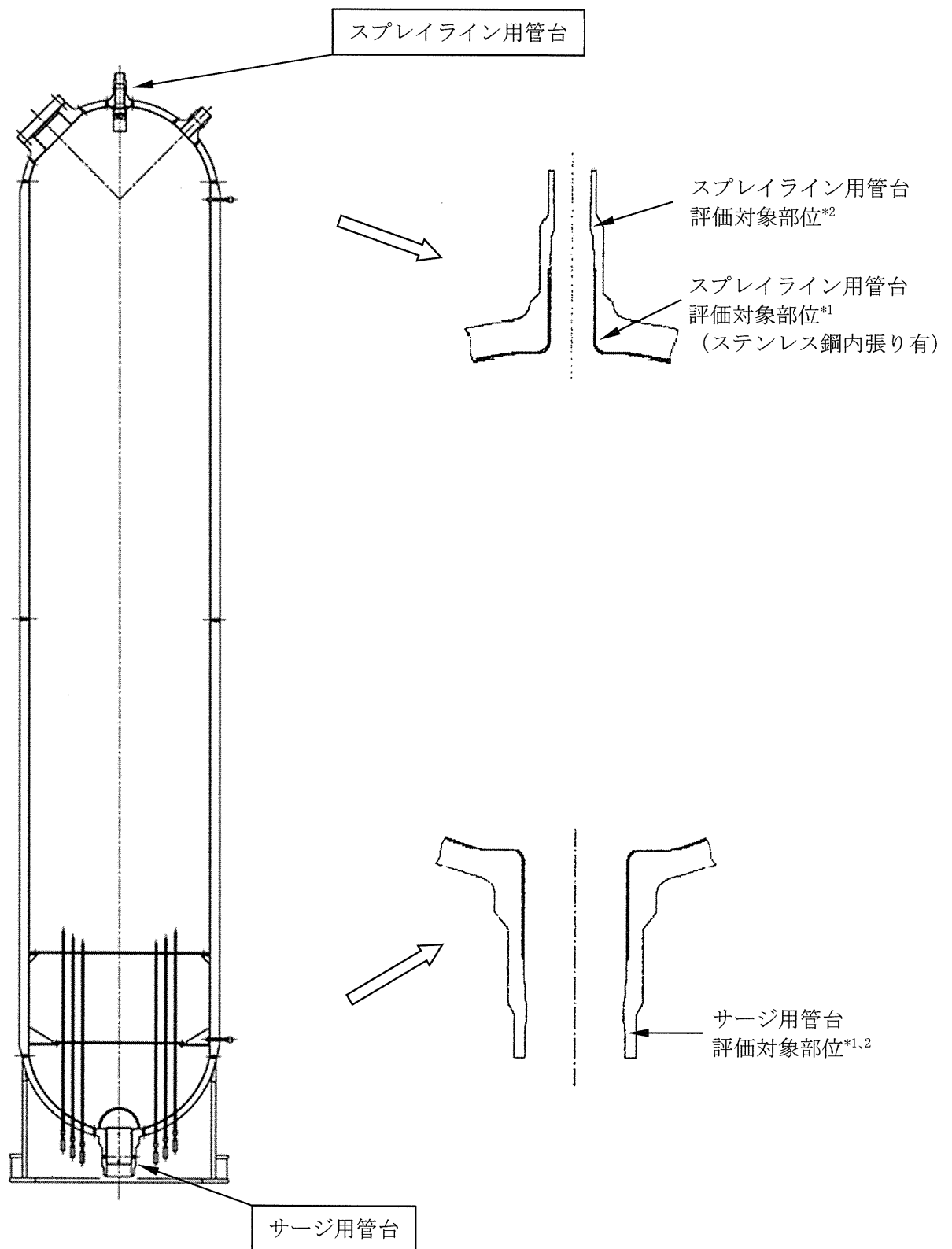
① 健全性評価

スプレイ注水時又はインサージ（1次冷却材管から加圧器本体への流れ）やアウトサージ（加圧器本体から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及びサージ用管台を対象として、「(社)日本機械学会 設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007)」に基づき疲労評価を行った。

また、使用環境を考慮した疲労については、「(社)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。

評価対象部位を図2.3-1に、疲労評価に用いた運転開始後60年時点での推定過渡回数を表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。

それぞれの評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果を得た。



*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 川内2号炉 加圧器本体の疲労評価対象部位

表2.3-1 川内2号炉 加圧器本体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	
	2020年3月末時点	運転開始後60年 時点での推定値
起動（温度上昇率55.6℃/h）	36	69
停止（温度下降率55.6℃/h）	34	69
負荷上昇（負荷上昇率5%/min）	322	824
負荷減少（負荷減少率5%/min）	313	815
90%から100%へのステップ状負荷上昇	1	3
100%から90%へのステップ状負荷減少	2	4
100%からの大きいステップ状負荷減少	1	3
定常負荷運転時の変動*1	—	—
燃料交換	24	63
0%から15%への負荷上昇	35	67
15%から0%への負荷減少	28	60
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	
	2020年3月末時点	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	1	7
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	2	2
1次系漏えい試験	31	64

*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 $\pm 0.34\text{MPa}$ 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 川内2号炉 加圧器本体スプレライン用管台等の疲労評価結果

評価部位	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
スプレライン用管台	0.049	0.050*1
サージ用管台	0.034	0.206

*1：熱成層による発生応力を含めた解析結果であり、設計・建設規格に基づく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及び浸透探傷検査により、有意な欠陥がないことを確認し、漏えい検査により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、定期的に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、疲労割れは超音波探傷検査及び浸透探傷検査で検知可能であり、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 加圧器ヒータ（後備ヒータ）

目 次

1. 対象機器	1
2. 加圧器ヒータ（後備ヒータ）の技術評価	2
2.1 構造、材料及び使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	6

1. 対象機器

川内2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 川内2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 ($^{\circ}$ C)
加圧器ヒータ (後備ヒータ) (57)	MS-2	約22 \times 約2,432	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. 加圧器ヒータ（後備ヒータ）の技術評価

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 加圧器ヒータ（後備ヒータ）

(1) 構造

加圧器ヒータ（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られており、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、チューブ及びターミナルに接続されている。電力は端子部に接続されたケーブルからチューブ及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をシールすることで外部の湿気がヒータシース内部に侵入しないようにしている。

セラミック絶縁、セラミックブロック及びゴムカバーはヒータ端末部の絶縁を維持するためのものである。

川内2号炉の加圧器ヒータ（後備ヒータ）の加圧器本体への取付構造図を図2.1-1に、加圧器ヒータ（後備ヒータ）の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の加圧器ヒータ（後備ヒータ）の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。

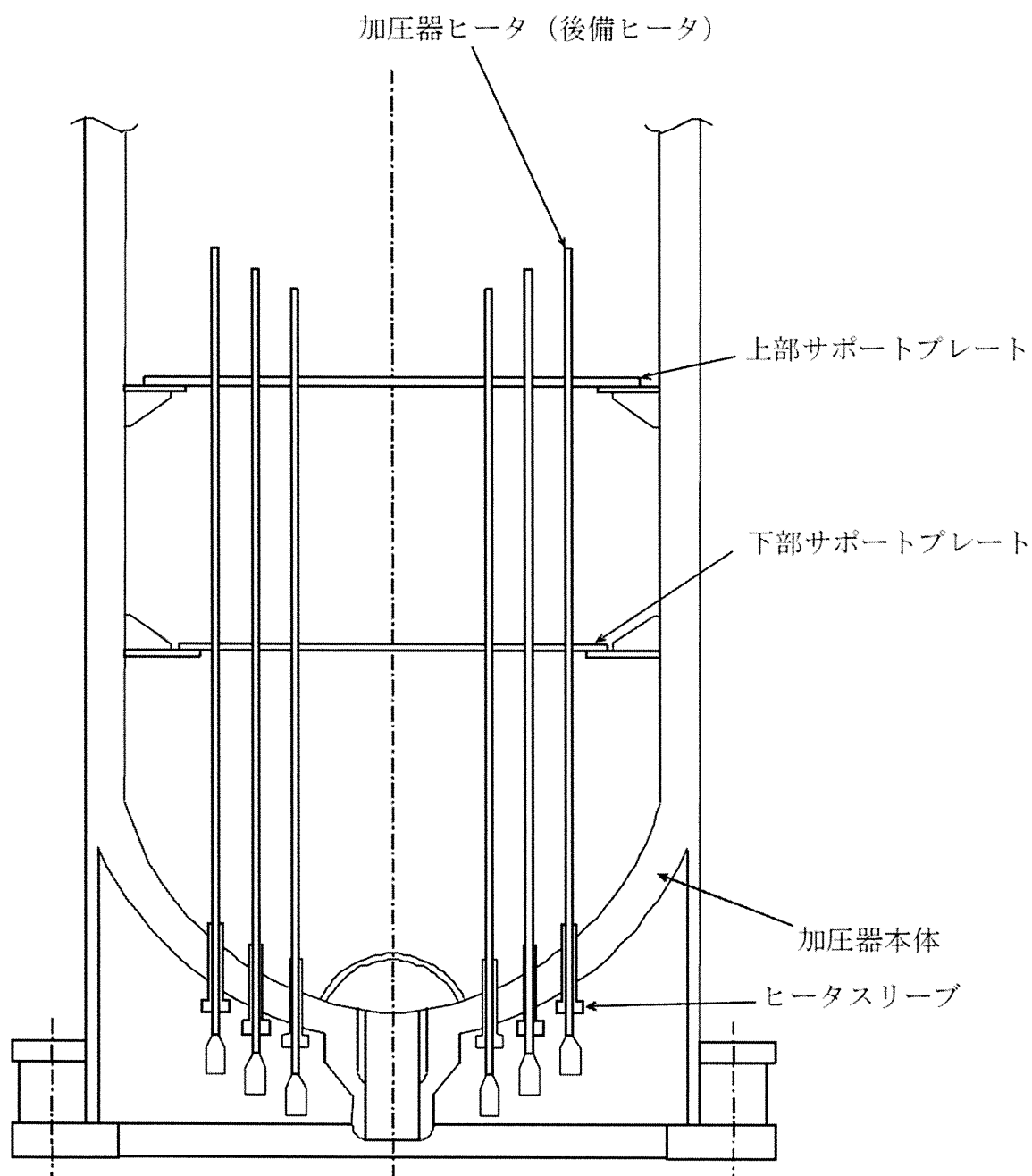
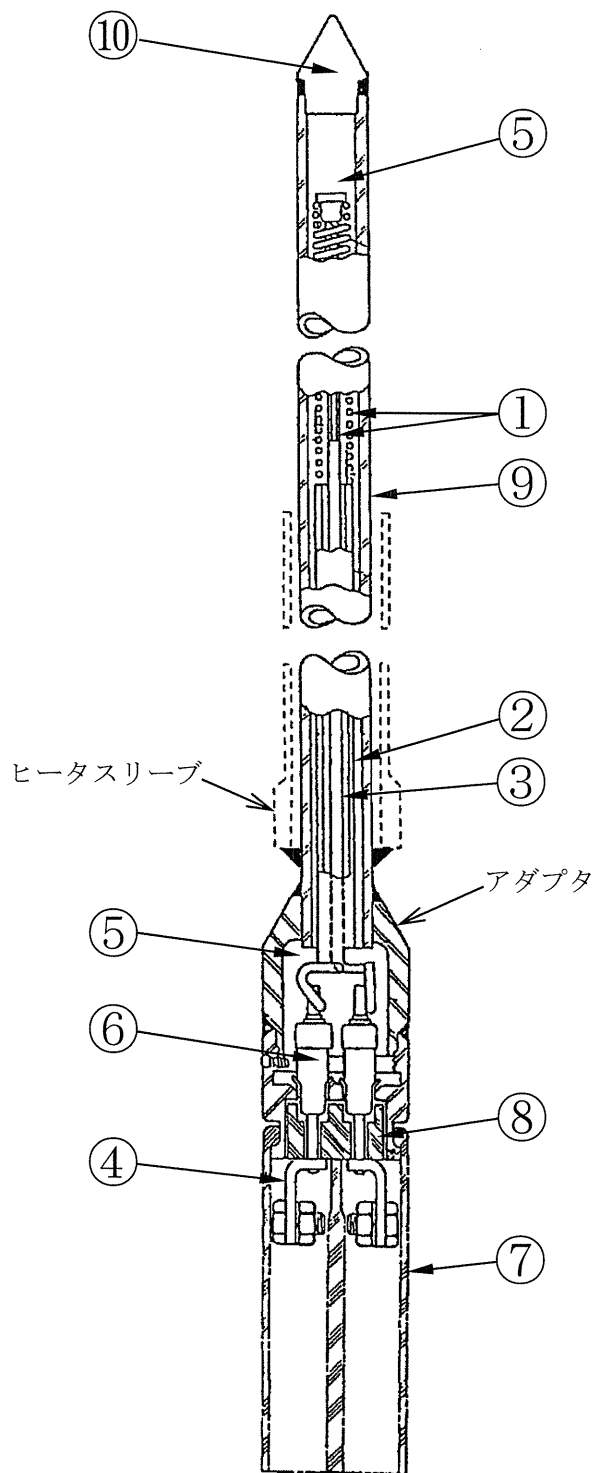


図2.1-1 川内2号炉 加圧器ヒータ (後備ヒータ) の加圧器本体への取付構造図



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

図2.1-2 川内2号炉 加圧器ヒータ（後備ヒータ）の構造図

表2.1-1 川内2号炉 加圧器ヒータ（後備ヒータ）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
ゴムカバー	消耗品・定期取替品
セラミックブロック	セラミックス
ヒータシース	ステンレス鋼
エンドプラグ	ステンレス鋼

表2.1-2 川内2号炉 加圧器ヒータ（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

加圧器ヒータ（後備ヒータ）としての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 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

加圧器ヒータ（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、使用条件及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、又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)又は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、チューブ及びターミナルの導通不良

ヒータエレメント、チューブ及びターミナルは、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、疲労割れにより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、ボルトが緩むことで導通不良に至る可能性がある。

しかしながら、定期的に緩みの有無を確認しており、これま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。

(3) 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、加圧器ヒータ（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：Kingery・Bowen・Uhlmann セラミックス材料科学入門 基礎編）。

また、加圧器ヒータ（後備ヒータ）はMgO絶縁の吸湿防止のため、セラミック絶縁とアダプタでシールしており、外部の湿気がヒータケース内部に侵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、定期的な絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(4) セラミック絶縁及びセラミックブロックの絶縁低下

セラミック絶縁及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が、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保護され、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。

(5) ヒータシース、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。

川内2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難い。また、エンドプラグの表面は機械加工を行っているが、内部まで硬くはないことから、応力腐食割れが進展することは考え難い。

以上のことから、ヒータシース、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、定期的な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がないことを確認している。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

ゴムカバーは目視確認の結果に基づき取り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 川内2号炉 加圧器ヒータ（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 (酸化マグネシウム)					△				
	セラミック絶縁		セラミックス					△				
	ゴムカバー	◎	—									
	セラミックブロック		セラミックス					△				
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

川内 2 号炉で使用されている原子炉格納容器の部位は、本体及び貫通部に大きく分かれ、型式等でグループ化すると 3 個のグループに分類されるため、技術評価書においては、これら対象部位 3 種類についての技術評価を行う。

本技術評価書では、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 原子炉格納容器本体

目 次

1. 対象機器	1
2. 原子炉格納容器本体の技術評価	2
2.1 構造、材料及び使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	5

1. 対象機器

川内2号炉で使用されている原子炉格納容器本体の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 川内2号炉 原子炉格納容器本体の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件		
		運 転	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
原子炉格納容器本体 (1)	MS-1、重*2	連 続	約0.245	約127

*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及び構造物であることを示す

2. 原子炉格納容器本体の技術評価

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 原子炉格納容器本体

(1) 構造

川内2号炉の原子炉格納容器本体は、LOCA時の耐圧及び漏えい防止機能をもつ上部半球、下部さら形鏡円筒形の容器である。

主要部分是小ブロック鋼板の溶接構造にて製作している。

また、鋼板の内面及び外面については防錆のために塗装を施しており、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。

川内2号炉の原子炉格納容器本体の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の原子炉格納容器本体の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。

No.	部 位
①	半 球 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

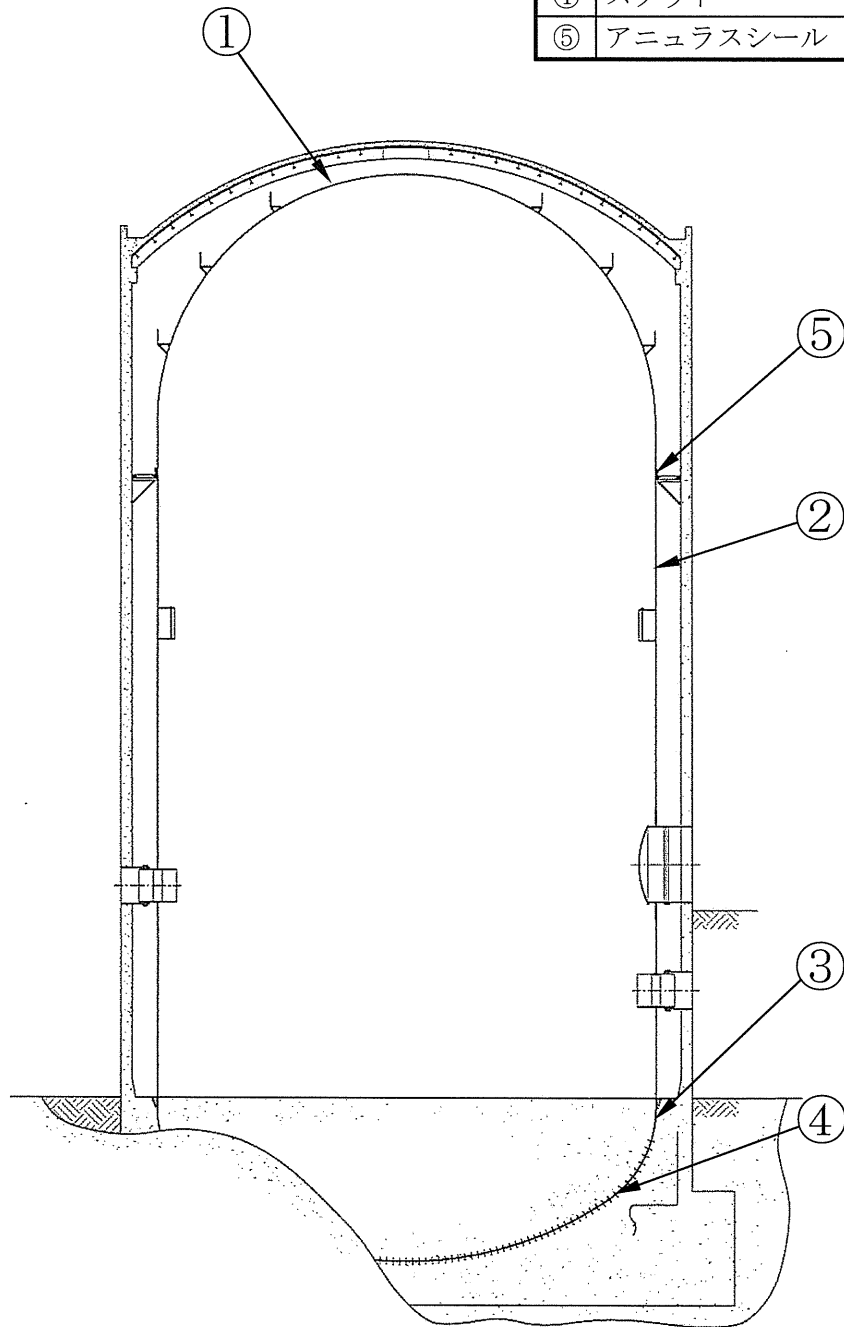


図2.1-1 川内2号炉 原子炉格納容器本体構造図

表2.1-1 川内2号炉 原子炉格納容器本体主要部位の使用材料

部 位	材 料
半 球 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	消耗品・定期取替品

表2.1-2 川内2号炉 原子炉格納容器本体の使用条件

最高使用圧力	約0.245MPa[gage]
最高使用温度	約127℃
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

原子炉格納容器本体の機能である耐圧・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

原子炉格納容器本体について、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）及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△又は▲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、又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)又は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) 原子炉格納容器本体（半球部及び円筒部）の腐食（全面腐食）

半球部及び円筒部については、屋外大気に曝されておらず、塗装の健全性確認を行っていれば腐食は問題とならない。また、定期的に原子炉格納容器漏えい率検査によりバウンダリ機能の健全性を確認するとともに、目視確認により塗装の健全性を確認している。さらに原子炉格納容器本体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、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（接近できる点検可能範囲の全て）について、目視試験により塗膜状態を確認した結果、原子炉格納容器の構造健全性又は気密性に影響を与える恐れのある塗膜の劣化や腐食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) 原子炉格納容器本体の疲労割れ

原子炉格納容器本体は、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、運転中の温度変化及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検査によりバウンダリ機能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) 原子炉格納容器本体（コンクリート埋設部）の腐食

原子炉格納容器本体は炭素鋼を使用しており、塗装のはく離や埋設部のコンクリート中性化等により、腐食が発生する可能性がある。

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、腐食速度としては小さい環境にある。

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、仮に中性化が進行しても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、今後も機能の維持は可能であることから、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 消耗品及び定期取替品

アニュラスシールは、目視確認等の結果に基づき取り替えている消耗品であり、長期使用はせず取替え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 川内2号炉 原子炉格納容器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		
バウンダリの維持	半 球 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. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	9
2.1 構造、材料及び使用条件	9
2.2 経年劣化事象の抽出	24
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	40
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	40
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	42

1. 対象機器及び代表機器の選定

川内2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及び結果

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口径が大きく、かつプラントの起動・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口径が大きく、かつプラントの起動・停止等に伴い有意な熱過渡を受ける主蒸気管貫通部及び主給水管貫通部を代表機器とする。

(3) 型式：円筒二重ガスケット単ふた式

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：円筒二重扉式

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 (1/7) 川内2号炉 機械ペネトレーションの主な仕様

型式	貫通部 番号	貫通配管貫通部・機器名	仕 様 配管口径 (mm)	選 定 基 準		選定	選定理由	
				重要度*1	使 用 条 件*2			
					最高使用圧力 (MPa[gage])			最高使用温度 (°C)
固定式 配管貫通部	151	余熱除去出口配管貫通部	約318.5	MS-1、重*3	約0.245	約200	◎ ◎ 口径、高温 口径、高温	
	156	余熱除去出口配管貫通部	約318.5			約200		
	220	A事故後1次冷却材サブリング戻り配管貫通部	約 27.2			約127		
	221	消火用配管貫通部	約114.3			約127		
	222	蓄圧タンクテスト配管貫通部	約 27.2			約150		
	223	A 1次冷却材ポンプ封水注入配管貫通部	約 48.6			約127		
	224	蓄圧タンクサンプル配管貫通部	約 27.2			約150		
	225	制御棒位置指示装置盤室冷却ユニット冷却水 出口配管貫通部	約 48.6			約127		
	227	制御棒位置指示装置盤室冷却ユニット冷却水 入口配管貫通部	約 48.6			約127		
	228	1次冷却材管低温側高圧注入配管貫通部 (補助注入配管)	約 89.1			約150		
	231	1次冷却材管高温側高圧注入配管貫通部 (補助注入配管)	約 89.1			約150		
	234	1次冷却材管低温側高圧注入配管貫通部 (ほう酸注入タンク出口側より)	約 89.1			約150		
	236	1次冷却材管高温側高圧注入配管貫通部 (ほう酸注入タンク入口側より)	約 89.1			約150		
	237	B 1次冷却材ポンプ封水注入配管貫通部	約 48.6			約127		
	239	蓄圧タンク充てん配管貫通部	約 34.0			約150		
240	抽出配管貫通部	約 60.5	約200					

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：使用条件は原子炉格納容器の値（約127°C、約0.245MPa）より小さいものは原子炉格納容器の値とする

*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及び構造物であることを示す

表1-1 (2/7) 川内2号炉 機械ペネトレーションの主な仕様

型式	貫通部 番号	貫通配管貫通部・機器名	仕 様 配管口径 (mm)	選 定 基 準		選定	選定理由	
				重要度*1	使 用 条 件*2			
					最高使用圧力 (MPa[gage])			最高使用温度 (°C)
固定式 配管貫通部	253	1次冷却材ポンプ封水戻り配管貫通部	約 89.1	MS-1、重*3	約0.245	約127		
	254	B制御用空気配管貫通部	約 60.5			約127		
	255	充てん配管貫通部	約 89.1			約127		
	257	C 1次冷却材ポンプ封水注入配管貫通部	約 48.6			約127		
	258	1次冷却材サンプル配管 (及び事故後1次冷却材サンプル配管) 貫通部	約 27.2			約343		
		加圧器液相部サンプル配管 (及び事故後1次冷却材サンプル配管) 貫通部	約 27.2			約360		
		加圧器蒸気部サンプル配管貫通部	約 27.2			約360		
	259	加圧器逃がしタンク窒素供給配管貫通部	約 34.0			約127		
		格納容器圧力取出し配管貫通部 (スプレー用)	約 27.2			約127		
	261	格納容器冷却材ドレンタンクヘッド連絡管貫通部	約 34.0			約127		
	262	加圧器逃がしタンク純水補給配管貫通部	約 89.1			約127		
	264	格納容器サンプポンプ出口配管貫通部	約 60.5			約127		
	267	格納容器冷却材ドレンタンクガス分析器 連絡管貫通部	約 27.2			約127		
		加圧器逃がしタンクガス分析管貫通部	約 27.2			約170		
	268	格納容器冷却材ドレン冷却器冷却水出口配管 貫通部	約114.3			約127		
	269	格納容器冷却材ドレンタンク出口配管貫通部	約 89.1			約127		
270	A蒸気発生器ECT用貫通部	約216.3	約127					
271	B、C蒸気発生器ECT用貫通部	約216.3	約127					

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：使用条件は原子炉格納容器の値（約127°C、約0.245MPa）より小さいものは原子炉格納容器の値とする

*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及び構造物であることを示す

表1-1 (3/7) 川内2号炉 機械ペネトレーションの主な仕様

型式	貫通部 番号	貫通配管貫通部・機器名	仕 様 配管口径 (mm)	選 定 基 準		選定	選定理由	
				重要度*1	使 用 条 件*2			
					最高使用圧力 (MPa[gage])			最高使用温度 (°C)
固定式 配管貫通部	272	B事故後1次冷却材ポンプリング戻り配管貫通部	約 27.2	MS-1、重*3	約0.245	約127		
	321	格納容器圧力取出し配管貫通部 (スプレイ用)	約 27.2			約127		
	324	炉内計装用炭酸ガス配管貫通部	約 27.2			約127		
	325	格納容器圧力逃がし系ドレン配管貫通部	約 27.2			約127		
	326	格納容器圧力逃がし系ドレン配管貫通部	約 27.2			約127		
	327	1次冷却材ポンプ消火用炭酸ガス配管貫通部	約 89.1			約127		
	328	格納容器空気ポンプリング取出し配管貫通部	約 48.6			約127		
	330	格納容器圧力取出し配管貫通部 (AM用)	約 27.2			約127		
	331	漏えい試験圧力取出し配管貫通部	約 27.2			約127		
	333	格納容器圧力取出し配管貫通部 (真空逃がし、圧力逃がし装置用)	約 27.2			約127		
	334	制御棒クラス駆動装置冷却ユニット冷却水出口配 管貫通部	約114.3			約127		
	335	制御棒クラス駆動装置冷却ユニット冷却水出口配 管貫通部	約114.3			約127		
	336	制御棒クラス駆動装置冷却ユニット冷却水入口配 管貫通部	約114.3			約127		
	351	原子炉キャビティ水浄化ライン入口配管貫通部	約114.3			約127		
	353	1次系補助蒸気配管貫通部	約 48.6			約185		
	354	格納容器空気ポンプリング戻り配管貫通部	約 48.6			約127		
355	蓄圧タンク窒素充てん配管貫通部	約 34.0	約127					
356	A制御用空気配管貫通部	約 60.5	約127					

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：使用条件は原子炉格納容器の値 (約127°C、約0.245MPa) より小さいものは原子炉格納容器の値とする

*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及び構造物であることを示す

表1-1 (4/7) 川内2号炉 機械ペネトレーションの主な仕様

型式	貫通部 番号	貫通配管貫通部・機器名	仕 様 配管口径 (mm)	選 定 基 準		選定	選定理由	
				重要度*1	使 用 条 件*2			
					最高使用圧力 (MPa[gage])			最高使用温度 (°C)
固定式 配管貫通部	357	A蒸気発生器ブローダウンポンプ配管貫通部	約 27.2	MS-1、重*3	約0.245	約291		
		B蒸気発生器ブローダウンポンプ配管貫通部	約 27.2			約291		
		C蒸気発生器ブローダウンポンプ配管貫通部	約 27.2			約291		
	360	C蒸気発生器ブローダウンポンプ配管貫通部	約 89.1			約291		
	362	余剰抽出冷却器冷却水入口配管貫通部	約114.3			約127		
	363	余剰抽出冷却器冷却水出口配管貫通部	約 89.1			約127		
	364	A蒸気発生器ブローダウンポンプ配管貫通部	約 89.1			約291		
	365	格納容器圧力取出し配管貫通部 (スプレー用)	約 27.2			約127		
	366	加圧器圧力校正配管貫通部	約 27.2			約360		
	367	B蒸気発生器ブローダウンポンプ配管貫通部	約 89.1			約291		
	369	脱塩水配管貫通部	約 60.5			約127		
	370	格納容器圧力取出し配管貫通部 (スプレー用)	約 27.2			約127		
	371	所内用空気配管貫通部	約 60.5			約127		
	401	工事用酸素配管貫通部	約 27.2			約127		
	402	格納容器圧力取出し配管貫通部 (真空逃がし、圧力逃がし系統用)	約 27.2			約127		
	403	真空逃がし配管貫通部	約 610			約127		
	404	工事用アセチレン配管貫通部	約 27.2			約127		
	405	工事用アルゴン配管貫通部	約 27.2			約127		
406	UTマシン電線用配管貫通部	約216.3	約127					
407	真空逃がし配管貫通部	約 610	約127					

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：使用条件は原子炉格納容器の値（約127°C、約0.245MPa）より小さいものは原子炉格納容器の値とする

*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及び構造物であることを示す

表1-1 (5/7) 川内2号炉 機械ペネトレーションの主な仕様

型式	貫通部 番号	貫通配管貫通部・機器名	仕 様 配管口径 (mm)	選 定 基 準		選定	選定理由	
				重要度*1	使 用 条 件*2			
					最高使用圧力 (MPa[gage])			最高使用温度 (°C)
固定式 配管貫通部	408	UTマシン電線用配管貫通部	約216.3	MS-1、重*3	約0.245	約127		
	409	漏えい試験圧力取出し配管貫通部	約 27.2			約127		
	410	漏えい試験空気出口配管貫通部	約165.2			約127		
	411	漏えい試験空気入口配管貫通部	約165.2			約127		
	413	格納容器スプレイ配管貫通部	約267.4			約150		
	415	A格納容器水素ツブリング取出し配管貫通部	約 27.2			約127		
		A格納容器水素ツブリング戻り配管貫通部	約 27.2			約127		
	416	格納容器水素パージ給気配管貫通部	約 60.5			約127		
	417	格納容器排気ダクト貫通部	約 1,218			約127		
	421	B格納容器水素ツブリング取出し配管貫通部	約 27.2			約127		
		B格納容器水素ツブリング戻り配管貫通部	約 27.2			約127		
	422	格納容器スプレイ配管貫通部	約267.4			約150		
	423	格納容器水素パージ給気配管貫通部	約 60.5			約127		
	425	格納容器給気ダクト貫通部	約 1,218			約127		
	426	格納容器作業用排気ダクト貫通部	約 718			約127		
-	予備貫通部	-	約127					

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：使用条件は原子炉格納容器の値（約127°C、約0.245MPa）より小さいものは原子炉格納容器の値とする

*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及び構造物であることを示す

表1-1 (6/7) 川内2号炉 機械ペネトレーションの主な仕様

型式	貫通部 番号	貫通配管貫通部・機器名	仕 様 配管口径 (mm)	選 定 基 準		選定	選定理由	
				重要度*1	使 用 条 件*2			
					最高使用圧力 (MPa[gage])			最高使用温度 (°C)
伸縮式 配管貫通部	302	A主蒸気管貫通部	約772.0	MS-1、重*3	約0.245	約291	◎	口径、高温
	304	B主蒸気管貫通部	約772.0			約291	◎	口径、高温
	306	C主蒸気管貫通部	約772.0			約291	◎	口径、高温
	301	A主給水管貫通部	約406.4			約291	◎	口径、高温
	303	B主給水管貫通部	約406.4			約291	◎	口径、高温
	305	C主給水管貫通部	約406.4			約291	◎	口径、高温
	152	格納容器再循環配管貫通部	約355.6			約127		
	153	格納容器再循環配管貫通部	約355.6			約127		
	154	格納容器再循環配管貫通部	約355.6			約127		
	155	格納容器再循環配管貫通部	約355.6			約127		
	226	1次冷却材管低温側低圧注入配管貫通部	約267.4			約200		
	229	原子炉キャビティ水浄化ライン出口配管貫通部	約165.2			約127		
	230	1次冷却材管高温側低圧注入配管貫通部	約267.4			約200		
	232	1次冷却材管低温側低圧注入配管貫通部	約267.4			約200		
	233	A格納容器圧力逃がし配管貫通部	約165.2			約127		
	235	B格納容器圧力逃がし配管貫通部	約165.2			約127		
	260	C、D格納容器空調装置冷却水入口配管貫通部	約165.2			約127		
	265	D格納容器空調装置冷却水出口配管貫通部	約165.2			約127		

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：使用条件は原子炉格納容器の値（約127°C、約0.245MPa）より小さいものは原子炉格納容器の値とする

*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及び構造物であることを示す

表1-1 (7/7) 川内2号炉 機械ペネトレーションの主な仕様

型式	貫通部 番号	貫通配管貫通部・機器名	仕 様 配管口径 (mm)	選 定 基 準			選定	選定理由
				重要度*1	使 用 条 件*2			
					最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)		
伸縮式 配管貫通部	266	C格納容器空調装置冷却水出口配管貫通部	約165.2	MS-1、重*3	約0.245	約127		
	329	1次冷却材ポンプ及びモータ冷却水出口配管貫通部	約267.4			約127		
	332	1次冷却材ポンプ及びモータ冷却水入口配管貫通部	約267.4			約127		
	358	A、B格納容器空調装置冷却水入口配管貫通部	約165.2			約127		
	359	B格納容器空調装置冷却水出口配管貫通部	約165.2			約127		
	361	A格納容器空調装置冷却水出口配管貫通部	約165.2			約127		
円筒二重 ガスケット単ふた式	450	機器搬入口	約 6,000*4	MS-1、重*3	約0.245	約127	◎	
円筒二重扉式	350	通常用エアロック	約 2,542*4	MS-1、重*3	約0.245	約127	◎	常用
	400	非常用エアロック	約 2,542*4			約127		
燃料移送管 貫通部	200	燃料移送管貫通部	約558.8	MS-1、重*3	約0.245	約127	◎	

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：使用条件は原子炉格納容器の値（約127°C、約0.245MPa）より小さいものは原子炉格納容器の値とする

*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及び構造物であることを示す

*4：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（固定式配管貫通部）
- ② 主蒸気管貫通部及び主給水管貫通部（伸縮式配管貫通部）
- 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、材料及び使用条件

2.1.1 余熱除去出口配管貫通部（固定式配管貫通部）

(1) 構造

川内2号炉の余熱除去出口配管貫通部（固定式配管貫通部）は、スリーブと貫通配管及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。

川内2号炉の余熱除去出口配管貫通部（固定式配管貫通部）の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の余熱除去出口配管貫通部（固定式配管貫通部）の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。

No.	部 位
①	端 板
②	スリーブ

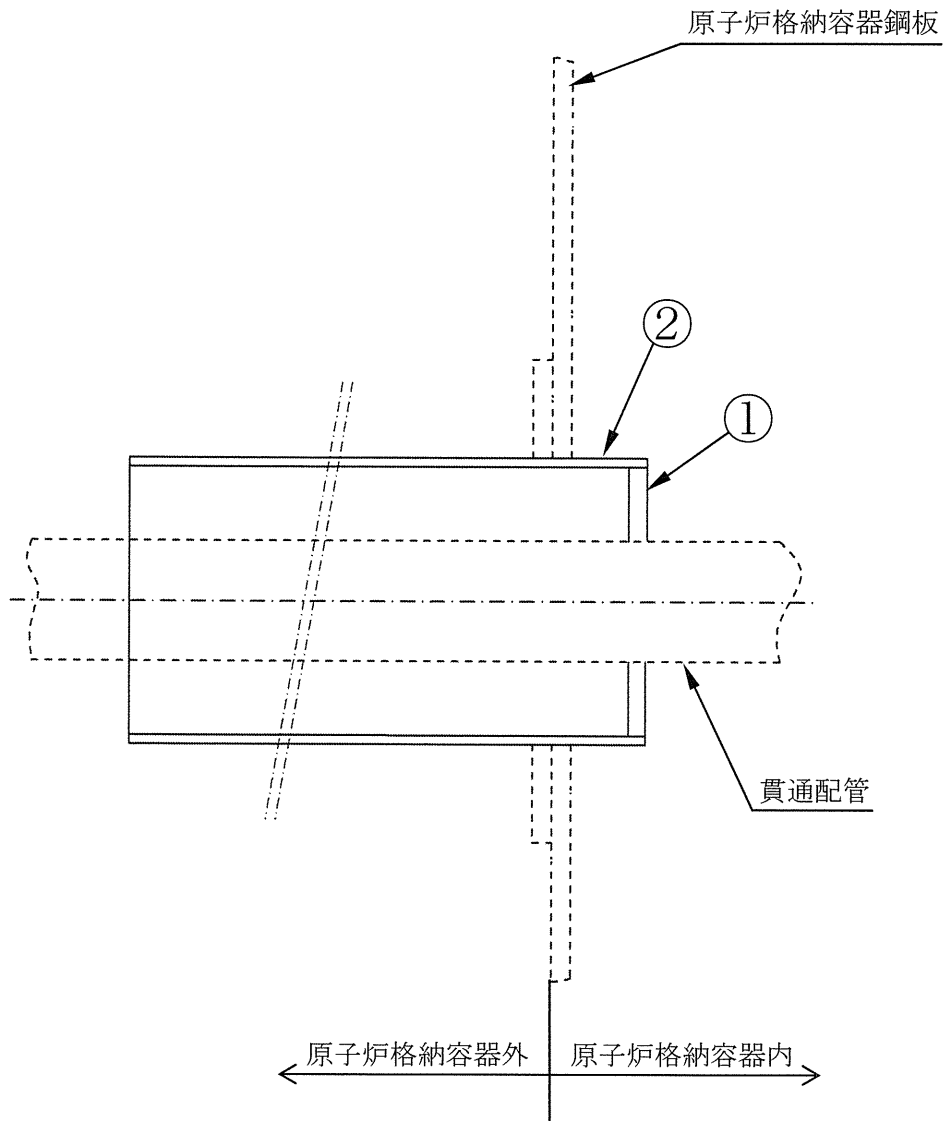


図2.1-1 川内2号炉 余熱除去出口配管貫通部（固定式配管貫通部）構造図

表2.1-1 川内2号炉 余熱除去出口配管貫通部（固定式配管貫通部）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 川内2号炉 余熱除去出口配管貫通部（固定式配管貫通部）の使用条件

最高使用圧力	約0.245MPa[gage]
最高使用温度	約200℃

2.1.2 主蒸気管貫通部及び主給水管貫通部（伸縮式配管貫通部）

(1) 構造

川内2号炉の主蒸気管貫通部及び主給水管貫通部（伸縮式配管貫通部）は、スリーブと貫通配管及びそれらを接続している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。

川内2号炉の主蒸気管貫通部及び主給水管貫通部（伸縮式配管貫通部）の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の主蒸気管貫通部（伸縮式配管貫通部）の使用材料及び使用条件を表2.1-3及び表2.1-4に、主給水管貫通部（伸縮式配管貫通部）の使用材料及び使用条件を表2.1-5及び表2.1-6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

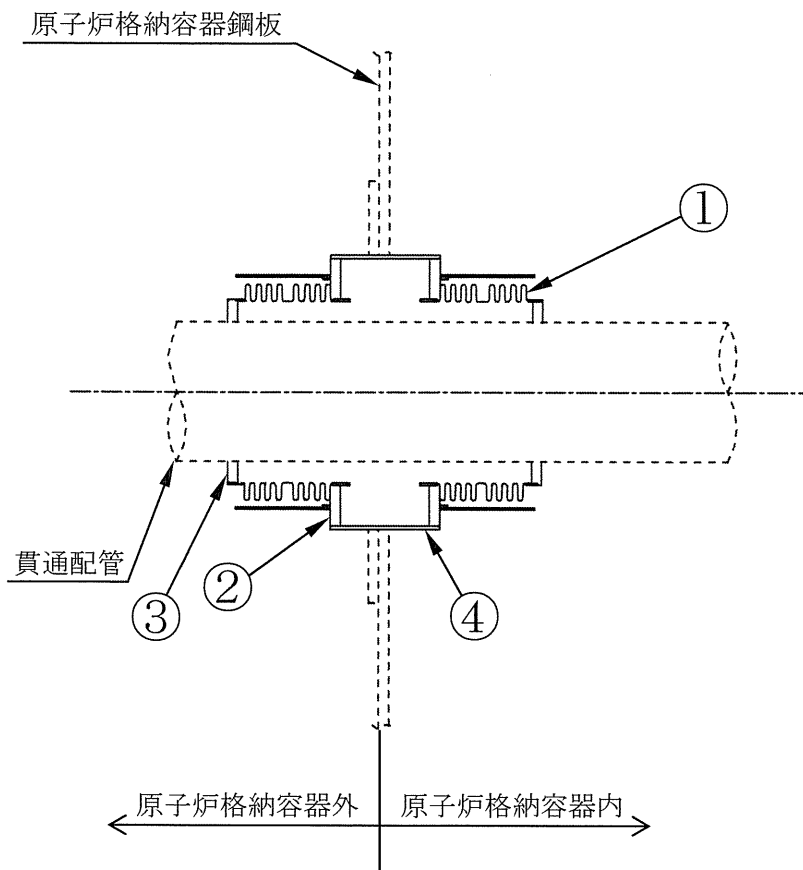


図2.1-2 川内2号炉 主蒸気管貫通部及び主給水管貫通部（伸縮式配管貫通部）構造図

表2.1-3 川内2号炉 主蒸気管貫通部（伸縮式配管貫通部）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 川内2号炉 主蒸気管貫通部（伸縮式配管貫通部）の使用条件

最高使用圧力	約0.245MPa [gage]
最高使用温度	約291℃

表2.1-5 川内2号炉 主給水管貫通部（伸縮式配管貫通部）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2.1-6 川内2号炉 主給水管貫通部（伸縮式配管貫通部）の使用条件

最高使用圧力	約0.245MPa [gage]
最高使用温度	約291℃

2.1.3 機器搬入口

(1) 構造

川内2号炉の機器搬入口は円筒二重ガスケット単ふた式であり、胴とふたにより構成されており、ふたは取り外しが可能なフランジ構造を有している。

川内2号炉の機器搬入口の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の機器搬入口の使用材料及び使用条件を表2.1-7及び表2.1-8に示す。

No.	部 位
①	ふ た
②	胴
③	ガスケット

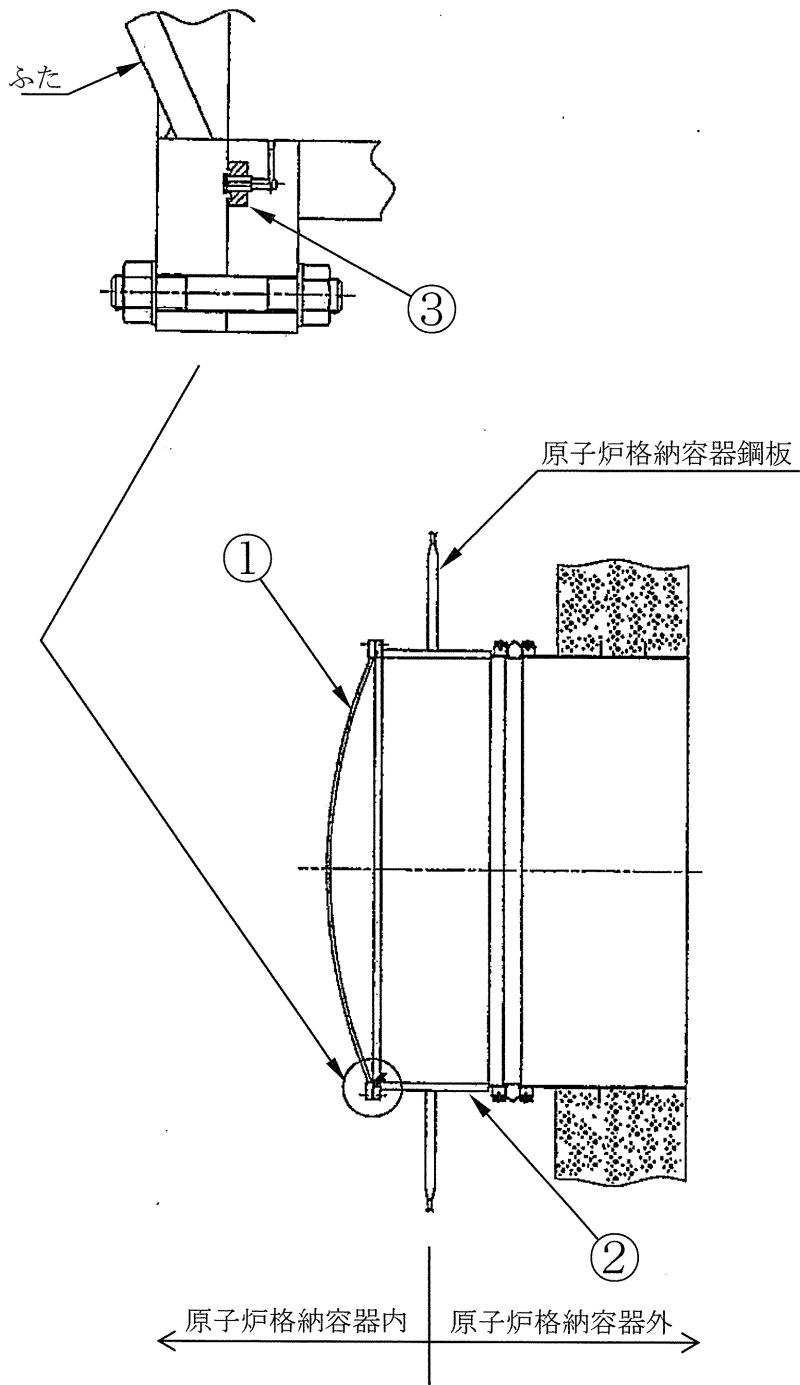


図2.1-3 川内2号炉 機器搬入口構造図

表2.1-7 川内2号炉 機器搬入口主要部位の使用材料

部 位	材 料
ふ た	炭 素 鋼
胴	炭 素 鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-8 川内2号炉 機器搬入口の使用条件

最高使用圧力	約0.245MPa [gage]
最高使用温度	約127℃

2.1.4 通常用エアロック

(1) 構造

川内2号炉の通常用エアロックは円筒二重扉式であり、胴と原子炉格納容器の内側及び外側に1枚ずつ設けられた扉により構成されている。

川内2号炉の通常用エアロックの構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の通常用エアロックの使用材料及び使用条件を表2.1-9及び表2.1-10に示す。

No.	部 位
①	扉
②	胴
③	ガスケット

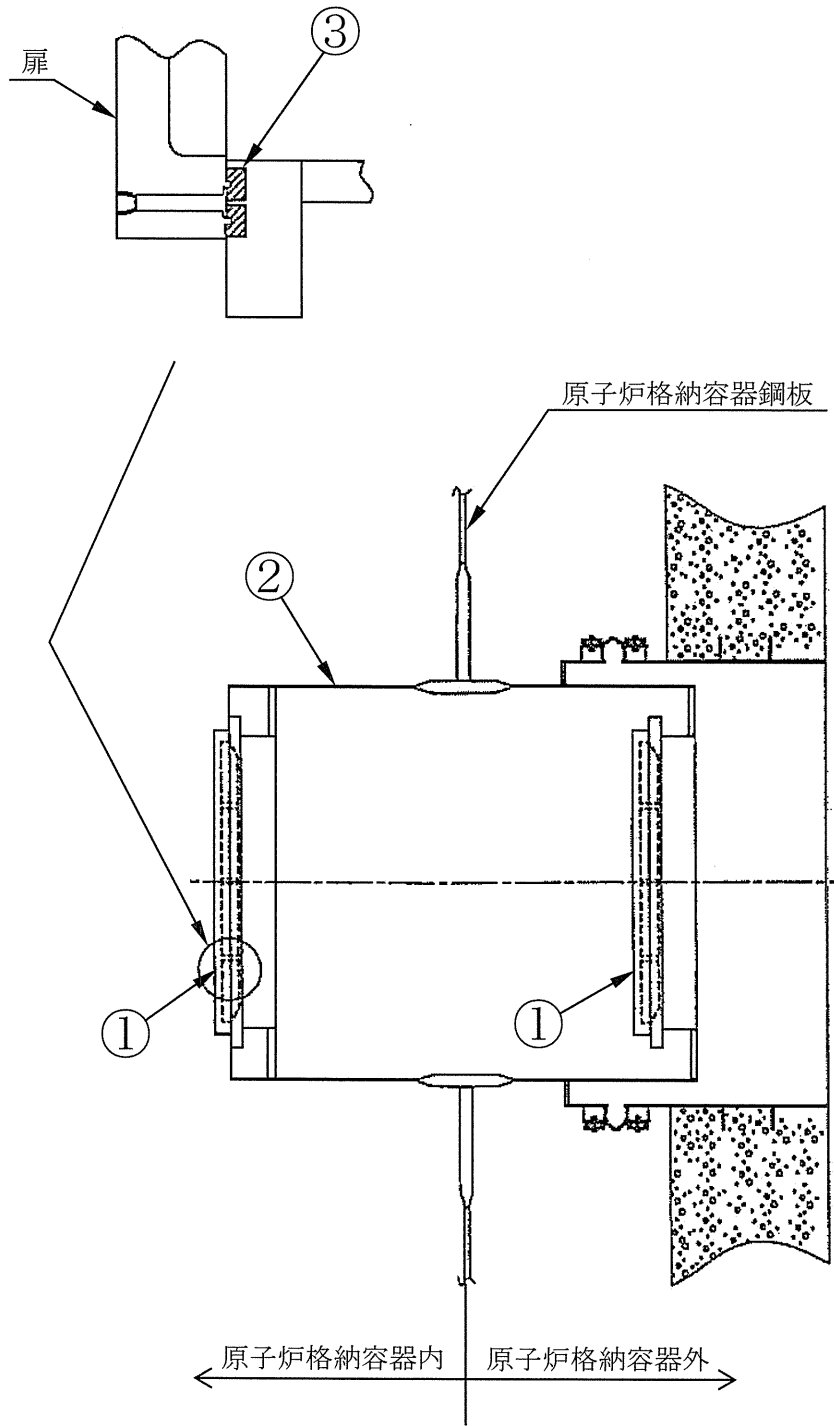


図2.1-4 川内2号炉 通常用エアロック構造図

表2.1-9 川内2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2.1-10 川内2号炉 通常用エアロックの使用条件

最高使用圧力	約0.245MPa[gage]
最高使用温度	約127℃