

# 大飯発電所 4 号炉

## 弁の技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

関西電力株式会社

大飯4号炉の弁のうち、評価対象機器は安全重要度分類審査指針におけるクラス1、2の機器、高温・高圧の環境下にあるクラス3の機器および常設重大事故等対処設備に属する機器である。

弁を分類するにあたり、仕切弁、玉形弁等の汎用の弁（ここでは一般弁と定義する）と主蒸気止め弁、蒸気加減弁等の蒸気タービンプラント特有に使用している弁（ここでは特殊弁と定義する）に分類した。さらに、一般弁については本体部と駆動部に分類した。弁本体は、仕切弁、玉形弁等の型式に分類し、駆動部については電動装置と空気作動装置の型式に分類した。

一般弁の本体部および駆動部については構造が基本的に同様に、環境等の使用条件により材質および詳細な寸法を選定しているため、型式毎に代表的な弁および弁駆動装置を評価することが適当であると判断した。

特殊弁については構造が固有であることから、駆動装置を含めた個々の特殊弁毎に評価を実施することが適当であると判断した。

一般弁の本体部および駆動部、また、特殊弁（駆動部を含む）の一覧を表1に、一般弁の種類と各々の使用系統を整理したものを表2に、また、使用系統の概要を表3に、弁の機能（一般弁については弁の型式毎の機能）を表4に示す。

本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考えられる。

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

本評価書では弁の型式等を基に、以下の3つに分類している。

- 1 一般弁（本体部）
  - 1.1 仕切弁
  - 1.2 玉形弁
  - 1.3 バタフライ弁
  - 1.4 ダイヤフラム弁
  - 1.5 スイング逆止弁
  - 1.6 リフト逆止弁
  - 1.7 安全逃がし弁

- 2 一般弁（駆動部）
  - 2.1 電動装置
  - 2.2 空気作動装置
- 3 特殊弁
  - 3.1 蒸気止め弁
  - 3.2 蒸気加減弁
  - 3.3 インターセプト弁・再熱蒸気止め弁

なお、一般弁の本体部および駆動部のサポートは配管のサポートと同様であり、「配管の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

表1 一般弁および特殊弁の一覧

一般弁	本体部	仕切弁
		玉形弁
		バタフライ弁
		ダイヤフラム弁
		スイング逆止弁
		リフト逆止弁
		安全逃がし弁
	駆動部	電動装置
		空気作動装置
	特殊弁 (駆動部を含む)	
蒸気加減弁		
インターセプト弁・再熱蒸気止め弁		



表2 主要な一般弁の設置系統および型式別一覧

系統名	仕切弁	玉形弁	バタフライ弁	ダイヤフラム弁	スイング逆止弁	リフト逆止弁	安全逃がし弁
1次冷却材系統	○	○		○	○	○	○
化学体積制御系統	○	○		○	○	○	○
安全注入系統	○	○			○	○	○
高圧注入系統		○					
余熱除去系統	○	○	○		○		○
格納容器内部スプレー系統	○	○		○	○	○	
燃料ピット冷却系統		○	○	○	○		
燃料取替用水系統	○	○		○	○	○	
1次系試料採取系統		○		○		○	
1次系洗浄水系統（注3）				○		○	
主蒸気系統	○	○			○		○
第3抽気系統	○				○		
第4抽気系統	○				○		
第5抽気系統	○				○		
第6抽気系統	○				○		
第7抽気系統	○				○		
ドレン系統	○	○			○		○
グラウンド蒸気系統	○	○					○
主給水系統	○	○			○	○	○
補助給水系統	○	○			○	○	
復水系統	○	○			○		○
蒸気発生器ブローダウン系統		○				○	
高温再熱蒸気系統							○
原子炉補機冷却水系統	○	○	○		○	○	○
計器用空気系統		○				○	
雑用空気系統（注3）		○				○	
液体廃棄物処理系統				○			
消火水系統	○	○			○		
海水系統		○	○	○	○		
補助蒸気系統	○	○			○	○	○
換気空調系統	○	○	○		○	○	
非常用ディーゼル発電機設備	○	○	○	○	○	○	○
タービンEHガバナ制御油系統		○				○	
タービン潤滑油系統		○			○		
ポンプタービン駆動蒸気系統	○	○	○		○		
原子炉格納設備（注3）		○					

(注) 1. ○印は、当該弁ありを示す。

2. 1次冷却材管、低温再熱蒸気系統、第1抽気系統および第2抽気系統には、主要な一般弁は設置していない。

3. 格納容器バウンダリに該当するため格納容器隔離弁（MS-1）を対象弁とする。

表3 大飯4号炉 主要な一般弁の使用系統 (1/2)

系統	機能
1次冷却材系統	炉心で発生した熱を蒸気発生器で2次系に伝達する。
化学体積制御系統	1次冷却系統の1次冷却材保有量を適正に調整し、1次冷却材中の核分裂生成物、腐食生成物等の不純物を浄化する。
安全注入系統	1次冷却材喪失事故あるいは主蒸気管破断事故時等に、ほう酸水を原子炉容器に注入することにより炉心の冷却かつ負の反応度添加を行う。
高圧注入系統	1次冷却系配管の小破断時等に、燃料の冷却を確保するため高圧力で冷却水を炉内に注入する。
余熱除去系統	炉を停止した後に1次冷却系統に残留している熱、炉心の崩壊熱および1次冷却系統を均一に冷却する目的で運転する1次冷却材ポンプの発生熱を除去し、1次冷却系統を降温させる。
格納容器内部スプレイ系統	事故時における格納容器からの放射性物質の漏えいを最小にし公衆の安全を確保する。
燃料ピット冷却系統	燃料ピット中の使用済燃料からの崩壊熱を除去し、燃料ピット水の冷却を行うとともに、燃料ピット、キャビティおよび燃料取替用水タンクのほう酸水を浄化する。
燃料取替用水系統	燃料取替用水タンク水の浄化および水温の維持ならびに燃料ピットの補給水としてほう酸水を補給する。
1次系試料採取系統	1次冷却材の化学的性質および放射性物質の種類と量を把握するための流体サンプルを採取する。
1次系洗浄水系統	管理区域内機器に作業用の純水を供給する。
主蒸気系統	蒸気発生器にて発生した蒸気をタービンに送る。
第3抽気系統	低圧タービンからの抽気を第3低圧給水ヒータへ供給する。
第4抽気系統	低圧タービンからの抽気を第4低圧給水ヒータへ供給する。
第5抽気系統	低圧タービンからの抽気を第5低圧給水へ供給する。
第6抽気系統	高圧タービンからの抽気を脱気器へ供給する。
第7抽気系統	高圧タービンからの抽気を高圧給水ヒータおよび湿分分離加熱器へ供給する。
ドレン系統	各加熱器より発生したドレンを移送、回収する。
グラント蒸気系統	タービンのグラント部へ蒸気シールの蒸気を供給する。
主給水系統	蒸気発生器の水位を維持するために給水を蒸気発生器に供給する。
補助給水系統	主給水が使用できない場合に補助給水を蒸気発生器に供給する。
復水系統	復水器により回収された復水を脱気器へ供給する。

表3 大飯4号炉 主要な一般弁の使用系統 (2/2)

系統	機能
蒸気発生器 ブローダウン系統	蒸気発生器2次側の水を抽出し、蒸気発生器内の水質を維持する。
高温再熱蒸気系統	湿分分離加熱器にて湿分を除去した蒸気を主蒸気により加熱後、低圧タービンに供給する。
原子炉補機冷却水系統	プラントの全運転モードにおいて、1次系補機に冷却水を供給する。
計器用空気系統	清浄で乾燥した圧縮空気をタービン建屋、補助建屋および格納容器内の空気作動弁、空気式機器および計測制御機器等に供給する。
雑用空気系統	良質な空気を必要としない機器、作業に圧縮空気を供給する。
液体廃棄物処理系統	液体廃棄物を濃縮処理し、廃液と蒸留液に分ける。
消火水系統	1次系建屋、2次系建屋等の消火栓等に消火用水を供給する。
海水系統	1・2次系の系統および補機において発生または蓄積された熱を除去する。
補助蒸気系統	スチームコンバータまたは補助ボイラにて発生した蒸気を各補機に送る。
換気空調系統	タービン建屋、補助建屋および格納容器内の換気、空調を行う。
非常用ディーゼル発電機設備	外部電源喪失時に、安全系の機器の駆動に必要な電力を供給する。
タービンEHガバナ制御油系統	タービンEHガバナ制御油を移送・回収する。
タービン潤滑油系統	タービン潤滑油を移送・回収する。
ポンプタービン駆動蒸気系統	タービン動補助給水ポンプの駆動蒸気を供給する。
原子炉格納設備	原子炉格納容器のバウンダリとなる付属弁。

表4 大飯4号炉 弁の機能

弁	種類	機能
一般弁	仕切弁	主に流体の仕切に使用する弁である。
	玉形弁	主に流体の仕切および流量調節に使用する弁である。
	バタフライ弁	
	ダイヤフラム弁	主に流体の仕切に使用する弁である。
	スイング逆止弁	主に流体の流れ方向を制限するために使用する弁である。
	リフト逆止弁	
	安全逃がし弁	主に流体吹き出しにより入口圧力を抑制するために使用する弁である。
特殊弁	蒸気止め弁	タービン入口に設置され、トリップ時に蒸気を遮断する弁である。
	蒸気加減弁	タービン入口に設置され、蒸気流量を調整してタービンの回転数および負荷を調整する弁である。
	インターセプト弁	低圧タービン入口に設置され、負荷遮断時蒸気流量を調整してタービン過速度を防止する弁である。
	再熱蒸気止め弁	低圧タービン入口に設置され、トリップ時に蒸気を遮断する弁である。

# 1 一般弁

[対象機器]

- 1.1 仕切弁
- 1.2 玉形弁
- 1.3 バタフライ弁
- 1.4 ダイヤフラム弁
- 1.5 スイング逆止弁
- 1.6 リフト逆止弁
- 1.7 安全逃がし弁

# 1.1 仕切弁

## [対象機器]

- ① 1次冷却材系統仕切弁
- ② 化学体積制御系統仕切弁
- ③ 安全注入系統仕切弁
- ④ 余熱除去系統仕切弁
- ⑤ 格納容器内部スプレイ系統仕切弁
- ⑥ 燃料取替用水系統仕切弁
- ⑦ 主蒸気系統仕切弁
- ⑧ 第3抽気系統仕切弁
- ⑨ 第4抽気系統仕切弁
- ⑩ 第5抽気系統仕切弁
- ⑪ 第6抽気系統仕切弁
- ⑫ 第7抽気系統仕切弁
- ⑬ ドレン系統仕切弁
- ⑭ グランド蒸気系統仕切弁
- ⑮ 主給水系統仕切弁
- ⑯ 補助給水系統仕切弁
- ⑰ 復水系統仕切弁
- ⑱ 原子炉補機冷却水系統仕切弁
- ⑲ 消火水系統仕切弁
- ⑳ 補助蒸気系統仕切弁
- ㉑ 換気空調系統仕切弁
- ㉒ 非常用ディーゼル発電機設備仕切弁
- ㉓ ポンプタービン駆動蒸気系統仕切弁

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	5
2.1 構造、材料および使用条件 .....	5
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	17
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価 .....	26
3. 代表機器以外への展開 .....	29
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象 .....	29
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 .....	30

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

大飯4号炉で使用されている仕切弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらの仕切弁を設置場所、内部流体および材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す仕切弁について、設置場所、内部流体および材料を分離基準として考えると、合計4個のグループに分類される。

### 1.2 代表機器の選定

#### (1) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：1次冷却材

このグループには1次冷却材系統、化学体積制御系統、安全注入系統、余熱除去系統、格納容器内部スプレイ系統および燃料取替用水系統の仕切弁が属するが、重要度が高く、口径が大きい余熱除去ポンプルーブ高温側入口止め弁を代表機器とする。

#### (2) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：給水、蒸気

このグループには補助給水系統、安全注入系統、ドレン系統および補助蒸気系統の仕切弁が属するが、重要度および圧力が高い補助給水フルフロー・ミニフローライン復水ピット入口弁を代表機器とする。

#### (3) 設置場所：屋内または屋外、材料：炭素鋼、内部流体：蒸気、給水、純水または淡水

このグループには主蒸気系統、グラウンド蒸気系統、ポンプタービン駆動蒸気系統、第3抽気系統、第4抽気系統、第5抽気系統、第6抽気系統、第7抽気系統、補助蒸気系統、ドレン系統、主給水系統、復水系統、補助給水系統、換気空調系統および消火水系統の仕切弁が属するが、重要度および温度が高い主蒸気逃がし弁元弁を代表機器とする。

#### (4) 設置場所：屋内、材料：炭素鋼、鋳鉄、内部流体：ヒドラジン水、亜硝酸水、油

このグループには原子炉補機冷却水系統、非常用ディーゼル発電機設備、補助給水系統および化学体積制御系統の仕切弁が属するが、重要度および温度が高く口径が大きい1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離弁を代表機器とする。



表 1-1 (1/3) 大飯 4 号炉 仕切弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*2	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
			最高使用圧力 (MPa) [gage]	最高使用温度 (°C)							
屋内	ステンレス鋼	1 次冷却材	7	1 次冷却材系統	3~12	PS-1、MS-1、重*3	約 17.2	約 360	◎	余熱除去ポンプループ高温側入口止め弁 (12B)	重要度口径
			21	化学体積制御系統	3~6	MS-1、PS-2、重*3	約 20.0	約 144			
			21	安全注入系統	3~24	MS-1、高*1、重*3	約 17.2	約 200			
			14	余熱除去系統	6~14	MS-1、高*1、重*3	約 17.2	約 200			
			15	格納容器内部スプレイ系統	4~18	MS-1、重*3	約 2.8	約 150			
			3	燃料取替用水系統	4~6	MS-1、MS-2、重*3	約 0.4	約 144			
屋内	ステンレス鋼	給水	6	補助給水系統	6~10	MS-1、重*3	約 13.1	約 40	◎	補助給水フルフロー・ミニフローライン復水ピット入口弁 (6 B)	重要度圧力
			1	安全注入系統	6	重*3	大気圧	約 40			
		蒸気	2	ドレン系統	6	高*1	約 0.3	約 140			
			6	補助蒸気系統	3/4~1・1/2	高*1	約 0.9	約 185			

\*1：最高使用温度が 95°C を超え、または最高使用圧力が 1900kPa を超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス 3 の機器。

\*2：機能は最上位の機能を示す。

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

表 1-1 (2/3) 大飯 4 号炉 仕切弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定			
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*2	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由	
							最高使用圧力 (MPa) [gage]	最高使用温度 (°C)				
屋内外	炭素鋼	蒸気	14	主蒸気系統	6~16	MS-1、高*1、重*3	約 8.2	約 298	◎	主蒸気逃がし弁元弁 (6B)	重要度温度	
			16	グラント蒸気系統	2~12	高*1	約 8.2	約 298				
			8	ポンプタービン駆動蒸気系統	4~10	MS-1、高*1、重*3	約 8.2	約 298				
			4	第3抽気系統	28	高*1	約 0.1	約 115				
			2	第4抽気系統	30	高*1	約 0.3	約 180				
			2	第5抽気系統	22	高*1	約 0.4	約 225				
			1	第6抽気系統	32	高*1	約 1.4	約 200				
			4	第7抽気系統	12~16	高*1	約 3.4	約 245				
			22	補助蒸気系統	2~10	高*1	約 8.2	約 298				
			26	ドレン系統	1~6	高*1	約 8.2	約 298				
			給水	39	主給水系統	3~28	MS-1、高*1、重*3	約 10.3				約 235
				32	ドレン系統	1・1/2~14	高*1	約 8.2				約 298
				50	復水系統	1~20	高*1	約 4.1				約 155
	15	補助給水系統		3~8	MS-1、重*3	約 13.1	約 235					
	純水	18	換気空調系統	2~8	MS-1、MS-2	約 1.0	約 55					
		24	補助蒸気系統	3/4~8	高*1	約 3.2	約 240					
	淡水	3	消火水系統	3	高*1	約 1.9	約 95					

\*1：最高使用温度が 95°C を超え、または最高使用圧力が 1900kPa を超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス 3 の機器。

\*2：機能は最上位の機能を示す。

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

表 1-1 (3/3) 大飯 4 号炉 仕切弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*2	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力 (MPa) [gage]	最高使用温度 (°C)			
屋内	炭素鋼	ヒドラジン水	72	原子炉補機冷却水系統	1・1/2~22	MS-1、重*3	約 1.4	約 175	◎	1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離弁 (10B)	重要度 温度 口径
			10	非常用ディーゼル発電機設備	1・1/2~8	MS-1	約 0.5	約 90			
		油	1	補助給水系統	3	MS-1	大気圧	約 80			
			4	非常用ディーゼル発電機設備	8	MS-1	約 0.8	約 85			
	铸铁	1	化学体積制御系統	1・1/4	MS-1	約 1.0	約 70				

\*1：最高使用温度が 95°C を超え、または最高使用圧力が 1900kPa を超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス 3 の機器。

\*2：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の4種類の仕切弁について技術評価を実施する。

- ① 余熱除去ポンプループ高温側入口止め弁
- ② 補助給水フルフロー・ミニフローライン復水ピット入口弁
- ③ 主蒸気逃がし弁元弁
- ④ 1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離弁

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 余熱除去ポンプループ高温側入口止め弁

##### (1) 構造

大飯4号炉の余熱除去ポンプループ高温側入口止め弁は電動仕切弁であり、1次冷却材系統に設置されている。

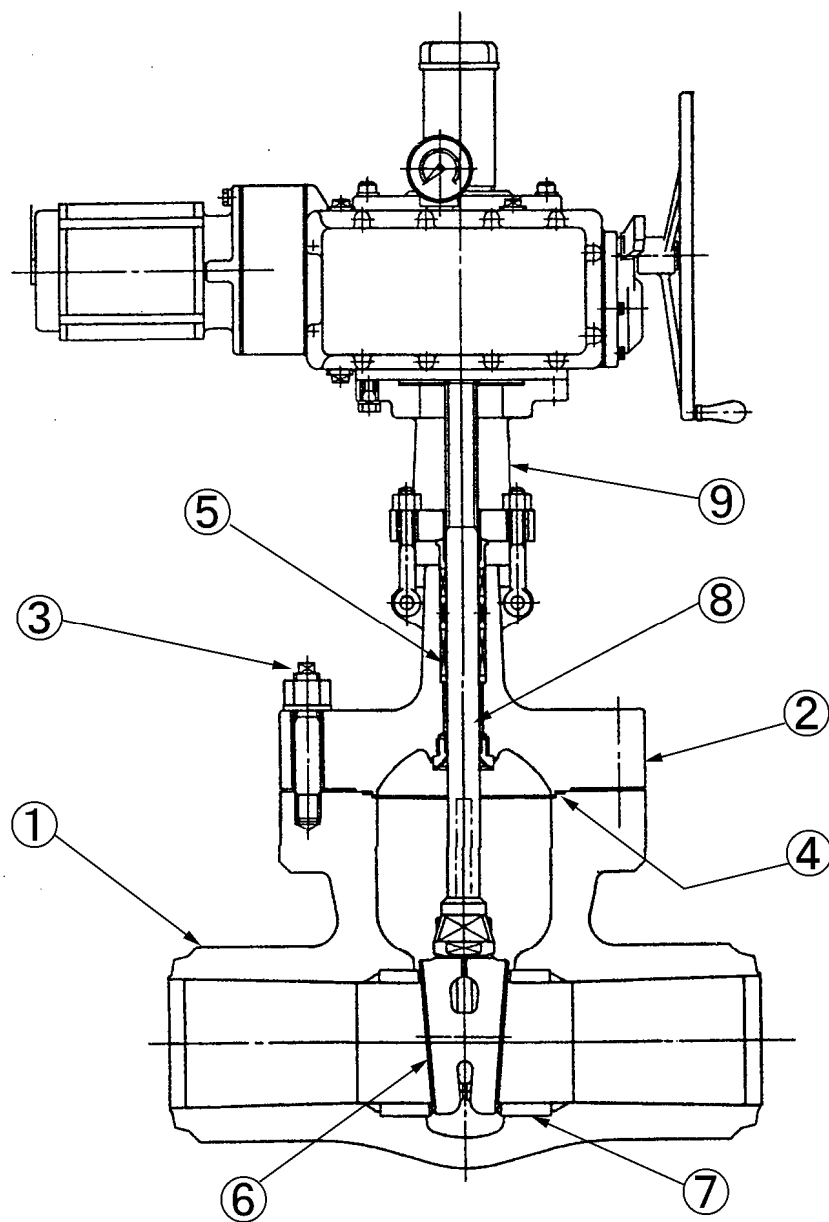
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱、弁蓋および弁体にはステンレス鋼鋳鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。

大飯4号炉の余熱除去ポンプループ高温側入口止め弁の構造図を図2.1-1に示す。

##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の余熱除去ポンプループ高温側入口止め弁の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	弁棒
⑨	ヨーク

図2.1-1 大飯4号炉 余熱除去ポンプルーブ高温側入口止め弁構造図

表2.1-1 大飯4号炉 余熱除去ポンプループ高温側入口止め弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼鋳鋼（ステライト肉盛）
弁座	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼
ヨーク	炭素鋼鋳鋼

表2.1-2 大飯4号炉 余熱除去ポンプループ高温側入口止め弁の使用条件

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

## 2.1.2 補助給水フルフロー・ミニフローライン復水ピット入口弁

### (1) 構造

大飯4号炉の補助給水フルフロー・ミニフローライン復水ピット入口弁は手動仕切弁であり、補助給水系統に設置されている。

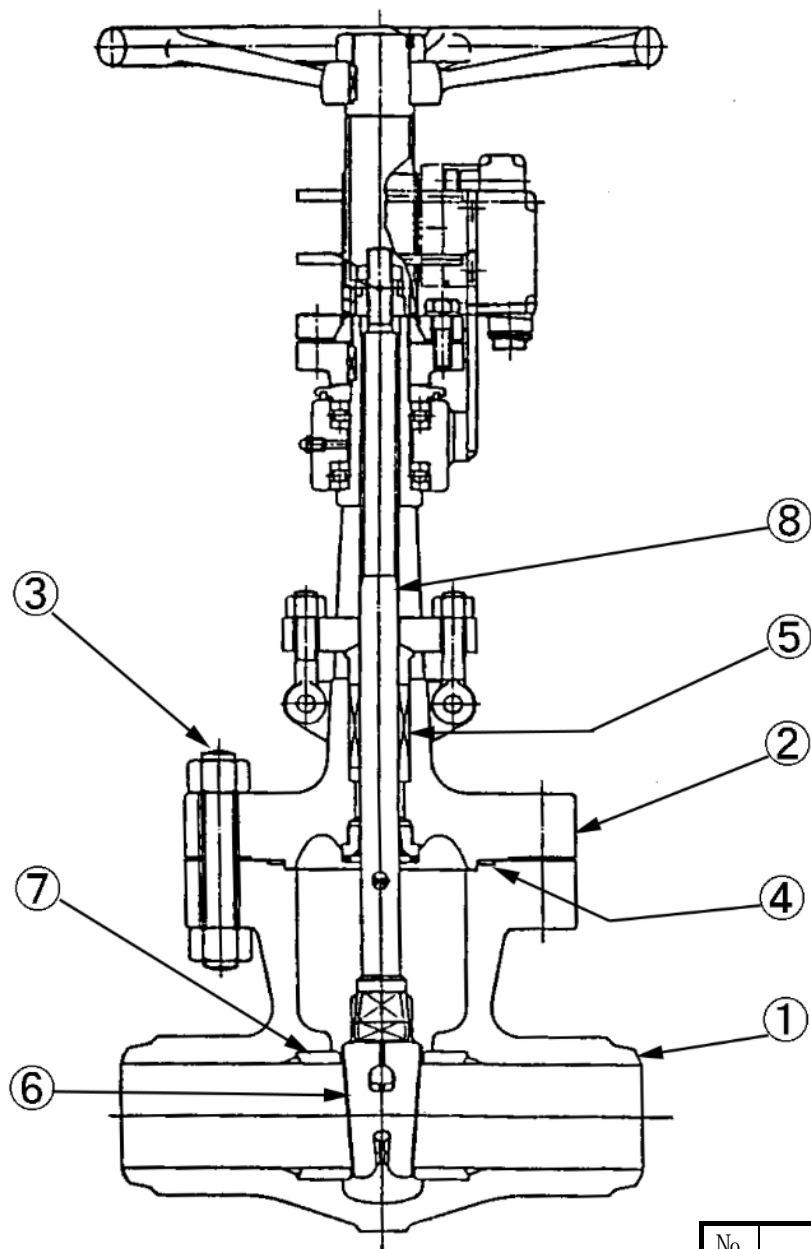
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱、弁蓋および弁体にはステンレス鋼鋳鋼を使用しており、給水に接液している。

大飯4号炉の補助給水フルフロー・ミニフローライン復水ピット入口弁の構造図を図2.1-2に示す。

### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の補助給水フルフロー・ミニフローライン復水ピット入口弁の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	弁棒

図2.1-2 大飯4号炉 補助給水フルフロー・ミニフローライン復水ピット入口弁構造図



表2.1-3 大飯4号炉 補助給水フルフロー・ミニフローライン復水ピット入口弁  
主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼鋳鋼（ステライト肉盛）
弁座	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼

表2.1-4 大飯4号炉 補助給水フルフロー・ミニフローライン復水ピット入口弁  
の使用条件

最高使用圧力	約 13.1MPa [gage]
最高使用温度	約 40℃
内部流体	給水

### 2.1.3 主蒸気逃がし弁元弁

#### (1) 構造

大飯4号炉の主蒸気逃がし弁元弁は、電動仕切弁であり、主蒸気系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

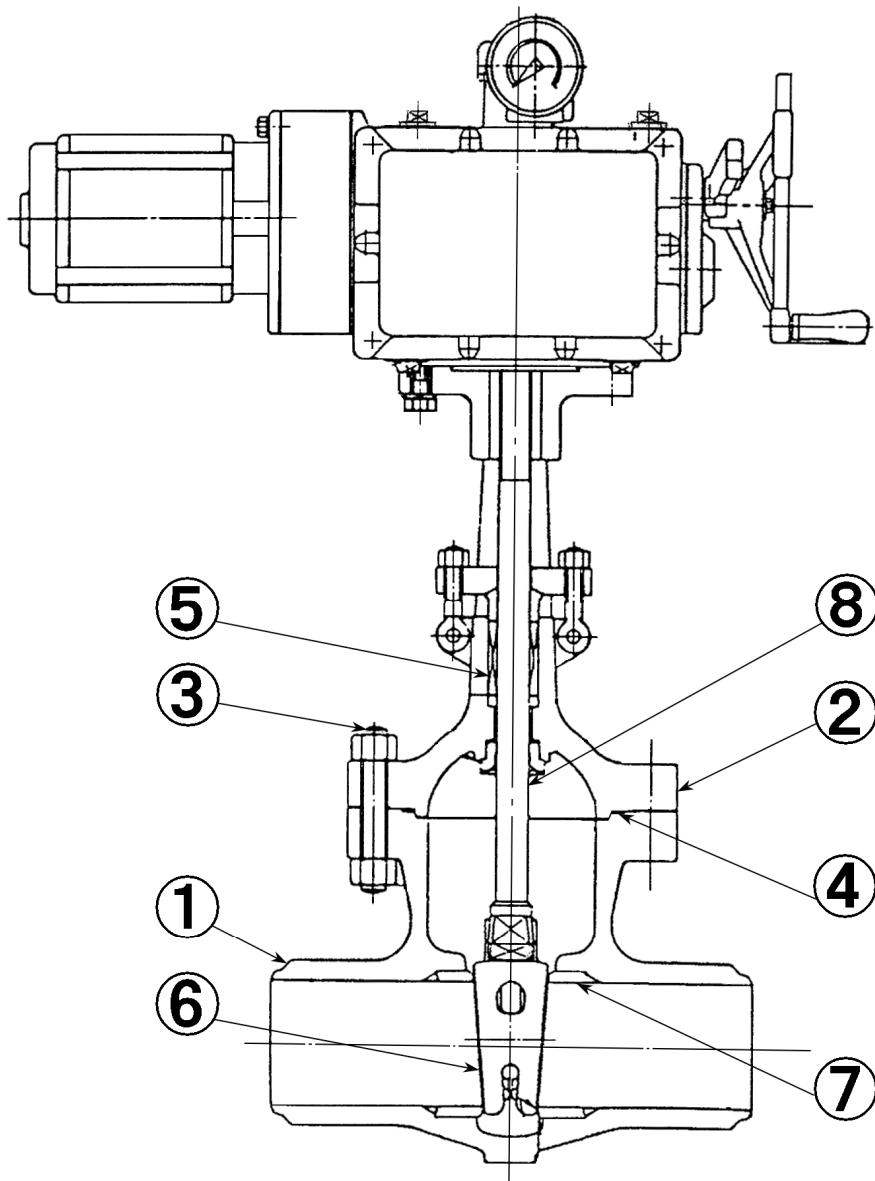
弁箱、弁蓋および弁体には炭素鋼鋳鋼を使用しており、蒸気に接している。

弁蓋ボルトをゆるめ、弁蓋を取り外すことにより、点検手入れが可能である。

大飯4号炉の主蒸気逃がし弁元弁の構造図を図2.1-3に示す。

#### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の主蒸気逃がし弁元弁の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	弁棒

図2.1-3 大飯4号炉 主蒸気逃がし弁元弁構造図

表2.1-5 大飯4号炉 主蒸気逃がし弁元弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	炭素鋼鋳鋼（ステライト肉盛）
弁座	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼

表2.1-6 大飯4号炉 主蒸気逃がし弁元弁の使用条件

最高使用圧力	約8.2MPa [gage]
最高使用温度	約298℃
内部流体	蒸気

#### 2.1.4 1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離弁

##### (1) 構造

大飯4号炉の1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離弁は電動仕切弁であり、原子炉補機冷却水系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱および弁体には炭素鋼鋳鋼、弁蓋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。

大飯4号炉の1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離弁の構造図を図2.1-4に示す。

##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離弁の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。

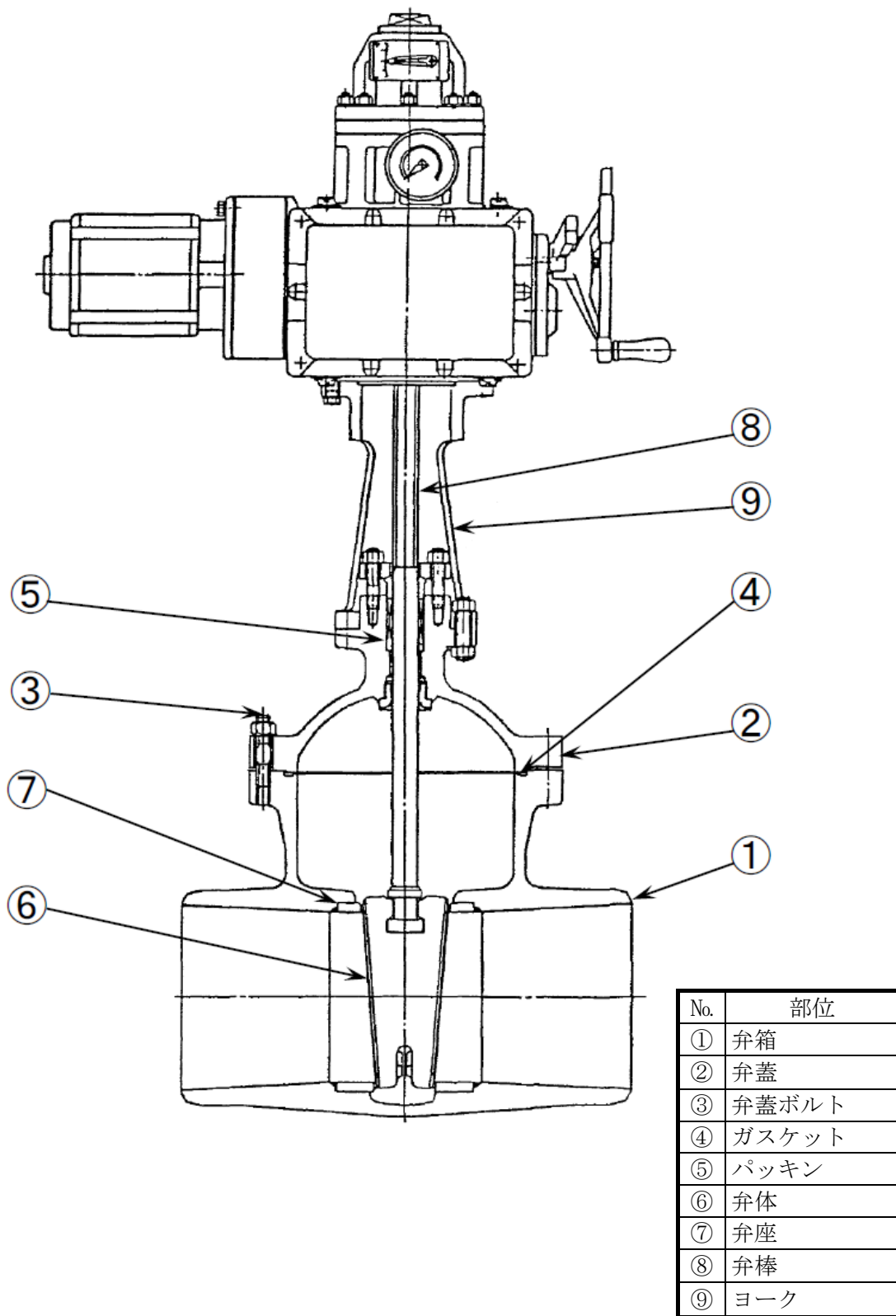


図2.1-4 大飯4号炉 1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離弁構造図

表2.1-7 大飯4号炉 1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離弁

主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	炭素鋼鋳鋼（ステライト肉盛）
弁座	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼
ヨーク	炭素鋼鋳鋼

表2.1-8 大飯4号炉 1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離弁

最高使用圧力	約 1.4MPa [gage]
最高使用温度	約 144℃
内部流体	ヒドラジン水

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

仕切弁の機能である流体の仕切機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

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

#### (1) 弁箱の疲労割れ [余熱除去ポンプルーブ高温側入口止め弁]

余熱除去ポンプルーブ高温側入口止め弁はプラントの起動・停止時等に発生する内部流体のステップ状の大きな温度変化により、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。



### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) 弁体、弁座シート面の摩耗 [共通]

弁体、弁座シート面は弁の開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

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

#### (2) 弁棒（パッキン受け部）の摩耗 [共通]

弁棒は開閉に伴うパッキン受け部との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

#### (3) 弁棒の腐食（隙間腐食） [共通]

弁棒はパッキンとの接触部において腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

- (4) ヨークの腐食（全面腐食）〔余熱除去ポンプループ高温側入口止め弁、1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離弁〕

炭素鋼鋳鋼のヨークは、腐食が想定される。

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

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

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

- (5) 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食）〔主蒸気逃がし弁元弁〕

炭素鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋、弁体および炭素鋼の弁座は、内部流体（蒸気）による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

- (6) 弁箱、弁蓋等の外面からの腐食（全面腐食）〔主蒸気逃がし弁元弁、1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離弁〕

炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋等は、外面からの腐食が想定される。

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

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

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

(7) 弁箱、弁蓋の熱時効 [余熱除去ポンプルーブ高温側入口止め弁]

弁箱、弁蓋はステンレス鋼であり、使用温度が250℃以上と高いため、熱時効による材料特性変化を起こす可能性があるが、熱時効は材質変化に加え、欠陥が存在し、かつ高い応力が存在する場合について検討が必要となる。

しかしながら、弁は接続される配管と比較して厚板に製造されていることから発生応力は小さく、製造時の非破壊検査で有意な欠陥がないことを確認し、さらに運転開始後60年を想定した疲労評価でも許容値を満足することから、評価期間において欠陥の発生する要因があるとは考えにくい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(8) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食） [余熱除去ポンプルーブ高温側入口止め弁、補助給水フルフロー・ミニフローライン復水ピット入口弁、主蒸気逃がし弁元弁]

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

(9) 弁体、弁棒の摩耗（連結部） [共通]

弁体と弁棒の連結部ははめ込み式であるため、弁内部の流れにより弁体が振動する可能性があり、連結部で摩耗が想定される。

しかしながら、弁体にはその振動等を拘束するための弁体ガイドを設けるとともに流れの影響を受けないよう開弁時には弁体を弁蓋内に収める構造としている。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(10) 弁棒の応力腐食割れ [共通]

1989年3月、川内2号炉の仕切弁で水素脆化型の応力腐食割れ(遅れ割れ)による弁棒のき裂損傷が発生しているが、弁開時にバックシートを効かせ過ぎたことにより過大な応力が発生したことが原因である。

しかしながら、大飯4号炉においては、手動弁は開弁時バックシートを効かせず、電動弁はバックシート部の発生応力を制限して弁開時のバックシート部に過大な応力が発生しないようにしている。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(11) 弁箱等の腐食(全面腐食) [1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離弁]

弁箱、弁蓋、弁体、弁座は炭素鋼鋳鋼または炭素鋼であり、内部流体による腐食が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品および定期取替品

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

表 2.2-1(1/4) 大飯4号炉 余熱除去ポンプループ高温側入口止め弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼			○		△		*1：隙間腐食	
	弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼					△			
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼鋳鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△	△*1		△				
	ヨーク		炭素鋼鋳鋼		△						

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(2/4) 大飯4号炉 補助給水フルフロー・ミニフローライン復水ピット入口弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼							*1：隙間腐食	
	弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼鋳鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△	△*1		△				

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1 (3/4) 大飯 4 号炉 主蒸気逃がし弁元弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労 割れ	応力腐 食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ <sup>*1,2</sup>					*1:流れ加速型 腐食 *2:全面腐食 (外面) *3:隙間腐食	
	弁蓋		炭素鋼鋳鋼		△ <sup>*1,2</sup>						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		炭素鋼鋳鋼 (ステライト肉盛)	△	△ <sup>*1</sup>						
	弁座		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△ <sup>*1</sup>						
	弁棒		ステンレス鋼	△	△ <sup>*3</sup>		△				

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(4/4) 大飯4号炉 1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ <sup>*1,2</sup>						*1:全面腐食(内面) *2:全面腐食(外面) *3:隙間腐食
	弁蓋		炭素鋼		△ <sup>*1,2</sup>						
	弁蓋ボルト		低合金鋼								
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		炭素鋼鋳鋼 (ステライト肉盛)	△	△ <sup>*2</sup>						
	弁座		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△ <sup>*2</sup>						
	弁棒		ステンレス鋼	△	△ <sup>*3</sup>		△				
	ヨーク		炭素鋼鋳鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）



## 2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

### 2.3.1 弁箱の疲労割れ [余熱除去ポンプルーブ高温側入口止め弁]

#### a. 事象の説明

余熱除去ポンプルーブ高温側入口止め弁は、プラント起動・停止時等に熱過渡を繰り返し受けるため、疲労が蓄積する。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

余熱除去ポンプルーブ高温側入口止め弁の評価にあたっては、「日本機械学会 設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007)」に基づき評価を行った。

評価対象部位を図2.3-1に示す。

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

疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。

なお、2014年度末までの運転実績に基づき推定した2015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、許容値に対し余裕のある結果が得られている。

##### ② 現状保全

弁箱の疲労割れに対しては、定期的な分解点検時に弁内面の目視確認を実施し、有意な異常がないことを確認するとともに、定期的な漏えい確認を実施し健全性を確認している。さらに、高経年化技術評価に合わせて、実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

##### ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、弁箱の疲労割れ発生の可能性はないと考える。

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

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、また異常のないことは、目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

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

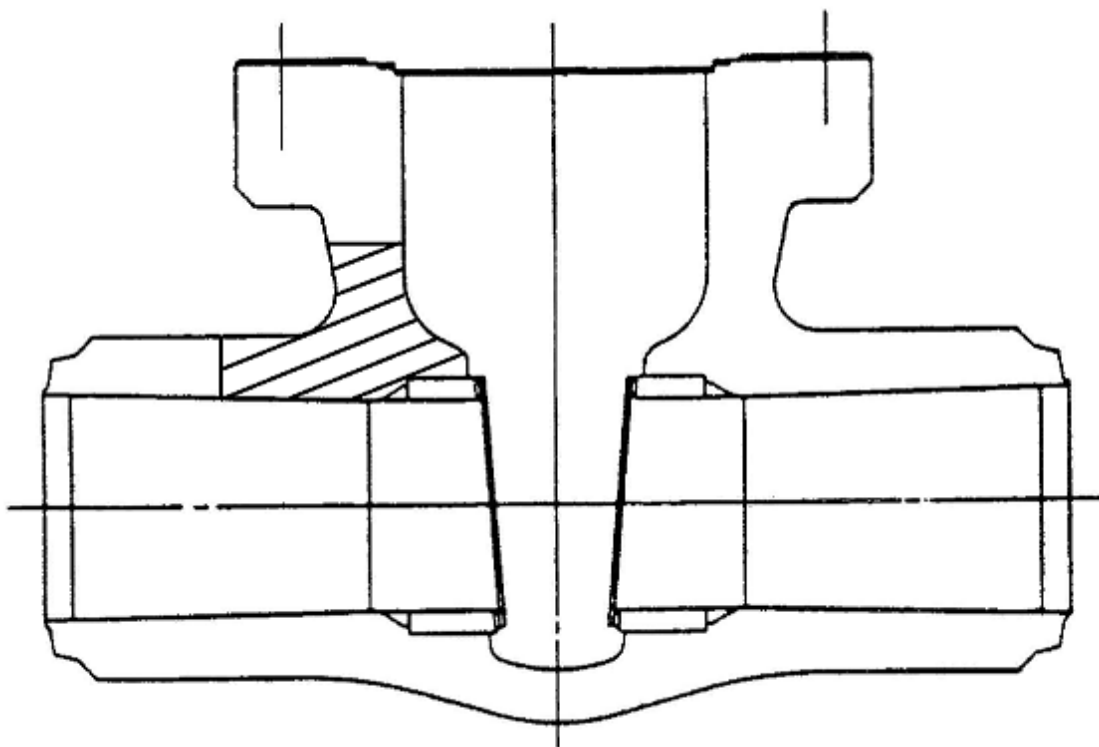


図2.3-1 大飯4号炉 余熱除去ポンプルーブ高温側入口止め弁の  
疲労評価対象部位（斜線部）

表2.3-1 大飯4号炉 余熱除去ポンプループ高温側入口止め弁の評価用過渡条件

運転状態 I

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2014年度末時点	運転開始後60年時点の推定値
起動(温度上昇率55.6℃/h)	26	74
停止(温度下降率55.6℃/h)	26	74
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	221	927
負荷減少(負荷減少率5%/min)	211	917
90%から100%へのステップ状負荷上昇	2	4
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	3	9
定常負荷運転時の変動*1	-	-
燃料交換	15	70
0%から15%への負荷上昇	27	75
15%から0%への負荷減少	18	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	
	2014年度末時点	運転開始後60年時点の推定値
負荷の喪失	4	7
外部電源喪失	1	5
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	2	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	3
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	5	5
一次系漏えい試験	19	60

\*1: 「設計評価においては、1次冷却材温度は高温側±1.4℃、低温側は±2.4℃、1次冷却材圧力は+0.39MPa、-0.29MPa(+4.0kg/cm<sup>2</sup>、-3.0 kg/cm<sup>2</sup>)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 大飯4号炉 余熱除去ポンプループ高温側入口止め弁の疲労評価結果

部位	疲労累積係数 (許容値: 1 以下)	
	設計・建設規格による解析	環境疲労評価手法による解析
弁箱 (ステンレス鋼鋳鋼)	0.005	0.127

### 3. 代表機器以外への展開

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

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

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

##### 3.1.1 弁箱の疲労割れ [1次冷却材系統仕切弁]

プラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材のステップ状の大きな温度変化を受ける余熱除去ポンプループレ高温側入口止め弁の疲労評価結果では表2.3-2に示すように許容値に対して余裕があり、当該弁と同等以下の過渡しか受けないその他の弁についても、疲労割れが発生する可能性はないと考える。

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、また異常のないことは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、弁箱の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

### 3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### 3.2.1 弁体、弁座または弁箱弁座部シート面の摩耗 [共通]

弁体、弁座または弁箱弁座部シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

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

#### 3.2.2 弁棒（パッキン受け部）の摩耗 [共通]

弁棒は開閉に伴うパッキン受け部との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、定期的な分解点検時に目視確認を行い、機器の健全性を維持している。

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

#### 3.2.3 弁棒の腐食（隙間腐食） [共通]

弁棒はパッキンとの接触部において腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

#### 3.2.4 ヨークの腐食（全面腐食） [ヨークのある弁共通]

炭素鋼鋳鋼または炭素鋼のヨークは、腐食が想定される。

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

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

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

- 3.2.5 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食）〔主蒸気系統、第3抽気系統、第4抽気系統、第5抽気系統、第6抽気系統、第7抽気系統、グランド蒸気系統、ポンプタービン駆動蒸気系統、ドレン系統、補助蒸気系統、主給水系統および復水系統の仕切弁〕

内部流体が蒸気または高速の水であり、炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座を用いている弁には、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

- 3.2.6 弁箱、弁蓋の外側からの腐食（全面腐食）〔主蒸気系統、ポンプタービン駆動蒸気系統、グランド蒸気系統、ドレン系統、第3抽気系統、第4抽気系統、第5抽気系統、第6抽気系統、第7抽気系統、補助蒸気系統、主給水系統、補助給水系統、復水系統、消火水系統、換気空調系統、非常用ディーゼル発電機設備、原子炉補機冷却水系統および化学体積制御系統の仕切弁〕

炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋は、外側からの腐食が想定される。

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

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

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

- 3.2.7 弁箱等の腐食（エロージョン）〔ドレン系統およびグランド蒸気系統の仕切弁〕

蒸気、凝縮水が流れる仕切弁のうち、高減圧部となる部位では流速が大きくなるため、弁箱、弁蓋、弁体、弁座にエロージョンによる減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

### 3.2.8 弁箱等の腐食（全面腐食）〔補助給水系統、換気空調系統および消火水系統の仕切弁〕

炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座を持つ弁のうち、内部流体が飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）水である弁については、長期使用により腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

### 3.2.9 弁箱、弁蓋の熱時効〔ステンレス鋼鋳鋼製の弁共通〕

ステンレス鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋であり、使用温度が250℃以上と高いものは、熱時効による材料特性変化を起こす可能性があるが、熱時効は材質変化に加え、欠陥が存在し、かつ高い応力が存在する場合について検討が必要となる。

しかしながら、弁は接続される配管と比較して厚板に製造されていることから発生応力は小さく、製造時の非破壊検査で有意な欠陥がないことを確認し、さらに運転開始後60年を想定した疲労評価でも許容値を満足することを代表機器において確認していることから、評価期間において欠陥の発生する要因があるとは考えにくい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.10 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔低合金鋼製または炭素鋼製の弁蓋ボルトのある弁共通〕

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.11 弁体、弁棒の摩耗（連結部） [共通]

弁体と弁棒の連結部ははめ込み式であるため、弁内部の流れにより弁体が振動する可能性があり、連結部の摩耗が想定される。

しかしながら、弁体にはその振動等を拘束するための弁体ガイドを設けるとともに、流れの影響を受けないよう開弁時には弁体を弁蓋内に収める構造としている。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.12 弁棒の応力腐食割れ [共通]

1989年3月、川内2号炉の仕切弁で水素脆化型の応力腐食割れ(遅れ割れ)による弁棒のき裂損傷が発生しているが、弁開時にバックシートを効かせ過ぎたことにより過大な応力が発生したことが原因である。

しかしながら、大飯4号炉においては、手動弁は開弁時バックシートを効かせず、電動弁、空気作動弁はバックシート部の発生応力を制限して弁開時のバックシート部に過大な応力が発生しないようにしている。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.13 弁箱等の腐食（全面腐食） [化学体積制御系統、原子炉補機冷却水系統、補助給水系統、非常用ディーゼル発電機設備]

炭素鋼鋳鋼、炭素鋼または鋳鉄の弁箱等は、内部流体による腐食が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。



## 1.2 玉形弁

### [対象機器]

- ① 1次冷却材系統玉形弁
- ② 化学体積制御系統玉形弁
- ③ 安全注入系統玉形弁
- ④ 余熱除去系統玉形弁
- ⑤ 格納容器内部スプレイ系統玉形弁
- ⑥ 燃料ピット冷却系統玉形弁
- ⑦ 燃料取替用水系統玉形弁
- ⑧ 1次系試料採取系統玉形弁
- ⑨ 主蒸気系統玉形弁
- ⑩ 補助蒸気系統玉形弁
- ⑪ 主給水系統玉形弁
- ⑫ 復水系統玉形弁
- ⑬ 補助給水系統玉形弁
- ⑭ 蒸気発生器ブローダウン系統玉形弁
- ⑮ 原子炉補機冷却水系統玉形弁
- ⑯ 計器用空気系統玉形弁
- ⑰ 非常用ディーゼル発電機設備玉形弁
- ⑱ 高圧注入系統玉形弁
- ⑲ タービンEHガバナ制御油系統玉形弁
- ⑳ グランド蒸気系統玉形弁
- ㉑ ポンプタービン駆動蒸気系統玉形弁
- ㉒ ドレン系統玉形弁
- ㉓ 消火水系統玉形弁
- ㉔ 換気空調系統玉形弁
- ㉕ 原子炉格納設備玉形弁
- ㉖ 雑用空気系統玉形弁
- ㉗ タービン潤滑油系統玉形弁
- ㉘ 海水系統玉形弁

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	7
2.1 構造、材料および使用条件 .....	7
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	25
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価 .....	35
3. 代表機器以外への展開 .....	39
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象 .....	39
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 .....	40

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

大飯4号炉で使用されている玉形弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらの玉形弁を設置場所、内部流体および材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す玉形弁について、設置場所、内部流体および材料を分離基準として考えると、合計6個のグループに分類される。

### 1.2 代表機器の選定

#### (1) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：1次冷却材

このグループには1次冷却材系統、化学体積制御系統、安全注入系統、余熱除去系統、格納容器内部スプレイ系統、燃料取替用水系統、燃料ピット冷却系統および1次系試料採取系統の玉形弁が属するが、重要度が高い抽出ライン第1止め弁を代表機器とする。

#### (2) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：蒸気、給水、純水またはヒドラジン水

このグループには1次冷却材系統、主蒸気系統、補助蒸気系統、主給水系統、復水系統、補助給水系統、蒸気発生器ブローダウン系統、化学体積制御系統、格納容器内部スプレイ系統および原子炉補機冷却水系統の玉形弁が属するが、重要度および温度が高い加圧器圧力計・水位計上部元弁を代表機器とする。

#### (3) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：希ガス等、空気、窒素または油

このグループには1次冷却材系統、1次系試料採取系統、原子炉補機冷却水系統、計器用空気系統、非常用ディーゼル発電機設備、格納容器内部スプレイ系統、高圧注入系統、補助給水系統およびタービンEHガバナ制御油系統の玉形弁が属するが、重要度が高く、原子炉格納容器バウンダリである加圧器逃がしタンクガス分析ライン格納容器第1隔離弁を代表機器とする。

#### (4) 設置場所：屋内外、材料：炭素鋼または低合金鋼、内部流体：蒸気、給水、淡水または純水

このグループには主蒸気系統、グランド蒸気系統、ポンプタービン駆動蒸気系統、補助蒸気系統、ドレン系統、主給水系統、復水系統、補助給水系統、蒸気発生器ブ

ローダウン系統、消火水系統および換気空調系統の玉形弁が属するが、重要度および温度が高い主蒸気逃がし弁を代表機器とする。

- (5) 設置場所：屋内、材料：炭素鋼、鋳鉄、銅合金、内部流体：窒素、空気、油、ヒドラジン水、亜硝酸水、純水またはフロンガス

このグループには安全注入系統、原子炉補機冷却水系統、原子炉格納設備、計器用空気系統、雑用空気系統、化学体積制御系統、高圧注入系統、補助給水系統、非常用ディーゼル発電機設備、タービンEHガバナ制御油系統、タービン潤滑油系統および換気空調系統の玉形弁が属するが、重要度、温度および圧力が高い蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離弁を代表機器とする。

- (6) 設置場所：屋外、材料：銅合金、内部流体：海水

このグループには海水系統の玉形弁のみが属することから、海水ポンプモータ冷却水流量調整弁を代表機器とする。

表1-1 (1/4) 大飯4号炉 玉形弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*2	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力 (MPa) [gage]	最高使用温度 (°C)			
屋内	ステンレス鋼	1次冷却材	41	1次冷却材系統	3/4~4	PS-1、MS-1、重*3	約20.0	約360	◎	抽出ライン第1止め弁 (3B)	重要度
			65	化学体積制御系統	3/4~4	MS-1、PS-2、MS-2、高*1、重*3	約20.0	約343			
			21	安全注入系統	3/4~6	MS-1、MS-2、高*1、重*3	約17.2	約150			
			17	余熱除去系統	3/4~3	MS-1、PS-2、MS-2、高*1	約17.2	約200			
			15	格納容器内部スプレイ系統	1/2~8	MS-1、高*1、重*3	約2.8	約150			
			6	燃料取替用水系統	3/4~4	MS-2	約1.4	約95			
			1	燃料ピット冷却系統	4	MS-2	約1.4	約95			
			35	1次系試料採取系統	3/8~3/4	MS-1、MS-2、高*1、重*3	約17.2	約360			
屋内	ステンレス鋼	蒸気	5	1次冷却材系統	3/4	MS-1、高*1	約17.2	約360	◎	加圧器圧力計・水位計上部元弁 (3/4B)	重要度、温度
			25	主蒸気系統	3/4	MS-1、高*1、重*3	約8.2	約298			
			4	補助蒸気系統	3/4~8	高*1	約1.0	約185			
		給水	56	主給水系統	3/4	MS-1、MS-2、高*1	約10.3	約298			
			5	復水系統	1/2~1	高*1	約4.1	約200			
			21	補助給水系統	1/4~6	MS-1、MS-2、高*1	約13.1	約40			
			20	蒸気発生器ブローダウン系統	3/8	MS-1、高*1、重*3	約8.2	約298			
		純水	1	化学体積制御系統	2	MS-2	約1.4	約65			
			ヒドラジン水	14	格納容器内部スプレイ系統	1/2~3/4	MS-1、MS-2	約2.8			
		2		原子炉補機冷却水系統	3/4	MS-2	約0.3	約95			

\*1：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

\*2：機能は最上位の機能を示す。

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

表1-1 (2/4) 大飯4号炉 玉形弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径(B)	重要度*2	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力 (MPa) [gage]	最高使用温度 (°C)			
屋内	ステンレス鋼	希ガス等	2	1次冷却材系統	3/8	MS-1、重*3	約0.7	約170	◎	加圧器逃がしタンクガス分析ライン格納容器第1隔離弁 (3/8B)	重要度、原子炉格納容器ハブカンダリ
			9	1次系試料採取系統	3/4~1	MS-1、高*1、重*3	約1.0	約144			
			2	原子炉補機冷却水系統	6	重*3	約1.4	約175			
			44	計器用空気系統	3/4~3	MS-1、MS-2、重*3	約1.0	約300			
			18	非常用ディーゼル発電機設備	1/8~1	MS-1、高*1、重*3	約3.2	約90			
		窒素	3	原子炉補機冷却水系統	3/4~1	MS-2、重*3	約0.3	約95			
			4	格納容器内部スプレイ系統	3/4	MS-2	約0.07	約65			
		油	4	高圧注入系統	1/2	MS-1	約2.0	約316			
			2	補助給水系統	1/2	MS-1	約0.7	約80			
			2	非常用ディーゼル発電機設備	3/4	MS-1	約0.8	約85			
			8	タービンEHガバナ制御油系統	1/4	高*1	約16.2	約75			

\*1：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

\*2：機能は最上位の機能を示す。

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

表1-1 (3/4) 大飯4号炉 玉形弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*2	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力 (MPa) [gage]	最高使用温度 (°C)			
屋内外	炭素鋼・ 低合金鋼	蒸気	37	主蒸気系統	1/2~8	MS-1、高*1、重*3	約8.2	約298	◎	主蒸気逃がし弁 (6B)	重要度、 温度
			25	グラント蒸気系統	1/2~8	高*1	約8.2	約298			
			2	ポンプタービン駆動蒸気系統	3/4~1	MS-1、高*1	約8.2	約298			
			11	補助蒸気系統	1/2~8	高*1	約8.2	約298			
			23	ドレン系統	1・1/2~6	高*1	約8.2	約298			
		給水	39	主給水系統	1/2~16	高*1	約10.3	約235			
			20	ドレン系統	2~10	高*1	約8.2	約298			
			32	復水系統	1/2~20	高*1	約4.2	約200			
			14	補助給水系統	1/2~3	MS-1、重*3	約13.1	約40			
			8	蒸気発生器ブローダウン系統	3	MS-1、重*3	約8.2	約298			
屋内	炭素鋼	淡水	5	消火水系統	3/4~4	MS-1、高*1、重*3	約1.9	約144			
			12	換気空調系統	1~4	MS-1、MS-2、重*3	約1.0	約144			
		9	補助蒸気系統	1~3	高*1	約3.2	約240				

\*1：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

\*2：機能は最上位の機能を示す。

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

表1-1 (4/4) 大飯4号炉 玉形弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準			代表機器の選定			
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*2	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力 (MPa) [gage]	最高使用温度 (°C)			
屋内	炭素鋼	窒素	2	安全注入系統	3/4~1	MS-1、重*3	約17.2	約144	◎	蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離弁 (1B)	重要度、温度、圧力
			1	原子炉補機冷却水系統	1	重*3	約0.3	約95			
		空気	2	原子炉格納設備	3/4	MS-1、重*3	約0.4	約144			
			14	計器用空気系統	1/2~4	MS-1、MS-2、重*3	約0.8	約144			
			2	雑用空気系統	3/4~2	MS-1、重*3	約0.8	約144			
	炭素鋼			油	2	化学体積制御系統	1	MS-1			
	2	高圧注入系統	3/4		MS-1	約0.5	約100				
	3	補助給水系統	1/2~1・1/2		MS-1	約0.7	約80				
	46	非常用ディーゼル発電機設備	1/2~6		MS-1、重*3	約0.8	約85				
	44	タービンEHガバナ制御油系統	1/8~1・1/4		高*1	約16.2	約75				
	3	タービン潤滑油系統	1/4		高*1	約2.8	約80				
	铸铁		1	化学体積制御系統	1・1・1/2	MS-1	約1.0	約70			
	炭素鋼	ヒドラジン水	115	原子炉補機冷却水系統	1/2~6	MS-1、MS-2、重*3	約1.4	約144			
	炭素鋼・铸铁	亜硝酸水	22	非常用ディーゼル発電機設備	1/2~8	MS-1	約0.5	約90			
	銅合金	純水	8	換気空調系統	1/4	MS-1	約1.0	約45			
			32	換気空調系統	1/4~3/4	MS-1	約0.1	約100			
		油	1	化学体積制御系統	1	MS-1	約1.0	約70			
			24	換気空調系統	1/4~3/4	MS-1	約0.4	約100			
			2	非常用ディーゼル発電機設備	3/8	MS-1	大気圧	約85			
	屋外	銅合金	海水	2	海水系統	1	MS-1	約0.7			

\*1：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

\*2：機能は最上位の機能を示す。

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



## 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種類の玉形弁について技術評価を実施する。

- ① 抽出ライン第1止め弁
- ② 加圧器圧力計・水位計上部元弁
- ③ 加圧器逃がしタンクガス分析ライン格納容器第1隔離弁
- ④ 主蒸気逃がし弁
- ⑤ 蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離弁
- ⑥ 海水ポンプモータ冷却水流量調整弁

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 抽出ライン第1止め弁

##### (1) 構造

大飯4号炉の抽出ライン第1止め弁は空気作動玉形弁であり、1次冷却材系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱および弁蓋には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。

大飯4号炉の抽出ライン第1止め弁の構造図を図2.1-1に示す。

##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の抽出ライン第1止め弁の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

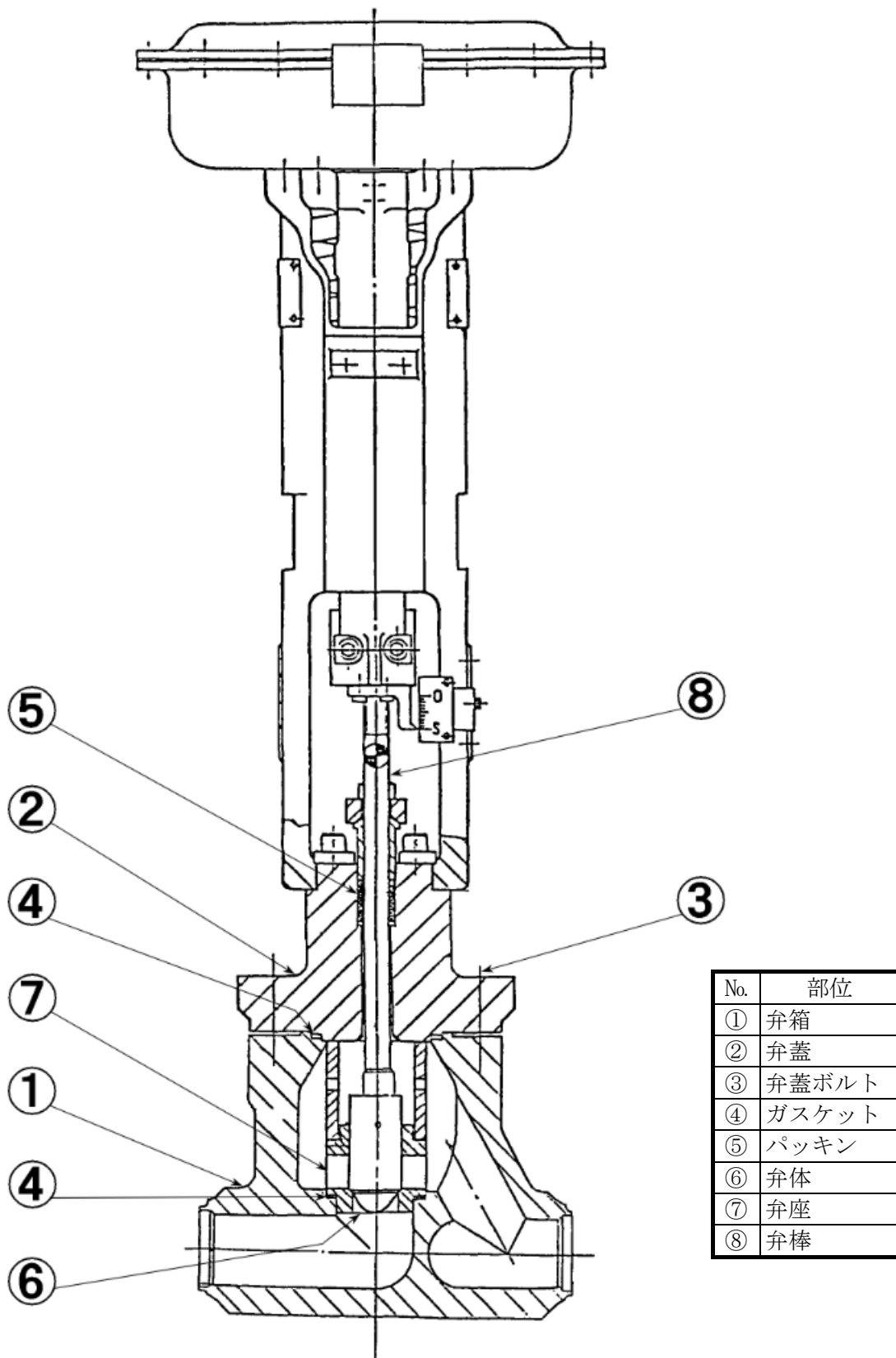


図2.1-1 大飯4号炉 抽出ライン第1止め弁構造図

表2.1-1 大飯4号炉 抽出ライン第1止め弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼
弁蓋	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	耐熱鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁棒	ステンレス鋼

表2.1-2 大飯4号炉 抽出ライン第1止め弁の使用条件

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

## 2.1.2 加圧器圧力計・水位計上部元弁

### (1) 構造

大飯4号炉の加圧器圧力計・水位計上部元弁は手動玉形弁であり、1次冷却材系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、ダイヤフラム、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱、弁蓋および弁体にはステンレス鋼を使用しており、蒸気に接している。

大飯4号炉の加圧器圧力計・水位計上部元弁の構造図を図2.1-2に示す。

### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の加圧器圧力計・水位計上部元弁の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。

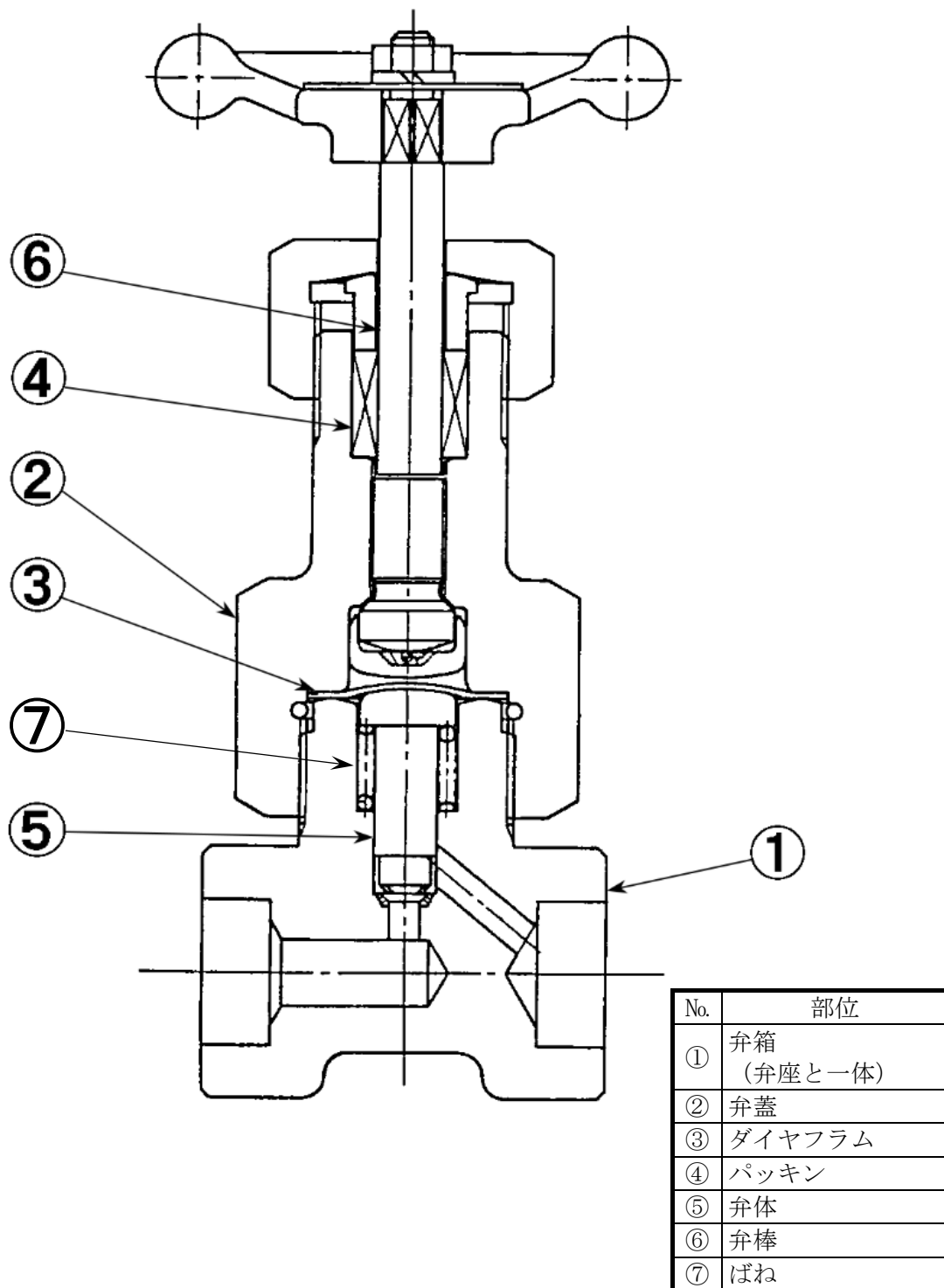


図2.1-2 大飯4号炉 加圧器圧力計・水位計上部元弁構造図

表2.1-3 大飯4号炉 加圧器圧力計・水位計上部元弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁蓋	ステンレス鋼
ダイヤフラム	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼
ばね	ステンレス鋼

表2.1-4 大飯4号炉 加圧器圧力計・水位計上部元弁の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa [gage]
最高使用温度	約360℃
内部流体	蒸気

### 2.1.3 加圧器逃がしタンクガス分析ライン格納容器第1隔離弁

#### (1) 構造

大飯4号炉の加圧器逃がしタンクガス分析ライン格納容器第1隔離弁は空気作動玉形弁であり、1次冷却材系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体（弁棒と一体））からなる。

弁箱、弁蓋および弁体にはステンレス鋼を使用しており、希ガス等に接している。

大飯4号炉の加圧器逃がしタンクガス分析ライン格納容器第1隔離弁の構造図を図2.1-3に示す。

#### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の加圧器逃がしタンクガス分析ライン格納容器第1隔離弁の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。

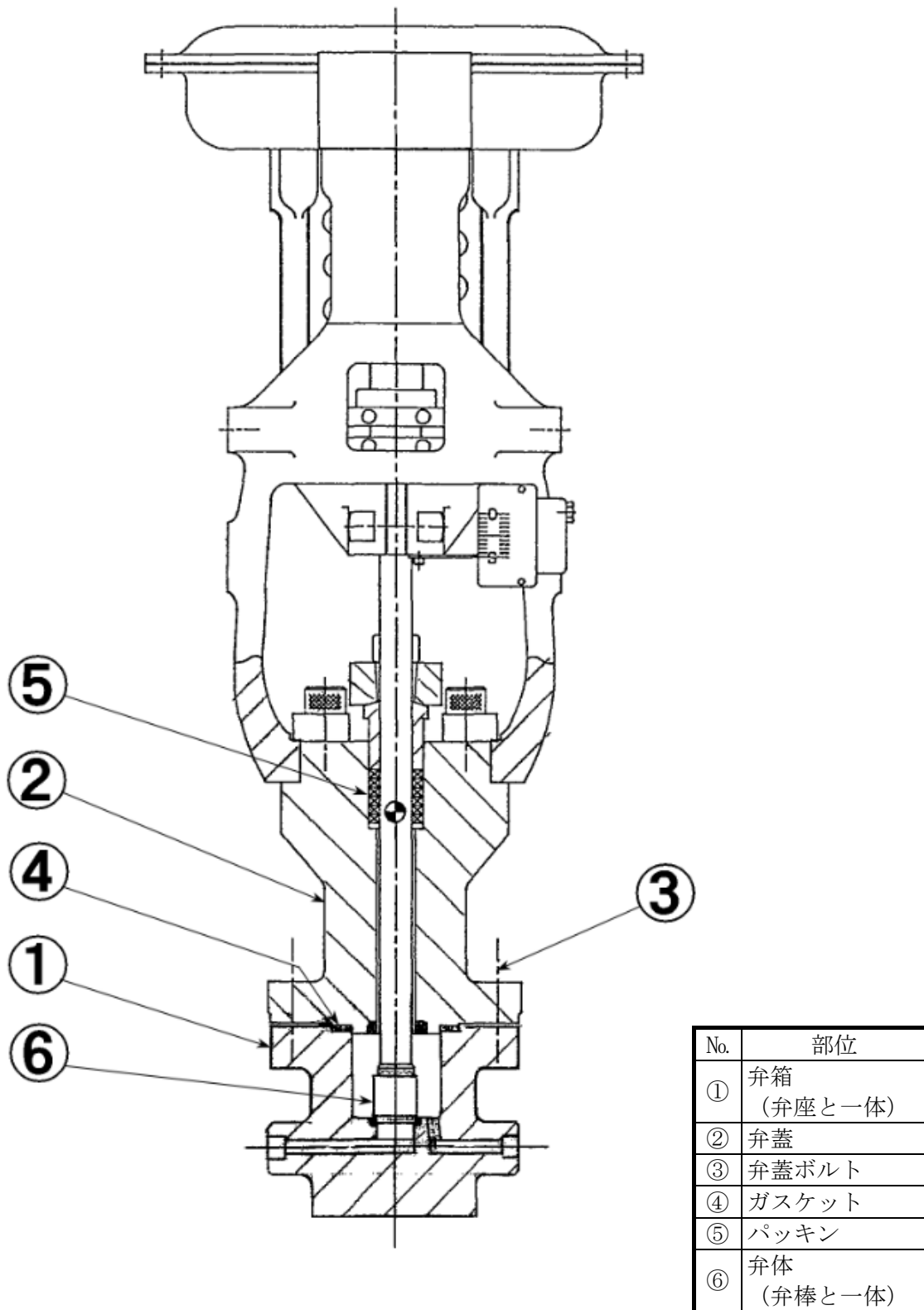


図2.1-3 大飯4号炉 加圧器逃がしタンクガス分析ライン格納容器第1隔離弁構造図



表2.1-5 大飯4号炉 加圧器逃がしタンクガス分析ライン格納容器第1隔離弁の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁蓋	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁蓋ボルト	耐熱鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体 （弁棒と一体）	ステンレス鋼

表2.1-6 大飯4号炉 加圧器逃がしタンクガス分析ライン格納容器第1隔離弁の使用条件

最高使用圧力	約0.7MPa [gage]
最高使用温度	約170℃
内部流体	希ガス等

#### 2.1.4 主蒸気逃がし弁

##### (1) 構造

大飯4号炉の主蒸気逃がし弁は空気作動玉形弁であり、主蒸気系統に設置されている。

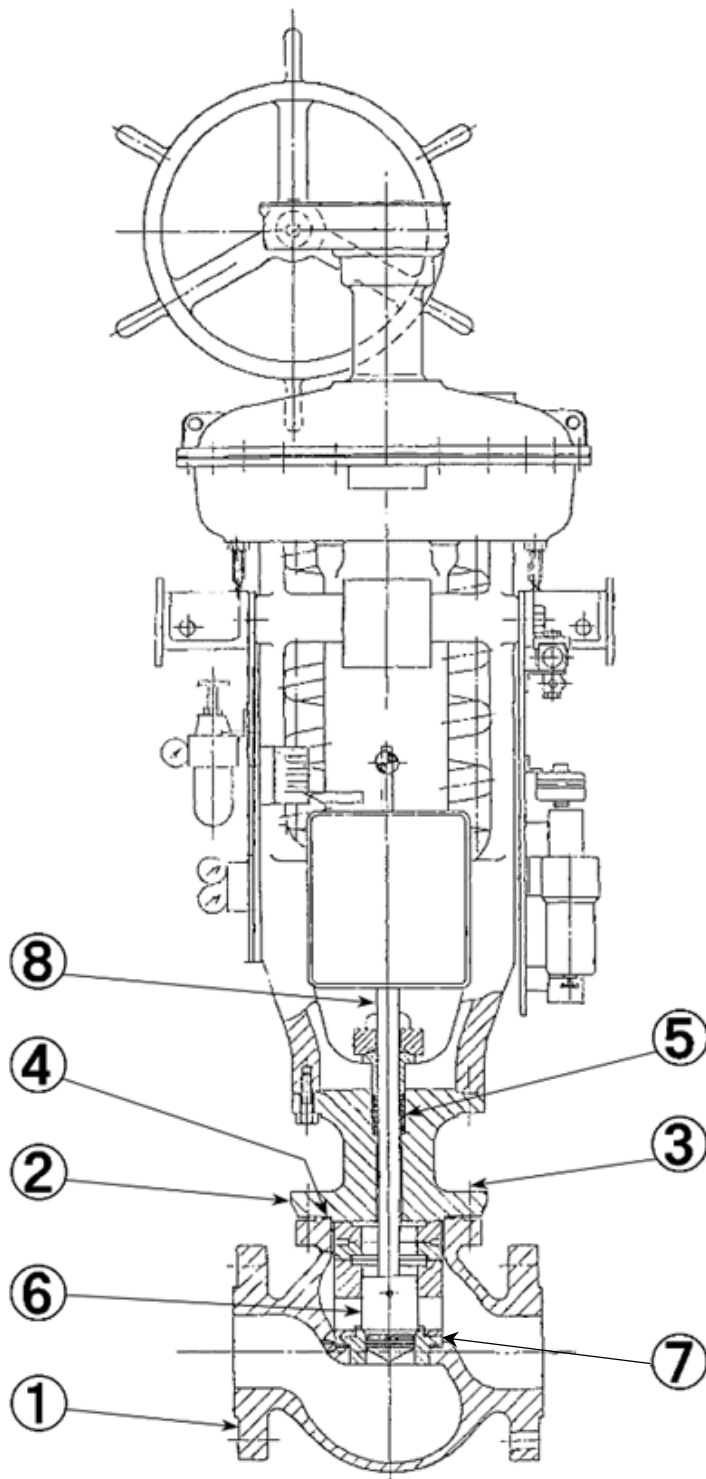
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱および弁蓋には低合金鋼鋳鋼、弁体にはステンレス鋼を使用しており、蒸気に接している。

大飯4号炉の主蒸気逃がし弁の構造図を図2.1-4に示す。

##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の主蒸気逃がし弁の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	弁棒

図2.1-4 大飯4号炉 主蒸気逃がし弁構造図

表2.1-7 大飯4号炉 主蒸気逃がし弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	低合金鋼鑄鋼
弁蓋	低合金鋼鑄鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁座	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼

表2.1-8 大飯4号炉 主蒸気逃がし弁の使用条件

最高使用圧力	約8.2MPa [gage]
最高使用温度	約298℃
内部流体	蒸気

## 2.1.5 蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離弁

### (1) 構造

大飯4号炉の蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離弁は手動玉形弁であり、安全注入系統に設置されている。

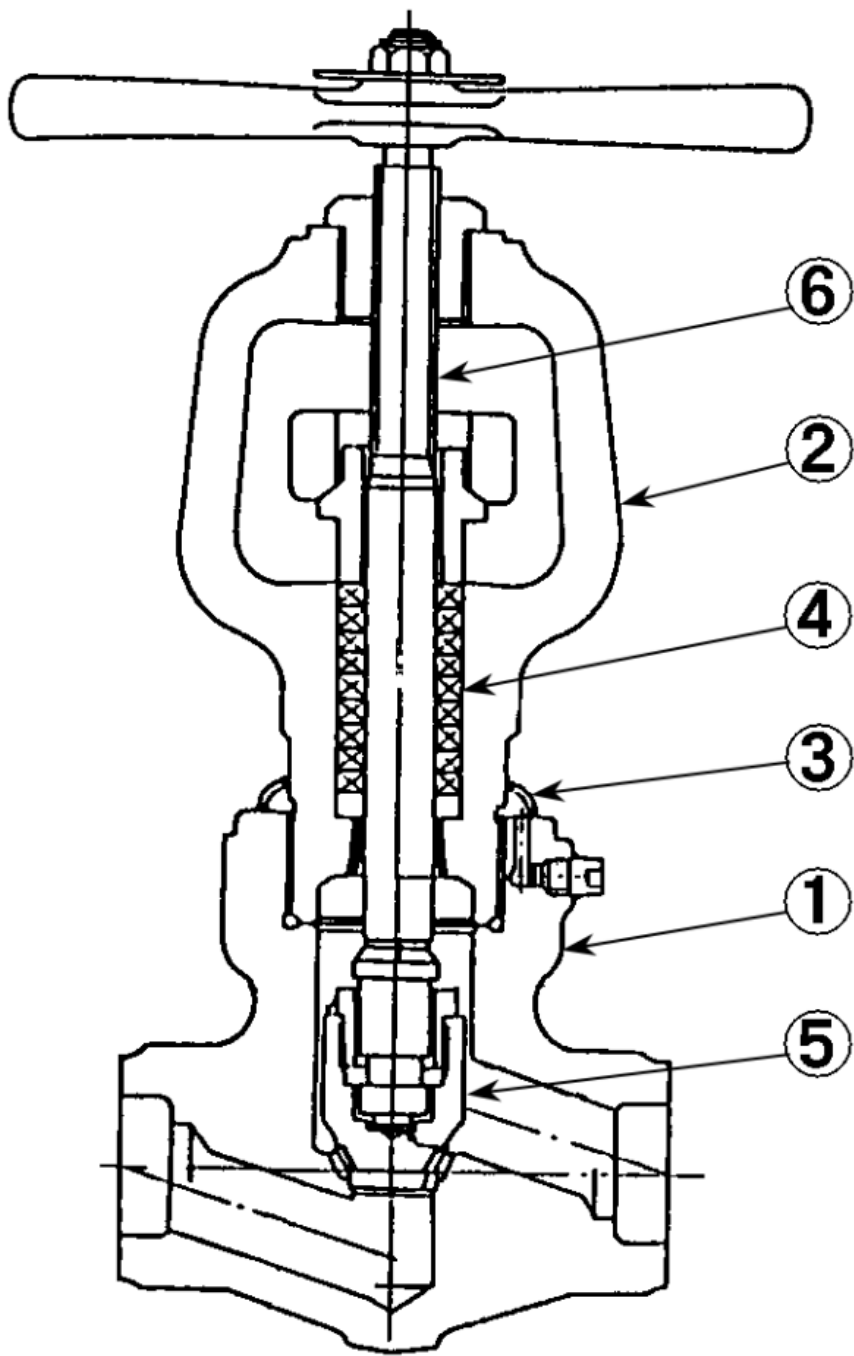
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、シールプレート、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱および弁蓋には炭素鋼、弁体にはステンレス鋼を使用しており、窒素に接している。

大飯4号炉の蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離弁の構造図を図2.1-5に示す。

### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離弁の使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。



No.	部位
①	弁箱 (弁座と一体)
②	弁蓋 (ヨークと一体)
③	シールプレート
④	パッキン
⑤	弁体
⑥	弁棒

図2.1-5 大飯4号炉 蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離弁  
構造図

表2.1-9 大飯4号炉 蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁蓋（ヨークと一体）	炭素鋼（ステライト肉盛）
シールプレート	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼

表2.1-10 大飯4号炉 蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離弁の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa [gage]
最高使用温度	約144℃
内部流体	窒素

## 2.1.6 海水ポンプモータ冷却水流量調整弁

### (1) 構造

大飯4号炉の海水ポンプモータ冷却水流量調整弁は手動玉形弁であり、海水系統に設置されている。

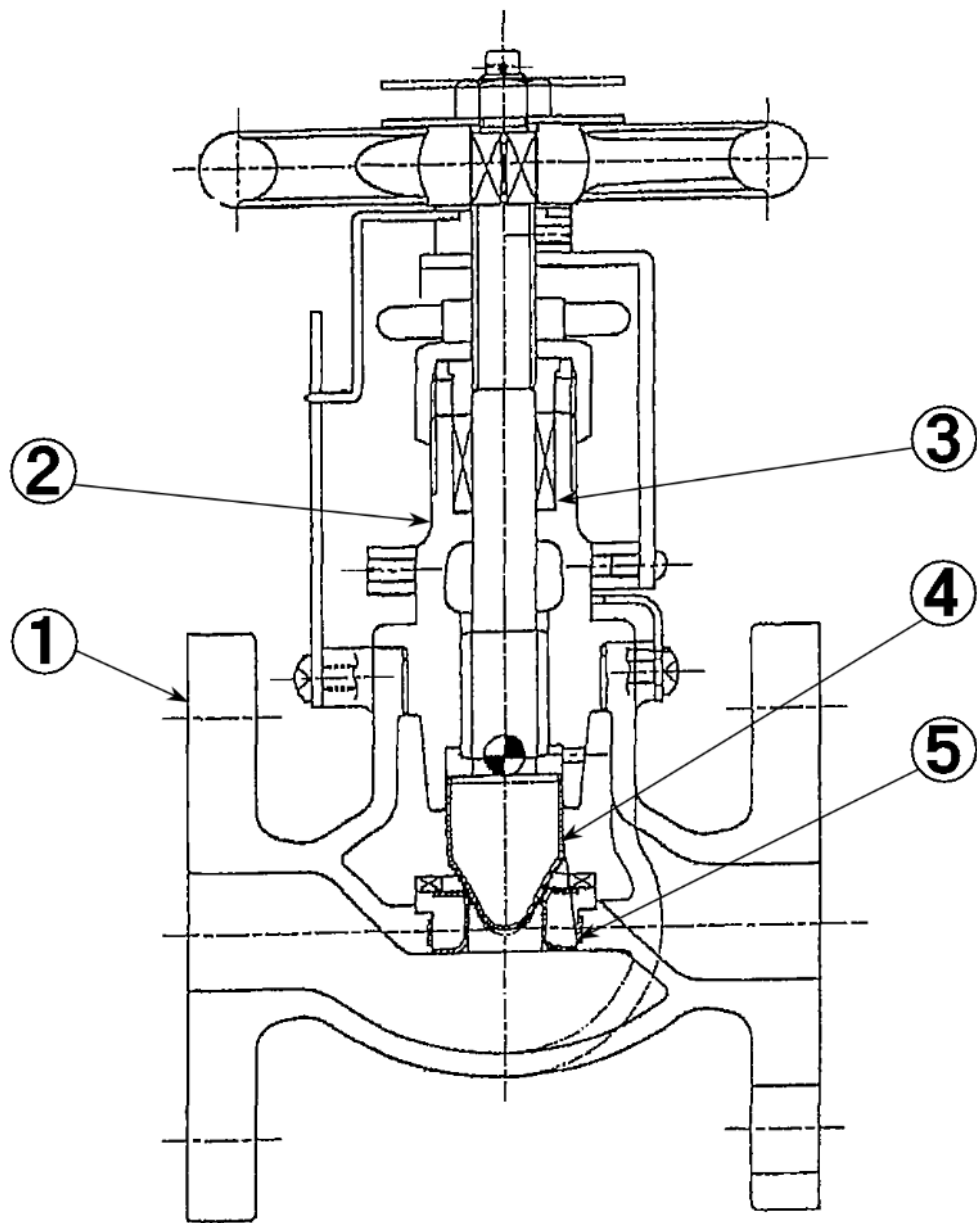
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部(弁箱、弁蓋、パッキン)、流体を仕切る隔離部(弁体、弁座)からなる。

大飯4号炉の海水ポンプモータ冷却水流量調整弁の構造図を図2.1-6に示す。

### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の海水ポンプモータ冷却水流量調整弁の使用材料および使用条件を表2.1-11および表2.1-12に示す。





No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	パッキン
④	弁体 (弁棒と一体)
⑤	弁座

図2.1-6 大飯4号炉 海水ポンプモータ冷却水流量調整弁構造図

表2.1-11 大飯4号炉 海水ポンプモータ冷却水流量調整弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	消耗品・定期取替品
弁蓋	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体（弁棒と一体）	消耗品・定期取替品
弁座	消耗品・定期取替品

表2.1-12 大飯4号炉 海水ポンプモータ冷却水流量調整弁の使用条件

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

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

玉形弁の機能である流体の仕切および流量調節機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

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

#### (1) 弁箱の疲労割れ [抽出ライン第1止め弁]

抽出ライン第1止め弁はプラントの起動・停止時等に発生する内部流体のステップ状の大きな温度変化により、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

- (1) 弁体、弁座または弁箱弁座部シート面の摩耗 [海水ポンプモータ冷却水流量調整弁以外]  
弁体、弁座または弁箱弁座部シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。  
しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。  
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (2) 弁棒（パッキン受け部）の摩耗 [海水ポンプモータ冷却水流量調整弁以外]  
弁棒は開閉に伴うパッキン受け部との摺動により、摩耗が想定される。  
しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。  
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (3) 弁棒の腐食（隙間腐食） [海水ポンプモータ冷却水流量調整弁以外]  
弁棒はパッキンとの接触部において腐食が想定される。  
しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。  
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (4) 弁箱、弁蓋の外面からの腐食（全面腐食）〔主蒸気逃がし弁、蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離弁〕

低合金鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋は、外面からの腐食が想定される。

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

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

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

- (5) 弁棒の応力腐食割れ〔海水ポンプモータ冷却水流量調整弁以外〕

1989年3月、川内2号炉の仕切弁で水素脆化型の応力腐食割れ（遅れ割れ）による弁棒のき裂損傷が発生しているが、弁開時にバックシートを効かせ過ぎたことにより過大な応力が発生したことが原因である。

しかしながら、大飯4号炉においては、手動弁は開弁時バックシートを効かせず、電動弁、空気作動弁はバックシート部の発生応力を制限して弁開時のバックシート部に過大な応力が発生しないようにしている。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

- (6) 弁箱等の腐食（全面腐食）〔蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離弁〕

蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離弁の弁箱、弁蓋は炭素鋼であることから内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、内部流体は窒素で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

- (7) 弁箱等の腐食（全面腐食）〔主蒸気逃がし弁〕

低合金鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋は、内部流体が蒸気であり、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(8) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食） [主蒸気逃がし弁]

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

(9) ばねの変形（応力緩和） [加圧器圧力計・水位計上部元弁]

ばねには、弁体位置を安定させるための荷重が加わっており、長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、通常、全開状態で使用されている弁であり、ばねにはほとんど荷重は加わっていない環境で使用している。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケット、パッキン、ダイヤフラムおよびシールプレートは、分解点検時に取替える消耗品であり、海水系統の銅合金製弁（海水ポンプモータ冷却水流量調整弁）は定期取替品であり、いずれも長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2. 2-1 (1/6) 大飯4号炉 抽出ライン第1止め弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼			○				*1：隙間腐食	
	弁蓋		ステンレス鋼								
	弁蓋ボルト		耐熱鋼								
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△	△*1		△				

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/6) 大飯4号炉 加圧器圧力計・水位計上部元弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△						*1：隙間腐食 *2：変形 (応力緩和)	
	弁蓋		ステンレス鋼								
	ダイヤフラム	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△	△*1		△				
	ばね		ステンレス鋼						△*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（日常劣化管理事象）



表2.2-1(3/6) 大飯4号炉 加圧気逃がしタンクガス分析ライン格納容器第1隔離弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△						*1：隙間腐食	
	弁蓋		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)								
	弁蓋ボルト		耐熱鋼								
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体 (弁棒と一体)		ステンレス鋼	△	△*1		△				

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/6) 大飯4号炉 主蒸気逃がし弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			減肉
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		低合金鋼鋳鋼		△ <sup>*1,2</sup>					*1：全面腐食(外面) *2：全面腐食(内面) *3：隙間腐食	
	弁蓋		低合金鋼鋳鋼		△ <sup>*1,2</sup>						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△	△ <sup>*3</sup>		△				

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(5/6) 大飯4号炉 蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△ <sup>*1,2</sup>					*1: 全面腐食(外面) *2: 全面腐食(内面) *3: 隙間腐食	
	弁蓋 (ヨークと一体)		炭素鋼 (ステライト肉盛)		△ <sup>*1,2</sup>						
	シールプレート	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△	△ <sup>*3</sup>		△				

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(6/6) 大飯4号炉 海水ポンプモータ冷却水流量調整弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱	◎	—								
	弁蓋	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体 (弁棒と一体)	◎	—								
	弁座	◎	—								

## 2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

### 2.3.1 弁箱の疲労割れ〔抽出ライン第1止め弁〕

#### a. 事象の説明

抽出ライン第1止め弁は、プラントの起動・停止時等に熱過渡を繰り返し受けるため、疲労が蓄積する。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

抽出ライン第1止め弁の健全性評価にあたっては、「日本機械学会 設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007)」に基づき評価を行った。

評価対象部位を図2.3-1に示す。

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

疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。

なお、2014年度末までの運転実績に基づき推定した2015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。

##### ② 現状保全

弁箱の疲労割れに対しては、定期的な分解点検時に弁内面の目視確認を実施し、有意な異常がないことを確認するとともに、定期的な漏えい確認を実施し健全性を確認している。

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

##### ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、弁箱の疲労割れ発生の可能性はないと考える。

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

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、異常のないことは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

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

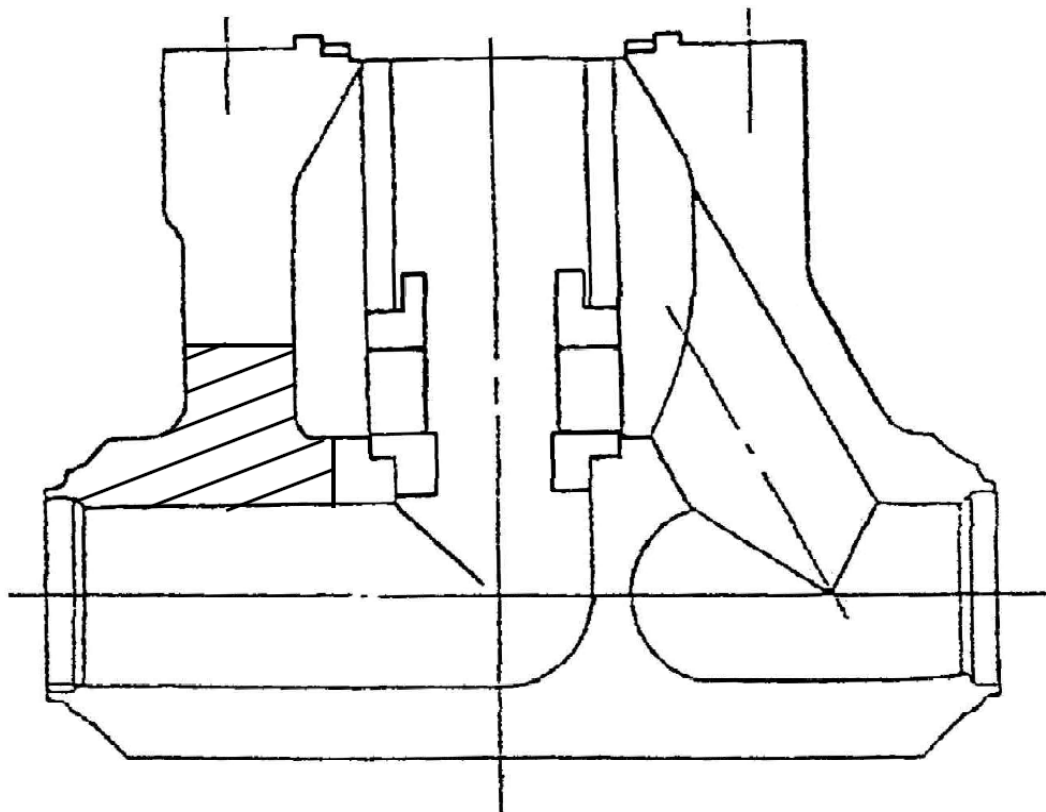


図2.3-1 大飯4号炉 抽出ライン第1止め弁の疲労評価対象部位（斜線部）

表2.3-1 大飯4号炉 抽出ライン第1止め弁の評価用過渡条件

運転状態Ⅰ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2014年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動(温度上昇率55.6℃/h)	26	74
停止(温度下降率55.6℃/h)	26	74
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	221	927
負荷減少(負荷減少率5%/min)	211	917
90%から100%へのステップ状負荷上昇	2	4
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	3	9
定常負荷運転時の変動*1	-	-
燃料交換	15	70
0%から15%への負荷上昇	27	75
15%から0%への負荷減少	18	60
1 ループ停止/1 ループ起動		
I) 停止	0	2
II) 起動	0	2
抽出ライン隔離および復帰	0	7
充てんライン隔離および復帰(保守)	0	2

運転状態Ⅱ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2014年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
負荷の喪失	4	7
外部電源喪失	1	5
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	2	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	3
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	5	5
1次系漏えい試験	19	60
充てんライン隔離および復帰(SI時)	0	6

\*1: 「設計評価においては、1次冷却材温度は高温側±1.4℃、低温側は±2.4℃、1次冷却材圧力+0.39MPa、-0.29MPa(+4.0kg/cm<sup>2</sup>、-3.0 kg/cm<sup>2</sup>)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 大飯4号炉 抽出ライン第1止め弁の疲労評価結果

部位	疲労累積係数（許容値：1以下）	
	設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
弁箱 (ステンレス鋼)	0.034	0.485



### 3. 代表機器以外への展開

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

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

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

##### 3.1.1 弁箱の疲労割れ [1次冷却材系統の玉形弁]

プラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材のステップ状の大きな温度変化を受ける抽出ライン第1止め弁の疲労評価結果では表2.3-2に示すように許容値に対して余裕があり、当該弁と同等以下の過渡しか受けないその他の弁についても、疲労割れが発生する可能性はないと考える。

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、異常のないことは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、弁箱の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

### 3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### 3.2.1 弁体、弁座または弁箱弁座部シート面の摩耗 [共通]

弁体、弁座または弁箱弁座部シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

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

#### 3.2.2 弁棒（パッキン受け部）の摩耗 [共通]

弁棒は開閉に伴うパッキン受け部との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

#### 3.2.3 弁棒の腐食（隙間腐食） [共通]

弁棒はパッキンとの接触部において腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

#### 3.2.4 ヨークの腐食（全面腐食） [ヨークのある弁共通]

炭素鋼鋳鋼または炭素鋼のヨークは、腐食が想定される。

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

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

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

- 3.2.5 弁箱、弁蓋の外面からの腐食（全面腐食）〔主蒸気系統、グラント蒸気系統、ポンプタービン駆動蒸気系統、補助蒸気系統、ドレン系統、主給水系統、復水系統、補助給水系統、蒸気発生器ブローダウン系統、消火水系統、換気空調系統、安全注入系統、原子炉補機冷却水系統、原子炉格納設備、計器用空気系統、雑用空気系統、化学体積制御系統、高圧注入系統、非常用ディーゼル発電機設備、タービンEHガバナ制御油系統およびタービン潤滑油系統の玉形弁〕

炭素鋼鋳鋼、炭素鋼、低合金鋳鋼または低合金鋼の弁箱、弁蓋は、外面からの腐食が想定される。

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

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

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

- 3.2.6 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食）〔主蒸気系統、グラント蒸気系統、ポンプタービン駆動蒸気系統、補助蒸気系統、ドレン系統、主給水系統、復水系統、蒸気発生器ブローダウン系統の玉形弁〕

内部流体が蒸気または高速の水であり、炭素鋼鋳鋼、炭素鋼の弁箱、弁蓋を用いている弁には、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

- 3.2.7 弁体、弁座または弁箱弁座部シート面の腐食（エロージョン）〔中間開度で使用している弁共通〕

中間開度で使用している弁の弁体、弁座は、内部流体によるエロージョンにより減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

3.2.8 弁箱等の腐食（全面腐食）〔補助給水系統、消火水系統、換気空調系統、安全注入系統、原子炉補機冷却水系統、原子炉格納設備、計器用空気系統、雑用空気系統、化学体積制御系統、高圧注入系統、非常用ディーゼル発電機設備、補助蒸気系統、タービンEHガバナ制御油系統およびタービン潤滑油系統の玉形弁〕炭素鋼鑄鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座を持つ弁のうち、内部流体が飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）水である弁については、長期使用により腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.9 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔低合金鋼製または炭素鋼製の弁蓋ボルトのある弁共通〕

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

3.2.10 弁棒の応力腐食割れ 〔共通〕

1989年3月、川内2号炉の仕切弁で水素脆化型の応力腐食割れ（遅れ割れ）による弁棒のき裂損傷が発生しているが、弁開時にバックシートを効かせ過ぎたことにより過大な応力が発生したことが原因である。

しかしながら、大飯4号炉においては、手動弁は開弁時バックシートを効かせず、電動弁、空気作動弁はバックシート部の発生応力を制限して弁開時のバック

シート部に過大な応力が発生しないようにしている。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.11 弁箱等の腐食（エロージョン）〔ドレン系統、グラウンド蒸気系統の玉形弁〕

蒸気、凝縮水が流れる玉形弁では、高減圧部となる部位で流速が大きくなるため、エロージョンによる減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

## 1.3 バタフライ弁

### [対象機器]

- ① 余熱除去系統バタフライ弁
- ② 燃料ピット冷却系統バタフライ弁
- ③ ポンプタービン駆動蒸気系統バタフライ弁
- ④ 海水系統バタフライ弁
- ⑤ 非常用ディーゼル発電機設備バタフライ弁
- ⑥ 換気空調系統バタフライ弁
- ⑦ 原子炉補機冷却水系統バタフライ弁

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	3
2.1 構造、材料および使用条件 .....	3
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	18
3. 代表機器以外への展開 .....	27
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 .....	27

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

大飯4号炉で使用されているバタフライ弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらのバタフライ弁を設置場所、内部流体および材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すバタフライ弁について、設置場所、内部流体および材料を分離基準として考えると、合計5個のグループに分類される。

### 1.2 代表機器の選定

- (1) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：1次冷却材

このグループには、余熱除去系統および燃料ピット冷却系統のバタフライ弁が属するが、重要度が高く、口径が大きい余熱除去冷却器出口流量調節弁を代表機器とする。

- (2) 設置場所：屋内、材料：炭素鋼、内部流体：蒸気

このグループにはポンプタービン駆動蒸気系統のバタフライ弁のみが属することから、主給水ポンプ駆動タービン排気弁を代表機器とする。

- (3) 設置場所：屋内外、材料：炭素鋼、内部流体：海水

このグループには、海水系統および非常用ディーゼル発電機設備のバタフライ弁が属するが、重要度および圧力が高い海水ポンプ出口弁を代表機器とする。

- (4) 設置場所：屋内、材料：炭素鋼または鋳鉄、内部流体：空気またはフロンガス

このグループには換気空調系統のバタフライ弁のみが属することから、格納容器給気第1隔離弁を代表機器とする。

- (5) 設置場所：屋内、材料：炭素鋼、内部流体：ヒドラジン水

このグループには原子炉補機冷却水系統のバタフライ弁のみが属することから、格納容器スプレイ冷却器冷却水絞り弁を代表機器とする。



表1-1 大飯4号炉 バタフライ弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径(B)	重要度*2	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力 (MPa) [gage]	最高使用温度 (°C)			
屋内	ステンレス鋼	1次冷却材	4	余熱除去系統	8~10	MS-1、重*3	約4.5	約200	◎	余熱除去冷却器出口流量調節弁 (10B)	重要度口径
			2	燃料ピット冷却系統	12	MS-2	約1.0	約95			
屋内	炭素鋼	蒸気	2	ポンプタービン駆動蒸気系統	72	高*1	約0.1	約120	◎	主給水ポンプ駆動タービン排気弁 (72B)	
屋内外	炭素鋼	海水	36	海水系統	6~34	MS-1、重*3	約1.0	約50	◎	海水ポンプ出口弁 (34B)	重要度圧力
屋内			8	非常用ディーゼル発電機設備	6	MS-1	約0.7	約50			
屋内	炭素鋼	空気	16	換気空調系統	3~48	MS-1、重*3	約0.8	約144	◎	格納容器給気第1隔離弁 (48B)	
	鋳鉄	フロンガス	4	換気空調系統	2・1/2	MS-1	約0.1	約100			
屋内	炭素鋼	ヒドラジン水	4	原子炉補機冷却水系統	14~16	MS-1	約1.4	約95	◎	格納容器スプレイ冷却器冷却水絞り弁 (16B)	

\*1：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

\*2：機能は最上位の機能を示す。

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

## 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種類のバタフライ弁について技術評価を実施する。

- ① 余熱除去冷却器出口流量調節弁
- ② 主給水ポンプ駆動タービン排気弁
- ③ 海水ポンプ出口弁
- ④ 格納容器給気第1隔離弁
- ⑤ 格納容器スプレイ冷却器冷却水絞り弁

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 余熱除去冷却器出口流量調節弁

##### (1) 構造

大飯4号炉の余熱除去冷却器出口流量調節弁は、空気作動バタフライ弁であり、余熱除去系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱および弁体はステンレス鋼、弁蓋はステンレス鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。

大飯4号炉の余熱除去冷却器出口流量調節弁の構造図を図2.1-1に示す。

##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の余熱除去冷却器出口流量調節弁の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

No.	部位
①	弁箱 (弁座と一体)
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	弁体
⑦	弁棒
⑧	ブッシュ

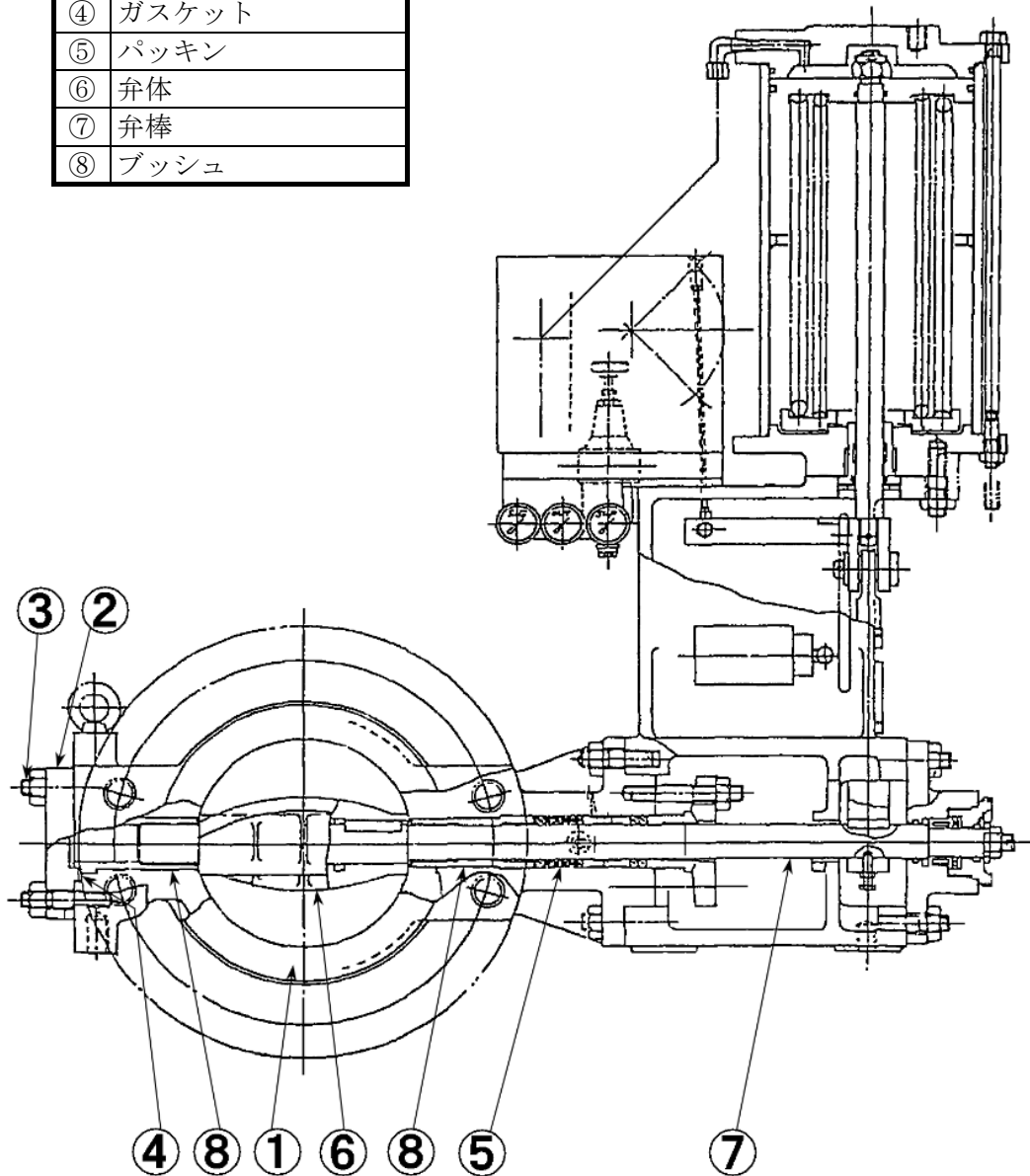


図2.1-1 大飯4号炉 余熱除去冷却器出口流量調節弁構造図

表2.1-1 大飯4号炉 余熱除去冷却器出口流量調節弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	ステンレス鋼鋳鋼（ステライト肉盛）
弁蓋	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼鋳鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼
ブッシュ	消耗品・定期取替品

表2.1-2 大飯4号炉 余熱除去冷却器出口流量調節弁の使用条件

最高使用圧力	約4.5MPa [gage]
最高使用温度	約200℃
内部流体	1次冷却材

## 2.1.2 主給水ポンプ駆動タービン排気弁

### (1) 構造

大飯4号炉の主給水ポンプ駆動タービン排気弁は、電動バタフライ弁であり、ポンプタービン駆動蒸気系統に設置されている。

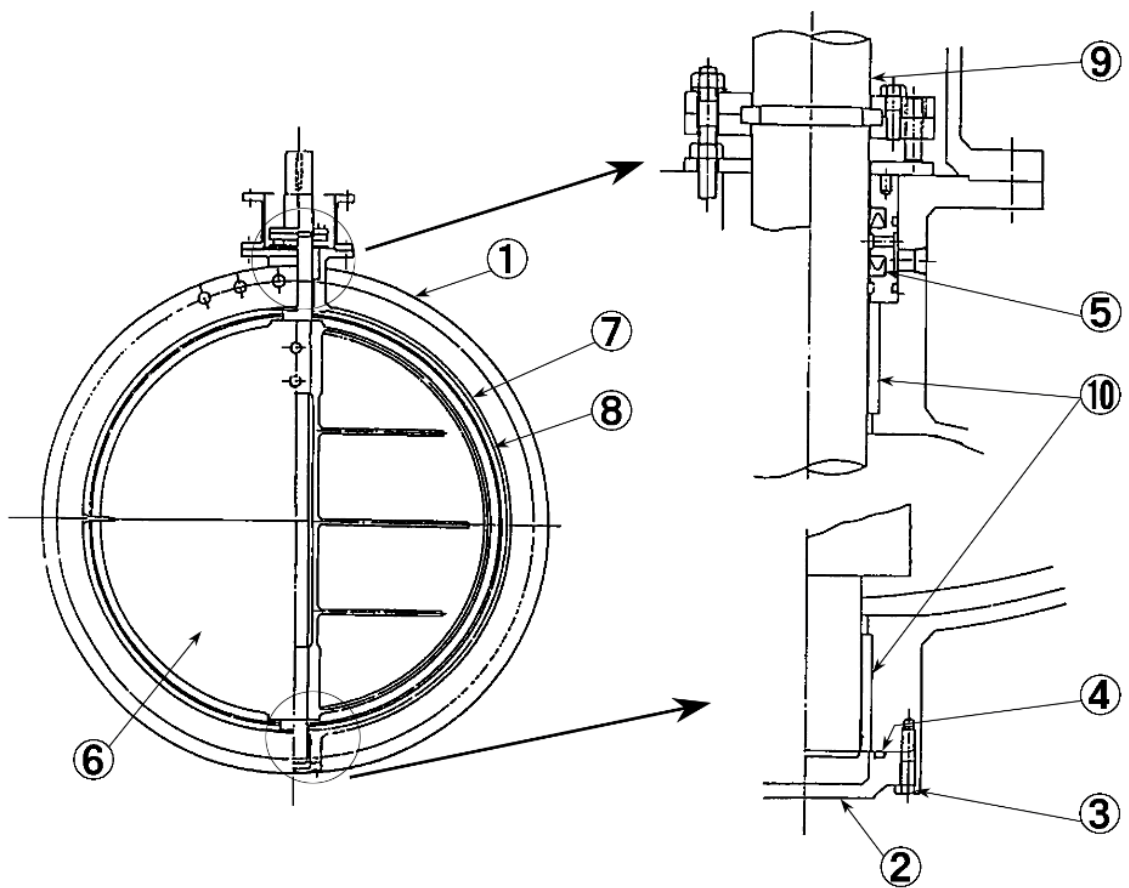
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、Oリング、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱、弁蓋および弁体は炭素鋼を使用しており、蒸気に接している。

大飯4号炉の主給水ポンプ駆動タービン排気弁の構造図を図2.1-2に示す。

### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の主給水ポンプ駆動タービン排気弁の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	Oリング
⑤	パッキン
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	弁体シート
⑨	弁棒
⑩	ブッシュ

図2.1-2 大飯4号炉 主給水ポンプ駆動タービン排気弁構造図

表2.1-3 大飯4号炉 主給水ポンプ駆動タービン排気弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼
弁蓋	炭素鋼
弁蓋ボルト	ステンレス鋼
Oリング	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	炭素鋼
弁座	ステンレス鋼
弁体シート	消耗品・定期取替品
弁棒	ステンレス鋼
ブッシュ	消耗品・定期取替品

表2.1-4 大飯4号炉 主給水ポンプ駆動タービン排気弁の使用条件

最高使用圧力	約-0.1MPa [gage]
最高使用温度	約120℃
内部流体	蒸気

### 2.1.3 海水ポンプ出口弁

#### (1) 構造

大飯4号炉の海水ポンプ出口弁は、手動バタフライ弁であり、海水系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、Oリング）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱および弁蓋には炭素鋼鋳鋼、弁体には銅合金鋳物を使用しており、海水に接液している。

大飯4号炉の海水ポンプ出口弁の構造図を図2.1-3に示す。

#### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の海水ポンプ出口弁の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。



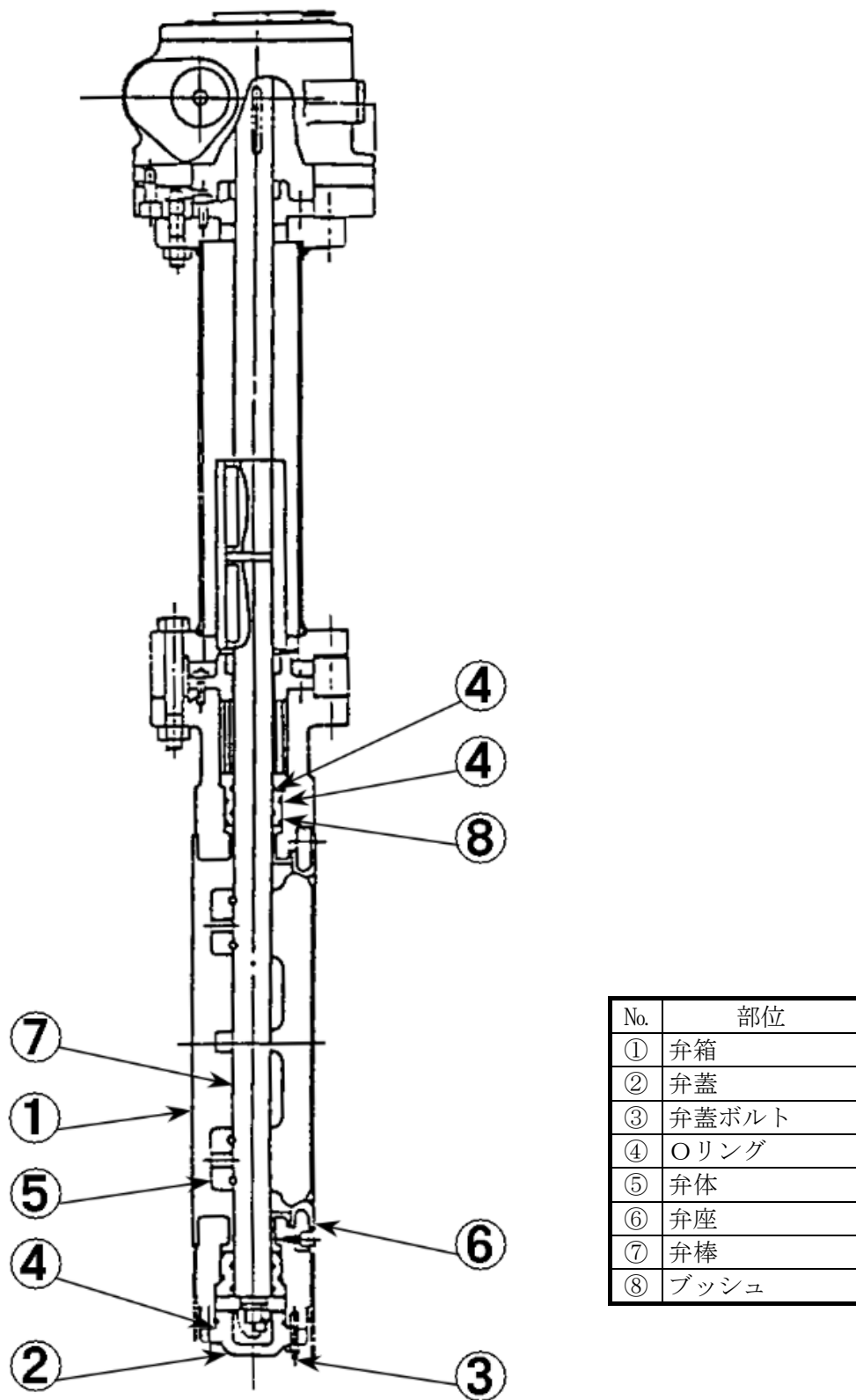


図2.1-3 大飯4号炉 海水ポンプ出口弁構造図

表2.1-5 大飯4号炉 海水ポンプ出口弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼（ゴムライニング）
弁蓋	炭素鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	炭素鋼
Ｏリング	消耗品・定期取替品
弁体	銅合金鋳物
弁座	炭素鋼（ゴムライニング）
弁棒	銅合金
ブッシュ	消耗品・定期取替品

表2.1-6 大飯4号炉 海水ポンプ出口弁の使用条件

最高使用圧力	約1.0MPa [gage]
最高使用温度	約50℃
内部流体	海水

#### 2.1.4 格納容器給気第1隔離弁

##### (1) 構造

大飯4号炉の格納容器給気第1隔離弁は、空気作動バタフライ弁であり、換気空調系統に設置されている。

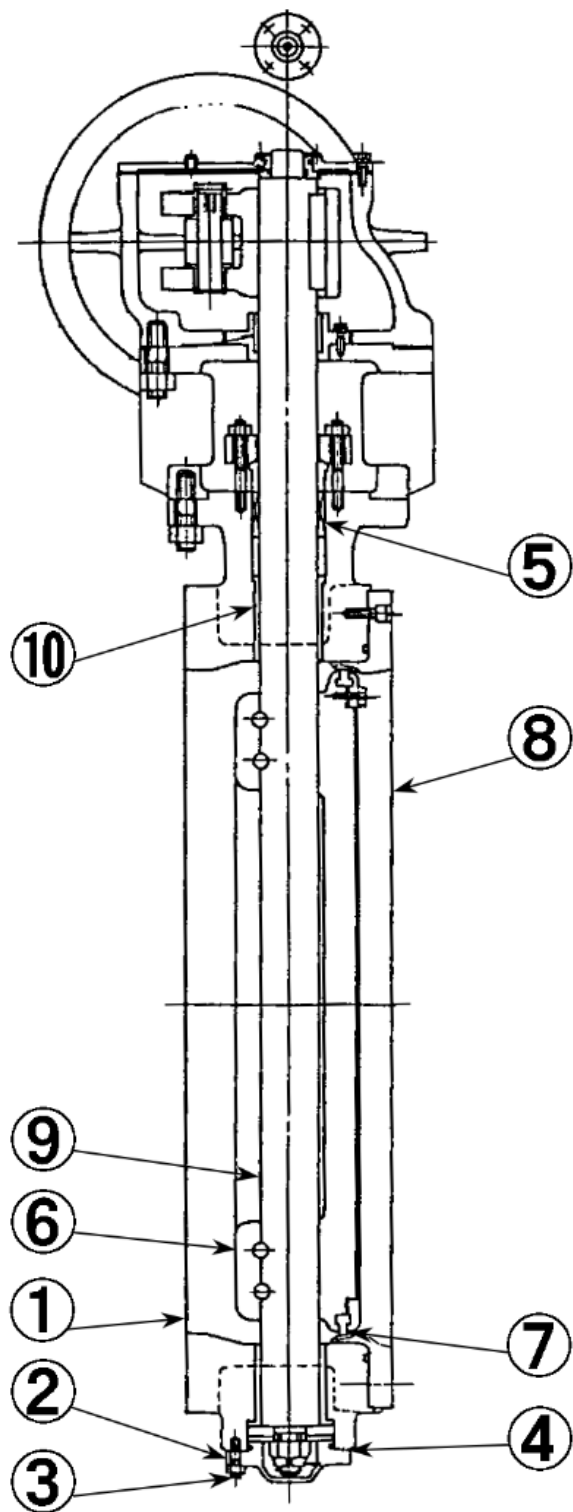
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱、弁蓋および弁体には炭素鋼鋳鋼を使用しており、空気に接している。

大飯4号炉の格納容器給気第1隔離弁の構造図を図2.1-4に示す。

##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の格納容器給気第1隔離弁の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	弁体
⑦	弁体シート
⑧	弁座
⑨	弁棒
⑩	ブッシュ

図2.1-4 大飯4号炉 格納容器給気第1隔離弁構造図

表2.1-7 大飯4号炉 格納容器給気第1隔離弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	炭素鋼鋳鋼
弁体シート	消耗品・定期取替品
弁座	炭素鋼
弁棒	ステンレス鋼
ブッシュ	消耗品・定期取替品

表2.1-8 大飯4号炉 格納容器給気第1隔離弁の使用条件

最高使用圧力	約0.4MPa [gage]
最高使用温度	約144℃
内部流体	空気

## 2.1.5 格納容器スプレイ冷却器冷却水絞り弁

### (1) 構造

大飯4号炉の格納容器スプレイ冷却器冷却水絞り弁は、手動バタフライ弁であり、原子炉補機冷却水系統に設置されている。

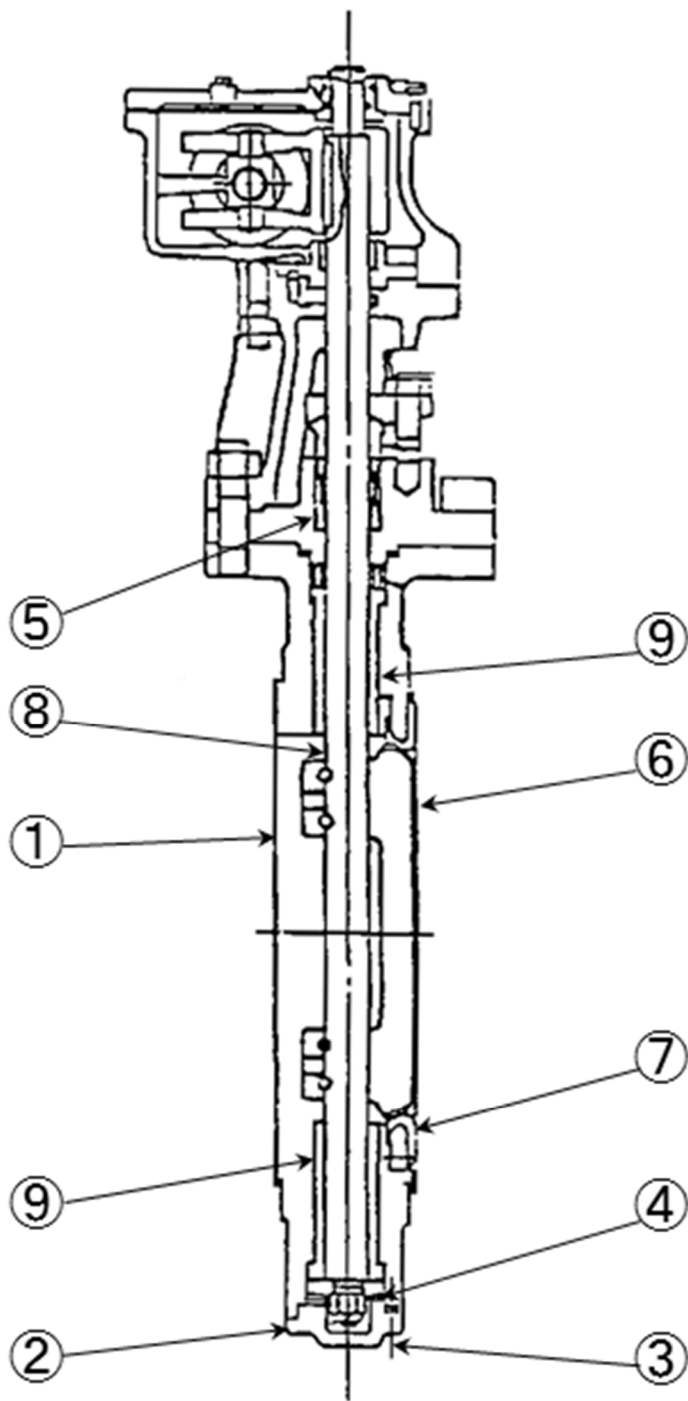
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱および弁体には炭素鋼鋳鋼、弁蓋には炭素鋼を使用しており、ヒドラジン水に接している。

大飯4号炉の格納容器スプレイ冷却器冷却水絞り弁の構造図を図2.1-5に示す。

### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の格納容器スプレイ冷却器冷却水絞り弁の使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	パッキン
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	弁棒
⑨	ブッシュ

図2.1-5 大飯4号炉 格納容器スプレイ冷却器冷却水絞り弁構造図

表2.1-9 大飯4号炉 格納容器スプレイ冷却器冷却水絞り弁  
 主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼
弁蓋ボルト	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	炭素鋼鋳鋼
弁座	炭素鋼（ゴムライニング）
弁棒	ステンレス鋼
ブッシュ	消耗品・定期取替品

表2.1-10 大飯4号炉 格納容器スプレイ冷却器冷却水絞り弁の使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa [gage]
最高使用温度	約95℃
内部流体	ヒドラジン水



## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

バタフライ弁の機能である流体の仕切および流量調節機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) 弁体、弁座または弁箱弁座部シート面の摩耗 [共通]

弁体、弁座または弁箱弁座部シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

#### (2) 弁体、弁箱弁座部の腐食（エロージョン） [余熱除去冷却器出口流量調節弁]

中間開度で使用している弁体、弁箱弁座部には、エロージョンによる減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

#### (3) 弁棒（パッキン、Oリング受け部および軸保持部）の摩耗 [共通]

弁棒は開閉に伴うパッキン、Oリング受け部および軸保持部との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

- (4) 弁棒の腐食（隙間腐食）〔共通〕  
弁棒はパッキンおよびOリングとの接触部において腐食が想定される。  
しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。  
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (5) 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食）〔主給水ポンプ駆動タービン排気弁〕  
炭素鋼の弁箱、弁蓋および弁体は、内部流体が蒸気であり、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。  
しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。  
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (6) 弁箱、弁蓋等の外面からの腐食（全面腐食）〔主給水ポンプ駆動タービン排気弁、海水ポンプ出口弁、格納容器給気第1隔離弁、格納容器スプレイ冷却器冷却水絞り弁隔離弁〕  
炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋は、外面からの腐食が想定される。  
しかしながら、大気接触部は塗装等により腐食を防止しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。  
また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。  
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (7) 弁箱、弁蓋の腐食（異種金属接触腐食を含む）〔海水ポンプ出口弁〕  
内部流体が海水であり、炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋および弁座の接液部においては腐食が想定される。  
しかしながら、定期的な分解点検時にライニング等の状況を目視確認し、機器の健全性を維持している。  
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(8) 弁棒等の腐食（孔食・隙間腐食）〔海水ポンプ出口弁〕

内部流体が海水であり、銅合金または銅合金鑄物の弁棒および弁体の接液部においては、孔食・隙間腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(9) 弁箱等の腐食（全面腐食）〔格納容器給気第1隔離弁、格納容器スプレイ冷却器冷却水絞り弁〕

炭素鋼鑄鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座は、内部流体による腐食が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(10) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔余熱除去冷却器出口流量調節弁、海水ポンプ出口弁、格納容器スプレイ冷却器冷却水絞り弁〕

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

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

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

なお、分解点検時等の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

#### 2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケット、パッキンおよびOリングは分解点検時に取替える消耗品であり、弁体シート、ブッシュは分解点検時の目視確認等の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/5) 大飯4号炉 余熱除去冷却器出口流量調節弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		ステンレス鋼 （ステライト肉盛）	△	△ <sup>*1</sup>						*1:エロージョン *2:隙間腐食
	弁蓋		ステンレス鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 （ステライト肉盛）	△	△ <sup>*1</sup>						
	弁棒		ステンレス鋼	△	△ <sup>*2</sup>						
	ブッシュ	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/5) 大飯4号炉 主給水ポンプ駆動タービン排気弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼		△*1,2						*1:流れ加速型腐食 *2:全面腐食(外面) *3:隙間腐食
	弁蓋		炭素鋼		△*1,2						
	弁蓋ボルト		ステンレス鋼								
	Oリング	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		炭素鋼	△	△*1						
	弁座		ステンレス鋼	△							
	弁体シート	◎	—								
	弁棒		ステンレス鋼	△	△*3						
	ブッシュ	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/5) 大飯4号炉 海水ポンプ出口弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼 (ゴムライニング)		△ <sup>*1,2</sup>					*1:異種金属接触腐食を含む *2:全面腐食(外面) *3:孔食・隙間腐食 *4:隙間腐食	
	弁蓋		炭素鋼鋳鋼		△ <sup>*1,2</sup>						
	弁蓋ボルト		炭素鋼		△						
	Oリング	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		銅合金鋳物	△	△ <sup>*3</sup>						
	弁座		炭素鋼 (ゴムライニング)	△	△ <sup>*1</sup>						
	弁棒		銅合金	△	△ <sup>*3,4</sup>						
	ブッシュ	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/5) 大飯4号炉 格納容器給気第1隔離弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△*1,2					*1:全面腐食(外面) *2:全面腐食(内面) *3:隙間腐食	
	弁蓋		炭素鋼鋳鋼		△*1,2						
	弁蓋ボルト		低合金鋼								
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		炭素鋼鋳鋼	△	△*2						
	弁体シート	◎	—								
	弁座		炭素鋼	△	△*2						
	弁棒		ステンレス鋼	△	△*3						
	ブッシュ	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）



表2.2-1(5/5) 大飯4号炉 格納容器スプレイ冷却器冷却水絞り弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△*1,2					*1:全面腐食(外面) *2:全面腐食(内面) *3:隙間腐食	
	弁蓋		炭素鋼		△*1,2						
	弁蓋ボルト		炭素鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		炭素鋼鋳鋼	△	△*2						
	弁座		炭素鋼 (ゴムライニング)	△	△*2						
	弁棒		ステンレス鋼	△	△*3						
	ブッシュ	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

### 3. 代表機器以外への展開

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

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

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

##### 3.1.1 弁体、弁座または弁箱弁座部シート面の摩耗 [金属シートタッチの弁共通]

弁体、弁座または弁箱弁座部シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

##### 3.1.2 弁体、弁箱弁座部の腐食（エロージョン） [余熱除去系統、燃料ピット冷却系統および原子炉補機冷却水系統のバタフライ弁]

中間開度で使用されている弁体、弁箱弁座部には、エロージョンによる減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

##### 3.1.3 弁棒（パッキン、Oリング受け部および軸保持部）の摩耗 [共通]

弁棒は開閉に伴うパッキン、Oリング受け部および軸保持部との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

#### 3.1.4 弁棒の腐食（隙間腐食）〔共通〕

弁棒はパッキンおよびOリングとの接触部において腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

#### 3.1.5 弁箱、弁蓋の外面からの腐食（全面腐食）〔海水系統、非常用ディーゼル発電機設備、換気空調系統および原子炉補機冷却水系統のバタフライ弁〕

炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋は、外面からの腐食が想定される。

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

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

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

#### 3.1.6 弁箱等の腐食（異種金属接触腐食を含む）〔海水系統および非常用ディーゼル発電機設備のバタフライ弁〕

内部流体が海水であり、炭素鋼鋳鋼製の弁箱、弁蓋の接液部においては腐食が想定される。

しかしながら、定期的な分解点検時にライニング等の状況を目視確認し、機器の健全性を維持している。

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

#### 3.1.7 弁体、弁棒の腐食（孔食・隙間腐食）〔海水系統および非常用ディーゼル発電機設備のバタフライ弁〕

内部流体が海水であり、銅合金、ステンレス鋼またはステンレス鋼鋳鋼の弁体および弁棒については、孔食・隙間腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

### 3.1.8 弁箱等の腐食（全面腐食）〔換気空調系統、原子炉補機冷却水系統のバタフライ弁〕

炭素鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座は、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

また、その他の弁については、内部流体が空気、フロンまたはヒドラジン水（防錆剤注入水）で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.9 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔低合金鋼製または炭素鋼製の弁蓋ボルトのある弁共通〕

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.10 ブッシュの摩耗〔換気空調系統のバタフライ弁〕

ブッシュは弁棒との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

## 1.4 ダイヤフラム弁

### [対象機器]

- ① 液体廃棄物処理系統ダイヤフラム弁
- ② 化学体積制御系統ダイヤフラム弁
- ③ 燃料取替用水系統ダイヤフラム弁
- ④ 1次系試料採取系統ダイヤフラム弁
- ⑤ 燃料ピット冷却系統ダイヤフラム弁
- ⑥ 1次冷却材系統ダイヤフラム弁
- ⑦ 1次系洗浄水系統ダイヤフラム弁
- ⑧ 格納容器内部スプレイ系統ダイヤフラム弁
- ⑨ 海水系統ダイヤフラム弁
- ⑩ 非常用ディーゼル発電機設備ダイヤフラム弁

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	3
2.1 構造、材料および使用条件 .....	3
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	15
3. 代表機器以外への展開 .....	23
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 .....	23

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

大飯4号炉で使用されているダイヤフラム弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらのダイヤフラム弁を設置場所、内部流体および材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すダイヤフラム弁について、設置場所、内部流体および材料を分離基準として考えると、合計4個のグループに分類される。

### 1.2 代表機器の選定

- (1) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：1次冷却材、廃液または純水  
このグループには、液体廃棄物処理系統、化学体積制御系統、燃料取替用水系統、1次系試料採取系統、燃料ピット冷却系統、1次冷却材系統および1次系洗浄水系統のダイヤフラム弁が属するが、重要度、温度が高い格納容器冷却材ドレンポンプ出口格納容器第1隔離弁を代表機器とする。
- (2) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：希ガス等または炭酸ガス  
このグループには液体廃棄物処理系統および格納容器内部スプレー系統のダイヤフラム弁が属するが、重要度が高い格納容器冷却材ドレンタンクベントライン格納容器第1隔離弁を代表機器とする。
- (3) 設置場所：屋内外、材料：鋳鉄、内部流体：海水  
このグループには、海水系統および非常用ディーゼル発電機設備のダイヤフラム弁が属するが、重要度が高く、口径の大きい海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン止め弁を代表機器とする。
- (4) 設置場所：屋内、材料：炭素鋼、内部流体：窒素または希ガス等  
このグループには、1次冷却材系統および液体廃棄物処理系統のダイヤフラム弁が属するが、重要度が高く、口径の大きい格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給ライン格納容器第2隔離弁を代表機器とする。

表1-1 大飯4号炉 ダイヤフラム弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*2	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力 (MPa) [gage]	最高使用温度 (°C)			
屋内	ステンレス鋼	1次冷却材	4	液体廃棄物処理系統	2~3	MS-1、重*3	約1.4	約144	◎	格納容器冷却材ドレンポンプ出口 格納容器第1隔離弁 (3B)	重要度 温度
			30	化学体積制御系統	3/4~4	MS-1、PS-2、高*1、重*3	約2.1	約95			
			5	燃料取替用水系統	3/4~4	MS-1、MS-2、重*3	約1.4	約144			
			2	1次系試料採取系統	3/4	高*1	約2.1	約95			
			2	燃料ピット冷却系統	3~4	MS-2	約1.4	約95			
		3	化学体積制御系統	2	高*1	約2.1	約65				
		2	1次系洗浄水系統	3/4~2	MS-1、重*3	約1.0	約144				
屋内	ステンレス鋼	希ガス等	3	液体廃棄物処理系統	3/4~2	MS-1、重*3	約1.0	約144	◎	格納容器冷却材ドレンタンクベン トライン格納容器第1隔離弁 (2B)	重要度
		炭酸ガス	2	格納容器内部スプレー系統	3/4	MS-1、重*3	約0.4	約144			
屋外	鋳鉄	海水	20	海水系統	3/4~2	MS-1、MS-2	約0.7	約50	◎	海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン 止め弁 (2B)	重要度 口径
屋内			2	非常用ディーゼル発電機設備	2	MS-1	約0.7	約50			
屋内	炭素鋼	窒素	2	1次冷却材系統	3/4~1	MS-1、重*3	約1.0	約144	◎	格納容器冷却材ドレンタンク窒素 供給ライン格納容器第2隔離弁 (2B)	重要度 口径
		希ガス等	2	液体廃棄物処理系統	2	MS-1、重*3	約1.0	約144			

\*1：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

\*2：機能は最上位の機能を示す。

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



## 2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の4種類のダイヤフラム弁について技術評価を実施する。

- ① 格納容器冷却材ドレンポンプ出口格納容器第1隔離弁
- ② 格納容器冷却材ドレンタンクベントライン格納容器第1隔離弁
- ③ 海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン止め弁
- ④ 格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給ライン格納容器第2隔離弁

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 格納容器冷却材ドレンポンプ出口格納容器第1隔離弁

##### (1) 構造

大飯4号炉の格納容器冷却材ドレンポンプ出口格納容器第1隔離弁は、空気作動ダイヤフラム弁であり、液体廃棄物処理系統に設置されている。

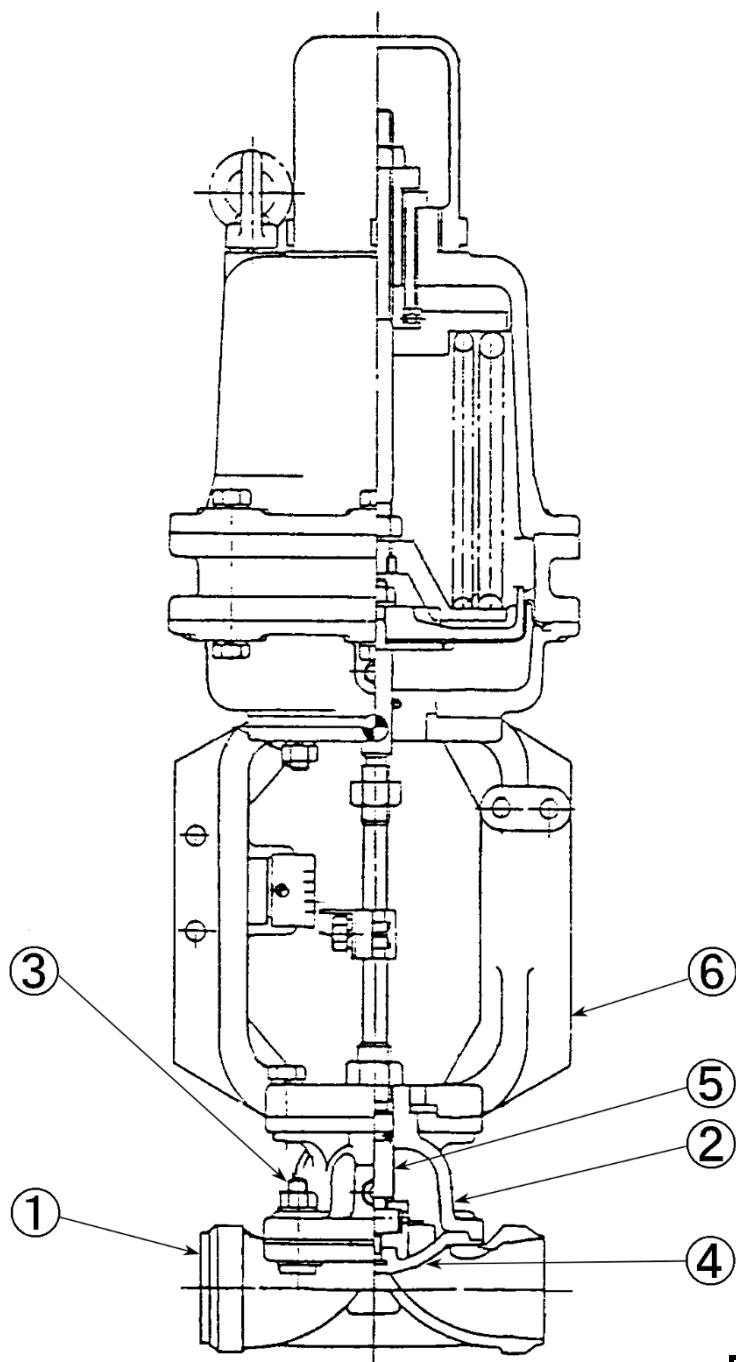
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト）、流体を仕切る隔離部（弁体：ダイヤフラム）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱はステンレス鋼鋳鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。

大飯4号炉の格納容器冷却材ドレンポンプ出口格納容器第1隔離弁の構造図を図2.1-1に示す。

##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の格納容器冷却材ドレンポンプ出口格納容器第1隔離弁の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ダイヤフラム
⑤	弁棒
⑥	ヨーク

図2.1-1 大飯4号炉 格納容器冷却材ドレンポンプ出口格納容器第1隔離弁構造図

表2.1-1 大飯4号炉 格納容器冷却材ドレンポンプ出口格納容器第1隔離弁  
 主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ダイヤフラム	消耗品・定期取替品
弁棒	ステンレス鋼
ヨーク	鋳鉄

表2.1-2 大飯4号炉 格納容器冷却材ドレンポンプ出口格納容器第1隔離弁の使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa [gage]
最高使用温度	約144℃
内部流体	1次冷却材

## 2.1.2 格納容器冷却材ドレンタンクベントライン格納容器第1隔離弁

### (1) 構造

大飯4号炉の格納容器冷却材ドレンタンクベントライン格納容器第1隔離弁は、空気作動ダイヤフラム弁であり、液体廃棄物処理系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト）、流体を仕切る隔離部（弁体：ダイヤフラム）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱はステンレス鋼鋳鋼を使用しており、希ガス等に接している。

大飯4号炉の格納容器冷却材ドレンタンクベントライン格納容器第1隔離弁の構造図を図2.1-2に示す。

### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の格納容器冷却材ドレンタンクベントライン格納容器第1隔離弁の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。

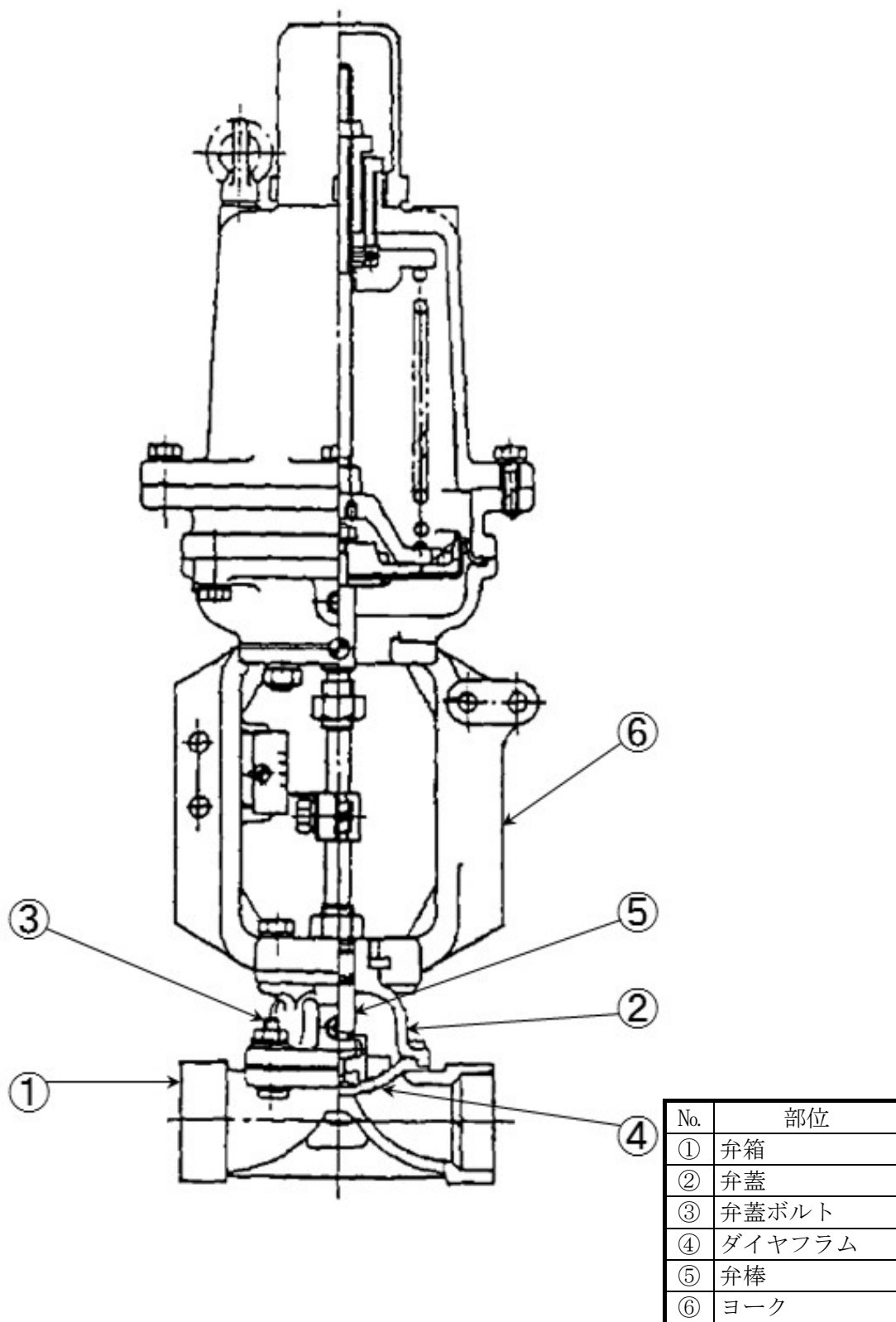


図2.1-2 大飯4号炉 格納容器冷却材ドレンタンクベントライン格納容器第1隔離弁  
構造図

表2.1-3 大飯4号炉 格納容器冷却材ドレンタンクベントライン格納容器第1隔離弁  
 主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ダイヤフラム	消耗品・定期取替品
弁棒	ステンレス鋼
ヨーク	鋳鉄

表2.1-4 大飯4号炉 格納容器冷却材ドレンタンクベントライン格納容器第1隔離弁の  
 使用条件

最高使用圧力	約1.0MPa [gage]
最高使用温度	約144℃
内部流体	希ガス等

### 2.1.3 海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン止め弁

#### (1) 構造

大飯4号炉の海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン止め弁は、手動ダイヤフラム弁であり、海水系統に設置されている。

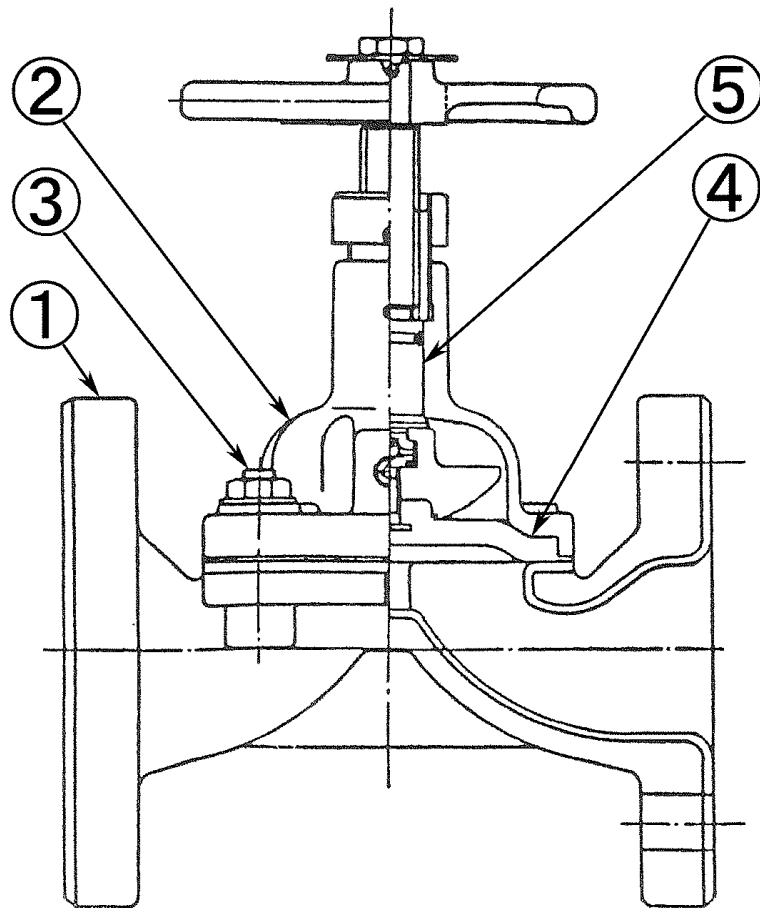
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト）、流体を仕切る隔離部（弁体：ダイヤフラム）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱は鋳鉄（内面ライニング）を使用しており、海水に接液している。

大飯4号炉の海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン止め弁の構造図を図2.1-3に示す。

#### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン止め弁の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ダイヤフラム
⑤	弁棒

図2.1-3 大飯4号炉 海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン止め弁構造図



表2.1-5 大飯4号炉 海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン止め弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	鋳鉄（内面ライニング）
弁蓋	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ダイヤフラム	消耗品・定期取替品
弁棒	ステンレス鋼

表2.1-6 大飯4号炉 海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン止め弁の使用条件

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

#### 2.1.4 格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給ライン格納容器第2隔離弁

##### (1) 構造

大飯4号炉の格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給ライン格納容器第2隔離弁は、空気作動ダイヤフラム弁であり、液体廃棄物処理系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト）、流体を仕切る隔離部（弁体：ダイヤフラム）および弁体を作動させる作動部（弁棒）からなる。

弁箱は炭素鋼鋳鋼を使用しており、希ガス等に接している。

大飯4号炉の格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給ライン格納容器第2隔離弁の構造図を図2.1-4に示す。

##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給ライン格納容器第2隔離弁の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。

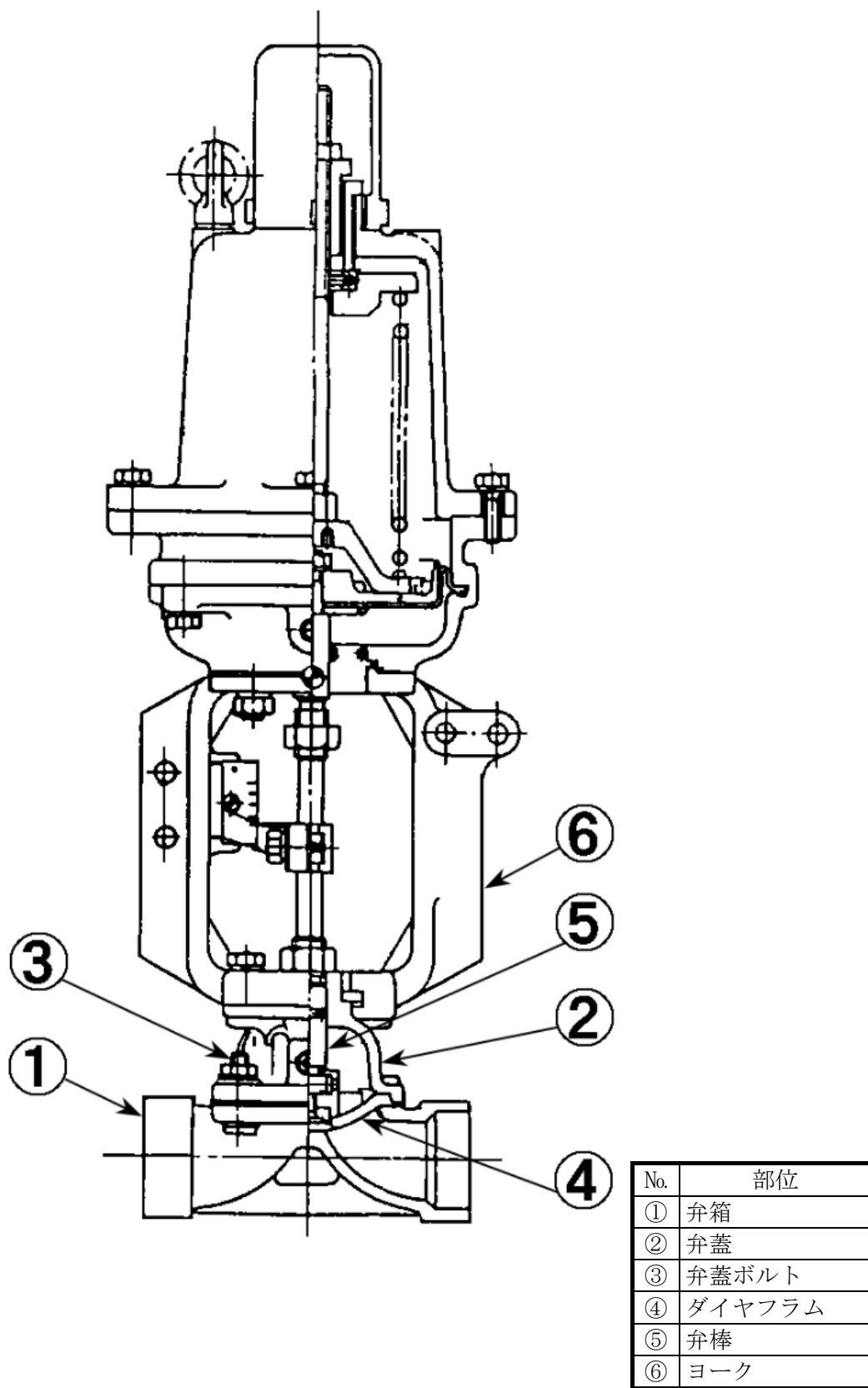


図2.1-4 大飯4号炉 格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給ライン格納容器第2隔離弁  
構造図

表2.1-7 大飯4号炉 格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給ライン格納容器第2隔離弁  
 主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ダイヤフラム	消耗品・定期取替品
弁棒	ステンレス鋼
ヨーク	鋳鉄

表2.1-8 大飯4号炉 格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給ライン格納容器第2隔離弁の  
 使用条件

最高使用圧力	約1.0MPa [gage]
最高使用温度	約144℃
内部流体	希ガス等

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

ダイヤフラム弁の機能である流体の仕切機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) 弁棒の摩耗 [共通]

弁棒は開閉に伴う弁蓋との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

#### (2) 弁箱の腐食（異種金属接触腐食を含む） [海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン止め弁]

鋳鉄の弁箱は、海水が接液するためライニングを施工しているが、ライニングのはく離等により海水が接液した場合には、腐食が発生する可能性がある。

しかしながら、分解点検時にライニング等の状況を目視確認し、機器の健全性を維持している。

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

- (3) 弁箱等の外面からの腐食（全面腐食）〔海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン止め弁、格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給ライン格納容器第2隔離弁〕

鋳鉄または炭素鋼鋳鋼の弁箱は、外面からの腐食が想定される。

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

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

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

- (4) 弁箱の腐食（全面腐食）〔格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給ライン格納容器第2隔離弁〕

炭素鋼鋳鋼の弁箱は、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給ライン格納容器第2隔離弁の内部流体は希ガス等で、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がたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

- (5) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔格納容器冷却材ドレンポンプ出口格納容器第1隔離弁、海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン止め弁〕

弁蓋ボルトは低合金鋼であり、ダイヤフラムからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

- (6) ヨークの腐食（全面腐食）〔格納容器冷却材ドレンポンプ出口格納容器第1隔離弁、格納容器冷却材ドレンタンクベントライン格納容器第1隔離弁、格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給ライン格納容器第2隔離弁〕

鋳鉄のヨークは、腐食が想定される。

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

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

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

#### 2.2.4 消耗品および定期取替品

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



表2.2-1(1/4) 大飯4号炉 格納容器冷却材ドレンポンプ出口格納容器第1隔離弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
閉止機能の維持 作動機能の維持	ダイヤフラム	◎	—								
	弁棒		ステンレス鋼	△							
	ヨーク		鋳鉄		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/4) 大飯4号炉 格納容器冷却材ドレンタンクベントライン格納容器第1隔離弁  
に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼								
閉止機能の維持 作動機能の維持	ダイヤフラム	◎	—								
	弁棒		ステンレス鋼	△							
	ヨーク		鋳鉄		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/4) 大飯4号炉 海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン止め弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		鋳鉄 (内面ライニング)		△*1,2					*1:異種金属接触腐食を含む *2:全面腐食(外面)	
	弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
閉止機能の維持 作動機能の維持	ダイヤフラム	◎	—								
	弁棒		ステンレス鋼	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/4) 大飯4号炉 格納容器冷却材ドレンタンク窒素供給ライン格納容器第2隔離弁  
に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ <sup>*1,2</sup>						*1:全面腐食(内面) *2:全面腐食(外面)
	弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼								
閉止機能の維持 作動機能の維持	ダイヤフラム	◎	—								
	弁棒		ステンレス鋼	△							
	ヨーク		鋳鉄		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

### 3. 代表機器以外への展開

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

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

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

##### 3.1.1 弁棒の摩耗 [共通]

弁棒は開閉に伴う弁蓋との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

##### 3.1.2 弁箱の腐食（異種金属接触腐食を含む） [海水系統および非常用ディーゼル発電機設備のダイヤフラム弁]

鋳鉄の弁箱は、海水が接液するためライニングを施工しているが、ライニングのはく離等により海水が接液した場合には、腐食が発生する可能性がある。

しかしながら、分解点検時にライニング等の状況を目視確認し、機器の健全性を維持している。

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

3.1.3 弁箱、弁蓋の外面からの腐食（全面腐食）〔海水系統、非常用ディーゼル発電機設備、1次冷却材系統、および液体廃棄物処理系統のダイヤフラム弁〕

鋳鉄または炭素鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋は、外面からの腐食が想定される。

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

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

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

3.1.4 弁箱等の腐食（全面腐食）〔液体廃棄物処理系統、1次冷却材系統のダイヤフラム弁〕

炭素鋼鋳鋼の弁箱等は、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、内部流体が窒素または希ガス等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がたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.1.5 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔低合金鋼または炭素鋼の弁蓋ボルトのある弁共通〕

ダイヤフラムからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.6 ヨークの腐食（全面腐食）〔ヨークのある弁共通〕

鋳鉄または炭素鋼のヨークは、腐食が想定される。

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

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

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

## 1.5 スイング逆止弁

### [対象機器]

- ① 1次冷却材系統スイング逆止弁
- ② 化学体積制御系統スイング逆止弁
- ③ 安全注入系統スイング逆止弁
- ④ 余熱除去系統スイング逆止弁
- ⑤ 格納容器内部スプレイ系統スイング逆止弁
- ⑥ 燃料取替用水系統スイング逆止弁
- ⑦ 燃料ピット冷却系統スイング逆止弁
- ⑧ 補助給水系統スイング逆止弁
- ⑨ 消火水系統スイング逆止弁
- ⑩ 主蒸気系統スイング逆止弁
- ⑪ ポンプタービン駆動蒸気系統スイング逆止弁
- ⑫ 第3抽気系統スイング逆止弁
- ⑬ 第4抽気系統スイング逆止弁
- ⑭ 第5抽気系統スイング逆止弁
- ⑮ 第6抽気系統スイング逆止弁
- ⑯ 第7抽気系統スイング逆止弁
- ⑰ 補助蒸気系統スイング逆止弁
- ⑱ 主給水系統スイング逆止弁
- ⑲ 復水系統スイング逆止弁
- ⑳ ドレン系統スイング逆止弁
- ㉑ 換気空調系統スイング逆止弁
- ㉒ 原子炉補機冷却水系統スイング逆止弁
- ㉓ 非常用ディーゼル発電機設備スイング逆止弁
- ㉔ タービン潤滑油系統スイング逆止弁
- ㉕ 海水系統スイング逆止弁



## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	5
2.1 構造、材料および使用条件 .....	5
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	23
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価 .....	34
3. 代表機器以外への展開 .....	37
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象 .....	37
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 .....	38

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

大飯4号炉で使用されているスイング逆止弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらのスイング逆止弁を設置場所、内部流体および材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すスイング逆止弁について、設置場所、内部流体および材料を分離基準として考えると、合計6個のグループに分類される。

### 1.2 代表機器の選定

#### (1) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：1次冷却材

このグループには、1次冷却材系統、化学体積制御系統、安全注入系統、余熱除去系統、格納容器内部スプレイ系統、燃料取替用水系統および燃料ピット冷却系統のスイング逆止弁が属するが、重要度が高く、口径が大きい蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁を代表機器とする。

#### (2) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：純水、給水、蒸気

このグループには1次冷却材系統、補助給水系統、安全注入系統および第6抽気系統のスイング逆止弁が属するが、重要度および温度が高い格納容器内補給水供給ライン格納容器隔離逆止弁を代表機器とする。

#### (3) 設置場所：屋内外、材料：炭素鋼または低合金鋼、内部流体：蒸気、給水、淡水または純水

このグループには主蒸気系統、ポンプタービン駆動蒸気系統、第3抽気系統、第4抽気系統、第5抽気系統、第6抽気系統、第7抽気系統、補助蒸気系統、主給水系統、復水系統、ドレン系統、補助給水系統、消火水系統および換気空調系統のスイング逆止弁が属するが、重要度および温度が高く、口径が大きい主蒸気隔離弁を代表機器とする。

#### (4) 設置場所：屋内、材料：炭素鋼、内部流体：ヒドラジン水、亜硝酸水または油

このグループには原子炉補機冷却水系統、非常用ディーゼル発電機設備およびタービン潤滑油系統のスイング逆止弁が属するが、重要度および温度が高い1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離逆止弁を代表機器とする。

(5) 設置場所：屋外、材料：炭素鋼、内部流体：海水

このグループには海水系統のスイング逆止弁のみが属することから、海水ポンプ  
出口逆止弁を代表機器とする。

(6) 設置場所：屋外、材料：銅合金、内部流体：海水

このグループには海水系統のスイング逆止弁のみが属することから、口径の大き  
い海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン逆止弁を代表機器とする。

表1-1 (1/2) 大飯4号炉 スイング逆止弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*2	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力 (MPa) [gage]	最高使用温度 (°C)			
屋内	ステンレス鋼	1次冷却材	18	1次冷却材系統	3~12	PS-1、重*3	約17.2	約343	◎	蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁 (12B)	重要度、口径
			9	化学体積制御系統	3~6	MS-1、PS-2、高*1、重*3	約20.0	約144			
			8	安全注入系統	4~16	MS-1、重*3	約17.2	約150			
			6	余熱除去系統	10~16	MS-1、重*3	約17.2	約200			
			9	格納容器内部スプレイ系統	6~18	MS-1、重*3	約2.8	約150			
			4	燃料取替用水系統	4	MS-1、MS-2、重*3	約1.4	約144			
			1	燃料ピット冷却系統	4	MS-2	約1.4	約95			
屋内	ステンレス鋼	純水	1	1次冷却材系統	3	MS-1、重*3	約1.4	約144	◎	格納容器内補給水供給ライン格納容器隔離逆止弁 (3B)	重要度、温度
		給水	7	補助給水系統	3~10	MS-1、高*1、重*3	約13.1	約40			
			1	安全注入系統	6	重*3	大気圧	約40			
		蒸気	2	第6抽気系統	22~32	高*1	約1.4	約200			

\*1: 最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

\*2: 機能は最上位の機能を示す。

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

表1-1 (2/2) 大飯4号炉 スイング逆止弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*2	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力 (MPa) [gage]	最高使用温度 (°C)			
屋内	炭素鋼	蒸気	8	主蒸気系統	28	MS-1、高*1、重*3	約8.2	約298	◎	主蒸気隔離弁 (28B)	重要度、温度、口径
			4	ポンプタービン駆動蒸気系統	6~10	MS-1、高*1、重*3	約8.2	約298			
			6	第3抽気系統	24	高*1	約0.05	約115			
			3	第4抽気系統	28	高*1	約0.3	約180			
			3	第5抽気系統	18	高*1	約0.4	約225			
			1	第6抽気系統	32	高*1	約1.4	約200			
			2	第7抽気系統	16~22	高*1	約3.4	約245			
			2	補助蒸気系統	6~10	高*1	約3.9	約255			
			2	補助蒸気系統	8	高*1	約8.2	約298			
屋内	低合金鋼	給水	2	主給水系統	22	高*1	約10.3	約200	◎	1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離逆止弁 (10B)	重要度、温度
	炭素鋼	給水	5	主給水系統	16~18	高*1	約10.3	約235			
			3	復水系統	18	高*1	約4.1	約80			
			14	ドレン系統	8~12	高*1	約8.2	約298			
			14	補助給水系統	3~6	MS-1、重*3	約13.1	約235			
	淡水	1	消火水系統	3	MS-1、重*3	約1.9	約144				
	純水	3	補助蒸気系統	3	高*1	約3.2	約240				
6		換気空調系統	6~8	MS-1	約1.0	約45					
屋内	炭素鋼	ヒドラジン水	5	原子炉補機冷却水系統	10~18	MS-1、重*3	約1.4	約144	◎	海水ポンプ出口逆止弁 (34B)	-
			2	非常用ディーゼル発電機設備	8	MS-1	約0.5	約90			
		油	2	タービン潤滑油系統	2・1/2	高*1	約2.8	約80			
			6	非常用ディーゼル発電機設備	3~8	MS-1、重*3	約0.8	約85			
屋外	炭素鋼	海水	3	海水系統	34	MS-1、重*3	約1.0	約50	◎	海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン逆止弁 (2B)	口径
	銅合金	海水	7	海水系統	1~2	MS-1	約0.7	約50	◎		

\*1: 最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

\*2: 機能は最上位の機能を示す。

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

## 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種類のスイング逆止弁について技術評価を実施する。

- ① 蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁
- ② 格納容器内補給水供給ライン格納容器隔離逆止弁
- ③ 主蒸気隔離弁
- ④ 1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離逆止弁
- ⑤ 海水ポンプ出口逆止弁
- ⑥ 海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン逆止弁

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁

##### (1) 構造

大飯4号炉の蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁は、1次冷却材系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を支持し作動させる作動部（弁棒、アーム）からなる。

弁箱にはステンレス鋼鋳鋼、弁蓋および弁体にはステンレス鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。

大飯4号炉の蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁の構造図を図2.1-1に示す。

##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

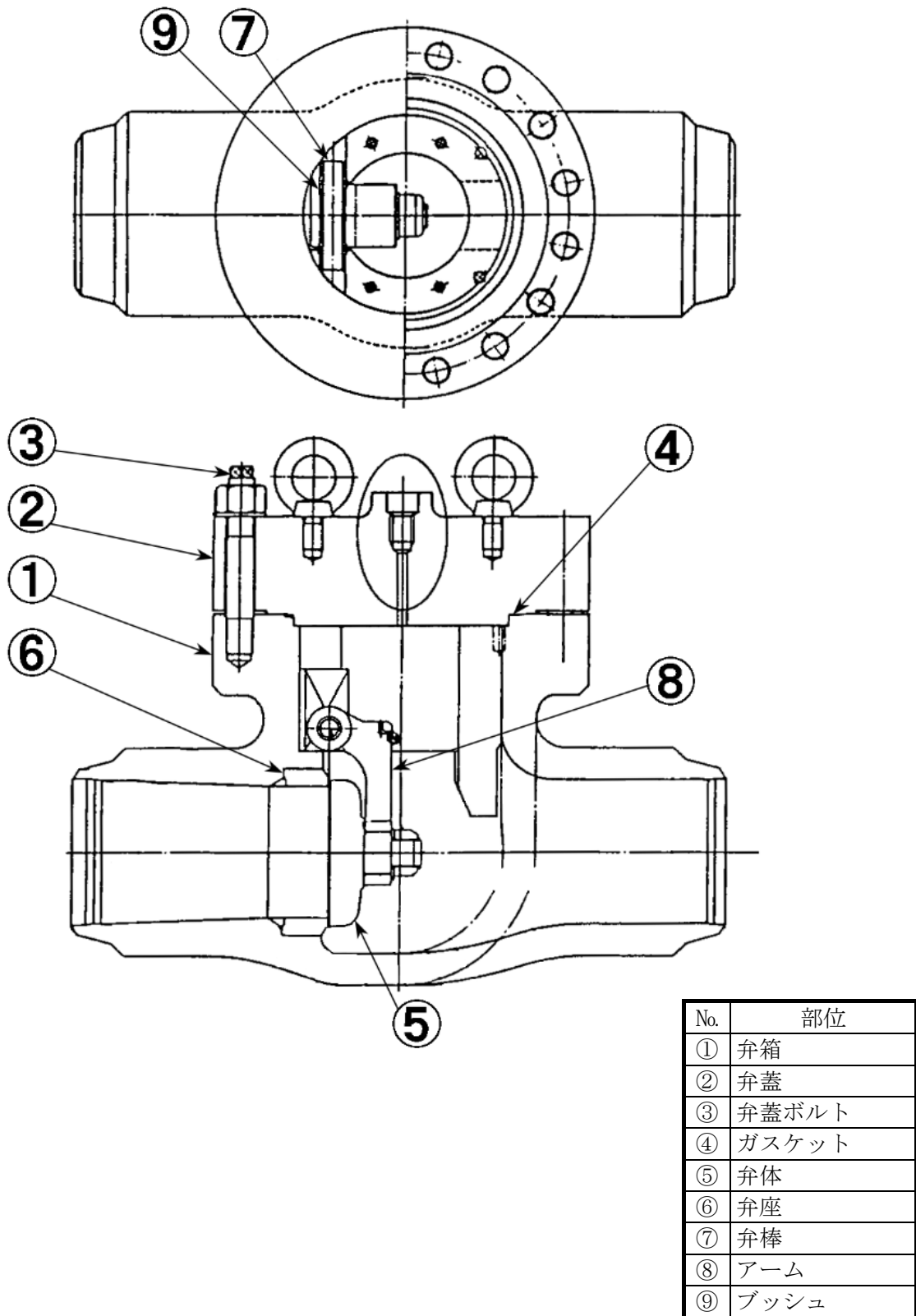


図2. 1-1 大飯4号炉 蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁構造図

表2.1-1 大飯4号炉 蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁棒	ステンレス鋼
アーム	ステンレス鋼
ブッシュ	ステライト

表2.1-2 大飯4号炉 蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁の使用条件

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



## 2.1.2 格納容器内補給水供給ライン格納容器隔離逆止弁

### (1) 構造

大飯4号炉の格納容器内補給水供給ライン格納容器隔離逆止弁は、1次冷却材系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を支持し作動させる作動部（弁棒、アーム）からなる。

弁箱にはステンレス鋼鋳鋼、弁蓋および弁体にはステンレス鋼を使用しており、純水に接液している。

大飯4号炉の格納容器内補給水供給ライン格納容器隔離逆止弁の構造図を図2.1-2に示す。

### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の格納容器内補給水供給ライン格納容器隔離逆止弁の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。

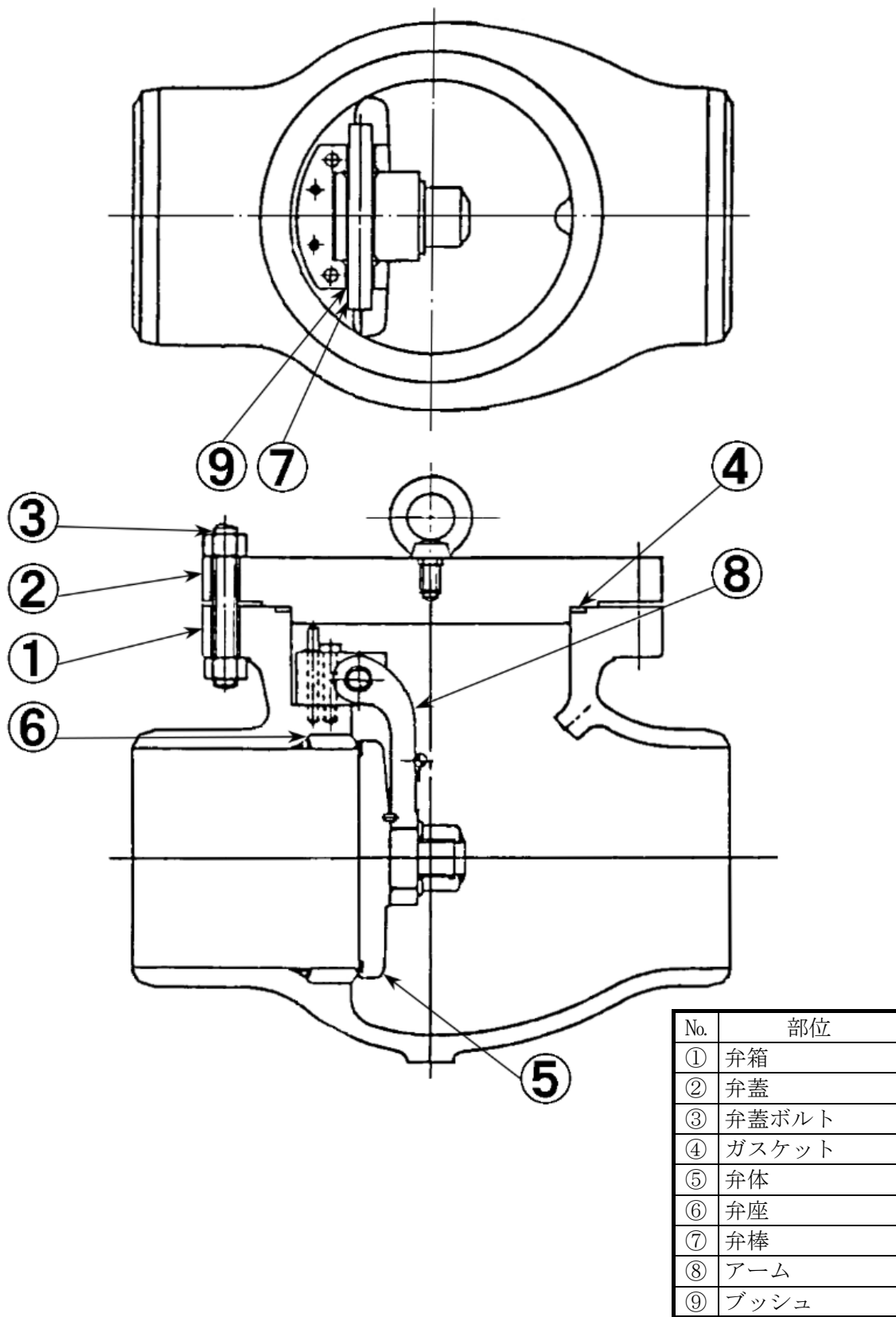


図2.1-2 大飯4号炉 格納容器内補給水供給ライン格納容器隔離逆止弁構造図

表2.1-3 大飯4号炉 格納容器内補給水供給ライン格納容器隔離逆止弁  
主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁棒	ステンレス鋼
アーム	ステンレス鋼
ブッシュ	ステライト

表2.1-4 大飯4号炉 格納容器内補給水供給ライン格納容器隔離逆止弁  
の使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa [gage]
最高使用温度	約144℃
内部流体	純水

### 2.1.3 主蒸気隔離弁

#### (1) 構造

大飯4号炉の主蒸気隔離弁は、主蒸気系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、パッキン）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を支持し作動させる作動部（弁棒、アーム）からなる。

弁箱には炭素鋼鋳鋼、弁蓋および弁体には炭素鋼を使用しており、蒸気に接している。

大飯4号炉の主蒸気隔離弁の構造図を図2.1-3に示す。

#### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の主蒸気隔離弁の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。

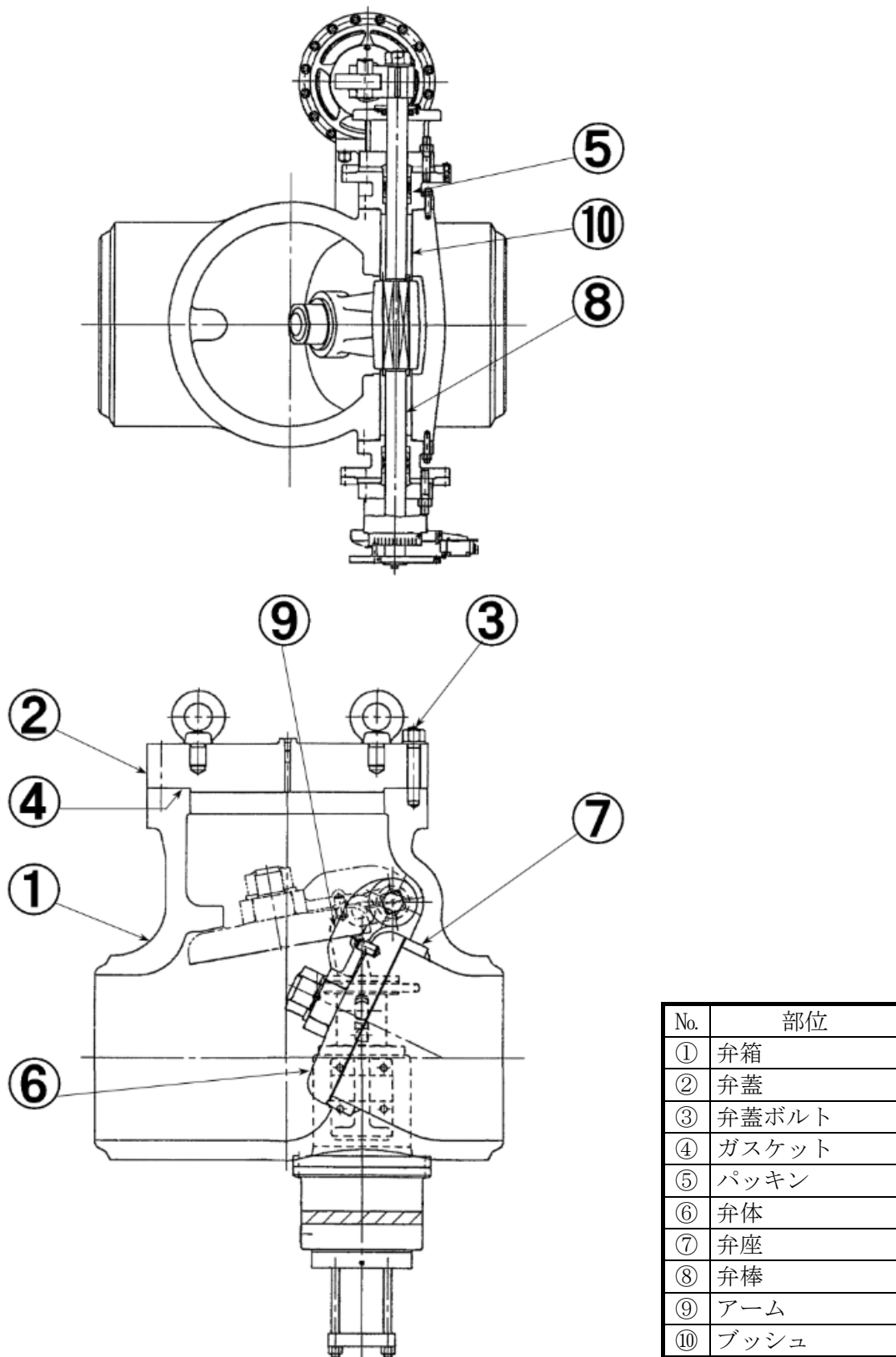


図2.1-3 大飯4号炉 主蒸気隔離弁構造図

表2.1-5 大飯4号炉 主蒸気隔離弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
パッキン	消耗品・定期取替品
弁体	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁座	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼
アーム	炭素鋼鋳鋼
ブッシュ	ニッケル基合金

表2.1-6 大飯4号炉 主蒸気隔離弁の使用条件

最高使用圧力	約8.2MPa [gage]
最高使用温度	約298℃
内部流体	蒸気

#### 2.1.4 1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離逆止弁

##### (1) 構造

大飯4号炉の1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離逆止弁は、原子炉補機冷却水系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を支持し作動させる作動部（弁棒、アーム）からなる。

弁箱には炭素鋼鋳鋼、弁蓋および弁体には炭素鋼を使用しており、ヒドラジン水に接液している。

大飯4号炉の1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離逆止弁の構造図を図2.1-4に示す。

##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離逆止弁の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。

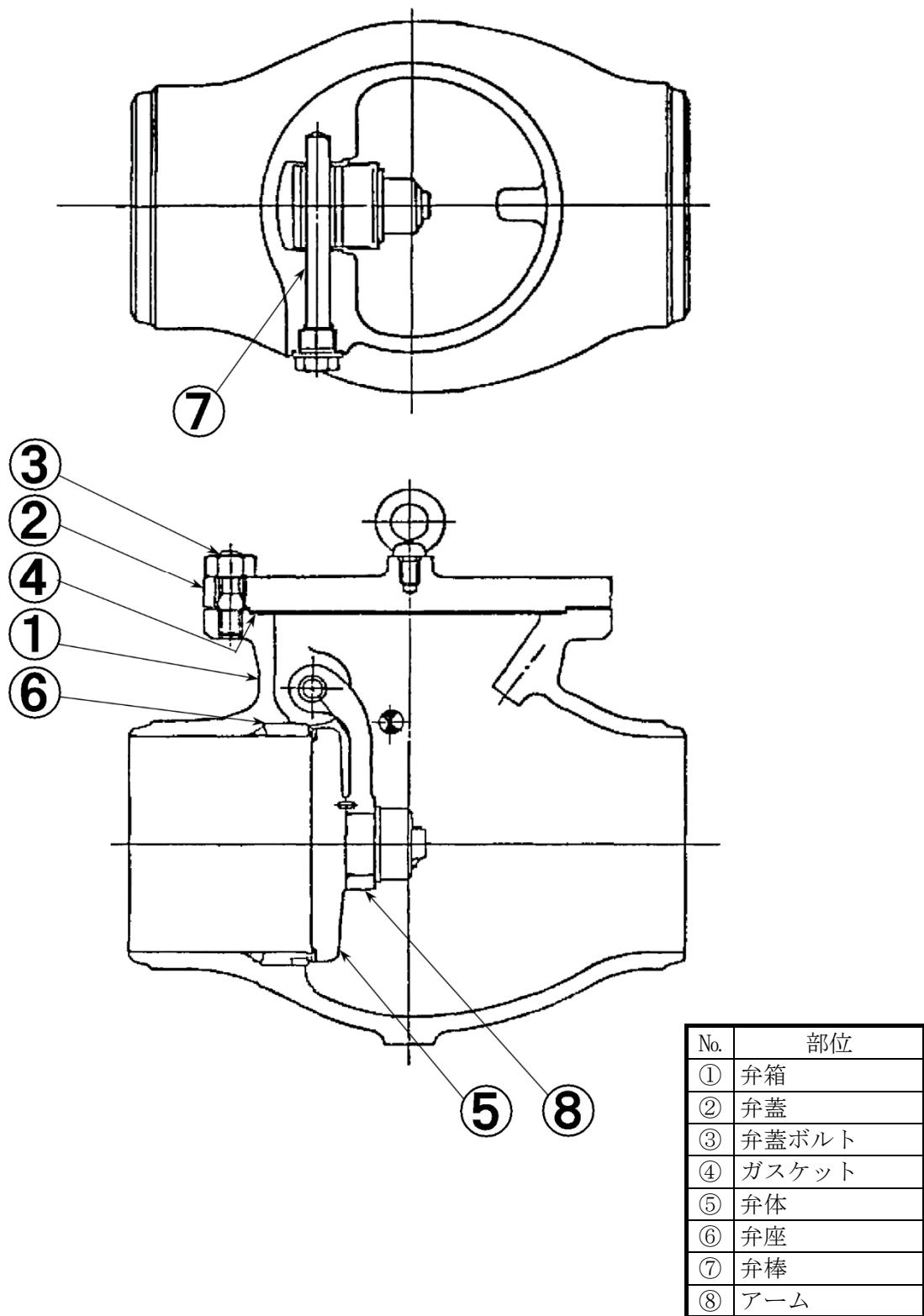


図2.1-4 大飯4号炉 1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離逆止弁構造図



表2.1-7 大飯4号炉 1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離逆止弁

主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁座	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼
アーム	炭素鋼

表2.1-8 大飯4号炉 1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離逆止弁

の使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa [gage]
最高使用温度	約144℃
内部流体	ヒドラジン水

## 2.1.5 海水ポンプ出口逆止弁

### (1) 構造

大飯4号炉の海水ポンプ出口逆止弁は、海水系統に設置されている。

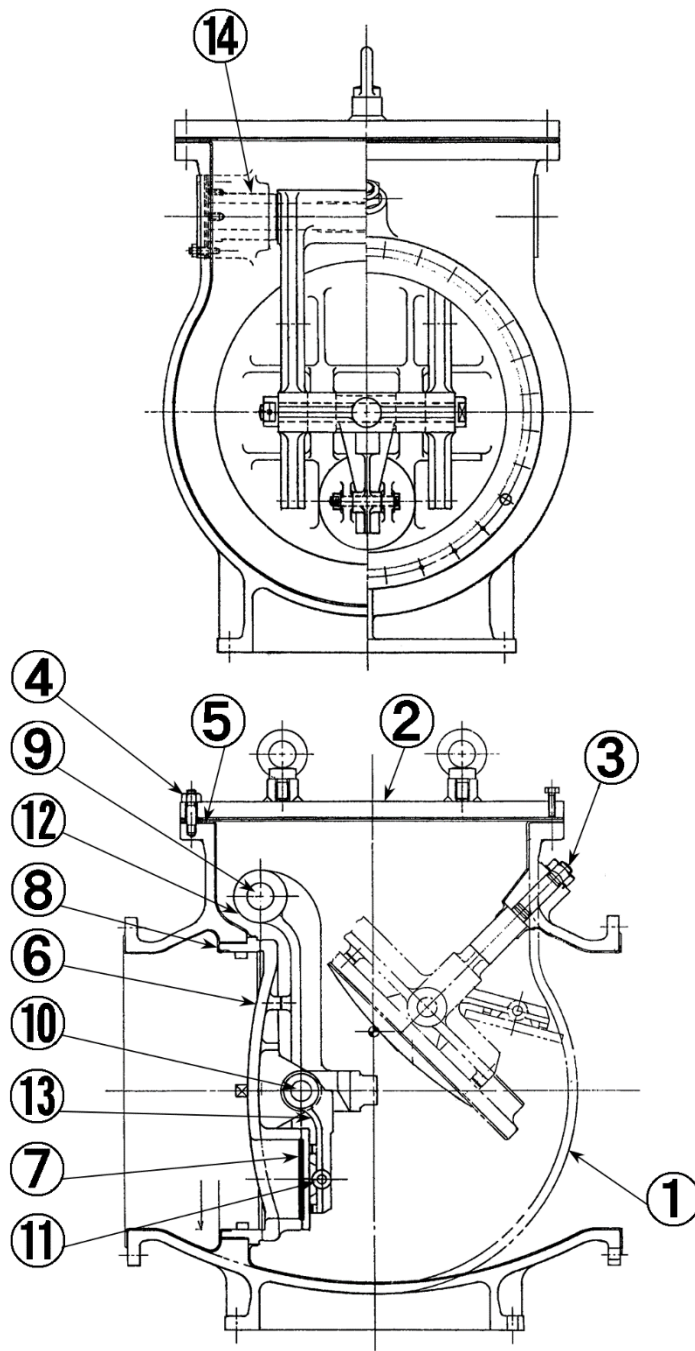
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、受け軸、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁軸、アーム）からなる。

弁箱および弁蓋には炭素鋼（ゴムライニング）および炭素鋼（ゴムライニング）、受け軸には銅合金、弁体には銅合金鋳物を使用しており、海水に接液している。

大飯4号炉の海水ポンプ出口逆止弁の構造図を図2.1-5に示す。

### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の海水ポンプ出口逆止弁の使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	受け軸
④	弁蓋ボルト
⑤	ガスケット
⑥	主弁体 (子弁弁座と一体)
⑦	子弁体
⑧	弁座
⑨	アーム軸
⑩	主弁軸
⑪	子弁軸
⑫	主弁アーム
⑬	子弁アーム
⑭	ブッシュ

図2.1-5 大飯4号炉 海水ポンプ出口逆止弁構造図

表2.1-9 大飯4号炉 海水ポンプ出口逆止弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼（ゴムライニング）
弁蓋	炭素鋼（ゴムライニング）
受け軸	銅合金
弁蓋ボルト	ステンレス鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
主弁体（子弁弁座と一体）	銅合金鋳物
子弁体	銅合金鋳物
弁座	銅合金鋳物
アーム軸	銅合金
主弁軸	銅合金
子弁軸	銅合金
主弁アーム	銅合金鋳物
子弁アーム	銅合金鋳物
ブッシュ	銅合金鋳物

表2.1-10 大飯4号炉 海水ポンプ出口逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約1.0MPa [gage]
最高使用温度	約50℃
内部流体	海水

## 2.1.6 海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン逆止弁

### (1) 構造

大飯4号炉の海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン逆止弁は、海水系統に設置されている。

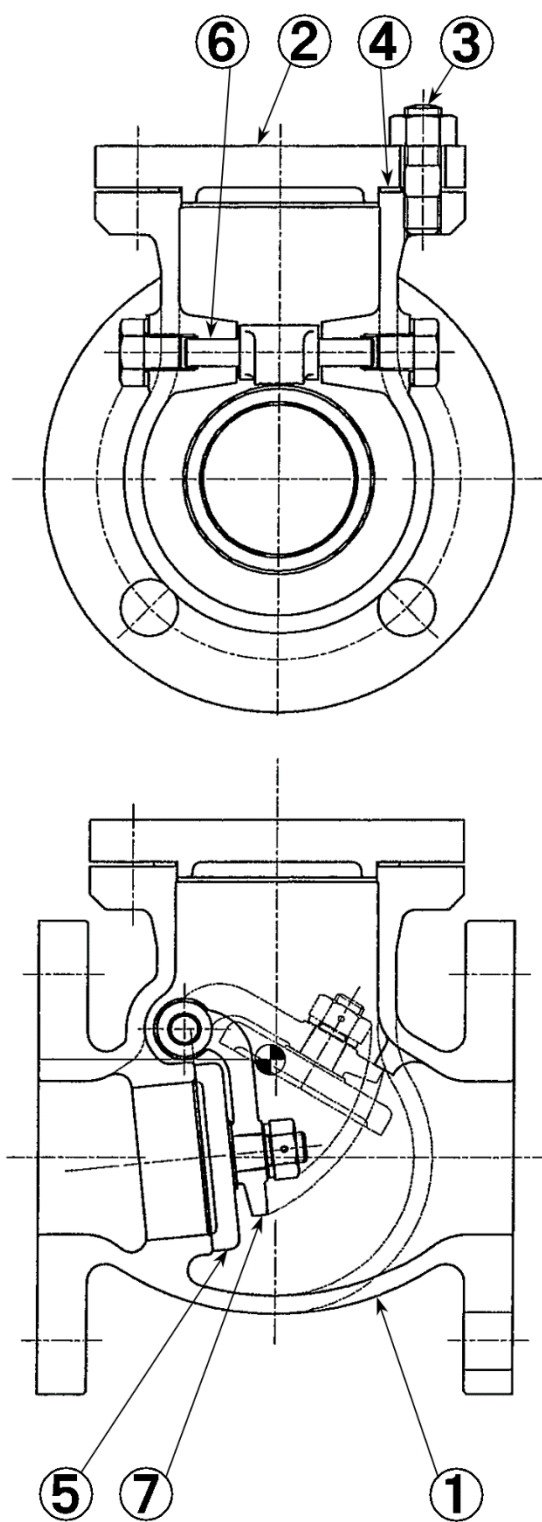
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体）および弁体を作動させる作動部（弁棒、アーム）からなる。

弁箱、弁蓋および弁体には銅合金鋳物を使用しており、海水に接液している。

大飯4号炉の海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン逆止弁の構造図を図2.1-6に示す。

### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン逆止弁の使用材料および使用条件を表2.1-11および表2.1-12に示す。



No.	部位
①	弁箱 (弁座と一体)
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	弁棒
⑦	アーム

図2.1-6 大飯4号炉 海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン逆止弁構造図

表2.1-11 大飯4号炉 海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン逆止弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	消耗品・定期取替品
弁蓋	消耗品・定期取替品
弁蓋ボルト	消耗品・定期取替品
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	消耗品・定期取替品
弁棒	消耗品・定期取替品
アーム	消耗品・定期取替品

表2.1-12 大飯4号炉 海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン逆止弁の使用条件

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

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

スイング逆止弁の機能である流体の流れ方向制限機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

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

#### (1) 弁箱の疲労割れ [蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁]

蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁はプラントの起動・停止時等に発生する内部流体のステップ状の大きな温度変化により、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。



### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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に該当する事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

- (1) 弁体、弁座シート面の摩耗 [海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン逆止弁以外]  
弁体、弁座部シート面は、弁の開閉による摩耗が想定される。  
しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。  
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (2) 弁棒、アームの弁棒嵌合部の摩耗 [海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン逆止弁以外]  
弁棒、アームの弁棒嵌合部は開閉に伴う摺動により、摩耗が想定される。  
しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。  
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (3) 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食） [主蒸気隔離弁]  
炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座、アームは、内部流体が蒸気であり、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。  
しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。  
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目す

べき経年劣化事象ではない。

- (4) 弁箱、弁蓋等の外面からの腐食（全面腐食）〔主蒸気隔離弁、1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離逆止弁、海水ポンプ出口逆止弁〕

炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋等は、外面からの腐食が想定される。

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

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

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

- (5) 弁箱等の腐食（全面腐食）〔1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離逆止弁〕

炭素鋼または炭素鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座およびアームは、内部流体による腐食が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

- (6) 弁箱等の腐食（異種金属接触腐食を含む）〔海水ポンプ出口逆止弁〕

炭素鋼または炭素鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋は、海水が接液するためライニングを施工しているが、ライニングのはく離等により海水が接液した場合には、腐食が発生する可能性がある。

しかしながら、分解点検時にライニング等の状況を目視確認し、機器の健全性を維持している。

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

(7) 弁体等の腐食（孔食・隙間腐食）〔海水ポンプ出口逆止弁〕

銅合金または銅合金鋳物の受け軸、弁体、弁座、弁軸、アームは、海水接液部において孔食・隙間腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(8) 弁棒の腐食（隙間腐食）〔主蒸気隔離弁〕

弁棒はパッキンとの接触部において腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(9) ブッシュの摩耗〔蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁、格納容器内補給水供給ライン格納容器隔離逆止弁、主蒸気隔離弁、海水ポンプ出口逆止弁〕

ブッシュは弁棒との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の寸法計測または目視確認により状態を確認し、必要に応じて取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

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

(10) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁、格納容器内補給水供給ライン格納容器隔離逆止弁、主蒸気隔離弁〕

低合金鋼の弁蓋ボルトは、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

(11) 弁箱の熱時効 [蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁]

弁箱はステンレス鋼鑄鋼であり、使用温度が250℃以上と高いため、熱時効による材料特性変化を起こす可能性があるが、熱時効は材質変化に加え、欠陥が存在し、かつ高い応力が存在する場合について検討が必要となる。

しかしながら、弁は接続される配管と比較して厚板に製造されていることから発生応力は小さく、製造時の非破壊検査で有意な欠陥がないことを確認し、さらに運転開始後60年を想定した疲労評価でも許容値を満足することから、評価期間において欠陥の発生する要因があるとは考えにくい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットおよびパッキンは、分解点検時に取替える消耗品であり、海水系統の銅合金製弁（海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン逆止弁）は定期取替品でありいずれも長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2. 2-1(1/6) 大飯4号炉 蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼			○		△			
	弁蓋		ステンレス鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△							
	アーム		ステンレス鋼	△							
	ブッシュ		ステライト	△							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/6) 大飯4号炉 格納容器内補給水供給ライン格納容器隔離逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼								
	弁蓋		ステンレス鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△							
	アーム		ステンレス鋼	△							
	ブッシュ		ステライト	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/6) 大飯4号炉 主蒸気隔離弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ <sup>*1,2</sup>					*1:流れ加速型腐食 *2:全面腐食(外面) *3:隙間腐食	
	弁蓋		炭素鋼		△ <sup>*1,2</sup>						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	パッキン	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△ <sup>*1</sup>						
	弁座		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△ <sup>*1</sup>						
	弁棒		ステンレス鋼	△	△ <sup>*3</sup>						
	アーム		炭素鋼鋳鋼	△	△ <sup>*1</sup>						
	ブッシュ		ニッケル基合金	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/6) 大飯4号炉 1次冷却材ポンプ冷却水供給ライン格納容器隔離逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ <sup>*1,2</sup>						*1: 全面腐食(外面) *2: 全面腐食(内面)
	弁蓋		炭素鋼		△ <sup>*1,2</sup>						
	弁蓋ボルト		低合金鋼								
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△ <sup>*2</sup>						
	弁座		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△ <sup>*2</sup>						
	弁棒		ステンレス鋼	△							
	アーム		炭素鋼	△	△ <sup>*2</sup>						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）



表2.2-1(5/6) 大飯4号炉 海水ポンプ出口逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼 (ゴムライニング)		△*1,2					*1:異種金属接触腐食を含む *2:全面腐食(外面) *3:孔食・隙間腐食	
	弁蓋		炭素鋼 (ゴムライニング)		△*1,2						
	受け軸		銅合金		△*3						
	弁蓋ボルト		ステンレス鋼								
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	主弁体 (子弁弁座と一体)		銅合金鋳物	△	△*3						
	子弁体		銅合金鋳物	△	△*3						
	弁座		銅合金鋳物	△	△*3						
	アーム軸		銅合金	△	△*3						
	主弁軸		銅合金	△	△*3						
	子弁軸		銅合金	△	△*3						
	主弁アーム		銅合金鋳物	△	△*3						
	子弁アーム		銅合金鋳物	△	△*3						
	ブッシュ		銅合金鋳物	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(6/6) 大飯4号炉 海水ポンプ軸受潤滑水供給ライン逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)	◎	—								
	弁蓋	◎	—								
	弁蓋ボルト	◎	—								
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体	◎	—								
	弁棒	◎	—								
	アーム	◎	—								

## 2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

### 2.3.1 弁箱の疲労割れ〔蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁〕

#### a. 事象の説明

蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁は、プラントの起動・停止時等に熱過渡を繰り返し受けるため、疲労が蓄積する。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁の健全性評価にあたっては、「日本機械学会 設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007)」に基づき評価を行った。

評価対象部位を図2.3-1に示す。

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

疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。

なお、2014年度末までの運転実績に基づき推定した2015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。

##### ② 現状保全

弁箱の疲労割れに対しては、定期的な分解点検時に弁内面の目視確認を実施し、有意な異常がないことを確認するとともに、定期的な漏えい確認を実施し健全性を確認している。

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

##### ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、弁箱の疲労割れ発生の可能性はないと考える。

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

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、異常のないことは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

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

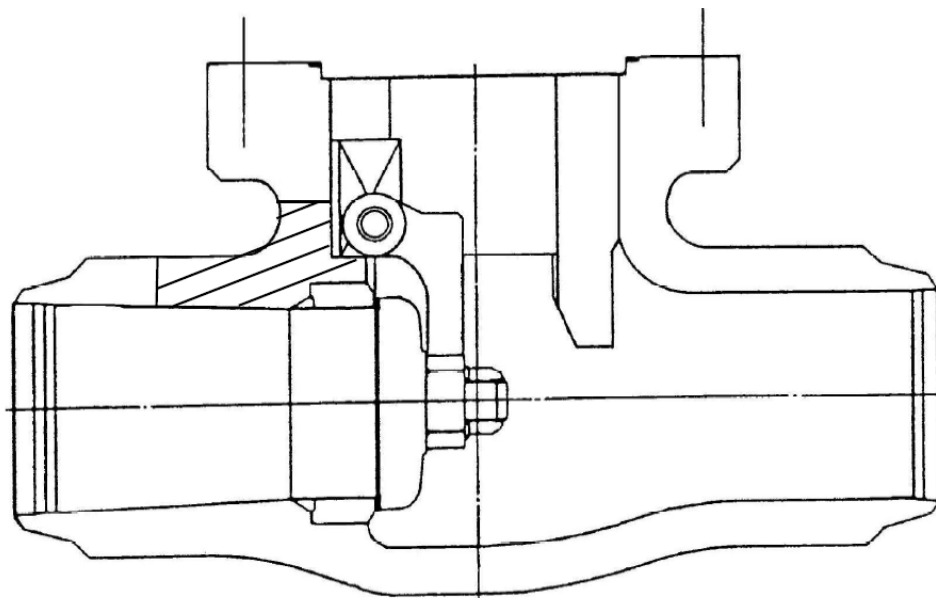


図2.3-1 大飯4号炉 蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁の疲労評価対象部位（斜線部）

表2.3-1 大飯4号炉 蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁の評価用過渡条件

運転状態Ⅰ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2014年度末時点	運転開始後60年時点の推定値
起動(温度上昇率55.6℃/h)	26	74
停止(温度下降率55.6℃/h)	26	74
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	221	927
負荷減少(負荷減少率5%/min)	211	917
90%から100%へのステップ状負荷上昇	2	4
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	3	9
定常負荷運転時の変動*1	-	-
燃料交換	15	70
0%から15%への負荷上昇	27	75
15%から0%への負荷減少	18	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	
	2014年度末時点	運転開始後60年時点の推定値
負荷の喪失	4	7
外部電源喪失	1	5
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	2	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	3
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	5	5
1次系漏えい試験	19	60
蓄圧タンク出口電動弁の誤作動	0	2

\*1:「設計評価においては、1次冷却材温度は高温側±1.4℃、低温側は±2.4℃、1次冷却材圧力は+0.39MPa、-0.29MPa(+4.0kg/cm<sup>2</sup>、-3.0 kg/cm<sup>2</sup>)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 大飯4号炉 蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁の疲労評価結果

部位	疲労累積係数(許容値:1以下)	
	設計・建設規格による解析	環境疲労評価手法による解析
弁箱 (ステンレス鋼鋳鋼)	0.109	0.758

### 3. 代表機器以外への展開

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

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

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

##### 3.1.1 弁箱の疲労割れ [1次冷却材系統、安全注入系統および余熱除去系統のスイング逆止弁]

プラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材のステップ状の大きな温度変化を受ける蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁の疲労評価結果では表2.3-2に示すように許容値に対して十分余裕があり、当該弁と同等以下の過渡しか受けないその他の弁についても、疲労割れが発生する可能性はないと考える。

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、また異常のないことは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、弁箱の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

### 3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### 3.2.1 弁体、弁座または弁箱弁座部シート面の摩耗 [共通]

弁体、弁座または弁箱弁座部シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

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

#### 3.2.2 弁棒、アームの弁棒嵌合部の摩耗 [弁棒、アームの弁棒嵌合部のある弁共通]

弁棒は開閉に伴うパッキン受け部および軸保持部との摺動により、摩耗が想定される。また、弁棒、アームまたは弁体の弁棒嵌合部は開閉に伴う摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

#### 3.2.3 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食） [主蒸気系統、ポンプタービン駆動蒸気系統、第3抽気系統、第4抽気系統、第5抽気系統、第6抽気系統、第7抽気系統、主給水系統、ドレン系統、補助蒸気系統および復水系統のスイング逆止弁]

内部流体が蒸気または高速の水であり、炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座を用いている弁には、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

- 3.2.4 弁箱、弁蓋の外面からの腐食（全面腐食）〔主蒸気系統、ポンプタービン駆動蒸気系統、第3抽気系統、第4抽気系統、第5抽気系統、第6抽気系統、第7抽気系統、補助蒸気系統、主給水系統、復水系統、ドレン系統、補助給水系統、消火水系統、換気空調系統、原子炉補機冷却水系統、非常用ディーゼル発電機設備、タービン潤滑油系統および海水系統のスイング逆止弁〕

炭素鋼鋳鋼、炭素鋼または低合金鋼の弁箱、弁蓋は、外面からの腐食が想定される。

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

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

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

- 3.2.5 弁箱等の腐食（全面腐食）〔補助蒸気系統、補助給水系統、換気空調系統および消火水系統のスイング逆止弁〕

炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁箱、弁蓋、弁体、弁座を持つ弁のうち、内部流体が飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）水である弁については、長期使用により腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

- 3.2.6 弁箱等の腐食（全面腐食）〔原子炉補機冷却水系統、非常用ディーゼル発電機設備およびタービン潤滑油系統のスイング逆止弁〕

炭素鋼鋳鋼または炭素鋼の弁体等は、内部流体による腐食が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

- 3.2.7 弁棒の腐食（隙間腐食）〔パッキンのある弁共通〕

弁棒はパッキンとの接触部において腐食が想定される。



しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。  
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

#### 3.2.8 ブッシュの摩耗 [ブッシュのある弁共通]

ブッシュは弁棒との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の寸法計測または目視確認により状態を確認し、必要に応じて取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

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

#### 3.2.9 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食） [低合金鋼製または炭素鋼製の弁蓋ボルトのある弁共通]

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

#### 3.2.10 弁箱の熱時効 [ステンレス鋼製鋼製の弁共通]

ステンレス鋼製鋼製の弁箱であり、使用温度が250℃以上と高いものは、熱時効による材料特性変化を起こす可能性があるが、熱時効は材質変化に加え、欠陥が存在し、かつ高い応力が存在する場合について検討が必要となる。

しかしながら、弁は接続される配管と比較して厚板に製造されていることから発生応力は小さく、製造時の非破壊検査で有意な欠陥がないことを確認し、さらに運転開始後60年を想定した疲労評価でも許容値を満足することを代表機器において確認していることから、評価期間において欠陥の発生する要因があるとは考えにくい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

## 1.6 リフト逆止弁

[対象機器]

- ① 1次冷却系統リフト逆止弁
- ② 化学体積制御系統リフト逆止弁
- ③ 安全注入系統リフト逆止弁
- ④ 燃料取替用水系統リフト逆止弁
- ⑤ 1次系試料採取系統リフト逆止弁
- ⑥ 1次系洗浄水系統リフト逆止弁
- ⑦ 補助給水系統リフト逆止弁
- ⑧ 蒸気発生器ブローダウン系統リフト逆止弁
- ⑨ 非常用ディーゼル発電機設備リフト逆止弁
- ⑩ 計器用空気系統リフト逆止弁
- ⑪ 格納容器内部スプレイ系統リフト逆止弁
- ⑫ 補助蒸気系統リフト逆止弁
- ⑬ 主給水系統リフト逆止弁
- ⑭ 雑用空気系統リフト逆止弁
- ⑮ タービンEHガバナ制御油系統リフト逆止弁
- ⑯ 原子炉補機冷却水系統リフト逆止弁
- ⑰ 換気空調系統リフト逆止弁

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	4
2.1 構造、材料および使用条件 .....	4
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	19
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価 .....	28
3. 代表機器以外への展開 .....	31
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象 .....	31
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 .....	32

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

大飯4号炉で使用されているリフト逆止弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらのリフト逆止弁を設置場所、内部流体および材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すリフト逆止弁について、設置場所、内部流体および材料を分離基準として考えると、合計5個のグループに分類される。

### 1.2 代表機器の選定

#### (1) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：1次冷却材

このグループには1次冷却材系統、化学体積制御系統、安全注入系統、燃料取替用水系統および1次系試料採取系統のリフト逆止弁が属するが、重要度が高く、口径の大きい加圧器補助スプレイライン逆止弁を代表機器とする。

#### (2) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：純水、給水または空気

このグループには1次系洗浄水系統、補助給水系統、蒸気発生器ブローダウン系統、1次系試料採取系統、計器用空気系統および非常用ディーゼル発電機設備のリフト逆止弁が属するが、重要度、温度および圧力が高い格納容器内脱塩水補給ライン格納容器隔離逆止弁を代表機器とする。

#### (3) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：ヒドラジン水

このグループには格納容器内部スプレイ系統リフト逆止弁のみが属することから、よう素除去薬品注入ライン逆止弁を代表機器とする。

#### (4) 設置場所：屋内外、材料：炭素鋼、内部流体：蒸気または給水

このグループには補助蒸気系統および主給水系統のリフト逆止弁が属するが、口径が大きい脱気器シール蒸気逆止弁を代表機器とする。

#### (5) 設置場所：屋内、材料：炭素鋼または銅合金、内部流体：窒素、空気、油、ヒドラジン水またはフロンガス

このグループには安全注入系統、1次冷却材系統、計器用空気系統、雑用空気系統、タービンEHガバナ制御油系統、原子炉補機冷却水系統および換気空調系統のリフト逆止弁が属するが、重要度および圧力が高い蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離逆止弁を代表機器とする。

表1-1 (1/2) 大飯4号炉 リフト逆止弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定			
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*2	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由	
							最高使用圧力 (MPa) [gage]	最高使用温度 (°C)				
屋内	ステンレス鋼	1次冷却材	19	1次冷却材系統	1・1/2~2	PS-1、重*3	約17.2	約343	◎	加圧器補助スプレイライン逆止弁 (2B)	重要度口径	
			17	化学体積制御系統	3/4~2	PS-2、MS-1、重*3	約20.0	約343				
			3	安全注入系統	1~2	MS-1、重*3	約16.7	約150				
			1	燃料取替用水系統	3/4	MS-1、重*3	約0.4	約144				
			3	1次系試料採取系統	3/8~3/4	MS-1、MS-2、重*3	約17.2	約360				
屋内	ステンレス鋼	純水	1	1次系洗浄水系統	2	MS-1、重*3	約1.0	約144	◎	格納容器内脱塩水補給ライン格納容器隔離逆止弁 (2B)	重要度温度 圧力	
			3	補助給水系統	2	MS-1、高*1	約13.1	約40				
		給水	4	蒸気発生器ブローダウン系統	3/8	高*1	約8.2	約65				
			空気	1	1次系試料採取系統	1	MS-1、重*3	約0.4				約144
				10	非常用ディーゼル発電機設備	1~2・1/2	MS-1、高*1、重*3	約3.2				約90
4	計器用空気系統	2	MS-1、重*3	約0.8	約144							
屋内	ステンレス鋼	ヒドラジン水	2	格納容器内部スプレイ系統	1/2	MS-1	約2.8	約150	◎	よう素除去薬品注入ライン逆止弁 (1/2B)		

\*1：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

\*2：機能は最上位の機能を示す。

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

表1-1 (2/2) 大飯4号炉 リフト逆止弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径 (B)	重要度*2	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力 (MPa) [gage]	最高使用温度 (°C)			
屋内外	炭素鋼	蒸気	1	補助蒸気系統	2	高*1	約1.4	約200	◎	脱気器シール蒸気逆止弁 (2B)	口径
		給水	3	主給水系統	1	高*1	約1.4	約200			
屋内	炭素鋼	窒素	1	安全注入系統	1	MS-1、重*3	約4.9	約144	◎	蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離逆止弁 (1B)	重要度 圧力
			1	1次冷却材系統	1	MS-1、重*3	約1.0	約144			
		空気	2	計器用空気系統	4	MS-1	約0.8	約50			
			1	雑用空気系統	2	MS-1、重*3	約0.8	約144			
		油	42	タービンEHガバナ制御油系統	3/8~1・1/4	高*1	約16.2	約75			
		ヒドラジン水	1	原子炉補機冷却水系統	3/4	MS-1、重*3	約1.4	約144			
	銅合金	フロンガス	4	換気空調系統	1/4	MS-1	約0.4	約100			

\*1: 最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

\*2: 機能は最上位の機能を示す。

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

## 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種類のリフト逆止弁について技術評価を実施する。

- ① 加圧器補助スプレイライン逆止弁
- ② 格納容器内脱塩水補給ライン格納容器隔離逆止弁
- ③ よう素除去薬品注入ライン逆止弁
- ④ 脱気器シール蒸気逆止弁
- ⑤ 蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離逆止弁

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 加圧器補助スプレイライン逆止弁

##### (1) 構造

大飯4号炉の加圧器補助スプレイライン逆止弁は、1次冷却材系統に設置されている。

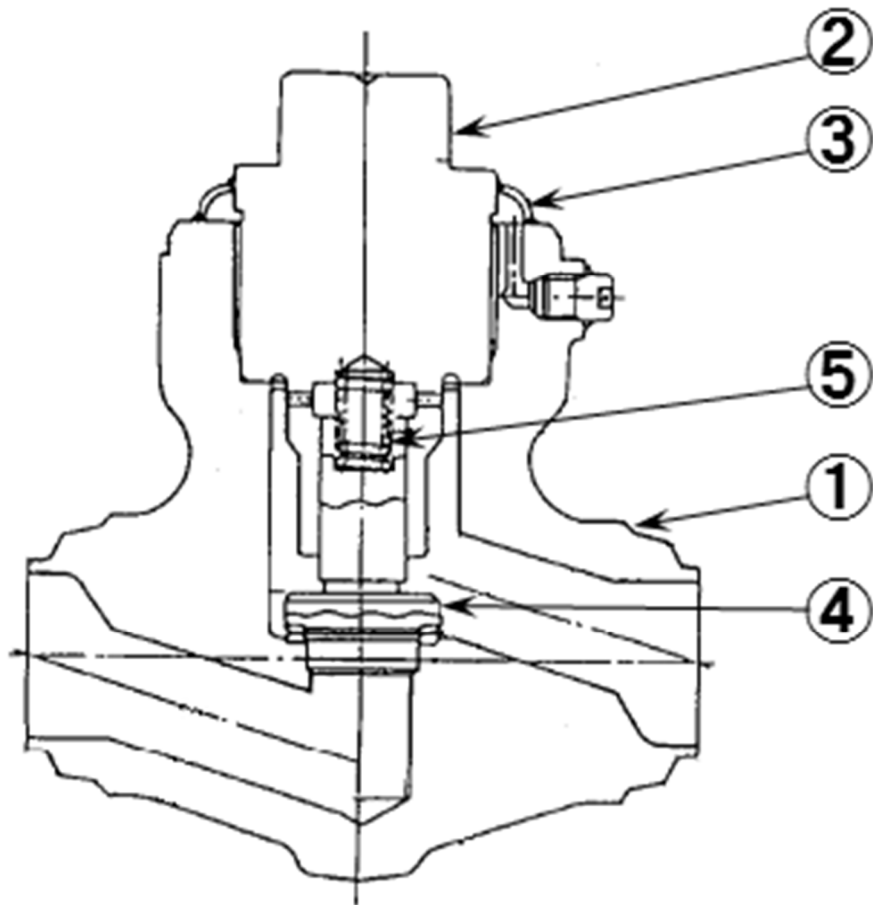
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、シールプレート）、流体を仕切る隔離部（弁体）および弁体を支持し作動をガイドする弁体ガイド（弁蓋と一体）からなる。

弁箱、弁蓋および弁体にはステンレス鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。

大飯4号炉の加圧器補助スプレイライン逆止弁の構造図を図2.1-1に示す。

##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の加圧器補助スプレイライン逆止弁の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	弁箱（弁座と一体）
②	弁蓋（弁体ガイドと一体）
③	シーลプレート
④	弁体
⑤	ばね

図2. 1-1 大飯4号炉 加圧器補助スプレイライン逆止弁構造図



表2.1-1 大飯4号炉 加圧器補助スプレイライン逆止弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁蓋（弁体ガイドと一体）	ステンレス鋼
シールプレート	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
ばね	ステンレス鋼

表2.1-2 大飯4号炉 加圧器補助スプレイライン逆止弁の使用条件

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

## 2.1.2 格納容器内脱塩水補給ライン格納容器隔離逆止弁

### (1) 構造

大飯4号炉の格納容器内脱塩水補給ライン格納容器隔離逆止弁は、1次系洗浄水系統に設置されている。

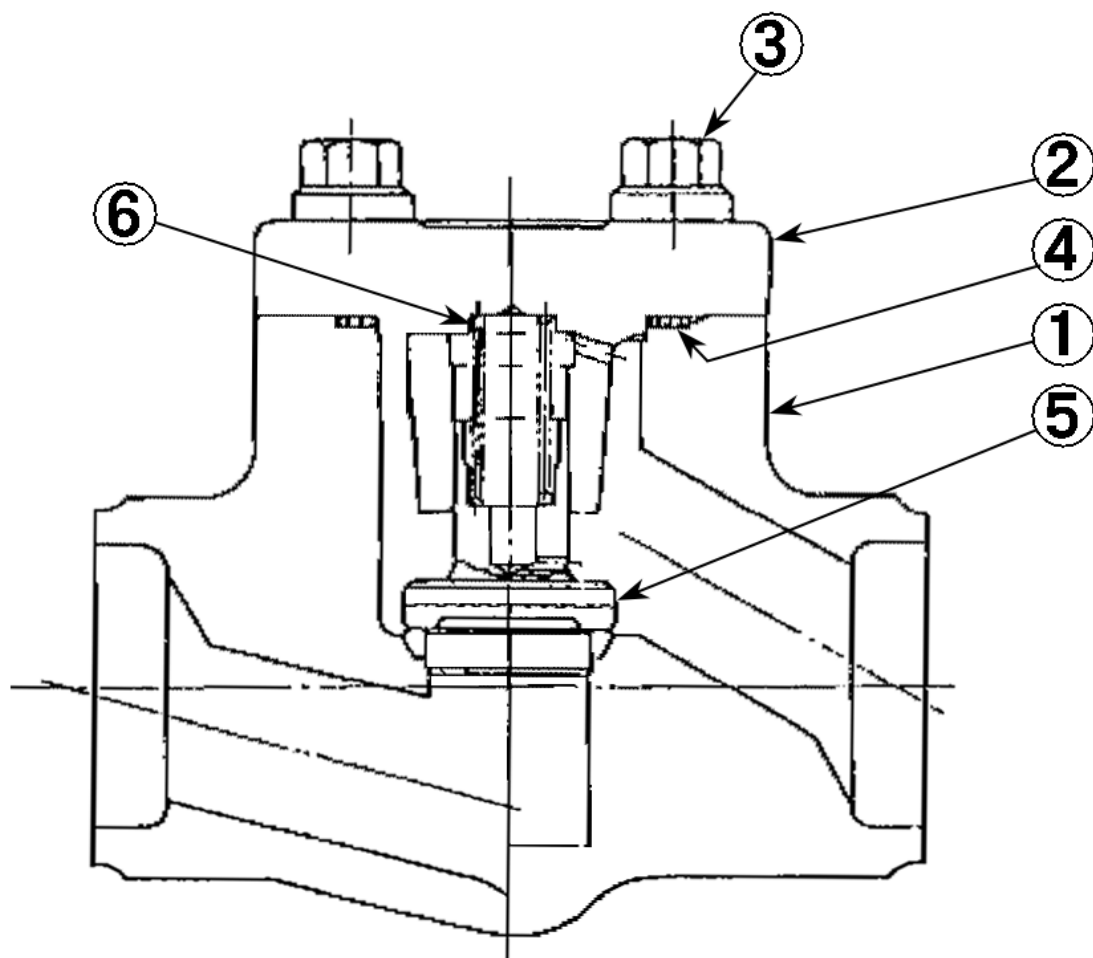
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体）および弁体を支持し作動をガイドする弁体ガイド（弁蓋と一体）からなる。

弁箱、弁蓋および弁体にはステンレス鋼を使用しており、純水に接液している。

大飯4号炉の格納容器内脱塩水補給ライン格納容器隔離逆止弁の構造図を図2.1-2に示す。

### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の格納容器内脱塩水補給ライン格納容器隔離逆止弁の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



No.	部位
①	弁箱 (弁座と一体)
②	弁蓋 (弁体ガイドと一体)
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	ばね

図2.1-2 大飯4号炉 格納容器内脱塩水補給ライン格納容器隔離逆止弁構造図

表2.1-3 大飯4号炉 格納容器内脱塩水補給ライン格納容器隔離逆止弁  
主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁蓋（弁体ガイドと一体）	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼
ばね	ステンレス鋼

表2.1-4 大飯4号炉 格納容器内脱塩水補給ライン格納容器隔離逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約1.0MPa [gage]
最高使用温度	約144℃
内部流体	純水

### 2.1.3 よう素除去薬品注入ライン逆止弁

#### (1) 構造

大飯4号炉のよう素除去薬品注入ライン逆止弁は、格納容器内部スプレイ系統に設置されている。

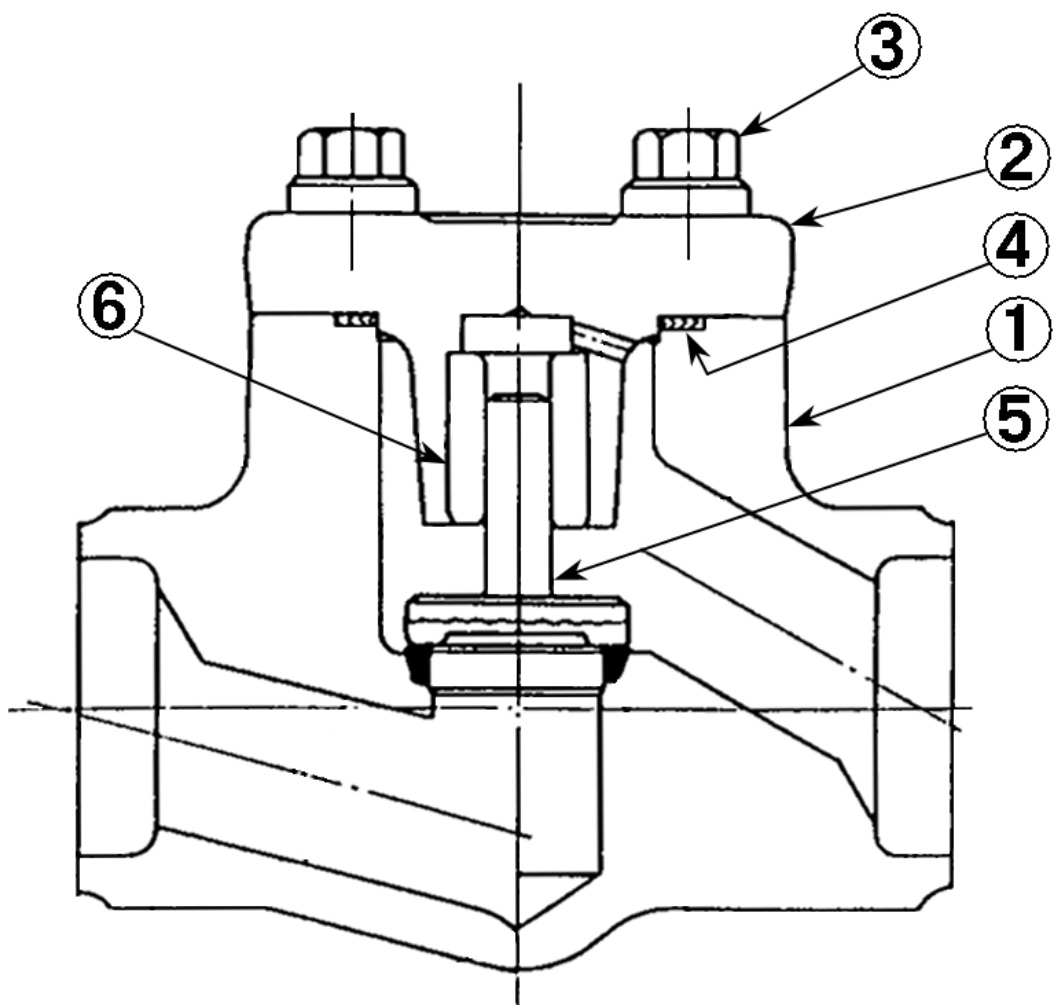
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体）および弁体を支持し作動をガイドする弁体ガイド（弁体ガイド）からなる。

弁箱、弁蓋および弁体にはステンレス鋼を使用しており、ヒドラジン水に接している。

大飯4号炉のよう素除去薬品注入ライン逆止弁の構造図を図2.1-3に示す。

#### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉のよう素除去薬品注入ライン逆止弁の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。



No.	部位
①	弁箱 (弁座と一体)
②	弁蓋 (弁体ガイドと一体)
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	はめ輪

図2.1-3 大飯4号炉 よう素除去薬品注入ライン逆止弁構造図

表2.1-5 大飯4号炉 よう素除去薬品注入ライン逆止弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁蓋（弁体ガイドと一体）	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼
はめ輪	ステンレス鋼

表2.1-6 大飯4号炉 よう素除去薬品注入ライン逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約2.8MPa [gage]
最高使用温度	約150℃
内部流体	ヒドラジン水

#### 2.1.4 脱気器シール蒸気逆止弁

##### (1) 構造

大飯4号炉の脱気器シール蒸気逆止弁は、補助蒸気系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体）および弁体を支持し作動をガイドする弁体ガイドからなる。

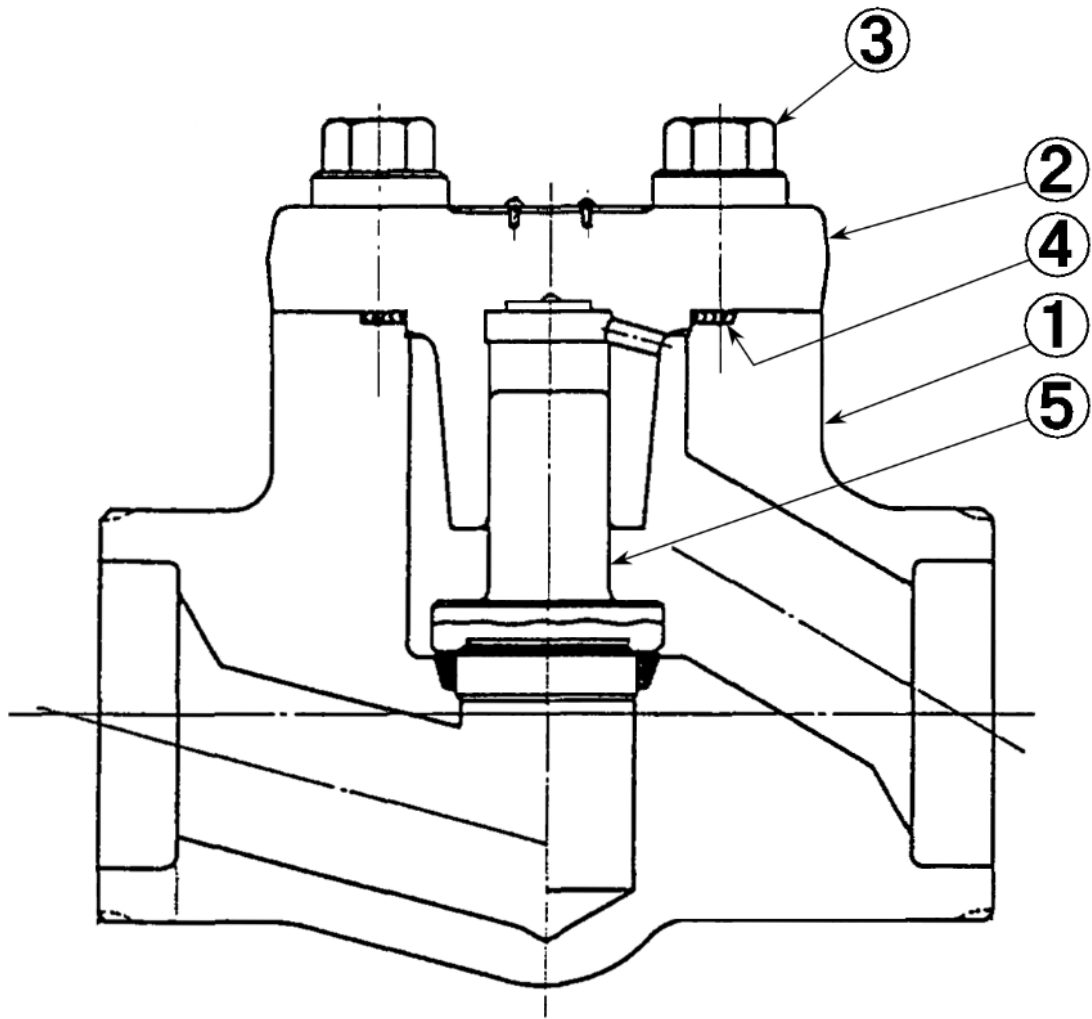
弁箱および弁蓋には炭素鋼、弁体にはステンレス鋼を使用しており、蒸気に接液している。

大飯4号炉の脱気器シール蒸気逆止弁の構造図を図2.1-4に示す。

##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の脱気器シール蒸気逆止弁の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。





No.	部位
①	弁箱 (弁座と一体)
②	弁蓋 (弁体ガイドと一体)
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体

図2.1-4 大飯4号炉 脱気器シール蒸気逆止弁構造図

表2.1-7 大飯4号炉 脱気器シール蒸気逆止弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱 (弁座と一体)	炭素鋼 (ステライト肉盛)
弁蓋 (弁体ガイドと一体)	炭素鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼

表2.1-8 大飯4号炉 脱気器シール蒸気逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa [gage]
最高使用温度	約200℃
内部流体	蒸気

## 2.1.5 蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離逆止弁

### (1) 構造

大飯4号炉の蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離逆止弁は、安全注入系統に設置されている。

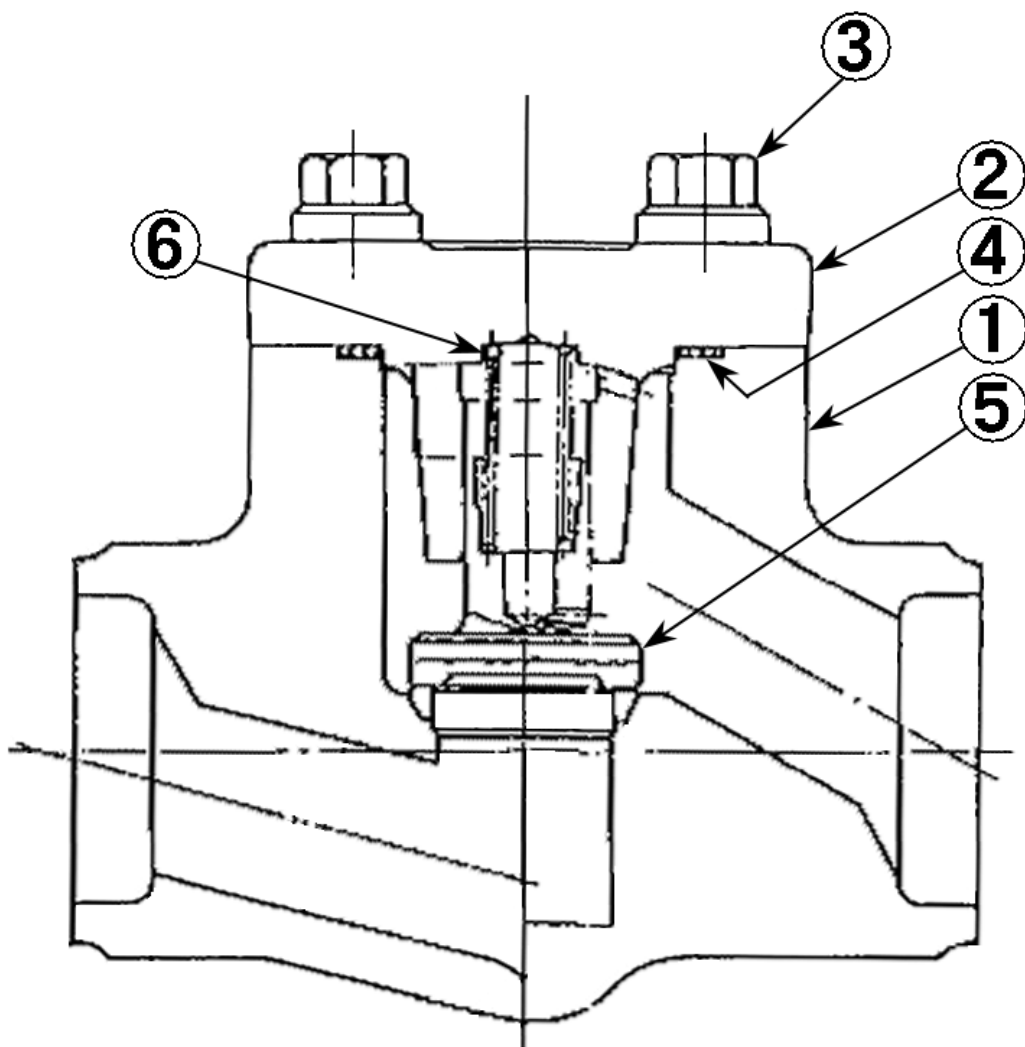
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体）および弁体を支持し作動をガイドする弁体ガイド部（弁蓋と一体）からなる。

弁箱および弁蓋は炭素鋼、弁体にはステンレス鋼を使用しており、窒素に接している。

大飯4号炉の蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離逆止弁の構造図を図2.1-5に示す。

### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離逆止弁の使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。



No.	部位
①	弁箱 (弁座と一体)
②	弁蓋 (弁体ガイドと一体)
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	ばね

図2.1-5 大飯4号炉 蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離逆止弁構造図

表2.1-9 大飯4号炉 蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離逆止弁

主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁蓋（弁体ガイドと一体）	炭素鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼
ばね	ステンレス鋼

表2.1-10 大飯4号炉 蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離逆止弁の使用条件

最高使用圧力	約4.9MPa [gage]
最高使用温度	約144℃
内部流体	窒素

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

リフト逆止弁の機能である流体の流れ方向制限機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

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

#### (1) 弁箱の疲労割れ [加圧器補助スプレイライン逆止弁]

加圧器補助スプレイライン逆止弁はプラントの起動・停止時等に発生する内部流体のステップ状の大きな温度変化により、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) 弁体、弁箱弁座部シート面の摩耗 [共通]

弁体、弁箱弁座部シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

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

#### (2) 弁体と弁体ガイドまたははめ輪の摩耗 [共通]

弁体と弁体ガイド、弁体とはめ輪の摺動部は、弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、摺動荷重は加わらず、有意な摩耗が発生する可能性は小さい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(3) 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食）〔脱気器シール蒸気逆止弁〕

炭素鋼の弁箱、弁蓋は、内部流体（蒸気）による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(4) 弁箱、弁蓋等の外面からの腐食（全面腐食）〔脱気器シール蒸気逆止弁、蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離逆止弁〕

炭素鋼の弁箱、弁蓋等は、外面からの腐食が想定される。

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

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

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

(5) 弁箱等の腐食（全面腐食）〔蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離逆止弁〕

炭素鋼の弁箱、弁蓋は、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、内部流体は窒素で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。



- (6) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔格納容器内脱塩水補給水ライン格納容器隔離逆止弁、脱気器シール蒸気逆止弁〕

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

- (7) ばねの変形（応力緩和）〔加圧器補助スプレイライン逆止弁、格納容器内脱塩水補給水ライン格納容器隔離逆止弁、蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離逆止弁〕

ばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、リフト逆止弁のばねは、高粘性流体を取扱うラインにおける使用を考慮して、着座性をよくするために設けられているもので、大飯4号炉で使用している水や空気等を取扱うラインでは流体の粘性が低く、弁体の自重のみで閉止可能であるため、仮にばねの変形（応力緩和）が発生したとしても、弁の機能に影響しない。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

#### 2.2.4 消耗品および定期取替品

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

表2. 2-1(1/5) 大飯4号炉 加圧器補助スプレイライン逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△ <sup>*1</sup>		○				*1:シート面 *2:弁体ガイド摺動部 *3:変形 (応力緩和)	
	弁蓋 (弁体ガイドと一体)		ステンレス鋼	△ <sup>*2</sup>							
	シールプレート	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△ <sup>*1,2</sup>							
	ばね		ステンレス鋼						△ <sup>*3</sup>		

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/5) 大飯4号炉 格納容器内脱塩水補給水ライン格納容器隔離逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△ <sup>*1</sup>						*1:シート面 *2:弁体ガイド摺動部 *3:変形 (応力緩和)	
	弁蓋 (弁体ガイドと一体)		ステンレス鋼	△ <sup>*2</sup>							
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼	△ <sup>*1,2</sup>							
	ばね		ステンレス鋼						△ <sup>*3</sup>		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2. 2-1(3/5) 大飯4号炉 よう素除去薬品注入ライン逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△*1						*1:シート面 *2:弁体ガイド摺動部	
	弁蓋 (弁体ガイドと一体)		ステンレス鋼								
	弁蓋ボルト		低合金鋼								
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼	△*1,2							
	はめ輪		ステンレス鋼	△*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（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/5) 大飯4号炉 脱気器シール蒸気逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△ <sup>*1</sup>	△ <sup>*2,3</sup>					*1:シート面 *2:流れ加速型腐食 *3:全面腐食(外面) *4:弁体ガイド摺動部	
	弁蓋 (弁体ガイドと一体)		炭素鋼	△ <sup>*4</sup>	△ <sup>*2,3</sup>						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼	△ <sup>*1,4</sup>							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(5/5) 大飯4号炉 蓄圧タンク窒素供給ライン格納容器隔離逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△*1	△*2,3					*1:シート面 *2:全面腐食(外面) *3:全面腐食(内面) *4:弁体ガイド摺動部 *5:変形(応力緩和)	
	弁蓋 (弁体ガイドと一体)		炭素鋼	△*4	△*2,3						
	弁蓋ボルト		低合金鋼								
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼	△*1,4							
	ばね		ステンレス鋼						△*5		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

## 2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

### 2.3.1 弁箱の疲労割れ [加圧器補助スプレイライン逆止弁]

#### a. 事象の説明

加圧器補助スプレイライン逆止弁は、プラントの起動・停止時等に熱過渡を繰り返すため、疲労が蓄積する。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

加圧器補助スプレイライン逆止弁の健全性評価にあたっては、「日本機械学会 設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007)」に基づき評価を行った。

評価対象部位を図2.3-1に示す。

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

疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。

なお、2014年度末までの運転実績に基づき推定した2015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。

##### ② 現状保全

弁箱の疲労割れに対しては、定期的な分解点検時に弁内面の目視確認を実施し、有意な異常がないことを確認するとともに、定期的な漏えい確認を実施し健全性を確認している。

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

##### ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、弁箱の疲労割れ発生の可能性はないと考える。

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

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、異常のないことは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

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

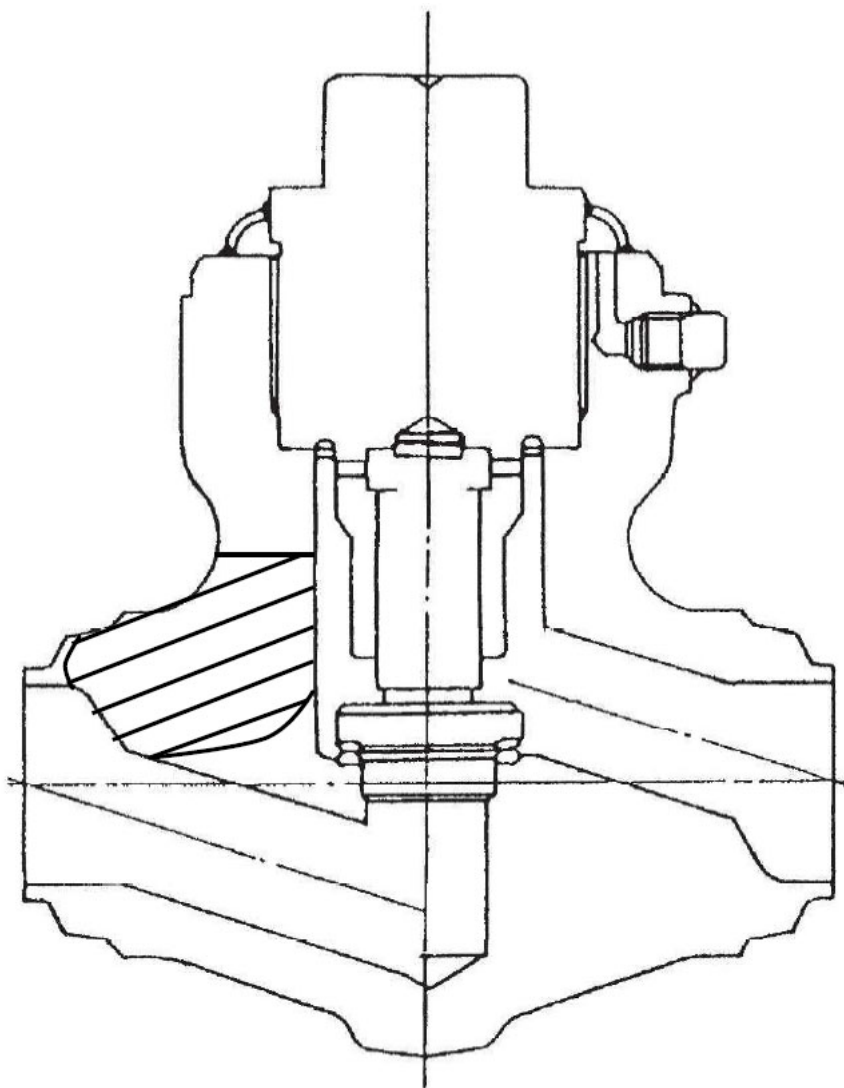


図2.3-1 大飯4号炉 加圧器補助スプレイライン逆止弁の疲労評価対象部位（斜線部）



表2.3-1 大飯4号炉 加圧器補助スプレイライン逆止弁の評価用過渡条件  
運転状態Ⅰ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2014年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動(温度上昇率55.6℃/h)	26	74
停止(温度下降率55.6℃/h)	26	74
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	221	927
負荷減少(負荷減少率5%/min)	211	917
90%から100%へのステップ状負荷上昇	2	4
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	3	9
定常負荷運転時の変動*1	-	-
燃料交換	15	70
0%から15%への負荷上昇	27	75
15%から0%への負荷減少	18	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	
	2014年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
負荷の喪失	4	7
外部電源喪失	1	5
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	2	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		
Ⅰ) 一般	0	2
Ⅱ) 加圧器補助スプレイの誤操作	0	2
制御棒クラスタの落下	0	3
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	5	5
1次系漏えい試験	19	60

\*1: 設計評価においては、1次冷却材温度は高温側±1.4℃、低温側は±2.4℃、1次冷却材圧力+0.39MPa、-0.29MPa(+4.0kg/cm<sup>2</sup>、-3.0 kg/cm<sup>2</sup>)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 大飯4号炉 加圧器補助スプレイライン逆止弁の疲労評価結果

評価対象部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値: 1 以下)	
	設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
弁箱 (ステンレス鋼)	0.009	0.055

### 3. 代表機器以外への展開

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

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

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

##### 3.1.1 弁箱の疲労割れ [1次冷却材系統、化学体積制御系統および安全注入系統のリフト逆止弁]

プラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材のステップ状の大きな温度変化を受ける加圧器補助スプレイライン逆止弁の疲労評価結果では表2.3-2に示すように許容値に対して余裕があり、当該弁と同等以下の過渡しか受けないその他の弁についても、疲労割れが発生する可能性はないと考える。

また、弁箱の疲労割れによる機器の健全性への影響は漏えい確認により、また異常のないことは目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、弁箱の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

### 3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### 3.2.1 弁体、弁箱弁座部シート面の摩耗 [共通]

弁体、弁座または弁箱弁座部シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により状態を確認し、必要に応じてシート面摺り合わせ手入れ、取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

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

#### 3.2.2 弁体と弁体ガイドまたははめ輪の摩耗 [共通]

弁体と弁体ガイド、弁体とはめ輪の摺動部は、弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、摺動荷重は加わらず、有意な摩耗が発生する可能性は小さい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

#### 3.2.3 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食） [主給水系統のリフト逆止弁]

主給水系統の内部流体が高速の水であり、炭素鋼鋳鋼製または炭素鋼製の弁箱、弁蓋、弁体、弁座を用いている弁には、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

3.2.4 弁箱、弁蓋の外面からの腐食（全面腐食）〔主給水系統、1次冷却材系統、安全注入系統、補助蒸気系統、計器用空気系統、雑用空気系統、タービンEHガバナ制御油系統、原子炉補機冷却水系統および換気空調系統のリフト逆止弁〕  
炭素鋼または銅合金の弁箱、弁蓋は、外面からの腐食が想定される。

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

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

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

3.2.5 弁箱等の腐食（全面腐食）〔1次冷却材系統、計器用空気系統、安全注入系統、雑用空気系統、タービンEHガバナ制御油系統、原子炉補機冷却水系統および換気空調系統のリフト逆止弁〕

炭素鋼または銅合金の弁箱、弁蓋は、内部流体による腐食が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.6 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔弁蓋ボルトのある弁共通〕

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.7 弁体の固着 [原子炉補機冷却水系統のリフト逆止弁]

内部流体はヒドラジン水（防錆材注入水）であり、炭素鋼配管における腐食生成物の発生は抑制されているものの、長期運転における腐食生成物堆積による弁体固着が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

### 3.2.8 ばねの変形（応力緩和） [ばねのある弁共通]

ばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、リフト逆止弁のばねは、高粘性流体を取扱うラインにおける使用を考慮して、着座性をよくするために設けられているもので、大飯4号炉で使用している水や空気等を取扱うラインでは流体の粘性が低く、弁体の自重のみで閉止可能であるため、仮にばねの変形（応力緩和）が発生したとしても、弁の機能に影響しない。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

## 1.7 安全逃がし弁

[対象機器]

- ① 1次冷却材系統安全逃がし弁
- ② 化学体積制御系統安全逃がし弁
- ③ 安全注入系統安全逃がし弁
- ④ 余熱除去系統安全逃がし弁
- ⑤ 非常用ディーゼル発電機設備安全逃がし弁
- ⑥ 主蒸気系統安全逃がし弁
- ⑦ グランド蒸気系統安全逃がし弁
- ⑧ 補助蒸気系統安全逃がし弁
- ⑨ ドレン系統安全逃がし弁
- ⑩ 復水系統安全逃がし弁
- ⑪ 主給水系統安全逃がし弁
- ⑫ 高温再熱蒸気系統安全逃がし弁
- ⑬ 原子炉補機冷却水系統安全逃がし弁

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	4
2.1 構造、材料および使用条件 .....	4
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	19
3. 代表機器以外への展開 .....	28
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 .....	28

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

大飯4号炉で使用されている安全逃がし弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらの安全逃がし弁を設置場所、内部流体および材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す安全逃がし弁について、設置場所、内部流体および材料を分離基準として考えると、合計5個のグループに分類される。

### 1.2 代表機器の選定

- (1) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：1次冷却材

このグループには1次冷却材系統、化学体積制御系統、安全注入系統、余熱除去系統の安全逃がし弁が属するが、重要度および温度が高い加圧器安全弁を代表機器とする。

- (2) 設置場所：屋内、材料：ステンレス鋼、内部流体：給水または蒸気

このグループには主給水系統、復水系統およびドレン系統の安全逃がし弁が属するが、圧力が高い第7高圧給水加熱器給水入口逃がし弁を代表機器とする。

- (3) 設置場所：屋内、材料：銅合金およびステンレス鋼、内部流体：空気または窒素

このグループには非常用ディーゼル発電機設備および安全注入系統の安全弁が属するが、温度が高い起動空気圧縮機1段安全弁を代表機器とする。

- (4) 設置場所：屋内または屋外、材料：炭素鋼、内部流体：蒸気または純水

このグループには主蒸気系統、グラント蒸気系統、補助蒸気系統および高温再熱蒸気系統の安全逃がし弁が属するが、重要度が高い主蒸気安全弁を代表機器とする。

- (5) 設置場所：屋内、材料：炭素鋼、内部流体：空気またはヒドラジン水

このグループには非常用ディーゼル発電機設備および原子炉補機冷却水系統の安全逃がし弁が属するが、圧力が高い起動空気だめ安全弁を代表機器とする。



表1-1(1/2) 大飯4号炉 安全逃がし弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定			
設置場所	材料	内部流体			口径(B)	重要度*2	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由	
							最高使用圧力(MPa) [gage]	最高使用温度(°C)				
屋内	ステンレス鋼	1次冷却材	3	1次冷却材系統	6	PS-1、重*3	約17.2	約360	◎	加圧器安全弁(6B)	重要度 温度	
			7	化学体積制御系統	3/4~4	MS-1、高*1、重*3	約20.0	約200				
			2	安全注入系統	3/4	高*1、重*3	約0.4	約144				
			4	余熱除去系統	1~4	MS-1、高*1、重*3	約4.5	約200				
		給水	2	主給水系統	1	高*1	約10.3	約200	◎	第7 高圧給水加熱器給水入口逃がし弁(1B)	圧力	
	5			復水系統	1	高*1	約4.1	約85				
	8			ドレン系統	3	高*1	約2.9	約235				
		銅合金	空気	6	非常用ディーゼル発電機設備	3/8~1	高*1	約3.4	約200	◎	起動空気圧縮機1段安全弁(1B)	温度
				ステンレス鋼	窒素	4	安全注入系統	1	重*3			

\*1：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

\*2：機能は最上位の機能を示す。

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

表1-1(2/2) 大飯4号炉 安全逃がし弁の主な仕様

分離基準			台数	該当系統	代表系統選定基準				代表機器の選定		
設置場所	材料	内部流体			口径(B)	重要度*2	使用条件		代表系統	代表弁	選定理由
							最高使用圧力(MPa) [gage]	最高使用温度(°C)			
屋内外	炭素鋼	蒸気	20	主蒸気系統	6	MS-1、重*3	約8.2	約298	◎	主蒸気安全弁(6B)	重要度
			2	グラント蒸気系統	2・1/2 ~5	高*1	約3.9	約255			
			5	補助蒸気系統	1・1/2~6	高*1	約3.2	約240			
			14	高温再熱蒸気系統	1・1/2~16	高*1	約1.4	約298			
		1	補助蒸気系統	3/4	高*1	約1.4	約185				
屋内	炭素鋼	ヒドラジン水	1	原子炉補機冷却水系統	3/4	重*3	約1.4	約95	◎	起動空気だめ安全弁(3/4B)	圧力
		空気	4	非常用ディーゼル発電機設備	3/4	高*1、重*3	約3.2	約90			
			1	原子炉補機冷却水系統	4	重*3	約0.3	約95			

\*1：最高使用温度が95℃を超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

\*2：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の5種類の安全逃がし弁について技術評価を実施する。

- ① 加圧器安全弁
- ② 第7 高圧給水加熱器給水入口逃がし弁
- ③ 起動空気圧縮機第1段安全弁
- ④ 主蒸気安全弁
- ⑤ 起動空気だめ安全弁

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 加圧器安全弁

##### (1) 構造

大飯4号炉の加圧器安全弁は、ばね安全弁であり、1次冷却材系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット、ベローズ）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒、ばね）からなる。

弁箱にはステンレス鋼鋳鋼、弁座にはステンレス鋼、弁体にはニッケル基合金を使用しており、1次冷却材に接液している。

弁蓋ボルトをゆるめ、弁蓋を取り外すことにより、点検手入れが可能である。大飯4号炉の加圧器安全弁の構造図を図2.1-1に示す。

##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の加圧器安全弁の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

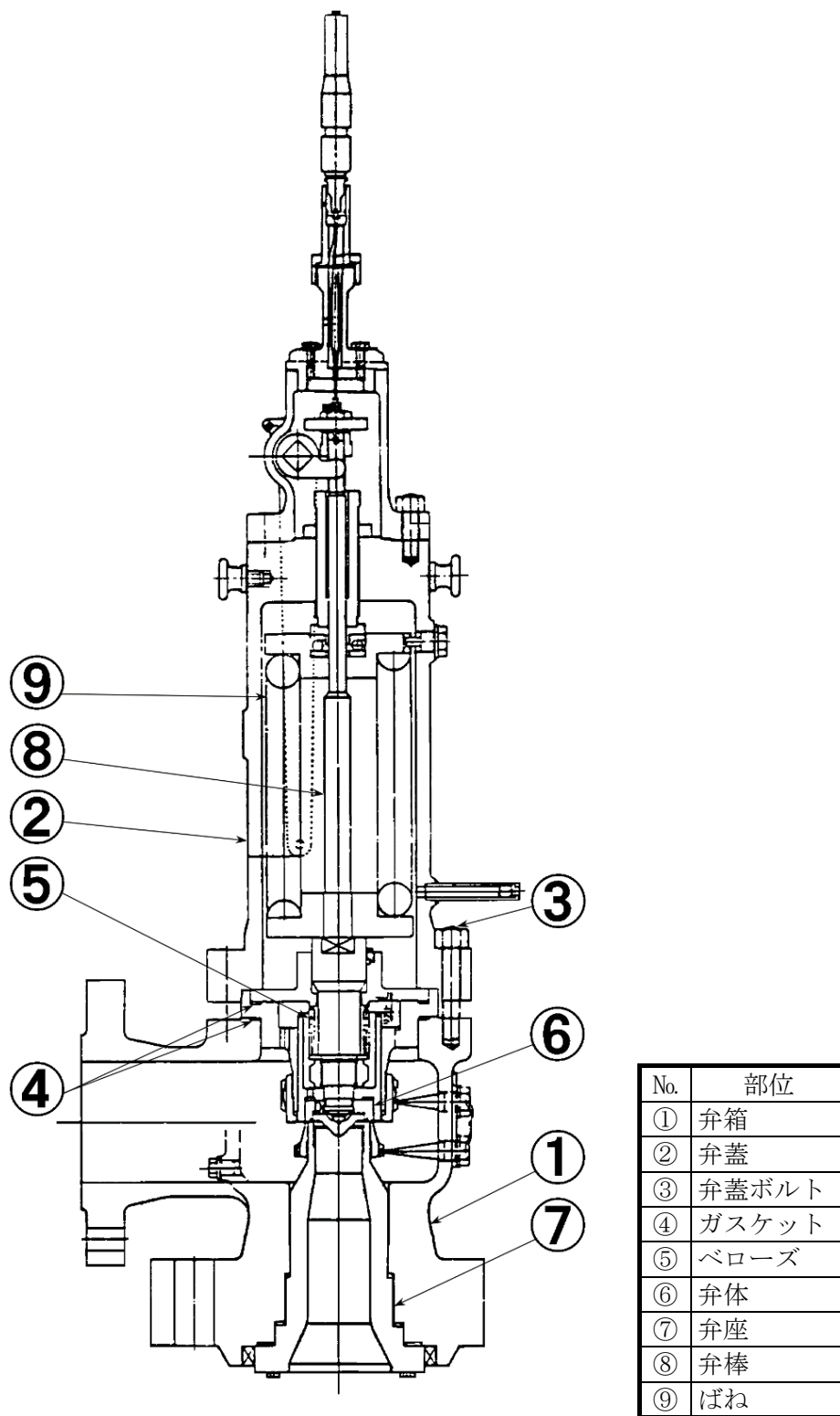


図2. 1-1 大飯4号炉 加圧器安全弁構造図

表2.1-1 大飯4号炉 加圧器安全弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
ベローズ	ニッケル基合金
弁体	ニッケル基合金
弁座	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
ばね	ばね鋼

表2.1-2 大飯4号炉 加圧器安全弁の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa [gage]
最高使用温度	約360℃
内部流体	1次冷却材

## 2.1.2 第7 高压给水加热器给水入口逃がし弁

### (1) 構造

大飯4号炉の第7 高压给水加热器给水入口逃がし弁は、ばね安全弁であり、主给水系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋）、流体を仕切る隔離部（弁体）および弁体を作動させる作動部（弁棒、ばね）からなる。

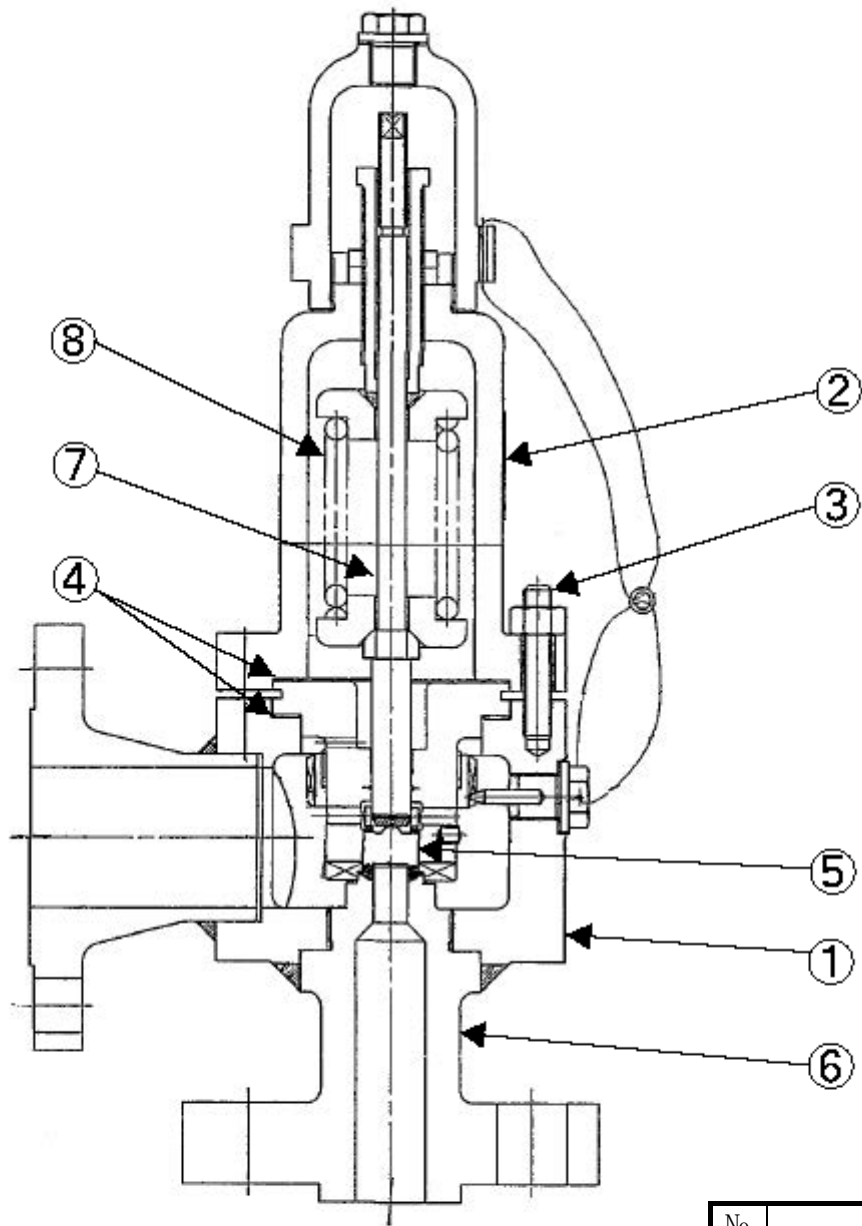
弁箱および弁蓋にはステンレス鋼、弁体にはコバルト基合金を使用しており、給水に接している。

弁蓋を取り外すことにより、点検手入れが可能である。

大飯4号炉の第7 高压给水加热器给水入口逃がし弁の構造図を図2.1-2に示す。

### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の第7 高压给水加热器给水入口逃がし弁の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	弁座
⑦	弁棒
⑧	ばね

図2.1-2 大飯4号炉 第7 高压给水加热器给水入口逃がし弁構造図

表2.1-3 大飯4号炉 第7 高压给水加热器给水入口逃がし弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	ステンレス鋼
弁蓋	ステンレス鋼
弁蓋ボルト	ステンレス鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	コバルト基合金
弁座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁棒	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
ばね	ステンレス鋼

表2.1-4 大飯4号炉 第7 高压给水加热器给水入口逃がし弁の使用条件

最高使用圧力	約10.3MPa [gage]
最高使用温度	約200℃
内部流体	給水



### 2.1.3 起動空気圧縮機 1 段安全弁

#### (1) 構造

大飯 4 号炉の起動空気圧縮機 1 段安全弁は、ばね安全弁であり、非常用ディーゼル発電機設備に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱（弁座と一体）、弁蓋）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座（弁箱と一体））および弁体を作動させる作動部（弁棒、ばね）からなる。

弁箱（弁座一体）および弁体にはステンレス鋼およびステンレス鋼鋳鋼、弁蓋には銅合金鋳物を使用しており、空気に接している。

弁蓋を取り外すことにより、点検手入れが可能である。

大飯 4 号炉の起動空気圧縮機 1 段安全弁の構造図を図 2.1-3 に示す。

#### (2) 材料および使用条件

大飯 4 号炉の起動空気圧縮機 1 段安全弁の使用材料および使用条件を表 2.1-5 および表 2.1-6 に示す。

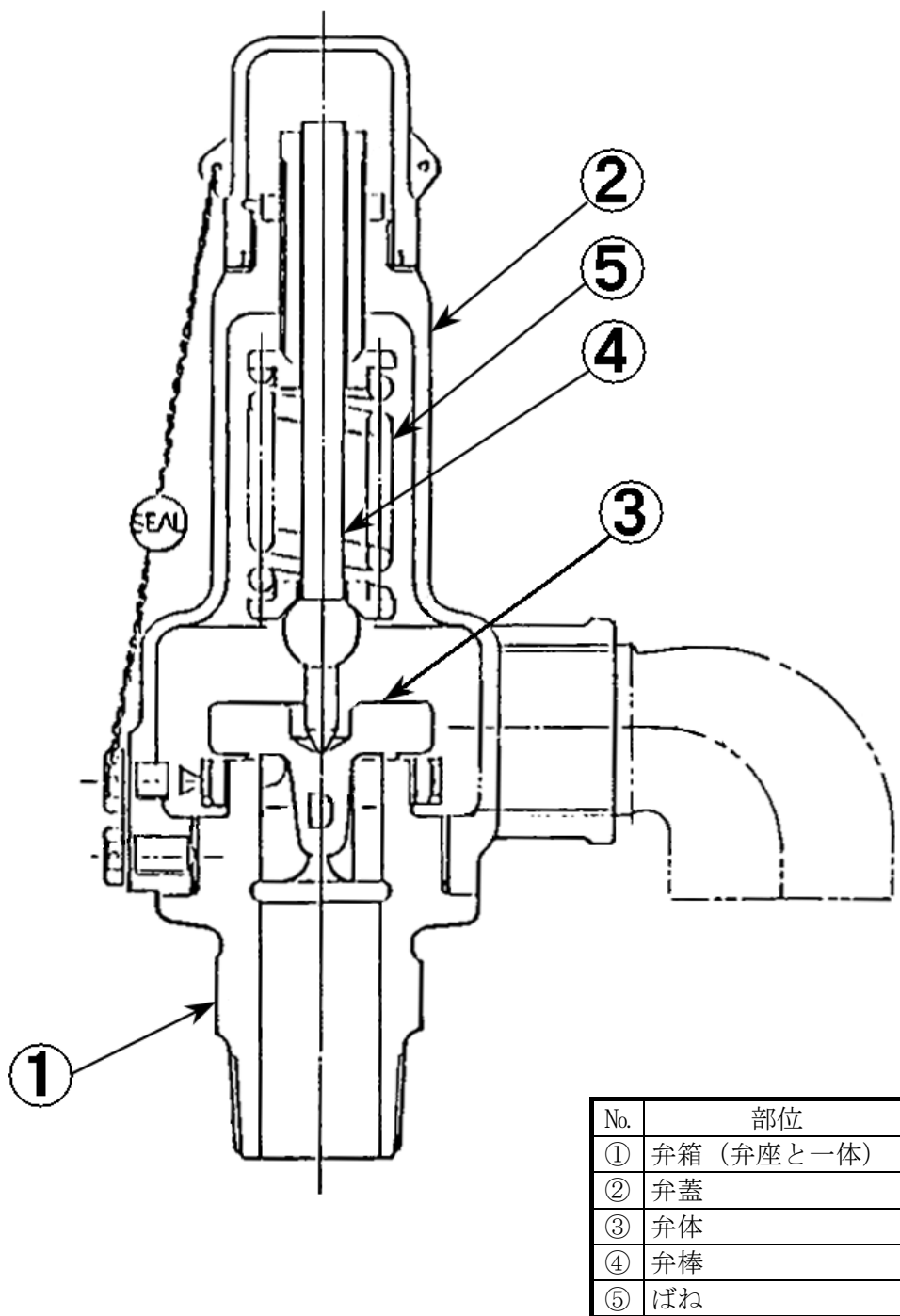


図2.1-3 大飯4号炉 起動空気圧縮機1段安全弁構造図

表2.1-5 大飯4号炉 起動空気圧縮機1段安全弁構造図主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	ステンレス鋼
弁蓋	銅合金鋳物
弁体	ステンレス鋼鋳鋼
弁棒	ステンレス鋼
ばね	ステンレス鋼

表2.1-6 大飯4号炉 起動空気圧縮機1段安全弁構造図の使用条件

最高使用圧力	約3.4MPa [gage]
最高使用温度	約200℃
内部流体	空気

#### 2.1.4 主蒸気安全弁

##### (1) 構造

大飯4号炉の主蒸気安全弁は、ばね安全弁であり、主蒸気系統に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒、ばね）からなる。

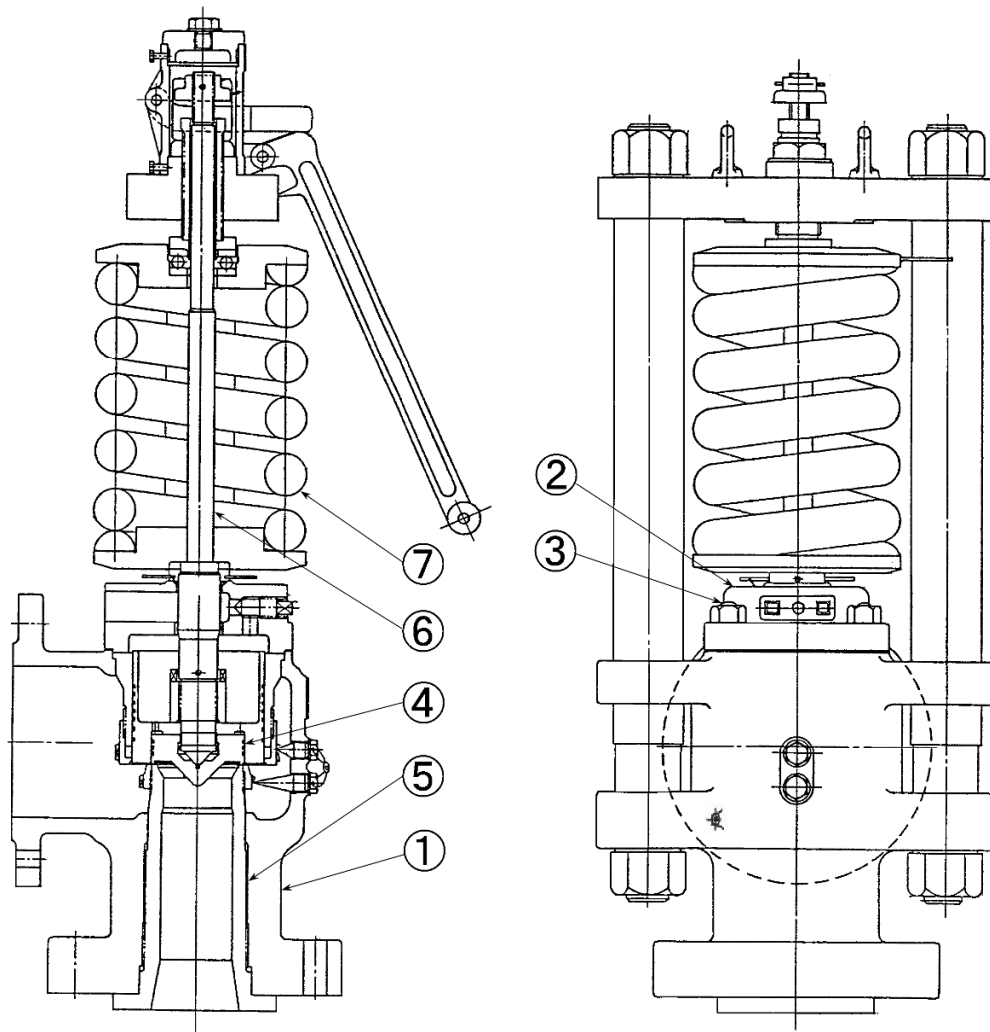
弁箱には炭素鋼鋳鋼、弁体にはクロムニッケルモリブデン鋼、弁座には炭素鋼を使用しており、蒸気に接している。

弁蓋ボルトをゆるめ、弁蓋を取り外すことにより、点検手入れが可能である。

大飯4号炉の主蒸気安全弁の構造図を図2.1-4に示す。

##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の主蒸気安全弁の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	弁体
⑤	弁座
⑥	弁棒
⑦	ばね

図2.1-4 大飯4号炉 主蒸気安全弁構造図

表2.1-7 大飯4号炉 主蒸気安全弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
弁体	クロムニッケルモリブデン鋼
弁座	炭素鋼 (ステライト肉盛)
弁棒	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
ばね	ばね鋼

表2.1-8 大飯4号炉 主蒸気安全弁の使用条件

最高使用圧力	約8.2MPa [gage]
最高使用温度	約298℃
内部流体	蒸気

## 2.1.5 起動空気だめ安全弁

### (1) 構造

大飯4号炉の起動空気だめ安全弁は、ばね安全弁であり、非常用ディーゼル発電機設備に設置されている。

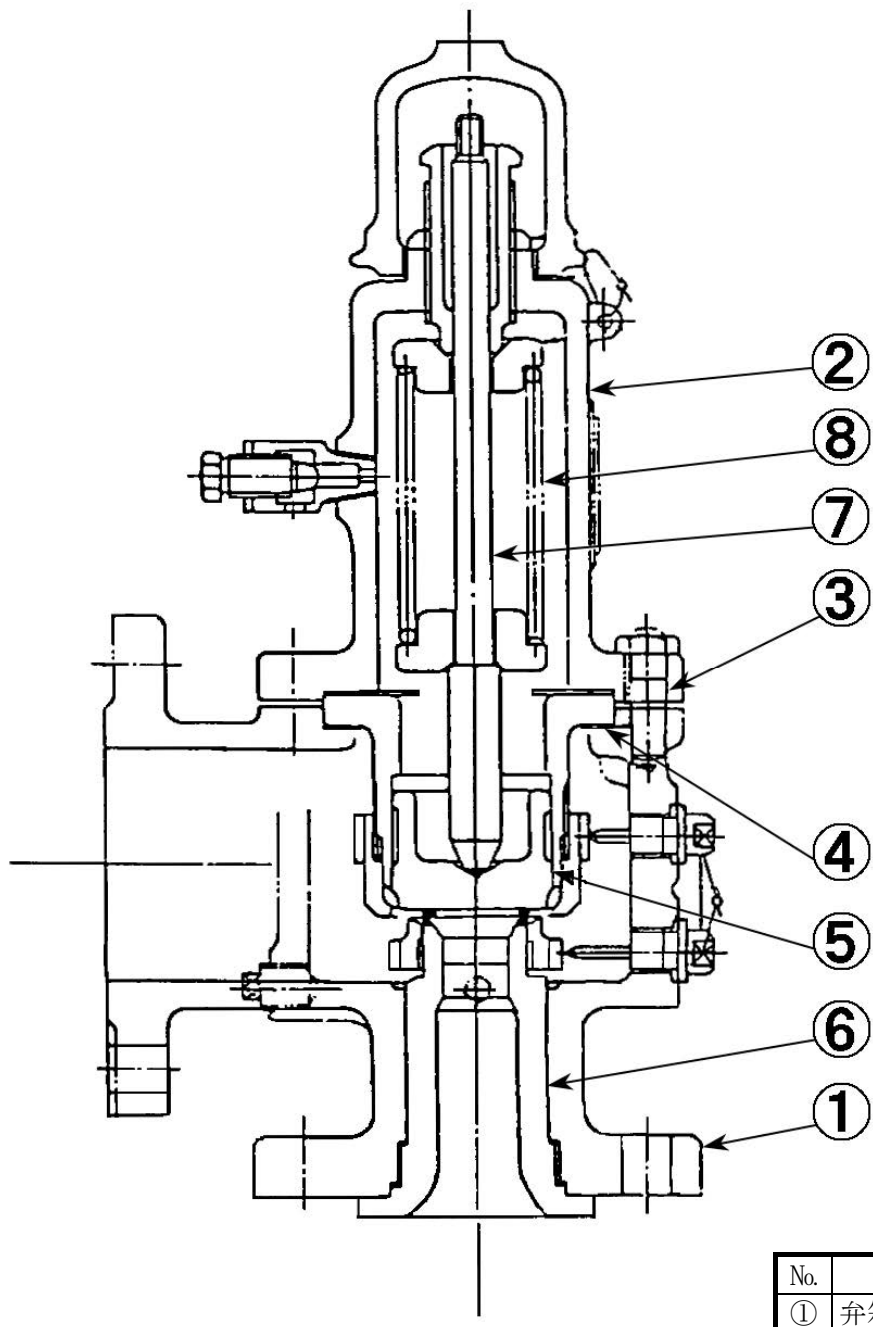
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）および弁体を作動させる作動部（弁棒、ばね）からなる。

弁箱には炭素鋼、弁体および弁座にはステンレス鋼を使用しており、空気に接している。

弁蓋ボルトをゆるめ、弁蓋を取り外すことにより、点検手入れが可能である。大飯4号炉の起動空気だめ安全弁の構造図を図2.1-5に示す。

### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の起動空気だめ安全弁の使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	弁座
⑦	弁棒
⑧	ばね

図2.1-5 大飯4号炉 起動空気だめ安全弁構造図



表2.1-9 大飯4号炉 起動空気だめ安全弁主要部位の使用材料

部位	材 料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁蓋	炭素鋼鋳鋼
弁蓋ボルト	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁体	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁座	ステンレス鋼（ステライト肉盛）
弁棒	ステンレス鋼
ばね	弁ばね用オイルテンパー線

表2.1-10 大飯4号炉 起動空気だめ安全弁の使用条件

最高使用圧力	約3.2MPa [gage]
最高使用温度	約90℃
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

安全逃がし弁の機能である圧力抑制機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

- (1) 弁箱、弁蓋等の外面からの腐食（全面腐食）〔加圧器安全弁、主蒸気安全弁、起動空気だめ安全弁〕

炭素鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋等には、外面からの腐食が想定される。

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

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

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

- (2) 弁箱等の腐食（全面腐食）〔加圧器安全弁、主蒸気安全弁〕

炭素鋼または炭素鋼鋳鋼の弁箱、弁蓋の内面および弁座には腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(3) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔加圧器安全弁、主蒸気安全弁〕

弁蓋ボルトは低合金鋼であり、ガスケット部等からの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

(4) ベローズの疲労割れ〔加圧器安全弁〕

ベローズは弁の開閉による疲労割れが想定される。

しかしながら、安全弁は系統の異常昇圧時の保護目的で設置されており作動回数は少なく、これまでに有意な割れは認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい

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

なお、機器点検時の漏えい確認より、機器の健全性を確認している。

(5) 弁体、弁座シート面の摩耗〔共通〕

弁体、弁座シート面は弁の開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、安全弁は系統の異常昇圧時の保護目的で設置されており作動回数は少なく、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 弁棒の摩耗 [共通]

弁棒は開閉に伴う弁蓋との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、安全弁は系統の異常昇圧時の保護目的で設置されており作動回数は少なく、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) ばねの変形（応力緩和） [共通]

ばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が発生する可能性がある。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用しており、これまでに有意なばねの変形は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(8) 弁箱等の腐食（全面腐食） [起動空気圧縮機第1段安全弁、起動空気だめ安全弁]

銅合金鋳物製または炭素鋼鋳鋼製の弁箱、弁蓋の内面には腐食が想定される。

しかしながら、内部流体は空気であり、腐食が発生しがたい環境にある。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品および定期取替品

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

表2.2-1(1/5) 大飯4号炉 加圧器安全弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼							*1: 全面腐食(外面) *2: 全面腐食(内面) *3: 変形(応力緩和)	
	弁蓋		炭素鋼鋳鋼		△ <sup>*1,2</sup>						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	ベローズ		ニッケル基合金			△					
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ニッケル基合金	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	ばね		ばね鋼						△ <sup>*3</sup>		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/5) 大飯4号炉 第7高圧給水加熱器給水入口逃がし弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		ステンレス鋼								*1：変形（応力緩和）
	弁蓋		ステンレス鋼								
	弁蓋ボルト		ステンレス鋼								
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		コバルト基合金	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	ばね		ステンレス鋼							△*1	

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/5) 大飯4号炉 起動空気圧縮機第1段安全弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣		
バウンダリの維持	弁箱 (弁座と一体)		ステンレス鋼	△							*1：変形（応力緩和）
	弁蓋		銅合金鋳物		△						
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼鋳鋼	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△							
	ばね		ステンレス鋼							△*1	

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）



表2.2-1(4/5) 大飯4号炉 主蒸気安全弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ <sup>*1,2</sup>					*1: 全面腐食(外面) *2: 全面腐食(内面) *3: 変形(応力緩和)	
	弁蓋		炭素鋼鋳鋼		△ <sup>*1,2</sup>						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		クロムニッケル モリブデン鋼	△							
	弁座		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△						
	弁棒		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	ばね		ばね鋼						△ <sup>*3</sup>		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(5/5) 大飯4号炉 起動空気だめ安全弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ <sup>*1,2</sup>					*1: 全面腐食(外面) *2: 全面腐食(内面) *3: 変形	
	弁蓋		炭素鋼鋳鋼		△ <sup>*1,2</sup>						
	弁蓋ボルト		炭素鋼								
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁座		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
	弁棒		ステンレス鋼	△							
	ばね		弁ばね用 オイルテンパー線						△ <sup>*3</sup>		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

### 3. 代表機器以外への展開

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

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

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

##### 3.1.1 弁箱、弁蓋の外面からの腐食（全面腐食）〔グラント蒸気系統、補助蒸気系統、高温再熱蒸気系統、主給水系統、常用ディーゼル発電機設備および原子炉補機冷却水系統の安全逃がし弁〕

炭素鋼鋳鋼製または炭素鋼製の弁箱、弁蓋は、外面からの腐食が発生する可能性がある。

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

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

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

##### 3.1.2 弁箱等の腐食（全面腐食）〔グラント蒸気系統、補助蒸気系統、高温再熱蒸気系統および主蒸気系統の安全逃がし弁〕

炭素鋼または炭素鋼鋳鋼製の弁箱、弁蓋の内面および弁座には腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

### 3.1.3 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）〔ガスケット構造の弁蓋部にある低合金鋼製または炭素鋼製の弁蓋ボルトのある弁共通〕

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.4 ベローズの疲労割れ〔ベローズのある弁共通〕

ベローズは弁の開閉による疲労割れが想定される。

しかしながら、安全弁は系統の異常昇圧時の保護目的で設置されており作動回数は少なく、これまでに有意な割れは認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器点検時の漏えい確認より、機器の健全性を確認している。

### 3.1.5 弁体、弁座または弁箱弁座部シート面の摩耗〔共通〕

弁体、弁座または弁箱弁座部シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、安全弁は系統の異常昇圧時の保護目的で設置されており作動回数は少なく、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器点検時の漏えい確認より、機器の健全性を確認している。

### 3.1.6 弁棒の摩耗〔共通〕

弁棒は開閉に伴う弁蓋との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、安全弁は系統の異常昇圧時の保護目的で設置されており作動回数は少なく、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目す

べき経年劣化事象ではない。

なお、機器点検時の漏えい確認より、機器の健全性を確認している。

### 3.1.7 ばねの変形（応力緩和）〔共通〕

ばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が発生する可能性がある。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用しており、これまでに有意なばねの変形は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.8 弁箱等の腐食（全面腐食）〔非常用ディーゼル発電機設備および原子炉補機冷却水系統の安全逃がし弁〕

銅合金鋳物製、炭素鋼鋳鋼製または炭素鋼製の弁箱、弁蓋の内面には、腐食が想定される。

しかしながら、内部流体が空気またはヒドラジン水であり、腐食が発生しがたい環境にある。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

## 2 一般弁（駆動部）

[対象機器]

- 2.1 電動装置
- 2.2 空気作動装置

## 2.1 電動装置

[対象機器]

- ① 1次冷却材系統電動弁
- ② 化学体積制御系統電動弁
- ③ 安全注入系統電動弁
- ④ 余熱除去系統電動弁
- ⑤ 格納容器内部スプレイ系統電動弁
- ⑥ 1次系試料採取系統電動弁
- ⑦ 主蒸気系統電動弁
- ⑧ 主給水系統電動弁
- ⑨ 補助給水系統電動弁
- ⑩ 原子炉補機冷却水系統電動弁
- ⑪ 計器用空気系統電動弁
- ⑫ 海水系統電動弁
- ⑬ 換気空調系統電動弁

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	4
2.1 構造、材料および使用条件 .....	4
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	14
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価 .....	19
3. 代表機器以外への展開 .....	23
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象 .....	23
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 .....	25



## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

大飯4号炉で使用されている弁を駆動する電動装置主要部位の主な仕様を表1-1に示す。

これらの電動装置を設置場所の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

電動装置はモータや駆動装置等の組み合わせにより構成されており、使用する系統の条件には関係なく、弁本体の駆動力等の条件に適合する仕様を選定している。

構成機器のうち、駆動装置については電動装置の仕様に依存せず、構造、材料等が同等であることから、経年劣化に対する健全性評価はいずれの仕様においても同等として評価する。

また、モータについては直流モータと交流モータの2種があり、構造、材料等は異なるが、直流モータは定期取替品であり、評価対象外としていることから、モータについても電動装置の仕様に依存せず、経年劣化に対する健全性評価はいずれの仕様においても同等として評価する。

### 1.2 代表機器の選定

#### (1) 設置場所：屋内

屋内設置の電動装置の中から、原子炉格納容器内のループ室内設置であり、弁本体が大口径で大きな駆動力を必要とする余熱除去ポンプループ高温側入口止め弁電動装置を代表機器とする。

#### (2) 設置場所：屋外

このグループには、海水供給母管連絡弁電動装置のみが含まれるため、海水供給母管連絡弁電動装置を代表機器とする。

表1-1(1/2) 大飯4号炉 電動装置の主な仕様

分離基準	仕様	台数	選定基準					代表機器の選定	
			重要度*1	口径(B)	使用場所			代表弁	選定理由
					原子炉格納容器内	原子炉格納容器外	周囲温度		
屋内	SMB-3	122	MS-1、重*2	10~12	○*3、*4	—	約26~33℃	◎ 余熱除去ポンプループ 高温側入口止め弁 (SMB-3、12B)	使用条件、 弁本体の口径
	10~22			—	○	約26~40℃			
	SMB-2		MS-1	8	○*4	—	約26℃		
	SMB-1		MS-1、2、 重*2	3~4	○*3、*4	—	約30~36℃		
				6~16	—	○*5	約26~50℃		
	SMB-0		MS-1、重*2	3	○*4	—	約30℃		
				2~8	—	○*5	約26~50℃		
	SMB-00		MS-1、重*2	3/8	○*4	—	約30℃		
				1 1/2~10	—	○*5	約26~50℃		
	SMB-000		MS-1、重*2	1~6	○*4	—	約28~30℃		
				1/2~3	—	○	約26~40℃		
	SB-4D		MS-1、重*2	12	○*4	—	約26~30℃		
				16	—	○*5	約26~50℃		
	SB-3D		MS-1	14	—	○	約26~40℃		
	SB-2D		MS-1、重*2	16~18	—	○	約26~40℃		
	SB-1D		MS-1	3	—	○	約26~40℃		
SB-0D	MS-1、重*2	10	○*4	—	約30℃				
		10	—	○	約26~40℃				
SB-00D	MS-1、重*2	4~6	—	○	約26~40℃				
SS2-16A-WT	MS-1	28	—	○	約26~40℃				

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

\*3：使用環境の厳しいループ室または加圧器室内に設置。

\*4：設計基準事故（1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失）を考慮する。

\*5：設計基準事故（主蒸気管破断）を考慮する。

表1-1(2/2) 大飯4号炉 電動装置の主な仕様

分離基準 設置場所	仕様	台数	選定基準					代表機器の選定		
			重要度*1	口径(B)	使用場所			代表弁	選定理由	
					原子炉格納容器内	原子炉格納容器外	周囲温度			
屋外	SS2-14A-WT	2	MS-1	14	—	○	約40℃	◎	海水供給母管連絡弁 (SS2-14A-WT、14B)	

\*1：機能は最上位の機能を示す。

## 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電動装置について技術評価を実施する。

- ① 余熱除去ポンプループレープ高温側入口止め弁電動装置
- ② 海水供給母管連絡弁電動装置

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 余熱除去ポンプループレープ高温側入口止め弁電動装置

##### (1) 構造

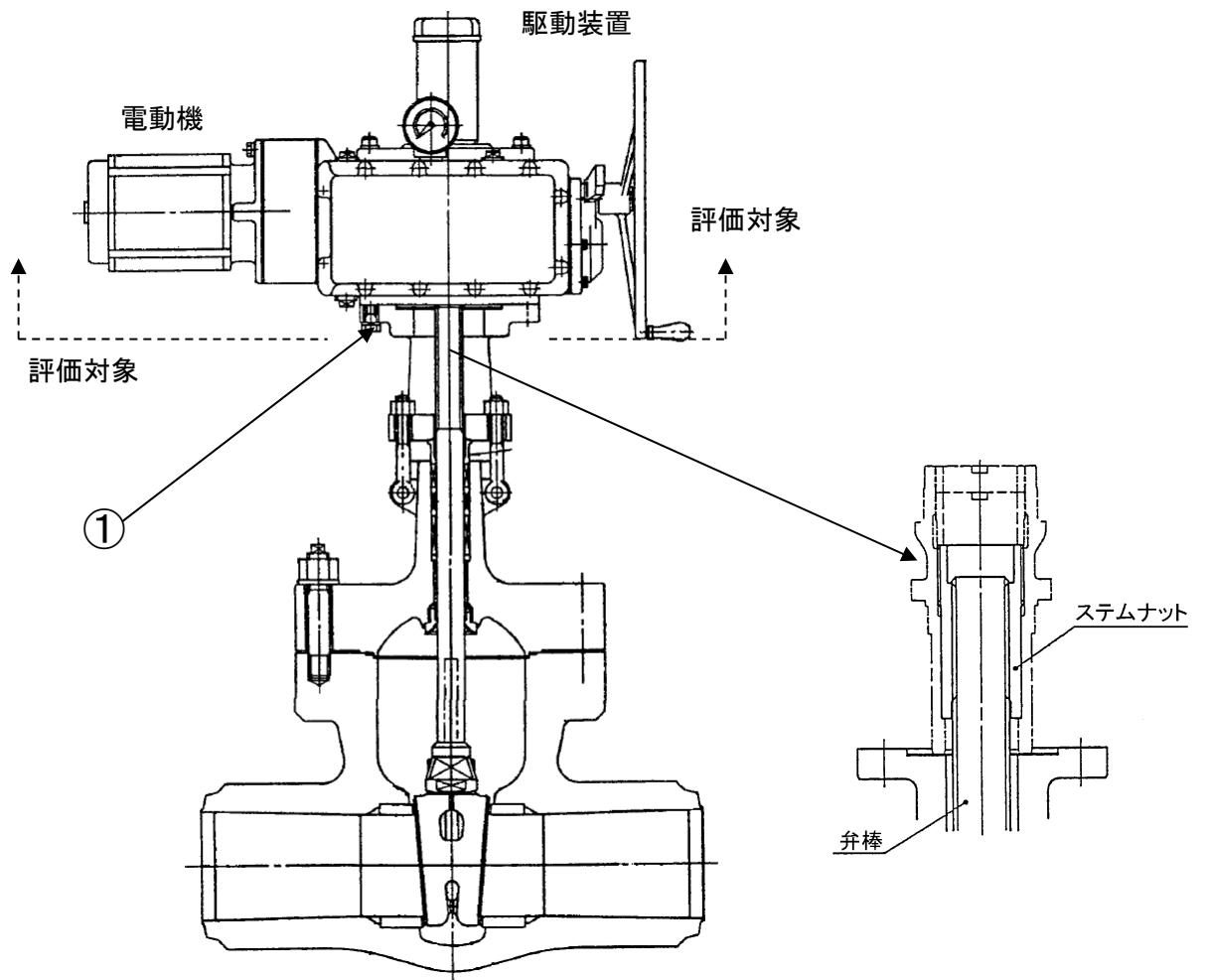
大飯4号炉の余熱除去ポンプループレープ高温側入口止め弁電動装置はSMB-3型で2台設置されている。

電動装置は、モータ（交流モータ）および歯車等を内蔵した駆動装置で構成されており、モータの回転力を歯車（ギア）を介して、ステムナット、弁棒に伝達し、弁を駆動させる構造としている。

大飯4号炉の余熱除去ポンプループレープ高温側入口止め弁電動装置の構造図および構造概念図を図2.1-1に示す。

##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の余熱除去ポンプループレープ高温側入口止め弁電動装置の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	取付ボルト

図2.1-1(1/3) 大飯4号炉 余熱除去ポンプルーブ高温側入口止め弁電動装置構造図

No.	部位
①	フレーム
②	固定子コア
③	固定子コイル
④	回転子コア
⑤	口出線・接続部品
⑥	軸受（ころがり）
⑦	ガスケット

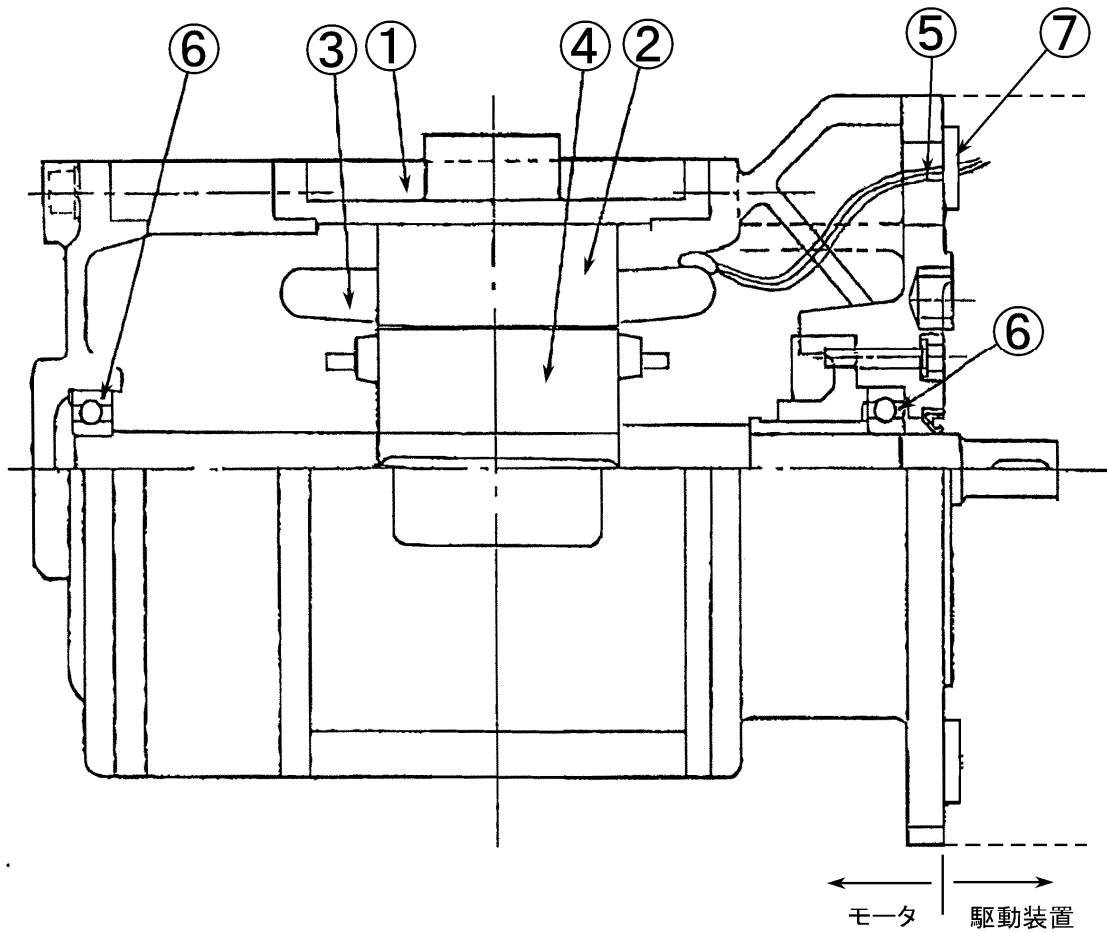
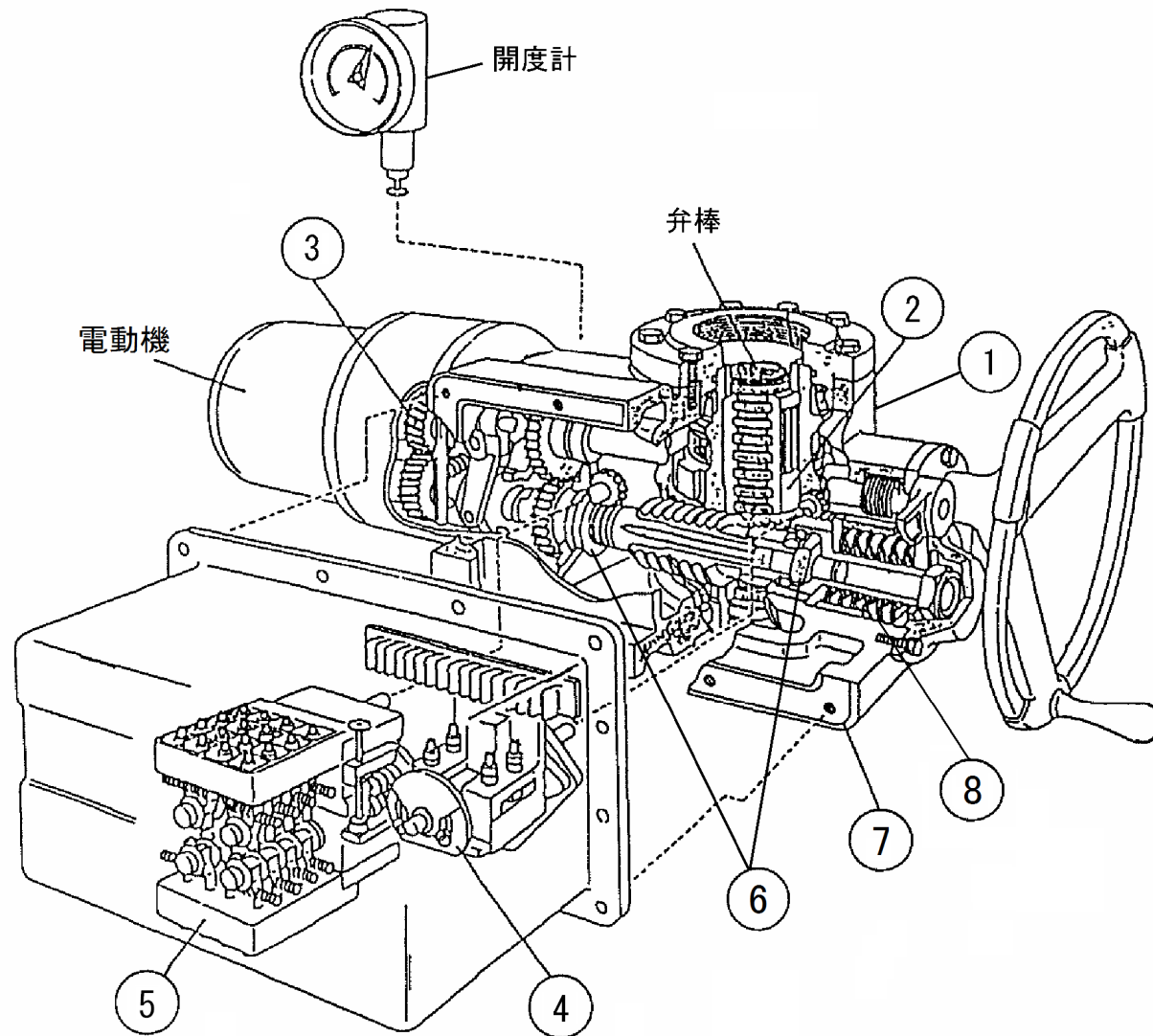


図2. 1-1(2/3) 大飯4号炉 余熱除去ポンプルーブ高温側入口止め弁電動装置（モータ）  
構造図



No.	部位
①	駆動装置ハウジング
②	ステムナット
③	歯車
④	トルクスイッチ
⑤	リミットスイッチ
⑥	軸受 (ころがり)
⑦	ガスケット
⑧	トルクスプリングパック

図2.1-1(3/3) 大飯4号炉 余熱除去ポンプルーブ高温側入口止め弁電動装置 (駆動装置) 構造概念図

表2.1-1 大飯4号炉 余熱除去ポンプルーブ高温側入口止め弁電動装置  
主要部位の使用材料

部位		材料
モータ 組立部品	フレーム	鋳鉄
	固定子コア	珪素鋼板
	固定子コイル	銅、ポリイミド/ポリアミドイミド (H種絶縁)、 エポキシ樹脂
	回転子コア	珪素鋼板
	口出線・接続部品	銅、シリコンゴム (H種絶縁)
	軸受 (ころがり)	消耗品・定期取替品
	ガスケット	消耗品・定期取替品
駆動装置 組立部品	駆動装置ハウジング	鋳鉄
	ステムナット	銅合金鋳物
	歯車	低合金鋼、銅合金鋳物
	トルクスイッチ	消耗品・定期取替品
	トルクスプリングパック	消耗品・定期取替品
	リミットスイッチ	消耗品・定期取替品
	軸受 (ころがり)	軸受鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
支持部品	取付ボルト	低合金鋼

表2.1-2 大飯4号炉 余熱除去ポンプルーブ高温側入口止め弁電動装置の使用条件

	通常運転時	設計基準事故時
定格出力	7.9kW	
定格電圧	AC440V	
周囲温度	約33℃*1	約132℃ (最高温度)
圧力	約0.0098MPa [gage] 以下	約0.31MPa [gage] (最高圧力)
放射線	0.0442Gy/h*2	824kGy (最大集積線量)

\*1：通常運転時の原子炉格納容器ルーブ室内弁電動装置周囲の平均温度の最大実測値

\*2：通常運転時の原子炉格納容器ルーブ室内弁電動装置周囲の平均線量率の最大実測値



## 2.1.2 海水供給母管連絡弁電動装置

### (1) 構造

大飯4号炉の海水供給母管連絡弁電動装置はSS2-14A-WT型で2台設置されている。

電動装置は、モータ（交流モータ）および歯車等を内蔵した駆動装置で構成されており、モータの回転力を歯車（ギア）を介して、ドライブスリーブ、弁棒に伝達し、弁を駆動させる構造としている。

大飯4号炉の海水供給母管連絡弁電動装置の構造図および構造概念図を図2.1-2に示す。

### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の海水供給母管連絡弁電動装置の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。

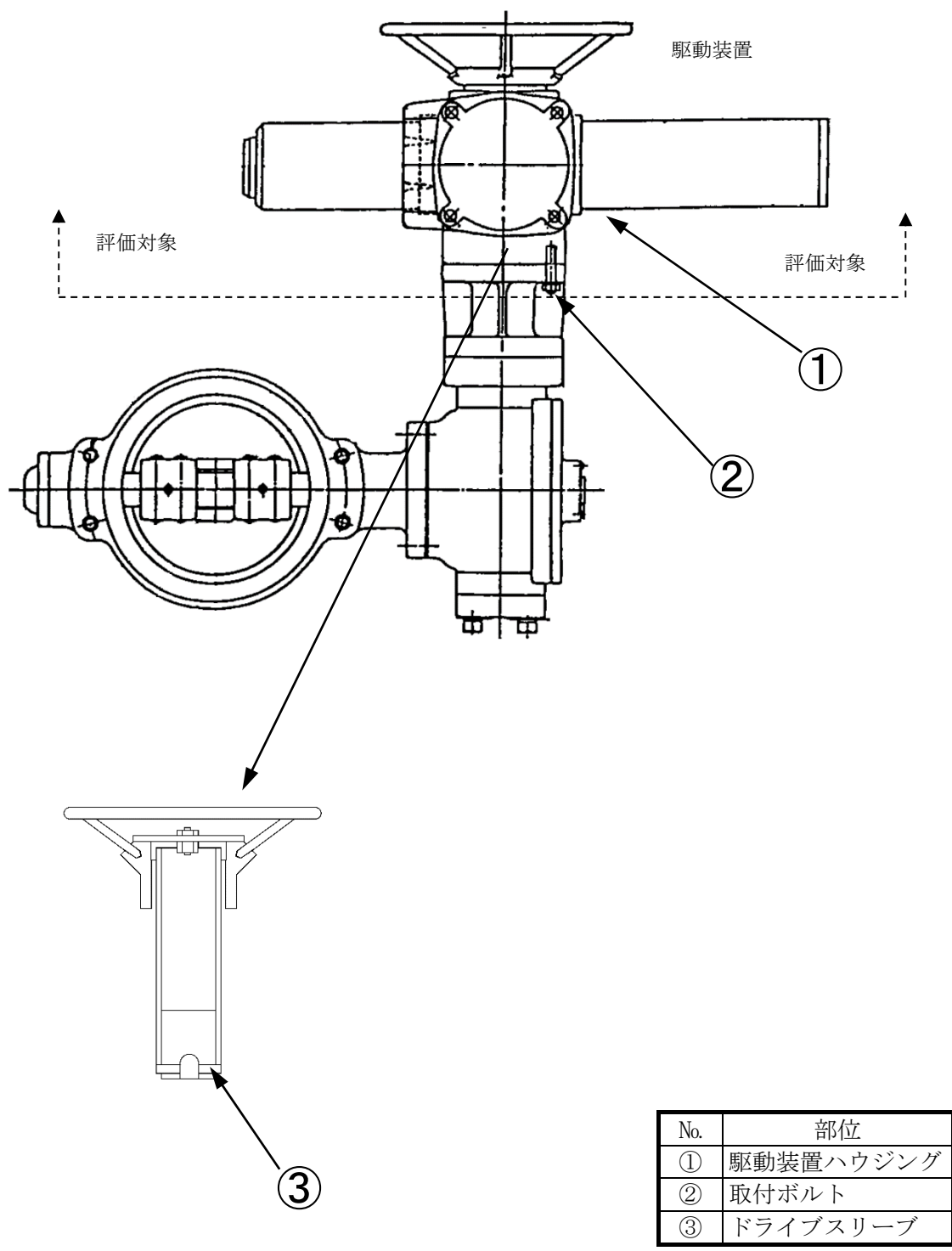
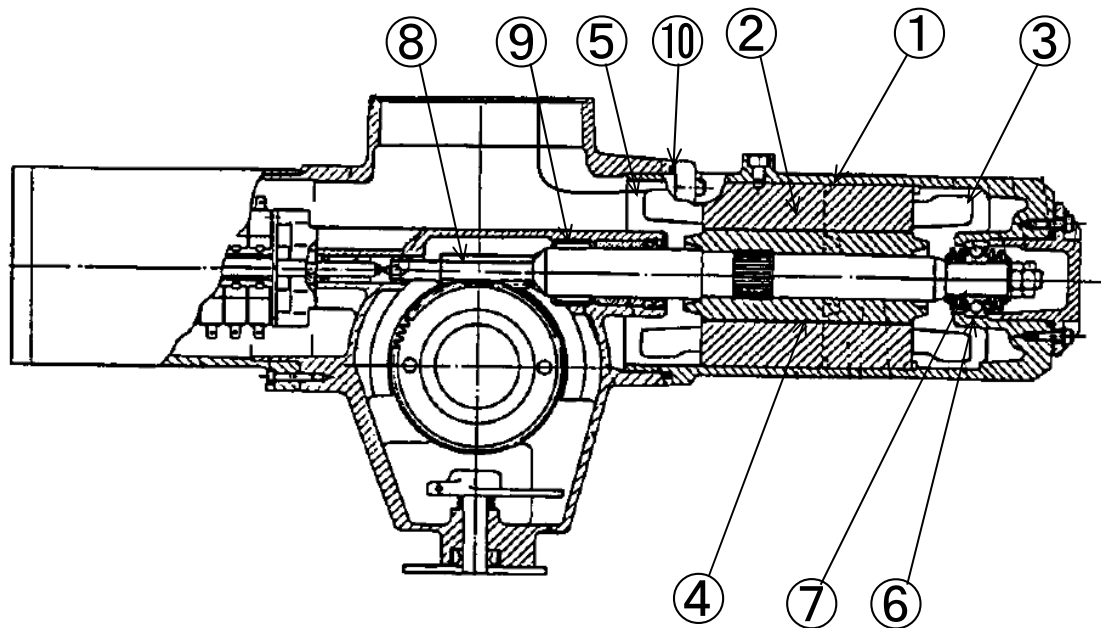
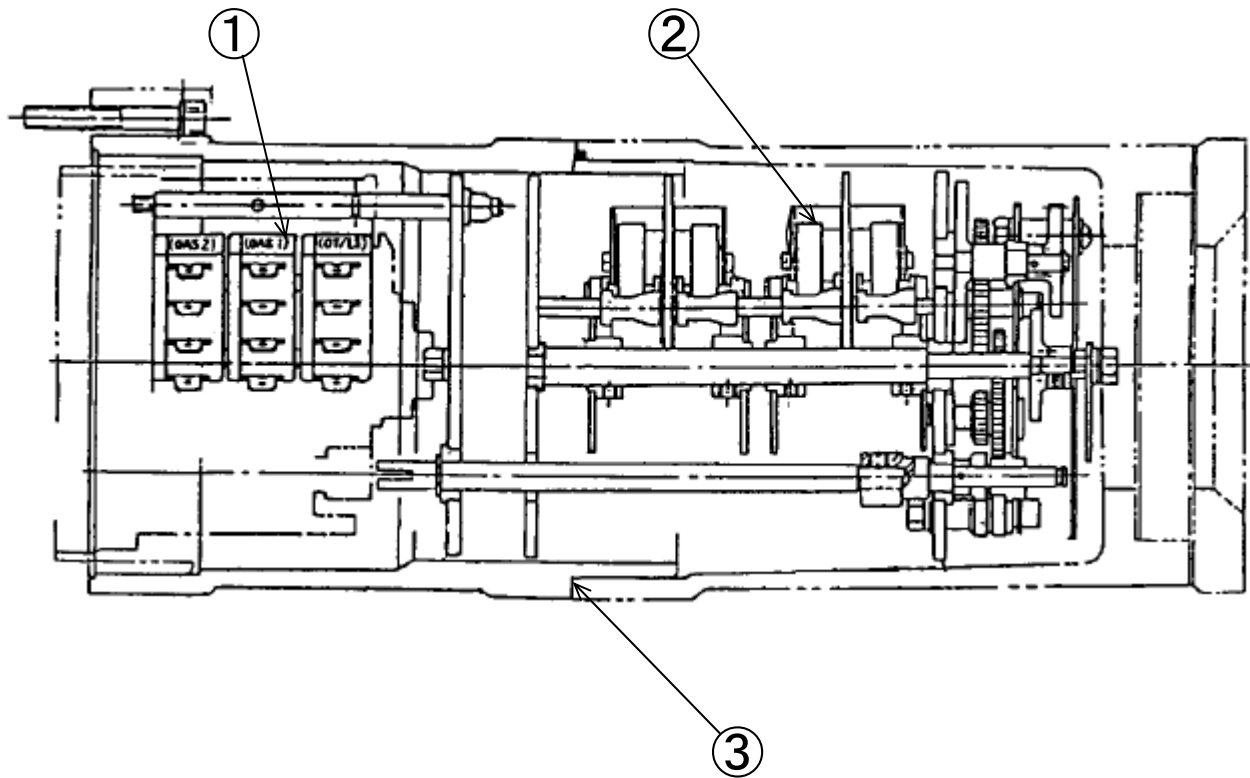


図2.1-2(1/3) 大飯4号炉 海水供給母管連絡弁電動装置構造図



No.	部位
①	フレーム
②	固定子コア
③	固定子コイル
④	回転子コア
⑤	口出線・接続部品
⑥	軸受（ころがり、モータ）
⑦	トルクスプリングパック
⑧	歯車
⑨	軸受（ころがり、駆動装置）
⑩	Oリング

図2.1-2(2/3) 大飯4号炉 海水供給母管連絡弁電動装置（モータ、駆動装置）構造図



No.	部位
①	トルクスイッチ
②	リミットスイッチ
③	Oリング

図2.1-2(3/3) 大飯4号炉 海水供給母管連絡弁電動装置(スイッチ)構造図

表2.1-3 大飯4号炉 海水供給母管連絡弁電動装置主要部位の使用材料

	部位	材料
モータ 組立部品	フレーム	アルミニウム合金鋳物
	固定子コア	珪素鋼板
	固定子コイル	銅、ポリイミド/ポリアミドイミド (H種絶縁)、エポキシ樹脂
	回転子コア	珪素鋼板
	口出線・接続部品	銅、シリコーンゴム (H種絶縁)
	軸受 (ころがり)	消耗品・定期取替品
	Oリング	消耗品・定期取替品
駆動装置 組立部品	駆動装置ハウジング	鋳鉄
	ドライブスリーブ	銅合金、炭素鋼
	歯車	銅合金鋳物
	軸受 (ころがり)	軸受鋼
	トルクスイッチ	消耗品・定期取替品
	トルクスプリングパック	消耗品・定期取替品
	リミットスイッチ	消耗品・定期取替品
	Oリング	消耗品・定期取替品
支持部品	取付ボルト	低合金鋼

表2.1-4 大飯4号炉 海水供給母管連絡弁電動装置の使用条件

定格出力	0.4kW
定格電圧	AC440V
周囲温度	約40℃*1

\*1：通年の最高温度を考慮した雰囲気温度

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

電動装置の機能である弁棒作動機能を維持するためには、次の2つの項目が必要である。

- ① 弁棒作動機能の確保
- ② 機器の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

電動装置個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験を考慮し、代表機器ごとに表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

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

#### (1) 固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下 [共通]

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

#### (1) フレームおよび駆動装置ハウジングの腐食（全面腐食） [共通]

フレームおよび駆動装置ハウジングは鋳鉄またはアルミニウム合金鋳物であり、腐食が想定される。

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

また、分解点検時の目視確認で塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

#### (2) ステムナットおよびドライブスリーブの摩耗 [共通]

ステムナットおよびドライブスリーブは弁棒との嵌合による摺動部があり、弁の開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、ステムナットについては、動作確認および自動診断装置による機能試験により摩耗の進展傾向を確認することで、機器の健全性を維持している。

また、ドライブスリーブについては、潤滑油により摩耗を防止するとともに、動作確認により機器の健全性を維持している。

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

(3) 歯車および駆動装置組立部品の軸受（ころがり）の摩耗 [共通]

歯車および駆動装置組立部品の軸受（ころがり）は、弁の開閉に伴う摺動により摩耗が想定される。

しかしながら、潤滑油により摩耗を防止しており、摩耗が発生しがたい環境にある。

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

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

なお、機器点検時の動作確認により、機器の健全性を確認している。

(4) 取付ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

取付ボルトは低合金鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

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

(5) 固定子コアおよび回転子コアの腐食（全面腐食） [共通]

固定子コアおよび回転子コアは珪素鋼板であり、腐食が想定される。

しかしながら、固定子コアおよび回転子コアはエポキシモールド等により腐食を防止している。

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

#### 2.2.4 消耗品および定期取替品

モータ組立部品の軸受（ころがり）、ガスケットおよびOリングは分解点検時に取替える消耗品、トルクスイッチ、トルクスプリングパックおよびリミットスイッチは定期取替品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。



表2.2-1(1/2) 大飯4号炉 余熱除去ポンプループ高温側入口止め弁電動装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象									備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	信号	材質	その他		
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化	材質劣化			
弁棒作動機能の確保	モータ組立部品	フレーム	铸铁		△									
		固定子コア	珪素鋼板		▲									
		固定子コイル	銅、ポリイミド/ポリアミドイミド、エポキシ樹脂					○						
		回転子コア	珪素鋼板		▲									
		口出線・接続部品	銅、シリコーンゴム					○						
		軸受（ころがり）	◎	－										
		ガスケット	◎	－										
	駆動装置組立部品	駆動装置ハウジング		铸铁		△								
		ステムナット		銅合金鋳物	△									
		歯車		低合金鋼、銅合金鋳物	△									
		トルクスイッチ	◎	－										
		トルクスプリングパック	◎	－										
		リミットスイッチ	◎	－										
		軸受（ころがり）		軸受鋼	△									
ガスケット	◎	－												
機器の支持	取付ボルト		低合金鋼		△									

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-1(2/2) 大飯4号炉 海水供給母管連絡弁電動装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象									備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	信号	材質	その他		
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化	材質劣化			
弁棒作動機能の確保	モータ組立部品	フレーム	アルミニウム合金鋳物		△									
		固定子コア	珪素鋼板		▲									
		固定子コイル	銅、ポリイミド/ポリアミドイミド、エポキシ樹脂					○						
		回転子コア	珪素鋼板		▲									
		口出線・接続部品	銅、シリコーンゴム					○						
		軸受（ころがり）	◎	－										
		○リング	◎	－										
	駆動装置組立部品	駆動装置ハウジング		鋳鉄		△								
		ドライブスリーブ		銅合金、炭素鋼	△									
		歯車		銅合金鋳物	△									
		軸受（ころがり）		軸受鋼	△									
		トルクスイッチ	◎	－										
		トルクスプリングパック	◎	－										
		リミットスイッチ	◎	－										
○リング	◎	－												
機器の支持	取付ボルト		低合金鋼		△									

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

## 2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

### 2.3.1 固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下 [共通]

#### a. 事象の説明

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電気的および環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

事故時雰囲気内で機能要求がある余熱除去ポンプルーブ高温側入口止め弁電動装置については、絶縁物の温度、放射線、機械的および設計基準事故時雰囲気による劣化を考慮した評価を、実機同等品による長期健全性試験において、判定基準を除き、IEEE Std.382-1996「IEEE Standard for Qualification of Actuators for Power-Operated Valve Assemblies With Safety-Related Functions for Nuclear Power Plants」（以下「IEEE Std.382-1996」という。）の規格に準じて実施しており、この結果に基づき長期間の健全性を評価した。

図2.3-1に長期健全性試験手順を、表2.3-1に長期健全性試験条件を示す。試験条件は、電動装置の絶縁物の60年間の運転期間を想定した温度、放射線および機械的劣化条件を包絡している。

試験結果は、表2.3-2に示す通り判定基準を満足しており、60年間の通常運転後においても、絶縁機能を維持できると判断する。

また、事故時雰囲気内で機能要求がない海水供給母管連絡弁電動装置については、密閉構造であり塵埃および湿分が付着しにくい環境にある。また、連続運転ではなく間欠的に作動するもので、弁開閉にともなう作動時間も数十秒程度と短いことから、コイルの発熱による温度上昇は小さいと考える。さらに、固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁は使用温度に比べて、十分余裕のある絶縁種（最高許容温度 B種：130℃）を選択して使用していることから、絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下が生じる可能性は否定できない。

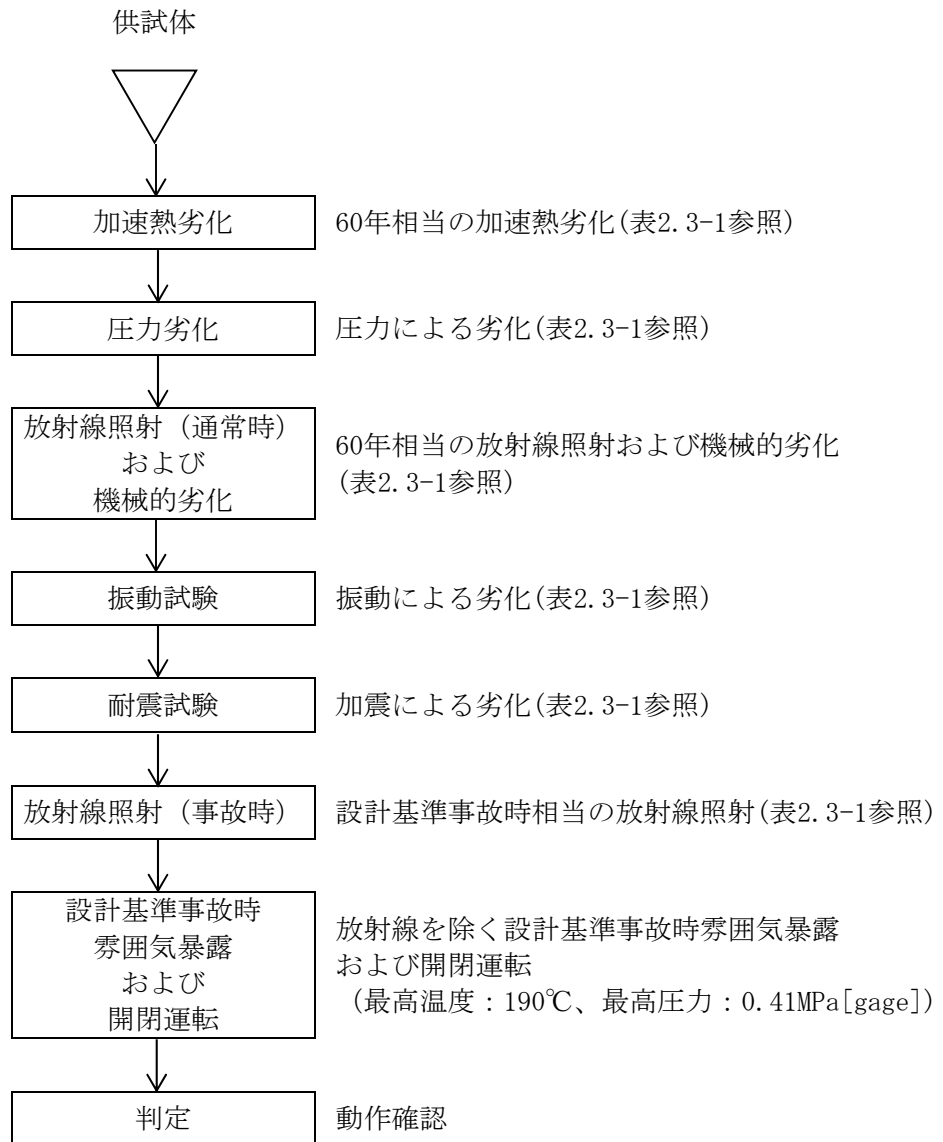


図2. 3-1 余熱除去ポンプループ高温側入口止め弁電動装置の長期健全性試験手順

表2.3-1 余熱除去ポンプループ高温側入口止め弁電動装置の絶縁低下に関する  
長期健全性試験条件\*1

	試験条件	妥当性説明
加速熱劣化	130℃×475時間*3 および 115℃×139時間*4	大飯4号炉の原子炉格納容器内の環境条件に余裕をみた温度(75℃)で、60年間運転を包絡している。
圧力劣化	0.45MPa×3分×23回	大飯4号炉の60年間運転を包絡している。
放射線照射 (通常時) および 機械的劣化	放射線照射量：500kGy (10kGy/h以下)  機械劣化：3,000回開閉操作	大飯4号炉の60年間の通常時線量24kGy*2を包絡している。  大飯4号炉の60年間の動作回数(約1,000回)を包絡している。
振動試験	0.75G-5~100~5Hz×135分	IEEE Std. 382-1996に基づく。
耐震試験	加振波形：正弦波 加速度：水平方向6G 鉛直方向6G	「日本電気協会 原子力発電所耐震設計技術指針追補版 (JEAG 4601-1991)」に基づく。
放射線照射 (事故時)	放射線照射量：1,500kGy (10kGy/h以下)	大飯4号炉の設計基準事故時線量824kGyを包絡している。
設計基準事故時 雰囲気暴露 および 開閉運転	温度：最高温度190℃ 圧力：最高圧力0.41MPa 時間：360時間 開閉往復運動回数：13回	大飯4号炉の設計基準事故時の最高圧力、最高温度を包絡している。  IEEE Std. 382-1996に基づく。

\*1：電磁ブレーキ付き交流モータの電動装置で実施

\*2：原子炉格納容器内の空間線量率0.0442Gy/h×(24h×365.25日×60年)=24kGy

\*3：モータ単体での加速熱劣化試験条件

\*4：モータ等を組み込んだ弁電動装置一式での加速熱劣化試験条件

表2.3-2 余熱除去ポンプループ高温側入口止め弁電動装置の長期健全性試験結果

項目	判定 (メーカー基準)
動作確認	良

② 現状保全

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることの確認を行っている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、事故時雰囲気内で機能要求がある余熱除去ポンプルーブ高温側入口止め弁電動装置の固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

また、事故時雰囲気内で機能要求がない海水供給母管連絡弁電動装置の固定子コイルおよび口出線・接続部品については、絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

余熱除去ポンプルーブ高温側入口止め弁電動装置の固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

また、海水供給母管連絡弁電動装置の固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

### 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について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定しているが、直流モータに特有の経年劣化事象については、代表機器と同様、直流モータが定期取替品であることから、本評価書には含んでいない。

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

##### 3.1.1 モータ(交流モータ)の固定子コイル、口出線・接続部品[交流モータの弁電動装置共通]および電磁ブレーキ[電磁ブレーキ付き交流モータの弁電動装置共通]の絶縁低下

原子炉格納容器内の設計基準事故時雰囲気内で機能要求がある弁電動装置（加圧器逃がし弁前弁電動装置、余熱除去ポンプ入口格納容器隔離弁電動装置、余熱除去冷却器出口連絡弁電動装置、ループ高温側低圧注入ライン止め弁電動装置、高圧注入ポンプ出口連絡弁電動装置、高圧注入ポンプ高温側注入ライン止め弁電動装置、蓄圧タンク出口弁電動装置、1次冷却材ポンプ封水戻りライン格納容器第1隔離弁電動装置、1次冷却材ポンプ冷却水戻りライン格納容器第1隔離弁電動装置、ループ高温側試料採取ライン格納容器第1隔離弁電動装置、格納容器内耐震Bクラス制御用空気母管供給止め弁電動装置、格納容器減圧装置排気ライン格納容器第1隔離弁電動装置、格納容器水素パージ給気ライン格納容器第1隔離弁電動装置、格納容器サンプル取出ライン格納容器第1隔離弁電動装置）の固定子コイルおよび口出線・接続部品については、代表機器と同様な仕様、構造および使用条件であり、健全性評価結果から判断して、絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。また、電磁ブレーキの絶縁物は交流モータの固定子コイルと同じ絶縁物を使用しており、健全性評価結果から判断して、絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

原子炉格納容器外の設計基準事故時雰囲気内で機能要求がある弁電動装置（補助給水隔離弁電動装置、主蒸気逃がし弁元弁電動装置、主蒸気隔離弁上流ドレンライン止め弁電動装置、主給水隔離弁電動装置）の固定子コイルおよび口出線・接続部品については、代表機器同様に、判定基準を除きIEEE Std. 382-1996の規格に準じて実施した、実機相当品による長期健全性試験結果を用いて評価した結果、60年間の運転期間および設計基準事故後においても絶縁機能を維持できると判

断する。

事故時雰囲気内で機能要求がない弁電動装置については、密閉構造であり塵埃および湿分が付着しにくい環境にある。また、連続運転ではなく間欠的に作動するもので、弁開閉にともなう作動時間も数十秒程度と短いことから、コイルの発熱による温度上昇は小さいと考える。さらに、固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁は使用温度に比べて、十分余裕のある絶縁種（最高許容温度 B種：130℃、H種：180℃、E種：120℃）を選択して使用していることから、絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下が生じる可能性は否定できない。

絶縁低下は、絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、固定子コイル、口出線・接続部品および電磁ブレーキの絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。



### 3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

#### 3.2.1 フレームおよび駆動装置ハウジングの腐食（全面腐食） [共通]

フレームおよび駆動装置ハウジングは鋳鉄等であり、腐食が想定される。

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

また、分解点検時の目視確認で塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

#### 3.2.2 ステムナットおよびドライブスリーブの摩耗 [ステムナットまたはドライブスリーブのある弁電動装置共通]

ステムナットおよびドライブスリーブは弁棒との嵌合による摺動部があり、弁の開閉により、摩耗が想定される。

しかしながら、ステムナットについては、動作確認および自動診断装置による機能試験により摩耗の進展傾向を確認することで、機器の健全性を維持している。

また、ドライブスリーブについては、潤滑油により摩耗を防止するとともに、動作確認により機器の健全性を維持している。

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

#### 3.2.3 歯車および駆動装置組立部品の軸受（ころがり）の摩耗 [共通]

歯車および駆動装置組立部品の軸受（ころがり）は、弁の開閉に伴う摺動により摩耗が想定される。

しかしながら、潤滑油により摩耗を防止しており、摩耗が発生しがたい環境にある。

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

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

なお、機器点検時の動作確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.4 取付ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

取付ボルトは低合金鋼または炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

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

### 3.2.5 固定子コアおよび回転子コアの腐食（全面腐食） [共通]

固定子コアおよび回転子コアは珪素鋼板であり、腐食が想定される。

しかしながら、固定子コアおよび回転子コアはエポキシモールド等により腐食を防止している。

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

### 3.2.6 電磁ブレーキのライニングのはく離 [電磁ブレーキ付きモータの弁電動装置共通]

2008年7月、敦賀2号炉のタービン動補助給水ポンプ起動入口弁の直流モータ用電磁ブレーキにおいて、電磁ブレーキのライニングのはく離が発生しているが、この事象は、当該弁が外気の影響を受ける高湿度エリアに設置されていたことに伴い発生した結露水がライニングの接着面に浸透し、接着力を低下させたものである。

大飯4号炉の弁電動装置は高湿度環境にはなく、結露水が発生しやすい環境にないことからはく離の可能性は小さい。

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

また、順次、ノンアスベスト仕様のブレーキライニングに取替を実施している。

## 2.2 空気作動装置

[対象機器]

- ① 1次冷却材系統空気作動弁
- ② 化学体積制御系統空気作動弁
- ③ 余熱除去系統空気作動弁
- ④ 格納容器内部スプレイ系統空気作動弁
- ⑤ 1次系試料採取系統空気作動弁
- ⑥ 主蒸気系統空気作動弁
- ⑦ 補助給水系統空気作動弁
- ⑧ 蒸気発生器ブローダウン系統空気作動弁
- ⑨ 換気空調系統空気作動弁
- ⑩ 液体廃棄物処理系統空気作動弁
- ⑪ 計器用空気系統空気作動弁
- ⑫ 消火水系統空気作動弁

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	3
2.1 構造、材料および使用条件 .....	3
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	10
3. 代表機器以外への展開 .....	17
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 .....	17

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

大飯4号炉で使用されている弁を駆動する空気作動装置の主な仕様を表1-1に示す。

これらの空気作動装置を型式および設置場所の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

空気作動装置は、ダイヤフラム型とシリンダ型に分かれるが、いずれもダイヤフラムまたはシリンダとばねから成る駆動部と付属品の組み合わせにより構成されている。使用されている各構成部位は空気作動装置の仕様に依存せず、構造、材料等が同等であることから、空気作動装置の経年劣化に対する健全性評価はいずれの仕様においても同等として評価する。

したがって、表1-1に示す空気作動装置について、型式および設置場所を分離基準として考えると、合計2個のグループに分類される。

### 1.2 代表機器の選定

#### (1) 型式：ダイヤフラム型、設置場所：屋内

ダイヤフラム型で屋内設置の空気作動装置の中から、弁本体が大口径で大きな駆動力を必要とする主蒸気逃がし弁の空気作動装置を代表機器とする。

#### (2) 型式：シリンダ型、設置場所：屋内

シリンダ型で屋内設置の空気作動装置の中から、弁本体が大口径で大きな駆動力を必要とし、かつ主要構成部位が多い主蒸気隔離弁の空気作動装置を代表機器とする。

表1-1 大飯4号炉 空気作動装置の主な仕様

分離基準		台数	仕様	選定基準			選定	代表弁	選定理由
型式	設置場所			口径(B)	重要度*1	周囲温度			
空気作動弁用 ダイヤフラム型 空気作動装置	屋内	67	連続制御 ON-OFF制御	3/8~6	MS-1、MS-2、 重*2	約26~50℃	◎	主蒸気逃がし弁 (連続制御、6B)	口径
空気作動弁用 シリンダ型 空気作動装置	屋内	24	連続制御 ON-OFF制御	3~48	MS-1、MS-2	約26~50℃	◎	主蒸気隔離弁 (ON-OFF制御、28B)	口径、 主要構成部位

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の2種類の空気作動装置について技術評価を実施する。

- ① 主蒸気逃がし弁空気作動装置
- ② 主蒸気隔離弁空気作動装置

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 主蒸気逃がし弁空気作動装置

##### (1) 構造

大飯4号炉の主蒸気逃がし弁空気作動装置はダイヤフラム型空気作動装置であり、4台設置されている。

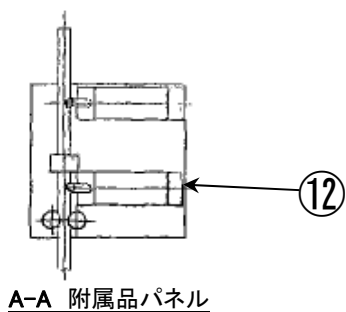
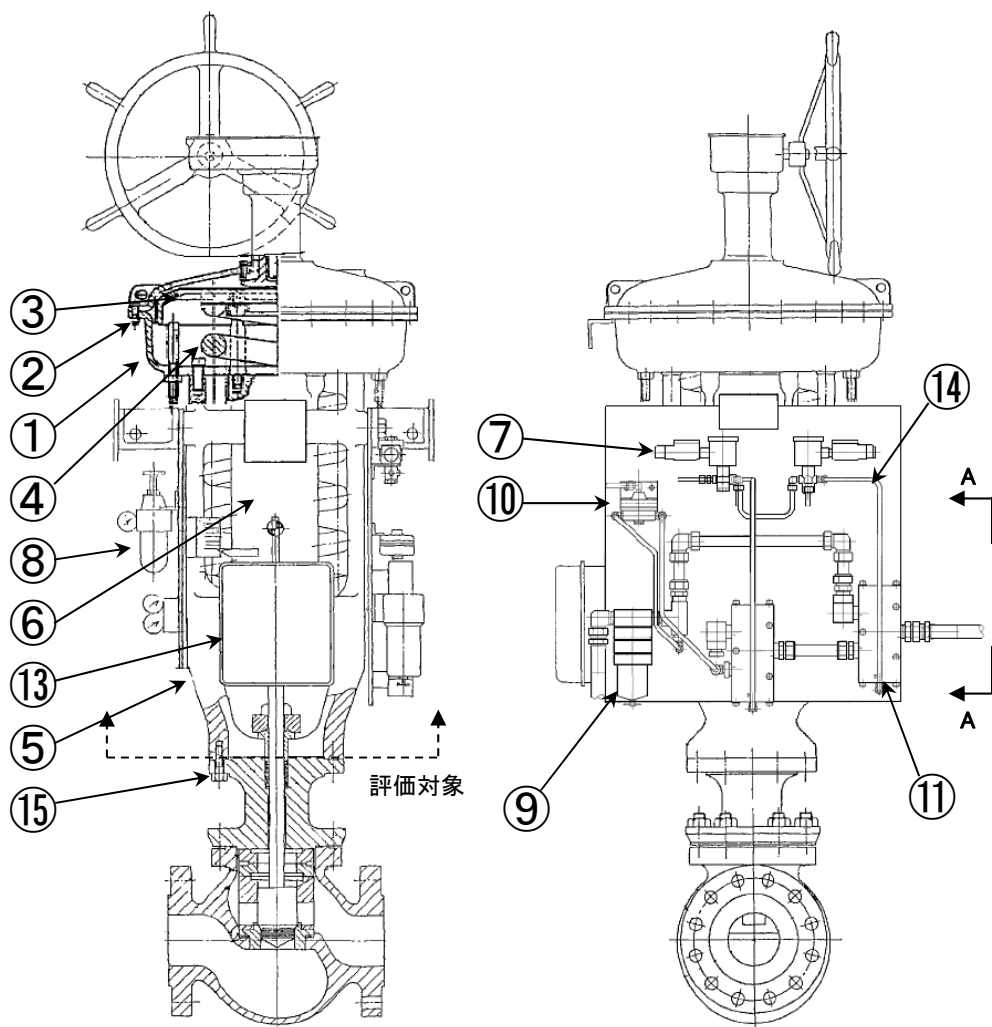
ダイヤフラム型空気作動装置は、ばね復帰型の空気操作ダイヤフラム、フィルター付減圧弁、リミットスイッチ等で構成されており、空気圧によりダイヤフラムを加圧することで、弁を駆動させる構造としている。

駆動用の空気には、乾燥された計器用空気を用いている。

大飯4号炉の主蒸気逃がし弁空気作動装置の構造図を図2.1-1に示す。

##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の主蒸気逃がし弁空気作動装置の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	ケース
②	ケースボルト
③	ダイヤフラム
④	ばね
⑤	フレーム
⑥	ヨーク
⑦	電磁弁
⑧	フィルター付減圧弁
⑨	エアフィルター
⑩	ブースターリレー
⑪	スプール弁
⑫	リミットスイッチ
⑬	ポジショナー
⑭	銅管および継手
⑮	取付ボルト

図2.1-1 大飯4号炉 主蒸気逃がし弁空気作動装置構造図



表2.1-1 大飯4号炉 主蒸気逃がし弁空気作動装置主要部位の使用材料

部位		材料
耐圧組立品	ケース	炭素鋼鋳鋼
	ケースボルト	低合金鋼
	ダイヤフラム	消耗品・定期取替品
駆動力伝達部品	ばね	ばね鋼
	フレイム	炭素鋼鋳鋼
	ヨーク	炭素鋼鋳鋼
付属品	電磁弁	消耗品・定期取替品
	フィルター付減圧弁	消耗品・定期取替品
	エアフィルター	消耗品・定期取替品
	ブースターリレー	消耗品・定期取替品
	スプール弁	消耗品・定期取替品
	リミットスイッチ	消耗品・定期取替品
	ポジショナー	アルミニウム合金、炭素鋼
	銅管および継手	銅合金
支持部品	取付ボルト	低合金鋼

表2.1-2 大飯4号炉 主蒸気逃がし弁空気作動装置の使用条件

空気圧力	約0.7MPa
定格電圧 (電磁弁電源)	DC125V
周囲温度	約50℃*1

\*1：主蒸気管室の設計温度

## 2.1.2 主蒸気隔離弁空気作動装置

### (1) 構造

大飯4号炉の主蒸気隔離弁空気作動装置はシリンダ型空気作動装置であり、4台設置されている。

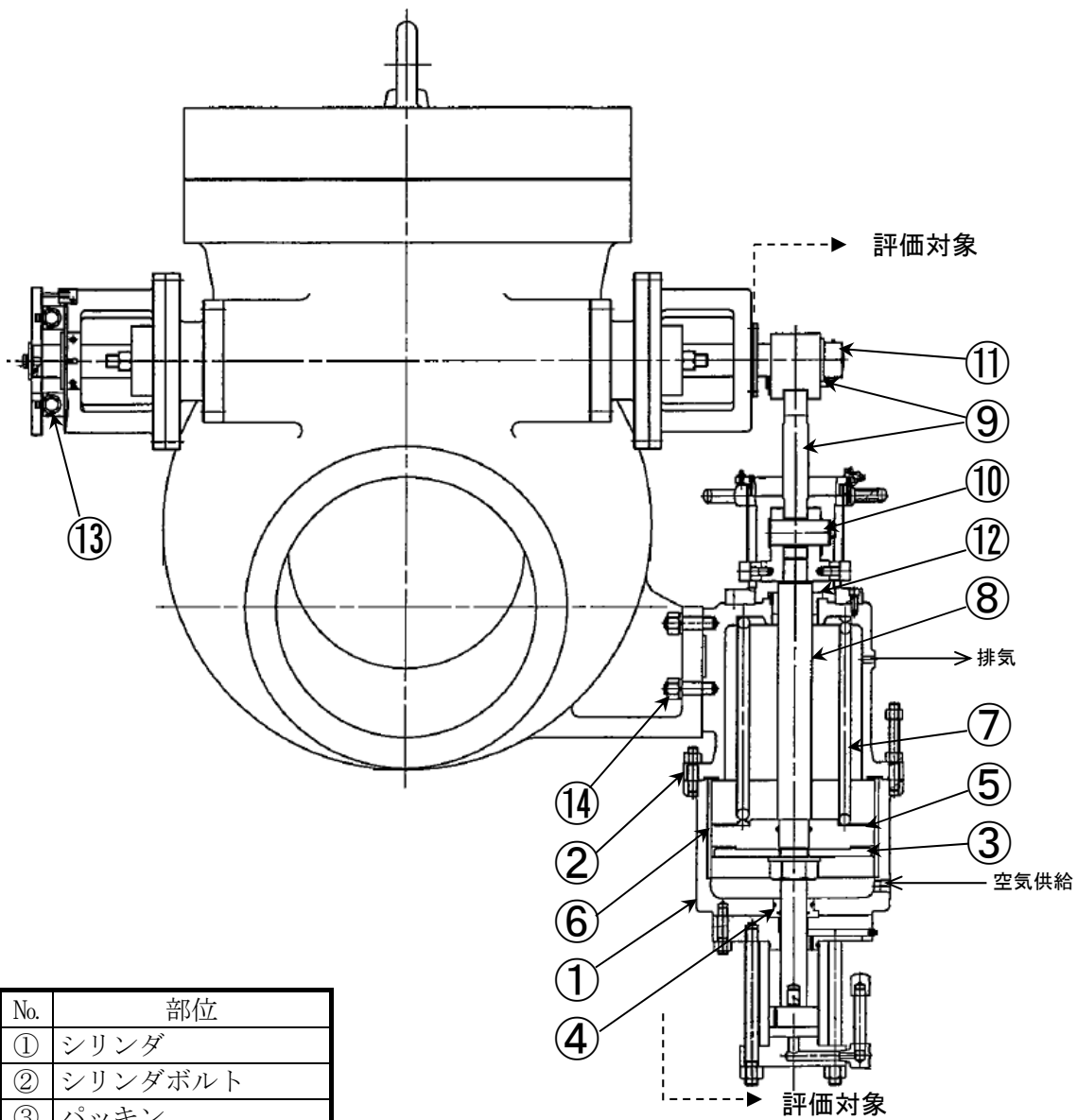
シリンダ型空気作動装置は、ばね復帰型の空気操作シリンダ、電磁弁、リミットスイッチ等で構成されており、空気圧によりシリンダを加圧することで、弁を駆動させる構造としている。

駆動用の空気には、乾燥された計器用空気を用いている。

大飯4号炉の主蒸気隔離弁空気作動装置の構造図を図2.1-2に示す。

### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の主蒸気隔離弁空気作動装置の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



No.	部位
①	シリンダ
②	シリンダボルト
③	パッキン
④	Oリング
⑤	ピストン
⑥	ピストンガイド
⑦	ばね
⑧	ピストンロッド
⑨	レバー
⑩	ピン
⑪	ナット
⑫	ブッシュ
⑬	リミットスイッチ
⑭	取付ボルト

図2.1-2(1/2) 大飯4号炉 主蒸気隔離弁空気作動装置構造図

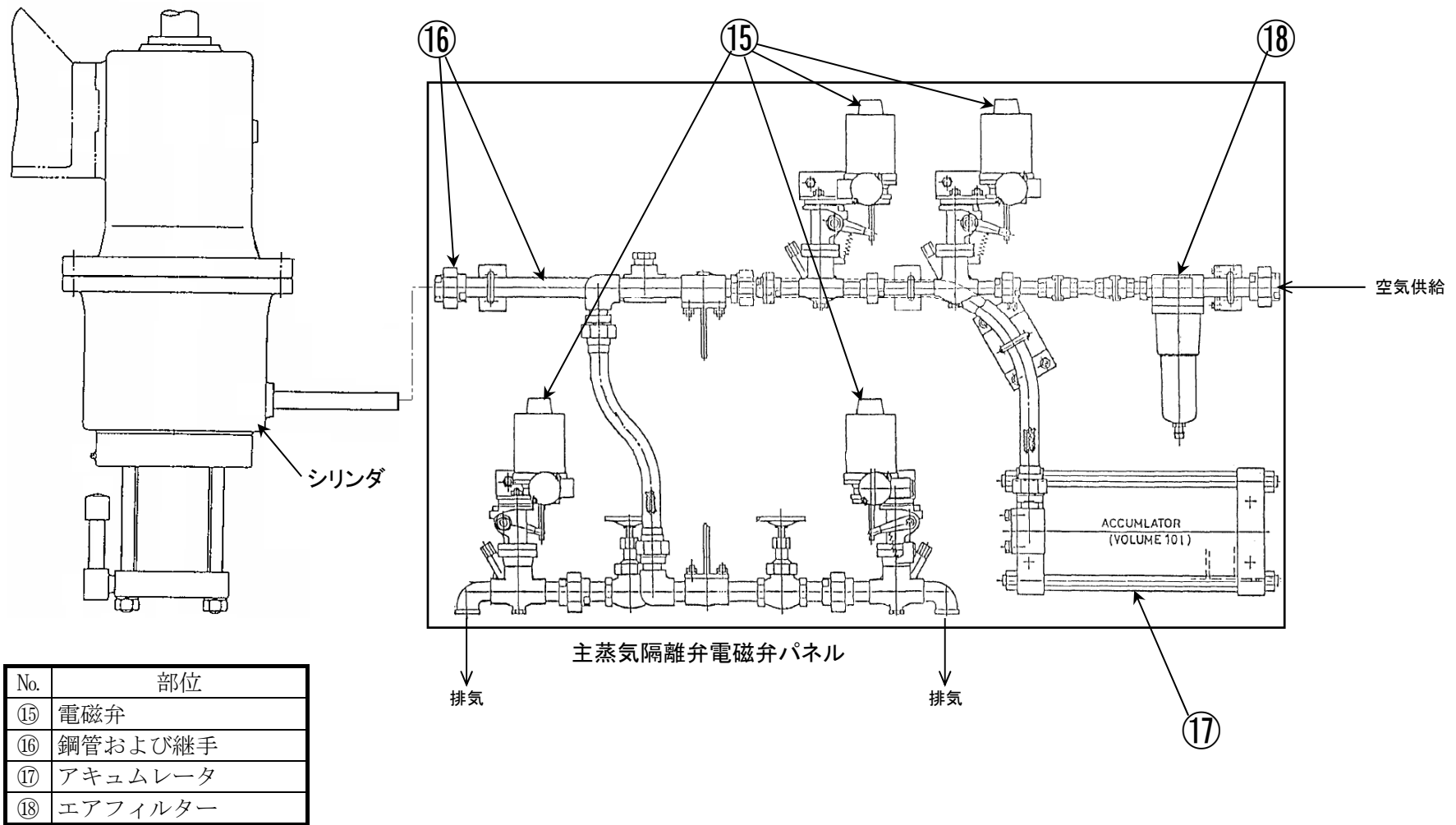


図2. 1-2 (2/2) 大飯4号炉 主蒸気隔離弁空気作動装置構造図

表2.1-3 大飯4号炉 主蒸気隔離弁空気作動装置主要部位の使用材料

部位		材料
耐圧組立品	シリンダ	炭素鋼鋳鋼
	シリンダボルト	低合金鋼、炭素鋼
	パッキン	消耗品・定期取替品
	Oリング	消耗品・定期取替品
駆動力伝達部品	ピストン	炭素鋼
	ピストンガイド	炭素鋼
	ばね	ばね鋼
	ピストンロッド	炭素鋼
	レバー	炭素鋼
	ピン	ステンレス鋼
	ナット	炭素鋼
	ブッシュ	消耗品・定期取替品
付属品	リミットスイッチ	消耗品・定期取替品
	電磁弁	消耗品・定期取替品
	鋼管および継手	炭素鋼
	アキュムレータ	炭素鋼
	エアフィルター	消耗品・定期取替品
支持部品	取付ボルト	低合金鋼、炭素鋼

表2.1-4 大飯4号炉 主蒸気隔離弁空気作動装置の使用条件

空気圧力	約0.7MPa
定格電圧 (電磁弁電源)	DC125V
周囲温度	約50℃*1

\*1：主蒸気管室の設計温度

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

空気作動装置の機能である弁棒作動機能を維持するためには、次の2つの項目が必要である。

- ① 弁棒作動機能の確保
- ② 機器の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

- (1) ケース、フレーム、ヨーク〔主蒸気逃がし弁空気作動装置〕、シリンダ、レバー、鋼管、継手およびアキュムレータ〔主蒸気隔離弁空気作動装置〕の外面からの腐食（全面腐食）

ケース、フレーム、ヨーク、シリンダ、レバー、鋼管、継手およびアキュムレータは炭素鋼または炭素鋼鋳鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

- (2) ケースボルト〔主蒸気逃がし弁空気作動装置〕、シリンダボルト、ナット〔主蒸気隔離弁空気作動装置〕および取付ボルト〔共通〕の腐食（全面腐食）

ケースボルト、シリンダボルト、ナットおよび取付ボルトは低合金鋼または炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時にボルト・ナットの手入れを行い、機器の健全性を維持している。

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

(3) ポジショナーの摩耗 [主蒸気逃がし弁空気作動装置]

ポジショナーは弁の開閉に伴う作動により、パイロットバルブ等の摩耗が想定される。

しかしながら、空気作動弁はON-OFF制御の場合は作動頻度が少なく、連続制御の場合も弁開度はほぼ一定であり、弁の動きはゆるやかで開弁の程度も小さい。

また、ポジショナーは数十万回の作動試験を行い、耐久性を確認している。

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

なお、機器点検時の特性試験により、機器の健全性を確認している。

(4) 銅管および継手の疲労割れ [主蒸気逃がし弁空気作動装置]

銅管および継手は弁開閉時の振動および配管振動により、疲労割れが想定される。

しかしながら、銅管および継手は設計時に振動による影響を考慮している。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。



(5) ピストンとピストンガイド、ピストンロッドとブッシュ、レバーとピンの摩耗  
[主蒸気隔離弁空気作動装置]

ピストンとピストンガイド、ピストンロッドとブッシュ、レバーとピンは開閉作動による摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、ピストンとピストンガイドの間にはクリアランスがあり実際には接触しておらず、ピストンとパッキン押え板により固定されたゴム製のパッキンがピストンガイドに接触するようにしているため、ピストンやピストンガイドに摩耗が発生することはない。

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

同様に、ピストンロッドとブッシュについては硬度差を設けてピストンロッドの摩耗を防止している。

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

さらに、レバーとピンの摺動部には銅合金製のブッシュを設け、硬度差を設けてレバーとピンの摩耗を防止しており、主蒸気隔離弁の動作頻度は年に数回と少ない。

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

なお、ピストン、ピストンガイド、ピストンロッド、レバーおよびピンは、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) ばねの変形（応力緩和） [共通]

ばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

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

- (7) ケース〔主蒸気逃がし弁空気作動装置〕、シリンダ、鋼管および継手、アキュムレータ〔主蒸気隔離弁空気作動装置〕の内面からの腐食（全面腐食）

ケース、シリンダ、鋼管、継手およびアキュムレータは炭素鋼または炭素鋼鋳鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、内面については、内部流体が制御用空気であり、清浄な乾燥空気雰囲気であるため、腐食が発生しがたい。

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

- (8) ヨーク（弁棒接続部）の摩耗〔主蒸気逃がし弁空気作動装置〕

ヨーク（弁棒接続部）は、弁の開閉動作に伴う摩耗が想定される。

しかしながら、弁棒はヨーク（弁棒接続部）にねじ込みキャップスクリューで固定する構造としており、接続部のゆるみ等によって摩耗が発生する可能性はないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

#### 2.2.4 消耗品および定期取替品

パッキンおよびOリングは分解点検時に取替える消耗品である。また、ダイヤモンドフラム、電磁弁、フィルター付減圧弁、エアフィルター、ブースターリレー、スプール弁およびリミットスイッチは定期取替品であるため、長期間使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

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

表2.2-1(1/2) 大飯4号炉 主蒸気逃がし弁空気作動装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	信号	材質		その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化	材質劣化		
弁棒作動機能の確保	ケース		炭素鋼鋳鋼		△*1 ▲*2								*1：外面からの腐食 *2：内面からの腐食 *3：変形(応力緩和) *4：弁棒接続部の摩耗
	ケースボルト		低合金鋼		△								
	ダイヤフラム	◎	—										
	ばね		ばね鋼								△*3		
	フレーム		炭素鋼鋳鋼		△								
	ヨーク		炭素鋼鋳鋼	▲*4	△								
	電磁弁	◎	—										
	フィルター付減圧弁	◎	—										
	エアフィルター	◎	—										
	ブースターリレー	◎	—										
	スプール弁	◎	—										
	リミットスイッチ	◎	—										
	ポジショナー			アルミニウム合金、炭素鋼	△								
	銅管および継手			銅合金			△						
機器の支持	取付ボルト		低合金鋼		△								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-1(2/2) 大飯4号炉 主蒸気隔離弁空気作動装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	信号	材質		その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化	材質劣化		
弁棒作動機能の確保	シリンダ		炭素鋼鋳鋼		△*1 ▲*2								*1：外面からの腐食 *2：内面からの腐食 *3：変形（応力緩和）
	シリンダボルト		低合金鋼、炭素鋼		△								
	パッキン	◎	—										
	Oリング	◎	—										
	ピストン		炭素鋼	△									
	ピストンガイド		炭素鋼	△									
	ばね		ばね鋼								△*3		
	ピストンロッド		炭素鋼	△									
	レバー		炭素鋼	△	△								
	ピン		ステンレス鋼	△									
	ナット		炭素鋼		△								
	ブッシュ	◎	—										
	リミットスイッチ	◎	—										
	電磁弁	◎	—										
	鋼管および継手		炭素鋼		△*1 ▲*2								
	アキュムレータ		炭素鋼		△*1 ▲*2								
エアフィルター	◎	—		△									
機器の支持	取付ボルト		低合金鋼、炭素鋼		△								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

### 3. 代表機器以外への展開

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

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

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

##### 3.1.1 ケース、フレーム、ヨーク、シリンダ、レバー、鋼管および継手、アキュムレータの外面からの腐食（全面腐食） [炭素鋼のケース、フレーム、ヨーク、シリンダ、レバー、鋼管および継手、アキュムレータを使用している空気作動装置共通]

炭素鋼のケース、フレーム、ヨーク、シリンダ、レバー、鋼管および継手、アキュムレータは、腐食が想定される。

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

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

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

##### 3.1.2 ケースボルト、シリンダボルト、ナットおよび取付ボルトの腐食（全面腐食） [炭素鋼または低合金鋼のケースボルト、シリンダボルト、ナットおよび取付ボルトのある空気作動装置共通]

低合金鋼または炭素鋼のケースボルト、シリンダボルト、ナットおよび取付ボルトは、腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時にボルト・ナットの手入れを行い、機器の健全性を維持している。

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

### 3.1.3 ポジショナーの摩耗 [ポジショナーのある空気作動装置共通]

ポジショナーは弁の開閉に伴う作動により、パイロットバルブ等の摩耗が想定される。

しかしながら、空気作動弁はON-OFF制御の場合は作動頻度が少なく、連続制御の場合も弁開度はほぼ一定であり、弁の動きはゆるやかで開弁の程度も小さい。

また、ポジショナーは数十万回の作動試験を行い、耐久性を確認している。

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

なお、機器点検時の特性試験により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.4 銅管および継手の疲労割れ [銅管および継手のある空気作動装置共通]

銅管および継手は弁開閉時の振動および配管振動により、疲労割れが想定される。

しかしながら、銅管および継手は設計時に振動による影響を考慮している。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.5 ピストンとピストンガイドまたはシリンダ、ピストンロッドとブッシュ、レバーとピンの摩耗 [シリンダ型空気作動装置]

ピストンとピストンガイドまたはシリンダ、ピストンロッドとブッシュ、レバーとピンは開閉作動による摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、ピストンとピストンガイドの間にはクリアランスがあり実際には接触しておらず、ピストンとパッキン押え板により固定されたゴム製のパッキンがピストンガイドに接触するようにしているため、ピストンやピストンガイドに摩耗が発生することはない。

ピストンガイドを設置していない機器は、ピストンとシリンダの摺動部に消耗品であるOリングを装着しており、ピストンとシリンダの摺動による摩耗を防止している。

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

同様に、ピストンロッドとブッシュについては、硬度差を設けてピストンロッドの摩耗を防止しており、ブッシュについては分解点検時に目視により状態を確認し、取替を前提として適切に対処している。

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

さらに、レバーとピンの摺動部にはベアリングまたはブッシュを設置して摩耗を防止しており、動作頻度は年に数回と少ない。

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

なお、ピストン、ピストンガイド、シリンダ、ピストンロッド、レバーおよびピンは、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.6 ばねの変形（応力緩和） [共通]

ばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

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

3.1.7 ケース、シリンダ、鋼管および継手、アキュムレータの内面からの腐食（全面腐食） [炭素鋼のケース、シリンダ、鋼管および継手、アキュムレータを使用している空気作動装置共通]

炭素鋼のケース、シリンダ、鋼管および継手、アキュムレータは、腐食が想定される。

しかしながら、内面については、内部流体が制御用空気であり、清浄な乾燥空気雰囲気であるため、腐食が発生しがたい。

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

3.1.8 ヨーク（弁棒接続部）の摩耗 [共通]

ヨーク（弁棒接続部）は、弁の開閉動作に伴う摩耗が想定される。

しかしながら、弁棒はヨーク（弁棒接続部）にねじ込みキャップスクリューで固定する構造、ステムをねじ込んだコネクタにねじ込み固定する構造、あるいは、ステムにねじ込みロックナットで固定する構造としており、接続部のゆるみ等によって摩耗が発生する可能性はないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。



## 3 特殊弁

[対象機器]

3.1 蒸気止め弁

3.2 蒸気加減弁

3.3 インターセプト弁・再熱蒸気止め弁

## 3.1 蒸気止め弁

[対象機器]

- ① 主蒸気止め弁
- ② タービン動主給水ポンプ高圧蒸気止め弁
- ③ タービン動主給水ポンプ低圧蒸気止め弁

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	3
2.1 構造、材料および使用条件 .....	3
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	7
3. 代表機器以外への展開 .....	13
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 .....	13

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

大飯4号炉で使用されている蒸気止め弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらの蒸気止め弁を型式の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す蒸気止め弁について、いずれの蒸気止め弁も同様の構造を有していることから、1つのグループとして分類される。

### 1.2 代表機器の選定

圧力が高く口径が大きい主蒸気止め弁を代表機器とする。

表1-1 大飯4号炉 蒸気止め弁の主な仕様

分離基準	機器名称 (台数)	選定基準				代表機器の選定	
		重要度*1	口径 (B)	使用条件		代表機器	選定理由
				最高使用圧力 (MPa) [gage]	最高使用温度 (°C)		
蒸気止め弁	主蒸気止め弁 (4)	高*2	27.5	約8.2	約298	◎	圧力口径
	タービン動主給水ポンプ 高圧蒸気止め弁 (2)	高*2	約4	約8.2	約298		
	タービン動主給水ポンプ 低圧蒸気止め弁 (2)	高*2	約10	約1.4	約298		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. 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蒸気止め弁について技術評価を実施する。

### ① 主蒸気止め弁

#### 2.1 構造、材料および使用条件

##### (1) 構造

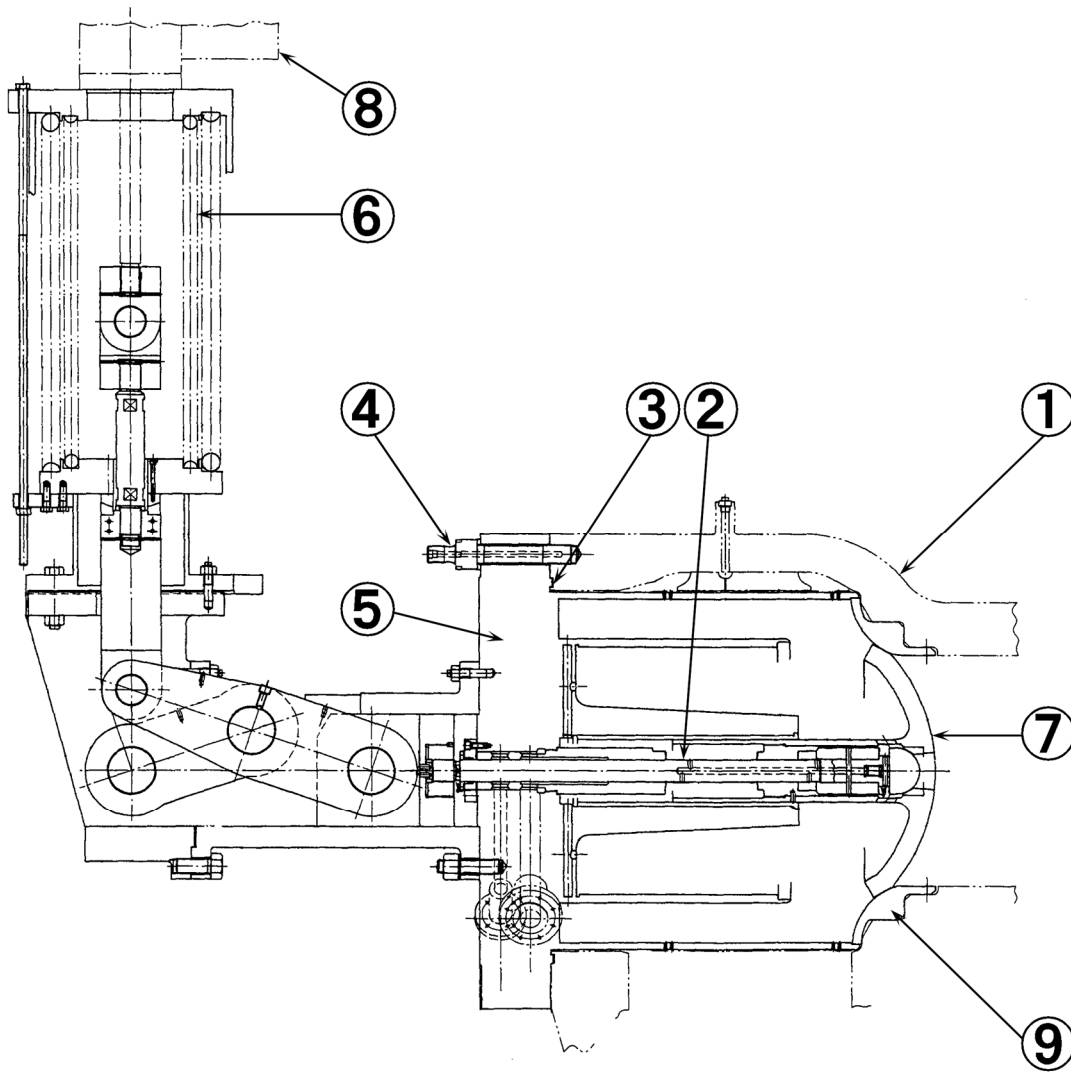
大飯4号炉の主蒸気止め弁は、高圧タービン入口に4台設置されている。

弁箱および弁蓋には炭素鋼、炭素鋼、弁体には耐熱鋼を使用しており、蒸気に接している。

大飯4号炉の主蒸気止め弁の構造図を図2.1-1に示す。

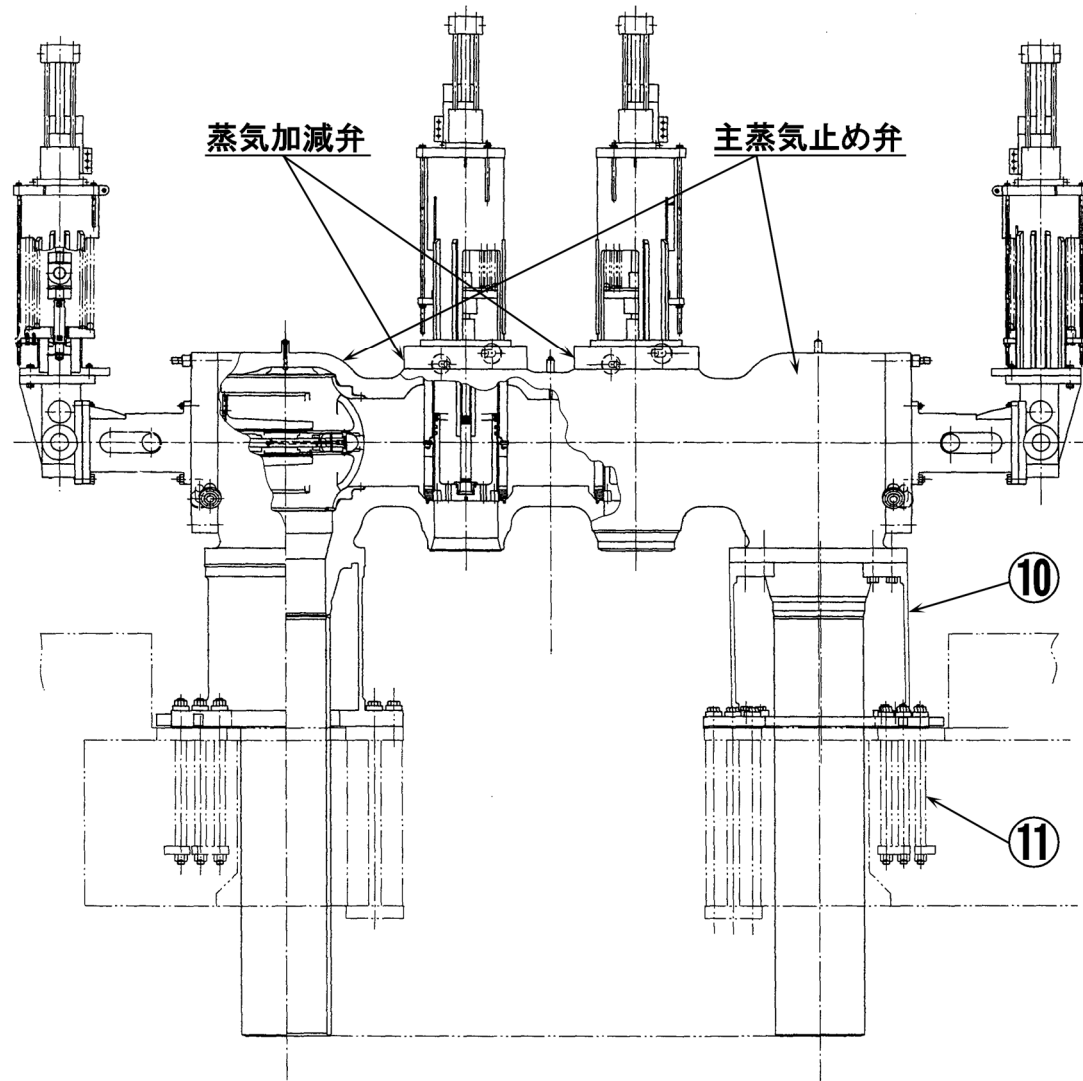
##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の主蒸気止め弁の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁棒
③	ガスケット
④	弁蓋ボルト
⑤	弁蓋
⑥	閉鎖ばね
⑦	弁体
⑧	アクチュエータ
⑨	弁座

図2.1-1(1/2) 大飯4号炉 主蒸気止め弁構造図



No.	部位
⑩	支持脚
⑪	基礎ボルト

図2.1-1(2/2) 大飯4号炉 主蒸気止め弁構造図



表2.1-1 大飯4号炉 主蒸気止め弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
弁棒	耐熱鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁蓋ボルト	低合金鋼
弁蓋	炭素鋼
閉鎖ばね	ばね鋼
弁体	耐熱鋼
アクチュエータ	炭素鋼 耐熱鋼 鋳鉄
弁座	耐熱鋼
支持脚	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-2 大飯4号炉 主蒸気止め弁の使用条件

最高使用圧力	約8.2MPa[gage]
最高使用温度	約298℃
内部流体	蒸気

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

主蒸気止め弁の機能である耐圧、開閉および遮断機能を維持するためには、次の4つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持
- ④ 機器の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食および弁棒のエロージョン）

弁箱および弁蓋は炭素鋼、炭素鋼であり、内部流体が蒸気であるため、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

また、弁棒の高減圧部では、エロージョンにより減肉が想定される。

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

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

#### (2) 支持脚の腐食（全面腐食）

支持脚は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

(3) 弁体および弁座シート面の摩耗

弁体および弁座シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、アクチュエータのダッシュポット部で減速し衝撃力を和らげており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

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

(4) 弁箱、弁蓋およびアクチュエータの外表面からの腐食（全面腐食）

弁箱、弁蓋およびアクチュエータは炭素鋼、炭素鋼、耐熱鋼または鋳鉄であり、外表面からの腐食が想定される。

しかしながら、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

(5) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）

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

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因あるとは考えがたい。したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

(6) 弁体の疲労割れ

弁体の応力集中部においては、急閉時に発生する弁体と弁座との衝突により、材料に疲労が蓄積することから、疲労割れが想定される。

しかしながら、主蒸気止め弁は、アクチュエータで減速し衝撃力を和らげ、発生応力が小さくなる様に設計上の考慮をしている。

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

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

(7) 弁棒の摩耗

弁棒の摺動部は弁の開閉動作による摩耗が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(8) アクチュエータの摩耗

アクチュエータの摺動部は摩耗が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(9) 閉鎖ばねの変形（応力緩和）

閉鎖ばねは弁開位置での荷重が加わった状態で長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(10) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

#### 2.2.4 消耗品および定期取替品

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

表2.2-1 大飯4号炉 主蒸気止め弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ <sup>*1</sup> △					*1：流れ加速型腐食 *2：エロージョン *3：変形(応力緩和)	
	弁蓋		炭素鋼		△ <sup>*1</sup> △						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		耐熱鋼	△		△					
	弁座		耐熱鋼	△							
	弁棒		耐熱鋼	△	△ <sup>*2</sup>						
	閉鎖ばね		ばね鋼						△ <sup>*3</sup>		
	アクチュエータ		炭素鋼 耐熱鋼 鋳鉄	△	△						
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

### 3. 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 タービン動主給水ポンプ高圧蒸気止め弁
- ② タービン動主給水ポンプ低圧蒸気止め弁

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

##### 3.1.1 弁箱および弁蓋の腐食（流れ加速型腐食） [共通]

弁箱および弁蓋は炭素鋼鋳鋼であり、内部流体が蒸気であるため、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

##### 3.1.2 弁箱、弁蓋、駆動装置シリンダおよび駆動装置油管の外面からの腐食（全面腐食） [共通]

弁箱、弁蓋、駆動装置シリンダおよび駆動装置油管は炭素鋼鋳鋼または炭素鋼であり、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

##### 3.1.3 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

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



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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

#### 3.1.4 弁体および弁座の摩耗 [共通]

弁体および弁座は弁の開閉による摩耗が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

#### 3.1.5 弁棒およびブッシュの摩耗 [共通]

弁棒およびブッシュの摺動部は、弁の開閉による摩耗が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

#### 3.1.6 駆動装置閉鎖ばねの変形（応力緩和） [共通]

駆動装置閉鎖ばねは弁開位置での荷重が加わった状態で長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.7 駆動装置シリンダおよびピストンリングの摩耗 [共通]

駆動装置シリンダおよびピストンリングの摺動部は、弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、摺動部は油潤滑されており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.8 駆動装置ピストンロッドおよびブッシュの摩耗 [共通]

駆動装置ピストンロッドおよびブッシュの摺動部は、弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、ブッシュ部は油霧囲気で使用されており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

## 3.2 蒸気加減弁

[対象機器]

- ① 蒸気加減弁
- ② タービン動主給水ポンプ高圧蒸気加減弁
- ③ タービン動主給水ポンプ低圧蒸気加減弁

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	3
2.1 構造、材料および使用条件 .....	3
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	6
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ではない事象 .....	11

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

大飯4号炉で使用されている蒸気加減弁の主な仕様を表1-1に示す。

これらの蒸気加減弁を型式の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す蒸気加減弁について、いずれの蒸気加減弁も同様の構造を有していることから、1つのグループとして分類される。

### 1.2 代表機器の選定

圧力が高く口径が大きい蒸気加減弁を代表機器とする。

表1-1 大飯4号炉 蒸気加減弁の主な仕様

分離基準	機器名称 (台数)	選定基準				代表機器の選定	
型式		重要度*1	口径 (B)	使用条件		代表 機器	選定理由
				最高使用圧力 (MPa) [gage]	最高使用温度 (°C)		
蒸気加減弁	蒸気加減弁 (4)	高*2	20	約8.2	約298	◎	圧力 口径
	タービン動主給水ポンプ 高圧蒸気加減弁 (2)	高*2	4	約8.2	約298		
	タービン動主給水ポンプ 低圧蒸気加減弁 (2)	高*2	10	約1.4	約298		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. 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蒸気加減弁について技術評価を実施する。

### ① 蒸気加減弁

#### 2.1 構造、材料および使用条件

##### (1) 構造

大飯4号炉の蒸気加減弁は、主蒸気止め弁の下流に4台設置されている。

弁箱（弁座と一体）および弁蓋には炭素鋼鋳鋼または炭素鋼、主弁には耐熱鋼、弁体には炭素鋼（ステライト肉盛）、マフラには耐熱鋼を使用しており、蒸気に接している。

大飯4号炉の蒸気加減弁の構造図を図2.1-1に示す。

##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の蒸気加減弁の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

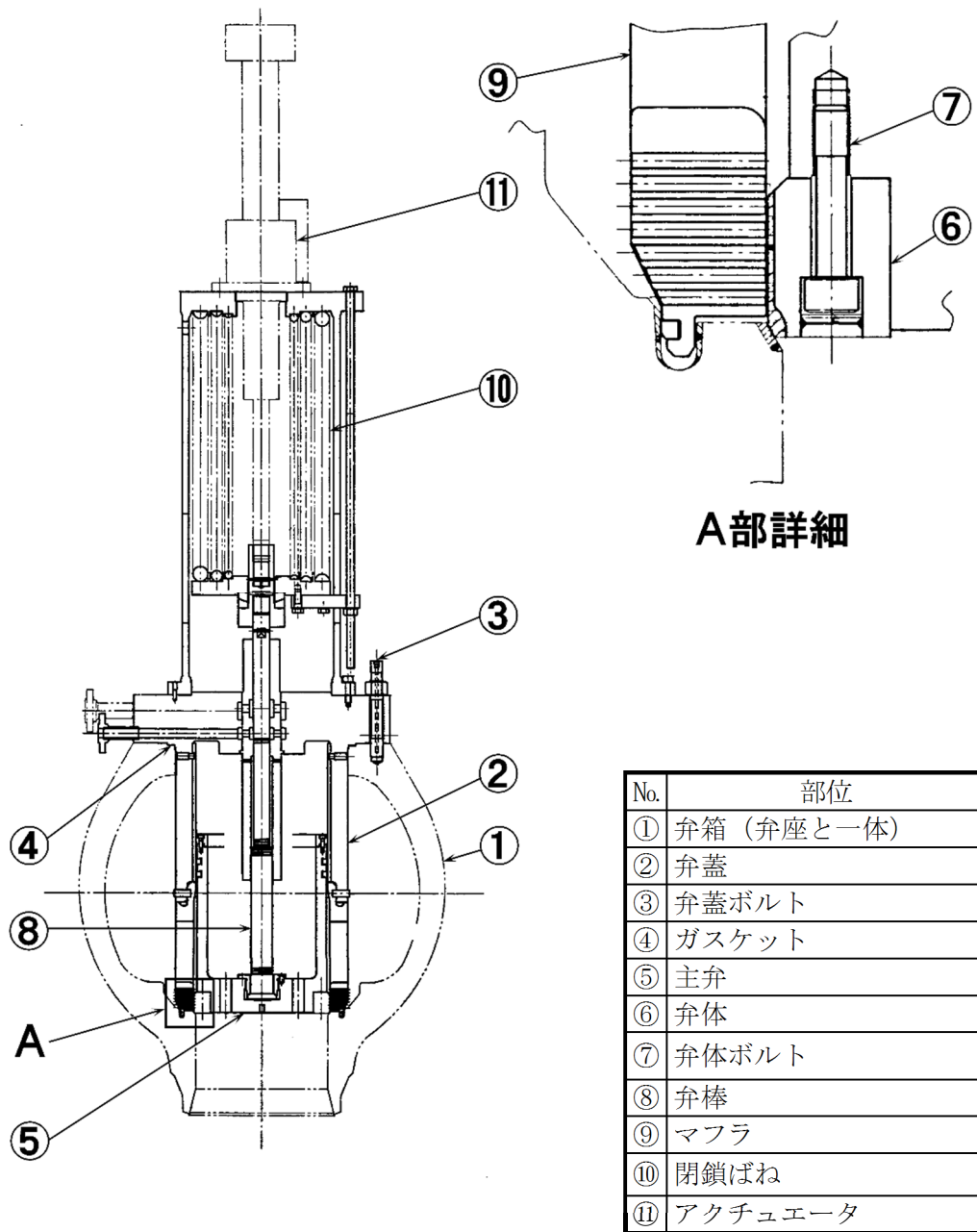


図2.1-1 大飯4号炉 蒸気加減弁構造図



表2.1-1 大飯4号炉 蒸気加減弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱（弁座と一体）	炭素鋼鑄鋼（12%クロム鋼肉盛）
弁蓋	炭素鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
主弁	耐熱鋼
弁体	炭素鋼（ステライト肉盛）
弁体ボルト	耐熱鋼
弁棒	耐熱鋼
マフラ	耐熱鋼
閉鎖ばね	ばね鋼
アクチュエータ	炭素鋼 耐熱鋼 鑄鉄

表2.1-2 大飯4号炉 蒸気加減弁の使用条件

最高使用圧力	約8.2MPa[gage]
最高使用温度	約298℃
内部流体	蒸気

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

蒸気加減弁の機能である耐圧、開閉および流量制御機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) 弁箱等の腐食（流れ加速型腐食および弁棒のエロージョン）

弁箱（弁座と一体）および弁蓋は炭素鋼であり、内部流体が蒸気であるため、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

また、弁棒の高減圧部では、エロージョンにより減肉が想定される。

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

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

#### (2) 弁体の腐食（流れ加速型腐食）

マフラ穴からの噴流による流れ加速型腐食対策として弁体外周はステライト肉盛を施しているが、ステライト肉盛のない弁体下面については、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時に目視確認および浸透探傷検査を実施し、腐食進行程度の把握を行うことにより、機器の健全性を維持している。

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

(3) 弁体および弁箱弁座部の摩耗

弁体および弁箱弁座部は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、弁体および弁箱弁座部にはそれぞれ耐摩耗性に優れたステライトおよび12%クロム鋼を肉盛しており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

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

(4) 弁箱（弁座と一体）、弁蓋およびアクチュエータの外面からの腐食（全面腐食）

弁箱（弁座と一体）、弁蓋およびアクチュエータは、炭素鋼、炭素鋼鋳鋼、耐熱鋼および鋳鉄であり、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認で有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

(5) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 弁体ボルトの応力腐食割れ

弁体ボルトの座面コーナ部およびねじ部の応力集中部は、内部流体によるボルトの応力腐食割れが想定される。

しかしながら、耐熱鋼（ステンレス鋼）は応力腐食割れ感受性が小さい。

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。

(7) 弁棒の摩耗

弁棒の摺動部は弁の開閉動作による摩耗が想定される。

しかしながら、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。したがって今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(8) アクチュエータの摩耗

アクチュエータの摺動部は摩耗が想定される。

しかしながら、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(9) 閉鎖ばねの変形（応力緩和）

閉鎖ばねは弁開位置での荷重が加わった状態で長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品および定期取替品

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

表2.2-1 大飯4号炉 蒸気加減弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣 化		
バウンダリの維持	弁 箱 (弁座と一体)		炭素鋼鋳鋼 (12%クロム鋼肉盛)	△	△ <sup>*1</sup> △					*1：流れ加速型腐食 *2：エロージョン *3：変形(応力緩和)	
	弁 蓋		炭素鋼		△ <sup>*1</sup> △						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	主 弁		耐熱鋼								
	弁 体		炭素鋼 (ステライト肉盛)	△	△ <sup>*1</sup>						
	弁体ボルト		耐熱鋼				△				
	弁 棒		耐熱鋼	△	△ <sup>*2</sup>						
	マフラ		耐熱鋼								
	閉鎖ばね		ばね鋼						△ <sup>*3</sup>		
アクチュエータ		炭素鋼 耐熱鋼 鋳鉄	△	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

### 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 タービン動主給水ポンプ高圧蒸気加減弁
- ② タービン動主給水ポンプ低圧蒸気加減弁

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

##### 3.1.1 弁箱、弁蓋、蒸気室および弁揚板の腐食（流れ加速型腐食） [共通]

弁箱、弁蓋、蒸気室および弁揚板は炭素鋼鋳鋼または炭素鋼であり、内部流体が蒸気であるため、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

##### 3.1.2 弁箱、弁蓋、駆動装置シリンダおよび駆動装置油管の外面からの腐食（全面腐食） [共通]

弁箱、弁蓋、蒸気室、駆動装置シリンダおよび駆動装置油管は炭素鋼鋳鋼、炭素鋼または鋳鉄であり、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

##### 3.1.3 弁蓋ボルトおよび蒸気室ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

弁蓋ボルトおよび蒸気室ボルトは低合金鋼であり、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

#### 3.1.4 弁体および弁座の摩耗 [共通]

弁体および弁座は弁の開閉による摩耗が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

#### 3.1.5 弁棒およびブッシュの摩耗 [共通]

弁棒およびブッシュの摺動部は、弁の開閉による摩耗が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

#### 3.1.6 駆動装置閉鎖ばねの変形（応力緩和） [タービン動主給水ポンプ高圧蒸気加減弁]

駆動装置閉鎖ばねは弁開位置での荷重が加わった状態で長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。



### 3.1.7 駆動装置シリンダおよびピストンリングの摩耗 [共通]

駆動装置シリンダおよびピストンリングの摺動部は、弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、摺動部は油潤滑されており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.8 駆動装置ピストンロッドおよびブッシュの摩耗 [共通]

駆動装置ピストンロッドおよびブッシュの摺動部は、弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、ブッシュ部は油霧囲気で使用されており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.3 インターセプト弁・再熱蒸気止め弁

[対象機器]

- ① インターセプト弁
- ② 再熱蒸気止め弁

## 目次

1. 技術評価対象機器	1
2. インターセプト弁の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	5

## 1. 技術評価対象機器

大飯4号炉で使用されているインターセプト弁および再熱蒸気止め弁の主な仕様を表1-1に示す。

インターセプト弁と再熱蒸気止め弁は同一条件、型式であることから、インターセプト弁を対象機器として技術評価を実施する。

表1-1 大飯4号炉 インターセプト弁および再熱蒸気止め弁の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*2	使用条件	
		最高使用圧力 (MPa) [gage]	最高使用温度 (°C)
インターセプト弁 (6)	高*1	約1.4	約298
再熱蒸気止め弁 (6)	高*1	約1.4	約298

\*1：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

\*2：機能は最上位の機能を示す。

## 2. インターセプト弁の技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### (1) 構造

大飯4号炉のインターセプト弁は、低圧タービン入口に6台設置されている。弁箱には炭素鋼鋳鋼、弁体には低合金鋼を使用しており、蒸気に接している。大飯4号炉のインターセプト弁の構造図を図2.1-1に示す。

#### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉のインターセプト弁の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

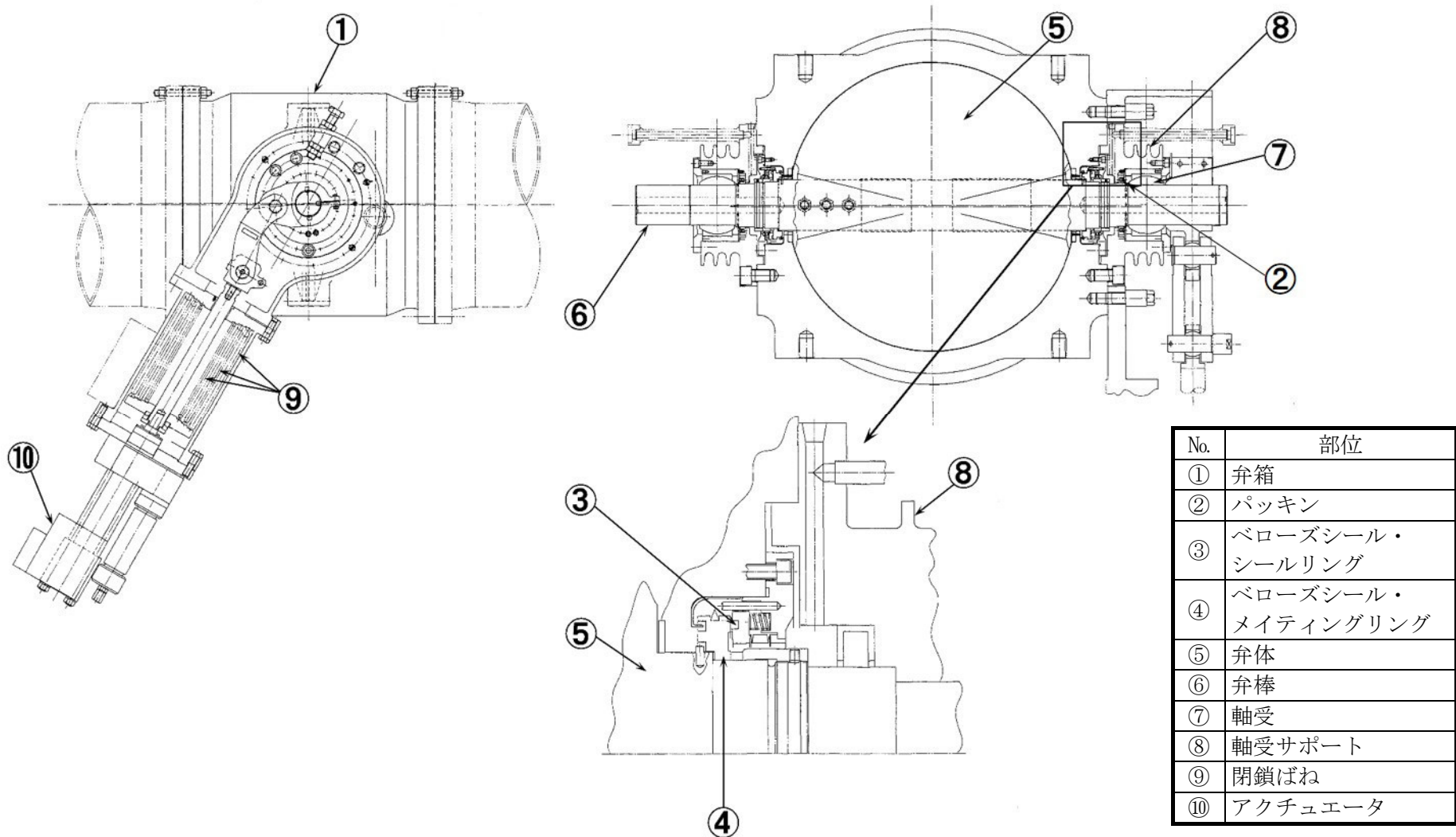


図2.1-1 大飯4号炉 インターセプト弁構造図

表2.1-1 大飯4号炉 インターセプト弁主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	炭素鋼鋳鋼
パッキン	消耗品・定期取替品
ベローズシール・ シールリング	消耗品・定期取替品
ベローズシール・ メイトリング	消耗品・定期取替品
弁体	低合金鋼
弁棒	低合金鋼
軸受	消耗品・定期取替品
軸受サポート	炭素鋼鋳鋼
閉鎖ばね	ばね鋼
アクチュエータ	炭素鋼 耐熱鋼 鋳鉄

表2.1-2 大飯4号炉 インターセプト弁の使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa[gage]
最高使用温度	約298℃
内部流体	蒸気

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

インターセプト弁の機能である耐圧、開閉および流量制御機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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



### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) 弁箱の腐食（流れ加速型腐食）

弁箱は炭素鋼鋳鋼であり、内部流体が蒸気であるため、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、蒸気は乾き蒸気であり、これまでに有意な減肉は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

#### (2) 弁箱等の外面からの腐食（全面腐食）

弁箱、軸受サポートおよびアクチュエータは炭素鋼鋳鋼、炭素鋼または耐熱鋼および鋳鉄であり、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

#### (3) 弁棒（軸保持部）の摩耗

弁棒は開閉に伴う軸保持部との摺動により、摩耗が想定される。

しかしながら、軸保持部は潤滑性の良いブッシュを使用しており、分解点検

時の目視確認や寸法計測で有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

#### (4) 弁棒の腐食（全面腐食）

弁棒は低合金鋼であり、弁棒貫通部からの漏えいにより、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、ベローズシールにより内部流体はシールされており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

#### (5) アクチュエータの摩耗

アクチュエータの摺動部は摩耗が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

#### (6) 閉鎖ばねの変形（応力緩和）

閉鎖ばねは弁開位置での荷重が加わった状態で長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

#### 2.2.4 消耗品および定期取替品

パッキンは分解点検時に取替える消耗品であり、ベローズシール・シールリング、ベローズシール・メイティングリングおよび軸受は分解点検時の寸法計測や目視確認等の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 大飯4号炉 インターセプト弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ <sup>*1,*2</sup>					*1：流れ加速型腐食 *2：全面腐食(外面) *3：変形(応力緩和)	
	パッキン	◎	—								
	ベローズシール・シールリング	◎	—								
	ベローズシール・メイティングリング	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体		低合金鋼								
	弁棒		低合金鋼	△	△						
	軸受	◎	—								
	軸受サポート		炭素鋼鋳鋼		△ <sup>*2</sup>						
	閉鎖ばね		ばね鋼						△ <sup>*3</sup>		
	アクチュエータ		炭素鋼 耐熱鋼 鋳鉄	△	△ <sup>*2</sup>						

△：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）

# 大飯発電所 4 号炉

## 炉内構造物の技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

関西電力株式会社

本評価書は大飯発電所4号炉（以下、大飯4号炉という。）で使用されている主要な炉内構造物の高経年化に係わる技術評価についてまとめたものである。本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考え。表1に評価対象部位を示す。

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

また、制御棒は「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

表1 大飯4号炉 炉内構造物の評価対象部位一覧

部位名称（個数）	重要度*1
上部炉心板（1）	PS-1、重*2
上部燃料集合体案内ピン（386）	PS-1
上部炉心支持柱（50）	PS-1、重*2
上部炉心支持板（1）	PS-1、重*2
制御棒クラスタ案内管（53）	MS-1
支持ピン（114）	MS-1
下部炉心板（1）	PS-1、重*2
下部燃料集合体案内ピン（386）	PS-1
下部炉心支持柱（96）	PS-1、重*2
下部炉心支持板（1）	PS-1、重*2
炉心そう（1）	PS-1、重*2
炉心バップル（1組）	PS-1
炉心バップル取付板（9組）	PS-1
バップルフォーマボルト（936）	PS-1
バレルフォーマボルト（720）	PS-1
熱遮蔽材（4組）	PS-1
熱遮蔽材取付ボルト（128）	PS-1
押えリング（1）	PS-1
炉内計装用シンプルチューブ（58）	PS-2
ラジアルキー（6）	—*3

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

\*3：安全重要度分類上、性能に関する規定は特にはないが、炉内構造物一式として他部位と合わせて評価する。

# 炉内構造物

## 目次

1. 技術評価対象機器 .....	1
2. 炉内構造物の技術評価 .....	2
2.1 構造、材料および使用条件 .....	2
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	14
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価 .....	26



1. 技術評価対象機器

大飯4号炉で使用されている炉内構造物の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 大飯4号炉 炉内構造物の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件	
		最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)
炉内構造物 (1)	PS-1、重*2	約17.2	約343

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. 炉内構造物の技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### (1) 構造

大飯4号炉の炉内構造物は、炉心の支持、1次冷却材の流路形成・配分等の機能を有し、上部炉内構造物と下部炉内構造物とに分かれており、それぞれ一体として原子炉容器から取り外すことができる構造となっている。

炉内構造物は大部分がステンレス鋼であり、一部ニッケル基合金を用いている。

上部炉内構造物と下部炉内構造物は燃料集合体を上下からはさむ形で支持しており、それら自身は原子炉容器フランジ部で、押えリングをはさむ形で支持されている。

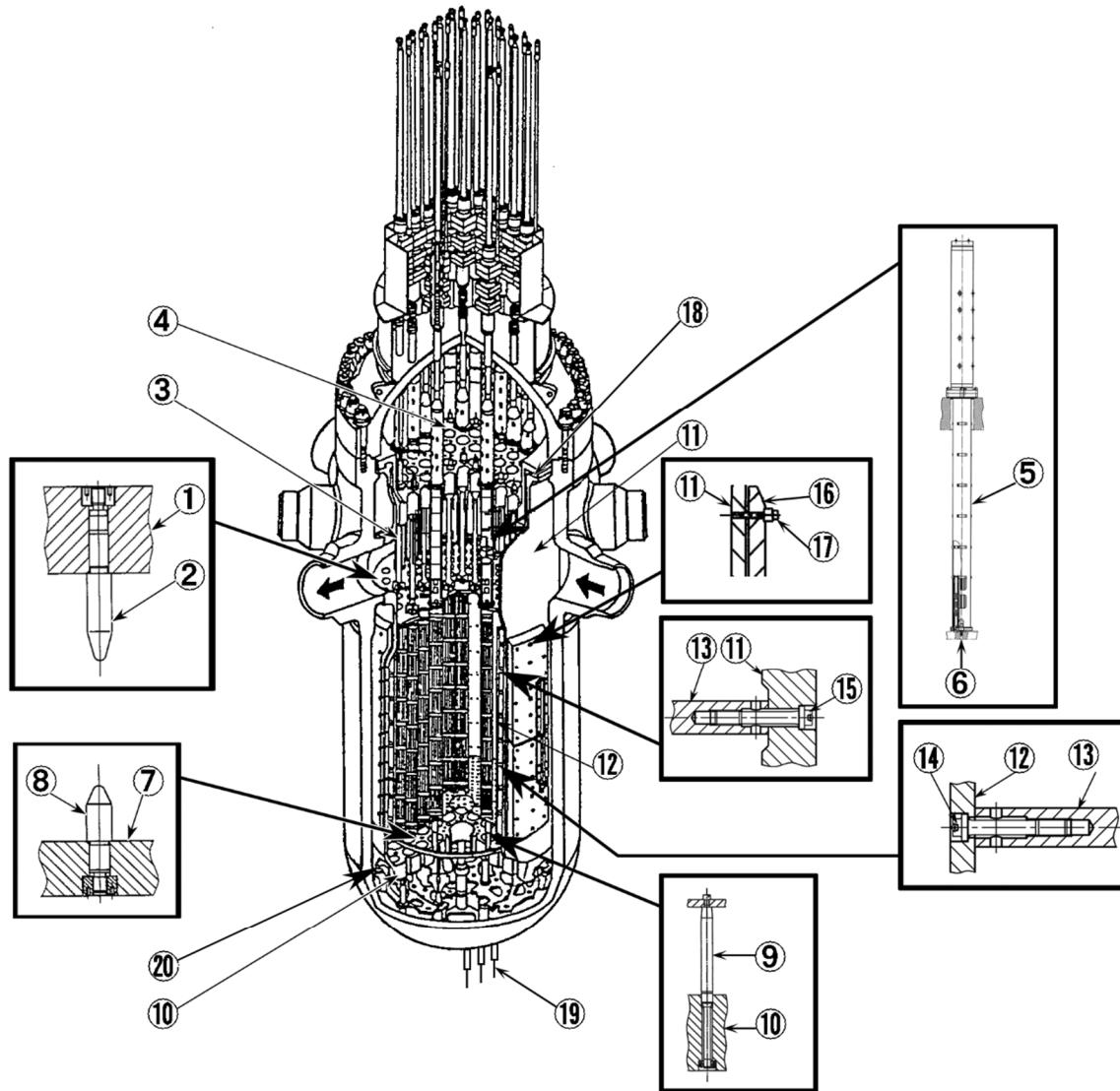
上部炉内構造物は、上部炉心支持板、上部炉心支持柱および上部炉心板の組立体である上部炉心支持構造物に、制御棒クラスタ案内管等の構造物が取り付けられたものである。制御棒クラスタ案内管は上部炉心支持板にボルト固定され、支持ピンが上部炉心板にはまり込む構造となっている。

下部炉内構造物は、炉心そう、下部炉心支持板、下部炉心支持柱および下部炉心板の組立体である下部炉心支持構造物に、炉心バップル、熱遮蔽材等が取り付けられたものである。

大飯4号炉の炉内構造物の構造を図2.1-1～図2.1-9に示す。

#### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の炉内構造物の使用材料および使用条件を表2.1-1、表2.1-2に示す。



No.	部位
	(上部炉内構造物)
①	上部炉心板
②	上部燃料集合体案内ピン
③	上部炉心支持柱
④	上部炉心支持板
⑤	制御棒クラスタ案内管
⑥	支持ピン
	(下部炉内構造物)
⑦	下部炉心板
⑧	下部燃料集合体案内ピン
⑨	下部炉心支持柱
⑩	下部炉心支持板
⑪	炉心そう
⑫	炉心バップル
⑬	炉心バップル取付板
⑭	バップルフォーマボルト
⑮	バレルフォーマボルト
⑯	熱遮蔽材
⑰	熱遮蔽材取付ボルト
	(その他)
⑱	押えリング
⑲	炉内計装用シンプルチューブ
⑳	ラジアルキー

図2.1-1 大飯4号炉 炉内構造物全体図

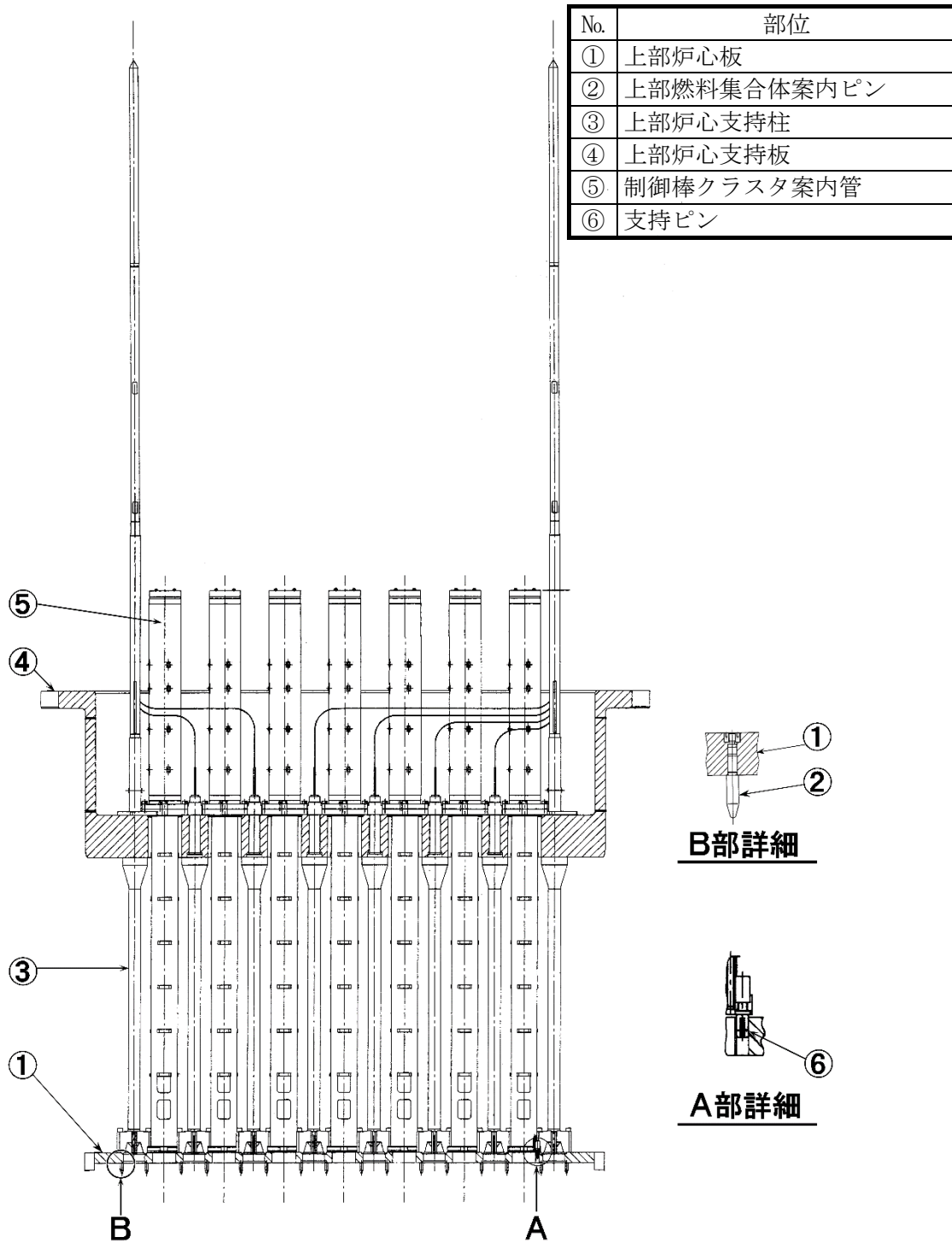


図2.1-2 大飯4号炉 炉内構造物・上部炉内構造物構造図

No.	部位
①	上部炉心板
③	上部炉心支持柱

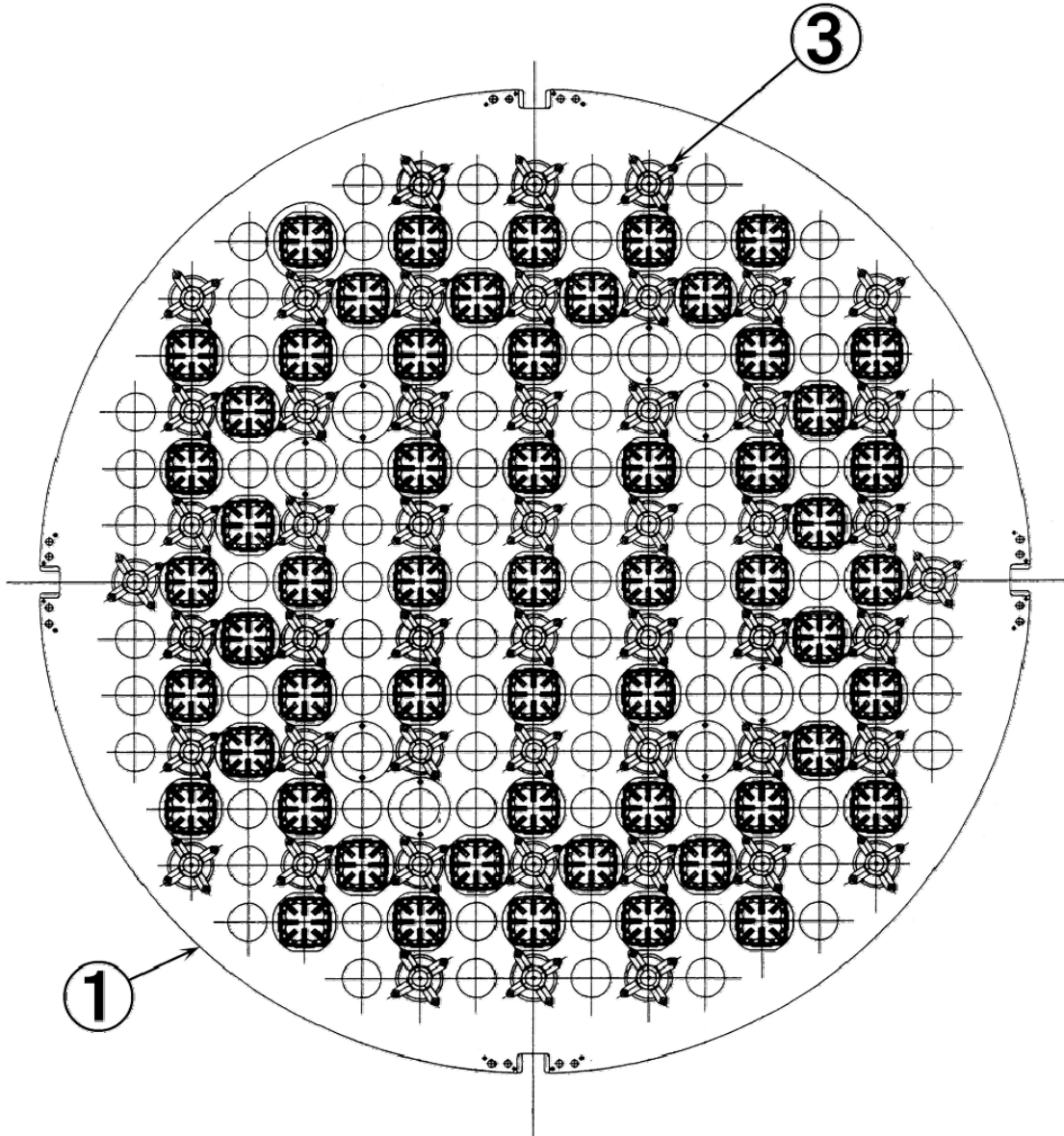


图2.1-3 大飯4号炉 上部炉心板構造図

No.	部位
③	上部炉心支持柱
④	上部炉心支持板
⑤	制御棒クラスタ案内管

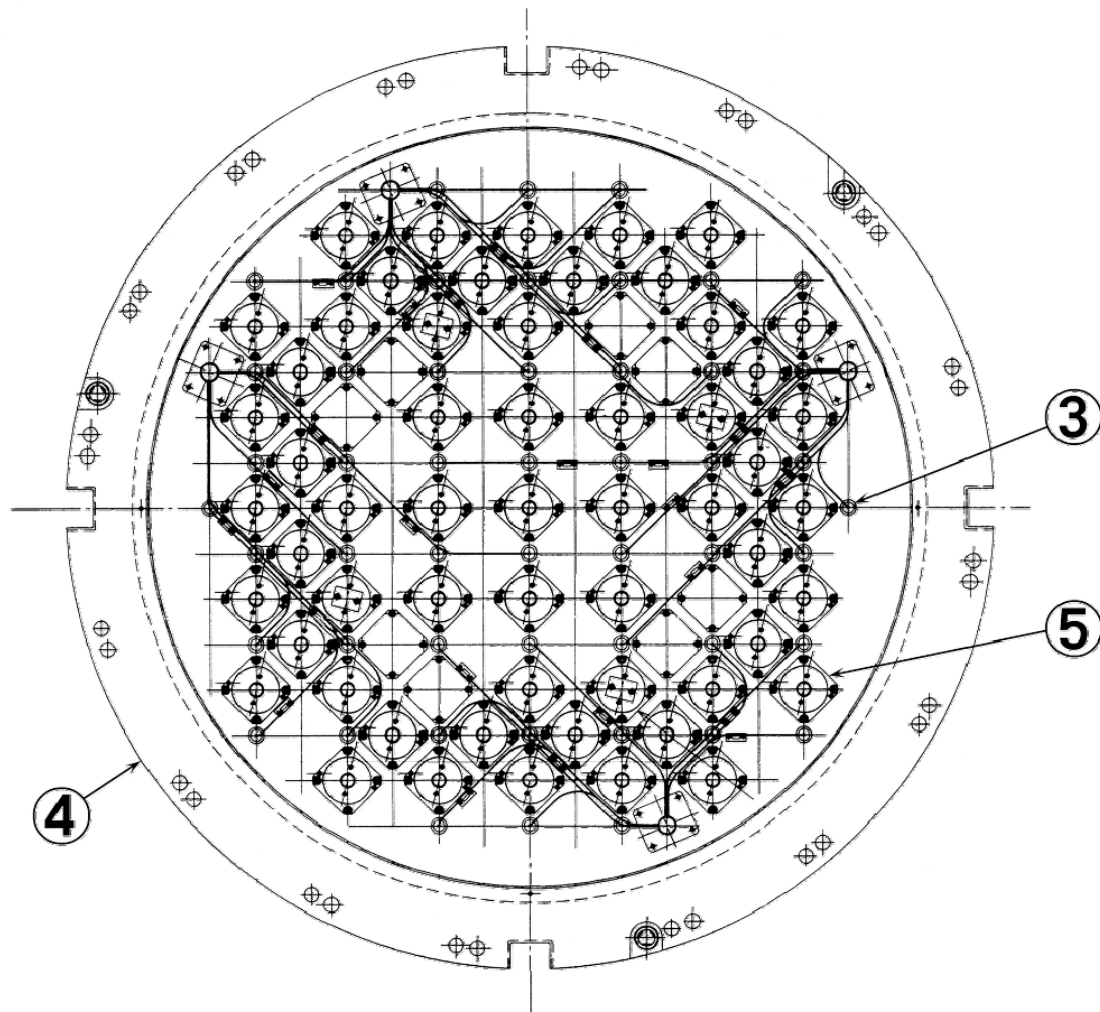


図2.1-4 大飯4号炉 上部炉心支持板組立図

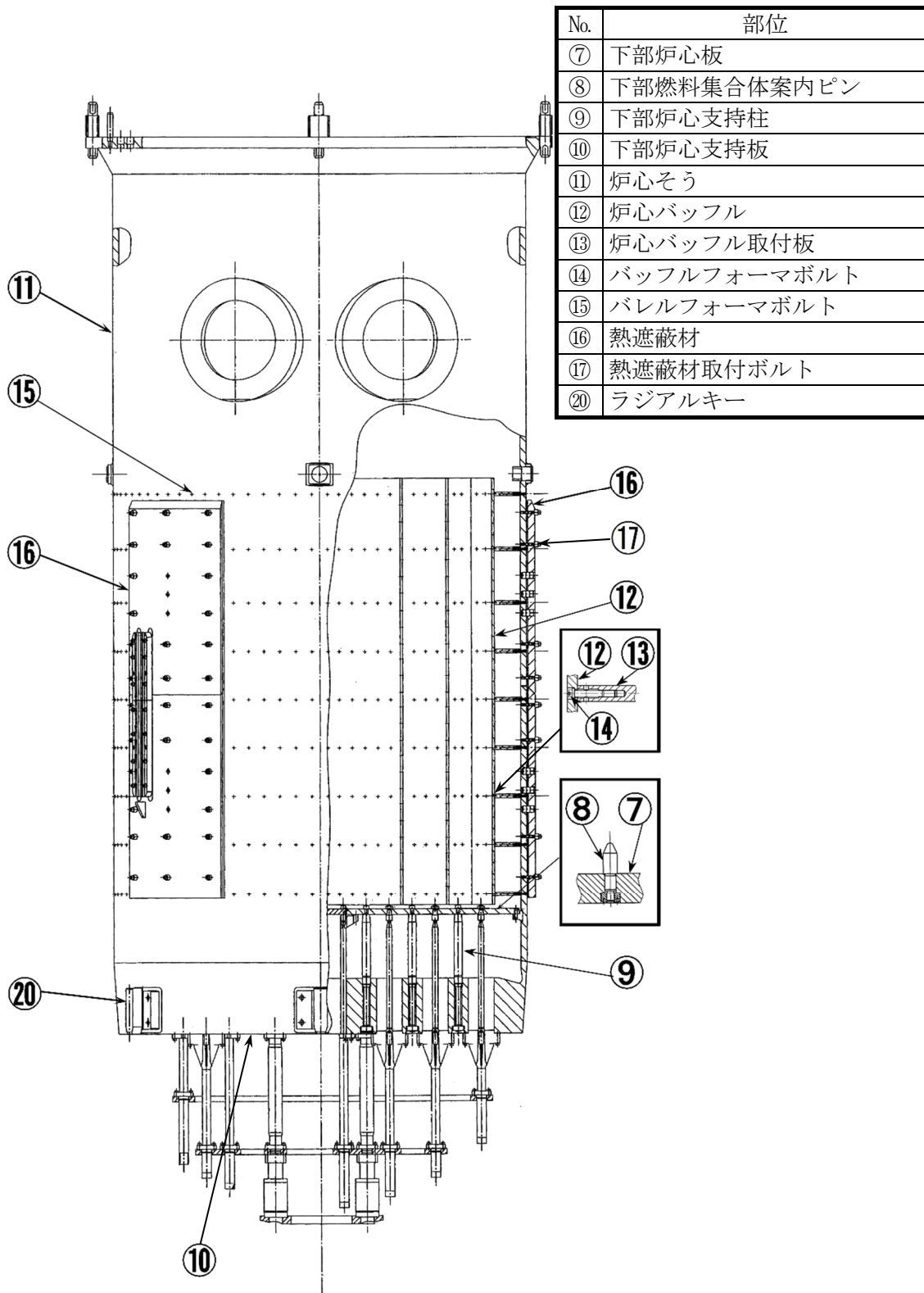


図2.1-5 大飯4号炉 炉内構造物・下部炉内構造物構造図

No.	部位
⑦	下部炉心板
⑧	下部燃料集合体案内ピン

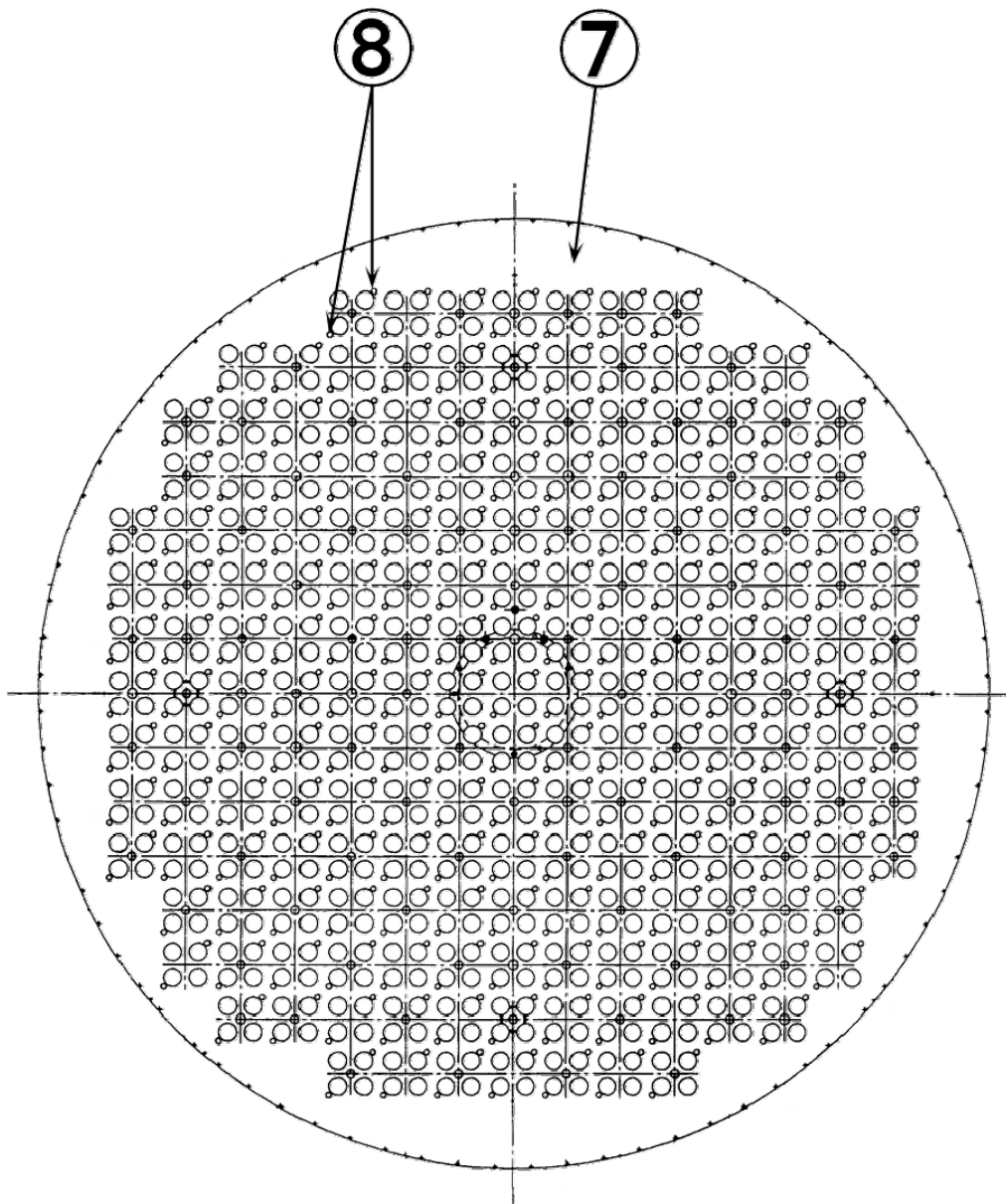
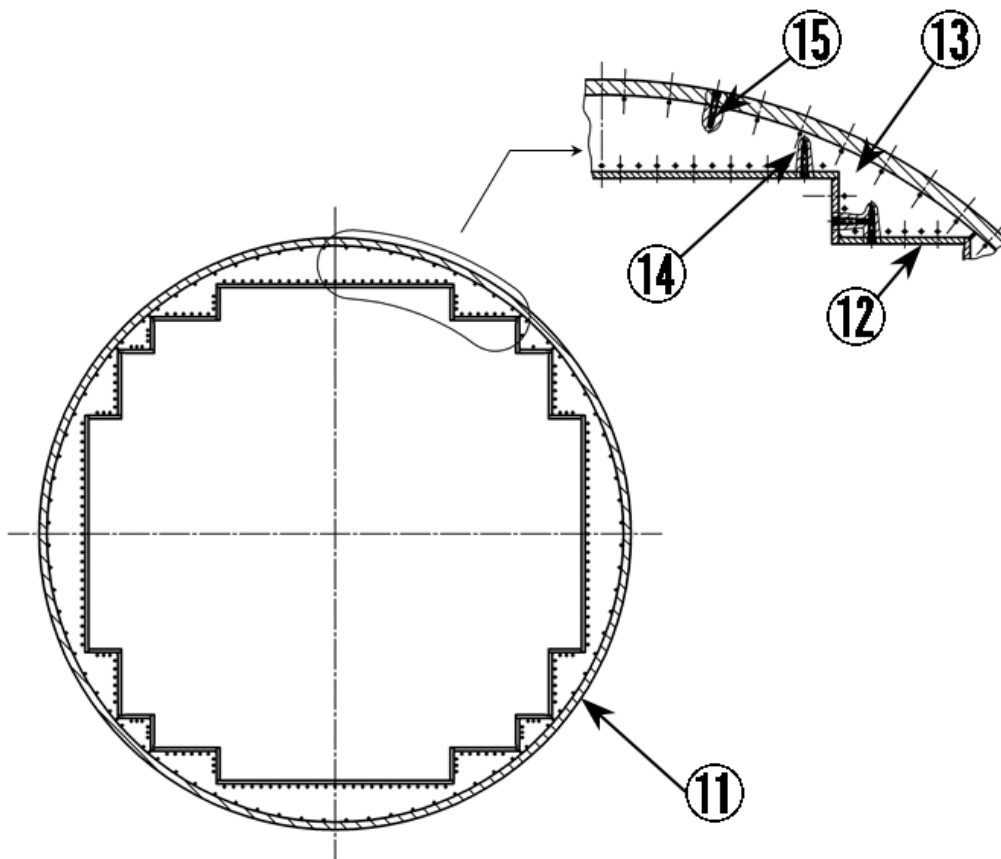


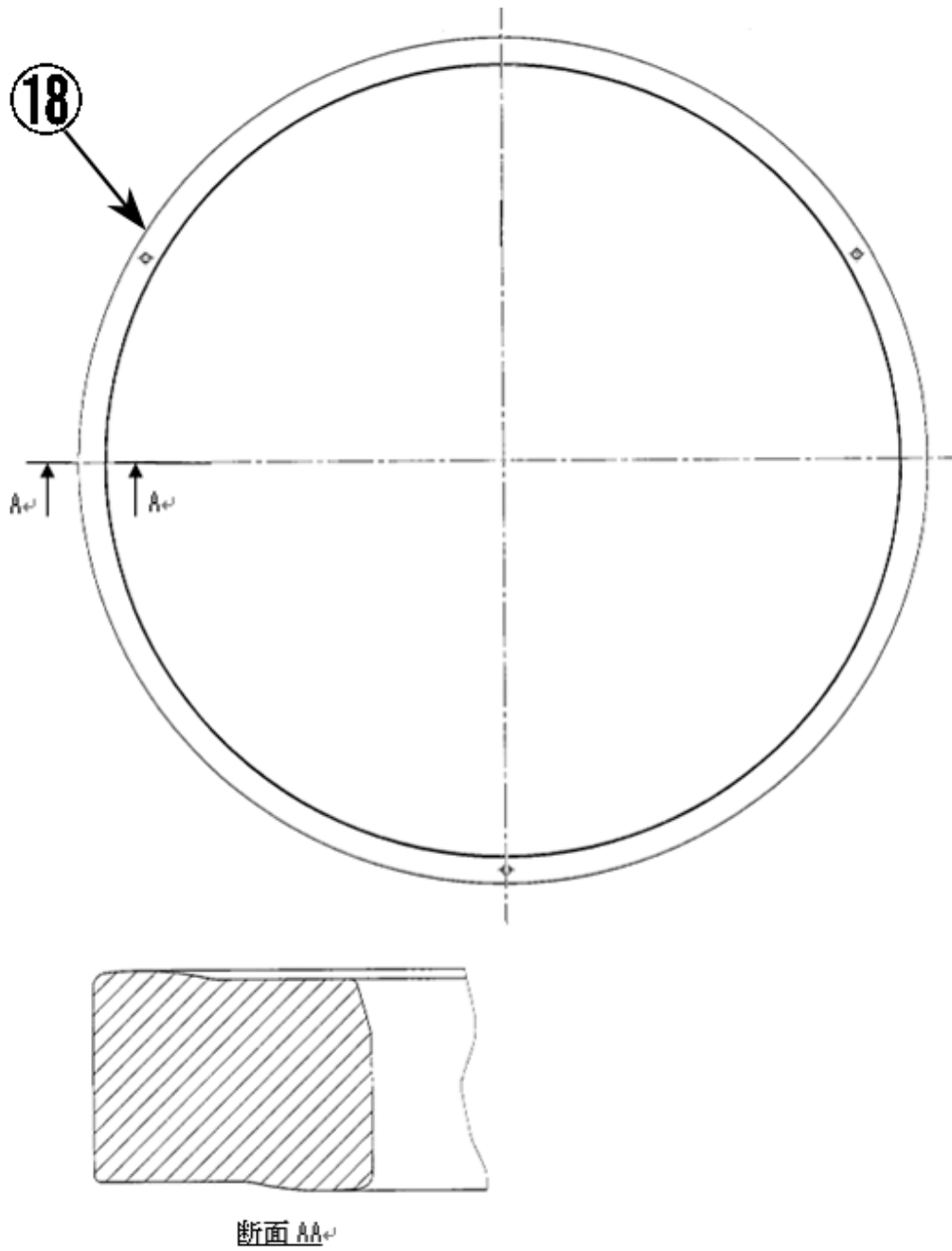
図2.1-6 大飯4号炉 下部炉心板構造図





No.	部位
①	炉心そう
②	炉心バップル
③	炉心バップル取付板
④	バップルフォーマボルト
⑤	バレルフォーマボルト

図2. 1-7 大飯4号炉 炉心バップル構造図



No.	部位
⑱	押えリング

図2.1-8 大飯4号炉 押えリング構造図

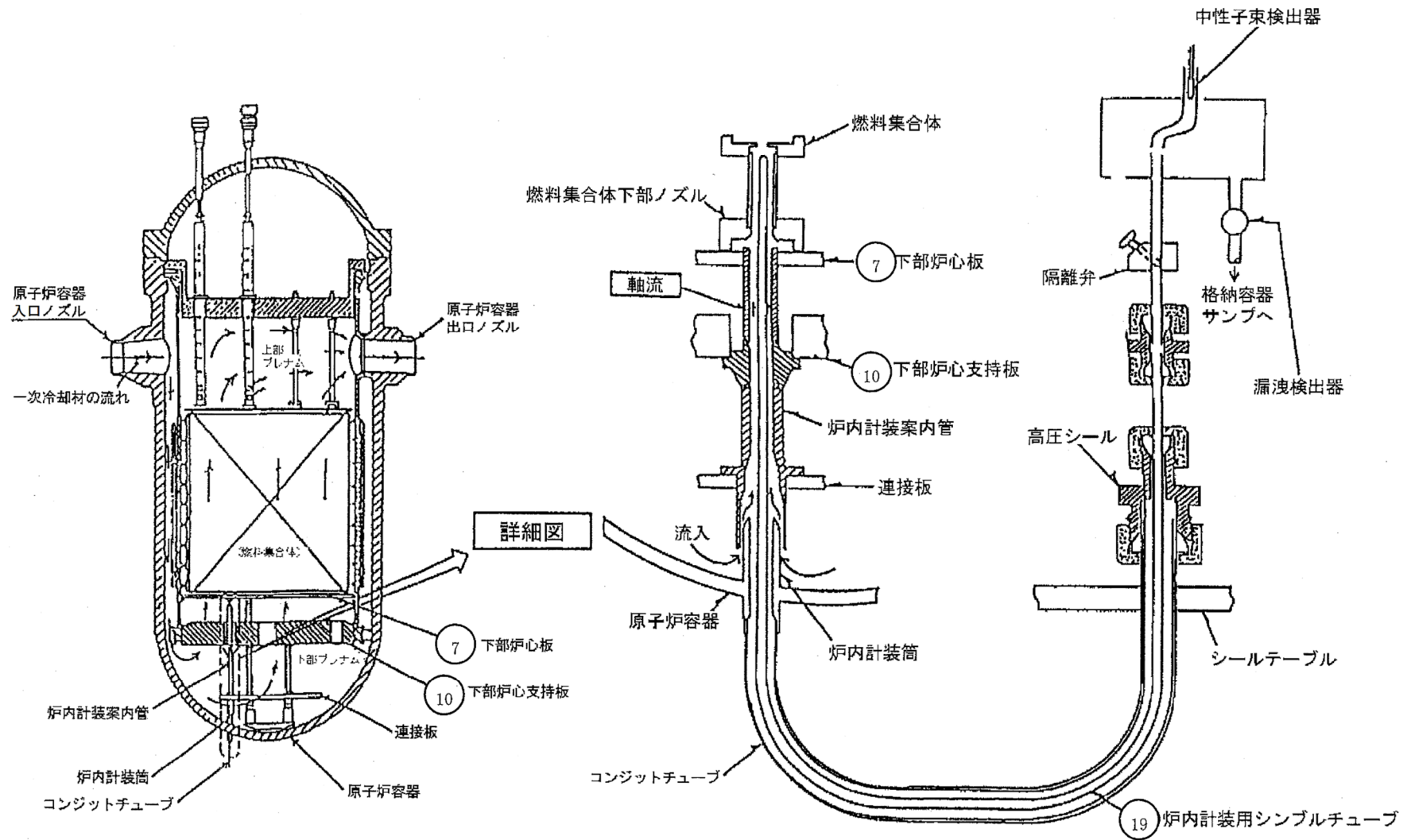


図2.1-9 炉内計装用シンプルチューブ概念図

表2. 1-1 大飯4号炉 炉内構造物主要部位の使用材料

部位	材料
上部炉心板	ステンレス鋼
上部炉心支持柱	ステンレス鋼
上部炉心支持板	ステンレス鋼
下部炉心板	ステンレス鋼
下部炉心支持柱	ステンレス鋼
下部炉心支持板	ステンレス鋼
炉心そう	ステンレス鋼
ラジアルキー	ステンレス鋼
上部燃料集合体案内ピン	ステンレス鋼 (原子力発電用規格 G316CW)
下部燃料集合体案内ピン	ステンレス鋼 (原子力発電用規格 G316CW)
制御棒クラスタ案内管	ステンレス鋼
支持ピン	ニッケル基合金 (750合金)
炉心バッフル	ステンレス鋼
炉心バッフル取付板	ステンレス鋼
バッフルフォーマボルト	ステンレス鋼 (原子力発電用規格 G316CW)
バレルフォーマボルト	ステンレス鋼 (原子力発電用規格 G316CW)
炉内計装用シングルチューブ	ステンレス鋼
熱遮蔽材	ステンレス鋼
熱遮蔽材取付ボルト	ステンレス鋼 (原子力発電用規格 G316CW)
押えリング	ステンレス鋼

表2.1-2 大飯4号炉 炉内構造物の使用条件

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

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

炉内構造物の機能である

- ・ 炉心、すなわち燃料集合体の支持及び位置決め
- ・ 制御棒クラスタの位置決め、案内及び保護
- ・ 1次冷却材の流路形成及び流量の適正配分
- ・ 炉内計装の通路形成、支持及び保護
- ・ 原子炉容器に対する中性子遮へい

を維持するためには、次の6つの項目が必要である。

- ① 炉心支持及び炉心位置決め部材信頼性の維持
- ② 制御棒クラスタ案内構造信頼性の維持
- ③ 1次冷却材流路形成構成部材信頼性の維持
- ④ 炉内計装案内構造部材信頼性の維持
- ⑤ 中性子遮へい構造信頼性の維持
- ⑥ 機器の支持構造信頼性の維持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

炉内構造物について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）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) 炉心支持構造物（上部炉心板、上部炉心支持柱、上部炉心支持板、下部炉心板、下部炉心支持柱、下部炉心支持板、炉心そう）の疲労割れ

炉心支持構造物（上部炉心板、上部炉心支持柱、上部炉心支持板、下部炉心板、下部炉心支持柱、下部炉心支持板、炉心そう）はプラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材の温度、圧力及び流量の変化により、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

- (2) バッフルフォーマボルト等の照射誘起型応力腐食割れ

フランスにおける1988年のブジュー（Bugey）発電所2号炉及びその後の類似プラントにおいて確認されたバッフルフォーマボルトの損傷事例及び1998年以降に米国で確認された同様の事例より、高照射領域にある高応力のステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れの可能性が考えられることから、経年劣化に対する評価が必要である。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△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)に該当する事象又は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) 制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗

通常運転時の1次冷却材の流れにより、制御棒クラスタ案内管内で制御棒が流体振動を起こす。その結果、制御棒と制御棒クラスタ案内管（案内板）との間で摩耗が想定される。

制御棒被覆管については摩耗減肉が認められていることから、長期的には制御棒クラスタ案内管（案内板）側が摩耗する可能性は否定できない。

制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗により、制御棒の案内機能に影響を及ぼす可能性がある事象としては、制御棒の制御棒クラスタ案内管（案内板）からの抜け出しが考えられる。制御棒被覆管の摩耗が進行し、径が細くなると、制御棒クラスタ案内管（案内板）から抜け出しやすい状態となる。現行の制御棒の管理では、予防保全的に制御棒被覆管の摩耗深さが肉厚を超えないよう定期的に制御棒の取替等を行っている。制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗管理については、安全側に制御棒被覆管の摩耗深さが肉厚に至った場合を仮定すると、制御棒クラスタ案内管（案内板）からの抜け出しの可能性が出てくると考えられるのは図2.2-1に示す摩耗長さ68%と評価されることから、大飯4号炉の制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗が制御棒の案内機能に与える影響については、次のように評価される。

大飯4号炉で採用している4ループ17×17型制御棒クラスタ案内管について、「日本機械学会 維持規格（JSME S NA1-2012）」に基づき評価を実施した結果、大飯4号炉の制御棒クラスタ案内管（案内板）が摩耗長さ68%に達するまでの時間は約30.4万時間と評価される。一方、2020年11月時点の運転実績は約17.0万時間である。

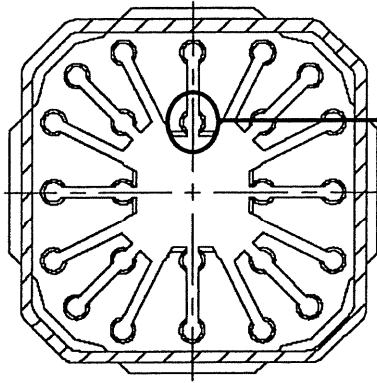
以上より、大飯4号炉の制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗が制御棒の案内機能に直ちに影響を及ぼす可能性はないと考える。

また、制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗による制御棒の案内機能への影響は、全制御棒の落下試験を実施し、挿入時間に問題がないことによりその健全性を確認している。

さらに、運転時間25万時間での摩耗計測を実施予定である。

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





摩耗長さ[%] =  $a / b \times 100$

a : 摩耗進行距離

b : 制御棒が制御棒クラスタ案内管(案内板)より抜け出る距離 (摩耗長さ100%)

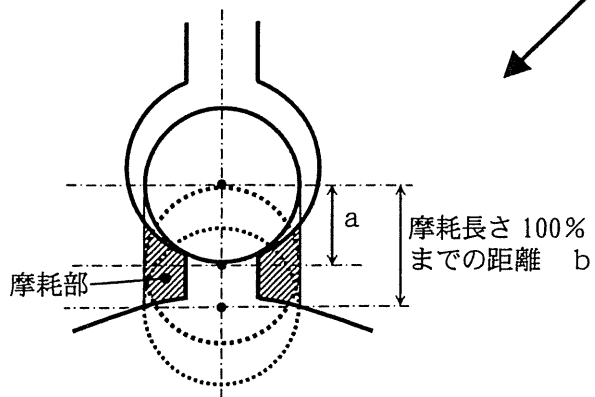


図2.2-1 大飯4号炉 制御棒クラスタ案内管(案内板) 摩耗長さ

## (2) 炉内計装用シングルチューブの摩耗

1981年3月、米国セーレム (Salem) 発電所 1 号炉ほかで炉内計装用シングルチューブの摩耗による減肉が認められており、国内でも同様の事象が認められていることから、摩耗が想定される。

炉内計装用シングルチューブの減肉が、シングルチューブまわりの軸流による流体振動に起因することをモックアップ試験により確認している。また、減肉した炉内計装用シングルチューブの耐圧健全性を確認するため、実機での減肉形状を模擬して外圧による圧壊試験を行い、限界減肉率を求めている。

一方、摩耗に関する一般知見として、現象が同じであれば単位時間当たりの摩耗体積は一定であり、摩耗発生箇所においては、炉内計装用シングルチューブおよび炉内計装案内管の各形状 (図2.2-2) から、摩耗の進展に応じて、X部、Y部では接触面積が大きくなるため、摩耗深さの進展は緩やかになる。

炉内計装用シングルチューブの摩耗による減肉については、限界減肉率に比べ十分小さい状態で管理している。

また、炉内計装用シングルチューブの摩耗に対しては、渦流探傷検査により摩耗状況を確認するとともに、必要に応じて位置変更または取替を実施している。

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

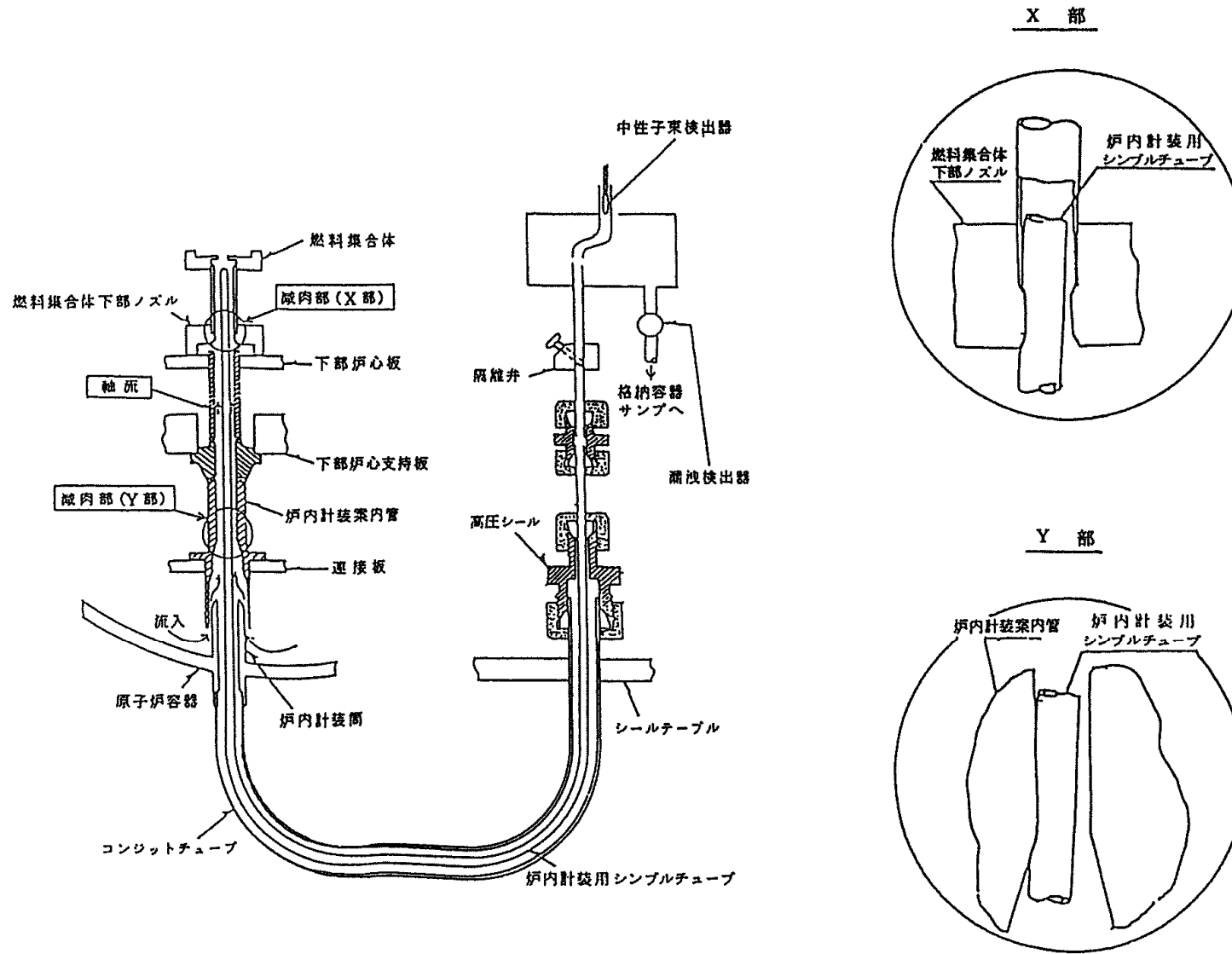


図2.2-2 炉内計装用シンプルチューブ減肉部位および形状概念図

(3) 支持ピン（止めピン）の摩耗

支持ピン（止めピン）については、1次冷却材の流体振動によりナットピン穴とピン部に摩耗が想定される。

しかしながら、目視確認を実施し、摩耗が認められた場合は取替を実施することで、健全性を維持している。

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

(4) 炉心そうの中性子照射による靱性低下

炉心そうに使用しているステンレス鋼は、中性子照射により靱性低下など機械的特性が変化する。

中性子照射による靱性低下は、従来より原子炉容器を中心に検討評価されてきている。原子炉容器に使用されている材料はフェライト系の材料であり、この材料は中性子照射によって、関連温度の上昇や上部棚吸収エネルギーの低下が顕著なため、従来から重要な経年劣化事象として評価されている。

一方、炉心支持構造物であり強度上重要な炉心そうに使用されている材料はオーステナイト系の材料であって、フェライト系材料とは金属結晶構造が異なり、靱性が高い材料である。しかし、発電設備技術検査協会「平成8年度 プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」によるとオーステナイト系照射ステンレス鋼の破壊靱性値  $J_{IC}$  試験の結果、図2.2-3に示すように、中性子照射に対して靱性値の低下が認められる。

しかしながら、中性子照射により、靱性値が低下しても、炉内構造物に有意な欠陥が存在しなければ、不安定破壊を起こす可能性は小さいと考える。なお、炉心そう溶接部は、応力集中がなく照射量が少ないため「日本機械学会 維持規格（JSME S NA1-2012）」に基づく評価では、照射誘起型応力腐食割れ発生の可能性は小さい。

さらに、ここで万一有意な欠陥が存在すると仮定し、地震発生時の亀裂安定性評価を実施した。想定欠陥は、「日本機械学会 設計・建設規格（JSME S NC1-2005/2007）」を準用し深さを板厚の1/4、長さは板厚の1.5倍の表面欠陥を周方向に仮定した（図2.2-4）。平板中の半楕円表面亀裂の応力拡大係数Kを求めるRaju-Newmanの式（Raju, I. S. and Newman, J. C., Jr., NASA Technical Paper 1578, 1979.）を用いて想定欠陥の応力拡大係数Kを算出した結果、 $7.9 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ となった。一方、図2.2-3中の  $J_{IC}$  最下限値  $14 \text{ kJ/m}^2$  から、換算式により破壊靱性値  $K_{IC}$  を求めると  $51 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$  となる。

$$K_{IC} = \sqrt{\frac{E}{(1-\nu^2)}} \times J_{IC}$$

E : 縦弾性係数 (173,000 MPa at 350°C)

$\nu$  : ポアソン比 (0.3)

$J_{IC}$  : 破壊靱性値の下限 (14 kJ/m<sup>2</sup> at 350°C)

よって、想定欠陥の応力拡大係数は、破壊靱性値を下回っており、不安定破壊は生じないことを確認した。

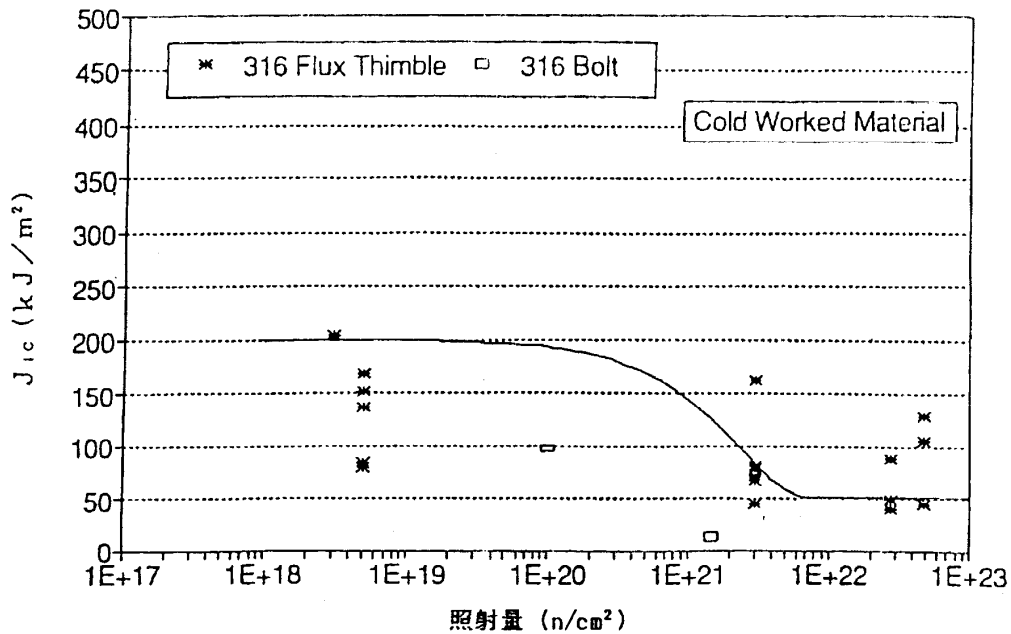


図2.2-3 破壊靱性値 $J_{IC}$ と照射量の関係

[出典：発電設備技術検査協会「平成8年度 プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」]

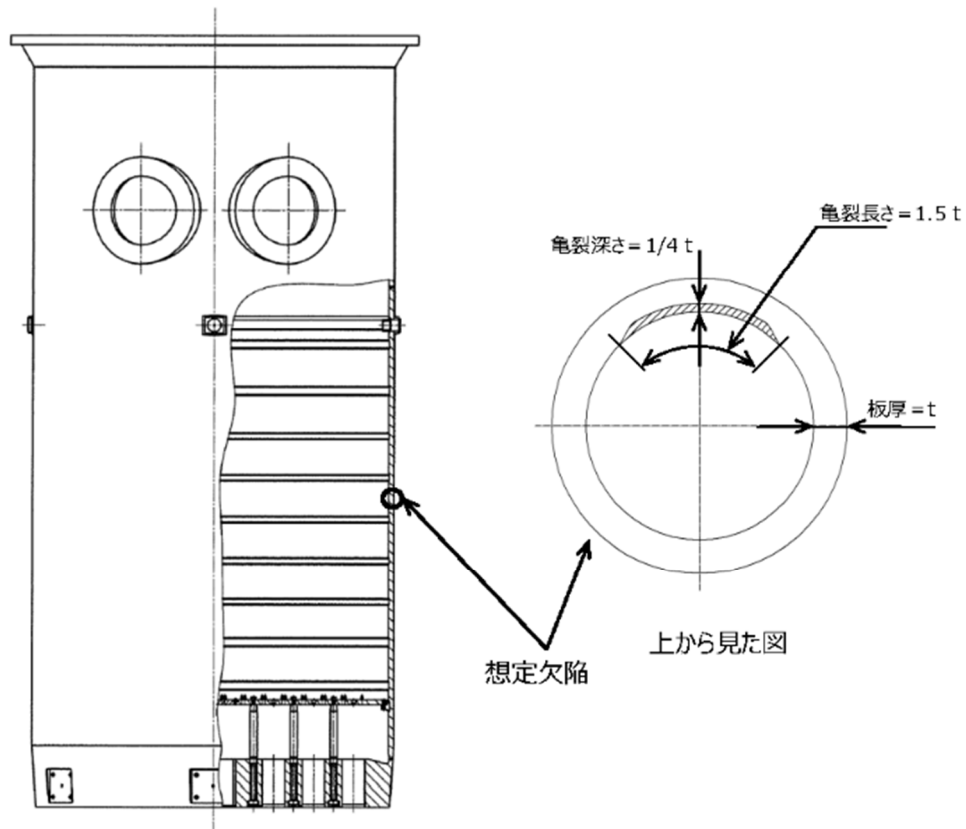


図2.2-4 大飯4号炉 中性子照射による靱性低下に対する炉心そうの想定欠陥

また、炉心そうについては、水中テレビカメラによる可視範囲の目視確認を実施し、異常のないことを確認している。

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

(5) 炉心そう等の高サイクル疲労割れ

下部炉内構造物の炉心そうと熱遮蔽材、上部炉内構造物の上部炉心支持柱と制御棒クラスタ案内管は冷却材高速流れにさらされており、流体によるランダム振動が発生する可能性があるため、振動発生時に繰返し応力を受ける炉心そう、上部炉心支持柱、制御棒クラスタ案内管に高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、15×15燃料3ループプラントを対象にした1/5スケールモデル流動試験を実施し、問題ないことを確認している。

また、1999年7月に敦賀2号炉の再生熱交換器連絡管において、温度の異なる冷却材の合流による温度ゆらぎ（サーマルストライピング）が生じ、高サイクル熱疲労による疲労割れが発生しているが、炉内構造物において温度の異なる冷却材が合流する炉心そう出口ノズル部、上部炉心支持板および制御棒クラスタ案内管等については、最大の温度差を考慮しても有意な応力は発生しないため、高サイクル疲労割れ発生の可能性はない。

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

なお、水中テレビカメラによる目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 上部炉心支持柱等の応力腐食割れ

ステンレス鋼の上部炉心支持柱等は、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、1次冷却材の水質を溶存酸素濃度5ppb以下に管理していることから、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

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

なお、水中テレビカメラによる目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 支持ピンの応力腐食割れ

ニッケル基合金（750合金）の支持ピンについては1978年10月美浜3号炉にて応力腐食割れが認められている。

しかしながら、大飯4号炉の支持ピンは、応力腐食割れ感受性低減のため、新熱処理材応力低減化構造としていることから、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

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

なお、水中テレビカメラによる目視確認により、機器の健全性を確認している。

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

(8) 炉心そう等の照射下クリープ

高照射環境下で使用される炉心そうおよびバッフルフォーマボルト（ステンレス鋼）には照射下クリープが想定される。

しかし、クリープ破断を生じる荷重制御型応力は微小であり、プラント運転に対し問題とはならない。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(9) 炉心バッフルの照射スウェリング

PWRプラントでの照射スウェリング量は小さく、炉心バッフルの上下に十分な隙間が存在することから、炉心バッフルの炉心形成機能が失われるようなことはなく、また、運転時間が先行している海外PWRプラントでもそのような事例は発生していないため、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。（参考文献：J. P. Foster and J. E. Flinn, Journal of Nuclear Materials 89(1980)99-112）

(10) 押えリングの変形（応力緩和）

プラント運転中の押えリングは、高温環境下で一定圧縮ひずみのまま保持されているため、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、押えリングに使用されているステンレス鋼（ASME SA182 Gr. F6b）は、応力緩和を生じにくい材料であり、押えリングの変形（応力緩和）が問題となる可能性はなく、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。



表2.2-1 大飯4号炉 炉内構造物に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
炉心支持および炉心位置決め部材信頼性の維持	上部炉心板		ステンレス鋼			○	○ <sup>*3</sup> △				*1：高サイクル疲労割れ
	上部炉心支持柱		ステンレス鋼			○ △ <sup>*1</sup>	△				*2：高サイクル熱疲労割れ
	上部炉心支持板		ステンレス鋼			○ △ <sup>*2</sup>	△				*3：照射誘起型応力腐食割れ
	下部炉心板		ステンレス鋼			○	○ <sup>*3</sup> △				*4：中性子照射による靱性低下
	下部炉心支持柱		ステンレス鋼			○	○ <sup>*3</sup> △				*5：照射スウェリング
	下部炉心支持板		ステンレス鋼			○	△				
	炉心そう		ステンレス鋼			○ △ <sup>*1,2</sup>	○ <sup>*3</sup> △		△ <sup>*4</sup>	▲ <sup>*6</sup>	*6：照射下クリープ
	ラジアルキー		ステンレス鋼				△				*7：変形（応力緩和）
	上部燃料集合体案内ピン		ステンレス鋼				○ <sup>*3</sup> △				
	下部燃料集合体案内ピン		ステンレス鋼				○ <sup>*3</sup> △				
制御棒クラスタ案内構造信頼性の維持	制御棒クラスタ案内管		ステンレス鋼	△			△ <sup>*1,2</sup>	△			
	支持ピン		ニッケル合金	△				△			
1次冷却材流路形成構成部材信頼性の維持	炉心バップル		ステンレス鋼				○ <sup>*3</sup> △			▲ <sup>*5</sup>	
	炉心バップル取付板		ステンレス鋼				○ <sup>*3</sup> △				
	バップルフォーマボルト		ステンレス鋼				○ <sup>*3</sup> △			▲ <sup>*6</sup>	
	バレルフォーマボルト		ステンレス鋼				○ <sup>*3</sup> △				
炉内計装案内構造部材信頼性の維持	炉内計装用シンプルチューブ		ステンレス鋼	△			△				
中性子遮蔽構造信頼性の維持	熱遮蔽材		ステンレス鋼				○ <sup>*3</sup> △				
	熱遮蔽材取付ボルト		ステンレス鋼				○ <sup>*3</sup> △				
機器の支持構造信頼性の維持	押えリング		ステンレス鋼				△			▲ <sup>*7</sup>	

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

## 2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

### 2.3.1 炉心支持構造物（上部炉心板、上部炉心支持柱、上部炉心支持板、下部炉心板、下部炉心支持柱、下部炉心支持板、炉心そう）の疲労割れ

#### a. 事象の説明

炉心支持構造物は、プラントの起動・停止時等に熱過渡を繰り返し受けるため、疲労が蓄積する。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

炉心支持構造物の健全性評価にあたっては、構造が不連続であり、かつ、変形に対する拘束が大きいとため、比較的大きな熱応力の発生する部位を対象として「日本機械学会 設計・建設規格（JSME S NC1-2005/2007）」に基づき評価を行った。

評価対象部位の代表部位を図2.3-1～図2.3-4に示す。

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

疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。なお、2014年度末までの運転実績に基づき推定した2015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。

それぞれの代表箇所における評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

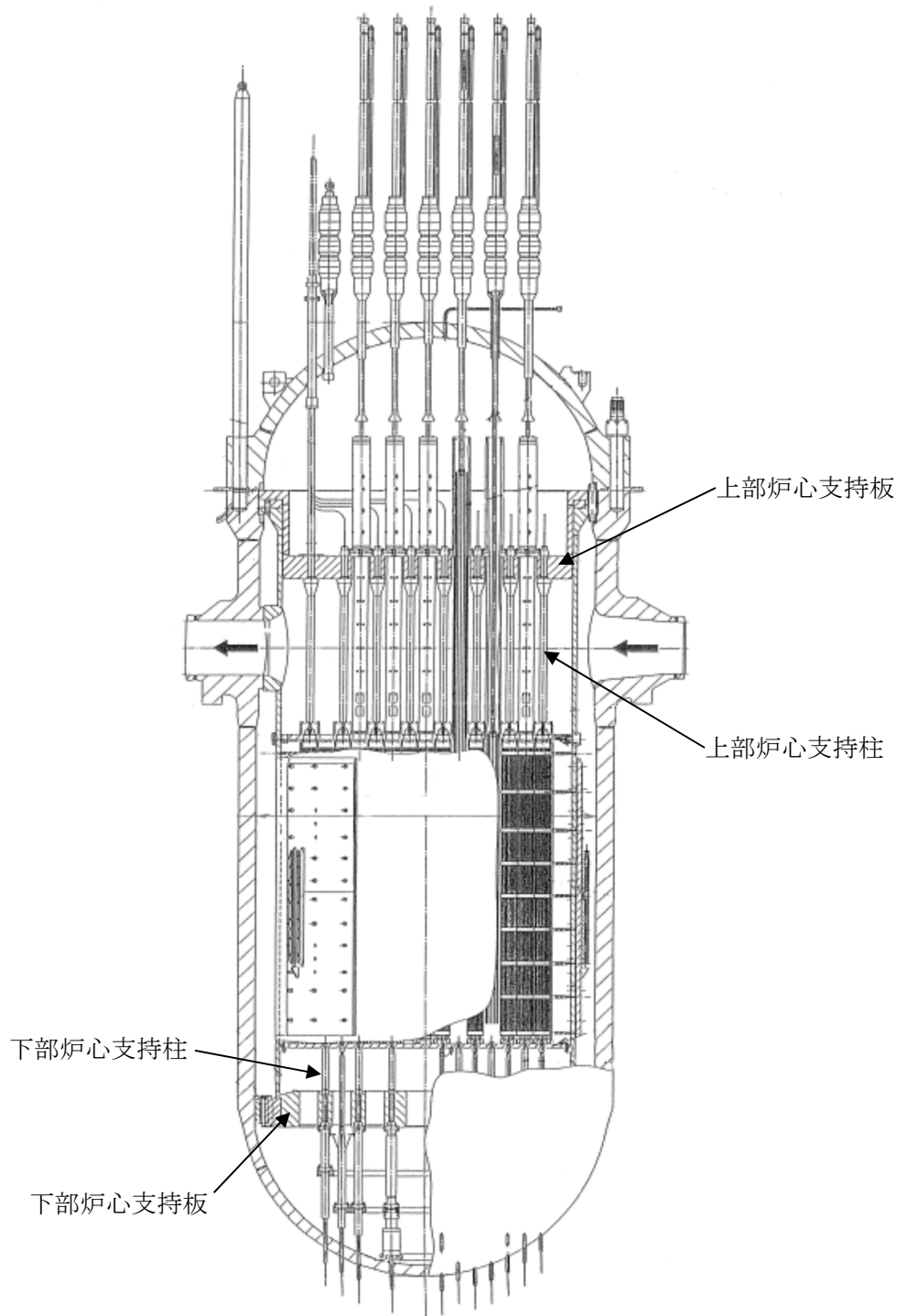


图2.3-1 大飯4号炉 炉心支持構造物疲労評価部位

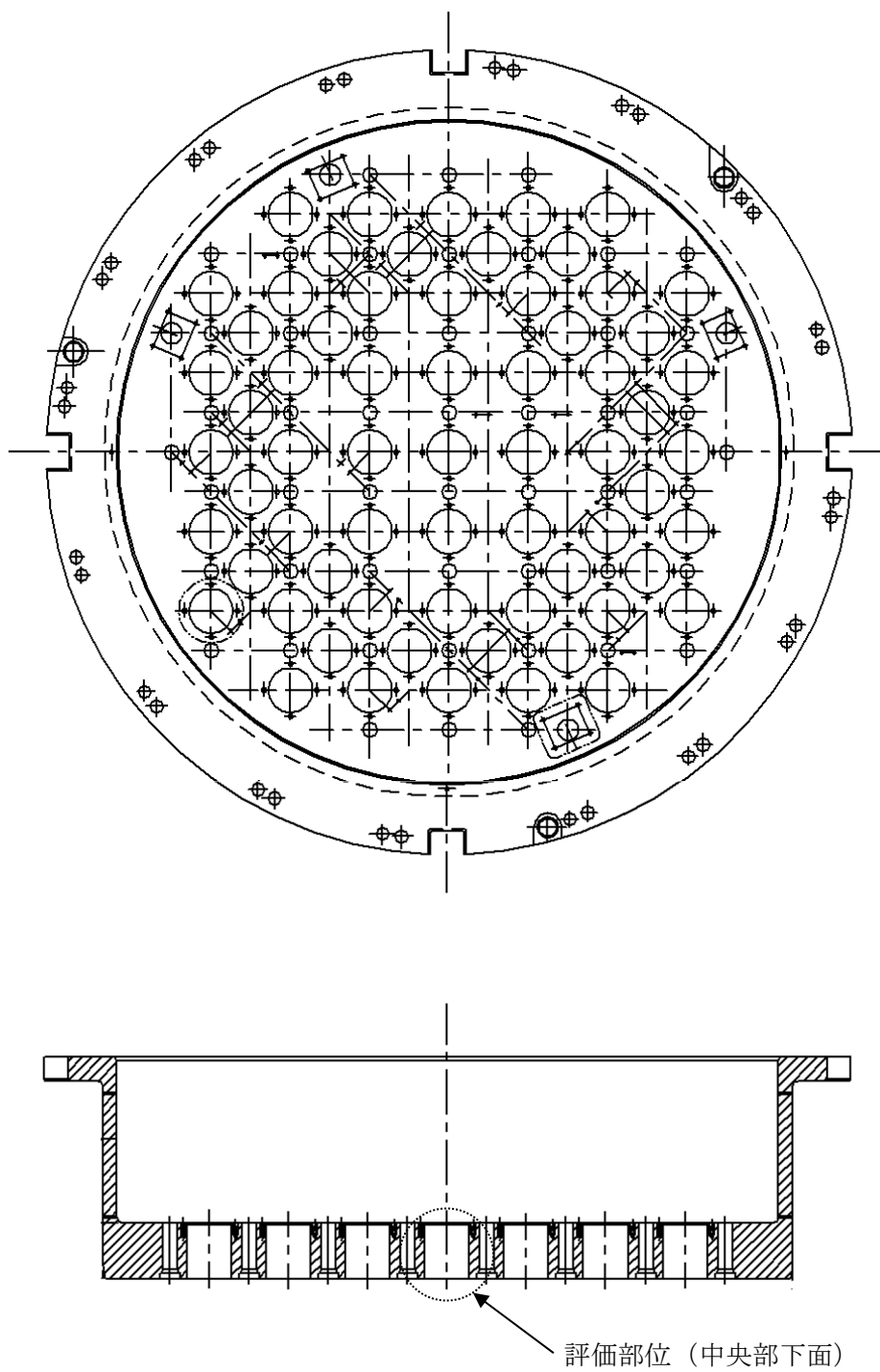


図 2.3-2 大飯 4 号炉 上部炉心支持板疲労評価部位

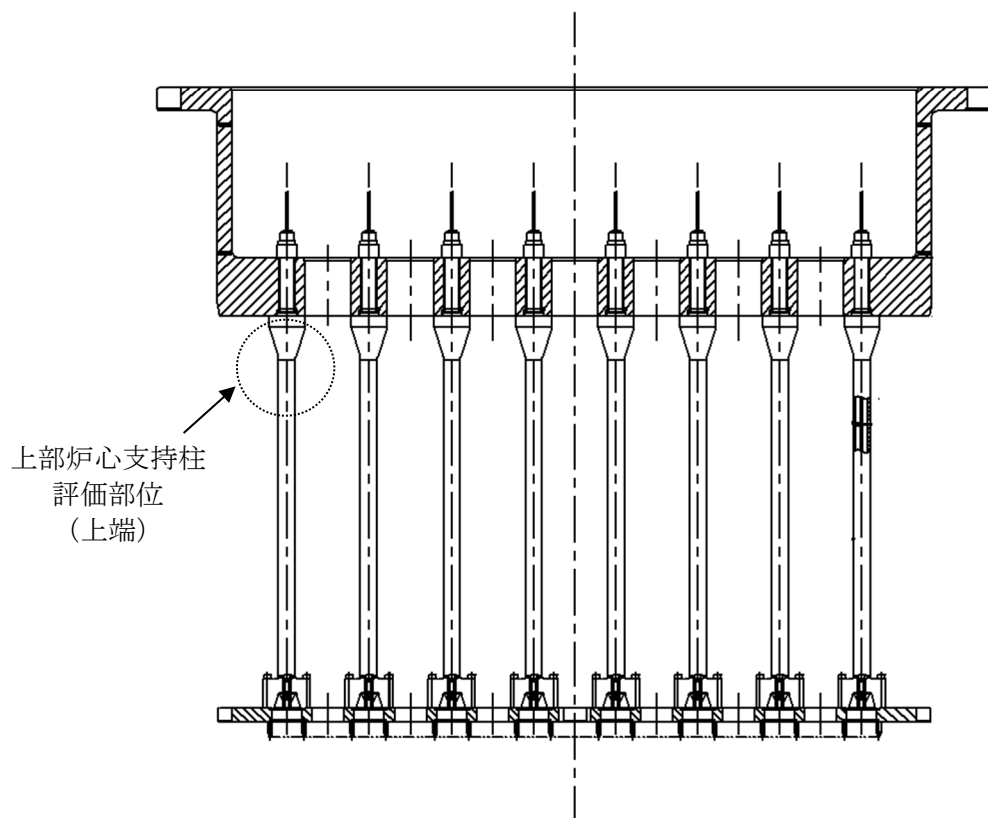


図2.3-3 大飯4号炉 上部炉心支持柱疲労評価部位

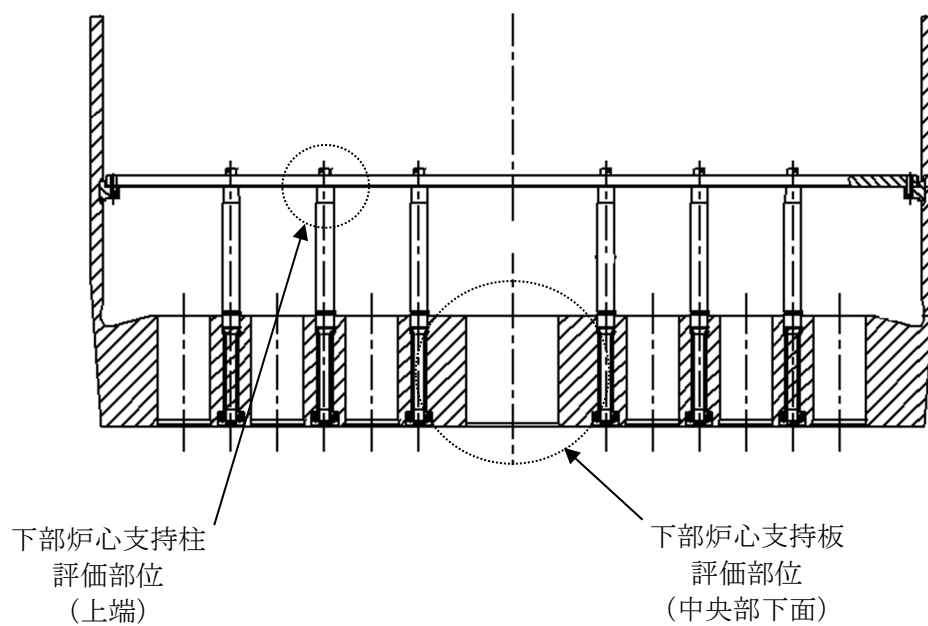


図2.3-4 大飯4号炉 下部炉心支持板、下部炉心支持柱疲労評価部位

表2.3-1 大飯4号炉 炉心支持構造物の疲労評価に用いた過渡回数

運転状態 I

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2014年度末時点	運転開始後60年時点での推定値
起動 (温度上昇率55.6°C/h)	26	74
停止 (温度下降率55.6°C/h)	26	74
負荷上昇 (負荷上昇率5%/min)	221	927
負荷減少 (負荷減少率5%/min)	211	917
90%から100%へのステップ状負荷上昇	2	4
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	3	9
定常負荷運転時の変動*1	—	—
燃料交換	15	70
0%から15%への負荷上昇	27	75
15%から0%への負荷減少	18	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	
	2014年度末時点	運転開始後60年時点での推定値
負荷の喪失	4	7
外部電源喪失	1	5
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	2	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	3
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	5	5
1次系漏えい試験	19	60

\*1：設計評価においては、1次冷却材温度は高温側±1.4°C、低温側±2.4°C、1次冷却材圧力+0.39MPa、-0.29MPa (+4.0kg/cm<sup>2</sup>、-3.0kg/cm<sup>2</sup>) 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 大飯4号炉 炉心支持構造物の疲労評価結果

評価対象部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値：1以下)	
	設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
上部炉心支持板 (ステンレス鋼)	0.004	0.030
上部炉心支持柱 (ステンレス鋼)	0.001	0.001
下部炉心支持板 (ステンレス鋼)	0.001	0.008
下部炉心支持柱 (ステンレス鋼)	0.003	0.032

② 現状保全

炉心支持構造物の疲労割れについては、定期的に可視範囲について水中テレビカメラによる目視確認を実施し、有意な欠陥がないことを確認している。さらに、高経年化技術評価に合わせて実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

③ 総合評価

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

また、疲労割れは目視確認にて検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

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



## 2.3.2 バッフルフォーマボルト等の照射誘起型応力腐食割れ

### a. 事象の説明

ステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れの発生要因としては、材料、応力、環境の三要因が考えられ、運転時間が経過し、非常に高い中性子照射量を受けると応力腐食割れとして顕在化してくる可能性がある。

#### ① 材料要因

ステンレス鋼については、PWR 1次系水質環境においては溶存酸素濃度が低いために、仮に材料が溶接等の熱影響により鋭敏化していても応力腐食割れ感受性がないことが知られている。

しかし、長年の中性子照射によってステンレス鋼の材料特性に経年変化が生じ、非常に高い中性子照射量を受けたステンレス鋼においては、PWR 1次系水質環境において応力腐食割れ感受性があることが明らかになっている。

#### ② 応力要因

材料が応力腐食割れ感受性を有する場合、熱荷重や外荷重、溶接残留応力等により大きな応力が作用する部位には応力腐食割れが発生する可能性がある。他の応力腐食割れと同様に、照射誘起型応力腐食割れについても、応力腐食割れが発生し破断するまでの時間は応力レベルに依存しており応力が高いほど破断時間の短いことが知られている。

#### ③ 環境要因

PWR 1次系水質環境下における応力腐食割れの環境要因としては、溶存酸素や塩化物イオン等の化学成分および温度が重要要因となるが、PWRの1次系水は、水素注入や脱塩処理により、溶存酸素濃度や塩化物イオン濃度等を極力低減している。

また、定期分析等により十分な水質管理を行っており、水環境の悪化は考えられない。よって、環境要因としては温度が重要要因となる。

温度依存性については温度が高いほど、応力腐食割れ感受性が高くなることが知られている。

## b. 技術評価

### ① 健全性評価

発電設備技術検査協会「平成8年度 プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」で得られた照射ステンレス鋼を用いたPWR 1次系水質環境での低ひずみ速度引張試験結果および電力共通研究の結果を合わせて図2.3-5および図2.3-6に示す。325℃の場合、 $10^{21}\text{n/cm}^2$  [ $E > 0.1\text{MeV}$ ]オーダー以上の中性子照射を受けたステンレス鋼に対して応力腐食割れ感受性が発生している。また、温度が高くなるほどその応力腐食割れ感受性発生の中性子照射量しきい値が低下している。

また、原子力安全基盤機構「平成20年度 照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術に関する報告書」で得られた照射ステンレス鋼を用いたPWR 1次系水質環境での定荷重応力腐食割れ試験結果を図2.3-7に示す。高応力であるほど亀裂発生までの時間が短いことが示されている。

以上の知見を踏まえ、炉内構造物のステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れについて、実機の中性子照射量、応力、温度条件および海外での損傷事例をもとに、各部に対する亀裂発生可能性の評価を実施し、その結果を表2.3-3に示す。

これにより、バッフルフォーマボルトについては、照射誘起型応力腐食割れ発生の可能性に対して特に検討を要すると考えられる。

なお、バッフルフォーマボルト以外については、バッフルフォーマボルトの評価結果を基準に、相対的な評価を行っている。

#### ○炉心バッフル、炉心バッフル取付板

中性子照射量および温度条件はバッフルフォーマボルトと同等であるが、発生応力レベルが小さいため、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断した。

#### ○炉心そう

温度はバッフルフォーマボルトと同等であるが、中性子照射量が小さい。また、炉心そう溶接部の残留応力値は、首下に応力集中のあるバッフルフォーマボルトの応力より小さいと考えられることから、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断した。

#### ○上部炉心板、上部燃料集合体案内ピン

温度はバッフルフォーマボルトと同等であるが、中性子照射量および発生応力レベルが緩やかであるため、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断した。

#### ○下部燃料集合体案内ピン、下部炉心支持柱、熱遮蔽材

バッフルフォーマボルトに比べて、中性子照射量、発生応力レベルおよび温度条件が緩やかであるため、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断した。

○下部炉心板、熱遮蔽材取付ボルト

発生応力レベルはバッフルフォーマボルトと同等であるが、中性子照射量および温度条件が緩やかであるため、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断した。

○バレルフォーマボルト

温度および発生応力レベルはバッフルフォーマボルトと同等であるが、中性子照射量が小さい。また、「日本機械学会 維持規格 (JSME S NA1-2012)」によると、照射量、発生応力等を考慮し評価した結果、バッフルフォーマボルトに比べて十分余裕のある損傷予測結果となっている。

以下に、バッフルフォーマボルトについて、照射誘起型応力腐食割れ発生の可能性を評価した。

海外トラブル事例があり、中性子照射量、温度および応力が比較的高いバッフルフォーマボルトについては、現状では異常は認められないものの運転の長期化を考慮すると、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性は否定できない。

なお、バッフルフォーマボルトは多数のボルトによりその機能を維持しており、フランスでは一部のバッフルフォーマボルトが損傷しても炉内構造物全体の健全性は残りの健全なバッフルフォーマボルトにより十分確保されるとして適宜点検により損傷本数を確認しながら運転が継続されている。

また、米国ではクリティカルボルト（炉心の健全性が確保できる配置、本数のバッフルフォーマボルト）について取替を実施してきている。

一方、国内では、「日本機械学会 維持規格 (JSME S NA1-2012)」に基づく、バッフルフォーマボルトは縦列に2本のボルトが残存すればよく、ボルト本数全体の約7割が損傷した場合でも炉心の健全性は確保可能であると評価されている。

また、「日本機械学会 維持規格 (JSME S NA1-2012)」ではバッフルフォーマボルトの仕様によってプラントをグループ1～4に分類しており、大飯4号炉が属するグループ4のプラントの管理損傷ボルト数（全体の20%）に至るまでの期間は約50年以上と評価されている。

なお、バッフルフォーマボルトについては、原子力安全基盤機構「平成20年度照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術に関する報告書」で得られた知見を用いて評価した結果、運転開始後60年時点でのボルトの損傷本数は0本となり、安全に関わる機能を維持できることから、炉心の健全性に影響を与える可能性は小さいと考える。

以上より、バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れが炉心の健全性に影響を与える可能性は低いと考える。

表2.3-3(1/2) 大飯4号炉 ステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れの可能性評価

部位	実機条件			海外の損傷事例	可能性評価
	中性子照射量レベル*1 [n/cm <sup>2</sup> ·E > 0.1MeV]	応力レベル*2 (応力支配因子)	温度 [°C]		
バッフルフォーマボルト	9×10 <sup>22</sup>	大 { 締付+熱曲げ +照射スウェリング }	325	有	発生の可能性有り。炉心バッフルの照射スウェリングにより応力増加が生じるため、亀裂発生の可能性が大きくなる。海外損傷事例もあり最も厳しい。
炉心バッフル	9×10 <sup>22</sup>	小 (熱応力)	325	無	バッフルフォーマボルトよりも応力レベルが小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
炉心バッフル取付板	9×10 <sup>22</sup>	小 (熱応力)	325	無	バッフルフォーマボルトよりも応力レベルが小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
バレルフォーマボルト	8×10 <sup>21</sup>	大 (締付+熱曲げ)	325	無	応力レベルは大きいですが、バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
炉心そう	1×10 <sup>22</sup>	大*3 (溶接部) (溶接残留応力)	325	無	溶接残留応力が存在し応力レベルは大きいですが、バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
上部炉心板	1×10 <sup>21</sup>	小 (熱応力)	325	無	バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量および応力レベルが小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
上部燃料集合体案内ピン	1×10 <sup>21</sup>	小 (締付け)	325	無	バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量および応力レベルが小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。

\*1：中性子照射量レベルは運転開始後60年時点での各部位の推定最大中性子照射量レベルを示す。

\*2：応力レベルは各部位の最大応力値を示す。

応力レベル 大：> S<sub>y</sub> (非照射材の降伏応力) 中：≒ S<sub>y</sub> (非照射材の降伏応力) 小：< S<sub>y</sub> (非照射材の降伏応力)

バッフルフォーマボルト、バレルフォーマボルトおよび熱遮蔽材取付ボルトは、初期締付応力に加えて炉心バッフル組立  
体および炉心そうと熱遮蔽材との組立体の熱変形による熱曲げ応力が作用するため、高応力となる。

\*3：炉心そう溶接部の残留応力は大きいですが、「日本機械学会 維持規格 (JSME S NA1-2012)」にて、炉心そう溶接部応力は、照射誘起型応力腐食割れ発生に対し余裕があると評価されている。

表2.3-3(2/2) 大飯4号炉 ステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れの可能性評価

部位	実機条件			海外の損傷事例	可能性評価
	中性子照射量レベル*1 [n/cm <sup>2</sup> :E > 0.1MeV]	応力レベル*2 (応力支配因子)	温度 [°C]		
下部燃料集合体 案内ピン	1×10 <sup>22</sup>	小 (縮付け)	289	無	バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量、応力レベルおよび温度が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
下部炉心板	1×10 <sup>22</sup>	大 (熱応力)	289	無	応力レベルは大きいですが、バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量および温度が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
下部炉心支持柱	4×10 <sup>21</sup>	中 (曲げ)	289	無	バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量、応力レベルおよび温度が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
熱遮蔽材	5×10 <sup>21</sup>	小 (熱応力)	289	無	バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量、応力レベルおよび温度が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
熱遮蔽材 取付ボルト	5×10 <sup>21</sup>	大 (縮付+熱曲げ)	289	無	応力レベルは大きいですが、バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量および温度が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。

\*1：中性子照射量レベルは運転開始後60年時点での各部位の推定最大中性子照射量レベルを示す。

\*2：応力レベルは各部位の最大応力値を示す。

応力レベル 大：> S<sub>y</sub>（非照射材の降伏応力） 中：≒ S<sub>y</sub>（非照射材の降伏応力） 小：< S<sub>y</sub>（非照射材の降伏応力）

バッフルフォーマボルト、バレルフォーマボルトおよび熱遮蔽材取付ボルトは、初期縮付応力に加えて炉心バッフル組立体および炉心そうと熱遮蔽材との組立体の熱変形による熱曲げ応力が作用するため、高応力となる。

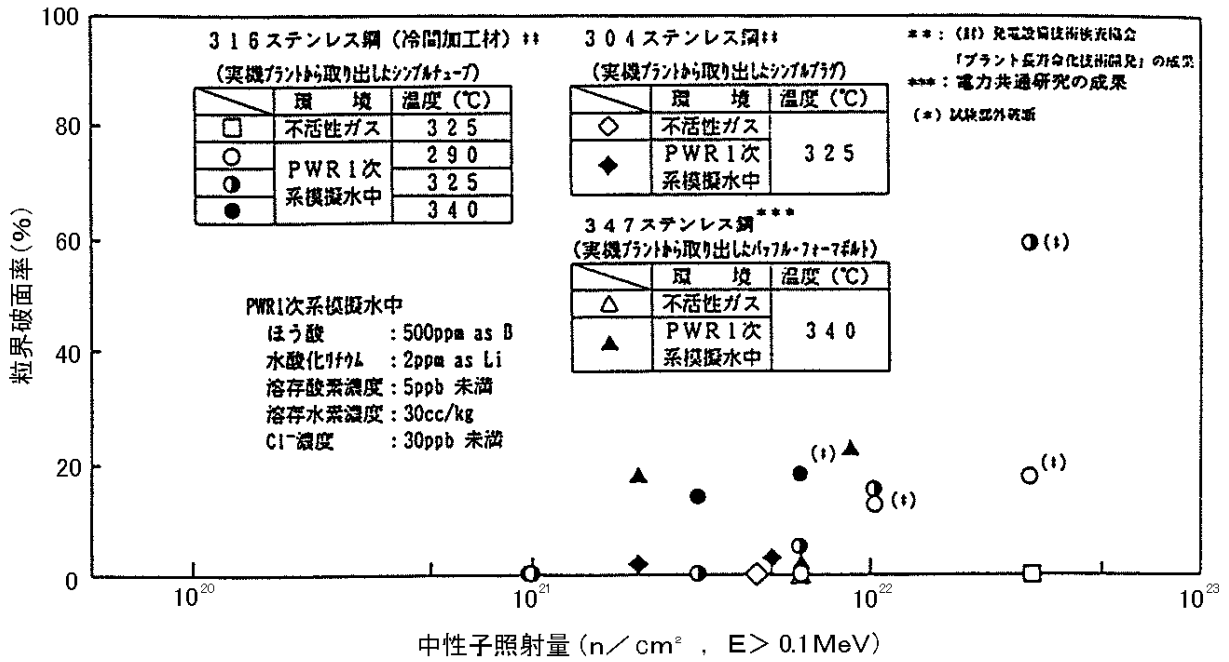


図2.3-5 粒界破面率と照射量の関係

[出典：発電設備技術検査協会「平成8年度 プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」]

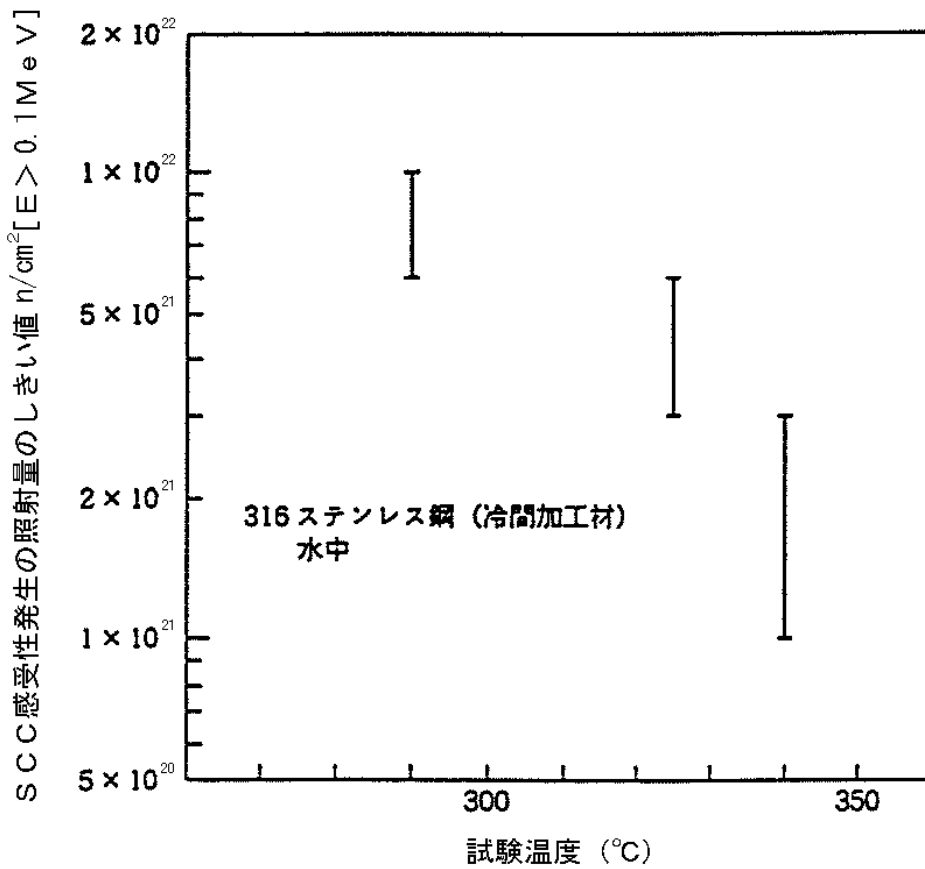


図2.3-6 応力腐食割れ (SCC) 感受性発生の中性子照射量のしきい値と試験温度の関係

[出典：発電設備技術検査協会「平成8年度 プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」]

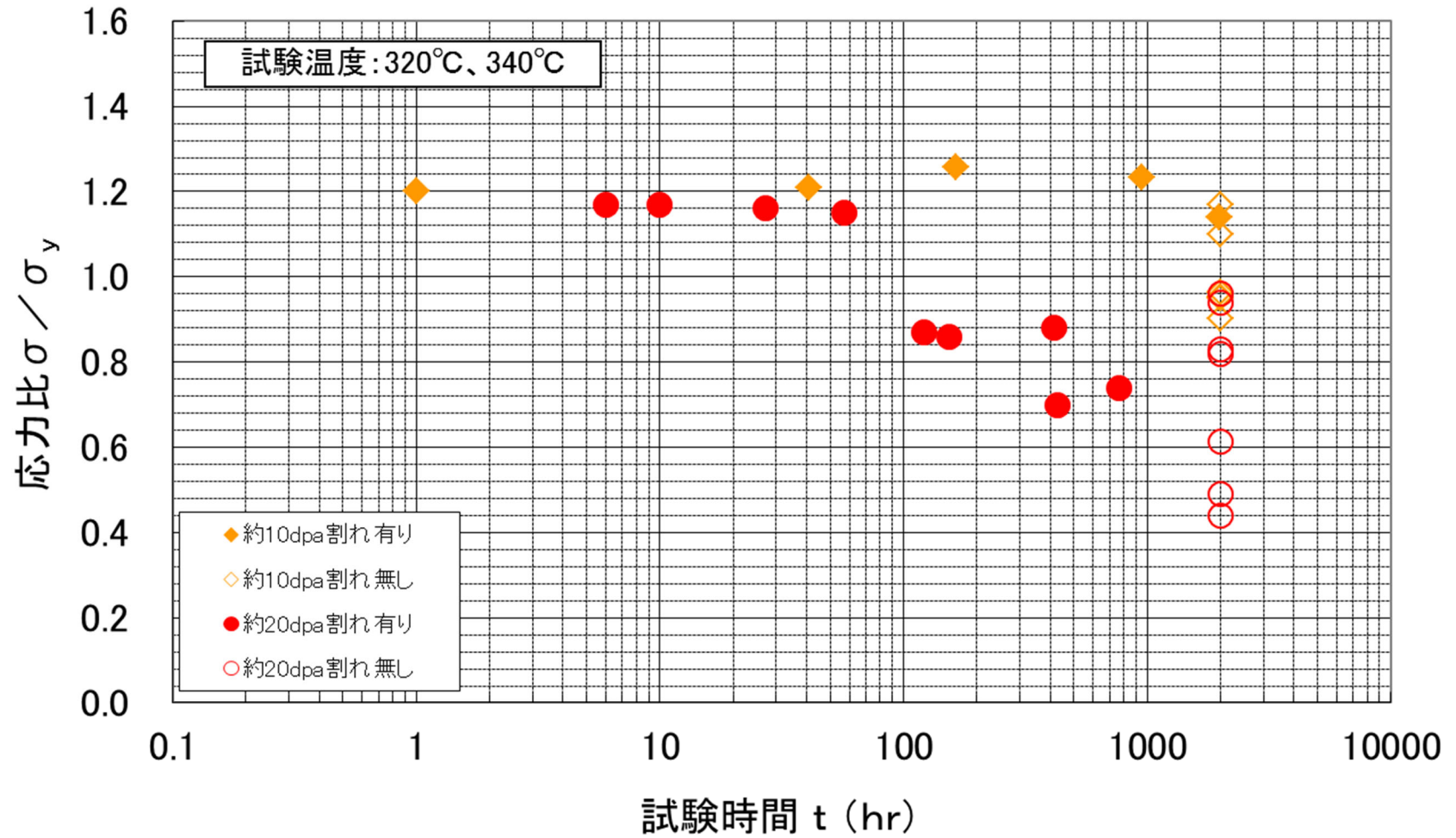


図2.3-7 定荷重応力腐食割れ試験結果

(316ステンレス鋼 (冷間加工材),  $>1.5 \times 10^{22}$  n/cm<sup>2</sup>)

[出典: 原子力安全基盤機構「平成20年度 照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術に関する報告書」(バッフルフォーマボルトデータのみプロット)]

② 現状保全

炉内構造物のステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れについては、定期的に炉内構造物の可視範囲について水中テレビカメラによる目視確認を実施し、異常がないことを確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、バッフルフォーマボルトについては、照射誘起型応力腐食割れの発生が否定できないと考えられる。

ただし、原子力安全基盤機構「平成20年度 照射誘起型応力腐食割れ (IASCC) 評価技術に関する報告書」で得られた知見を用いて評価した結果、運転開始後60年時点でのボルトの損傷本数は0本となり、バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れが炉内構造物の構造強度・機能の健全性に影響を与える可能性は小さいと考える。

バッフルフォーマボルト以外については、バッフルフォーマボルトに比べて、中性子照射量、応力、温度の実機条件が相対的に低いレベルであるため、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと考える。

c. 高経年化への対応

ステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。



# 大飯発電所 4 号炉

## ケーブルの技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

関西電力株式会社

大飯4号炉のケーブルのうち、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のケーブル、高温・高圧の環境下にあるクラス3のケーブルおよび常設重大事故等対処設備に属するケーブルを、種別および絶縁体材料でグループ化し、同一グループ内の複数のケーブルの存在を考慮して、用途、使用場所等の観点から代表ケーブルを選定した。

これらの一覧表を表1に示す。

本評価書においては、これら代表ケーブルについて技術評価を行うとともに、代表ケーブル以外のケーブルについて技術評価を展開している。本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考え。また、ケーブルトレイ等およびケーブル接続部についてはケーブルの機能を維持するための1部品として位置づけられるが、それぞれケーブル種別による区別は困難であることから、ケーブルトレイ等およびケーブル接続部は独立してとりまとめている。

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

本評価書ではケーブルの種別を基にしたケーブル分類に、ケーブルトレイ等およびケーブル接続部のケーブルの機能を維持するための機器を加えた以下の6つに分類している。

- 1 高圧ケーブル
- 2 低圧ケーブル
- 3 同軸ケーブル
- 4 光ファイバケーブル
- 5 ケーブルトレイ等
- 6 ケーブル接続部

表 1 ( 1 / 3 ) 大飯 4 号炉 主要なケーブル

分離基準		機器名称	選定基準						シース材料	代表機器の選定	
種別	絶縁体材料		用途	使用場所		重要度*1	使用開始時期			代表機器	選定理由
				原子炉格納容器内	原子炉格納容器外		建設時	運転開始後			
高圧	架橋ポリエチレン	難燃高圧CSHVケーブル	電力		○	MS-1、重*4	○		難燃低塩酸特殊耐熱ビニル	◎	
低圧	難燃エチレンプロピレンゴム	難燃PHケーブル	電力・制御・計装	○*2,5	○*3,6	MS-1、重*4	○	○	難燃クロロスルホン化ポリエチレン	◎	使用場所
		難燃PSHVケーブル	電力・制御・計装		○*3	MS-1、重*4	○		難燃低塩酸特殊耐熱ビニル		
	四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂	FPETケーブル	制御		○	MS-1、重*4	○		四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂	◎	使用範囲
FPPケーブル	計装		○	MS-1、重*4	○		四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂				
FPTFケーブル	制御		○	MS-1、重*4		○	四フッ化エチレン・プロピレン共重合樹脂				

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：設計基準事故（1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失）を考慮する。

\*3：設計基準事故（主蒸気管破断）を考慮する。

\*4：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

\*5：重大事故等（格納容器過温破損、格納容器過圧破損）を考慮する。

\*6：重大事故等（使用済燃料ピットにおける重大事故に至るおそれがある事故）を考慮する。

表 1 ( 2 / 3 ) 大飯 4 号炉 主要なケーブル

分離基準		機器名称	選定基準						シース材料		代表機器の選定	
種別	絶縁体材料		用途	使用場所		重要度*1	使用開始時期		内部シース	外部シース	代表機器	選定理由
				原子炉格納容器内	原子炉格納容器外		建設時	運転開始後				
同軸	架橋ポリエチレン	難燃三重同軸ケーブルー 1	計装	○*2,4	○	MS-1、重*3	○		架橋ポリエチレン	難燃架橋ポリエチレン	◎	重要度、使用場所（設計基準事故を考慮する）
		難燃三重同軸ケーブルー 2	計装	○	○	MS-1、重*3	○		架橋ポリエチレン	四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂		
		難燃性耐熱高周波同軸ケーブル	計装		○	重*3		○	—	難燃低塩酸耐熱ビニルシース		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：設計基準事故（1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失）を考慮する。

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

\*4：重大事故等（格納容器過温破損、格納容器過圧破損）を考慮する。

表 1 ( 3 / 3 ) 大飯 4 号炉 主要なケーブル

分離 基準	機器名称	選定基準						シース材料		代表機器 の選定	
		用途	使用場所		重要度*1	使用開始時期		内部シース	外部シース	代表 機器	選定 理由
			原子炉 格納容器内	原子炉 格納容器外		建設時	運転 開始後				
石英 ガラス	難燃光ファイバケーブル	計装		○	MS-1		○	難燃低塩酸ビニル	難燃低塩酸ビニル、 アルミラミネート テープ	◎	

\*1：機能は最上位の機能を示す。

[ケーブル名称の略称について]

表 1 に示す大飯 4 号炉の主要なケーブルの略称は、各々以下のケーブルを示すものである。

- (1) 難燃高圧 CSHV ケーブル：高圧架橋ポリエチレン絶縁難燃低塩酸特殊耐熱ビニルシースケーブル
- (2) 難燃 PH ケーブル：難燃エチレンプロピレンゴム絶縁難燃クロロスルホン化ポリエチレンシースケーブル
- (3) 難燃 PSHV ケーブル：難燃エチレンプロピレンゴム絶縁難燃低塩酸特殊耐熱ビニルシースケーブル
- (4) FPET ケーブル：四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂絶縁四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂シースケーブル
- (5) FPP ケーブル：四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂絶縁四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂シースケーブル
- (6) FPTF ケーブル：四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂絶縁四フッ化エチレン・プロピレン共重合樹脂シースケーブル

備考：記号の意味は、次のとおりである。

C：架橋ポリエチレン

V：ビニル

SHV：特殊耐熱ビニル

P：エチレンプロピレンゴム

H：クロロスルホン化ポリエチレン

# 1 高圧ケーブル

[対象機器]

- ① 難燃高圧CSHVケーブル

## 目次

1. 技術評価対象機器 .....	1
2. 難燃高圧CSHVケーブルの技術評価 .....	2
2.1 構造、材料および使用条件 .....	2
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	4
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価 .....	7



1. 技術評価対象機器

大飯4号炉で使用されている高圧ケーブルの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 大飯4号炉 高圧ケーブルの主な仕様

機器名称	用途	使用場所		重要度*1	使用開始時期	
		原子炉 格納容器内	原子炉 格納容器外		建設時	運転 開始後
難燃高圧 CSHV ケーブル	電力		○	MS-1、 重*2	○	

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. 難燃高圧CSHVケーブルの技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 難燃高圧CSHVケーブル

##### (1) 構造

大飯4号炉に使用している難燃高圧CSHVケーブルは導体、内部半導電層、絶縁体、外部半導電層、遮蔽層、テープおよびシースで構成されている。

このうちケーブルの絶縁機能は絶縁体により保たれている。

なお、内部半導電層、外部半導電層は導体および遮蔽層を整形するため、遮蔽層は導体の静電誘導を低減するため、テープはケーブル全体を整形するため、シースはケーブルを外的な力から保護するための材料である。

大飯4号炉の難燃高圧CSHVケーブルの構造図を図2.1-1に示す。

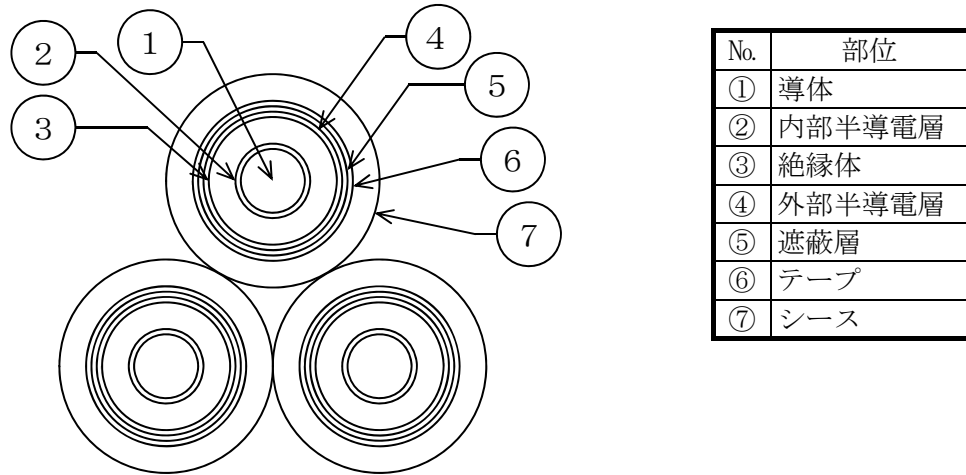


図2.1-1 大飯4号炉 難燃高圧CSHVケーブル構造図

##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉で使用している難燃高圧CSHVケーブルの使用材料および使用条件を、表2.1-1および表2.1-2に示す。

表2.1-1 大飯4号炉 難燃高圧CSHVケーブル主要部位の使用材料

部位	材料
導体	銅
内部半導電層	布テープ（カーボン含有塗料塗布） カーボン含有架橋ポリエチレン
絶縁体	架橋ポリエチレン
外部半導電層	布テープ（カーボン含有塗料塗布） カーボン含有架橋ポリエチレン
遮蔽層	銅テープ
テープ	布
シース	難燃低塩酸特殊耐熱ビニル

表2.1-2 大飯4号炉 難燃高圧CSHVケーブルの使用条件\*1

	原子炉格納容器外
設置場所	原子炉格納容器外
周囲温度	約40℃*2
放射線	$3.5 \times 10^{-4} \text{Gy/h}^{*3}$

\*1：原子炉格納容器外でのみ使用。

\*2：原子炉格納容器外の設計平均温度。

\*3：通常運転時の管理区域内の最大実測値。

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

難燃高圧CSHVケーブルの機能である電力の伝達機能を維持するためには、次の項目が必要である。

#### ① 通電・絶縁機能の維持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

難燃高圧CSHVケーブルについて、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験等を考慮し、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) 絶縁体の絶縁低下（水トリー劣化を除く）

絶縁体は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

#### (2) 絶縁体の絶縁低下（水トリー劣化）

絶縁体は有機物であり、長時間にわたって水が存在する状態で高い電界にさらされると、水トリー劣化による絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) シースの劣化

シースは絶縁体と同様に、熱的、電氣的、環境的要因による劣化が想定される。

しかしながら、ケーブルに要求される機能である通電・絶縁機能の維持に対する影響は極めて小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

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。

表2.2-1 大飯4号炉 難燃高圧CSHVケーブルに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象					備考
				絶縁低下	導通不良	減肉	割れ	その他	
通電・絶縁機能の維持	導体		銅						*1：水トリー劣化を含む *2：劣化
	内部半導電層		布テープ（カーボン含有塗料塗布） カーボン含有架橋ポリエチレン						
	絶縁体		架橋ポリエチレン	○ <sup>*1</sup>					
	外部半導電層		布テープ（カーボン含有塗料塗布） カーボン含有架橋ポリエチレン						
	遮蔽層		銅テープ						
	テープ		布						
	シース		難燃低塩酸 特殊耐熱ビニル					△ <sup>*2</sup>	

○：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（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 絶縁体の絶縁低下（水トリー劣化を除く）

#### a. 事象の説明

絶縁体は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

ケーブルの長期間の経年劣化を考慮した必要性能の評価方法は、IEEE Std.323-1974「IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations」およびIEEE Std.383-1974「IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations」（以下「IEEE Std.383-1974」という。）の規格を根幹に、我が国のケーブル耐環境試験方法推奨案として電気学会にてまとめられており、電気学会技術報告Ⅱ部第139号「原子力発電所用電線・ケーブルの環境試験方法ならびに耐延焼性試験方法に関する推奨案」には、ケーブルの加速劣化方法を含む試験条件、試験手順、ならびに判定方法が述べられている。これらに従って、高圧ケーブルの長期健全性を評価した。

図2.3-1に試験手順および判定方法を示す。

試験条件は、大飯4号炉の実機環境に基づいて60年間の運転期間を想定した劣化条件を包絡している。

難燃高圧CSHVケーブルの長期健全性試験条件ならびに長期健全性評価結果を表2.3-1および表2.3-2に示す。

評価の結果、大飯4号炉の難燃高圧CSHVケーブルは、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。

供試ケーブル

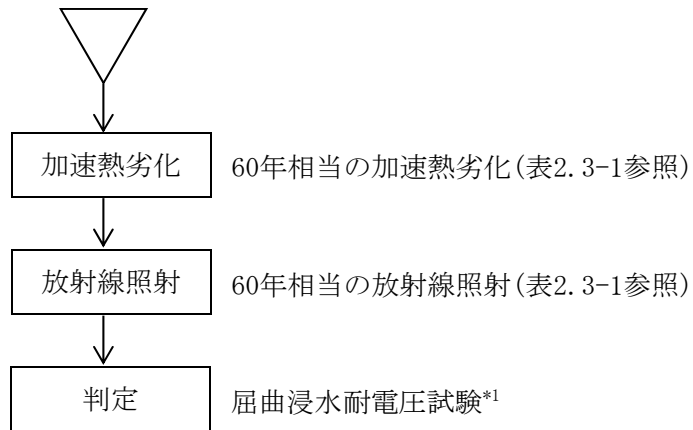


図2. 3-1 難燃高圧CSHVケーブルの長期健全性試験手順および判定方法

\*1： 屈曲浸水耐電圧試験の試験手順は以下のとおりである。

- ① 直線状に試料を伸ばした後、試料外径の約20倍のマンドレルに巻付ける。
- ② ①の両端部以外を常温の水中に浸し1時間以上放置する。
- ③ ②の状態、公称絶縁体厚さに対し交流電圧 $80V/0.0254mm^{*2}$ を5分間印加し、絶縁破壊を生じるか否かを調べる。

\*2： IEEE Std. 383-1974に基づく。



表2.3-1 難燃高圧CSHVケーブルの長期健全性試験条件

	試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件
温度	120°C－18日	92°C－18日 (=57°C*1－60年)
放射線 (集積線量)	500kGy	0.185kGy*2

\*1：原子炉格納容器外でのケーブル周囲温度（約40°C）に通電による温度上昇と若干の余裕を加えた温度として設定した。

\*2： $3.5 \times 10^{-4} [\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 0.185 \text{kGy}$

表2.3-2 難燃高圧CSHVケーブルの長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
屈曲浸水 耐電圧試験	供試体外径：59mm マンドレル径：1100mm以下 絶縁厚さ：4.0mm 課電電圧：12.8kV/5分間	良

(出典：メーカーデータ)

② 現状保全

絶縁体の絶縁低下に対しては、定期的に絶縁抵抗測定を行い、管理値以上であることの確認を行っている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、絶縁体の絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

また、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

絶縁体の絶縁低下については、現状保全項目に高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

## 2.3.2 絶縁体の絶縁低下（水トリー劣化）

### a. 事象の説明

絶縁体は有機物であり、長時間にわたって水が存在する状態で高い電界にさらされると、水トリー劣化による絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

### b. 技術評価

#### ① 健全性評価

雨水等により浸水する可能性があるものは屋外に布設しているケーブルのみであり、屋内に布設しているケーブルは、長時間にわたって水が存在する状態にさらされる可能性はない。

大飯4号炉の難燃高圧CSHVケーブルのうち、屋外に布設しているケーブルは、コンクリート製のトレンチ内に布設されているが、トレンチは中に入って内部に水が溜まっていないことを目視確認できる構造となっている。

さらに水が溜まった場合は、恒設の排水ポンプで自動的に排水することが可能となっていることから、ケーブルが長時間浸水する可能性は低く、水トリー劣化による絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、トレンチ内部の溜まり水によって高湿度環境となることを考慮すると、水トリー劣化による絶縁低下の可能性は否定できない。

#### ② 現状保全

屋外に布設している難燃高圧CSHVケーブルの絶縁体の絶縁低下（水トリー劣化）に対しては、定期的な絶縁診断として絶縁抵抗測定、直流漏洩電流測定、 $\tan \delta$  試験、シース絶縁抵抗測定、遮蔽層抵抗測定および部分放電試験を行い、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おり、点検結果の傾向に基づき取替等を検討することとしている。

また、トレンチ内の水の溜まりの有無を、定期的を目視確認している。

#### ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、長時間浸水状態となる可能性は低く、水トリー劣化による絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、高湿度環境となることを考慮すると、絶縁体の絶縁低下（水トリー劣化）の可能性は否定できない。

しかしながら、水トリー劣化による絶縁低下は絶縁診断で、浸水状態は目視確認で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

屋外に布設している難燃高圧CSHVケーブルの絶縁体の絶縁低下（水トリー劣化）については、定期的に絶縁診断を実施していくとともに、点検結果の傾向に基づき取替等を検討していく。

さらに、トレンチ内の目視確認を実施していく。

## 2 低圧ケーブル

[対象機器]

- ① 難燃PHケーブル
- ② 難燃PSHVケーブル
- ③ FPETケーブル
- ④ FPPケーブル
- ⑤ FPTFケーブル

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	3
2.1 構造、材料および使用条件 .....	3
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	6
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価 .....	10
3. 代表機器以外への展開 .....	20
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象 .....	20
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 .....	21

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

大飯4号炉で使用されている低圧ケーブルの主な仕様を表1-1に示す。

これらのケーブルを絶縁体材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す低圧ケーブルを、絶縁体材料で分類すると、合計2つのグループに分類される。

### 1.2 代表機器の選定

#### (1) 絶縁体材料：難燃エチレンプロピレンゴム

このグループには難燃PHケーブルおよび難燃PSHVケーブルが属するが、原子炉格納容器内で使用している難燃PHケーブルを代表機器とする。

#### (2) 絶縁体材料：四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂

このグループにはFPETケーブル、FPPケーブルおよびFPTFケーブルが属するが、使用範囲が最も広いFPETケーブルを代表機器とする。

表1-1 大飯4号炉 低圧ケーブルの主な仕様

分離基準	機器名称	選定基準						シース材料	代表機器の選定	
		用途	使用場所		重要度*1	使用開始時期			代表機器	選定理由
			原子炉格納容器内	原子炉格納容器外		建設時	運転開始後			
難燃エチレンプロピレンゴム	難燃PHケーブル	電力・制御・計装	○*2,5	○*3,6	MS-1、重*4	○	○	難燃クロロスルホン化ポリエチレン	◎	使用場所
	難燃PSHVケーブル	電力・制御・計装		○*3	MS-1、重*4	○		難燃低塩酸特殊耐熱ビニル		
四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂	FPETケーブル	制御		○	MS-1、重*4	○		四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂	◎	使用範囲
	FPPケーブル	計装		○	MS-1、重*4	○		四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂		
	FPTFケーブル	制御		○	MS-1、重*4		○	四フッ化エチレン・プロピレン共重合樹脂		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：設計基準事故（1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失）を考慮する。

\*3：設計基準事故（主蒸気管破断）を考慮する。

\*4：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

\*5：重大事故等（格納容器過温破損、格納容器過圧破損）を考慮する。

\*6：重大事故等（使用済燃料ピットにおける重大事故に至るおそれがある事故）を考慮する。

## 2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の2種類のケーブルについて技術評価を実施する。

- ① 難燃PHケーブル
- ② FPETケーブル

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### (1) 構造

大飯4号炉に使用している低圧ケーブルは導体、絶縁体、介在、テープ、遮蔽層およびシースで構成されている。

このうちケーブルの絶縁機能は絶縁体により保たれている。

なお、介在およびテープはケーブル全体を整形するため、遮蔽層は導体の静電誘導を低減するため、シースはケーブルを外的な力から保護するための材料である。

大飯4号炉の代表的な低圧ケーブルの構造図を図2.1-1に示す。

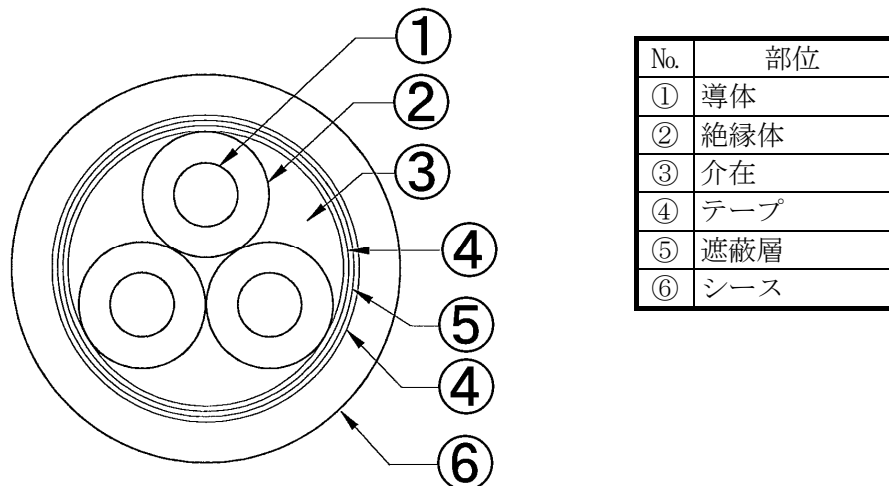


図2.1-1 大飯4号炉 代表的な低圧ケーブルの構造図

#### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉で使用している難燃PHケーブルおよびFPETケーブルの使用材料および使用条件を表2.1-1～表2.1-4に示す。



表2.1-1 大飯4号炉 難燃PHケーブル主要部位の使用材料

部位	材料
導体	銅（錫メッキ）
絶縁体	難燃エチレンプロピレンゴム
介在	ジュート
テープ	布
遮蔽層	銅テープ（錫メッキ）
シース	難燃クロロスルホン化ポリエチレン

表2.1-2 大飯4号炉 難燃PHケーブルの使用条件\*1

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時*4
設置場所	原子炉格納容器内		
周囲温度	約44℃*2	約132℃ (最高温度)	約143℃ (最高温度)
圧力	約0.0098MPa [gage] 以下	約0.31MPa [gage] (最高圧力)	約0.43MPa [gage] (最高圧力)
放射線	0.2774Gy/h*3	824kGy (最大集積線量)	500kGy (最大集積線量)

\*1：環境条件が厳しい原子炉格納容器内ケーブルを代表として記載。

\*2：設計基準事故または重大事故等を考慮する原子炉格納容器内難燃PHケーブルの通常運転時のケーブル布設箇所周囲の平均温度の最大実測値。

\*3：設計基準事故または重大事故等を考慮する原子炉格納容器内難燃PHケーブルの通常運転時のケーブル布設箇所周囲の平均線量率の最大実測値。

\*4：健全性評価上、最も厳しい重大事故等における使用条件。

表2.1-3 大飯4号炉 FPETケーブル主要部位の使用材料

部位	材料
導体	銅（錫メッキ）
絶縁体	四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂
介在	ガラス介在
テープ	テフロンテープ
遮蔽層	アルミポリエステルテープ
シース	四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂

表2.1-4 大飯4号炉 FPETケーブルの使用条件\*1

設置場所	中央制御室、継電器室	原子炉トリップ遮断器盤室
周囲温度	約26°C*2	約35°C*2
放射線	—	—

\*1：原子炉格納容器外でのみ使用。

\*2：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

低圧ケーブルの主な機能である電力や計測制御信号の伝達機能を維持するためには、次の項目が必要である。

#### ① 通電・絶縁機能の維持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

低圧ケーブル個々について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験等を考慮し、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) 絶縁体の絶縁低下 [共通]

絶縁体は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) シースの劣化 [共通]

シースは絶縁体と同様に、熱的、電氣的、環境的要因による劣化が想定される。

しかしながら、ケーブルに要求される機能である通電・絶縁機能の維持に対する影響は極めて小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

表2.2-1(1/2) 大飯4号炉 難燃PHケーブルに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象					備考
				絶縁低下	導通不良	減肉	割れ	その他	
通電・絶縁機能の維持	導体		銅（錫メッキ）						*1：劣化
	絶縁体		難燃エチレンプロピレンゴム	○					
	介在		ジュート						
	テープ		布						
	遮蔽層		銅テープ（錫メッキ）						
	シース		難燃クロロスルホン化ポリエチレン					△*1	

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/2) 大飯4号炉 FPETケーブルに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象					備考
				絶縁低下	導通不良	減肉	割れ	その他	
通電・絶縁機能の維持	導体		銅（錫メッキ）						*1：劣化
	絶縁体		四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂	○					
	介在		ガラス介在						
	テープ		テフロンテープ						
	遮蔽層		アルミポリエステルテープ						
	シース		四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂					△*1	

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

## 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 絶縁体の絶縁低下 [共通]

#### a. 事象の説明

絶縁体は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

ケーブルの長期間の経年劣化を考慮した必要性能の評価方法は、IEEE Std.323-1974「IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations」およびIEEE Std.383-1974「IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations」の規格を根幹に、我が国のケーブル耐環境試験方法推奨案として電気学会にてまとめられている。電気学会技術報告Ⅱ部第139号「原子力発電所用電線・ケーブルの環境試験方法ならびに耐延焼性試験方法に関する推奨案」（以下「電気学会推奨案」という。）には、ケーブルの加速劣化方法を含む試験条件、試験手順、ならびに判定方法が述べられており、本評価ではこれらに従って、実機同等品または実機相当品を用いて低圧ケーブルの長期健全性を評価した。

難燃PHケーブルの電気学会推奨案に基づく試験手順および判定方法を図2.3-1に示す。

難燃PHケーブルについては、実機同等品による長期健全性試験結果を用いて評価する。

難燃PHケーブルの長期健全性試験条件ならびに長期健全性試験結果を表2.3-1および表2.3-2に示す。

通常運転時の使用条件には、原子力安全・保安院指示文書「原子炉格納容器内の安全機能を有するケーブルの布設環境等の調査実施について（平成19・07・30原院第5号 平成19年10月30日 NISA-167b-07-1）」に基づき実施した原子炉格納容器内のケーブル布設環境（温度・放射線線量率）の調査結果を反映している。

試験条件は、大飯4号炉の実機環境に基づいて60年間の運転期間および設計基準事故を想定した劣化条件を包絡している。

電気学会推奨案に基づく評価の結果、大飯4号炉の難燃PHケーブルは、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。

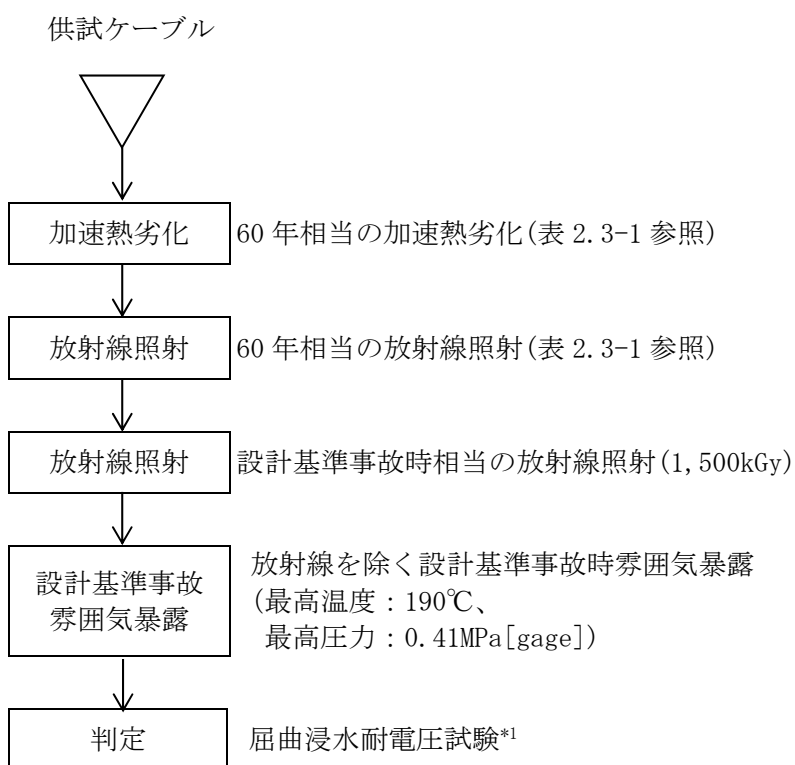


図2.3-1 難燃PHケーブルの長期健全性試験手順および判定方法

\*1： 屈曲浸水耐電圧試験の試験手順は以下のとおりである。

- ① 直線状に試料を伸ばした後、試料外径の約40倍のマンドレルに巻付ける。
- ② ①の両端部以外を常温の水中に浸し1時間以上放置する。
- ③ ②の状態、公称絶縁体厚さに対し交流電圧3.2kV/mmを5分間印加し、絶縁破壊を生じるか否かを調べる。



表2.3-1 難燃PHケーブルの長期健全性試験条件（電気学会推奨案）

		試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件または設計基準事故時の環境条件
通常運転相当	温度	140℃－9日	111℃－9日 (=56℃*1－60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (7.3kGy/h以下)	146kGy*2
設計基準事故相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (7.3kGy/h以下)	824kGy
	温度	190℃ (最高温度)	約132℃ (最高温度)
	圧力	0.41MPa[gage] (最高圧力)	約0.31MPa[gage] (最高圧力)

\*1：設計基準事故を考慮する原子炉格納容器内難燃PHケーブル布設箇所周囲の平均温度に、通電による温度上昇等を考慮した各布設エリアの温度を包絡する温度として設定した。

\*2： $0.2774[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 146\text{kGy}$

表2.3-2 難燃PHケーブルの長期健全性試験結果（電気学会推奨案）

項目	試験条件	判定
屈曲浸水 耐電圧試験	供試体外径：11.5mm マンドレル径：400mm 絶縁厚さ：0.8mm 課電電圧：2.6kV/5分間	良

[出典：関西電力研究データ]

次に、FPETケーブルについては、実機と同じ製造メーカーのケーブルで長期健全性試験を実施していないため、構造および絶縁体材料が類似している実機相当品であるFPTFケーブルの電気学会推奨案に基づく長期健全性試験結果を用いて評価する。

FPTFケーブルの電気学会推奨案に基づく試験手順および判定方法を図2.3-2に、FPTFケーブルの長期健全性試験条件ならびに長期健全性試験結果を表2.3-3および表2.3-4に示す。

評価の結果、大飯4号炉の一部のFPETケーブルについて、約46年間の運転期間において絶縁機能を維持できることが確認できたものの、60年間の供用を想定すると、絶縁低下の可能性は否定できない。

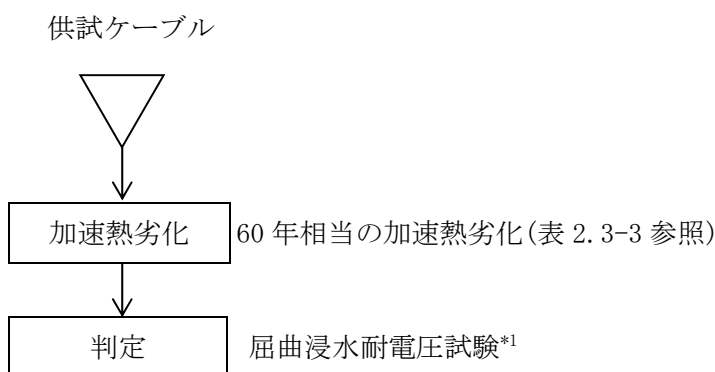


図2.3-2 FPETケーブルと構造および絶縁体材料が類似する  
FPTFケーブルの長期健全性試験手順

\*1：屈曲浸水耐電圧試験の試験手順は以下のとおりである。

- ① 直線状に試料を伸ばした後、試料外径の約20倍のマンドレルに巻付ける。
- ② ①の両端部以外を常温の水中に浸し1時間以上放置する。
- ③ ②の状態、公称絶縁体厚さに対し交流電圧3.2kV/mmを5分間印加し、絶縁破壊を生じるか否かを調べる。

表2.3-3 FPETケーブルと構造および絶縁体材料が類似する  
FPTFケーブルの長期健全性試験条件（電気学会推奨案）

	試験条件	60年間の通常運転時の 使用条件に基づく劣化条件	
温度	200℃-56日	中央制御室、継電器室	188℃-56日 (=30℃*1-60年)
		原子炉トリップ遮断器盤室	200℃-56日 (=40℃*1-46年)

\*1：原子炉格納容器外でのケーブル周囲温度（約26℃または約35℃）に若干の余裕を加えた温度として設定した。

表2.3-4 FPETケーブルと構造および絶縁体材料が類似する  
FPTFケーブルの長期健全性試験結果（電気学会推奨案）

項目	試験条件	判定
屈曲浸水 耐電圧試験	供試体外径：18.0mm マンドレル径：360mm 絶縁厚さ：0.25mm 課電電圧：0.96kV/5分間	良

[出典：電力研究データ]

また、設計基準事故時雰囲気内で機能要求があるケーブルについては、原子力安全基盤機構により原子力プラントでの使用条件に即したケーブルの経年劣化評価手法が検討され、その結果が「原子力発電所のケーブル経年劣化評価ガイド（JNES-RE-2013-2049）」（以下「ACAガイド」という。）に取りまとめられている。このため、設計基準事故時雰囲気内で機能要求がある難燃PHケーブルについては、実機同等品によるACAガイドに従った長期健全性についても評価した。

評価にあたっては、「原子力プラントのケーブル経年変化評価技術調査研究に関する最終報告書（JNES-SS-0903）」（以下「ACA」という。）の試験結果を用いた。

ACAガイドに基づく試験手順および判定方法を図2.3-3に、ACA試験条件ならびにACA試験結果を表2.3-5および表2.3-6に、ケーブル実布設環境での長期健全性評価結果を表2.3-7に示す。

評価の結果、大飯4号炉の難燃PHケーブルは運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。

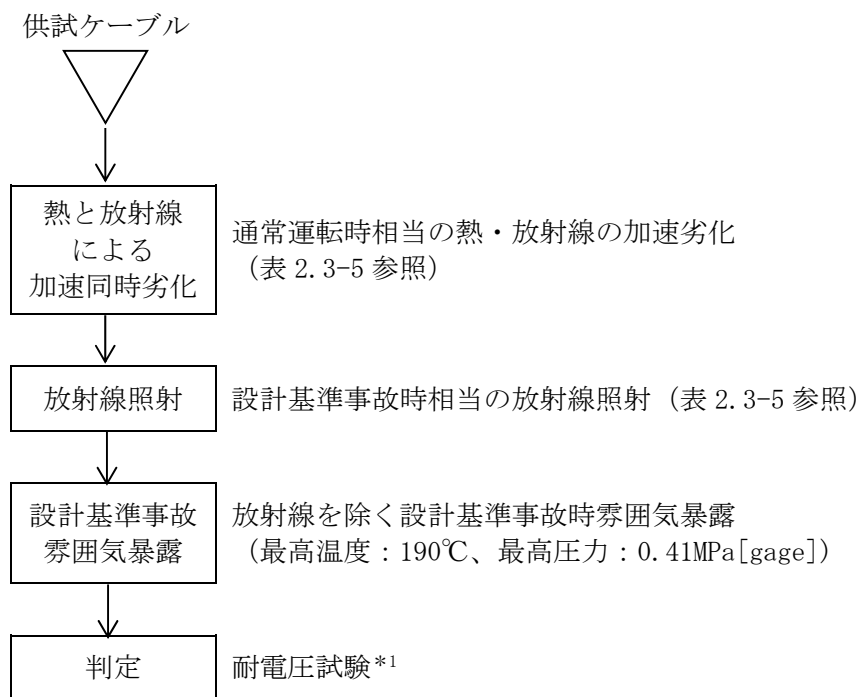


図2.3-3 難燃PHケーブルのACAガイドに基づく試験手順

\*1：耐電圧試験は、日本工業規格「ゴム・プラスチック絶縁電線試験方法」（JIS C 3005:2000）の試験

表2.3-5 難燃PHケーブルのACA試験条件

		試験条件
通常運転相当	温度 放射線	100℃－94.8Gy/h－4,003h
設計基準事故相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)
	温度	最高温度：190℃
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]

表2.3-6 難燃PHケーブルのACA試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	課電電圧：1,500V／1分間	良

[出典：原子力プラントのケーブル経年変化評価技術調査研究に関する最終報告書（JNES-SS-0903）]

表2.3-7 実布設環境での長期健全性評価結果

布設区分	実布設環境条件		評価期間 [年]*1,2	備考
	温度 [℃]	放射線量率 [Gy/h]		
ループ室	36	0.2774	73	
	44	0.1704	64	
加圧器室上部	36	0.0016	266	
通路部	56*3	0.0010	64	
	39	0.0016	213	
MS 区画*4	50*5	0.00001	101	

\*1：時間稼働率 100%での評価期間。

\*2：時間依存データの重ね合わせ手法により評価。

\*3：原子炉格納容器内でのケーブルの周囲温度（約38℃）に通電による温度上昇と若干の余裕を加えた温度として設定した。

\*4：主蒸気・主給水管室。

\*5：主蒸気・主給水管室の設計平均温度。

さらに、重大事故等時<sup>\*</sup>雰囲気内で機能要求がある難燃PHケーブルについては、重大事故等時雰囲気内での健全性を合わせて評価した。

※：新規制基準への適合性確認のための設置許可申請書「添付書類十 7章 重大事故に至るおそれがある事故及び重大事故に対する対策の有効性評価」、工事計画認可申請書「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」に基づく原子炉格納容器内の重大事故等時における各条件

難燃PHケーブルの試験手順および判定方法を図2.3-4に示す。

長期健全性試験条件ならびに長期健全性試験結果を表2.3-8および表2.3-9に示す。

試験条件は、大飯4号炉の実機環境に基づいて60年間の運転期間および重大事故等を想定した劣化条件を包絡している。

評価の結果、大飯4号炉の難燃PHケーブルは、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。

供試ケーブル

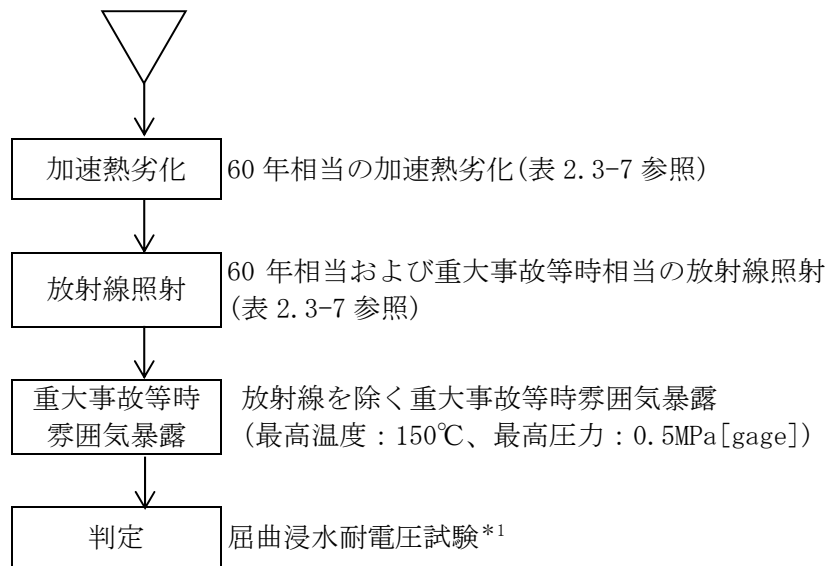


図2.3-4 難燃PHケーブルの長期健全性試験手順および判定方法

\*1：屈曲浸水耐電圧試験の試験手順は以下のとおりである。

- ① 直線状に試料を伸ばした後、試料外径の約40倍のマンドレルに巻付ける。
- ② ①の両端部以外を常温の水中に浸し1時間以上放置する。
- ③ ②の状態、公称絶縁体厚さに対し交流電圧3.2kV/mmを5分間印加し、絶縁破壊を生じるか否かを調べる。

表2.3-8 難燃PHケーブルの長期健全性試験条件（電気学会推奨案）

		試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件または重大事故等時の環境条件
通常運転相当	温度	140℃-11h	137℃-11h (=56℃ <sup>*1</sup> -60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	146kGy <sup>*2</sup>
重大事故等時相当	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	500kGy
	温度	150℃ (最高温度)	約143℃ (最高温度)
	圧力	0.5MPa[gage] (最高圧力)	約0.43MPa[gage] (最高圧力)

\*1：重大事故等時を考慮する原子炉格納容器内難燃PHケーブル布設箇所周囲の平均温度に、通電による温度上昇等を考慮した各布設エリアの温度を包絡する温度として設定した。

\*2： $0.2774[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 146\text{kGy}$

表2.3-9 難燃PHケーブルの長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
屈曲浸水 耐電圧試験	供試体外径：11.5mm マンドレル径：供試体外径の約40倍 絶縁厚さ：0.8mm 課電電圧：2.6kV/5分間	良

[出典：電力共同委託「SA時の計装品の耐環境性能評価委託2014年度」]

② 現状保全

絶縁体の絶縁低下に対しては、制御・計装用ケーブルについては、定期的に系統機器の動作に異常のないことを確認し、絶縁低下による機能低下のないことを確認している。

電力用ケーブルについては、定期的に絶縁抵抗測定を行い、管理値以上であることの確認を行っている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、難燃PHケーブルについては、絶縁体の絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

FPETケーブルについては絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

難燃PHケーブルの絶縁体の絶縁低下については、現状保全項目に高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

また、FPETケーブルの絶縁体の絶縁低下については、定期的に系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定を実施していく。



### 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となっていないケーブルへの展開について検討した。さらに、代表機器と構造および絶縁体材料が類似するケーブル（製造メーカーが異なるケーブル等）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 難燃PSHVケーブル
- ② FPPケーブル
- ③ FPTFケーブル
- ④ 難燃PHケーブルー1（代表機器と製造メーカーが異なる難燃PHケーブル）

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

##### 3.1.1 絶縁体の絶縁低下 [共通]

設計基準事故時雰囲気内で機能要求がある難燃PHケーブルー1については、代表機器の難燃PHケーブルと同様、実機同等品による電気学会推奨案に基づく長期健全性試験結果を用いて評価した結果、60年間の運転期間および設計基準事故後においても絶縁機能を維持できると判断する。

また、設計基準事故時雰囲気内で機能要求がある難燃PHケーブルー1については、代表機器と同様、ACAガイドに従った長期健全性試験を用いて評価した結果、約50年間の運転期間および設計基準事故後においても絶縁機能を維持できることが確認できたものの、60年間の供用を想定すると、絶縁低下の可能性は否定できない。

次に、設計基準事故時雰囲気内で機能要求がある難燃PSHVケーブルについては、絶縁体種類が同一でシース種類が異なる難燃PHケーブルー1の電気学会推奨案に基づく長期健全性試験結果を用いて評価した結果、60年間の運転期間および設計基準事故後においても絶縁機能を維持できると判断する。

また、設計基準事故時雰囲気内で機能要求がある難燃PSHVケーブルについては、難燃PHケーブルー1のACAガイドに従った長期健全性試験結果を用いて評価した結果、約50年間の運転期間および設計基準事故後においても絶縁機能を維持できることが確認できたものの、60年間の供用を想定すると、絶縁低下の可能性は否定できない。

また、事故時雰囲気内で機能要求がないFPPケーブルおよびFPTFケーブルにつ

いては、構造および絶縁体材料が類似している実機相当品を用い、電気学会推奨案に基づく長期健全性試験結果を用いて評価した結果、60年間の運転期間後においても絶縁低下の可能性は小さいと考える。

これらのケーブルの絶縁低下は、系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、難燃PSHVケーブル、FPPケーブル、FPTFケーブルおよび難燃PHケーブル-1の絶縁体の絶縁低下については、定期的に系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定を実施していく。

### 3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### 3.2.1 シースの劣化 [共通]

シースは絶縁体と同様に、熱的、電氣的、環境的要因による劣化が想定される。

しかしながら、ケーブルに要求される機能である通電・絶縁機能の維持に対する影響は極めて小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

## 3 同軸ケーブル

[対象機器]

- ① 難燃三重同軸ケーブルー 1
- ② 難燃三重同軸ケーブルー 2
- ③ 難燃性耐熱高周波同軸ケーブル

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	3
2.1 構造、材料および使用条件 .....	3
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	5
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価 .....	8
3. 代表機器以外への展開 .....	16
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象 .....	16
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 .....	17

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

大飯4号炉で使用されている同軸ケーブルの主な仕様を表1-1に示す。

これらのケーブルを絶縁体材料の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す同軸ケーブルを、絶縁体材料で分離すると、1つのグループに分類される。

### 1.2 代表機器の選定

#### (1) 絶縁体材料：架橋ポリエチレン

このグループには難燃三重同軸ケーブルー1、難燃三重同軸ケーブルー2および難燃性耐熱高周波同軸ケーブルが属するが、重要度が高く、設計基準事故を考慮すべき難燃三重同軸ケーブルー1を代表機器とする。

表1-1 大飯4号炉 同軸ケーブルの主な仕様

分離基準	機器名称	選定基準						シース材料		代表機器の選定	
		用途	使用場所		重要度*1	使用開始時期		内部シース	外部シース	代表機器	選定理由
			原子炉格納容器内	原子炉格納容器外		建設時	運転開始後				
架橋ポリエチレン	難燃三重同軸ケーブルー1	計装	○*2、4	○	MS-1、重*3	○		架橋ポリエチレン	難燃架橋ポリエチレン	◎	重要度、使用場所（設計基準事故を考慮する）
	難燃三重同軸ケーブルー2	計装	○	○	MS-1、重*3	○		架橋ポリエチレン	四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂		
	難燃性耐熱高周波同軸ケーブル	計装		○	重*3		○	—	難燃低塩酸耐熱ビニルシース		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：設計基準事故（1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失）を考慮する。

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

\*4：重大事故等（格納容器過温破損、格納容器過圧破損）を考慮する。

## 2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の1種類のケーブルについて技術評価を実施する。

### ① 難燃三重同軸ケーブルー1

#### 2.1 構造、材料および使用条件

##### (1) 構造

大飯4号炉に使用している同軸ケーブルは内部導体、絶縁体、外部導体、内部シース、遮蔽体および外部シースで構成されている。

このうち同軸ケーブルの絶縁機能は絶縁体および内部シースにより保たれている。なお、遮蔽体は導体の静電誘導を低減するため、外部シースはケーブルを外的な力から保護するための材料である。

大飯4号炉の代表的な同軸ケーブルの構造図を図2.1-1に示す。

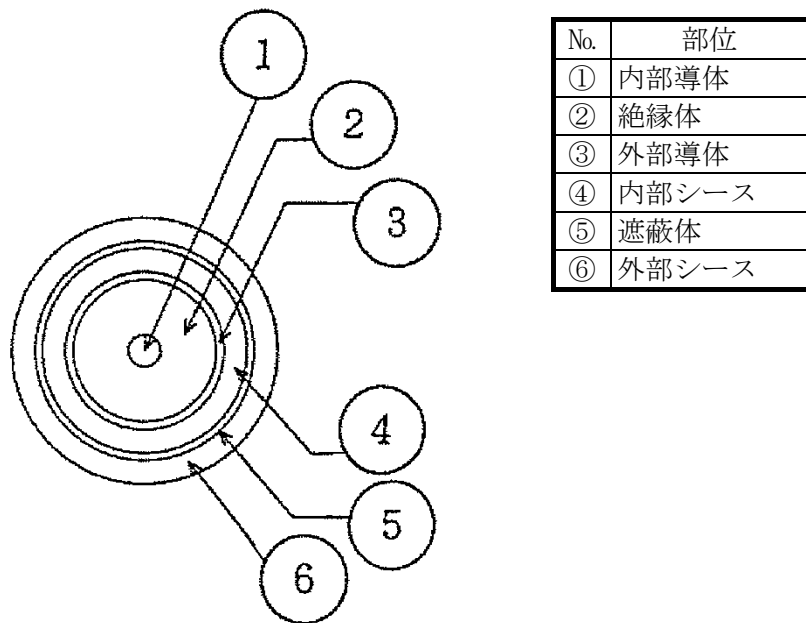


図2.1-1 大飯4号炉 代表的な同軸ケーブルの構造図

##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉で使用している難燃三重同軸ケーブルー1の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

表2. 1-1 大飯 4 号炉 難燃三重同軸ケーブルー 1 主要部位の使用材料

部位	材料
内部導体	銅（錫メッキ）
絶縁体	架橋ポリエチレン
外部導体	銅線編組（錫メッキ）
内部シース	架橋ポリエチレン
遮蔽体	銅線編組（錫メッキ）
外部シース	難燃架橋ポリエチレン

表2. 1-2 大飯 4 号炉 難燃三重同軸ケーブルー 1 の使用条件\*1

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時*4
設置場所	原子炉格納容器内		
周囲温度	約42℃*2	約 132℃ (最高温度)	約143℃ (最高温度)
圧力	約0.0098MPa [gage] 以下	約 0.31MPa [gage] (最高圧力)	約0.43MPa [gage] (最高圧力)
放射線	0.2774Gy/h*3	824kGy (最大集積線量)	500kGy (最大集積線量)

\*1：環境条件が厳しい原子炉格納容器内ケーブルを代表として記載。

\*2：設計基準事故または重大事故等を考慮する原子炉格納容器内難燃三重同軸ケーブルー 1 の通常運転時のケーブル布設箇所周囲の平均温度の最大実測値。

\*3：設計基準事故または重大事故等を考慮する原子炉格納容器内難燃三重同軸ケーブルー 1 の通常運転時のケーブル布設箇所周囲の平均線量率の最大実測値。

\*4：健全性評価上、最も厳しい重大事故等における使用条件。



## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

同軸ケーブルの主な機能である計測制御信号の伝達機能を維持するためには、次の項目が必要である。

#### ① 通電・絶縁機能の維持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

同軸ケーブルについて、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験等を考慮し、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) 絶縁体および内部シースの絶縁低下

絶縁体および内部シースは有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) 外部シースの劣化

外部シースは絶縁体と同様に、熱的、電氣的、環境的要因による劣化が想定される。

しかしながら、ケーブルに要求される機能である通電・絶縁機能の維持に対する影響は極めて小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

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。

表2.2-1 大飯4号炉 難燃三重同軸ケーブルー1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
				絶縁低下	導通不良	減肉	割れ	その他	
通電・絶縁機能の維持	内部導体		銅（錫メッキ）						*1：劣化
	絶縁体		架橋ポリエチレン	○					
	外部導体		銅線編組（錫メッキ）						
	内部シース		架橋ポリエチレン	○					
	遮蔽体		銅線編組（錫メッキ）						
	外部シース		難燃架橋ポリエチレン					△*1	

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

## 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 絶縁体および内部シースの絶縁低下

#### a. 事象の説明

絶縁体および内部シースは有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

ケーブルの長期間の経年劣化を考慮した必要性能の評価方法は、IEEE Std.323-1974「IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations」およびIEEE Std.383-1974「IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations」の規格を根幹に、我が国のケーブル耐環境試験方法推奨案として電気学会にてまとめられている。電気学会技術報告Ⅱ部第139号「原子力発電所用電線・ケーブルの環境試験方法ならびに耐延焼性試験方法に関する推奨案」（以下「電気学会推奨案」という。）には、ケーブルの加速劣化方法を含む試験条件、試験手順、ならびに判定方法が述べられており、本評価ではこれらに従って、実機同等品を用いて同軸ケーブルの長期健全性を評価した。

難燃三重同軸ケーブルー1の電気学会推奨案に基づく試験手順および判定方法を図2.3-1に示す。

難燃三重同軸ケーブルー1については、実機同等品による長期健全性試験結果を用いて評価する。

難燃三重同軸ケーブルー1の長期健全性試験条件ならびに長期健全性試験結果を表2.3-1および表2.3-2に示す。

通常運転時の使用条件には、原子力安全・保安院指示文書「原子炉格納容器内の安全機能を有するケーブルの布設環境等の調査実施について（平成19・07・30原院第5号 平成19年10月30日 NISA-167b-07-1）」に基づき実施した原子炉格納容器内のケーブル布設環境（温度・放射線線量率）の調査結果を反映している。

試験条件は、大飯4号炉の実機環境に基づいて60年間の運転期間および設計基準事故を想定した劣化条件を包絡している。

電気学会推奨案に基づく評価の結果、大飯4号炉の難燃三重同軸ケーブルー1は、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。

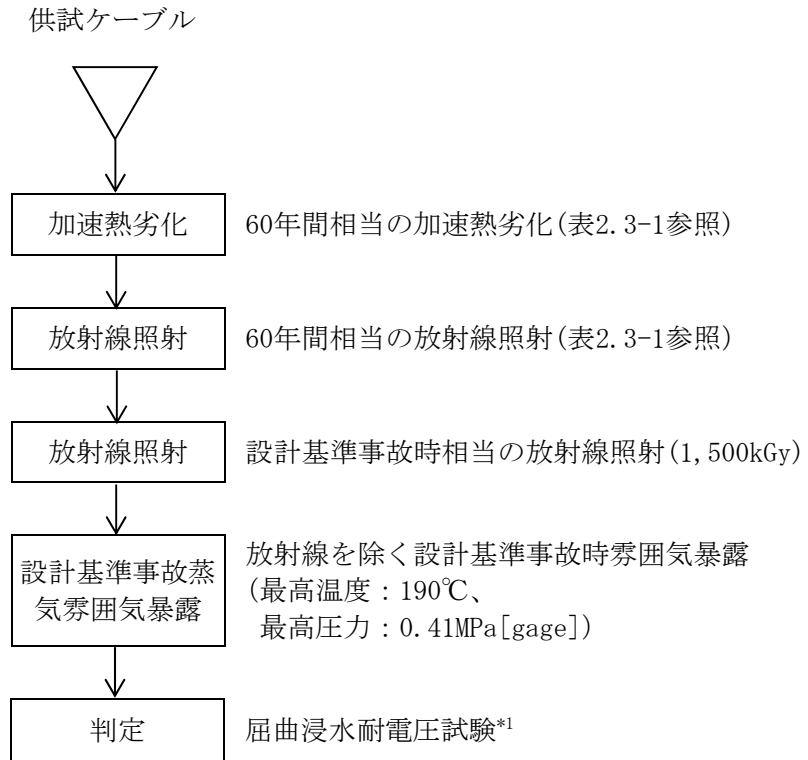


図2.3-1 難燃三重同軸ケーブルー1の長期健全性試験手順および判定方法

\*1: 屈曲浸水耐電圧試験の試験手順は以下のとおりである。

- ① 直線状に試料を伸ばした後、試料外径の約40倍のマンドレルに巻付ける。
- ② ①の両端部以外を常温の水中に浸し1時間以上放置する。
- ③ ②の状態、公称絶縁体厚さに対し交流電圧3.2kV/mmを5分間印加し、絶縁破壊を生じるか否かを調べる。

表2.3-1 難燃三重同軸ケーブルー1の長期健全性試験条件（電気学会推奨案）

		試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件または設計基準事故時の環境条件
通常運転相当	温度	121℃－7日	79℃－7日 (=42℃－60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	146kGy*1
設計基準事故相当	放射線 (集積線量)	1, 500kGy (10kGy/h以下)	824kGy
	温度	190℃ (最高温度)	約132℃ (最高温度)
	圧力	0.41MPa [gage] (最高圧力)	約0.31MPa [gage] (最高圧力)

\*1 :  $0.2774[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 146\text{kGy}$

表2.3-2 難燃三重同軸ケーブルー1の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
屈曲浸水 耐電圧試験	供試体外径 : 11.5mm マンドレル径 : 500mm 絶縁厚さ : 2.9mm 課電電圧 : 9.7kV/5分間	良

(出典：メーカーデータ)

また、設計基準事故時雰囲気内で機能要求があるケーブルについては、原子力安全基盤機構により原子力プラントでの使用条件に即したケーブルの経年劣化評価手法が検討され、その結果が「原子力発電所のケーブル経年劣化評価ガイド（JNES-RE-2013-2049）」（以下「ACAガイド」という。）に取りまとめられている。このため、設計基準事故時雰囲気内で機能要求がある難燃三重同軸ケーブルー1については、実機同等品によるACAガイドに従った長期健全性についても評価した。

評価にあたっては、「原子力プラントのケーブル経年変化評価技術調査研究に関する最終報告書（JNES-SS-0903）」（以下「ACA」という。）の試験結果を用いた。

ACAガイドに基づく試験手順および判定方法を図2.3-2に、ACA試験条件ならびにACA試験結果を表2.3-3および表2.3-4に、ケーブル実布設環境での長期健全性評価結果を表2.3-5に示す。

評価の結果、大飯4号炉の難燃三重同軸ケーブル1は運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。

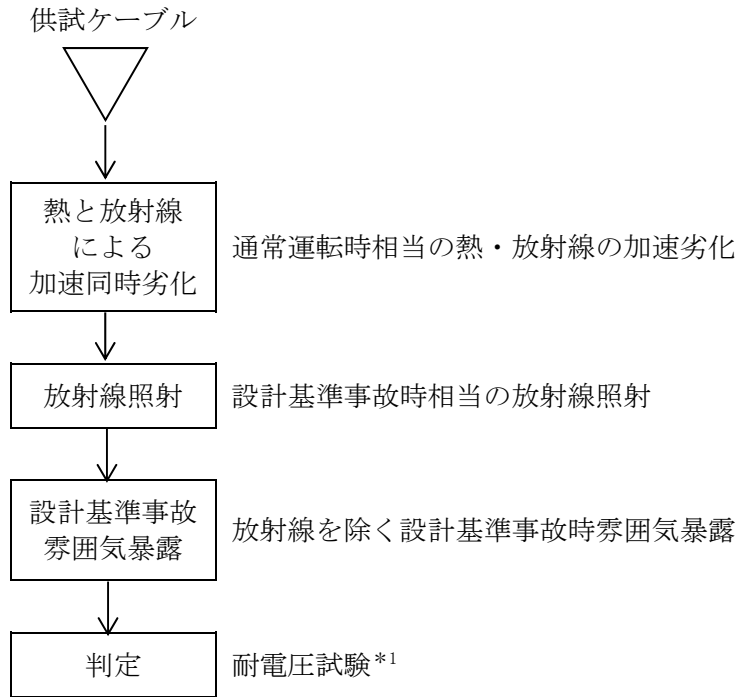


図2.3-2 難燃三重同軸ケーブル1のACAガイドに基づく試験手順

\*1：耐電圧試験は、日本工業規格「ゴム・プラスチック絶縁電線試験方法」（JIS C 3005:2000）の試験

表 2.3-3 難燃三重同軸ケーブル 1 の ACA 試験条件

		試験条件
通常運転相当	温度 放射線	100°C - 98.9Gy/h - 5,686h
設計基準事故相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h 以下)
	温度	最高温度 : 190°C
	圧力	最高圧力 : 0.41MPa [gage]

表 2.3-4 難燃三重同軸ケーブル 1 の ACA 試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	課電電圧 : C-1S 間 10kV / 1 分間 1S-2S 間 2kV / 1 分間	良

[出典 : 原子力プラントのケーブル経年変化評価技術調査研究に関する最終報告書 (JNES-SS-0903)]

表 2.3-5 実布設環境での長期健全性評価結果

布設区分	実布設環境条件		評価期間 [年] *1,2
	温度 [°C]	放射線量率 [Gy/h]	
ループ室	42	0.1657	123
	35	0.2774	134
通路部	34	0.0016	364

\*1 : 時間稼働率 100% での評価期間。

\*2 : 時間依存データの重ね合わせ手法により評価。



さらに、重大事故等時<sup>\*</sup>雰囲気内で機能要求がある難燃三重同軸ケーブル-1については、重大事故等時雰囲気内での健全性を合わせて評価した。

※：新規制基準への適合性確認のための設置許可申請書「添付書類十 7章 重大事故に至るおそれがある事故及び重大事故に対する対策の有効性評価」、工事計画認可申請書「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」に基づく原子炉格納容器内の重大事故等時における各条件

難燃三重同軸ケーブル-1の試験手順および判定方法を図2.3-3に示す。

長期健全性試験条件ならびに長期健全性試験結果を表2.3-6および表2.3-7に示す。

試験条件は、大飯4号炉の実機環境に基づいて60年間の運転期間および重大事故等を想定した劣化条件を包絡している。

評価の結果、大飯4号炉の難燃三重同軸ケーブル-1は、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。

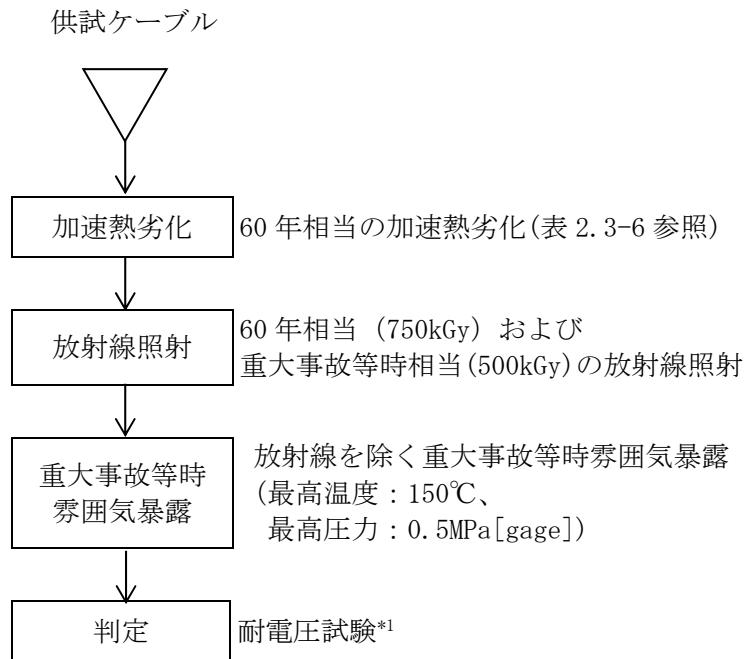


図2.3-3 難燃三重同軸ケーブル-1の長期健全性試験手順および判定方法

\*1 耐電圧試験：規定電圧を規定時間印加し、絶縁破壊を生じるか否かを調べる。

表2.3-6 難燃三重同軸ケーブル-1の長期健全性試験条件（電気学会推奨案）

		試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件または重大事故等時の環境条件
通常運転相当	温度	113℃-255h	77℃-255h (=42℃-60年)
	放射線 (集積線量)	750kGy (10kGy/h以下)	146kGy*1
重大事故等時相当	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	500kGy
	温度	150℃ (最高温度)	約143℃ (最高温度)
	圧力	0.5MPa[gage] (最高圧力)	約0.43MPa[gage] (最高圧力)

\*1 :  $0.2774[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 146\text{kGy}$

表2.3-7 難燃三重同軸ケーブル-1の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	C-I間 DC3,000V 1分 I-O間 DC 500V 1分	良

[出典：電力共同委託「高レンジエリアモニタ及び三重同軸ケーブル・コネクタに関わる耐環境性能評価委託2014年度」]

② 現状保全

絶縁体および内部シースの絶縁低下に対しては、定期的に絶縁抵抗測定を行い、管理値以上であることの確認を行っている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、難燃三重同軸ケーブル 1 については、絶縁体および内部シースの絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

c. 高経年化への対応

難燃三重同軸ケーブル 1 の絶縁体および内部シースの絶縁低下については、現状保全項目に高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

### 3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表となっていないケーブル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 難燃三重同軸ケーブルー2
- ② 難燃性耐熱高周波同軸ケーブル

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

##### 3.1.1 絶縁体〔共通〕および内部シース〔難燃三重同軸ケーブルー2〕の絶縁低下

事故時雰囲気内で機能要求がない難燃三重同軸ケーブルー2については、構造および絶縁体材料が類似している実機相当品を用い、電気学会推奨案に基づく長期健全性試験を行った結果、運転開始後60年時点においても絶縁低下の可能性は小さいと考える。

また、難燃三重同軸ケーブルー2の絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、難燃三重同軸ケーブルー2の絶縁体および内部シースの絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

また、事故時雰囲気内で機能要求がない難燃性耐熱高周波同軸ケーブルについては、電気学会推奨案に基づく長期健全性試験を実施していないため、絶縁低下の可能性は否定できないが、用途が計装用のみで通電による温度上昇はごく僅かであることから、絶縁低下の可能性は小さいと考える。

また、難燃性耐熱高周波同軸ケーブルの絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、難燃性耐熱高周波同軸ケーブルの絶縁体の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

### 3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### 3.2.1 外部シース [難燃三重同軸ケーブルー2] およびシース [難燃性耐熱高周波同軸ケーブル] の劣化

外部シースおよびシースは絶縁体と同様に、熱的、電氣的、環境的要因による劣化が想定される。

しかしながら、ケーブルに要求される機能である通電・絶縁機能の維持に対する影響は極めて小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

## 4 光ファイバケーブル

[対象機器]

- ① 難燃光ファイバケーブル

## 目次

1. 技術評価対象機器 .....	1
2. 難燃光ファイバケーブルの技術評価 .....	2
2.1 構造、材料および使用条件 .....	2
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	4

1. 技術評価対象機器

大飯4号炉で使用されている光ファイバケーブルの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 大飯4号炉 光ファイバケーブルの主な仕様

機器名称	用途	使用場所		重要度*1	使用開始時期	
		原子炉 格納容器内	原子炉 格納容器外		建設時	運転 開始後
難燃光ファイバケーブル	計装		○	MS-1		○

\*1：機能は最上位の機能を示す。



## 2. 難燃光ファイバケーブルの技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### (1) 構造

大飯4号炉に使用している光ファイバケーブルは光ファイバ心線、補強繊維、コード外被、介在紐、テンションメンバ、押えテープおよびシースで構成されている。

このうち光ファイバケーブルの伝送機能は、光ファイバ心線を外的な力および透湿から保護するコード外被、シースにより保たれている。

なお、補強繊維、介在紐、テンションメンバおよび押えテープはケーブル全体の整形および機械的強度を確保するための材料である。

大飯4号炉の代表的な光ファイバケーブルの構造図を図2.1-1に示す。

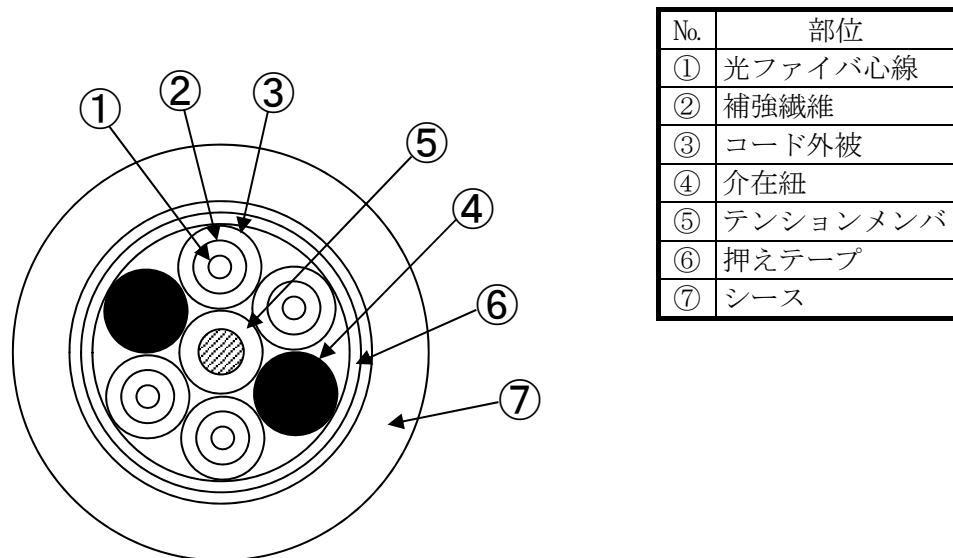


図2.1-1 大飯4号炉 代表的な光ファイバケーブルの構造図

#### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉で使用している難燃光ファイバケーブルの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

表2.1-1 大飯4号炉 難燃光ファイバケーブル主要部位の使用材料

部位	材料
光ファイバ心線	石英ガラス（コア、クラッド）、シリコン+ポリアミド（被覆）
補強繊維	アラミド繊維
コード外被	難燃低塩酸ビニル
介在紐	難燃低塩酸ビニル紐
テンションメンバ	鋼（亜鉛メッキ）、プラスチック（被覆）
押えテープ	プラスチック
シース	難燃低塩酸ビニル、アルミラミネートテープ

表2.1-2 大飯4号炉 難燃光ファイバケーブルの使用条件\*1

設置場所	原子炉格納容器外
周囲温度	約26℃*2

\*1：原子炉格納容器外でのみ使用

\*2：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

難燃光ファイバケーブルの主な機能である計測制御信号の伝達機能を維持するためには、次の項目が必要である。

#### ① 伝送光量の維持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

光ファイバケーブルについて、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験等を考慮し、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、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) コード外被、シースおよび心線被覆の劣化

コード外被、シースおよび心線被覆はケーブルやコードとしての構造の保持、外的な力等からの保護等の被覆材としての機能を有する。

コード外被、シースおよび心線被覆が熱的および環境的要因で劣化して光ファイバ心線（コア、クラッド）に水素や水分が混入した場合、伝送光量が減少することが想定される。

しかしながら、水素や水分を透過し難いシース構造であること、かつ自ら水素を発生することのないケーブル構成材料が使用されていること、およびケーブルは室内の空調環境下に布設されており、外部からの水分混入は考え難い。

また、ケーブルに要求される伝送光量の維持に対する影響は極めて小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、本ケーブルの伝送光量は常時監視されており、仮に伝送機能に影響を及ぼすレベルまで光量が減少した場合には、中央制御室へ警報を発信するが、これまでの運転中に光量低下による警報発信実績はない。

表2.2-1 大飯4号炉 難燃光ファイバケーブルに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	材料	経年劣化事象					備考
			絶縁低下	導通不良	減肉	割れ	その他	
伝送光量の維持	光ファイバ心線	石英ガラス（コア、クラッド）						*1：劣化に伴う光ファイバ心線（コア、クラッド）の伝送光量減少
		シリコン+ポリアミド（被覆）					△*1	
	補強繊維	アラミド繊維						
	コード外被	難燃低塩酸ビニル					△*1	
	介在紐	難燃低塩酸ビニル紐						
	テンションメンバ	鋼（亜鉛メッキ）、プラスチック（被覆）						
	押えテープ	プラスチック						
	シース	難燃低塩酸ビニル、アルミラミネートテープ					△*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）

## 5 ケーブルトレイ等

[対象機器]

- ① ケーブルトレイ
- ② 電線管

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	2
2.1 構造、材料および使用条件 .....	2
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	9

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

大飯4号炉でケーブルの支持および収納器材として使用されているケーブルトレイ等の主な仕様を表1-1に示す。

これらのケーブルトレイ等を型式の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すケーブルトレイ等を、型式で分離すると、合計2つのグループに分類される。

### 1.2 代表機器の選定

#### (1) 型式：トレイ式

このグループにはケーブルトレイのみが属するため、ケーブルトレイを代表機器とする。

#### (2) 型式：管式

このグループには電線管のみが属するため、電線管を代表機器とする。

表1-1 大飯4号炉 ケーブルトレイ等の主な仕様

分離基準	機器名称	仕様 [機能]	選定	選定理由
型式				
トレイ式	ケーブルトレイ	ケーブルを収納して支持する	◎	
管式	電線管	ケーブルを収納して支持する	◎	

注：使用場所、重要度等は収納するケーブルによる。



## 2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の2種類のケーブルトレイ等について、技術評価を実施する。

- ① ケーブルトレイ
- ② 電線管

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 ケーブルトレイ

##### (1) 構造

大飯4号炉に使用しているケーブルトレイは、鋼材、ベースプレートを溶接により架台状に製作し、その上にケーブルトレイ（本体）を溶接した構造となっている。

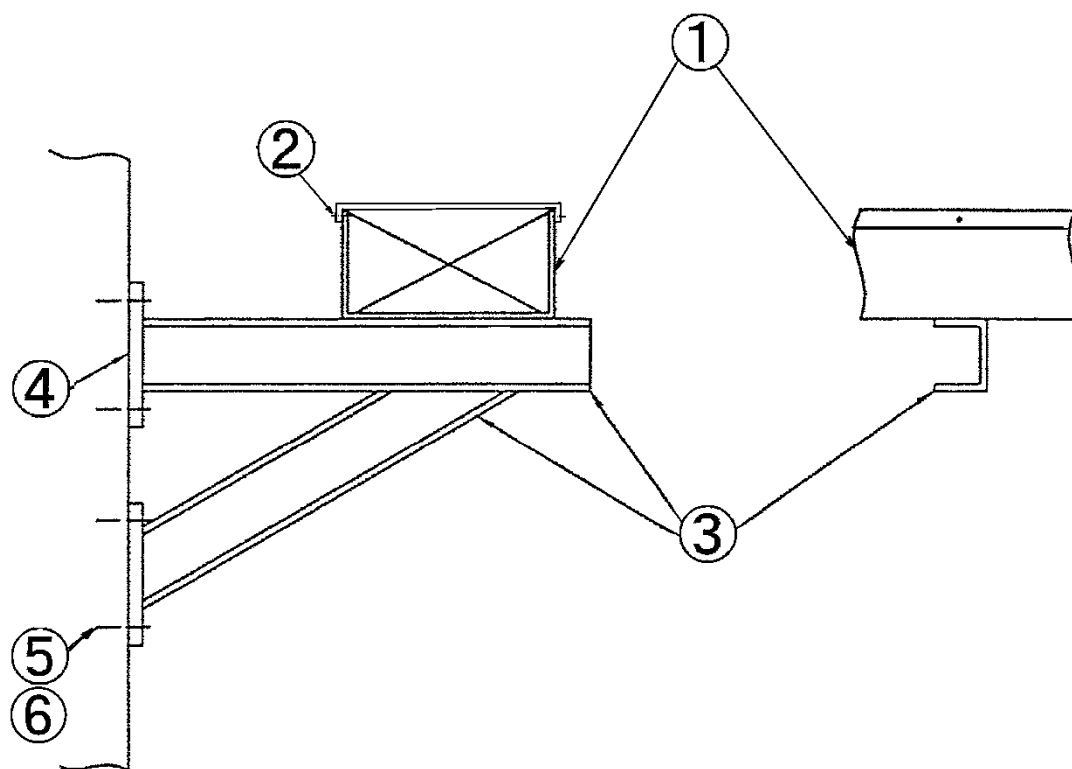
また、ベースプレートは基礎ボルトあるいは埋込金物への溶接にて支持する構造としている。

大飯4号炉のケーブルトレイの構造図の例を図2.1-1に示す。

##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉のケーブルトレイの使用材料の例を表2.1-1に示す。

使用条件については、屋内・外に設置している。



側面図

正面図

No.	部位
①	ケーブルトレイ(本体)
②	取付ボルト
③	鋼材
④	ベースプレート
⑤	基礎ボルト
⑥	埋込金物

図2.1-1 大飯4号炉 ケーブルトレイ構造図の例

表2.1-1 大飯4号炉 ケーブルトレイ主要部位の使用材料の例

部位	材料
ケーブルトレイ(本体)	炭素鋼
取付ボルト	炭素鋼
鋼材	炭素鋼
ベースプレート	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
基礎ボルト (ケミカルアンカ)	炭素鋼、樹脂
埋込金物	炭素鋼

## 2.1.2 電線管

### (1) 構造

大飯4号炉に使用している電線管は、鋼材、ベースプレートを溶接により架台状に製作し、その上にボルトにてユニバーサルチャンネルを取り付け、電線管(本体)をユニバーサルクランプにて挟み込んだ構造、または電線管(本体)をUボルトまたはUバンドにて挟み込んだ構造となっている。

電線管の延長は、ねじ無しカップリングにて実施している。

また、ベースプレートは基礎ボルトあるいは埋込金物への溶接にて支持する構造としている。

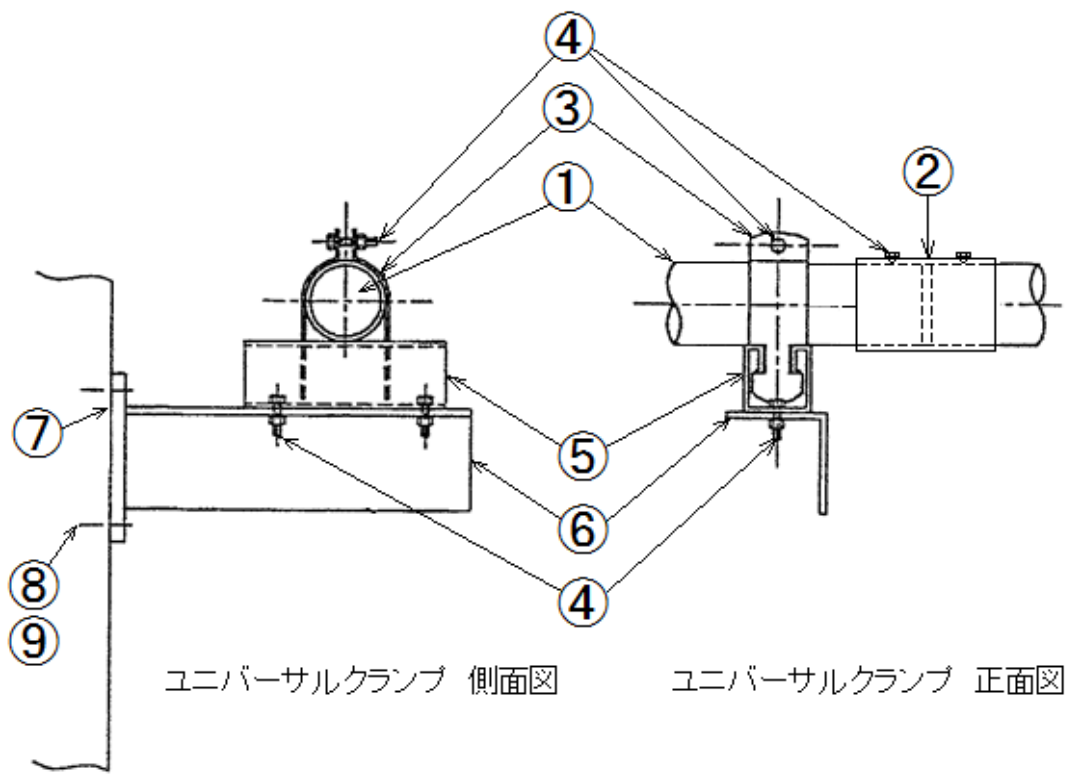
なお、電線管(本体)をコンクリートに直接埋設する構造もある。

大飯4号炉の電線管の構造図の例を図2.1-2および図2.1-3に示す。

### (2) 材料および使用条件

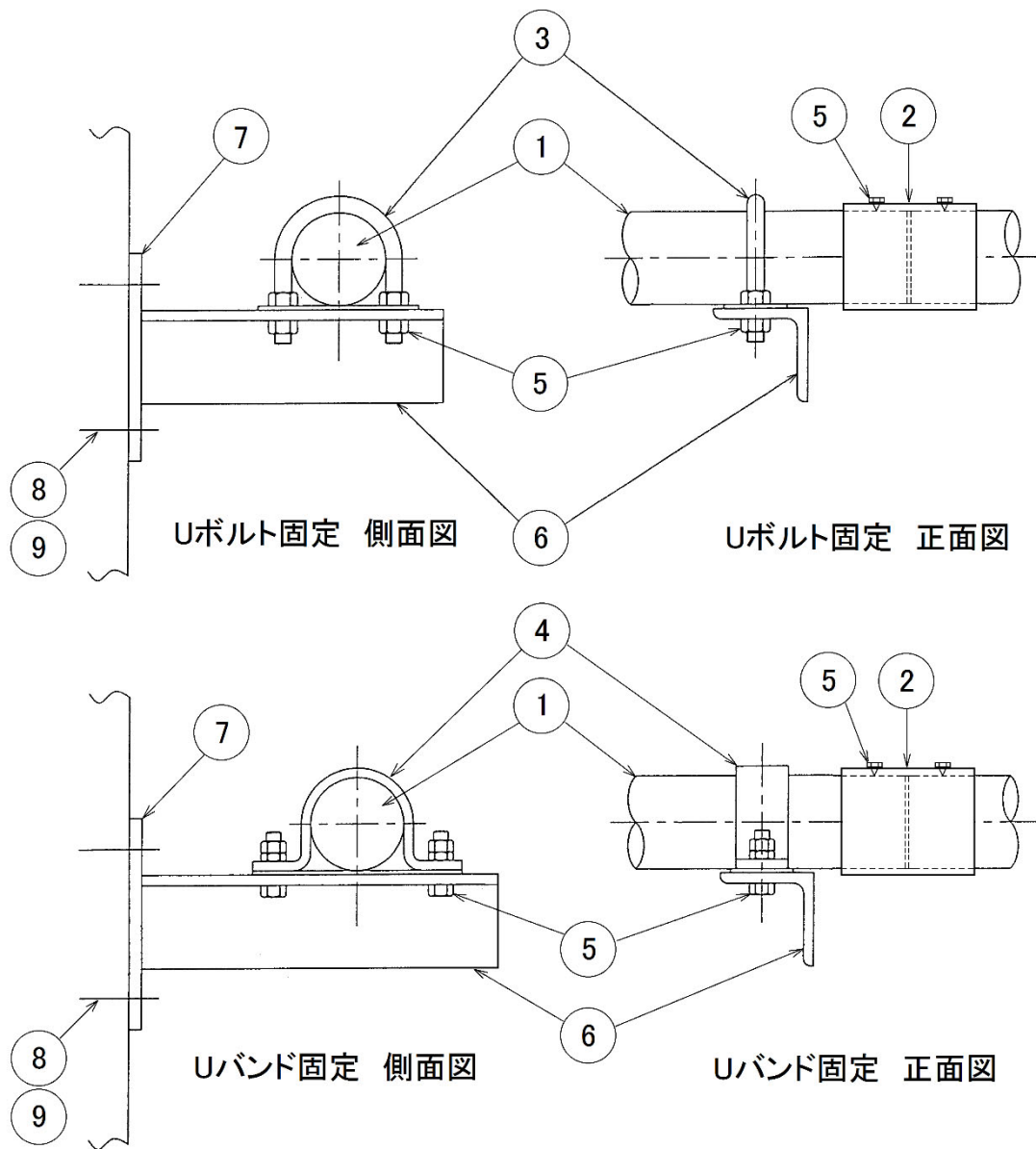
大飯4号炉の電線管の使用材料の例を表2.1-2に示す。

使用条件については、屋内・外に設置している。



No.	部位
①	電線管(本体)
②	カップリング
③	ユニバーサルクランプ
④	ボルト、ナット
⑤	ユニバーサルチャンネル
⑥	鋼材
⑦	ベースプレート
⑧	基礎ボルト
⑨	埋込金物

図2.1-2 大飯4号炉 電線管構造図の例 (ユニバーサルクランプ)



No.	部位
①	電線管(本体)
②	カップリング
③	Uボルト
④	Uバンド
⑤	ボルト、ナット
⑥	鋼材
⑦	ベースプレート
⑧	基礎ボルト
⑨	埋込金物

図2.1-3 大飯4号炉 電線管構造図の例 (Uボルト、Uバンド)

表2.1-2 大飯4号炉 電線管主要部位の使用材料の例

部位	材料
電線管(本体)	炭素鋼
カップリング	炭素鋼
ユニバーサルクランプ	炭素鋼
Uボルト	炭素鋼
Uバンド	炭素鋼
ボルト、ナット	炭素鋼
ユニバーサルチャンネル	炭素鋼
鋼材	炭素鋼
ベースプレート	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
基礎ボルト (ケミカルアンカ)	炭素鋼、樹脂
埋込金物	炭素鋼

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

ケーブルトレイ等の主な機能であるケーブルの伝達機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① ケーブルの支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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



### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

#### (1) ケーブルトレイ（本体）等の腐食（全面腐食） [共通]

ケーブルトレイ（本体）、取付ボルト、鋼材、ベースプレート、ユニバーサルクランプ、Uボルト、Uバンド、ボルト、ナットおよびユニバーサルチャンネルは炭素鋼であり、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、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

- (2) 電線管（本体）およびカップリングの外表面からの腐食（全面腐食） [電線管]  
電線管（本体）およびカップリングは炭素鋼であり、外表面からの腐食が想定される。

しかしながら、外表面については塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

- (3) 埋込金物（大気接触部）の腐食（全面腐食） [共通]

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

- (4) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）および樹脂の劣化 [共通]

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。また、ケミカルアンカには樹脂を使用しており、劣化が想定される。

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

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) 電線管（本体）およびカップリングの内面からの腐食（全面腐食） [電線管]  
電線管（本体）およびカップリングは炭素鋼であり、内面からの腐食が想定される。

しかしながら、内面については、亜鉛メッキにより腐食を防止している。

また、内装物はケーブルのみであり、メッキ面への外力は加わらないため亜鉛メッキが剥がれることはなく、外面と比較して環境条件が緩やかであるため腐食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。

- (6) 埋込金物および電線管（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食） [共通]

コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物および電線管に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

表2.2-1(1/2) 大飯4号炉 ケーブルトレイ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		
ケーブルの支持	ケーブルトレイ(本体)		炭素鋼		△						*1:樹脂の劣化 *2:大気接触部 *3:コンクリート埋設部
	取付ボルト		炭素鋼		△						
	鋼材		炭素鋼		△						
	ベースプレート		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						
	基礎ボルト(ケミカルアンカ)		炭素鋼、樹脂		△					△*1	
	埋込金物		炭素鋼		△*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（日常劣化管理事象）

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

表2.2-1(2/2) 大飯4号炉 電線管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
ケーブルの支持	電線管(本体)		炭素鋼 (亜鉛メッキ)		△ <sup>*1</sup> ▲ <sup>*2,5</sup>						*1:外面からの腐食 *2:内面からの腐食 *3:樹脂の劣化 *4:大気接触部 *5:コンクリート埋設部
	カップリング		炭素鋼 (亜鉛メッキ)		△ <sup>*1</sup> ▲ <sup>*2</sup>						
	ユニバーサルクランプ		炭素鋼		△						
	Uボルト		炭素鋼		△						
	Uバンド		炭素鋼		△						
	ボルト、ナット		炭素鋼		△						
	ユニバーサルチャンネル		炭素鋼		△						
	鋼材		炭素鋼		△						
	ベースプレート		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						
	基礎ボルト (ケミカルアンカ)		炭素鋼、樹脂		△					△ <sup>*3</sup>	
埋込金物		炭素鋼		△ <sup>*4</sup> ▲ <sup>*5</sup>							

△：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）

## 6 ケーブル接続部

[対象機器]

- ① 一般端子接続
- ② 端子台接続
- ③ 気密端子箱接続
- ④ 直ジョイント
- ⑤ 三重同軸コネクタ接続－1
- ⑥ 三重同軸コネクタ接続－2
- ⑦ 複合同軸コネクタ接続
- ⑧ 加圧器ヒータコネクタ接続
- ⑨ 高圧コネクタ接続

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	3
2.1 構造、材料および使用条件 .....	3
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	17
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価 .....	25
3. 代表機器以外への展開 .....	35
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象 .....	35
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 .....	36

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

大飯4号炉で使用されているケーブル接続部の主な仕様を表1-1に示す。

これらのケーブル接続部を型式の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すケーブル接続部を、型式で分離すると、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：端子接続

このグループには一般端子接続、端子台接続および気密端子箱接続が属するが、使用場所が原子炉格納容器内であり、設計基準事故を考慮すべき気密端子箱接続を代表機器とする。

#### (2) 型式：直ジョイント

このグループには直ジョイントのみが属するため、直ジョイントを代表機器とする。

#### (3) 型式：同軸コネクタ接続

このグループには三重同軸コネクタ接続-1、三重同軸コネクタ接続-2および複合同軸コネクタ接続が属するが、設計基準事故を考慮すべき三重同軸コネクタ接続-1を代表機器とする。

#### (4) 型式：低圧コネクタ接続

このグループには加圧器ヒータコネクタ接続のみが属するため、加圧器ヒータコネクタ接続を代表機器とする。

#### (5) 型式：高圧コネクタ接続

このグループには高圧コネクタ接続のみが属するため、高圧コネクタ接続を代表機器とする。



表1-1 大飯4号炉 ケーブル接続部の主な仕様

分離基準	機器名称	選定基準				代表機器の選定	
		用途	使用場所		重要度*1	代表機器	選定理由
			原子炉格納容器内	原子炉格納容器外			
端子接続	一般端子接続	電力		○	MS-1、重*4	◎	使用場所（設計基準事故を考慮する）
	端子台接続	電力・制御・計装	○	○	MS-1、重*4		
	気密端子箱接続	電力・制御・計装	○*2、5	○*3	MS-1、重*4		
直ジョイント	直ジョイント	電力・制御・計装	○*2、5	○*3	MS-1、重*4	◎	
同軸コネクタ接続	三重同軸コネクタ接続-1	計装	○*2、5	○	MS-1、重*4	◎	使用場所（設計基準事故を考慮する）
	三重同軸コネクタ接続-2	計装	○	○	MS-1、重*4		
	複合同軸コネクタ接続	計装		○	MS-2、重*4		
低圧コネクタ接続	加圧器ヒータコネクタ接続	電力	○		MS-2	◎	
高圧コネクタ接続	高圧コネクタ接続	電力		○	重*4	◎	

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：設計基準事故（1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失）を考慮する。

\*3：設計基準事故（主蒸気管破断）を考慮する。

\*4：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

\*5：重大事故等（格納容器過温破損、格納容器過圧破損事象）を考慮する。

## 2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の5種類のケーブル接続部について技術評価を実施する。

- ① 気密端子箱接続
- ② 直ジョイント
- ③ 三重同軸コネクタ接続－1
- ④ 加圧器ヒータコネクタ接続
- ⑤ 高圧コネクタ接続

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 気密端子箱接続

##### (1) 構造

大飯4号炉に使用している気密端子箱接続は、ケーブルを気密された端子箱内で端子台により接続する構造となっている。

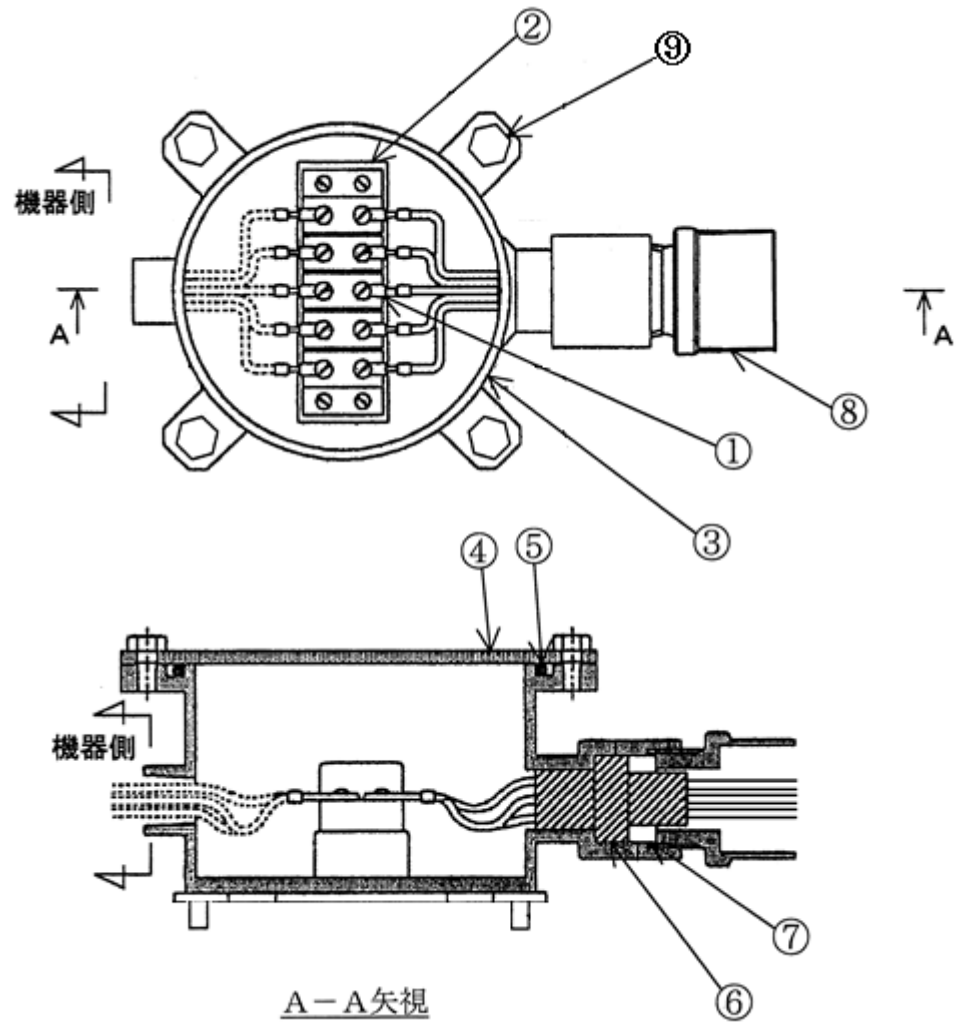
蓋板はOリングを挟んでねじ止めし、ケーブル貫通部はLCモールドを押え金具で押さえた後、ボックスコネクタにて締め込む構造となっている。

端子箱は、基礎ボルトで壁に取り付けている。

大飯4号炉の代表的な気密端子箱接続の構造図を図2.1-1に示す。

##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉で使用されている気密端子箱接続の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	端子
②	端子台
③	端子箱
④	蓋板
⑤	Oリング
⑥	LCモールド
⑦	押え金具
⑧	ボックスコネクタ
⑨	基礎ボルト

図2. 1-1 大飯4号炉 代表的な気密端子箱接続の構造図

表2.1-1 大飯4号炉 気密端子箱接続主要部位の使用材料

部位	材料
端子	銅（錫メッキ）
端子台	磁器、銅合金（ニッケルメッキ）
端子箱	ステンレス鋼
蓋板	ステンレス鋼
Oリング	エチレンプロピレンゴム
LCモールド	エチレンプロピレンゴム、銅
押え金具	ステンレス鋼
ボックスコネクタ	銅合金
基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-2 大飯4号炉 気密端子箱接続の使用条件\*1

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時*4
設置場所	原子炉格納容器内		
周囲温度	約44℃*2	約132℃ (最高温度)	約143℃ (最高温度)
圧力	約0.0098MPa [gage] 以下	約0.31MPa [gage] (最高圧力)	約0.43MPa [gage] (最高圧力)
放射線	0.2774Gy/h*3	824kGy (最大集積線量)	500kGy (最大集積線量)

\*1：環境条件が厳しい原子炉格納容器内気密端子箱接続の使用条件を代表として記載。

\*2：通常運転時の原子炉格納容器内気密端子箱接続周囲の平均温度の最大実測値。

\*3：通常運転時の原子炉格納容器内気密端子箱接続周囲の平均線量率の最大実測値。

\*4：健全性評価上、最も厳しい重大事故等における使用条件。

## 2.1.2 直ジョイント

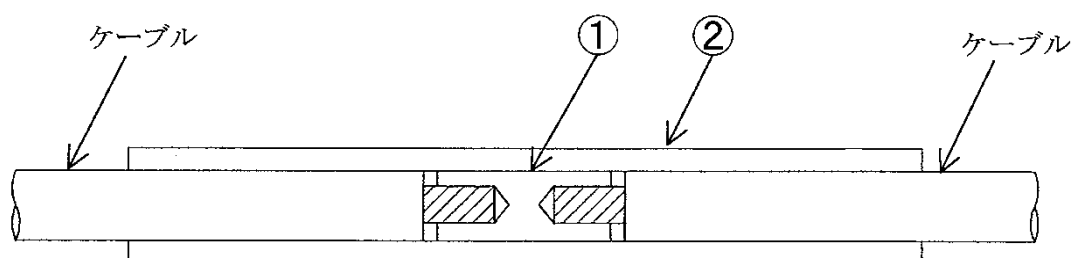
### (1) 構造

大飯4号炉で使用している直ジョイントは、ケーブル同士を隔壁付スリーブで圧着接続し、その周囲を熱収縮チューブにより固定および絶縁を行う構造となっている。

大飯4号炉の直ジョイントの構造図を図2.1-2に示す。

### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉で使用されている直ジョイントの使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



No.	部位
①	隔壁付スリーブ
②	熱収縮チューブ

図2.1-2 大飯4号炉 直ジョイントの構造図

表2.1-3 大飯4号炉 直ジョイント主要部位の使用材料

部位	材料
隔壁付スリーブ	銅（錫メッキ）
熱収縮チューブ	難燃架橋ポリエチレン

表2.1-4 大飯4号炉 直ジョイントの使用条件\*1

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時*4
設置場所	原子炉格納容器内		
周囲温度	約44℃*2	約132℃ (最高温度)	約143℃ (最高温度)
圧力	約0.0098MPa [gage] 以下	約0.31MPa [gage] (最高圧力)	約0.43MPa [gage] (最高圧力)
放射線	0.2774Gy/h*3	824kGy (最大集積線量)	500kGy (最大集積線量)

\*1：環境条件が厳しい原子炉格納容器内直ジョイントの使用条件を代表として記載。

\*2：通常運転時の原子炉格納容器内直ジョイント周囲の平均温度の最大実測値。

\*3：通常運転時の原子炉格納容器内直ジョイント周囲の平均線量率の最大実測値。

\*4：健全性評価上、最も厳しい重大事故等における使用条件。

### 2.1.3 三重同軸コネクタ接続－1

#### (1) 構造

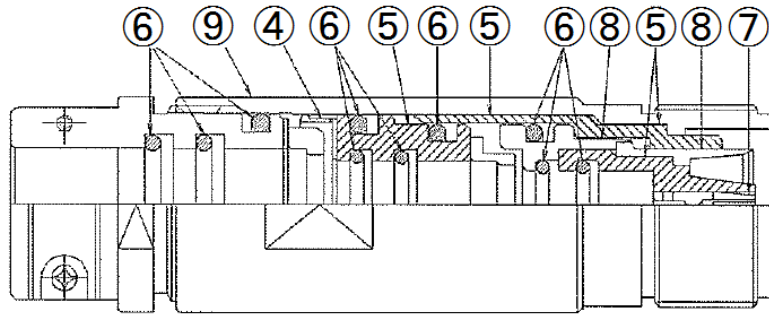
大飯4号炉に使用している三重同軸コネクタ接続－1は、ピンコンタクトおよびソケットコンタクト、1SコンタクトPおよび1SコンタクトJを接続し、プラグボディをジャックボディにねじ込むことにより接続部分が固定される構造となっている。

また、コンタクト部は、絶縁物により線間および外部との絶縁を保っている。

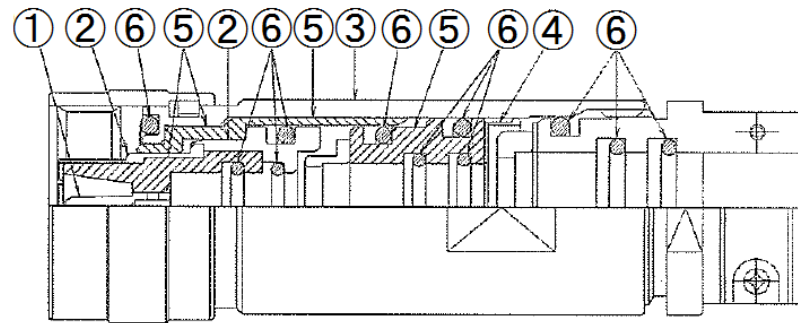
大飯4号炉の三重同軸コネクタ接続－1の構造図を図2.1-3に示す。

#### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉で使用されている三重同軸コネクタ接続－1の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。



ジャック



プラグ

No.	部位
①	ピンコンタクト
②	1SコンタクトP
③	プラグボディ
④	割りリング
⑤	絶縁物
⑥	Oリング
⑦	ソケットコンタクト
⑧	1SコンタクトJ
⑨	ジャックボディ

図2.1-3 大飯4号炉 三重同軸コネクタ接続-1の構造図



表2.1-5 大飯4号炉 三重同軸コネクタ接続-1 主要部位の使用材料

部位	材料
ピンコンタクト	銅合金 (金メッキ)
1SコンタクトP	銅合金 (金メッキ)
プラグボディ	銅合金 (ニッケルメッキ)
割りリング	銅合金 (ニッケルメッキ)
絶縁物	架橋ポリスチレン
Oリング	エチレンプロピレンゴム
ソケットコンタクト	銅合金 (金メッキ)
1SコンタクトJ	銅合金 (金メッキ)
ジャックボディ	銅合金 (ニッケルメッキ)

表2.1-6 大飯4号炉 三重同軸コネクタ接続-1の使用条件\*1

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時*4
設置場所	原子炉格納容器内		
周囲温度	約39℃*2	約132℃ (最高温度)	約143℃ (最高温度)
圧力	約0.0098MPa [gage] 以下	約0.31MPa [gage] (最高圧力)	約0.43MPa [gage] (最高圧力)
放射線	0.1657Gy/h*3	824kGy (最大集積線量)	500kGy (最大集積線量)

\*1：環境条件が厳しい原子炉格納容器内三重同軸コネクタ接続-1の使用条件を代表として記載。

\*2：通常運転時の原子炉格納容器内三重同軸コネクタ接続-1周囲の平均温度の最大実測値。

\*3：通常運転時の原子炉格納容器内三重同軸コネクタ接続-1周囲の平均線量率の最大実測値。

\*4：健全性評価上、最も厳しい重大事故等における使用条件。

#### 2.1.4 加圧器ヒータコネクタ接続

##### (1) 構造

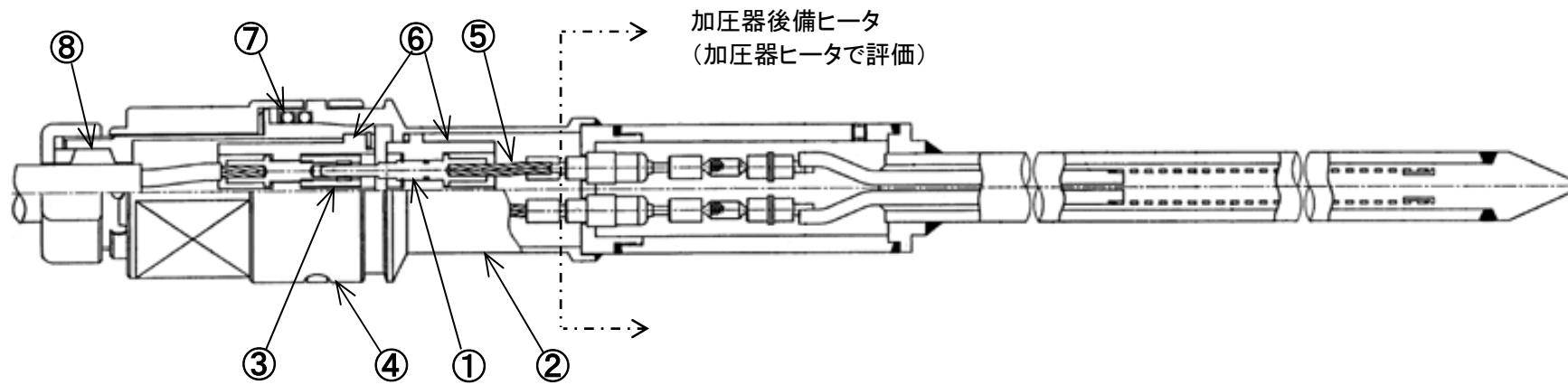
大飯4号炉に使用している加圧器ヒータコネクタ接続は、ピンコンタクトをソケットコンタクトに嵌合させることにより接続部分が固定される構造となっている。

また、コンタクト部は絶縁物により外部との絶縁を保っている。

大飯4号炉の加圧器ヒータコネクタ接続の構造図を図2.1-4に示す。

##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉で使用されている加圧器ヒータコネクタ接続の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。



No.	部位
①	ピンコンタクト
②	プラグボディ
③	ソケットコンタクト
④	カップリングナット
⑤	導体
⑥	絶縁物
⑦	Oリング
⑧	パッキン

図2.1-4 大飯4号炉 加圧器ヒータコネクタ接続の構造図

表2.1-7 大飯4号炉 加圧器ヒータコネクタ接続 主要部位の使用材料

部位	材料
ピンコンタクト	銅（銀メッキ）
プラグボディ	ステンレス鋼
ソケットコンタクト	銅（銀メッキ）
カップリングナット	ステンレス鋼
導体	銅
絶縁物	ポリエーテルサルフォン
Oリング	エチレンプロピレンゴム
パッキン	エチレンプロピレンゴム

表2.1-8 大飯4号炉 加圧器ヒータコネクタ接続の使用条件

	原子炉格納容器内
周囲温度	約39℃* <sup>1</sup>
放射線	0.0016Gy/h* <sup>2</sup>

\*1:通常運転時の原子炉格納容器内加圧器ヒータコネクタ接続周囲の平均温度の最大実測値。

\*2:通常運転時の原子炉格納容器内加圧器ヒータコネクタ接続周囲の平均線量率の最大実測値。

## 2.1.5 高圧コネクタ接続

### (1) 構造

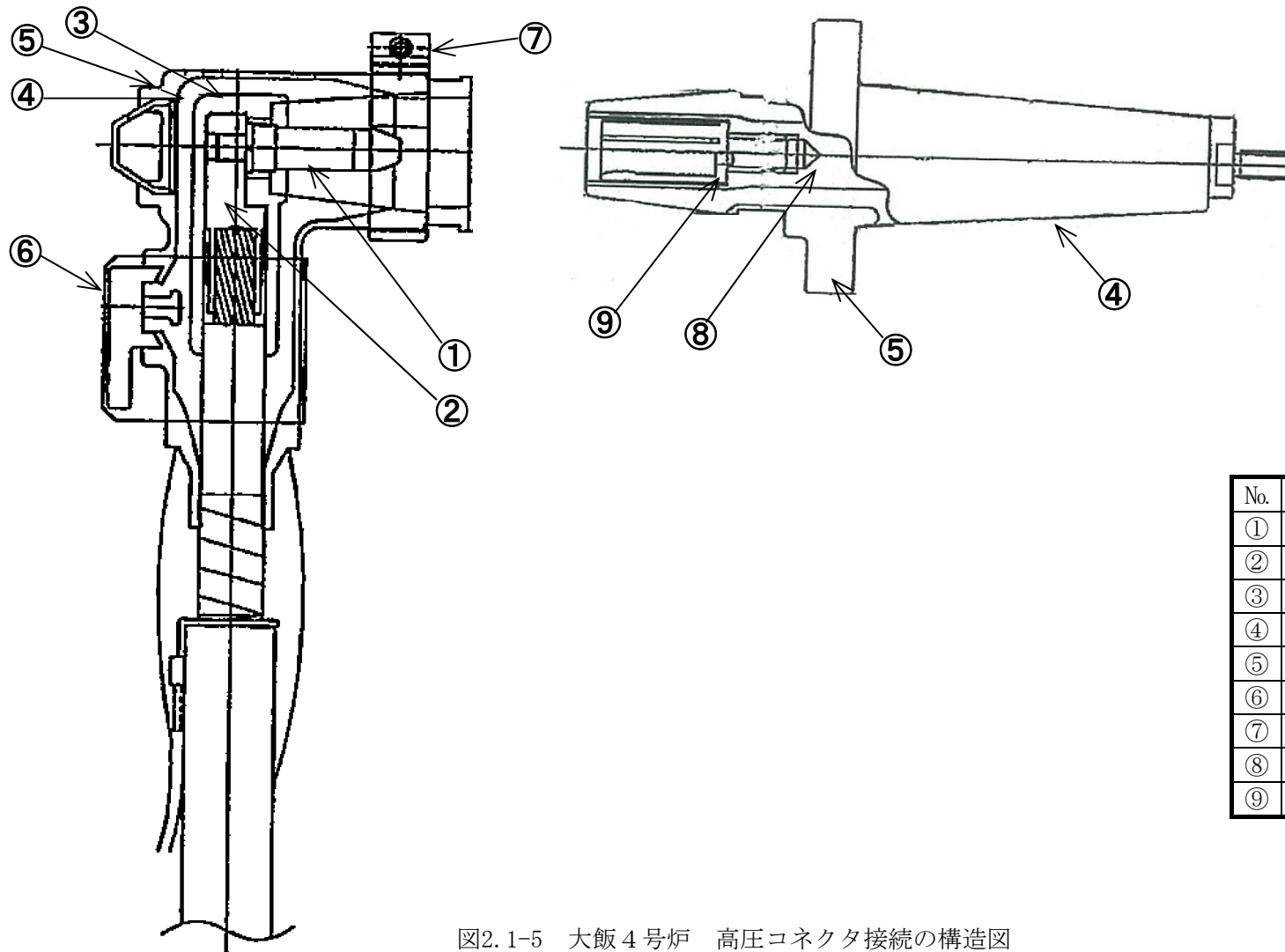
大飯4号炉に使用している高圧コネクタ接続は、ピン端子をソケットに嵌合させることにより接続部分が固定される構造となっている。

また、コンタクト部は、絶縁層などの絶縁物により外部との絶縁を保っている。

大飯4号炉の高圧コネクタ接続の構造図を図2.1-5に示す。

### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉で使用されている高圧コネクタ接続の使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。



No.	部位
①	ピン端子
②	圧縮端子
③	内部半導電層
④	絶縁層
⑤	外部半導電層
⑥	熱収縮チューブ
⑦	コネクタガイド
⑧	内部導体
⑨	ソケット

図2.1-5 大飯4号炉 高圧コネクタ接続の構造図

表2.1-9 大飯4号炉 高圧コネクタ接続 主要部位の使用材料

部位	材料
ピン端子	銅（銀メッキ）
圧縮端子	銅（銀メッキ）
内部半導電層	エチレンプロピレンゴム
絶縁層	エチレンプロピレンゴム
外部半導電層	エチレンプロピレンゴム
熱収縮チューブ	エチレンプロピレンゴム
コネクタガイド	PVC
内部導体	銅
ソケット	銅（銀メッキ）

表2.1-10 大飯4号炉 高圧コネクタ接続の使用条件

	原子炉格納容器外
周囲温度	約40℃*1
放射線	$3.5 \times 10^{-4} \text{Gy/h}^{*2}$

\*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

\*2：通常運転時の管理区域内の最大実測値

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

ケーブル接続部の主な機能である電力や計測制御信号の伝達機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 通電・絶縁機能の維持
- ② 機器の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

ケーブル接続部個々について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験等を考慮し、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) 絶縁物等の絶縁低下 [共通]

ケーブル接続部の熱収縮チューブ（直ジョイント）、絶縁物（三重同軸コネクタ接続-1、加圧器ヒータコネクタ接続）、内部半導電層、絶縁層、外部半導電層、熱収縮チューブおよびコネクタガイド（高圧コネクタ接続）は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起す可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

また、ケーブル接続部のOリング（気密端子箱接続、三重同軸コネクタ接続-1、加圧器ヒータコネクタ接続）、LCモールド（気密端子箱接続）およびパッキン（加圧器ヒータコネクタ接続）は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、気密性の低下を起すことにより湿気が接続部内部に侵入する可能性がある。湿気が侵入することにより、接続部の絶縁性能の低下を起す可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。



### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

#### (1) 端子台の絶縁低下 [気密端子箱接続]

端子台は無機物の磁器であり、経年劣化の可能性はない。

なお、長期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、端子台は気密された接続箱内に設置され、塵埃の付着により表面が汚損する可能性はない。

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

なお、絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

#### (2) ボックスコネクタの腐食（全面腐食） [気密端子箱接続]

ボックスコネクタ（気密端子箱接続）は銅合金であり、腐食が想定される。

しかしながら、巡視点検等で目視により状態を確認し、腐食が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

- (3) ピンコンタクト等の腐食（全面腐食）〔三重同軸コネクタ接続－1、加圧器ヒータコネクタ接続、高圧コネクタ接続〕

ピンコンタクト、1SコンタクトP、プラグボディ、割りリング、ソケットコンタクト、1SコンタクトJ、ジャックボディ（三重同軸コネクタ接続－1）、ピンコンタクト、ソケットコンタクト（加圧器ヒータコネクタ接続）、ピン端子、圧縮端子およびソケット（高圧コネクタ接続）は銅または銅合金であり、腐食が想定される。

しかしながら、ニッケルメッキ、金メッキまたは銀メッキを施すことにより腐食を防止しており、系統機器点検時の目視確認または抵抗測定により、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) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔気密端子箱接続〕

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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) 端子等の腐食（全面腐食）〔気密端子箱接続、直ジョイント〕

端子、端子台（気密端子箱接続）および隔壁付スリーブ（直ジョイント）は銅または銅合金であり、腐食が想定される。

しかしながら、端子および端子台はニッケルメッキまたは錫メッキを施すことにより腐食を防止しており、さらに密封された構造であり、腐食が発生する可能性はないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

また、隔壁付スリーブは構造上端子部が熱収縮チューブにて密封されており、腐食が発生する可能性はないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

表2.2-1(1/5) 大飯4号炉 気密端子箱接続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
				絶縁低下	導通不良	減肉		割れ	その他	
						摩耗	腐食			
通電・絶縁機能の維持	端子		銅（錫メッキ）				▲			
	端子台		磁器、銅合金（ニッケルメッキ）	△			▲			
	端子箱		ステンレス鋼							
	蓋板		ステンレス鋼							
	Oリング		エチレンプロピレンゴム	○						
	LCモールド		エチレンプロピレンゴム、銅	○						
	押え金具		ステンレス鋼							
	ボックスコネクタ		銅合金				△			
機器の支持	基礎ボルト		炭素鋼				△			

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-1(2/5) 大飯4号炉 直ジョイントに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象					備考	
				絶縁低下	導通不良	減肉		割れ		その他
						摩耗	腐食			
通電・絶縁機能の維持	隔壁付スリーブ		銅（錫メッキ）				▲			
	熱収縮チューブ		難燃架橋ポリエチレン	○						

○：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（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(3/5) 大飯4号炉 三重同軸コネクタ接続-1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
				絶縁低下	導通不良	減肉		割れ	その他	
						摩耗	腐食			
通電・絶縁機能の維持	ピンコンタクト		銅合金 (金メッキ)				△			
	ISコンタクトP		銅合金 (金メッキ)				△			
	プラグボディ		銅合金 (ニッケルメッキ)				△			
	割りリング		銅合金 (ニッケルメッキ)				△			
	絶縁物		架橋ポリスチレン	○						
	Oリング		エチレンプロピレンゴム	○						
	ソケットコンタクト		銅合金 (金メッキ)				△			
	ISコンタクトJ		銅合金 (金メッキ)				△			
	ジャックボディ		銅合金 (ニッケルメッキ)				△			

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2. 2-1(4/5) 大飯4号炉 加圧器ヒータコネクタ接続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	
				絶縁低下	導通不良	減肉		割れ		その他
						摩耗	腐食			
通電・絶縁機能の維持	ピンコンタクト		銅（銀メッキ）				△			
	プラグボディ		ステンレス鋼							
	ソケットコンタクト		銅（銀メッキ）				△			
	カップリングナット		ステンレス鋼							
	導体		銅							
	絶縁物		ポリエーテルサルフォン	○						
	Oリング		エチレンプロピレンゴム	○						
	パッキン		エチレンプロピレンゴム	○						

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(5/5) 大飯4号炉 高圧コネクタ接続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
				絶縁低下	導通不良	減肉		割れ	その他	
						摩耗	腐食			
通電・絶縁機能の維持	ピン端子		銅（銀メッキ）				△			
	圧縮端子		銅（銀メッキ）				△			
	内部半導電層		エチレンプロピレンゴム	○						
	絶縁層		エチレンプロピレンゴム	○						
	外部半導電層		エチレンプロピレンゴム	○						
	熱収縮チューブ		エチレンプロピレンゴム	○						
	コネクタガイド		PVC	○						
	内部導体		銅							
	ソケット		銅（銀メッキ）				△			

○：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 絶縁物等の絶縁低下 [共通]

#### a. 事象の説明

ケーブル接続部の熱収縮チューブ（直ジョイント）、絶縁物（三重同軸コネクタ接続-1、加圧器ヒータコネクタ接続）、内部半導電層、絶縁層、外部半導電層、熱収縮チューブおよびコネクタガイド（高圧コネクタ接続）は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

また、ケーブル接続部のOリング（気密端子箱接続、三重同軸コネクタ接続-1、加圧器ヒータコネクタ接続）、LCモールド（気密端子箱接続）およびパッキン（加圧器ヒータコネクタ接続）は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、気密性の低下を起こすことにより湿気が接続部内部に侵入する可能性がある。湿気が侵入することにより、接続部の絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

設計基準事故雰囲気内で機能要求がある気密端子箱接続、直ジョイントおよび三重同軸コネクタ-1接続は、IEEE Std. 323-1974「IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations」

（以下「IEEE Std. 323-1974」という。）およびIEEE Std. 383-1974「IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations」（以下「IEEE Std. 383-1974」という。）に準拠して、実機同等品による長期健全性試験を実施しており、この結果に基づき健全性評価を行った。

IEEE Std. 323-1974およびIEEE Std. 383-1974に基づく試験手順および判定方法を図2.3-1に示す。

ケーブル接続部の長期健全性試験条件ならびに長期健全性試験結果を表2.3-1～表2.3-6に示す。

試験条件は、大飯4号炉の実機環境に基づいて60年間の運転期間および設計基準事故を想定した劣化条件を包絡している。

劣化試験後に、耐電圧試験により絶縁機能が維持されていることを確認しており、大飯4号炉で使用しているケーブル接続部は、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。



供試ケーブル接続部

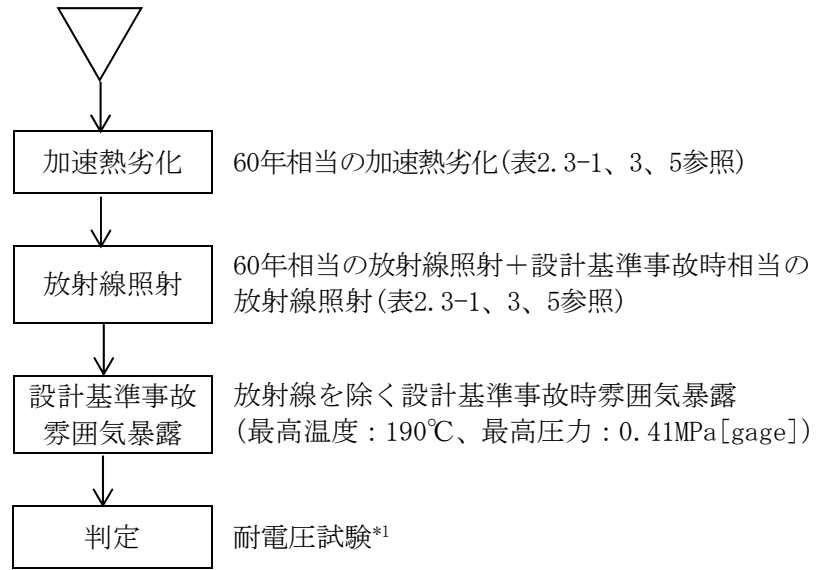


図2.3-1 ケーブル接続部の長期健全性試験手順および判定方法

\*1 耐電圧試験：規定電圧を規定時間印加し、絶縁破壊を生じるか否かを調べる。

表2.3-1 気密端子箱接続の長期健全性試験条件\*1

		試験条件	60年間の通常運転時の 使用条件に基づく劣化条件または 設計基準事故時の環境条件
通常 運相 転当	温度	121℃-7日	95℃-7日 (=44℃*2-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	146kGy*3
設計 基事 準故 相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)	824kGy (最大集積線量)
	温度	最高温度：190℃	約132℃ (最高温度)
	圧力	最高圧力：0.41MPa [gage]	約0.31MPa [gage] (最高圧力)

\*1：環境条件が厳しい原子炉格納容器内気密端子箱接続の使用条件を代表として記載。

\*2：通常運転時の原子炉格納容器内気密端子箱接続周囲の平均温度の最大実測値。

\*3： $0.2774[\text{Gy/h}] *4 \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 146\text{kGy}$

\*4：通常運転時の原子炉格納容器内気密端子箱接続周囲の平均線量率の最大実測値。

表2.3-2 気密端子箱接続の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	AC 2,000V 1分	良

[出典：メーカーデータ]

表2.3-3 直ジョイントの長期健全性試験条件\*1

		試験条件	60年間の通常運転時の 使用条件に基づく劣化条件または 設計基準事故時の環境条件
通常 運転 相当	温度	121℃－7日	101℃－7日 (=44℃*2－60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	146kGy*3
設計 基準 事故 相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)	824kGy (最大集積線量)
	温度	最高温度：190℃	約132℃ (最高温度)
	圧力	最高圧力：0.41MPa [gage]	約0.31MPa [gage] (最高圧力)

- \*1：環境条件が厳しい原子炉格納容器内直ジョイントの使用条件を代表として記載。  
 \*2：通常運転時の原子炉格納容器内直ジョイント周囲の平均温度の最大実測値。  
 \*3： $0.2774[\text{Gy/h}] \times 24 \times 365.25 [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 146\text{kGy}$   
 \*4：通常運転時の原子炉格納容器内直ジョイント周囲の平均線量率の最大実測値。

表2.3-4 直ジョイントの長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	AC 2,600V 5分	良

[出典：メーカーデータ]

表2.3-5 三重同軸コネクタ接続-1の長期健全性試験条件\*1

		試験条件	60年間の通常運転時の 使用条件に基づく劣化条件または 設計基準事故時の環境条件
通常 運相 相当	温度	121℃-7日	88℃-7日*3 (=39℃*2-60年) 58℃-7日*4 (=39℃*2-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	88kGy*5
設計 基準 事故 相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)	824kGy (最大集積線量)
	温度	最高温度：190℃	約132℃ (最高温度)
	圧力	最高圧力：0.41MPa [gage]	約0.31MPa [gage] (最高圧力)

\*1：環境条件が厳しい原子炉格納容器内三重同軸コネクタ接続-1の使用条件を代表として記載。

\*2：通常運転時の原子炉格納容器内三重同軸コネクタ接続-1周囲の平均温度の最大実測値。

\*3：Oリングの気密材料に対する試験条件

\*4：絶縁物に対する試験条件

\*5： $0.1657 [\text{Gy/h}] \times 24 \times 365.25 [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 88 \text{kGy}$

\*6：通常運転時の原子炉格納容器内三重同軸コネクタ接続-1周囲の平均線量率の最大実測値。

表2.3-6 三重同軸コネクタ接続-1の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	DC 3,000V 1分	良

[出典：メーカーデータ]

また、重大事故等時<sup>\*</sup>雰囲気内で機能要求がある気密端子箱接続、直ジョイントおよび三重同軸コネクタ－1 接続については、重大事故等時雰囲気内での健全性を合わせて評価した（表2.3-7～表2.3-12）。

※：新規制基準への適合性確認のための設置許可申請書「添付書類十 7 章 重大事故に至るおそれがある事故及び重大事故に対する対策の有効性評価」、工事計画認可申請書「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」に基づく原子炉格納容器内の重大事故等時における各条件

試験条件は、大飯 4 号炉の実機環境に基づいて60年間の運転期間および重大事故等を想定した劣化条件を包絡している。

劣化試験後に、耐電圧試験により絶縁機能が維持されていることを確認しており、大飯 4 号炉で使用しているケーブル接続部は、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。

表2.3-7 気密端子箱接続の長期健全性試験条件\*1

		試験条件	60年間の通常運転時の 使用条件に基づく劣化条件または 重大事故等時の環境条件
通常 運転相 転当	温度	140℃－8h	119℃－8h (=44℃*2－60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	146kGy*3
重大 事故等 時相 相当	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	500kGy (最大集積線量)
	温度	最高温度：150℃	約143℃ (最高温度)
	圧力	最高圧力：0.5MPa[gage]	約0.43MPa [gage] (最高圧力)

\*1：環境条件が厳しい原子炉格納容器内気密端子箱接続の使用条件を代表として記載。

\*2：通常運転時の原子炉格納容器内気密端子箱接続周囲の平均温度の最大実測値。

\*3： $0.2774[\text{Gy/h}] \times 24 \times 365.25 [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 146\text{kGy}$

\*4：通常運転時の原子炉格納容器内気密端子箱接続周囲の平均線量率の最大実測値。

表2.3-8 気密端子箱接続の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	AC 1,500V 1分	良

[出典：電力共同委託「S A時の計装品の耐環境性能評価委託2014年度」]

表2.3-9 直ジョイントの長期健全性試験条件\*1

		試験条件	60年間の通常運転時の 使用条件に基づく劣化条件または 重大事故等時の環境条件
通常 運相 転当	温度	140℃-21h	120℃-21h (=44℃*2-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	146kGy*3
重大 事故 等時 相当	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	500kGy (最大集積線量)
	温度	最高温度：150℃	約143℃ (最高温度)
	圧力	最高圧力：0.5MPa [gage]	約0.43MPa [gage] (最高圧力)

\*1：環境条件が厳しい原子炉格納容器内直ジョイントの使用条件を代表として記載。

\*2：通常運転時の原子炉格納容器内直ジョイント周囲の平均温度の最大実測値。

\*3： $0.2774[\text{Gy/h}] \times 24 \times 365.25 [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 146\text{kGy}$

\*4：通常運転時の原子炉格納容器内直ジョイント周囲の平均線量率の最大実測値。

表2.3-10 直ジョイントの長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	AC 1,500V 1分	良

[出典：電力共同委託「S A時の計装品の耐環境性能評価委託2014年度」]

表2.3-11 三重同軸コネクタ接続－1の長期健全性試験条件\*1

		試験条件	60年間の通常運転時の 使用条件に基づく劣化条件また は重大事故等時の環境条件
通常 運相 転当	温度	113℃－255h	85℃-255h*3 (=39℃*2-60年) 57℃-255h*4 (=39℃*2-60年)
	放射線 (集積線量)	750kGy (10kGy/h以下)	88kGy*5
重 大 事 故 等 時 相 当	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	500kGy (最大集積線量)
	温度	最高温度：150℃	約143℃ (最高温度)
	圧力	最高圧力：0.5MPa [gage]	約0.43MPa [gage] (最高圧力)

\*1：環境条件が厳しい原子炉格納容器内三重同軸コネクタ接続－1の使用条件を代表として記載。

\*2：通常運転時の原子炉格納容器内三重同軸コネクタ接続－1周囲の平均温度の最大実測値。

\*3：Oリングの気密材料に対する試験条件

\*4：絶縁物に対する試験条件

\*5： $0.1657[\text{Gy/h}] \times 24 \times 365.25 [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 88\text{kGy}$

\*6：通常運転時の原子炉格納容器内三重同軸コネクタ接続－1周囲の平均線量率の最大実測値。

表2.3-12 三重同軸コネクタ接続－1の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	C-I間 DC3,000V 1分 I-O間 DC 500V 1分	良

[出典：電力共同委託「高レンジエリアモニタ及び三重同軸ケーブル・コネクタに関わる耐環境性能評価委託2014年度」]

なお、加圧器ヒータコネクタ接続および高圧コネクタ接続については事故時雰囲気内で機能要求がないが、長期健全性試験を実施していないため、絶縁低下の可能性は否定できない。



② 現状保全

絶縁物等の絶縁低下に対しては、制御・計装用ケーブル接続部については、定期的に系統機器の動作に異常のないことを確認し、絶縁低下による機能低下のないことを確認している。

電力用ケーブル接続部については、定期的に絶縁抵抗測定を行い、管理値以上であることの確認を行っている。

③ 総合評価

加圧器ヒータコネクタ接続および高圧コネクタ接続については絶縁低下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。

その他のケーブル接続部については、健全性評価結果から判断して、絶縁物等の絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

また、絶縁低下は系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

加圧器ヒータコネクタ接続および高圧コネクタ接続については定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

その他のケーブル接続部の絶縁低下については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

### 3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表となっていないケーブル接続部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し、ケーブル接続部各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① 一般端子接続
- ② 端子台接続
- ③ 三重同軸コネクタ接続－2
- ④ 複合同軸コネクタ接続

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

##### 3.1.1 絶縁物等の絶縁低下 [共通]

絶縁物等は事故時雰囲気内で機能要求がないが、代表機器と同じ有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

絶縁物等の絶縁低下は系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、一般端子接続等の絶縁低下については、定期的に系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定を実施していく。

### 3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### 3.2.1 端子等の腐食（全面腐食）〔共通〕

ケーブル接続部の端子等は銅または銅合金であり、腐食が想定される。

しかしながら、全て錫メッキ、ニッケルメッキ、銀メッキまたは金メッキを施すことにより腐食を防止しており、系統機器点検時の目視確認または抵抗測定により、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。

# 大飯発電所 4 号炉

## 電気設備の技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

関西電力株式会社

大飯4号炉の電気設備のうち、評価対象機器である安全重要度分類審査指針におけるクラス1、2の機器、高温・高圧の環境下にあるクラス3の機器および常設重大事故等対処設備に属する機器を電圧区分および設置場所等でグループ化し、同一グループ内の複数の機器の存在を考慮して、重要度、仕様、使用条件等の観点から代表機器を選定した。

これらの一覧表を表1に、機能を表2に示す。

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

なお、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。

本評価書では電気設備の型式等を基に、以下の機器に分類している。

- 1 メタルクラッド開閉装置（メタクラ）
- 2 動力変圧器
- 3 パワーセンタ
- 4 コントロールセンタ

表 1 (1/4) 大飯 4 号炉 主要な電気設備 メタクラ

分離 基準	機器名称 (群数)	仕様	選定基準							代表機器 の選定	
			重要度*1	使用条件			内蔵遮断器			代表 機器	選定 理由
				運転 状態	定格 使用 電圧 (V)	周囲 温度 (℃)	投入 方式	定格 電流(A) (最大)	遮断 電流 (kA)		
高圧	メタクラ (安全系) (2)	高圧閉鎖形 母線定格 電流 1,200A	MS-1 重*2	連続	6,900	約 35	ばね	1,200	63	◎	定格 電流
	空冷式非常用発電装置 (遮断器盤) (2)	高圧閉鎖形 母線定格電流 400A	重*2	一時	6,900	約 35	ばね	400	8		
	空冷式非常用発電装置中継・接続盤 (1)	屋外用壁掛盤 母線定格電流 400A	重*2	一時	6,900	約 35	—	—	—		
	可搬式代替電源用接続盤-1、2 (1)	屋外用壁掛盤母線 定格電流 400A	重*2	一時	6,900	約 35	—	—	—		
	代替所内電気設備高圧ケーブル分岐盤 (1)	屋内用壁掛盤 母線定格電流 400A	重*2	一時	6,900	約 35	—	—	—		
	代替所内電気設備高圧ケーブルコネクタ接続盤 (1)	屋内用壁掛盤 母線定格電流 400A	重*2	一時	6,900	約 35	—	—	—		
	代替所内電気設備高圧ケーブル接続盤 (1)	屋内用壁掛盤 母線定格電流 400A	重*2	一時	6,900	約 35	—	—	—		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

表 1 (2/4) 大飯 4 号炉 主要な電気設備 動力変圧器

分離基準		機器名称 (台数)	仕様 容量 (kVA)	選定基準			代表機器の選定		
電圧区分	設置場所			重要度*1	使用条件			代表 機器	選定理由
					運転状態	定格 使用電圧 (V)	周囲 温度 (°C)		
高圧	屋内	動力変圧器 (安全系) (4)	2,000 2,300	MS-1 重*2	連続	6,900	約 35	◎	容量
		代替所内電気設備変圧器 (1)	500	重*2	一時	6,900	約 40		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

表 1 (3/4) 大飯 4 号炉 主要な電気設備 パワーセンタ

機器名称 (群数)	仕様	重要度*1	使用条件			内蔵遮断器		
			運転 状態	定格使用電圧 (V)	周囲温度 (℃)	投入方式	定格電流(A) (最大)	遮断電流 (kA)
パワーセンタ(安全系) (4)	気中遮断器内蔵 低圧閉鎖形 母線定格電流3,000A	MS-1、 重*2	連続	460	約35	ばね	3,000	65
						ばね	1,600	50

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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



表 1 (4/4) 大飯 4 号炉 主要な電気設備 コントロールセンタ

分離基準		機器名称 (群数)	仕様	選定基準				代表機器の選定	
電圧 区分	設置 場所			重要度*1	使用条件			代表 機器	選定理由
					運転 状態	定格使用電圧 (V)	周囲温度 (°C)		
低圧	屋内	原子炉コントロールセンタ (安全系) (4)	低圧閉鎖形 定格電流 800A	MS-1 重*2	連続	460	約 35	◎	定格電流
		ディーゼル発電機 コントロールセンタ (2)	低圧閉鎖形 定格電流 600A	MS-1	連続	460	約 35		
		加圧器ヒータ後備グループ コントロールセンタ (4)	低圧閉鎖形 定格電流 600A	MS-2	連続	460	約 35		
		可搬式整流器用分電盤 (1)	低圧閉鎖形 定格電流 250A	重*2	一時	460	約 35		
		代替所内電気設備分電盤 (1)	低圧閉鎖形 定格電流 600A	重*2	一時	460	約 35		
		A・C計装用電源用代替所内電気設備切 替盤 (1)	低圧閉鎖形 定格電流 50A	重*2	一時	460	約 35		
		B・D計装用電源用代替所内電気設備切 替盤 (1)	低圧閉鎖形 定格電流 50A	重*2	一時	460	約 35		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

表2 大飯4号炉 電気設備機器の機能

機器名	機能
メタクラ	発電所内高圧電源系統を構成する装置であり、高圧機器および発電所内低圧電源系統への電源供給と保護を行う。
動力変圧器	メタクラから供給される電力の電圧を1/15に降圧してパワーセンタに供給する機器。
パワーセンタ	発電所内低圧電源系統を構成する装置であり、低圧機器（空調用冷凍機等）およびコントロールセンタへの電源供給と保護を行う。
コントロールセンタ	発電所内低圧電源系統を構成する装置であり、低圧機器（弁電動装置等）への電源の供給と保護を行う。

# 1 メタルクラッド開閉装置 (メタクラ)

## [対象機器]

- ① メタクラ (安全系)
- ② 空冷式非常用発電装置 (遮断器盤)
- ③ 空冷式非常用発電装置中継・接続盤
- ④ 可搬式代替電源用接続盤- 1、2
- ⑤ 代替所内電気設備高圧ケーブル分岐盤
- ⑥ 代替所内電気設備高圧ケーブルコネクタ接続盤
- ⑦ 代替所内電気設備高圧ケーブル接続盤

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	3
2.1 構造、材料および使用条件 .....	3
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	7
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価 .....	14
3. 代表機器以外への展開 .....	21
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象 .....	21
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 .....	23

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

大飯4号炉で使用されているメタクラの主な仕様を表1-1に示す。

これらのメタクラを、電圧区分の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すメタクラを電圧区分で分類すると1つのグループにまとめられる。

### 1.2 代表機器の選定

このグループのメタクラの中で、定格電流の大きいメタクラ（安全系）を代表機器とする。

表1-1 大飯4号炉 メタクラの主な仕様

分離 基準	機器名称 (群数)	仕様	選定基準							代表機器 の選定	
			重要度*1	使用条件			内蔵遮断器			代表 機器	選定 理由
				運転 状態	定格 使用 電圧 (V)	周囲 温度 (℃)	投入 方式	定格 電流(A) (最大)	遮断 電流 (kA)		
高圧	メタクラ (安全系) (2)	高圧閉鎖形 母線定格 電流1,200A	MS-1 重*2	連続	6,900	約35	ばね	1,200	63	◎	定格 電流
	空冷式非常用発電装置(遮断器盤)(2)	高圧閉鎖形 母線定格電流400A	重*2	一時	6,900	約35	ばね	400	8		
	空冷式非常用発電装置中継・接続盤(1)	屋外用壁掛盤 母線定格電流400A	重*2	一時	6,900	約35	—	—	—		
	可搬式代替電源用接続盤-1、2(1)	屋外用壁掛盤母線 定格電流400A	重*2	一時	6,900	約35	—	—	—		
	代替所内電気設備高圧ケーブル分岐盤(1)	屋内用壁掛盤 母線定格電流400A	重*2	一時	6,900	約35	—	—	—		
	代替所内電気設備高圧ケーブルコネクタ接続盤 (1)	屋内用壁掛盤 母線定格電流400A	重*2	一時	6,900	約35	—	—	—		
	代替所内電気設備高圧ケーブル接続盤(1)	屋内用壁掛盤 母線定格電流400A	重*2	一時	6,900	約35	—	—	—		

\*1: 機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下のメタクラについて技術評価を実施する。

### ① メタクラ（安全系）

#### 2.1 構造、材料および使用条件

##### 2.1.1 メタクラ（安全系）

###### (1) 構造

大飯4号炉のメタクラ（安全系）は、定格使用電圧6,900V、定格電流1,200Aの高圧閉鎖形であり、2群設置されている。

ガス遮断器を内蔵しており、回路の保護・制御のために計器用変流器、計器用変圧器等を収納している。

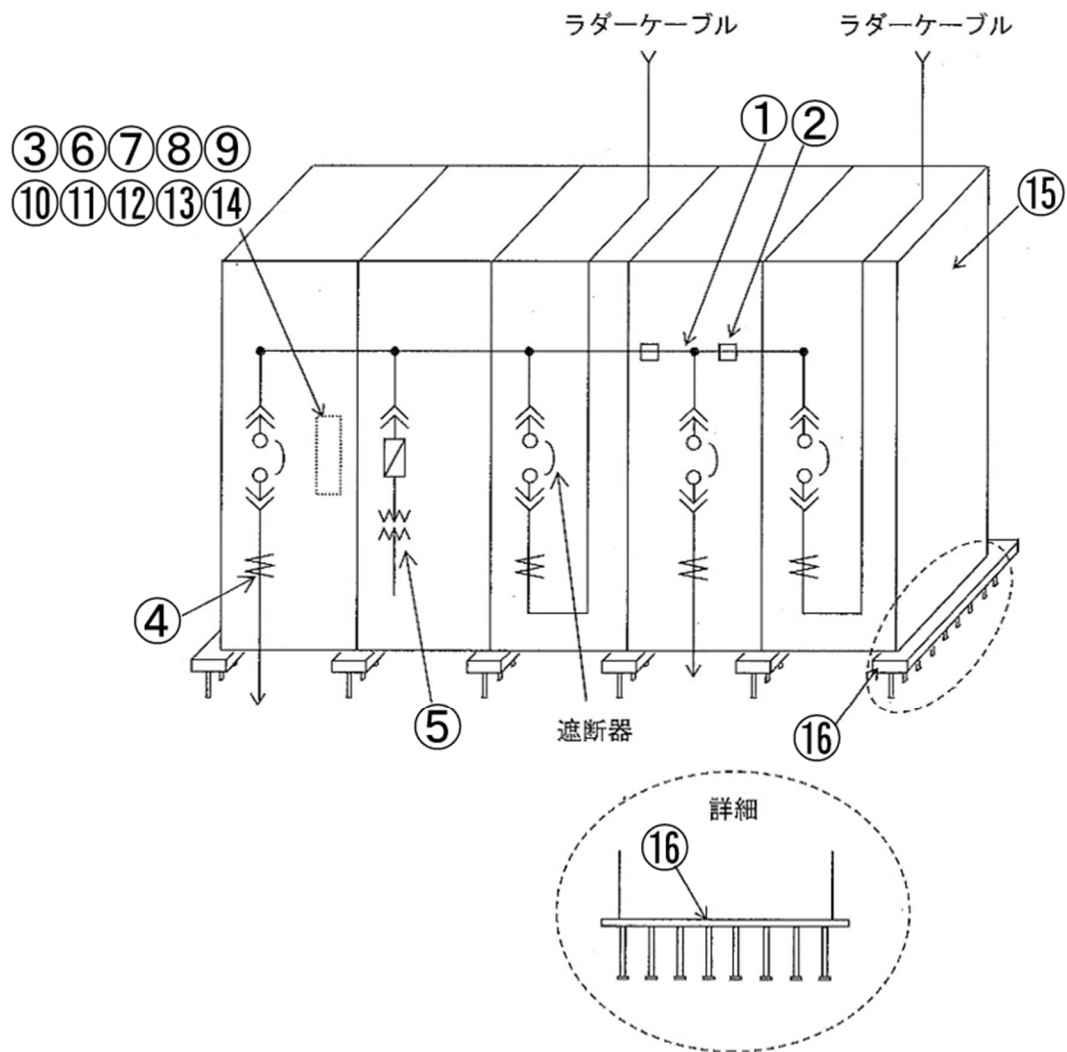
遮断器の投入は、投入ばねによって行う構造となっている。また、遮断器の開放は、投入時に蓄勢された引外しばねによって行う構造となっている。

電流の遮断は、接触子の開放により生じるアークに圧縮したSF<sub>6</sub>ガスを吹き付けることにより行う。

大飯4号炉のメタクラ（安全系）構成図を図2.1-1に、ガス遮断器構造図を図2.1-2に、ガス遮断器操作機構構造図を図2.1-3に示す。

###### (2) 材料および使用条件

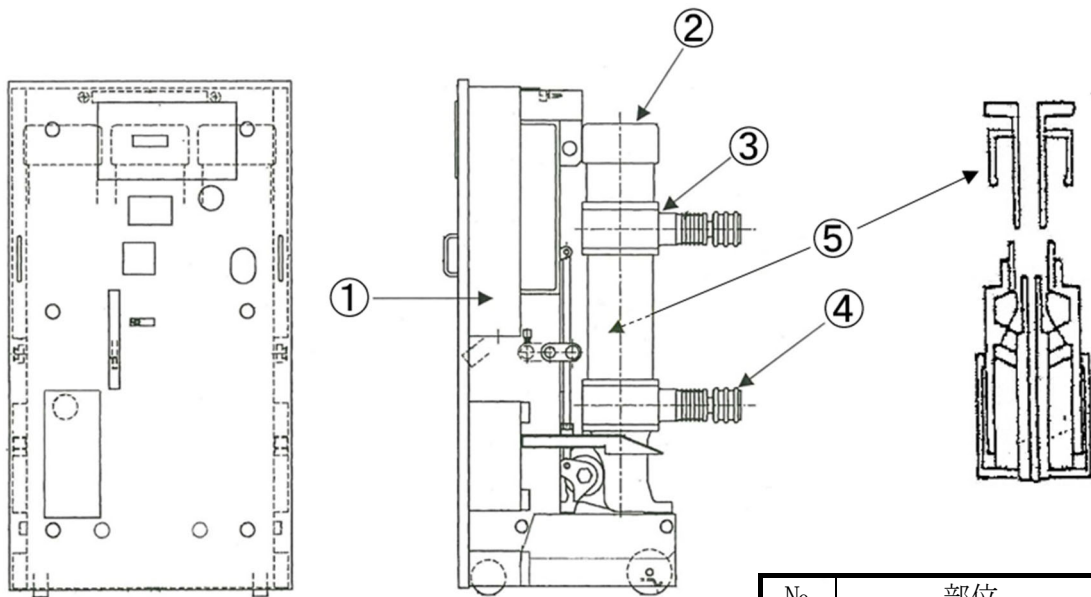
大飯4号炉のメタクラ（安全系）の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位	No.	部位
①	主回路導体	⑨	補助リレー
②	支持碍子	⑩	表示灯
③	操作スイッチ	⑪	ノーヒューズブレーカ
④	計器用変流器	⑫	タイマ
⑤	計器用変圧器	⑬	ヒューズ
⑥	保護リレー	⑭	電磁接触器
⑦	指示計	⑮	筐体
⑧	ロックアウトリレー	⑯	埋込金物

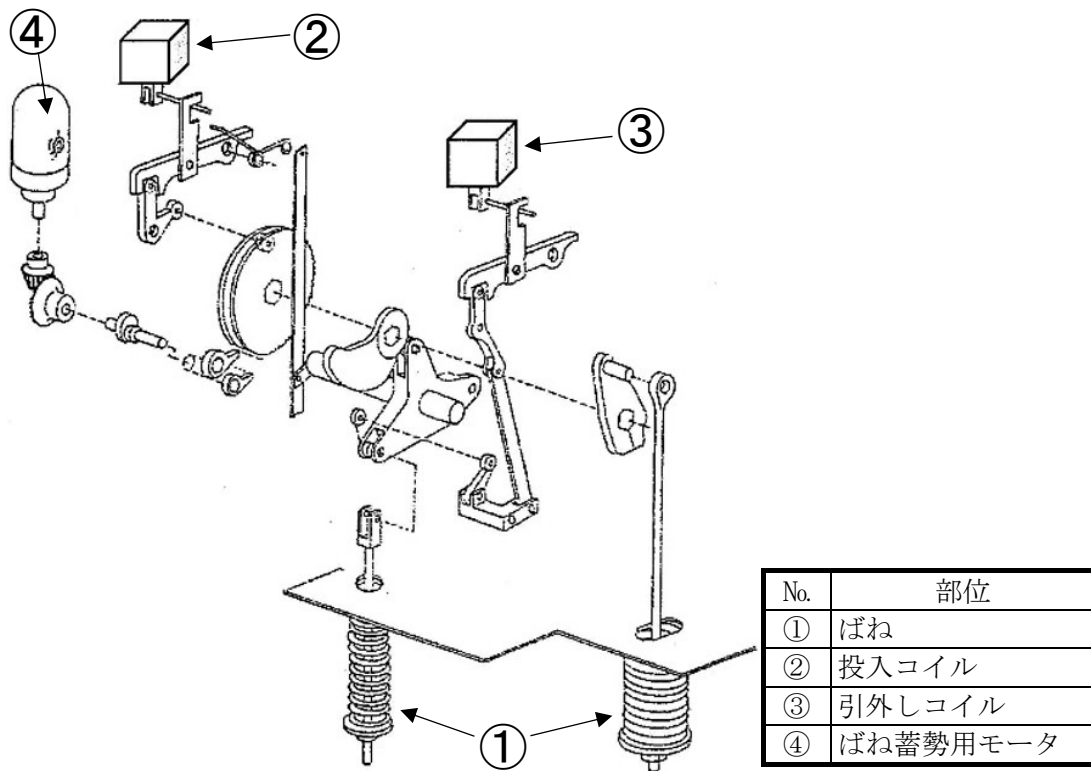
図2.1-1 大飯4号炉 メタクラ (安全系) 構成図





No.	部位
①	操作機構
②	消弧室
③	ブッシング
④	1次ジャンクション
⑤	接触子

図2.1-2 大飯4号炉 メタクラ (安全系) ガス遮断器構造図



No.	部位
①	ばね
②	投入コイル
③	引外しコイル
④	ばね蓄勢用モータ

図2.1-3 大飯4号炉 メタクラ (安全系) ガス遮断器操作機構構造図

表2.1-1 大飯4号炉 メタクラ（安全系）主要部位の使用材料

部位		材料
遮断器	操作機構	クロムモリブデン鋼
	消弧室	アルミニウム合金
	ブッシング	エポキシ樹脂（B種絶縁）
	1次ジャンクション	銅
	接触子	銀、銀タングステン
	ばね	ばね鋼
	投入コイル	銅、ポリエステル（A種絶縁）
	引外しコイル	銅、ポリエステル（A種絶縁）
	ばね蓄勢用モータ	銅、ポリアミドイミド（H種絶縁）
盤構成部品	主回路導体	アルミニウム合金、銅
	支持碍子	磁器
	操作スイッチ	銅、銀他
	計器用変流器（巻線形）	銅、ポリオレフィンゴム（A種絶縁）
	計器用変流器（貫通形）	銅、エポキシ樹脂（A種絶縁）
	計器用変圧器	銅、エポキシ樹脂（A種絶縁）
	保護リレー（静止形）	消耗品・定期取替品
	指示計	消耗品・定期取替品
	ロックアウトリレー	消耗品・定期取替品
	補助リレー	消耗品・定期取替品
	表示灯	消耗品・定期取替品
	ノーヒューズブレーカ	消耗品・定期取替品
	タイマ	消耗品・定期取替品
	ヒューズ	消耗品・定期取替品
	電磁接触器	消耗品・定期取替品
支持組立品	筐体	炭素鋼
	埋込金物	炭素鋼

表2.1-2 大飯4号炉 メタクラ（安全系）の使用条件

周囲温度	約35℃*1
短時間電流強度	63kA 2秒
主回路温度上昇値（最大）	65℃
定格電圧	6,900V

\*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

メタクラ（安全系）の機能である給電機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 遮断機能の維持
- ② 通電・絶縁機能の維持
- ③ 機器の保護・監視機能の維持
- ④ 機器の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

メタクラ（安全系）について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1のとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

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

#### (1) ばね蓄勢用モータ（遮断器）の絶縁低下

遮断器のばね蓄勢用モータの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

#### (2) 計器用変流器（巻線形）および計器用変圧器の絶縁低下

計器用変流器および計器用変圧器の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

#### (1) 操作機構（遮断器）の固着

遮断器の操作機構は、長期使用に伴いグリスが固化し、動作特性の低下が想定される。

しかしながら、注油、各部の目視確認、動作試験を実施することで、機器の健全性を維持している。

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

#### (2) 消弧室（遮断器）の汚損

遮断器の消弧室は、遮断器の電流遮断動作に伴う消弧室でのアーク消弧により汚損した場合、消弧性能の低下が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

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

(3) ブッシング（遮断器）の絶縁低下

遮断器のブッシングは有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、ブッシングは屋内の筐体に内蔵しているため、塵埃が付着しにくい環境にある。

また、主回路導体の通電時の最大温度100℃に対して、ブッシングの耐熱温度は130℃と十分余裕を持った耐熱性を有していることから、絶縁低下の可能性は小さい。

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

なお、機器点検時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(4) 1次ジャンクション（遮断器）の摩耗

遮断器の1次ジャンクションは、遮断器の盤からの出し入れに伴う摩耗が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(5) 接触子（遮断器）の摩耗

遮断器の接触子は、遮断器の開閉動作に伴う電流開閉により、摩耗が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認および寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(6) ばね（遮断器）の変形（応力緩和）

遮断器の投入ばねは開放状態にて、また引外しばねは投入状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

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

なお、機器点検時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 投入コイルおよび引外しコイル（遮断器）の絶縁低下

遮断器の投入コイルおよび引外しコイルの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、投入コイルおよび引外しコイルは屋内の筐体に内蔵しているため、塵埃、湿分等が付着しにくい環境にある。

また、投入コイルおよび引外しコイルは連続運転ではなく、作動時間も1秒以下と小さいことから、コイルの発熱による温度上昇は小さいと考えられ、使用温度に比べて、十分余裕のある絶縁種（A種：許容最高温度105℃）を選択して使用していることから、絶縁低下の可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、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。

(8) 主回路導体の腐食（全面腐食）

主回路導体はアルミニウム合金および銅であり、腐食が想定される。

しかしながら、エポキシ樹脂により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器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) 支持碍子の絶縁低下

支持碍子は無機物の磁器であり、経年劣化の可能性はない。

なお、長期の使用においては表面の汚損による絶縁低下が想定される。

しかしながら、支持碍子は筐体に内蔵しているため、塵埃が付着しにくい環境にあり、これまでに有意な汚損は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(10) 操作スイッチの導通不良

操作スイッチは、浮遊塵埃の接点部分への付着による導通不良が想定される。

しかしながら、接点部分は盤内に収納されており、塵埃の付着による導通不良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、機器点検時の動作確認により、機器の健全性を確認している。

(11) 筐体の腐食（全面腐食）

筐体は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

(12) 埋込金物（大気接触部）の腐食（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

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。

(13) 計器用変流器（貫通形）の絶縁低下

一次コイルと二次コイルがモールドされている形式の計器用変流器の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、一次コイルのない貫通型計器用変流器であり、二次コイルに係る電圧は低く、また、通電電流による熱的影響も小さい。

また、空調された屋内に設置されており、コイル全体がモールドされていることから塵埃による影響もごく僅かであり、絶縁低下の可能性は小さい。

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

(14) 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

表示灯は動作確認の結果に基づき取替えている消耗品、保護リレー、指示計、ロックアウトリレー、補助リレー、ノーヒューズブレーカ、タイマ、ヒューズおよび電磁接触器については定期取替品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。



表2.2-1 大飯4号炉 メタクラ（安全系）の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		
遮断機能の維持 通電・絶縁機能の維持	遮断器		クロムモリブデン鋼								△*1	*1:固着 *2:汚損 *3:変形(応力緩和) *4:大気接触部の腐食 *5:コンクリート埋設部の腐食
			アルミニウム合金								△*2	
			エポキシ樹脂					△				
			銅	△								
			銀、銀タングステン	△								
			ばね鋼								△*3	
			銅、ポリエステル					△				
			銅、ポリエステル					△				
			銅、ポリアミドイミド					○				
		主回路導体		アルミニウム合金、銅		△						
	支持碍子		磁器					△				
機器の保護・監視機能の維持			銅、銀他						△			
			銅、ポリオレフィンゴム					○				
			銅、エポキシ樹脂					▲				
			銅、エポキシ樹脂					○				
		◎	—									
		◎	—									
		◎	—									
		◎	—									
		◎	—									
		◎	—									
		◎	—									
	機器の支持			炭素鋼		△						
			炭素鋼		△*4 ▲*5							

○：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 ばね蓄勢用モータ（遮断器）の絶縁低下

#### a. 事象の説明

ばね蓄勢用モータ（遮断器）の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下が生じる可能性がある。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

ばね蓄勢用モータ（遮断器）は密閉構造のため、塵埃および湿分が付着しにくい環境にある。また、モータは連続運転ではなく遮断器投入後に作動するもので、作動時間も数秒と短いことから、モータの発熱による温度上昇は小さいと考えられ、使用温度に比べて十分余裕のある絶縁種（H種：許容最高温度180℃）を使用していることから、絶縁低下の発生の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下が生じる可能性は否定できない。

##### ② 現状保全

ばね蓄勢用モータ（遮断器）の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることの確認を行っている。

##### ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、ばね蓄勢用モータ（遮断器）の絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は、絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

#### c. 高経年化への対応

ばね蓄勢用モータ（遮断器）の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

## 2.3.2 計器用変流器（巻線形）および計器用変圧器の絶縁低下

### a. 事象の説明

計器用変流器および計器用変圧器は、熱的、電氣的、環境的要因で経年的変化が進行し、絶縁低下を起こす可能性がある。

### b. 技術評価

#### ① 健全性評価

計器用変流器および計器用変圧器の絶縁低下については、絶縁物内の微小欠陥における部分放電の長期継続により絶縁物の劣化の形で進行し、最終的に絶縁破壊に至ることから、電気特性試験における部分放電消滅電圧および部分放電電荷量の測定結果を、「電気学会 電気規格調査会標準規格 計器用変成器（保護継電器用）（JEC-1201-2007）」、「日本工業規格 計器用変成器-（標準用および一般計測用）第1部：変流器（JIS C 1731-1:1998）」および「日本工業規格 計器用変成器-（標準用および一般計測用）第2部：計器用変圧器（JIS C 1731-2:1998）」に基づく基準値と比較することにより、絶縁性能状態を把握する。

計器用変流器および計器用変圧器の絶縁低下に関する健全性評価として、2001年に電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」を実施した。

図2.3-1に示すように、60年相当の課電劣化試験\*1および熱サイクル試験\*2による健全性調査の結果、部分放電消滅電圧が数台については劣化傾向を示したものの劣化の程度は緩やかであり、かつ基準値以上であること、また、部分放電電荷量は測定限界値以下であり増加傾向は認められないことから、絶縁性能に問題のないことを確認している。

\*1：課電電圧の上昇および下降の繰返しによる絶縁劣化を、メーカー独自の寿命評価手法による試験電圧および試験周波数により加速劣化させる試験

\*2：0℃～80℃～0℃で通年（1年間）の温度上昇および下降による熱応力の機械的ストレスを模擬した試験

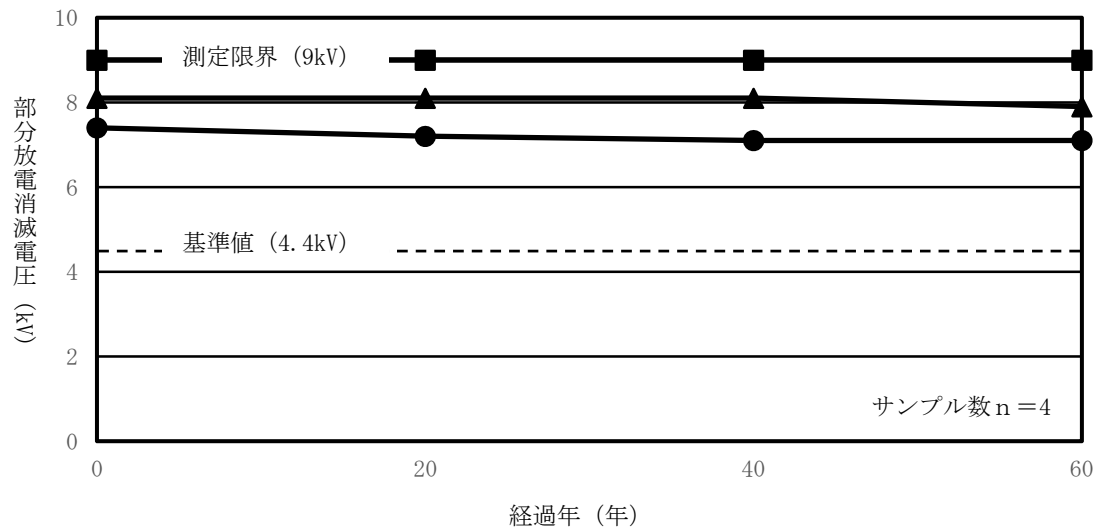


図2.3-1a 計器用変圧器の部分放電特性（課電劣化試験による部分放電消滅電圧）  
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

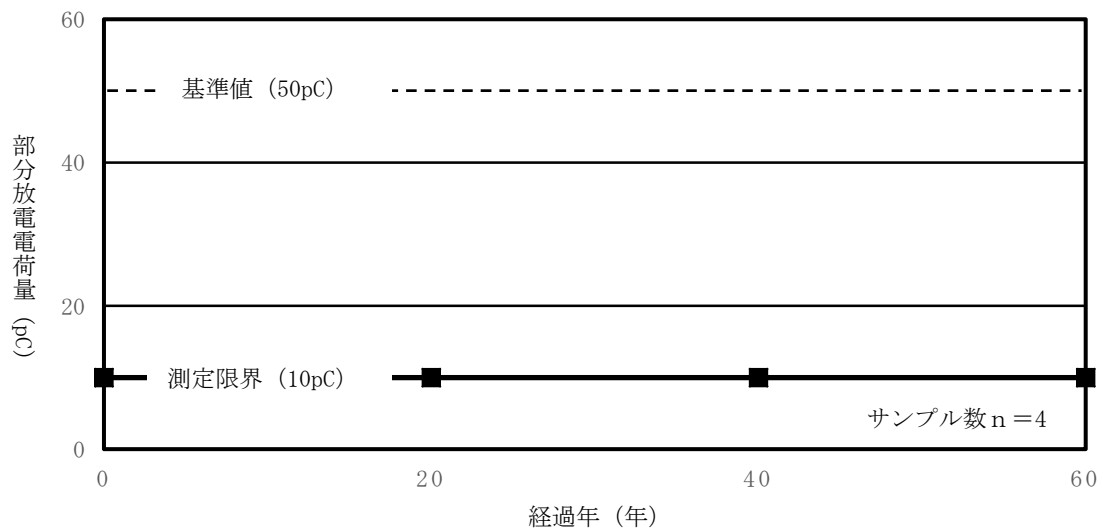


図2.3-1b 計器用変圧器の部分放電特性（課電劣化試験による部分放電電荷量）  
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

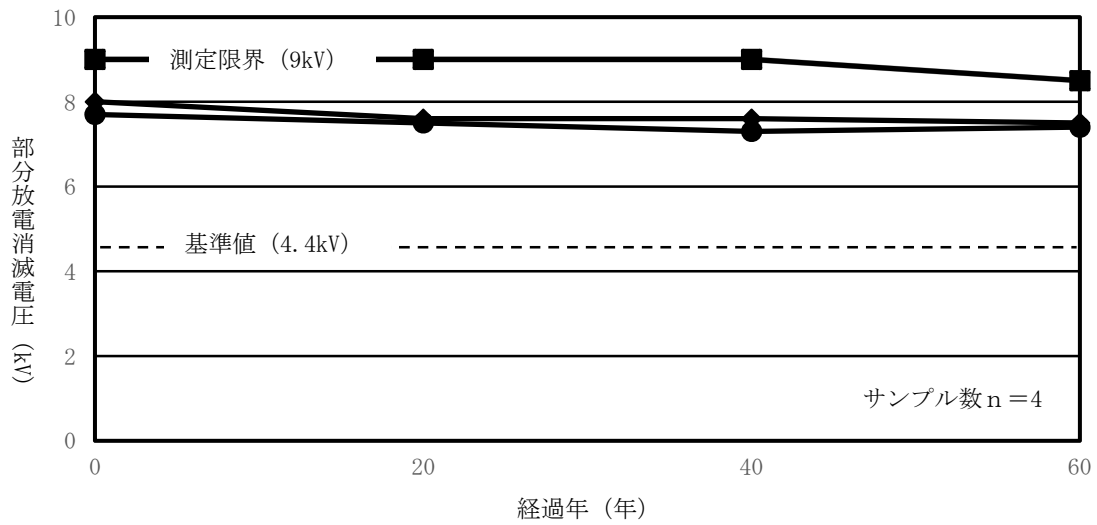


図2.3-1c 計器用変圧器の部分放電特性（熱サイクル試験による部分放電消滅電圧）  
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

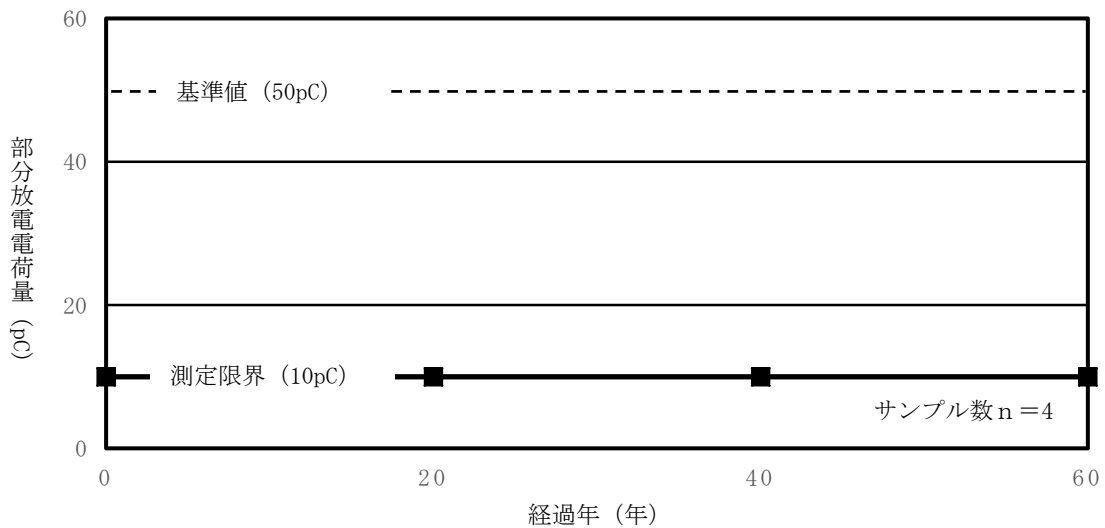


図2.3-1d 計器用変圧器の部分放電特性（熱サイクル試験による部分放電電荷量）  
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

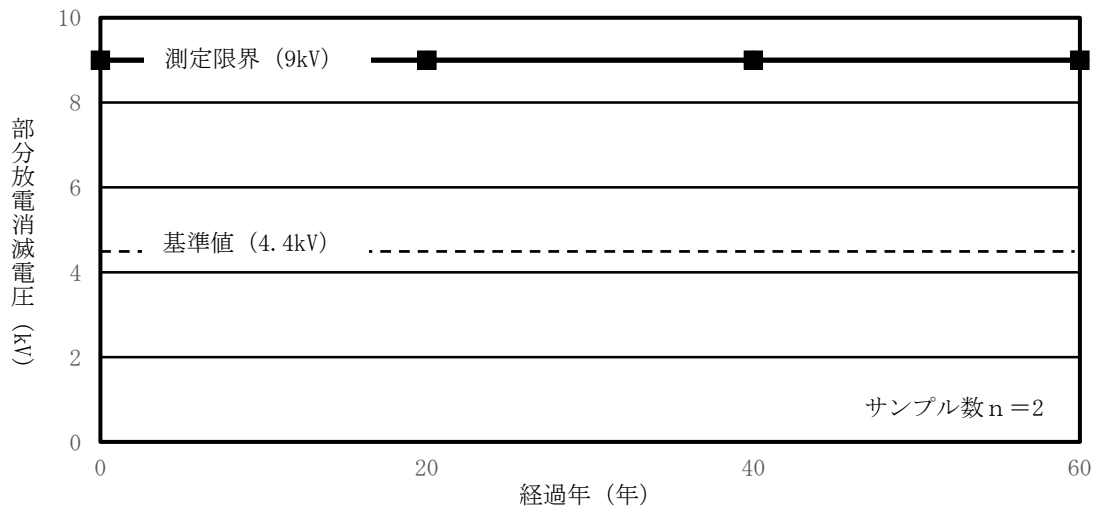


図2.3-1e 計器用変流器の部分放電特性（課電劣化試験による部分放電消滅電圧）  
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

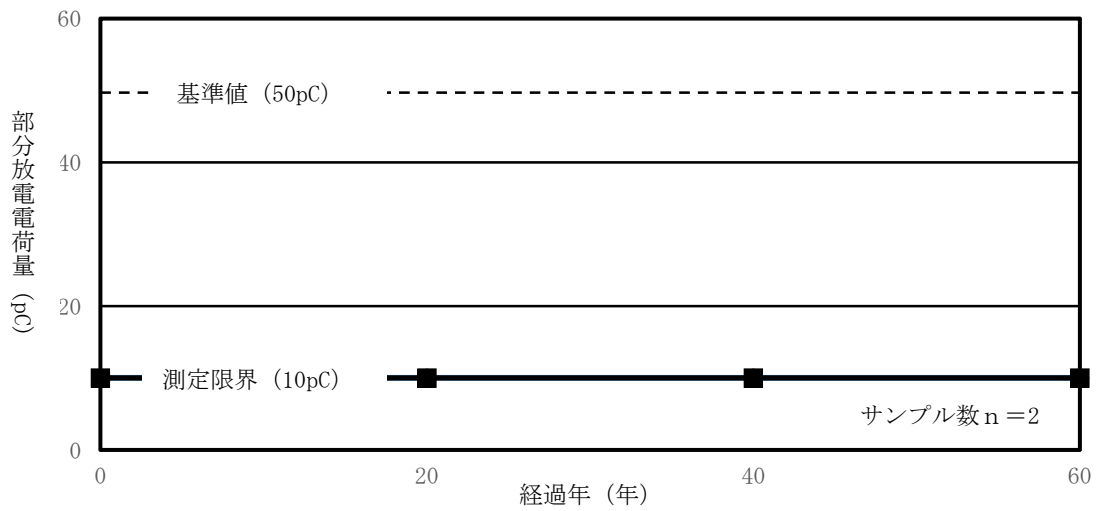


図2.3-1f 計器用変流器の部分放電特性（課電劣化試験による部分放電電荷量）  
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

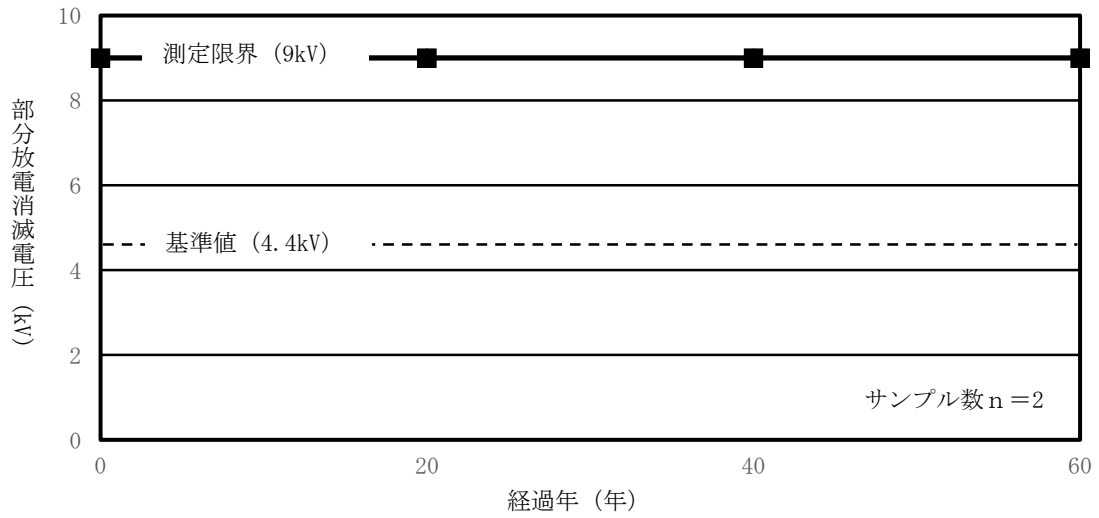


図2.3-1g 計器用変流器の部分放電特性（熱サイクル試験による部分放電消滅電圧）  
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

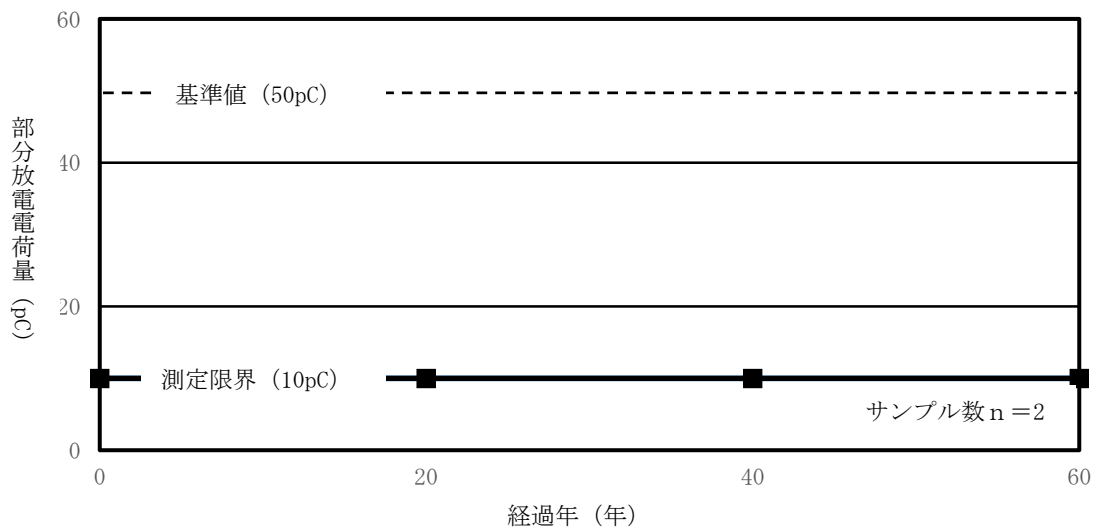


図2.3-1h 計器用変流器の部分放電特性（熱サイクル試験による部分放電電荷量）  
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

② 現状保全

計器用変流器および計器用変圧器の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることを確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、計器用変流器および計器用変圧器の絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

また、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

計器用変流器および計器用変圧器の絶縁低下については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。



### 3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、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 空冷式非常用発電装置（遮断器盤）
- ② 空冷式非常用発電装置中継・接続盤
- ③ 可搬式代替電源用接続盤－1、2
- ④ 代替所内電気設備高圧ケーブル分岐盤
- ⑤ 代替所内電気設備高圧ケーブルコネクタ接続盤
- ⑥ 代替所内電気設備高圧ケーブル接続盤

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

##### 3.1.1 ばね蓄勢用モータ（遮断器）の絶縁低下 [空冷式非常用発電装置（遮断器盤）]

ばね蓄勢用モータ（遮断器）の絶縁仕様はB種であり、使用環境等は代表機器と同様であることから、絶縁低下の可能性は小さいが、60年間の供用を想定すると絶縁低下が生じる可能性は否定できない。

しかしながら、ばね蓄勢用モータ（遮断器）の絶縁低下については、絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、ばね蓄勢用モータの絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

### 3.1.2 計器用変流器および計器用変圧器の絶縁低下〔空冷式非常用発電装置（遮断器盤）〕

計器用変流器および計器用変圧器の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁低下を起こす可能性がある。

しかしながら、代表機器の評価と同様の研究結果より絶縁性能に問題のないことを確認している。

計器用変流器および計器用変圧器の絶縁低下については、定期的な絶縁抵抗測定により検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、計器用変流器および計器用変圧器の絶縁低下については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

### 3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

#### 3.2.1 リンク機構（遮断器）の固着〔空冷式非常用発電装置（遮断器盤）〕

遮断器のリンク機構は、長期使用に伴いグリスが固化し、動作特性の低下が想定される。

しかしながら、注油、各部の目視確認、動作試験を実施することで、機器の健全性を維持している。

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

#### 3.2.2 保護リレー（静止形）の特性変化〔空冷式非常用発電装置（遮断器盤）〕

保護リレー（静止形）は、長期間の使用に伴い入出力特性の変化やマイグレーションが想定される。

しかしながら、保護リレー（静止形）を構成している電気回路部は定格値（定格電力・電圧・電流値）に対して回路上は十分低い範囲で使用する設計としており、屋内に設置されていることから環境変化の程度は小さく、短期間で入出力特性が変化する可能性は小さい。

また、製造段階で製作不良に基づく回路電流集中を取り除くスクリーニング等を実施していることから、マイグレーションが発生する可能性は小さい。

さらに、動作試験により、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 筐体〔共通〕およびチャンネルベース〔空冷式非常用発電装置（遮断器盤）、代替所内電気設備高圧ケーブル分岐盤〕の腐食（全面腐食）

筐体およびチャンネルベースは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

3.2.4 取付ボルトの腐食（全面腐食）〔空冷式非常用発電装置（遮断器盤）、代替所内電気設備高圧ケーブル分岐盤〕

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、メッキにより腐食を防止しており、メッキ面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メッキ面の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

3.2.5 埋込金物（大気接触部）の腐食（全面腐食）〔代替所内電気設備高圧ケーブル分岐盤〕

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

### 3.2.6 操作スイッチの導通不良 [空冷式非常用発電装置 (遮断器盤)]

操作スイッチは、浮遊塵埃の接点部分への付着による導通不良が想定される。

しかしながら、接点部分は盤内に収納されており、塵埃の付着による導通不良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、機器点検時の動作確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.7 基礎ボルトの腐食 (全面腐食) および樹脂の劣化 [基礎ボルトを含む機器共通]

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

また、ケミカルアンカには樹脂を使用しており、劣化が想定される。

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

### 3.2.8 ばね (遮断器) の変形 (応力緩和) [空冷式非常用発電装置 (遮断器盤)]

遮断器の投入ばねは開放状態にて、また開放ばねは投入状態にて長期間保持されることにより、変形 (応力緩和) が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

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

なお、機器点検時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.9 絶縁フレーム（遮断器）の絶縁低下〔空冷式非常用発電装置（遮断器盤）〕

遮断器の絶縁フレームの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、絶縁フレームは筐体に内蔵しているため、塵埃、湿分等が付着しにくい環境にある。

また、絶縁フレームは絶縁性の高いポリエステルで形成されており、絶縁フレームの耐熱温度130℃に対して、主回路導体の通電時の最大温度は90℃であることから絶縁低下の可能性は小さい。

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

なお、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。

### 3.2.10 投入コイルおよび引外しコイル（遮断器）の絶縁低下〔空冷式非常用発電装置（遮断器盤）〕

投入コイルおよび引外しコイルの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、投入コイルおよび引外しコイルは筐体に内蔵しているため、塵埃、湿分等が付着しにくい環境にある。

また、投入コイルおよび引外しコイルは連続運転ではなく、作動時間も1秒以下と小さいことから、コイルの発熱による温度上昇は小さいと考えられ、使用温度に比べて、十分余裕のある絶縁種（E種：許容最高温度120℃）を選択して使用していることから、絶縁低下の可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、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。

3.2.11 1次コンタクト（遮断器）の摩耗 [空冷式非常用発電装置（遮断器盤）]

遮断器の1次コンタクトは、盤からの引き出しに伴う摩耗が想定される。

しかしながら、構造が同様の代表機器でこれまでに有意な摩耗は認められておらず、空冷式非常用発電装置（遮断器盤）についても、今後これらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.12 主回路導体の腐食（全面腐食） [空冷式非常用発電装置（遮断器盤）]

主回路導体は銅であり、腐食が想定される。

しかしながら、銀メッキにより腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器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 支持碍子（盤）の絶縁低下 [空冷式非常用発電装置（遮断器盤）]

支持碍子は有機物であり、長期使用においては熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、支持碍子は主回路の最高温度に耐えるものであり、また筐体等に内蔵しているため、塵埃、湿分等が付着しにくい環境にある。

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

なお、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。

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

3.2.14 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）〔代替所内電気設備高圧ケーブル分岐盤〕

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。



## 2 動力変圧器

[対象機器]

- ① 動力変圧器（安全系）
- ② 代替所内電気設備変圧器

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	3
2.1 構造、材料および使用条件 .....	3
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	6
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価 .....	10
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 .....	12

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

大飯4号炉で使用されている動力変圧器の主な仕様を表1-1に示す。

これらの動力変圧器を、電圧区分および設置場所の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す動力変圧器を電圧区分および設置場所で分類すると1つのグループにまとめられる。

### 1.2 代表機器の選定

このグループの動力変圧器の中で、容量の大きい動力変圧器（安全系）を代表機器とする。

表1-1 大飯4号炉 動力変圧器の主な仕様

分離基準		機器名称 (台数)	仕様 容量 (kVA)	選定基準				代表機器の選定	
電圧区分	設置場所			重要度*1	使用条件			代表 機器	選定理由
					運転状態	定格 使用電圧 (V)	周囲 温度 (℃)		
高圧	屋内	動力変圧器（安全系）（4）	2,000 2,300	MS-1 重*2	連続	6,900	約35	◎	容量
		代替所内電気設備変圧器（1）	500	重*2	一時	6,900	約40		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の動力変圧器について技術評価を実施する。

### ① 動力変圧器（安全系）

#### 2.1 構造、材料および使用条件

##### 2.1.1 動力変圧器（安全系）

###### (1) 構造

大飯4号炉の動力変圧器（安全系）は、容量2,000kVAと2,300kVA、高圧側電圧6,600V、低圧側電圧460Vの三相乾式変圧器であり、それぞれ2台設置されている。

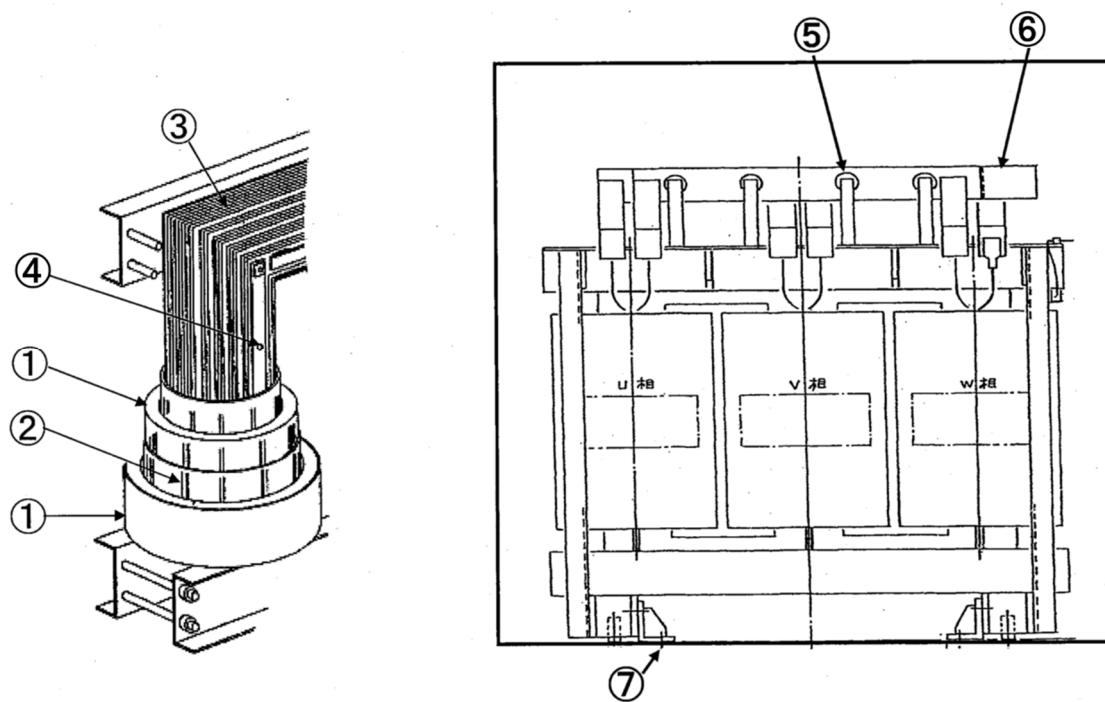
変圧器本体は電流回路となる巻線と磁気回路となる鉄心および巻線の絶縁を保持する絶縁物から構成され、電磁誘導の原理に基づき電圧変成を行っている。

なお、巻線で発生する熱は、空気の自然対流により冷却される構造となっている。

大飯4号炉の動力変圧器（安全系）の構造図を図2.1-1に示す。

###### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の動力変圧器（安全系）の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	コイル
②	垂直ダクト
③	鉄心
④	鉄心締付ボルト
⑤	接続銅板
⑥	銅板支持碍子
⑦	取付ボルト

図2.1-1 大飯4号炉 動力変圧器（安全系）構造図

表2.1-1 大飯4号炉 動力変圧器（安全系）主要部位の使用材料

部位		材料
巻線構成成品	コイル	銅、ポリアミド紙（H種絶縁）
	垂直ダクト	ポリエステルガラス
鉄心構成成品	鉄心	珪素鋼板
	鉄心締付ボルト	炭素鋼
配線構成成品	接続銅板	銅
支持組立品	銅板支持碍子	磁器
	取付ボルト	炭素鋼

表2.1-2 大飯4号炉 動力変圧器（安全系）の使用条件

容量	2,000kVA 2,300kVA
周囲温度	約35℃*1
高圧側電圧	6,600V
低圧側電圧	460V

\*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

動力変圧器（安全系）の機能である電圧変成機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 磁気回路の維持
- ② 通電・絶縁機能の維持
- 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

動力変圧器（安全系）について機能達成に必要な項目を考慮して、主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1のとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

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

#### (1) コイルの絶縁低下

コイルの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。



### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) 垂直ダクトの絶縁低下

コイル内に使用している垂直ダクトは有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、動力変圧器は空調された屋内に設置されていることから表面の汚損や水分の付着による絶縁低下の可能性は小さい。

また、使用時の温度170℃に対して、垂直ダクトの耐熱温度は200℃と十分余裕を持った耐熱性を有していることから、絶縁低下の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、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。

#### (2) 鉄心の緩み

鉄心は珪素鋼板の薄板を積層し締付け、組み立てられているが、運転中の振動・温度変化等により締付圧力が低下し、鉄心の緩みが想定される。

しかしながら、締付ボルトには回り止めが施されており、機器点検時の目視確認で緩みは認められておらず、今後これらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(3) 接続銅板の腐食（全面腐食）

接続銅板は銅であり、腐食が想定される。

しかしながら、塗装により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器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) 銅板支持碍子の絶縁低下

銅板支持碍子は無機物の磁器であり、経年劣化の可能性はない。

なお、長期の使用においては表面の汚損による絶縁低下が想定される。

しかしながら、動力変圧器は空調された屋内に設置されていることから表面の汚損や水分の付着による絶縁低下の可能性は小さい。

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

なお、機器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) 鉄心締付ボルトの腐食（全面腐食）

鉄心締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、大気接触部はメッキにより腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器点検時に代表として鉄心上部の枠締付ボルトを目視確認することにより、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、大気接触部は亜鉛メッキにより腐食を防止しており、メッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、機器点検時の目視確認によりメッキ面の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

表2.2-1 大飯4号炉 動力変圧器（安全系）の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		
磁気回路の維持 通電・絶縁機能の維持	コイル		銅、 ポリアミド紙					○				*1:緩み
	垂直ダクト		ポリエステル ガラス					△				
	鉄心		珪素鋼板								△*1	
	接続銅板		銅		△							
	銅板支持碍子		磁器					△				
機器の支持	鉄心締付ボルト		炭素鋼		△							
	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 コイルの絶縁低下

#### a. 事象の説明

コイルの絶縁物は、変圧器を運転している時には、コイルの発熱により温度が高くなるため、長期間の使用により熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起す可能性がある。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

大飯4号炉の動力変圧器（安全系）コイルのポリアミド紙平角銅線は、吸湿すると加水分解による強度低下が想定されるが、動力変圧器（安全系）は空調された室内に設置されており、吸湿が発生しがたい環境にある。

また、動力変圧器の絶縁性能の長期特性は、約27年間原子力発電所で使用された実機変圧器を用いた試験で確認されている。

試験では、撤去した変圧器に60年相当の熱劣化を加えた後、「電気学会 電気規格調査会標準規格 変圧器(JEC-2200-1995)」に定められている初期耐電圧試験を実施し、絶縁性能に問題のないことが確認された（出典：電力中央研究所報告「原子力発電所における動力変圧器の長期健全性評価研究」2006年6月）。

大飯4号炉の動力変圧器（安全系）コイルのポリアミド紙平角銅線は、試験で用いた変圧器コイルの2重ガラス平角銅線に比べ熱劣化特性で優れていることから、急激な絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下の可能性は否定できない。

##### ② 現状保全

コイルの絶縁低下に対しては、定期的に絶縁抵抗測定を実施している。

##### ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、コイルの絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

#### c. 高経年化への対応

コイルの絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

### 3. 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 代替所内電気設備変圧器

### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

#### 3.1.1 コイルの絶縁低下

コイルの絶縁物は、変圧器を運転している時には、コイルの発熱により温度が高くなるため、長期間の使用により熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

しかしながら、代表機器と同様に、コイルの絶縁物は熱劣化特性の優れた絶縁物（H種：許容最高温度180℃）であり、急激な絶縁低下の可能性は小さいと考える。

コイルの絶縁低下に対しては、絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、コイルの絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

### 3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### 3.2.1 鉄心の緩み

鉄心は珪素鋼板の薄板を積層し締付け、組み立てられているが、運転中の振動・温度変化等により締付圧力が低下し、鉄心の緩みが想定される。

しかしながら、締付ボルトには回り止めが施されており、機器点検時の目視確認で緩みは認められておらず、今後これらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

#### 3.2.2 鉄心締付ボルトの腐食（全面腐食）

鉄心締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、大気接触部はメッキにより腐食を防止しており、構造が同様の代表機器において、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器点検時に代表として鉄心上部の枠締付ボルトを目視確認することにより、機器の健全性を確認している。

#### 3.2.3 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、亜鉛メッキにより腐食を防止しており、メッキ面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メッキ面の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修を実施することとしている。

したがって、今後も有意な腐食が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。

#### 3.2.4 基礎ボルトの腐食（全面腐食）および樹脂の劣化

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

また、ケミカルアンカには樹脂を使用しており、劣化が想定される。

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

## 3 パワーセンタ

[対象機器]

- ① パワーセンタ (安全系)



## 目次

1. 技術評価対象機器	1
2. パワーセンタ（安全系）の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	6
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	14

1. 技術評価対象機器

大飯4号炉で使用されているパワーセンタの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 大飯4号炉 パワーセンタの主な仕様

機器名称 (群数)	仕様	重要度*1	使用条件			内蔵遮断器		
			運転 状態	定格 使用 電圧 (V)	周囲 温度 (°C)	投入 方式	定格 電流 (A) (最大)	遮断 電流 (kA)
パワー センタ (安全系) (4)	気中遮断器内蔵 低圧閉鎖形 母線定格電流 3,000A	MS-1、 重*2	連続	460	約35	ばね	3,000	65
						ばね	1,600	50

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. パワーセンタ（安全系）の技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 パワーセンタ（安全系）

##### (1) 構造

大飯4号炉のパワーセンタ（安全系）は、定格使用電圧460V、定格電流3,000Aの低圧閉鎖形で、4群設置されている。

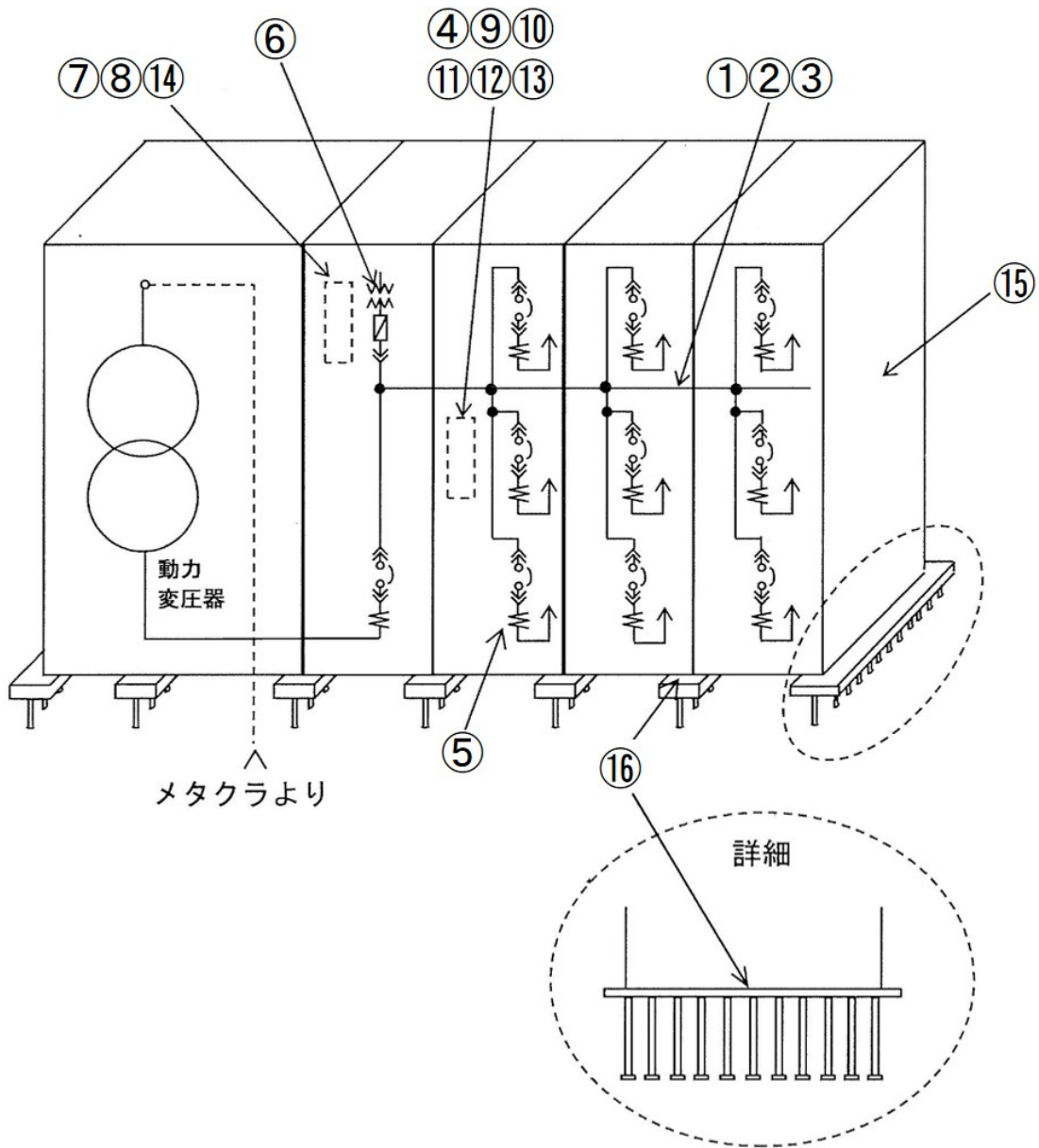
パワーセンタ（安全系）は、気中遮断器を内蔵しており、電源回路の保護、制御のために計器用変流器、計器用変圧器等を収納している。

遮断器の投入は投入ばねによって行い、開放は投入時に蓄勢された引外しばねによって行う。

大飯4号炉のパワーセンタ（安全系）構成図を図2.1-1に、気中遮断器構造図を図2.1-2に、気中遮断器操作機構構造図を図2.1-3に示す。

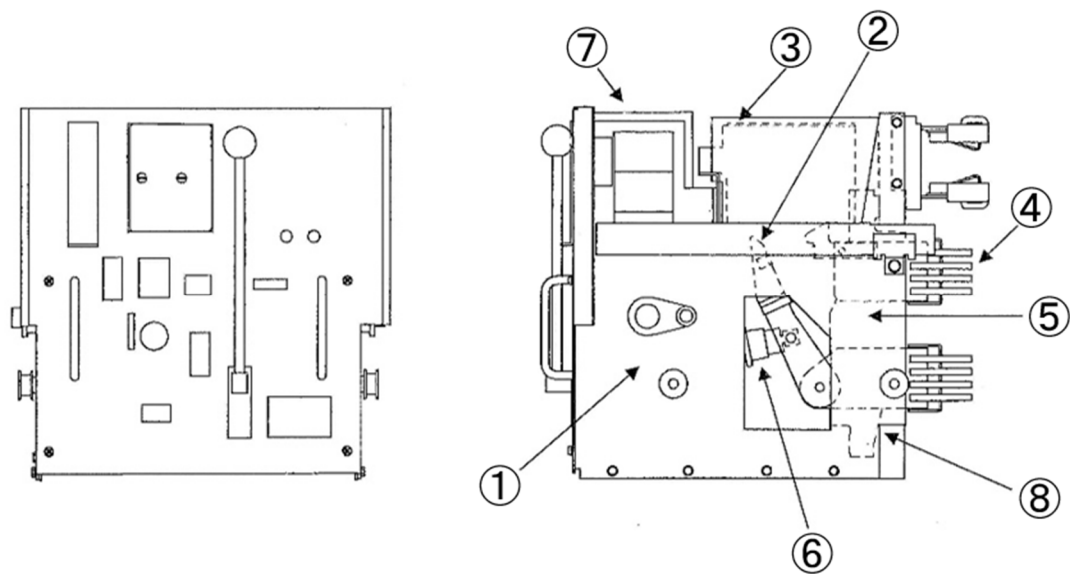
##### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉のパワーセンタ（安全系）の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



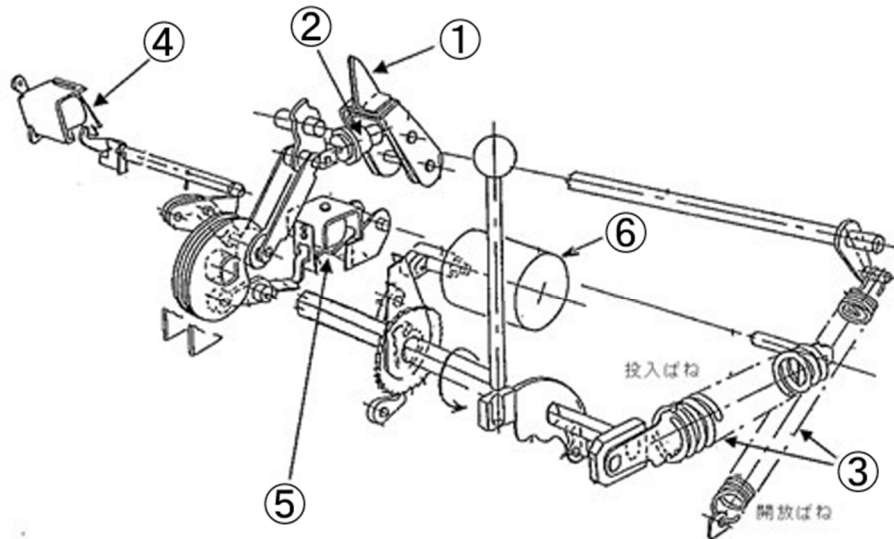
No.	部位	No.	部位
①	主回路導体	⑨	補助リレー
②	絶縁支持板	⑩	表示灯
③	支持碍子	⑪	ノーヒューズブレーカ
④	操作スイッチ	⑫	タイマ
⑤	計器用変流器	⑬	ヒューズ
⑥	計器用変圧器	⑭	指示計
⑦	保護リレー	⑮	筐体
⑧	ロックアウトリレー	⑯	埋込金物

図2. 1-1 大飯4号炉 パワーセンタ (安全系) 構成図



No.	部位	No.	部位
①	操作機構	⑤	絶縁ベース
②	接触子	⑥	絶縁リンク
③	消弧室	⑦	保護リレー
④	1次ジャンクション	⑧	計器用変流器

図2.1-2 大飯4号炉 パワーセンタ（安全系）気中遮断器構造図



No.	部位	No.	部位
①	接触子	④	引外しコイル
②	絶縁リンク	⑤	投入コイル
③	ばね	⑥	ばね蓄勢用モータ

図2.1-3 大飯4号炉 パワーセンタ（安全系）気中遮断器操作機構構造図

表2.1-1 大飯4号炉 パワーセンタ（安全系）主要部位の使用材料

	部位	材料
遮断器	操作機構	炭素鋼
	接触子	銀タングステン、銅
	消弧室	炭素鋼
	1次ジャンクション	銅
	絶縁ベース	ポリエステル樹脂
	絶縁リンク	ジアリルフタレート樹脂
	保護リレー（静止形）	消耗品・定期取替品
	計器用変流器	銅、エポキシ樹脂（B種絶縁）
	ばね	ばね用オイルテンパー線、ピアノ線
	引外しコイル	銅、ポリビニルホルマール（A種絶縁）
	投入コイル	銅、ポリビニルホルマール（A種絶縁）
	ばね蓄勢用モータ	銅、ポリアミドイミド（H種絶縁）
盤構成品	主回路導体	銅、アルミニウム合金
	支持碍子	エポキシ樹脂
	絶縁支持板	フェノール樹脂
	操作スイッチ	銅、銀他
	計器用変流器	銅、エポキシ樹脂（A種絶縁）
	計器用変圧器	銅、エポキシ樹脂（A種絶縁）
	保護リレー（静止形）	消耗品・定期取替品
	ロックアウトリレー	消耗品・定期取替品
	補助リレー	消耗品・定期取替品
	表示灯	消耗品・定期取替品
	ノーヒューズブレーカ	消耗品・定期取替品
	タイマ	消耗品・定期取替品
	ヒューズ	消耗品・定期取替品
	指示計	消耗品・定期取替品
支持組立品	筐体	炭素鋼
	埋込金物	炭素鋼

表2.1-2 大飯4号炉 パワーセンタ（安全系）の使用条件

周囲温度	約35℃*1
短時間電流強度	42kA 1秒 65kA 1秒
主回路温度上昇値（最大）	65℃
定格使用電圧	460V

\*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

パワーセンタ（安全系）の機能である給電機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 遮断機能の維持
- ② 通電・絶縁機能の維持
- ③ 機器の保護・監視機能の維持
- ④ 機器の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

パワーセンタ（安全系）について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1のとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

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

#### (1) ばね蓄勢用モータ（遮断器）の絶縁低下

遮断器のばね蓄勢用モータの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

#### (2) 計器用変圧器の絶縁低下

計器用変圧器の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

#### (1) 操作機構（遮断器）の固着

遮断器の操作機構は、長期使用に伴いグリスが固化し、動作特性の低下が想定される。

しかしながら、注油、各部の目視確認、動作試験を実施することで、機器の健全性を維持している。

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

#### (2) 接触子（遮断器）の摩耗

遮断器の接触子は、遮断器の開閉動作に伴う電流開閉により、摩耗が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認および寸法計測により、機器の健全性を確認している。



(3) 消弧室（遮断器）の汚損

遮断器の消弧室は、遮断器の電流遮断動作に伴う消弧室でのアーク消弧により汚損した場合、消弧性能の低下が想定される。

しかしながら、機器点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

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

(4) 1次ジャンクション（遮断器）の摩耗

遮断器の1次ジャンクションは、遮断器の盤からの出し入れに伴う摩耗が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(5) 絶縁リンク、絶縁ベース（遮断器）、支持碍子および絶縁支持板の絶縁低下

遮断器の絶縁リンクおよび絶縁ベース、支持碍子および絶縁支持板は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、絶縁リンク等は屋内の筐体に内蔵しているため、塵埃、湿分等が付着しにくい環境にある。

また、主回路導体の通電時の最大温度100℃に対して、絶縁リンクの耐熱温度は180℃、絶縁ベースの耐熱温度は200℃、支持碍子の耐熱温度は120℃、絶縁支持板の耐熱温度は130℃と十分余裕を持った耐熱性を有していることから、絶縁低下の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、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。

(6) ばね（遮断器）の変形（応力緩和）

遮断器のばねは投入状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

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

なお、機器点検時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 投入コイルおよび引外しコイル（遮断器）の絶縁低下

遮断器の投入コイルおよび引外しコイルの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、投入コイルおよび引外しコイルは屋内の筐体に内蔵しているため、塵埃、湿分等が付着しにくい環境にある。

また、投入コイルおよび引外しコイルは連続運転ではなく、作動時間も1秒以下と小さいことから、コイルの発熱による温度上昇は小さいと考えられ、使用温度に比べて、十分余裕のある絶縁種（A種：許容最高温度105℃）を選択して使用していることから、絶縁低下の可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、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。

(8) 主回路導体の腐食（全面腐食）

主回路導体は銅およびアルミニウム合金であり、腐食が想定される。

しかしながら、エポキシ樹脂により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器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) 操作スイッチの導通不良

操作スイッチは、浮遊塵埃の接点部分への付着による導通不良が想定される。

しかしながら、接点部分は盤内に収納されており、塵埃の付着による導通不良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、機器点検時の動作確認により、機器の健全性を確認している。

(10) 筐体の腐食（全面腐食）

筐体は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

(11) 埋込金物（大気接触部）の腐食（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

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

(12) 計器用変流器の絶縁低下

一次コイルと二次コイルがモールドされている形式の計器用変流器の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、一次コイルのない貫通型計器用変流器であり、二次コイルに係る電圧は低く、また、通電電流による熱的影響も小さい。

また、空調された屋内に設置されており、コイル全体がモールドされていることから塵埃による影響もごく僅かであり、絶縁低下の可能性は小さい。

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

(13) 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

表示灯は動作確認の結果に基づき取替える消耗品、保護リレー、ロックアウトリレー、補助リレー、ノーヒューズブレーカ、タイマ、ヒューズおよび指示計は定期取替品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 (1/2) 大飯4号炉 パワーセンタ(安全系)の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		
遮断機能の維持 通電・絶縁機能の維持	操作機構		炭素鋼								△*1	*1:固着 *2:汚損 *3:変形 (応力緩和)
	接触子		銀タングステン、銅	△								
	消弧室		炭素鋼								△*2	
	1次ジャンクション		銅	△								
	絶縁ベース		ポリエステル樹脂					△				
	絶縁リンク		ジアリルフタレート樹脂					△				
	保護リレー(静止形)	◎	-									
	計器用変流器		銅、エポキシ樹脂					▲				
	ばね		ばね用オイルテンパー線、ピアノ線								△*3	
	引外しコイル		銅、ポリビニルホルマール					△				
	投入コイル		銅、ポリビニルホルマール					△				
	ばね蓄勢用モータ		銅、ポリアミドイミド					○				
	主回路導体		銅、アルミニウム合金		△							
	支持碍子		エポキシ樹脂					△				
絶縁支持板		フェノール樹脂					△					

○: 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△: 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象(日常劣化管理事象)

表2.2-1 (2/2) 大飯4号炉 パワーセンタ (安全系) の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		
機器の保護・監視機能の維持	操作スイッチ		銅、銀他						△		*4: 大気接触部の腐食 *5: コンクリート埋設部の腐食	
	計器用変流器		銅、エポキシ樹脂					▲				
	計器用変圧器		銅、エポキシ樹脂					○				
	保護リレー (静止形)	◎	—									
	ロックアウトリレー	◎	—									
	補助リレー	◎	—									
	表示灯	◎	—									
	ノーヒューズブレーカ	◎	—									
	タイマ	◎	—									
	ヒューズ	◎	—									
	指示計	◎	—									
機器の支持	筐体		炭素鋼		△							
	埋込金物		炭素鋼		△*4 ▲*5							

○：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 ばね蓄勢用モータ（遮断器）の絶縁低下

#### a. 事象の説明

ばね蓄勢用モータ（遮断器）の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下が生じる可能性がある。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

ばね蓄勢用モータ（遮断器）は密閉構造のため、塵埃および湿分が付着しにくい環境にある。

また、モータは連続運転ではなく遮断器投入後に作動するもので、作動時間も数秒と短いことから、モータの発熱による温度上昇は小さいと考えられ、使用温度に比べて十分余裕のある絶縁種（H種：許容最高温度180℃）を使用していることから、絶縁低下の発生の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下が生じる可能性は否定できない。

##### ② 現状保全

ばね蓄勢用モータ（遮断器）の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることの確認を行っている。

##### ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、ばね蓄勢用モータ（遮断器）の絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

#### c. 高経年化への対応

ばね蓄勢用モータ（遮断器）の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

## 2.3.2 計器用変圧器の絶縁低下

### a. 事象の説明

計器用変圧器の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁低下を起こす可能性がある。

### b. 技術評価

#### ① 健全性評価

パワーセンタの計器用変圧器のサンプリングデータ等はないが、メタクラの計器用変流器の研究結果（詳細は「電気設備の技術評価書 メタクラ計器用変流器および計器用変圧器の絶縁低下」参照）より絶縁性能に問題のないことを確認している。

したがって、パワーセンタの計器用変圧器については、短期間での急激な絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると、絶縁低下の可能性は否定できない。

#### ② 現状保全

計器用変圧器の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることを確認している。

#### ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、計器用変圧器の絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

### c. 高経年化への対応

計器用変圧器の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。



## 4 コントロールセンタ

[対象機器]

- ① 原子炉コントロールセンタ（安全系）
- ② ディーゼル発電機コントロールセンタ
- ③ 加圧器ヒータ後備グループコントロールセンタ
- ④ 可搬式整流器用分電盤
- ⑤ 代替所内電気設備分電盤
- ⑥ A・C計装用電源用代替所内電気設備切替盤
- ⑦ B・D計装用電源用代替所内電気設備切替盤

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	3
2.1 構造、材料および使用条件 .....	3
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	6
3. 代表機器以外への展開 .....	11
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 .....	11

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

大飯4号炉で使用されているコントロールセンタの主な仕様を表1-1に示す。

これらのコントロールセンタを、電圧区分および設置場所の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すコントロールセンタを電圧区分および設置場所で分類すると1つのグループにまとめられる。

### 1.2 代表機器の選定

このグループのコントロールセンタの中で、定格電流の大きい原子炉コントロールセンタ（安全系）を代表機器とする。

表1-1 大飯4号炉 コントロールセンタの主な仕様

分離基準		機器名称 (群 数)	仕様	選定基準			代表機器の選定		
電圧 区分	設置 場所			重要度*1	使用条件			代表 機器	選定理由
					運転 状態	定格使用電圧 (V)	周囲温度 (°C)		
低圧	屋内	原子炉コントロールセンタ (安全系) (4)	低圧閉鎖形 定格電流 800A	MS-1 重*2	連続	460	約35	◎	定格電流
		ディーゼル発電機 コントロールセンタ (2)	低圧閉鎖形 定格電流 600A	MS-1	連続	460	約35		
		加圧器ヒータ後備グループ コントロールセンタ (4)	低圧閉鎖形 定格電流 600A	MS-2	連続	460	約35		
		可搬式整流器用分電盤 (1)	低圧閉鎖形 定格電流 250A	重*2	一時	460	約35		
		代替所内電気設備分電盤 (1)	低圧閉鎖形 定格電流 600A	重*2	一時	460	約35		
		A・C計装用電源用代替所内電気設備 切替盤 (1)	低圧閉鎖形 定格電流 50A	重*2	一時	460	約35		
		B・D計装用電源用代替所内電気設備 切替盤 (1)	低圧閉鎖形 定格電流 50A	重*2	一時	460	約35		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下のコントロールセンタについて技術評価を実施する。

### ① 原子炉コントロールセンタ（安全系）

#### 2.1 構造、材料および使用条件

##### 2.1.1 原子炉コントロールセンタ（安全系）

###### (1) 構造

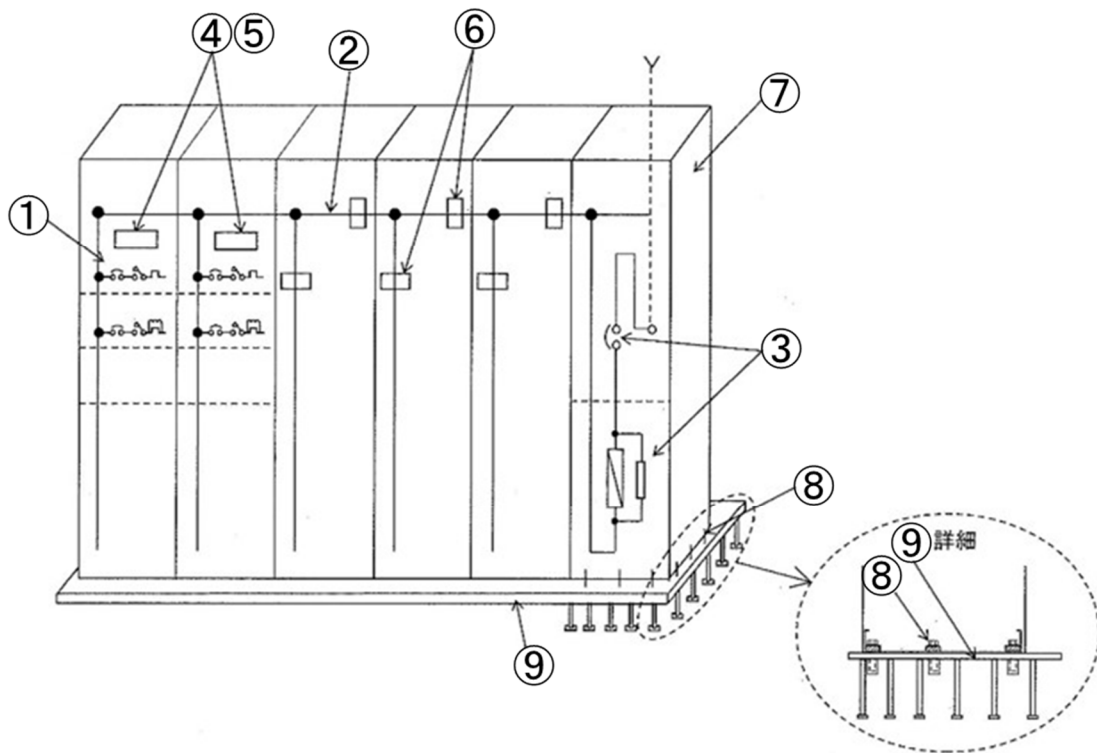
大飯4号炉の原子炉コントロールセンタ（安全系）は、定格使用電圧460V、定格電流800Aの低圧閉鎖形であり、4群設置されている。

原子炉コントロールセンタ（安全系）は、電源を開閉する装置（ユニット）、CLN限流装置等で構成されている。

大飯4号炉の原子炉コントロールセンタ（安全系）構成図を図2.1-1に示す。

###### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の原子炉コントロールセンタ（安全系）の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	開閉装置
②	主回路導体
③	CLN限流装置
④	表示灯
⑤	タイマ
⑥	母線支え
⑦	筐体
⑧	取付ボルト
⑨	埋込金物

図2.1-1 大飯4号炉 原子炉コントロールセンタ（安全系）構成図

表2.1-1 大飯4号炉 原子炉コントロールセンタ（安全系）主要部位の使用材料

部位		材料
盤内構成品	開閉装置（ノーヒューズブレーカ、サーマルリレー、電磁接触器、ヒューズ、補助リレー、制御用変圧器）	消耗品・定期取替品
	主回路導体	銅（錫メッキ）
	CLN限流装置	金属ナトリウム、クローム銅棒、ステンレス鋼、磁器
	表示灯	消耗品・定期取替品
	タイマ	消耗品・定期取替品
	母線支え	ガラスポリエステル
支持組立品	筐体	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼
	埋込金物	炭素鋼

表2.1-2 大飯4号炉 原子炉コントロールセンタ（安全系）の使用条件

周囲温度	約35℃*1
短時間電流強度	20kA 1秒
主回路温度上昇値（最大）	65℃
定格使用電圧	460V

\*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

原子炉コントロールセンタ（安全系）の機能である給電機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 遮断機能の維持
- ② 通電・絶縁機能の維持
- ③ 機器の保護・監視機能の維持
- ④ 機器の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

原子炉コントロールセンタ（安全系）について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1のとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。



### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

#### (1) 主回路導体の腐食（全面腐食）

主回路導体は銅であり、腐食が想定される。

しかしながら、錫メッキにより腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器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) CLN限流装置の絶縁低下

CLN限流装置に使用している絶縁物は無機物の磁器であり、経年劣化の可能性はない。

なお、長期の使用においては表面の汚損による絶縁低下が想定される。

しかしながら、CLN限流装置は筐体に内蔵しているため、塵埃が付着しにくい環境にある。

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

なお、機器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) 母線支えの絶縁低下

主回路導体を支持する母線支えは有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、母線支えは屋内の筐体に内蔵しているため、塵埃、湿分等が附着しにくい環境にある。

また、主回路導体の通電時の最大温度100℃に対して、母線支えの耐熱温度は155℃と十分余裕を持った耐熱性を有していることから、絶縁低下の可能性は小さい。

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

なお、機器点検時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(4) 筐体の腐食（全面腐食）

筐体は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

(5) 取付ボルトの腐食（全面腐食）

取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は亜鉛メッキにより腐食を防止しており、メッキ面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メッキ面の状態を確認し、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。

(6) 埋込金物（大気接触部）の腐食（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

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

(7) 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

表示灯は動作確認の結果に基づき取替える消耗品、開閉装置およびタイマは定期取替品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 大飯4号炉 原子炉コントロールセンタ（安全系）の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		
遮断機能の維持 ・通電・絶縁機能の維持	開閉装置（ノーヒューズブレーカ、サーマルリレー、電磁接触器、ヒューズ、補助リレー、制御用変圧器）	◎	—									*1:大気接触部の腐食 *2:コンクリート埋設部の腐食
	主回路導体		銅（錫メッキ）		△							
機器の保護 ・監視機能の維持	CLN限流装置		金属ナトリウム、クローム銅棒、ステンレス鋼、磁器					△				
	表示灯	◎	—									
	タイマ	◎	—									
機器の支持	母線支え		ガラスポリエステル					△				
	筐体		炭素鋼		△							
	取付ボルト		炭素鋼		△							
	埋込金物		炭素鋼		△ <sup>*1</sup> ▲ <sup>*2</sup>							

△：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 ディーゼル発電機コントロールセンタ
- ② 加圧器ヒータ後備グループコントロールセンタ
- ③ 可搬式整流器用分電盤
- ④ 代替所内電気設備分電盤
- ⑤ A・C計装用電源用代替所内電気設備切替盤
- ⑥ B・D計装用電源用代替所内電気設備切替盤

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

##### 3.1.1 主回路導体の腐食（全面腐食）[共通]

主回路導体は銅であり、腐食が想定される。

しかしながら、錫メッキにより腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.2 母線支えの絶縁低下[共通]

これらの母線支えの耐熱温度や使用環境等は代表機器と同様であることから、絶縁低下の可能性は小さい。

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

なお、機器の動作確認または絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.3 筐体およびチャンネルベースの腐食（全面腐食）[共通]

筐体およびチャンネルベースは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

### 3.1.4 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、大気接触部は亜鉛メッキにより腐食を防止しており、メッキ面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メッキ面の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

### 3.1.5 埋込金物（大気接触部）の腐食（全面腐食）[共通]

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

### 3.1.6 基礎ボルトの腐食（全面腐食）および樹脂の劣化[基礎ボルトを含む機器共通]

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

また、ケミカルアンカには樹脂を使用しており、劣化が想定される。

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

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

### 3.1.7 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）[共通]

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

# 大飯発電所 4 号炉

## タービン設備の技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

関西電力株式会社



大飯4号炉のタービン設備のうち、評価対象機器である安全重要度分類審査指針におけるクラス1、2の機器、高温・高圧の環境下にあるクラス3の機器および常設重大事故等対処設備に属する機器を選定した。本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考ええる。

これらの一覧表を表1に、機能を表2に示す。

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

本評価書ではタービンおよび付属機器の型式等を基に、以下の6つに分類している。

- 1 高圧タービン
- 2 低圧タービン
- 3 主油ポンプ
- 4 タービン調速装置
- 5 タービン動補助給水ポンプタービン
- 6 タービン動主給水ポンプタービン

なお、タービン潤滑・制御油系統配管は「配管の技術評価書」にて、タービンの主要弁および一般弁は「弁の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

表1 大飯4号炉 主要なタービンおよび付属機器

型式	機器名称 (台数)		重要度 <sup>*1</sup>
タービン	高圧タービン(1)		高 <sup>*2</sup>
	低圧タービン(3)		高 <sup>*2</sup>
	付属機器	主油ポンプ(1)	高 <sup>*2</sup>
		タービン調速装置(1)	高 <sup>*2</sup>
	タービン動補助給水ポンプタービン(1)		MS-1、重 <sup>*3</sup>
	タービン動主給水ポンプタービン(2)		高 <sup>*2</sup>

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

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

表2 大飯4号炉 主要なタービンおよび付属機器の機能

機器名称	機能
高圧タービン	発電を行うため発電機を駆動する。
低圧タービン	
主油ポンプ	タービン運転中に必要な潤滑油および制御油をタービン潤滑油・制御油系統へ供給する。
タービン調速装置	タービンの回転速度を制御するとともにタービンに異常が発生した場合に安全にタービンを停止する。
タービン動補助給水ポンプタービン	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次側へ供給する補助給水ポンプを駆動する。
タービン動主給水ポンプタービン	主蒸気によってタービンを回転し、タービン動主給水ポンプを駆動する。

# 1 高圧タービン

[対象機器]

- ① 高圧タービン

## 目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 高圧タービンの技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	8

1. 技術評価対象機器

大飯4号炉で使用されている高圧タービンの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 大飯4号炉 高圧タービンの主な仕様

機器名称 (台数)	仕様 (出力(kW)× 定格回転数 (rpm))	重要度*1	使用条件			
			運転状態	最高 使用圧力*3 (MPa[gage])	最高 使用温度*3 (°C)	湿り度*3 (%)
高圧タービン (1)	1,180,000*4 ×1,800	高*2	連続	約8.2	約298	約0.43

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

\*3：主蒸気管の蒸気条件。

\*4：低圧タービンとの合計出力を示す。

## 2. 高圧タービンの技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### (1) 構造

大飯4号炉の高圧タービンは複流型タービンであり、1台設置されている。

蒸気は車室に接続されている4本の主蒸気入口管より高圧タービンに流入し、中央で二つに分かれ、車室より排気される。

車室は低合金鋼鋳鋼製であり、水平継手面にて上下分割され、ボルトにより締め付けられている。

また、静翼はステンレス鋼製であり、水平部で車室に支持されている翼環に固定されている。第1翼環および第2翼環の内径面は流れ加速型腐食を防止するため、ステンレス鋼鋳鋼を使用している。

また、翼環は上下のラジアルピンによってガイドされている。

車軸には低合金鋼を使用しており、2個のジャーナル軸受により支えられている。

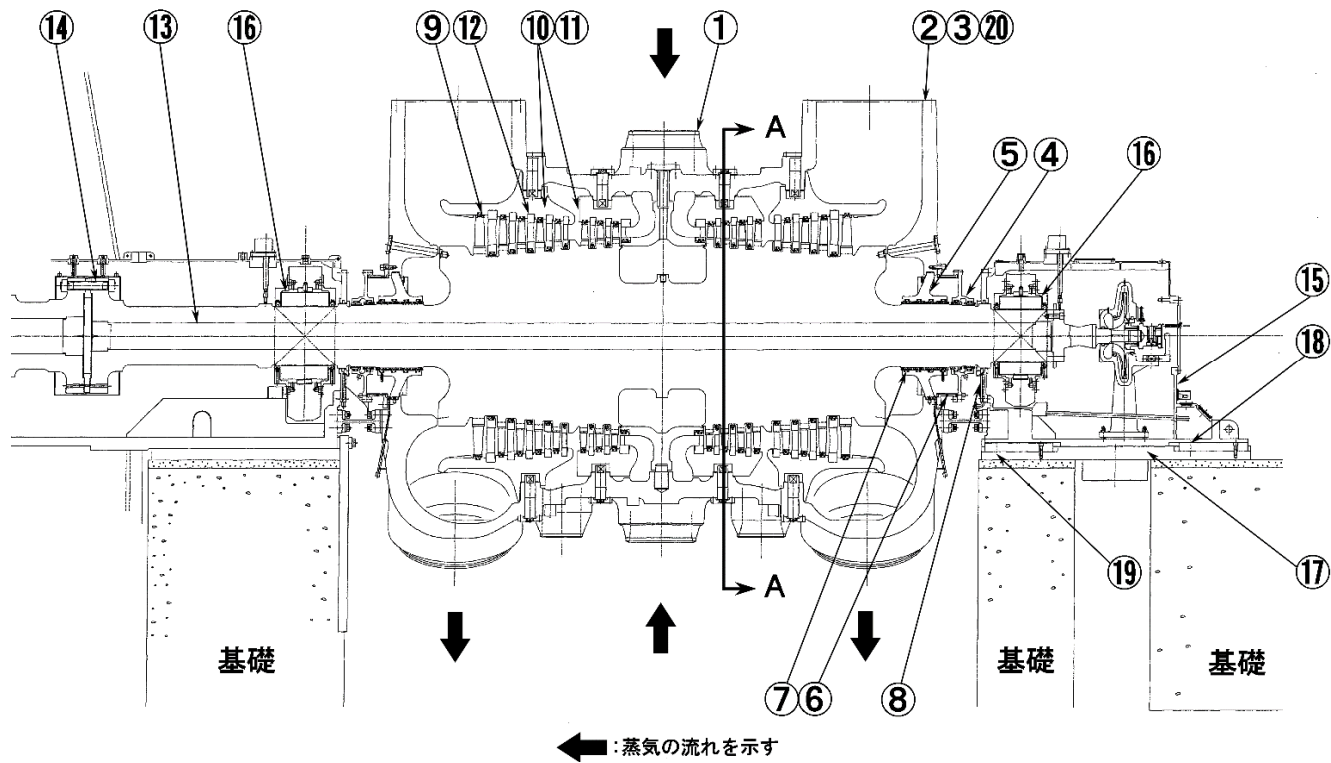
車室両端面の車軸貫通部にはアウターグランドおよびインナーグランド本体が設けられており、多数のシールストリップを装備したグランドシールリングにより蒸気流出を防いでいる。

なお、大飯4号炉の高圧タービンについては、第14回定期検査時（2011～2012年度）に取替を実施している。

大飯4号炉の高圧タービンの構造図を図2.1-1～図2.1-4に示す。

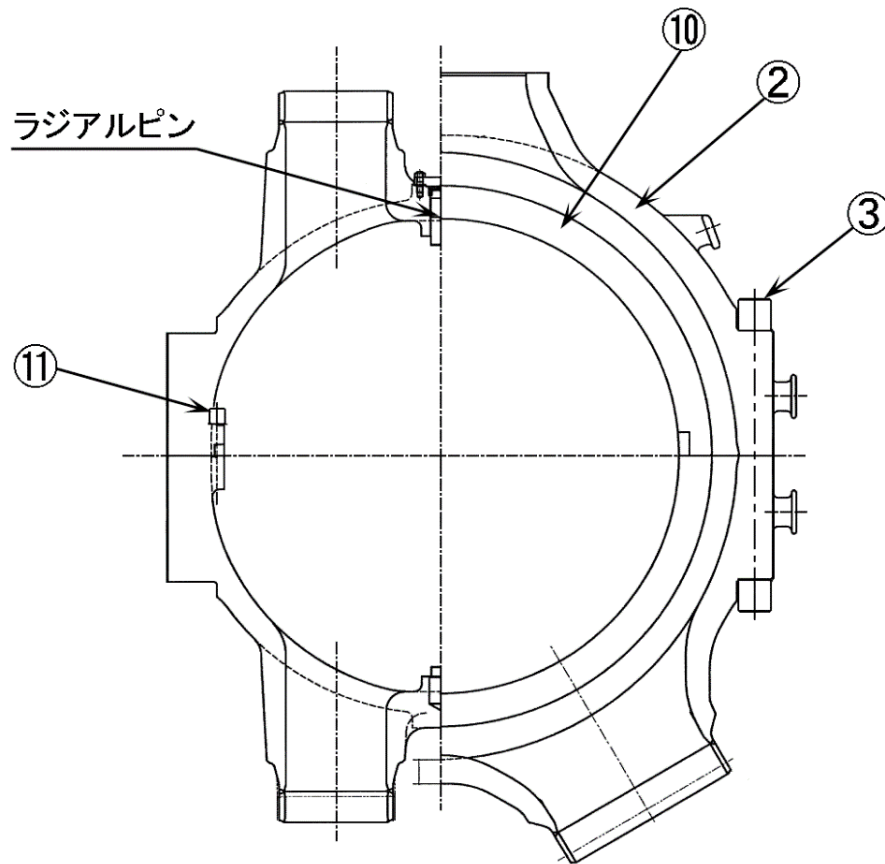
#### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の高圧タービンの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	主蒸気入口管
②	車室
③	車室ボルト
④	アウターグランド本体
⑤	インナーグランド本体
⑥	グランドダイヤフラムリング
⑦	グランドシールリング
⑧	油止輪
⑨	動翼
⑩	翼環
⑪	翼環ボルト
⑫	静翼
⑬	車軸
⑭	カップリングボルト
⑮	軸受台
⑯	ジャーナル軸受 (すべり)
⑰	台板
⑱	キー
⑲	基礎ボルト
⑳	車室支えボルト

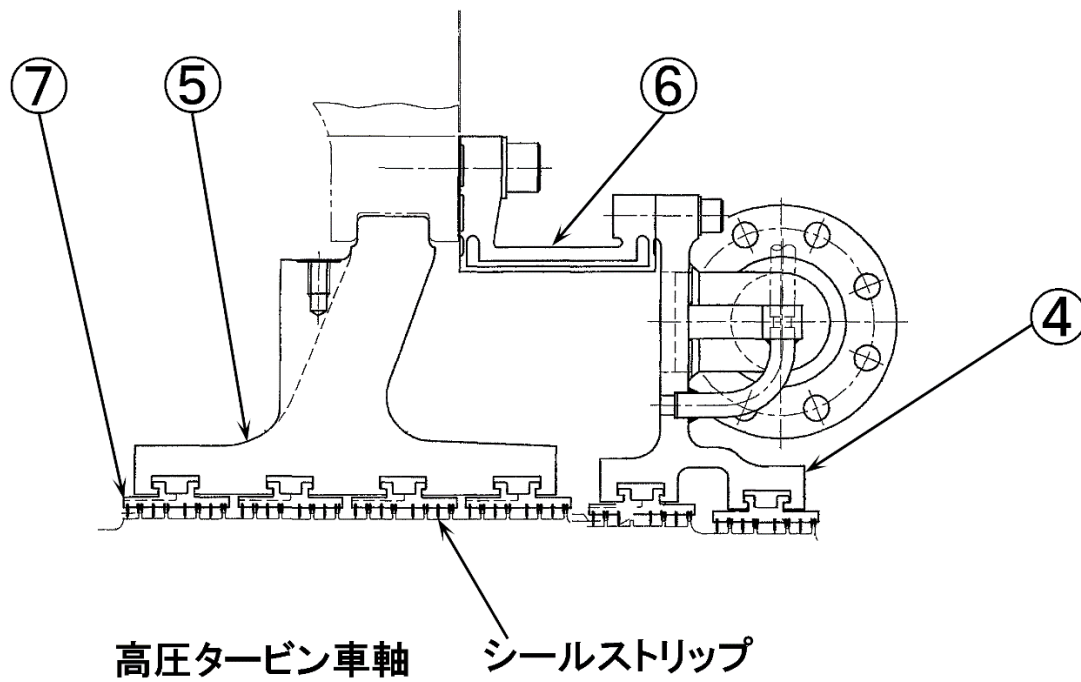
図2.1-1 大飯4号炉 高圧タービン構造図



No.	部位
②	車室
③	車室ボルト
⑩	翼環
⑪	翼環ボルト

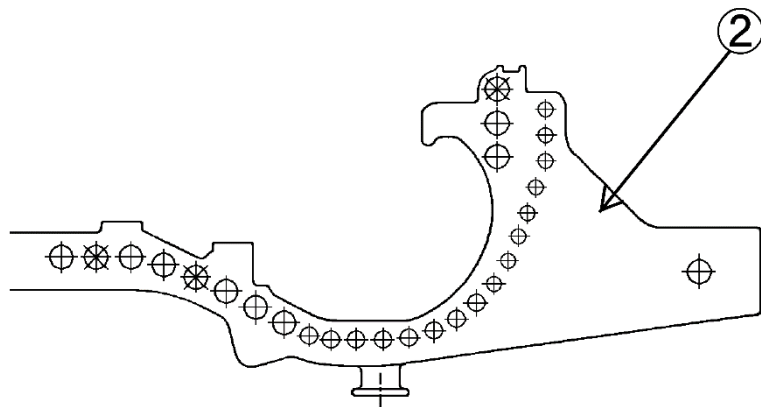
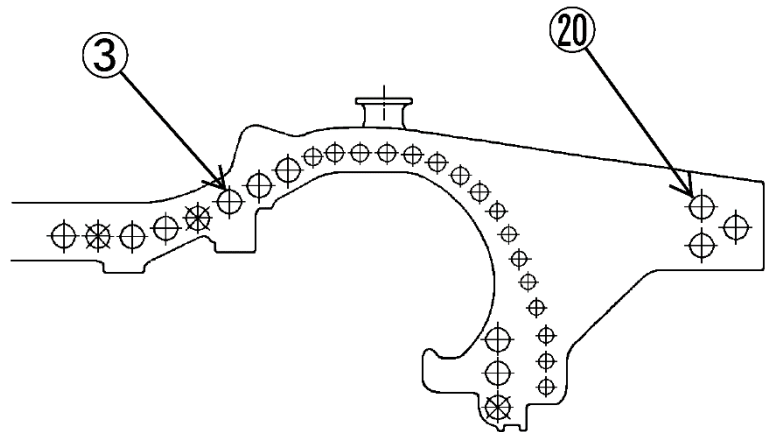
図2.1-2 大飯4号炉 高圧タービン  
車室、翼環構造図





No.	部位
④	アウターグランド本体
⑤	インナーグランド本体
⑥	グランドダイヤフラムリング
⑦	グランドシールリング

図2.1-3 大飯4号炉 高圧タービン  
アウターグランドおよびインナーグランド本体構造図



No.	部位
②	車室
③	車室ボルト
⑳	車室支えボルト

図2.1-4 大飯4号炉 高圧タービン  
車室、車室ボルト、車室支えボルト構造図

表2.1-1 大飯4号炉 高圧タービン主要部位の使用材料

部位	材料
主蒸気入口管	炭素鋼
車室	低合金鋼鋳鋼
車室ボルト	低合金鋼
アウターグランド本体	低合金鋼鋳鋼
インナーグランド本体	ステンレス鋼鋳鋼
グランドダイヤフラムリング	炭素鋼
グランドシールリング	消耗品・定期取替品
油止輪	炭素鋼
動翼	ステンレス鋼
翼環	ステンレス鋼鋳鋼
翼環ボルト	ステンレス鋼
静翼	ステンレス鋼
車軸	低合金鋼
カップリングボルト	低合金鋼
軸受台	炭素鋼
ジャーナル軸受（すべり）	炭素鋼+ホワイトメタル
台板	炭素鋼
キー	低合金鋼
基礎ボルト	炭素鋼
車室支えボルト	低合金鋼

表2.1-2 大飯4号炉 高圧タービンの使用条件

最高使用圧力	約8.2MPa[gage]
最高使用温度	約298℃
定格回転数	1,800rpm
内部流体	湿り蒸気

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

高圧タービンの機能である発電機駆動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 発電機駆動力の確保
- 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

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

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) 主蒸気入口管および車室の外表面からの腐食（全面腐食）

主蒸気入口管および車室は炭素鋼または低合金鋼鋳鋼であり、外表面からの腐食が想定される。

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

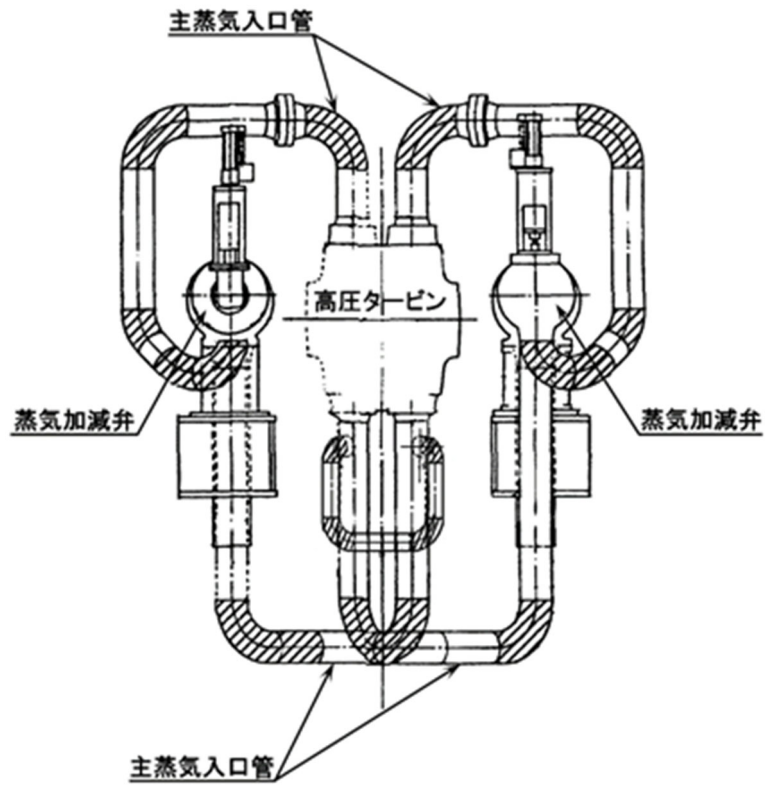
また、巡視点検や定検時等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

#### (2) 主蒸気入口管および車室の腐食（流れ加速型腐食）

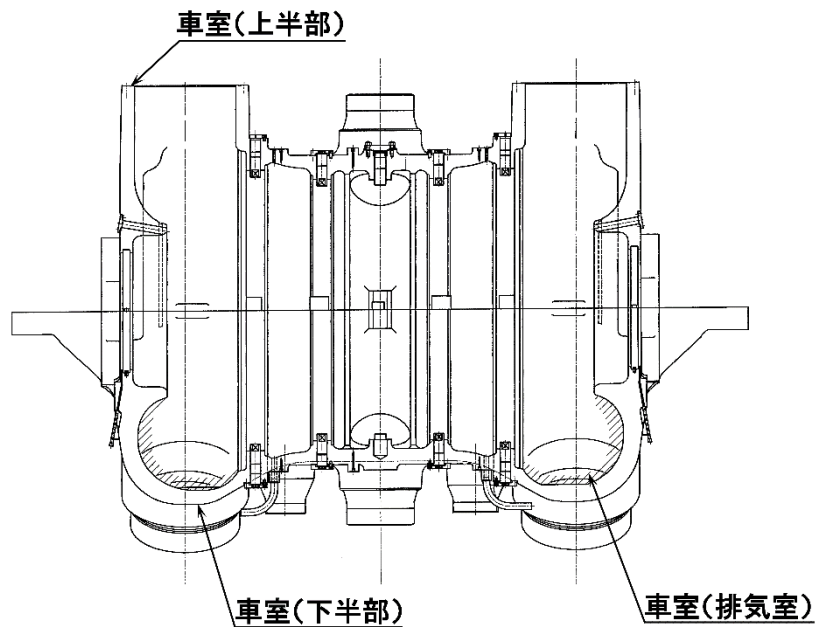
主蒸気入口管および車室は、炭素鋼または低合金鋼鋳鋼であり、湿り蒸気流に常時さらされているため、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

主蒸気入口管および車室の流れ加速型腐食発生想定部位をそれぞれ図2.2-1および図2.2-2に示す。



//// : 流れ加速型腐食発生想定部位

図2.2-1 大飯4号炉 高圧タービン  
主蒸気入口管の流れ加速型腐食発生想定部位 (概念図)



//// : 流れ加速型腐食発生想定部位

図2.2-2 大飯4号炉 高圧タービン  
車室の流れ加速型腐食発生想定部位 (概念図)

主蒸気入口管等については、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

流れ加速型腐食による減肉の進行程度は物理的因子である流速、湿り度、渦流の発生の有無等、また、化学的因子である水質、温度等により影響されるが、それらの諸条件は機器単位で異なっていると考えられ、一律に流れ加速型腐食について正確に定量的な予測を行うことは困難である。

しかしながら、主蒸気入口管の流れ加速型腐食については「2次系配管肉厚の管理指針」に基づき、超音波探傷検査による肉厚測定を実施し、肉厚測定結果に基づく余寿命評価から次回測定または取替時期を設定している。

また、車室については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) 主蒸気入口管および車室の疲労割れ

主蒸気入口管および車室は、起動・停止および負荷変化時に発生する熱応力により、疲労割れが想定される。

しかしながら、有意な応力変動を受けない構造となっており、疲労割れが発生しがたい。

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

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) 車室の変形

車室は大型鋳物でかつ構造が複雑であり、わずかなひずみが想定される。

しかしながら、分解点検時に水平継手面の隙間計測や当り状況の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(5) 車室ボルトの腐食（全面腐食）

車室ボルトは低合金鋼であり、フランジ面からの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) アウターグラウンド本体およびグラウンドダイヤフラムリングの外側からの腐食（全面腐食）

アウターグラウンドおよびグラウンドダイヤフラムリングは低合金鋼または炭素鋼であり、外側からの腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(7) アウターグラウンド本体およびグラウンドダイヤフラムリングの内側からの腐食（流れ加速型腐食）

アウターグラウンド本体およびグラウンドダイヤフラムリングは低合金鋼または炭素鋼であり、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。



(8) 油止輪、軸受台および台板等の腐食（全面腐食）

油止輪、軸受台および台板は炭素鋼、カップリングボルトは低合金鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、内面およびカップリングボルトについては潤滑油雰囲気で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、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) 動翼の高サイクル疲労割れ

タービン運転時に固有振動数の低い動翼群が運転中に共振に近い状態になった場合、動翼の応力集中部に高サイクル疲労割れが想定される。

1981年11月に美浜1号炉の低圧タービン第6段動翼において、高サイクル疲労割れが発生している。

しかしながら、高圧タービン動翼では流体力と共振した場合でも十分な安全率を有する設計としており、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、分解点検時の応力集中部に対する目視確認や磁粉探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(10) 翼環ボルトの応力腐食割れ

翼環ボルトはステンレス鋼であり、応力集中部であるねじ部を有しており、湿り蒸気雰囲気で使用されているため、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、締付管理により過大な応力とならないよう管理していることから、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

また、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(11) 車軸の摩耗

車軸を支持する軸受はすべり軸受を使用しており、車軸の摩耗が想定される。

しかしながら、強制潤滑により車軸と軸受間に潤滑油の供給を行っているため、軸受との直接接触による摩耗が発生しがたい環境であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

さらに、潤滑油とともに流入する異物についても、ストレーナや油清浄器により油の浄化を実施している。

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

なお、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) 車軸の腐食（流れ加速型腐食）

車軸は湿り蒸気雰囲気で使用しており、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、車軸は低合金鋼であり、炭素鋼に比べ優れた耐食性を有しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(13) 車軸の高サイクル疲労割れ

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

しかしながら、タービン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、分解点検時の応力集中部に対する目視確認や超音波探傷検査、磁粉探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(14) 車軸の応力腐食割れ

車軸は低合金鋼であり、比較的発生応力の高い翼溝部を有しており、湿り蒸気雰囲気で使用されているため、応力腐食割れが想定される。

1984年2月に、伊方1号炉の低圧タービンにおいて、片側5枚ある円板のうち上流側から2番目の第2円板翼溝部に、応力腐食割れと考えられる割れが認められた。

しかしながら、車軸には応力腐食割れに対する感受性の低い降伏応力約690MPa級の材料を使用しており、降伏応力（0.2%耐力）と応力腐食割れの発生の関係、また、一定の低ひずみ速度で荷重を加えた場合の破面観察結果からも、降伏応力約690MPa級の材料では粒界割れの破面はごくわずかであり、応力腐食割れに対する感受性は低い。

さらに、分解点検時の応力集中部に対する目視確認や超音波探傷検査、磁粉探傷検査により、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。

(15) ジャーナル軸受ホワイトメタルの摩耗、はく離

ジャーナル軸受のホワイトメタルは、長時間の使用による摩耗、はく離が想定される。

しかしながら、摩耗に対しては分解点検時の目視確認および車軸と軸受内面の隙間測定や軸受表面の当り幅の確認により、はく離についても分解点検時の超音波探傷検査により、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。

(16) キーの摩耗

軸受台は起動・停止による温度変化により台板上をスライドするため、台板に固定されたキーの摩耗が想定される。

しかしながら、キーは低合金鋼であり、炭素鋼に比べ耐摩耗性が優れており、かつ軸受台とキーの接触面は潤滑剤が注入されており、摩耗が発生しがたい環境である。

さらに、起動・停止回数の多い火力発電所のタービンにおいても同様の構造、材料を採用しこれまで問題なく運転されており、十分な使用実績を有している。

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

なお、巡視点検等の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(17) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

(18) 車室支えボルトの腐食（全面腐食）

車室支えボルトは低合金鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検や巡視点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品および定期取替品

グランドシールリングは、分解点検時の目視確認や隙間計測の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 大飯4号炉 高圧タービンに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	主蒸気入口管		炭素鋼		△(外面) △(内面)*1	△					*1：流れ加速型腐食 *2：変形 *3：内外面 *4：高サイクル疲労割れ *5：はく離
	車室		低合金鋼鋳鋼		△(外面) △(内面)*1	△				△*2	
	車室ボルト		低合金鋼		△						
	アウターグラウンド本体		低合金鋼鋳鋼		△(外面) △(内面)*1						
	インナーグラウンド本体		ステンレス鋼鋳鋼								
	グラウンドダイヤフラムリング		炭素鋼		△(外面) △(内面)*1						
	グラウンドシールリング	◎	—								
	油止輪		炭素鋼		△*3						
発電機駆動力の確保	動翼		ステンレス鋼			△*4					
	翼環		ステンレス鋼鋳鋼								
	翼環ボルト		ステンレス鋼				△				
	静翼		ステンレス鋼								
	車軸		低合金鋼	△	△*1	△*4	△				
	カップリングボルト		低合金鋼		△						
	軸受台		炭素鋼		△*3						
	ジャーナル軸受(すべり)		炭素鋼+ホワイトメタル	△						△*5	
機器の支持	台板		炭素鋼		△*3						
	キー		低合金鋼	△							
	基礎ボルト		炭素鋼		△						
	車室支えボルト		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）

## 2 低圧タービン

[対象機器]

- ① 低圧タービン

## 目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 低圧タービンの技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	7

1. 技術評価対象機器

大飯4号炉で使用されている低圧タービンの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 大飯4号炉 低圧タービンの主な仕様

機器名称 (台数)	仕様 (出力(kW)× 定格回転数 (rpm))	重要度*1	使用条件			
			運転状態	最高 使用圧力*3 (MPa[gage])	最高 使用温度*3 (℃)	湿り度*3 (%)
低圧タービン (3)	1,180,000*4 ×1,800	高*2	連続	約1.4	約298	0

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

\*3：高温再熱蒸気管の蒸気条件。

\*4：高圧タービンとの合計出力を示す。



## 2. 低圧タービンの技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### (1) 構造

大飯4号炉の低圧タービンは、複流型タービンであり、3台設置されている。

蒸気は高圧タービン排気より湿分分離加熱器を経て車室中央部に流入する。流入した蒸気は中央で2つに分かれ、動翼、静翼を通過後両端の排気口から下方にある復水器に至る。

車室は外部車室、内部車室および翼環で構成され、炭素鋼および炭素鋼鋳鋼が使用されており、それぞれ水平継手面にて上下分割され、ボルトにより締め付けられている。静翼はステンレス鋼およびステンレス鋼鋳鋼製であり、上流段静翼は水平部で車室に支持されている翼環に固定されており、下流段静翼は内部車室に直接固定されている。

車軸には低合金鋼を使用しており、2個のジャーナル軸受により支えられている。

また、第1低圧タービンと第2低圧タービンとの間にスラスト軸受を設置している。

車室両端面の車軸貫通部にはグランドが設けられており、多数のグランドシールリングにより大気流入を防止している。

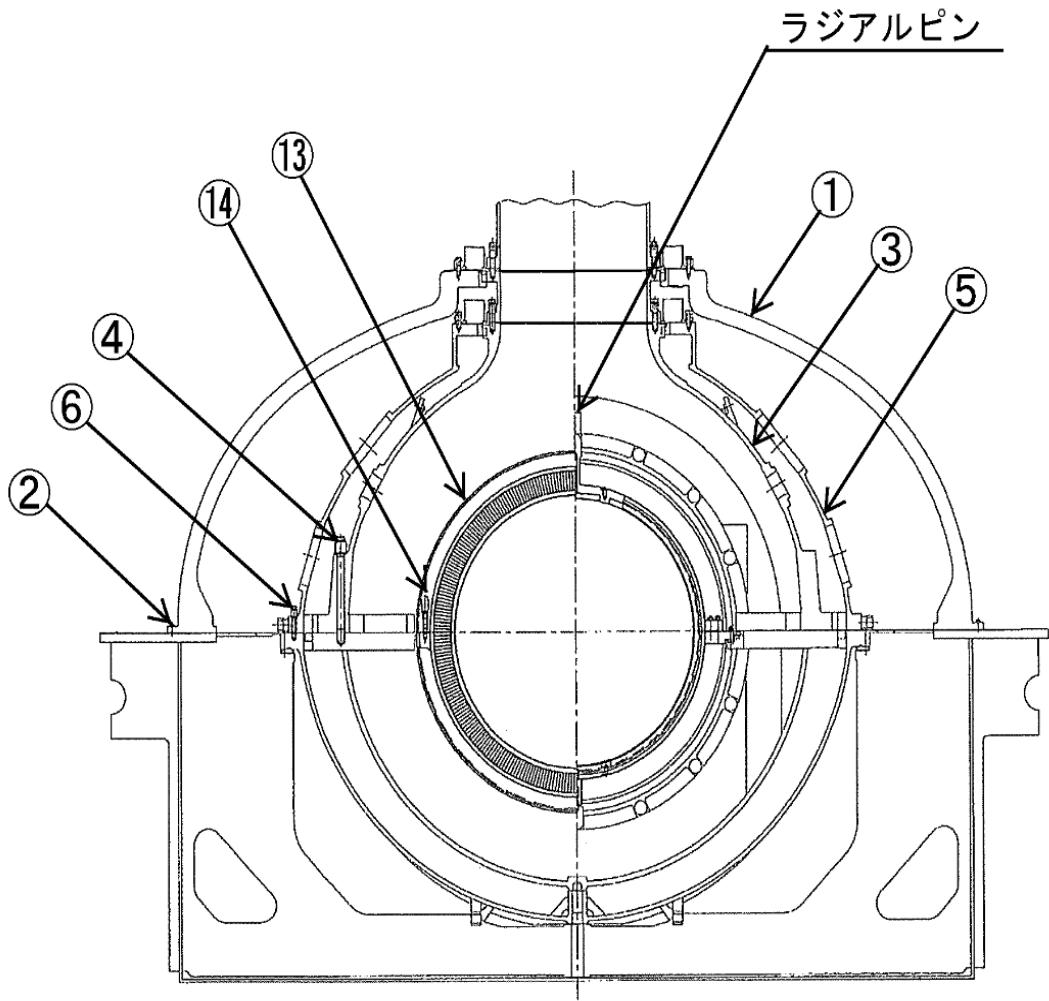
なお、大飯4号炉の低圧タービンについては、第14回定期検査時（2011～2012年度）に取替を実施している。

大飯4号炉の低圧タービンの構造図を図2.1-1～図2.1-3に示す。

#### (2) 材料および使用条件

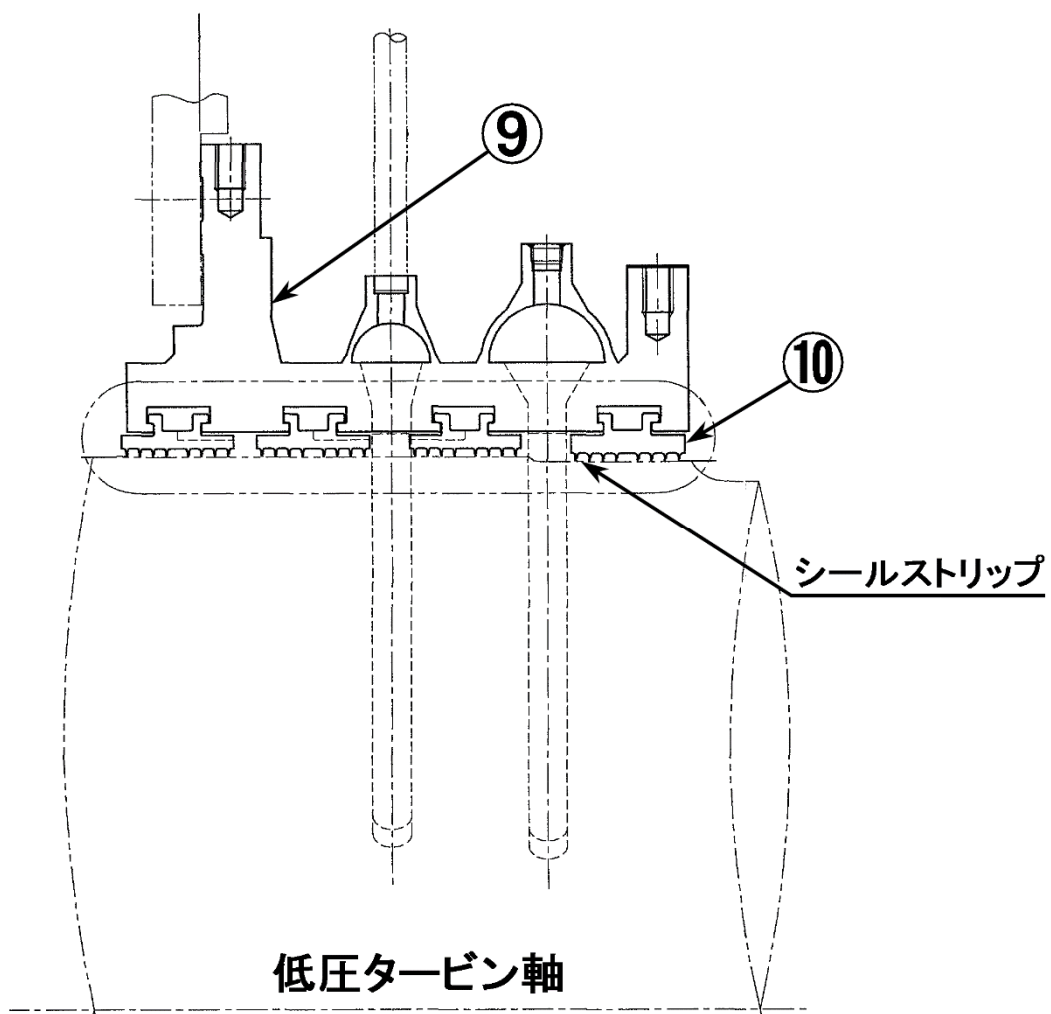
大飯4号炉の低圧タービンの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。





No.	部位
①	外部車室
②	外部車室ボルト
③	第1内部車室
④	第1内部車室ボルト
⑤	第2内部車室
⑥	第2内部車室ボルト
⑬	翼環
⑭	翼環ボルト

図2.1-2 大飯4号炉 低圧タービン 車室、翼環構造図



No.	部位
⑨	グランド本体
⑩	グランドシールリング

図2.1-3 大飯4号炉 低圧タービン グランド本体構造図

表2.1-1 大飯4号炉 低圧タービン主要部位の使用材料

部位		材料
外部車室		炭素鋼
外部車室ボルト		低合金鋼
第1内部車室		炭素鋼、炭素鋼鋳鋼
第1内部車室ボルト		低合金鋼
第2内部車室		炭素鋼
第2内部車室ボルト		低合金鋼
クロスオーバパイプアダプタ		炭素鋼
大気放出板		消耗品・定期取替品
グラント本体		炭素鋼
グラントシールリング		消耗品・定期取替品
油止輪		炭素鋼
動翼	9～11段翼	ステンレス鋼
	12段翼	ステンレス鋼
	13～15段翼	ステンレス鋼
	16段翼	ステンレス鋼
翼環		炭素鋼鋳鋼
翼環ボルト		ステンレス鋼
静翼	9～13段翼	ステンレス鋼
	14～16段翼	ステンレス鋼鋳鋼
車軸		低合金鋼
カップリングボルト		低合金鋼
軸受箱		炭素鋼
ジャーナル軸受（すべり）		炭素鋼鋳鋼＋ホワイトメタル
スラスト軸受（すべり）		炭素鋼＋ホワイトメタル
台板		炭素鋼
キー		低合金鋼
基礎ボルト		炭素鋼

表2.1-2 大飯4号炉 低圧タービンの使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa[gage]
最高使用温度	約298℃
定格回転数	1,800rpm
内部流体	過熱蒸気～湿り蒸気

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

低圧タービンの機能である発電機駆動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 発電機駆動力の確保
- 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

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

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) 外部車室およびグランド本体の外表面からの腐食（全面腐食）

外部車室およびグランド本体は炭素鋼であり、外表面からの腐食が想定される。

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

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

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

#### (2) 外部車室およびグランド本体の腐食（流れ加速型腐食）

外部車室内面は湿り蒸気流に常時さらされており、グランド本体は湿り蒸気雰囲気で使用しているため、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(3) 外部車室ボルトの腐食（全面腐食）

外部車室ボルトは低合金鋼であり、フランジ面からの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

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

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

なお、分解点検や巡視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) 第1内部車室および第2内部車室の腐食（流れ加速型腐食）

第1内部車室および第2内部車室は炭素鋼および炭素鋼鋳鋼であり、湿り蒸気流に常時さらされているため、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(5) 第1内部車室および第2内部車室の疲労割れ

第1内部車室および第2内部車室は、起動・停止および負荷変化時に発生する入口側と出口側の蒸気温度差の変化による熱応力により、疲労割れが想定される。

しかしながら、有意な応力変動を受けない構造となっており、疲労割れが発生しがたい。

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

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) 第1内部車室および第2内部車室の変形

第1内部車室および第2内部車室は温度差によるひずみが想定される。

しかしながら、これまでに有意な変形は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時に水平継手面の隙間計測や目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 第1内部車室ボルトおよび第2内部車室ボルトの腐食（全面腐食）

第1内部車室ボルトおよび第2内部車室ボルトは低合金鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、低圧タービン内部にあり、酸素濃度が低いことから腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(8) クロスオーバパイプアダプタの腐食（全面腐食）

クロスオーバパイプアダプタは炭素鋼であり、蒸気による腐食が想定される。

しかしながら、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(9) 油止輪、軸受箱および台板等の腐食（全面腐食）

油止輪、軸受箱および台板は炭素鋼、カップリングボルトは低合金鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、内面およびカップリングボルトについては潤滑油雰囲気で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(10) 動翼の腐食（エロージョン）

最終段動翼群は流入する湿り蒸気流に常時さらされているため、蒸気中に含まれた水滴によるエロージョンが想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(11) 動翼の高サイクル疲労割れ

タービン運転時に固有振動数の低い動翼群が運転中に共振に近い状態になった場合、動翼の応力集中部に高サイクル疲労割れが想定される。

1981年11月に美浜1号炉の低圧タービン第6段動翼において、高サイクル疲労割れが発生している。

しかしながら、低圧タービン動翼では流体力と共振した場合でも十分な安全率を有する設計としており、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。

(12) 翼環の腐食（流れ加速型腐食）

翼環は蒸気に常時さらされており、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、使用環境が乾き蒸気もしくは湿り度の小さい蒸気雰囲気中で減肉が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(13) 翼環ボルトの応力腐食割れ

翼環ボルト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、上流段は使用環境が乾き蒸気雰囲気であり、下流段は湿り蒸気雰囲気となるが温度が低く、応力腐食割れが発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(14) 車軸の摩耗

車軸を支持する軸受は、すべり軸受を使用しており、車軸の摩耗が想定される。

しかしながら、強制潤滑により車軸と軸受間に潤滑油の供給を行っているため、軸受との直接接触による摩耗が発生しがたい環境であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

さらに、潤滑油とともに流入する異物についても、ストレーナや油清浄器により油の浄化を実施している。

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

なお、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) 車軸の腐食（流れ加速型腐食）

車軸は湿り蒸気雰囲気で使用しており、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、車軸は低合金鋼であり、炭素鋼に比べ優れた耐食性を有しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(16) 車軸の高サイクル疲労割れ

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

しかしながら、タービン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、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。

(17) 車軸の応力腐食割れ

車軸は低合金鋼であり、比較的発生応力の高い翼溝部を有しており、湿り蒸気雰囲気で使用されているため、応力腐食割れが想定される。

1984年2月に、伊方1号炉の低圧タービンにおいて、片側5枚ある円板のうち上流側から2番目の第2円板翼溝部に、応力腐食割れと考えられる割れが認められた。

しかしながら、車軸には応力腐食割れに対する感受性の低い降伏応力約620MPa級の材料を使用しており、降伏応力（0.2%耐力）と応力腐食割れの発生の関係、また、一定の低ひずみ速度で荷重を加えた場合の破面観察結果からも、降伏応力約620MPa級の材料では粒界割れの破面は存在せず、応力腐食割れに対する感受性は認められなかった。

さらに、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) ジャーナル軸受およびスラスト軸受のホワイトメタルの摩耗、はく離

ジャーナル軸受およびスラスト軸受のホワイトメタルは、長時間の使用による摩耗、はく離が想定される。

しかしながら、摩耗に対しては分解点検時の目視確認および車軸と軸受内面の隙間測定や軸受表面の当り幅の確認により、はく離についても分解点検時の超音波探傷検査により、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。

(19) キーの摩耗

軸受台は起動・停止による温度変化により台板上をスライドするため、台板に固定されたキーの摩耗が想定される。

しかしながら、キーは低合金鋼であり、炭素鋼に比べ耐摩耗性が優れており、かつ運転時の軸受箱の熱移動が小さく、摩耗が発生しがたい環境である。

さらに、起動・停止回数の多い火力発電所のタービンにおいても同様の構造、材料を採用しこれまで問題なく運転されており、十分な使用実績を有している。

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

なお、巡視点検等の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(20) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

2.2.4 消耗品および定期取替品

グランドシールリングは、分解点検時の目視確認および隙間計測結果に基づき取替える消耗品であり、大気放出板は分解点検時の目視確認の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 大飯4号炉 低圧タービンに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	外部車室		炭素鋼		△(外面) △(内面)*1						*1：流れ加速型腐食 *2：変形 *3：内外面 *4：高サイクル疲労割れ *5：はく離 *6：エロージョン
	外部車室ボルト		低合金鋼		△						
	第1内部車室		炭素鋼、炭素鋼鋳鋼		△*1	△				△*2	
	第1内部車室ボルト		低合金鋼		△						
	第2内部車室		炭素鋼		△*1	△				△*2	
	第2内部車室ボルト		低合金鋼		△						
	クロスオーバーパイプアダプタ		炭素鋼		△						
	大気放出板	◎	—								
	グラウンド本体		炭素鋼		△(外面) △(内面)*1						
	グラウンドシールリング	◎	—								
	油止輪		炭素鋼		△*3						
発電機駆動力の確保	動翼		ステンレス鋼		△*6	△*4					
	翼環		炭素鋼鋳鋼		△*1						
	翼環ボルト		ステンレス鋼				△				
	静翼		ステンレス鋼、ステンレス鋼鋳鋼								
	車軸		低合金鋼	△	△*1	△*4	△				
	カップリングボルト		低合金鋼		△						
	軸受箱		炭素鋼		△*3						
	ジャーナル軸受(すべり)		炭素鋼鋳鋼＋ホワイトメタル	△						△*5	
	スラスト軸受(すべり)		炭素鋼＋ホワイトメタル	△						△*5	
機器の支持	台板		炭素鋼		△*3						
	キー		低合金鋼	△							
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

## 3 主油ポンプ

[対象機器]

- ① 主油ポンプ



## 目次

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

1. 技術評価対象機器

大飯4号炉で使用されている主油ポンプの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 大飯4号炉 主油ポンプの主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件		
		運転状態	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (℃)
主油ポンプ (1)	高*2	連続	約2.8	約80

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. 主油ポンプの技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### (1) 構造

大飯4号炉の主油ポンプは、横置単段うず巻式ポンプであり、1台設置されている。

主油ポンプは、主油タンクより吸込んだ油を送油する。

また、主軸には低合金鋼、羽根車にはステンレス鋼鋳鋼、ケーシングには炭素鋼鋳鋼をそれぞれ使用している。

主軸は高圧タービン軸に取付けられており、これに羽根車が取付けられている。ケーシングは高圧タービン軸受台に取付けられている。

大飯4号炉の主油ポンプの構造図を図2.1-1に示す。

#### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉の主油ポンプの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

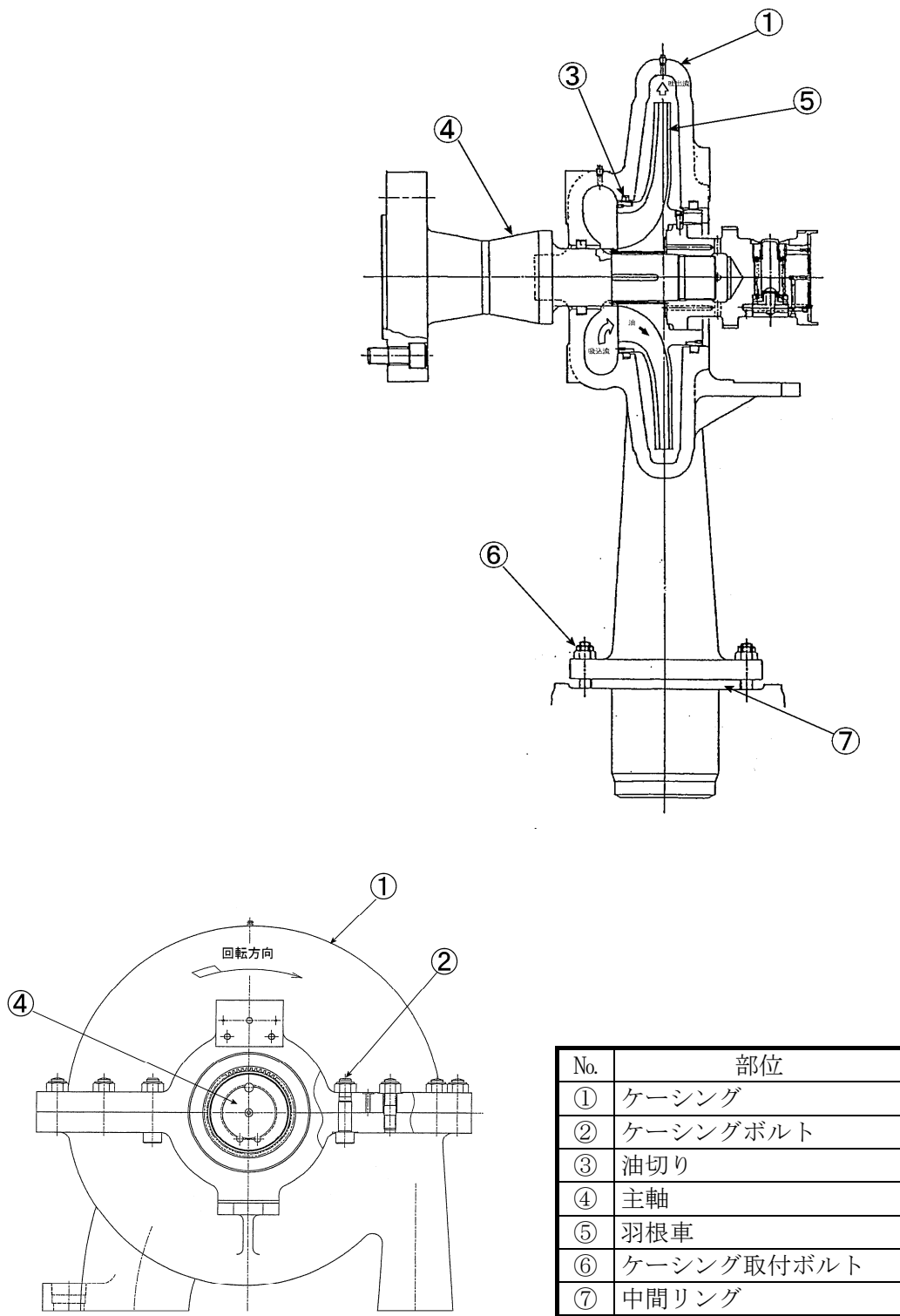


図2.1-1 大飯4号炉 主油ポンプ構造図

表2.1-1 大飯4号炉 主油ポンプ主要部位の使用材料

部位	材料
ケーシング	炭素鋼鋳鋼
ケーシングボルト	低合金鋼
油切り	消耗品・定期取替品
主軸	低合金鋼
羽根車	ステンレス鋼鋳鋼
ケーシング取付ボルト	低合金鋼
中間リング	炭素鋼

表2.1-2 大飯4号炉 主油ポンプの使用条件

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

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

主油ポンプの機能である送油機能を維持するためには、次の項目が必要である。

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

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 主軸およびケーシング等の腐食（全面腐食）

主軸、ケーシング、ケーシングボルト、ケーシング取付ボルトおよび中間リングは低合金鋼、炭素鋼鋳鋼および炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、主油ポンプは軸受台内に設置されており、内外面ともに油または油雰囲気で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、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) 主軸の高サイクル疲労割れ

ポンプ運転時には主軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下で繰返し応力を受けた場合、段付部等の応力集中部に、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、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) 羽根車の腐食（キャビテーション）

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

#### 2.2.4 消耗品および定期取替品

油切りは、分解点検時の目視確認および寸法計測の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。



表2.2-1 大飯4号炉 主油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		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						
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		△						
	油切り	◎	—								
機器の支持	ケーシング取付ボルト		低合金鋼		△						
	中間リング		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 タービン調速装置

[対象機器]

- ① タービン調速装置

## 目次

1. 技術評価対象機器	1
2. タービン調速装置の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	8

1. 技術評価対象機器

大飯4号炉で使用されているタービン調速装置の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 大飯4号炉 タービン調速装置の主な仕様

機器名称(台数)	重要度*1	使用条件		
		運転状態	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
タービン調速装置(1)	高*2	連続	約16.2	約75

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. タービン調速装置の技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

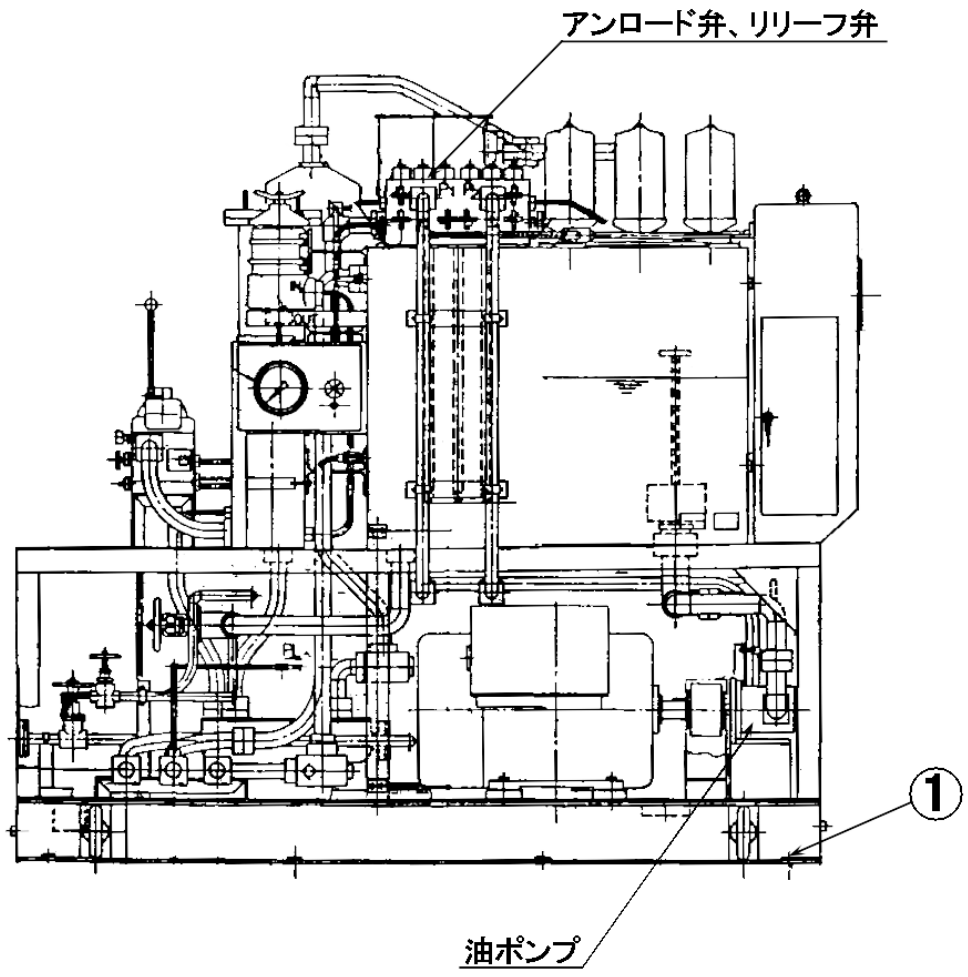
#### (1) 構造

大飯4号炉のタービン調速装置は、電気油圧式であり、EHガバナと称し、タービン軸から電気信号として検出した回転数により、各弁作動用のアクチュエータの開度を調整するための高圧油を供給する。

大飯4号炉のタービン調速装置の構造図を図2.1-1～図2.1-4に示す。

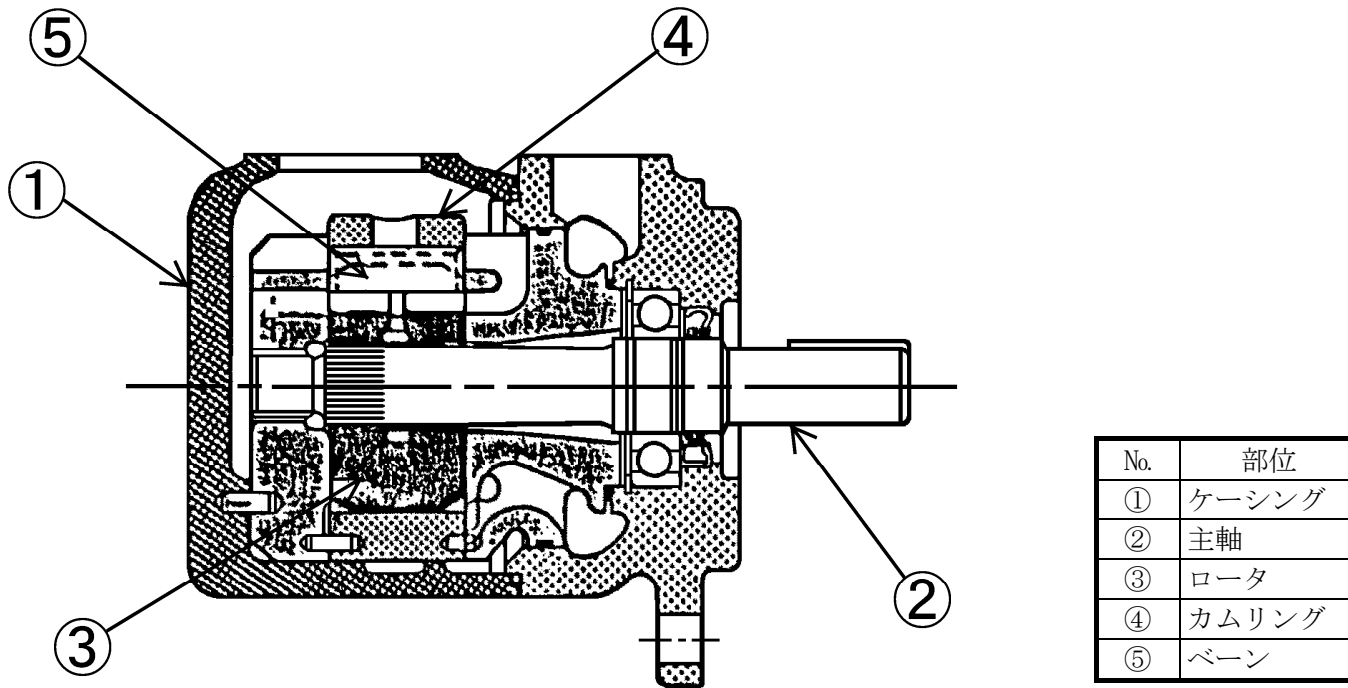
#### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉のタービン調速装置の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	高圧油供給装置基礎ボルト

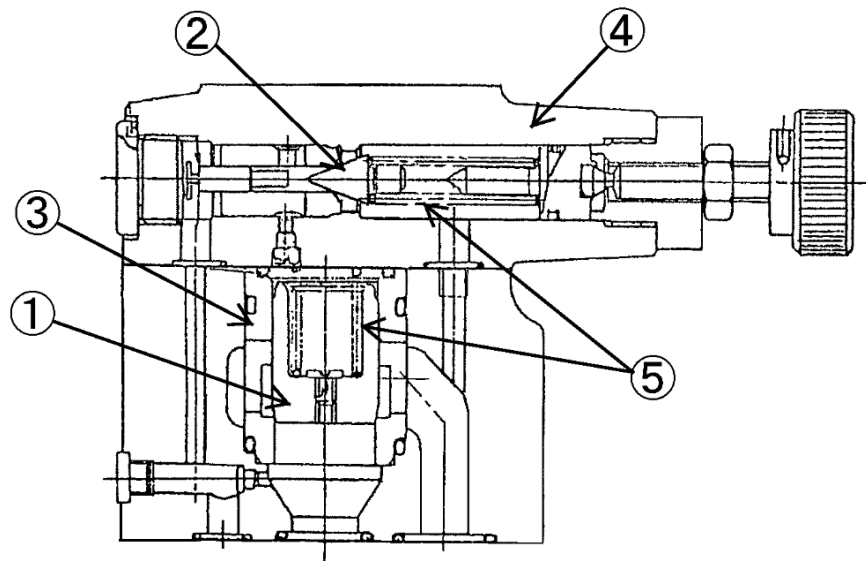
図2.1-1 大飯4号炉 タービン调速装置 EHガバナ高圧油供給装置構造図



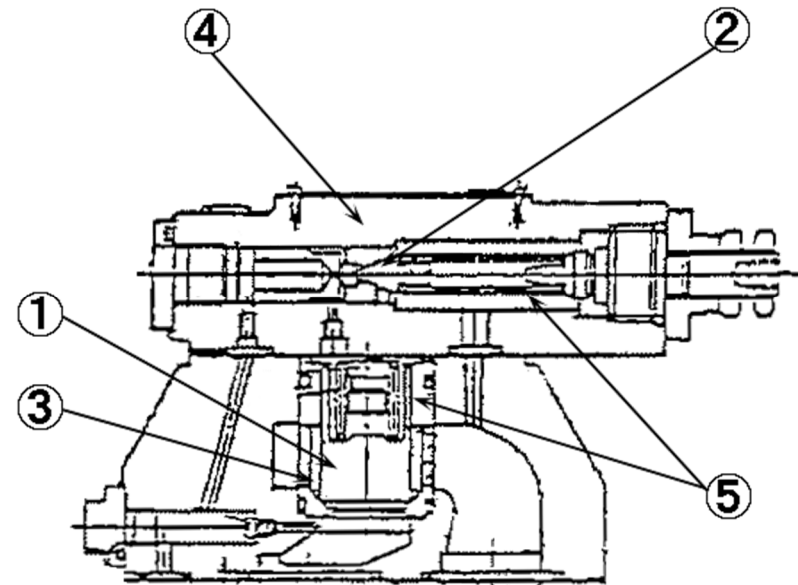
No.	部位
①	ケーシング
②	主軸
③	ロータ
④	カムリング
⑤	ベーン

図2.1-2 大飯4号炉 タービン調速装置 EHガバナ高圧油供給装置 油ポンプ構造図

No.	部位
①	プランジャ
②	ポペット
③	ブッシュ
④	ケーシング
⑤	ばね



アンロード弁



リリース弁

図2.1-3 大飯4号炉 タービン調速装置 EHガバナ高圧油供給装置 アンロード弁、リリース弁構造図



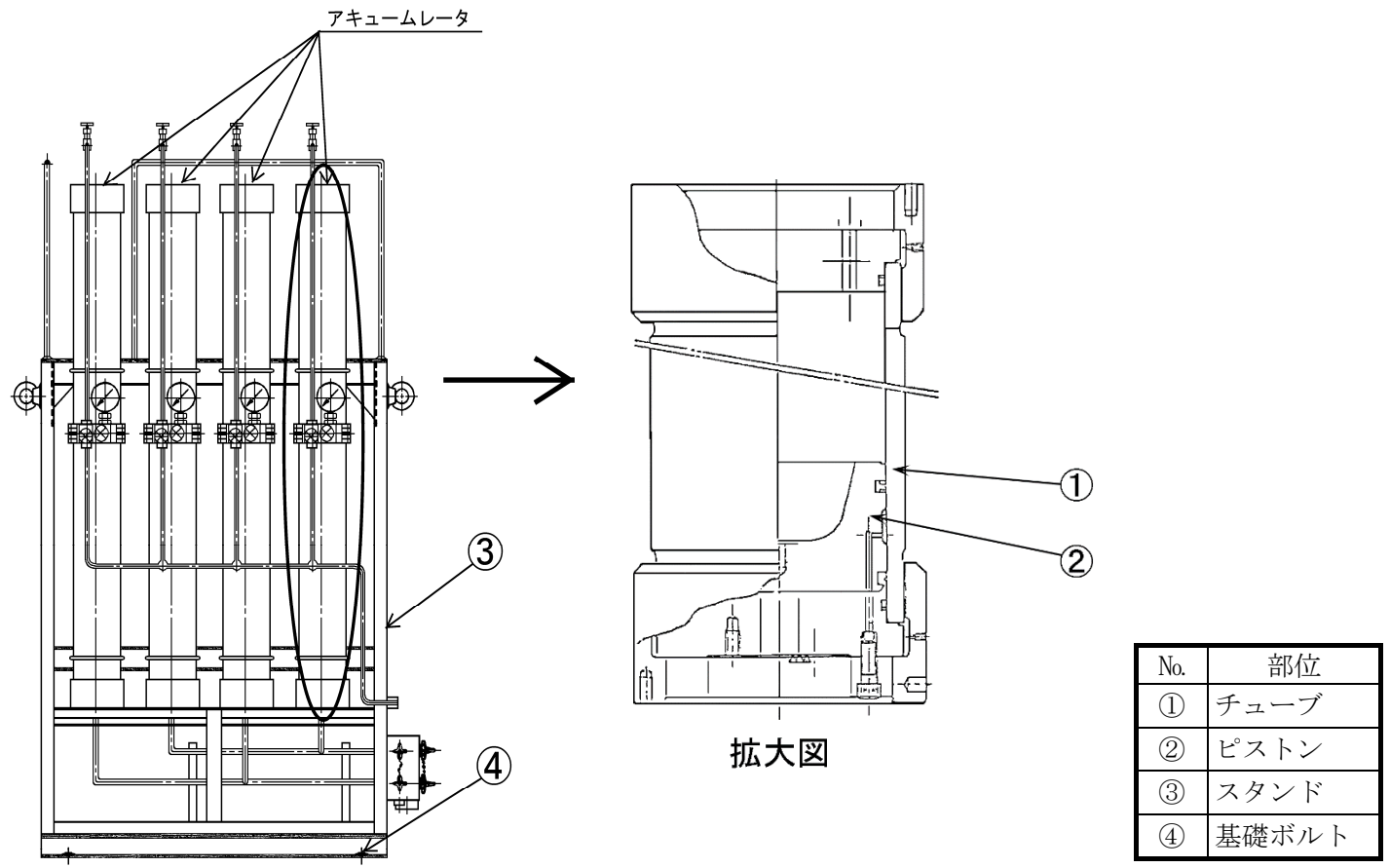


図2.1-4 大飯4号炉 タービン調速装置 EHガバナ高圧油供給装置 アキュムレータ構造図

表2.1-1 大飯4号炉 タービン調速装置主要部位の使用材料

部位		材料
高圧油供給装置 油ポンプ	ケーシング	鋳鉄
	主軸	低合金鋼
	ロータ	低合金鋼
	カムリング	消耗品・定期取替品
	ベーン	消耗品・定期取替品
高圧油供給装置 アンロード弁、 リリース弁	プランジャ	低合金鋼
	ポペット	低合金鋼
	ブッシュ	低合金鋼
	ケーシング	鋳鉄
	ばね	ピアノ線
高圧油供給装置	基礎ボルト	炭素鋼
高圧油供給装置 アキュムレータ	チューブ	炭素鋼
	ピストン	アルミニウム合金鋳物
	スタンド	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-2 大飯4号炉 タービン調速装置の使用条件

最高使用圧力	約16.2MPa [gage]
最高使用温度	約75℃
内部流体	油

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

タービン調速装置の機能である保護機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 制御機能の維持
- ② 機器の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) 油ポンプケーシング等の腐食（全面腐食）

油ポンプのケーシング、アンロード弁およびリリーフ弁のケーシングは鋳鉄、アキュームレータチューブは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(2) 油ポンプ主軸およびロータ等の腐食（全面腐食）

油ポンプの主軸、ロータ、アンロード弁およびリリーフ弁のプランジャ、ポペット、ブッシュは低合金鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、内部流体は油で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(3) アンロード弁およびリリーフ弁のプランジャ、ポペットおよびブッシュの摩耗

アンロード弁およびリリーフ弁の開閉により摺動面、シート面で摩耗が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(4) アキュムレータチューブおよびピストンの摩耗

アキュムレータのチューブはピストンの動作により、摺動部で摩耗が想定される。

しかしながら、チューブには硬質クロムメッキを施し、ピストンには耐摩耗性に優れた材料を使用し、耐摩耗性を向上させるとともに、摺動部に潤滑油を注入することで摩耗を防止しており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(5) アンロード弁およびリリーフ弁のばねの変形（応力緩和）

アンロード弁およびリリーフ弁のばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) アキュームレータスタンドの腐食（全面腐食）

アキュームレータのスタンドは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

(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」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

油ポンプのカムリングおよびベーンは、分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 大飯4号炉 タービン調速装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位		消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
					減肉		割れ		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		
制御機能の維持	高圧油供給装置 油ポンプ	ケーシング		鋳鉄		△*1					*1：内外面 *2：変形 (応力緩和)	
		主軸		低合金鋼		△						
		ロータ		低合金鋼		△						
		カムリング	◎	—								
		ベーン	◎	—								
	高圧油供給装置 アンロード弁、 リリース弁	プランジャ		低合金鋼	△	△						
		ポペット		低合金鋼	△	△						
		ブッシュ		低合金鋼	△	△						
		ケーシング		鋳鉄		△*1						
		ばね		ピアノ線						△*2		
	高圧油供給装置 アキュムレータ	チューブ		炭素鋼	△	△*1						
		ピストン		アルミニウム 合金鋳物	△							
機器の支持	高圧油供給装置	基礎ボルト		炭素鋼		△						
	高圧油供給装置 アキュムレータ	スタンド		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）

## 5 タービン動補助給水ポンプタービン

[対象機器]

- ① タービン動補助給水ポンプタービン



## 目次

1. 技術評価対象機器	1
2. タービン動補助給水ポンプタービンの技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	11

1. 技術評価対象機器

大飯4号炉で使用されているタービン動補助給水ポンプタービンの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 大飯4号炉 タービン動補助給水ポンプタービンの主な仕様

機器名称 (台数)	仕様 (出力(kW)× 定格回転数 (rpm))	重要度*1	使用条件			
			運転状態	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)	湿り度*2 (%)
タービン動 補助給水ポンプ タービン (1)	約1,000 ×約6,380	MS-1、重*3	一時	約8.2	約298	約1.0

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：駆動蒸気管の蒸気条件。

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

## 2. タービン動補助給水ポンプタービンの技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### (1) 構造

大飯4号炉のタービン動補助給水ポンプタービンは、1台設置されており、翼車には低合金鋼、動翼にはステンレス鋼を使用している。

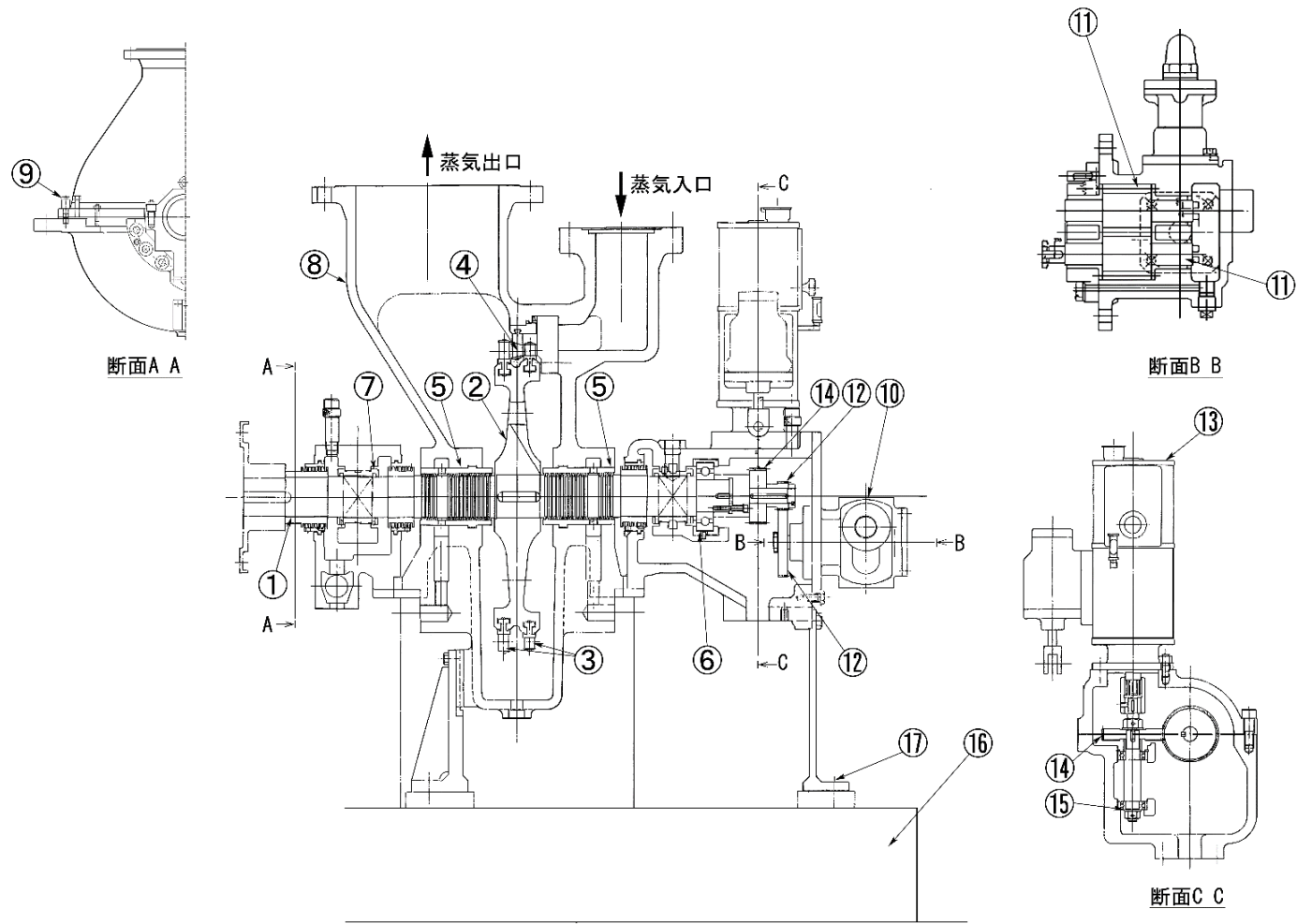
また、蒸気加減弁、调速機およびアクチュエータ等で構成されるガバナ调速機構がポンプ吐出圧を一定に保つために設置されており、このガバナ调速機構に作動油圧を供給するために主油ポンプがタービン主軸に接続されている。

主油ポンプは歯車を介して伝達される主軸の回転力により駆動する。

大飯4号炉のタービン動補助給水ポンプタービンの構造図を図2.1-1～図2.1-6に示す。

#### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉のタービン動補助給水ポンプタービンの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位	
①	主軸	
②	翼車	
③	動翼	
④	静翼	
⑤	タービングランド	
⑥	軸受 (ころがり)	
⑦	軸受 (すべり)	
⑧	ケーシング	
⑨	ケーシングボルト	
⑩	主油 ポンプ	ケーシング
⑪		歯車
⑫		駆動歯車
⑬	调速機	本体
⑭		駆動歯車
⑮		駆動軸軸受 (ころがり)
⑯	台板	
⑰	取付ボルト	

図2.1-1 大飯4号炉 タービン動補助給水ポンプタービン 構造図

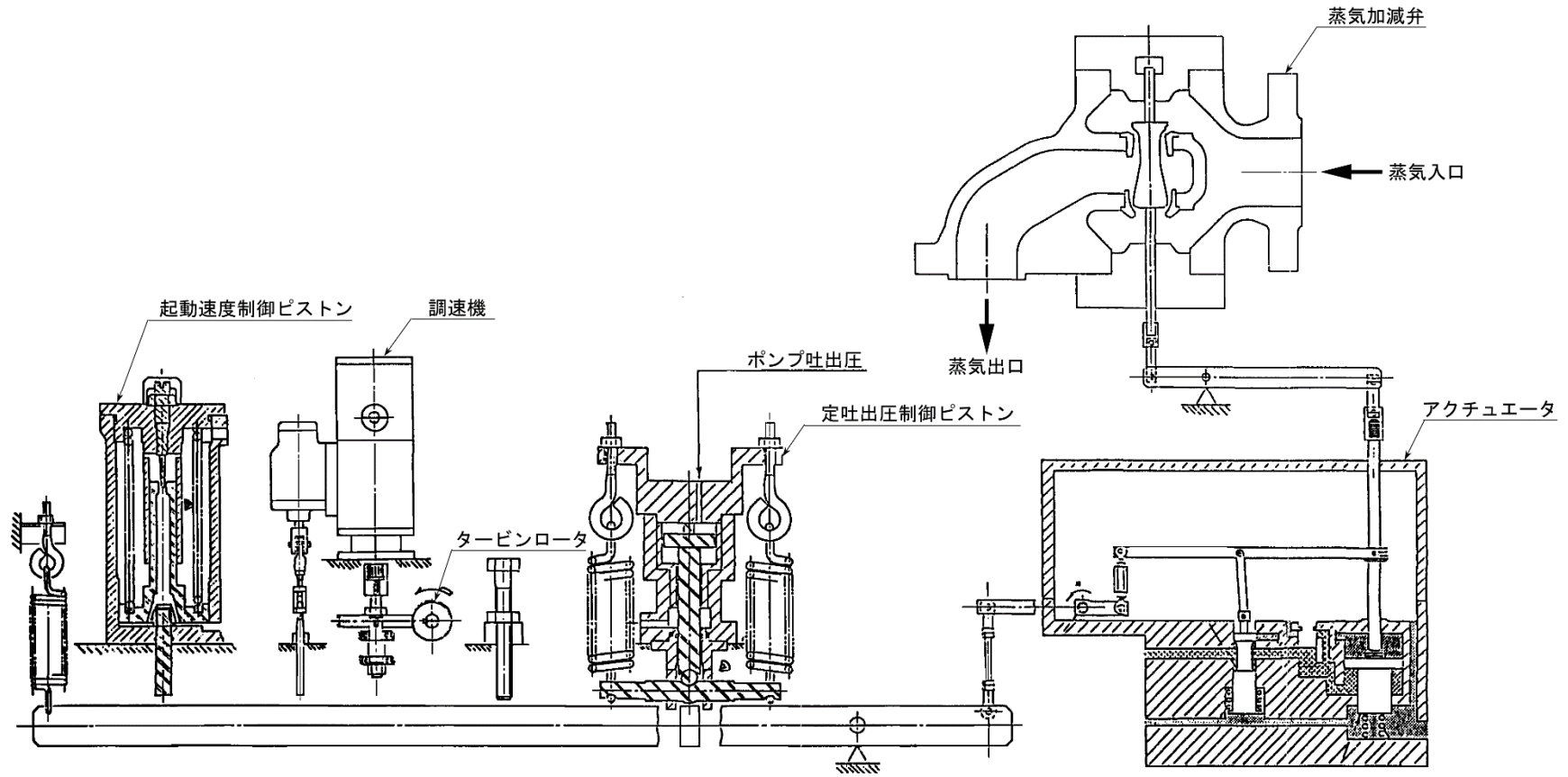
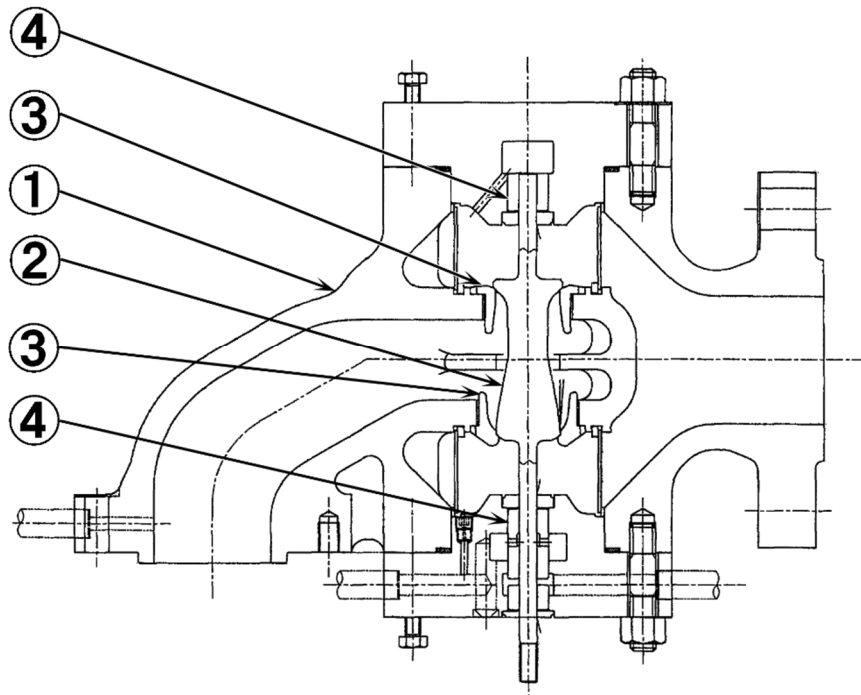
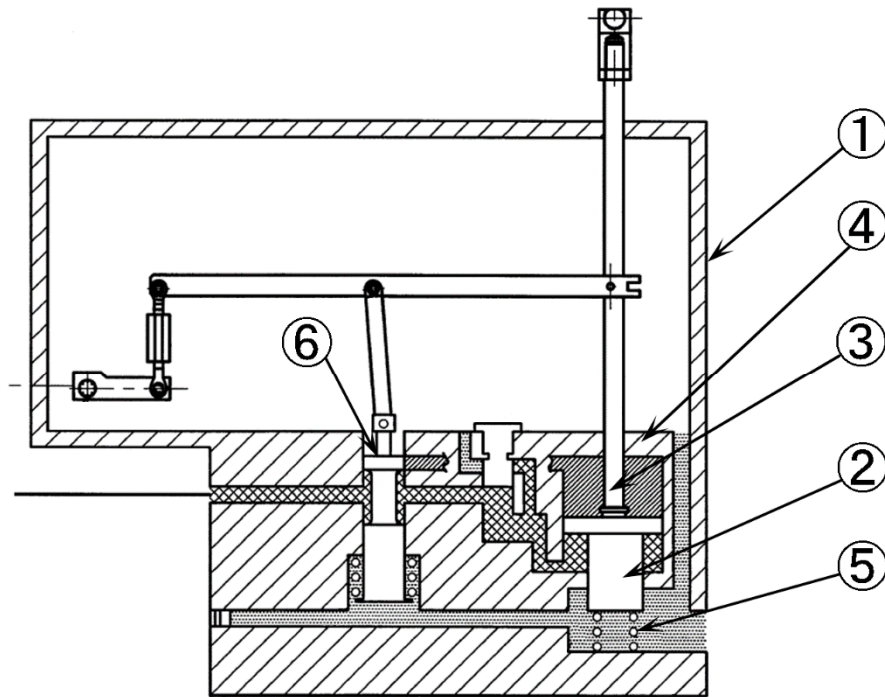


図 2.1-2 大飯 4 号炉 タービン動補助給水ポンプタービン ガバナ調速機構 構造図 (概念図)



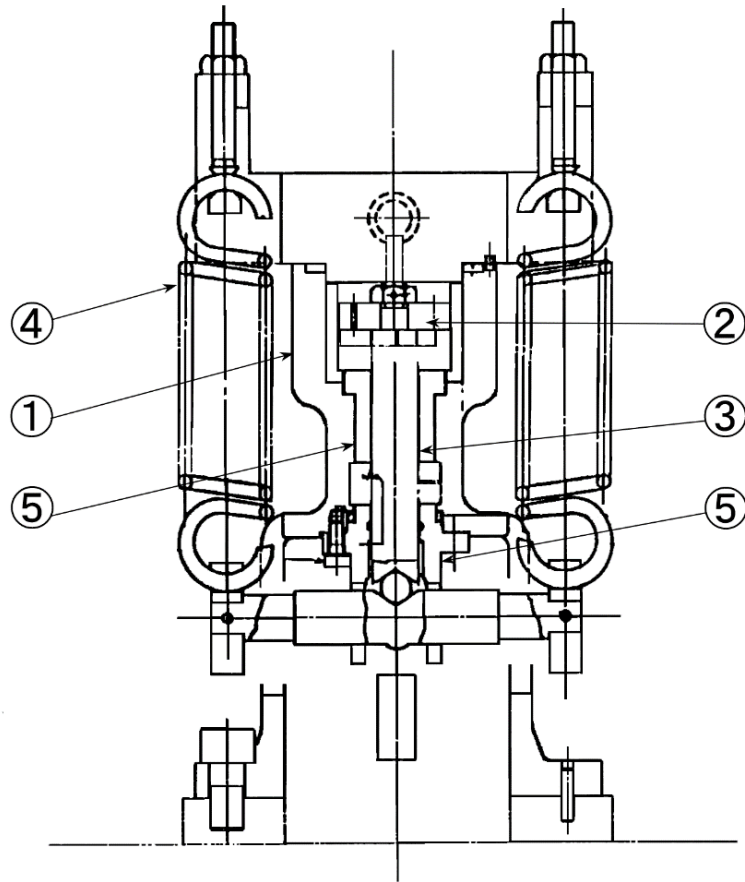
No.	部位
①	弁箱
②	弁体
③	弁座
④	ブッシュ

図2.1-3 大飯4号炉 タービン動補助給水ポンプタービン ガバナ调速機構 蒸気加減弁 構造図



No.	部位	
①		本体
②		ピストン
③	アクチュエータ	ピストンロッド
④		シリンダ
⑤		ばね
⑥		プランジャ

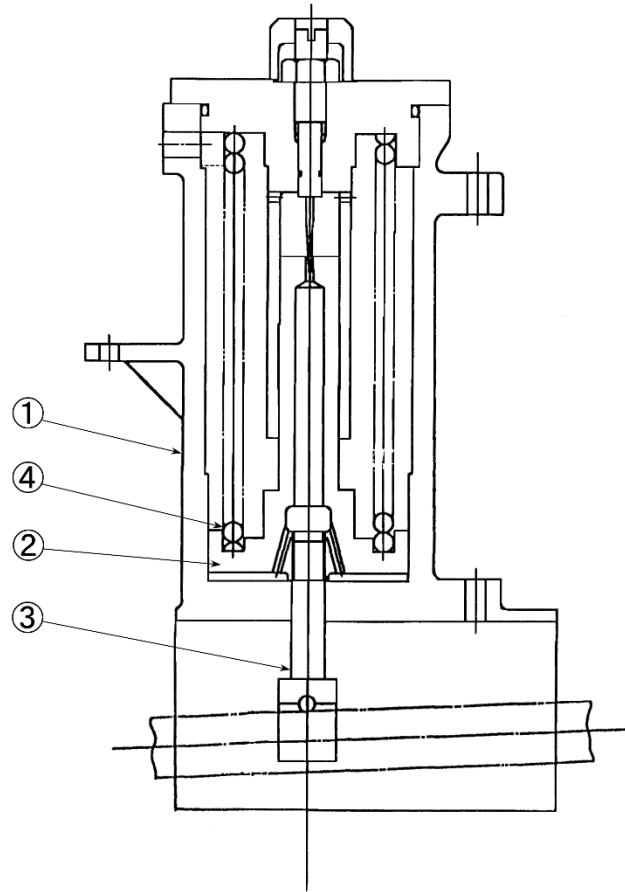
図2.1-4 大飯4号炉 タービン動補助給水ポンプタービン ガバナ调速機構 アクチュエータ 構造図 (概念図)



No.	部位	
①	定吐出圧制御 ピストン	本体
②		弁体
③		弁棒
④		ばね
⑤		ブッシュ

図2.1-5 大飯4号炉 タービン動補助給水ポンプタービン ガバナ调速機構 定吐出圧制御ピストン 構造図





No.	部位	
①		本体
②	起動速度制御	弁体
③	ピストン	弁棒
④		ばね

図2.1-6 大飯4号炉 タービン動補助給水ポンプタービン ガバナ调速機構 起動速度制御ピストン 構造図

表2.1-1(1/2) 大飯4号炉 タービン動補助給水ポンプタービン主要部位の使用材料

部位		材料	
主軸		低合金鋼	
翼車		低合金鋼	
動翼		ステンレス鋼	
静翼		ステンレス鋼	
軸受（ころがり）		消耗品・定期取替品	
軸受（すべり）		消耗品・定期取替品	
タービングランド		消耗品・定期取替品	
ケーシング		炭素鋼鋳鋼	
ケーシングボルト		低合金鋼	
台板		炭素鋼	
取付ボルト		炭素鋼	
主油ポンプ	ケーシング	鋳鉄	
	歯車	炭素鋼	
	駆動歯車	低合金鋼、炭素鋼	
ガバナ調速機構	調速機	本体	鋳鉄
		駆動歯車	低合金鋼、銅合金
		駆動軸軸受（ころがり）	消耗品・定期取替品
	蒸気加減弁	弁箱	炭素鋼鋳鋼
		弁体	ステンレス鋼
		弁座	ステンレス鋼
		ブッシュ	消耗品・定期取替品
	アクチュエータ	本体	鋳鉄＋アルミニウム合金鋳物
		ピストン	鋳鉄
		ピストンロッド	低合金鋼
		シリンダ	鋳鉄
		ばね	ばね鋼
プランジャ		低合金鋼	

表2.1-1(2/2) 大飯4号炉 タービン動補助給水ポンプタービン主要部位の使用材料

部位		材料	
ガバナ調速機構	定吐出圧制御 ピストン	本体	炭素鋼・鋳鋼
		弁体	ステンレス鋼
		弁棒	ステンレス鋼
		ばね	ばね用オイルテンパー線
		ブッシュ	消耗品・定期取替品
	起動速度制御 ピストン	本体	鋳鉄
		弁体	ステンレス鋼
		弁棒	ステンレス鋼
		ばね	ばね鋼

表2.1-2 大飯4号炉 タービン動補助給水ポンプタービンの使用条件

最高使用圧力	約8.2MPa [gage]
最高使用温度	約298℃
定格流量	約250m <sup>3</sup> /h
内部流体	湿り蒸気

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

タービン動補助給水ポンプタービンの機能であるポンプ駆動機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① ポンプ駆動力の確保
- 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

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

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 主軸の摩耗

タービン動補助給水ポンプタービン（以下、本機器という）のころがり軸受部は、軸受と主軸の接触面で摩耗が想定され、すべり軸受部については、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、本機器の運転時間は短いため、摩耗しがたく、すべり軸受は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) 主軸の高サイクル疲労割れ

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

しかしながら、タービン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。

さらに、本機器の運転時間は短く、高サイクル疲労割れが発生しがたい。

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

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

(3) 主軸のフレットング疲労割れ

タービン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、焼きばめにより主軸に固定されている翼車において、主軸のフレットング疲労割れが想定される。

しかしながら、本機器の運転時間は短いため、フレットング疲労割れが発生しがたい。

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

なお、試運転時および機能確認時における振動確認（変位、速度、加速度の測定等）により、機器の健全性を確認している。

(4) 翼車の応力腐食割れ

翼車は低合金鋼であり、湿り蒸気雰囲気下の腐食環境下で使用されているため、翼車の応力腐食割れが想定される。

しかしながら、本機器の運転時間は短いため、応力腐食割れ発生の可能性は小さい。

また、分解点検時に翼車への動翼取付け状況および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) ケーシングの疲労割れ

タービン起動時に発生する内部流体の温度、圧力の変化により材料に疲労が蓄積することから、ケーシングでの疲労割れが想定される。

しかしながら、本機器の定期運転も考慮した起動発停回数は限られているため、疲労割れが発生しがたい。

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

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) ケーシングおよび主油ポンプケーシング等の外面からの腐食（全面腐食）

ケーシング、主油ポンプケーシング、蒸気加減弁弁箱およびアクチュエータ本体は炭素鋼、鋳鋼または鋳鉄であり、外面からの腐食が想定される。

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

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

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

(7) 調速機本体および定吐出圧制御ピストン本体等の腐食（全面腐食）

調速機本体、定吐出圧制御ピストン本体および起動速度制御ピストン本体は鋳鉄または炭素鋼鋳鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

(8) 主油ポンプ歯車および調速機駆動歯車等の摩耗

主油ポンプは駆動歯車を介して主軸の回転力により駆動される歯車ポンプであり、歯車は摩擦による摩耗が想定される。

駆動歯車は主油ポンプおよび調速機は主軸に直結された歯車を介して駆動される直径の異なる歯車を組合わせており、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、本機器の運転時間は短く、歯車には潤滑油を供給し摩耗を防止しており、摩耗が発生しがたい環境である。

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

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。

(9) ケーシングおよび蒸気加減弁弁箱の内面からの腐食（全面腐食）

ケーシングおよび蒸気加減弁弁箱は炭素鋼鋳鋼であり、湿り蒸気雰囲気中の長期間の使用により、内面からの腐食が想定される。

しかしながら、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(10) 主油ポンプケーシングおよびアクチュエータ本体の内面からの腐食（全面腐食）

主油ポンプケーシングおよびアクチュエータ本体は鋳鉄であり、内面からの腐食が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(11) ガバナ調速機構の摩耗

ガバナ調速機構を構成する蒸気加減弁、定吐出圧制御ピストンおよび起動速度制御ピストンの摺動部に摩耗が想定される。

しかしながら、本機器の運転時間は短く、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測およびガバナ調速機構の作動確認により、機器の健全性を確認している。

(12) ガバナ調速機構ばねの変形（応力緩和）

アクチュエータ、定吐出圧制御ピストンおよび起動速度制御ピストンのばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

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

なお、ガバナ調速機構の作動確認により、機器の健全性を確認している。



(13) アクチュエータピストン等の摩耗

アクチュエータピストン、ピストンロッドおよびプランジャの往復運動により、シリンダ接触面で摺動摩耗が想定される。

しかしながら、本機器の運転時間は短く、シリンダ内部は封油および油で摩耗が発生しがたい環境であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(14) アクチュエータピストン等の腐食（全面腐食）

アクチュエータピストンおよびシリンダは鋳鉄、ピストンロッドおよびプランジャは低合金鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、シリンダ内部、アクチュエータ内部は封油、油および油霧囲気で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、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) ケーシングボルトの腐食（全面腐食）

ケーシングボルトは低合金鋼であり、ケーシング合わせ面からの漏えいにより内部流体によるボルトの腐食が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

(16) 台板および取付ボルトの腐食（全面腐食）

台板および取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

2.2.4 消耗品および定期取替品

軸受（ころがり）は分解点検時に取替える消耗品であり、軸受（すべり）、調速機駆動軸軸受（ころがり）、ブッシュおよびタービングランドは分解点検時の目視確認や寸法計測の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/3) 大飯4号炉 タービン動補助給水ポンプタービンに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考			
				減肉		割れ		材質変化			その他		
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化				
ポンプ駆動力の確保	主軸		低合金鋼	△		△*1 △*2					*1：高サイクル疲労割れ *2：フレットイング疲労割れ		
	翼車		低合金鋼				△						
	動翼		ステンレス鋼										
	静翼		ステンレス鋼										
	軸受（ころがり）	◎	—										
	軸受（すべり）	◎	—										
	主油ポンプ	ケーシング		鋳鉄		△(外面) △(内面)							
		歯車		炭素鋼	△								
		駆動歯車		低合金鋼、炭素鋼	△								
	ガバナ調速機構	調速機	本体	鋳鉄		△							
			駆動歯車	低合金鋼、銅合金	△								
			駆動軸軸受（ころがり）	◎	—								
		蒸気加減弁	弁箱		炭素鋼鋳鋼	△	△(外面) △(内面)						
			弁体		ステンレス鋼	△							
弁座				ステンレス鋼	△								
ブッシュ			◎	—									

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/3) 大飯4号炉 タービン動補助給水ポンプタービンに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位		消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
					減肉		割れ		材質変化			その他
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
ポンプ駆動力の確保	ガバナ調速機構	アクチュエータ	本体	铸铁+アルミニウム合金鋳物		△(外面) △(内面)						*1：変形(応力緩和)
			ピストン	铸铁	△	△						
			ピストンロッド	低合金鋼	△	△						
			シリンダ	铸铁	△	△						
			ばね	ばね鋼							△*1	
			プランジャ	低合金鋼	△	△						
	定吐出圧制御ピストン	本体	炭素鋼鋳鋼	△	△							
		弁体	ステンレス鋼	△								
		弁棒	ステンレス鋼	△								
		ばね	ばね用オイルテンパー線								△*1	
		ブッシュ	◎	—								
	起動速度制御ピストン	本体	铸铁	△	△							
		弁体	ステンレス鋼	△								
		弁棒	ステンレス鋼	△								
		ばね	ばね鋼								△*1	

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/3) 大飯4号炉 タービン動補助給水ポンプタービンに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	タービングランド	◎	—								
	ケーシング		炭素鋼鋳鋼		△(外面) △(内面)	△					
	ケーシングボルト		低合金鋼		△						
機器の支持	台板		炭素鋼		△						
	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）

## 6 タービン動主給水ポンプタービン

[対象機器]

- ① タービン動主給水ポンプタービン

## 目次

1. 技術評価対象機器	1
2. タービン動主給水ポンプタービンの技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	5

1. 技術評価対象機器

大飯4号炉で使用されているタービン動主給水ポンプタービンの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 大飯4号炉 タービン動主給水ポンプタービンの主な仕様

機器名称 (台数)	仕様 (出力(kW)× 定格回転数 (rpm))	重要度*1	使用条件		
			運転状態	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
タービン動 主給水ポンプ タービン(2)	約7,500 ×約4,700	高*2	連続	約8.2	約298

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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



## 2. タービン動主給水ポンプタービンの技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### (1) 構造

大飯4号炉のタービン動主給水ポンプタービンは単流型タービンであり、2台設置されている。蒸気は、ノズル室よりタービン動主給水ポンプタービンに流入し、各段を経て車室上半部にある排気口から復水器に至る。

なお、上流側は通常運転中は乾き蒸気雰囲気である。

車軸には低合金鋼を使用しており、2個の軸受により支えられている。

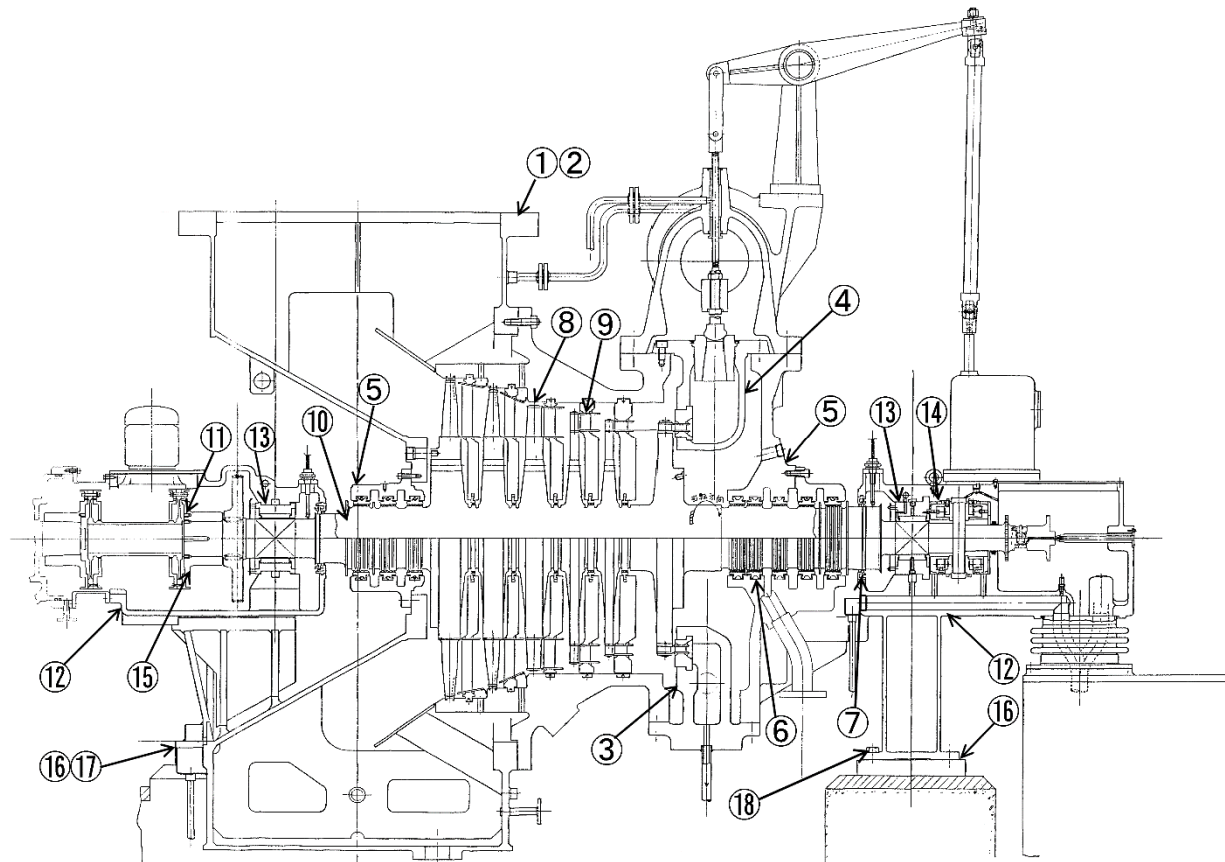
また、車軸端部にスラスト軸受を設置している。

車室両端面の車軸貫通部にはグランドが設けられており、グランドシールリングにより蒸気流出および大気流入を防止している。

大飯4号炉のタービン動主給水ポンプタービンの構造図を図2.1-1に示す。

#### (2) 材料および使用条件

大飯4号炉のタービン動主給水ポンプタービンの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	車室
②	車室ボルト
③	高压ノズル室
④	低压ノズル室
⑤	グランド本体
⑥	グランドシールリング
⑦	オイルシールリング
⑧	動翼
⑨	仕切板 (ノズル含む)
⑩	車軸
⑪	カップリングボルト
⑫	軸受台
⑬	ジャーナル軸受 (すべり)
⑭	スラスト軸受 (すべり)
⑮	ダイアフラムカップリング
⑯	台板
⑰	キー
⑱	基礎ボルト

図2.1-1 大飯4号炉 タービン動主給水ポンプタービン構造図

表2.1-1 大飯4号炉 タービン動主給水ポンプタービン主要部位の使用材料

部位		材料
車室		ステンレス鋼鋳鋼、炭素鋼
車室ボルト		低合金鋼、炭素鋼
高圧ノズル室		ステンレス鋼鋳鋼
低圧ノズル室		炭素鋼鋳鋼
グラウンド本体		炭素鋼鋳鋼
グラウンドシールリング		消耗品・定期取替品
オイルシールリング		消耗品・定期取替品
動翼	第1～4段	ステンレス鋼
	第5、6段	ステンレス鋼+ステライト
仕切板 (ノズル含む)	第1段	ステンレス鋼、炭素鋼
	第2～6段	ステンレス鋼
車軸		低合金鋼
カップリングボルト		低合金鋼
軸受台		炭素鋼鋳鋼、炭素鋼
ジャーナル軸受(すべり)		炭素鋼+ホワイトメタル
スラスト軸受(すべり)		炭素鋼+ホワイトメタル
ダイアフラムカップリング		低合金鋼
台板		炭素鋼
キー		炭素鋼
基礎ボルト		炭素鋼

表2.1-2 大飯4号炉 タービン動主給水ポンプタービンの使用条件

最高使用圧力	約8.2MPa[gage]
最高使用温度	約298℃
定格回転数	約4,700rpm
内部流体	湿り蒸気～乾き蒸気

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

タービン動主給水ポンプタービンの機能であるポンプ駆動機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① ポンプ駆動力の確保
- 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

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

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 車室およびグランド本体の外表面からの腐食（全面腐食）

炭素鋼または炭素鋼鋳鋼部分の車室およびグランド本体は、外表面からの腐食が想定される。

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

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

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

(2) 車室、グランド本体および低圧ノズル室の腐食（流れ加速型腐食）

炭素鋼または炭素鋼鋳鋼部分の車室およびグランド本体は、湿り蒸気流に常時さらされているため、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

一方、低圧ノズル室は、乾き蒸気雰囲気の中で腐食が発生しがたい環境であり、これまで有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、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) 車室の疲労割れ

車室は、起動・停止および負荷変化時に発生する熱応力により、疲労割れが想定される。

しかしながら、有意な応力変動を受けない構造となっており、疲労割れが発生しがたい。

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

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) 車室の変形

車室はステンレス鋼鋳鋼および炭素鋼を用いており、素材製作時の熱処理段階で寸法安定化が図られているが、車室は大型鋳物でかつ構造が複雑であり、わずかなひずみを発生することが想定される。

しかしながら、分解点検時の当り状況の確認により、機器の健全性を維持している。

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

(5) 車室ボルトの腐食（全面腐食）

車室ボルトは、低合金鋼および炭素鋼であり、フランジ面からの内部流体の漏えいや大気の流れにより、腐食が想定される。

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

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

なお、分解点検時等の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 動翼の腐食（エロージョン）

動翼第5、6段は湿り蒸気雰囲気で使用されるため、蒸気中の水滴による衝撃で、翼入口先端部がエロージョンにより減肉が想定される。

動翼第5、6段に流入する蒸気の湿り度が大きく、かつ周方向速度も大きいため、動翼先端部の減肉が大きくなることが考えられ、減肉の進行によりステライトのはく離が想定される。

しかしながら、エロージョンについては、分解点検時の目視確認により、ステライト板ろう付部に対しては目視確認や浸透探傷検査により、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。

(7) 動翼の高サイクル疲労割れ

タービン運転時に固有振動数の低い動翼群が運転中に共振に近い状態になった場合、動翼の応力集中部に高サイクル疲労割れが想定される。

1981年11月に美浜1号炉の低圧タービン第6段動翼において、高サイクル疲労割れが発生している。

しかしながら、動翼設計時に流体力と共振した場合でも十分な安全率を有する設計としており、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、分解点検時の応力集中部に対する目視確認や浸透探傷検査、磁粉探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(8) 仕切板（ノズルを含む）の腐食（全面腐食）

第1段仕切板（ノズルを含む）は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、第1段仕切板は、乾き蒸気雰囲気中で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(9) 車軸の摩耗

車軸を支持する軸受は、すべり軸受を使用しており、車軸の摩耗が想定される。

しかしながら、強制潤滑により車軸と軸受間に潤滑油の供給を行っているため、軸受との直接接触による摩耗が発生しがたい環境であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

さらに、潤滑油とともに流入する異物についても、ストレーナや油清浄器により油の浄化を実施している。

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

なお、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。

(10) 車軸の腐食（流れ加速型腐食）

車軸は湿り蒸気雰囲気で使用しており、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、車軸は低合金鋼であり、炭素鋼に比べ優れた耐食性を有しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(11) 車軸の高サイクル疲労割れ

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

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



(12) 車軸の応力腐食割れ

車軸は低合金鋼であり、比較的発生応力の高い翼溝部を有しており、湿り蒸気雰囲気で使用されているため、応力腐食割れが想定される。

1984年2月に、伊方1号炉の低圧タービンにおいて、片側5枚ある円板のうち上流側から2番目の第2円板翼溝部に、応力腐食割れと考えられる割れが認められた。

しかしながら、車軸には応力腐食割れに対する感受性の低い降伏応力約690MPa級の材料を使用しており、降伏応力（0.2%耐力）と応力腐食割れ発生との関係、また、一定のひずみ速度で荷重を加えた場合の破面観察結果からも、降伏応力約690MPa級の材料では粒界割れ破面はごくわずかであり、応力腐食割れに対する感受性は低い。

さらに、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、機器の健全性を維持している。

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

(13) 軸受台、カップリングボルトおよび台板の腐食（全面腐食）

軸受台、カップリングボルトおよび台板は、炭素鋼・炭素鋼または低合金鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、軸受台内面およびカップリングボルトについては、潤滑油雰囲気での腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(14) ジャーナル軸受およびスラスト軸受ホワイトメタルの摩耗、はく離

ジャーナル軸受およびスラスト軸受のホワイトメタルは、長時間の使用による摩耗、はく離が想定される。

しかしながら、摩耗に対しては分解点検時の目視確認および車軸と軸受内面の隙間測定や軸受表面の当り幅の確認により、はく離についても分解点検時の目視確認およびホワイトメタル部の浸透探傷検査により、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。

(15) キーの摩耗

軸受台が起動・停止による温度変化により台板上をスライドするため、台板に固定されたキーの摩耗が想定される。

しかしながら、小型のタービンであることから、運転時の熱移動量は小さく、摩耗が発生しがたい環境である。

さらに、起動・停止回数の多い火力発電所のタービンにおいても同様の構造、材料を採用しこれまで問題なく運転されており、十分な使用実績を有している。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(16) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

2.2.4 消耗品および定期取替品

グランドシールリングおよびオイルシールリングは、分解点検時の目視確認の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 大飯4号炉 タービン動主給水ポンプタービンに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	車室		ステンレス鋼 casting			△				△*2	*1：流れ加速型腐食 *2：変形 *3：高サイクル疲労割れ *4：はく離 *5：エロージョン *6：内外面
			炭素鋼		△(外面) △(内面)*1	△				△*2	
	車室ボルト		低合金鋼、炭素鋼		△						
	高圧ノズル室		ステンレス鋼 casting								
	低圧ノズル室		炭素鋼 casting		△*1						
	グラウンド本体		炭素鋼 casting		△(外面) △(内面)*1						
	グラウンドシールリング	◎	—								
	オイルシールリング	◎	—								
ポンプ駆動力の確保	動翼	第1～4段	ステンレス鋼			△*3					
		第5、6段	ステンレス鋼+ステライト		△*5	△*3					
	仕切板(ノズルを含む)	第1段	ステンレス鋼								
		第2～6段	炭素鋼		△						
	車軸		低合金鋼	△	△*1	△*3	△				
	カップリングボルト		低合金鋼		△						
	軸受台		炭素鋼 casting、炭素鋼		△*6						
	ジャーナル軸受(すべり)		炭素鋼+ホワイトメタル	△					△*4		
	スラスト軸受(すべり)		炭素鋼+ホワイトメタル	△					△*4		
	ダイアフラムカップリング		低合金鋼								
	機器の支持	台板		炭素鋼		△					
キー			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

# 大飯発電所 4 号炉

## コンクリート構造物および鉄骨構造物の技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

関西電力株式会社

本評価書は、大飯4号炉における主要なコンクリート構造物および鉄骨構造物の高経年化に関する技術評価についてまとめたものである。

大飯4号炉におけるコンクリート構造物および鉄骨構造物のうち、安全上重要な構造物（安全重要度分類審査指針におけるクラス1、2に該当する構造物、該当する機器を支持する構造物）、高温・高圧の環境下にある機器を支持する構造物（安全重要度分類審査指針におけるクラス3に該当する機器のうち高温・高圧の環境下にある機器を支持する構造物であり、浸水防護施設に属する構造物を含む）ならびに常設重大事故等対処設備および常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物を対象構造物として選定した。なお、選定した対象構造物には、火災防護設備に属する構造物を含む。

コンクリート構造物および鉄骨構造物に対して、安全上および運転継続上要求される機能としては、支持機能、放射線の遮蔽機能（一部のコンクリート構造物が対象）、耐圧機能（一部のコンクリート構造物が対象）および耐火機能（一部のコンクリート構造物が対象）があげられる。

本評価書においては、これらの機能に影響する経年劣化事象を抽出し、その事象に影響を及ぼす各経年劣化要因に対して、代表構造物から、使用環境、使用条件、重要度により評価対象とする構造物を選定し、技術評価を実施している。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られる。

コンクリート構造物および鉄骨構造物

## 目 次

1. 対象構造物および代表構造物 .....	1
1.1 対象構造物のグループ化 .....	2
1.2 代表構造物の選定 .....	2
2. 代表構造物の技術評価 .....	9
2.1 構造、材料、使用条件 .....	9
2.2 高経年化対策上着目すべき部位・経年劣化事象の抽出 .....	13
2.3 高経年化対策上着目すべき構造物・経年劣化事象の技術評価 .....	21
3. グループ内全構造物への展開 .....	40

## 1. 対象構造物および代表構造物

大飯4号炉におけるコンクリート構造物および鉄骨構造物のうち、安全上重要な構造物、高温・高圧の環境下にある機器を支持する構造物（浸水防護施設に属する構造物を含む）ならびに常設重大事故等対処設備および常設重大事故等対処設備を支持する構造物を対象構造物とする。なお、対象構造物には火災防護設備に属する構造物を含む。安全上重要な構造物は、発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針（平成2年8月30日原子力安全委員会決定、以下「重要度指針」という）におけるPS-1、2（異常発生防止系ークラス1、2）およびMS-1、2（異常影響緩和系ークラス1、2）に該当する構造物、または該当する機器を支持する構造物である。高温・高圧の環境下にある機器を支持する構造物は、「重要度指針」におけるPS-3（異常発生防止系ークラス3）およびMS-3（異常影響緩和系ークラス3）に該当する機器のうち高温・高圧の環境下にある機器を支持する構造物である。なお、原子炉格納容器であるプレストレストコンクリート製原子炉格納容器（以下、「PCCV」という）のうち、支持機能、遮蔽機能、耐圧機能を担う鉄筋コンクリートおよびプレストレスシステムについては、コンクリート構造物として本評価書にて評価するものとする。また、対象構造物の選定にあたり、PCCVは外部遮蔽壁および原子炉格納施設基礎に含めることとする。

表1-1に対象構造物の選定を示す。対象構造物は以下のとおりとなる。

- ① 外部遮蔽壁
- ② 内部コンクリート
- ③ 原子炉格納施設基礎
- ④ 原子炉周辺建屋
- ⑤ タービン建屋
- ⑥ 燃料油貯蔵タンク基礎（配管トレンチ含む）
- ⑦ 重油タンク基礎
- ⑧ 海水ポンプ室

これらの対象構造物を以下のとおり、グループ化し、代表構造物を選定した。



### 1.1 対象構造物のグループ化

対象構造物は、材料特性によりコンクリート構造物と鉄骨構造物の2つのグループに分類される。

### 1.2 代表構造物の選定

表1-2に示すとおり、使用条件などにより、以下を代表構造物として選定した。

#### (1) コンクリート構造物

- ① 外部遮蔽壁
- ② 内部コンクリート
- ③ 原子炉格納施設基礎
- ④ 原子炉周辺建屋
- ⑤ タービン建屋
- ⑥ 海水ポンプ室

#### (2) 鉄骨構造物

- ① 原子炉周辺建屋（鉄骨部）
- ② タービン建屋（鉄骨部）

表1-1 大飯4号炉 対象構造物の選定(1/4)

安全重要度分類審査指針などに定める要求機能	分類など	主要設備	対象構造物
原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	PS-1	原子炉容器 蒸気発生器 1次冷却材ポンプ 加圧器	内部コンクリート 内部コンクリート 内部コンクリート 内部コンクリート
過剰反応度の印加防止機能	PS-1	制御棒駆動装置圧力ハウジング	内部コンクリート
炉心形状の維持機能	PS-1	炉心そう	内部コンクリート
原子炉の緊急停止機能	MS-1	制御棒 制御棒クマサ案内管 制御棒駆動装置	内部コンクリート 内部コンクリート 内部コンクリート
未臨界維持機能	MS-1	制御棒	内部コンクリート
原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	MS-1	加圧器安全弁	内部コンクリート
原子炉停止後の除熱機能	MS-1	余熱除去系 補助給水系 主蒸気系 主給水系	内部コンクリート、原子炉周辺建屋 内部コンクリート、原子炉周辺建屋 内部コンクリート、原子炉周辺建屋 内部コンクリート、原子炉周辺建屋
炉心冷却機能	MS-1	低圧注入系 高圧注入系 蓄圧注入系	内部コンクリート、原子炉周辺建屋 内部コンクリート、原子炉周辺建屋 内部コンクリート
放射性物質の閉じ込め機能 放射線の遮蔽および放出低減機能	MS-1	原子炉格納容器 格納容器スプレイ系 アニュラス空気再循環設備 安全補機室空気浄化系 アニュラス	外部遮蔽壁、原子炉格納施設基礎 原子炉周辺建屋 原子炉周辺建屋 原子炉周辺建屋 外部遮蔽壁、原子炉格納施設基礎、原子炉周辺建屋
工学的安全施設および原子炉停止系への作動信号の発生機能	MS-1	安全保護系	制御建屋*1

\*1:「大飯発電所3号炉 コンクリート構造物および鉄骨構造物の技術評価書」にて評価。

表1-1 大飯4号炉 対象構造物の選定(2/4)

安全重要度分類審査指針などに定める要求機能	分類など	主要設備	対象構造物
安全上特に重要な関連機能	MS-1	非常用所内電源系  原子炉補機冷却海水系 制御用圧縮空気設備	原子炉周辺建屋、 燃料油貯蔵タンク基礎（配管トレンチ含む） 重油タンク基礎 海水ポンプ室、海水管トンネル*1 原子炉周辺建屋
原子炉冷却材を内蔵する機能	PS-2	化学体積制御系	内部コンクリート、原子炉周辺建屋
原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能	PS-2	使用済燃料ピット、新燃料貯蔵庫	原子炉周辺建屋
燃料を安全に取り扱う機能	PS-2	燃料取替クレーン 燃料移送装置 使用済燃料ピットクレーン	内部コンクリート 内部コンクリート 原子炉周辺建屋
安全弁および逃がし弁の吹き止まり機能	PS-2	加圧器安全弁 加圧器逃がし弁	内部コンクリート 内部コンクリート
燃料プール水の補給機能	MS-2	燃料取替用水ピット 燃料取替用水ポンプ	原子炉周辺建屋 原子炉周辺建屋
放射性物質放出の防止機能	MS-2	アニュラス空気浄化系 排気筒	原子炉周辺建屋 外部遮蔽壁
事故時のプラント状態の把握機能	MS-2	事故時監視計器	内部コンクリート、原子炉周辺建屋
異常状態の緩和機能	MS-2	加圧器逃がし弁 加圧器後備ヒータ 加圧器逃がし元弁	内部コンクリート 内部コンクリート 内部コンクリート
制御室外からの安全停止機能	MS-2	制御室外原子炉停止装置	原子炉周辺建屋
重要度クラス3の内、最高使用温度が95℃を超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の機器に要求される機能	高*2	高圧タービン、低圧タービン、湿分離加熱器 高圧給水ヒータ、脱気器	タービン建屋

\*1：「大飯発電所3号炉 コンクリート構造物および鉄骨構造物の技術評価書」にて評価。

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

表1-1 大飯4号炉 対象構造物の選定(3/4)

安全重要度分類審査指針などに定める要求機能	分類など	主要設備	対象構造物
浸水防護施設	設*3	水密扉	原子炉周辺建屋、廃棄物処理建屋*1
常設重大事故等対処設備	重*4	恒設代替低圧注水ポンプ 原子炉下部キャビティ注水ポンプ 格納容器雰囲気ガスサンプリング冷却器 恒設代替低圧注水ポンプモータ 原子炉下部キャビティ注水ポンプモータ 号機間融通用高圧ケーブルコネクタ接続盤 代替所内電気設備用変圧器 代替所内電気設備分電盤（パワーセンタ） 代替所内電気設備分電盤（コントロールセンタ） 格納容器再循環サンプ 内部スプレーポンプ出口流量 使用済燃料ピット水位 使用済燃料ピット温度 恒設代替低圧注水ポンプ出口流量 原子炉下部キャビティ水位 原子炉格納容器水位 静的触媒式水素再結合装置温度 原子炉格納容器水素燃焼装置温度 原子炉水位 原子炉下部キャビティ注水ポンプ出口流量積算 A T W S 緩和設備 使用済燃料ピットエリア監視カメラ 代替所内電気設備 高圧ケーブル分岐盤 格納容器循環冷暖房ユニット	原子炉周辺建屋 原子炉周辺建屋 原子炉周辺建屋 原子炉周辺建屋 原子炉周辺建屋 原子炉周辺建屋 原子炉周辺建屋 原子炉周辺建屋 原子炉周辺建屋 内部コンクリート 原子炉周辺建屋 原子炉周辺建屋 原子炉周辺建屋 原子炉周辺建屋 内部コンクリート 内部コンクリート 内部コンクリート 内部コンクリート 内部コンクリート 原子炉周辺建屋 原子炉周辺建屋 原子炉周辺建屋 原子炉周辺建屋 内部コンクリート

\*1：「大飯発電所3号炉 コンクリート構造物および鉄骨構造物の技術評価書」にて評価。

\*3：設計基準対象施設として評価対象とした機器および構造物であることを示す。

\*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および構造物であることを示す。

表1-1 大飯4号炉 対象構造物の選定(4/4)

安全重要度分類審査指針などに定める要求機能	分類など	主要設備	対象構造物
常設重大事故等対処設備	重*4	制御建屋空調ユニット 格納容器循環冷暖房ユニットダクト 静的触媒式水素再結合装置 原子炉格納容器水素燃焼装置	原子炉周辺建屋 内部コンクリート 内部コンクリート 内部コンクリート

\*4：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

表1-2 大飯4号炉 代表構造物の選定 (1/2)

(a) コンクリート構造物

対象構造物 (コンクリート構造物)	重要度分類など	使用条件など									選定	選定理由
		運転開始後 経過年数 <sup>*1</sup>	高温部の 有無	放射線の 有無	振動の 有無	設置環境		供給塩化 物量	耐火要求 の有無	緊張力 の有無		
						屋 内	屋 外					
① 外部遮蔽壁	クラス1 設備支持	28年	◇	◇	—	一部 仕上げ無し	仕上げ有り	◇	—	○	◎	プレストレスシステムを有する構造物、屋内で仕上げ無し
② 内部コンクリート	クラス1 設備支持	28年	○ (1次遮蔽壁)	○ (1次遮蔽壁)	—	一部 仕上げ無し	/	/	—	/	◎	高温部、放射線の影響、屋内で仕上げ無し
③ 原子炉格納施設基礎	クラス1 設備支持	28年	—	◇	—	仕上げ有り	埋設 <sup>*2</sup>	◇	/	○	◎	代表構造物を支持する構造物、プレストレスシステムを有する構造物
④ 原子炉周辺建屋	クラス1 設備支持	28年	—	◇	◇ (非常用ディーゼル発電機基礎)	一部 仕上げ無し	仕上げ有り	◇	—	/	◎	振動の影響、屋内で仕上げ無し
⑤ タービン建屋	クラス3 設備支持	28年	—	—	○ (タービン架台)	一部 仕上げ無し	埋設 <sup>*2</sup>	◇	/	/	◎	振動の影響、屋内で仕上げ無し
⑥ 燃料油貯蔵タンク基礎 (配管トレンチ含む)	クラス1 設備支持	28年	—	—	—	/	埋設 <sup>*2</sup>	◇	—	/		
⑦ 重油タンク基礎	クラス1 設備支持	3年	—	—	—	/	埋設 <sup>*2</sup>	◇	—	/		
⑧ 海水ポンプ室	クラス1 設備支持	28年	—	—	—	/	一部 仕上げ無し	○ (海水と接触)	—	/	◎	屋外で仕上げ無し 供給塩化物量

\*1：運転開始後経過年数は、2021年11月時点の年数としている。

\*2：環境条件の区分として、土中は一般の環境として区分されることから、他の屋外で仕上げがない構造物で代表させる。

【凡例】

○：影響大

◇：影響小

—：影響極小、または無し

表1-2 大飯4号炉 代表構造物の選定 (2/2)

(b) 鉄骨構造物

	対象構造物 (鉄骨構造物)	重要度分類など	使用条件			選定	選定理由
			運転開始後 経過年数 <sup>*1</sup>	設置環境			
				屋内	屋外		
①	原子炉周辺建屋 (鉄骨部)	クラス1 設備支持	28年	仕上げ有り		◎	運転開始後経過年数
②	原子炉周辺建屋 (水密扉)	浸水防護施設	9年	仕上げ有り			
③	タービン建屋 (鉄骨部)	クラス3 設備支持	28年	仕上げ有り		◎	運転開始後経過年数

\*1：運転開始後経過年数は、2021年11月時点の年数としている。

## 2. 代表構造物の技術評価

本章では、「1.2 代表構造物の選定」で選定した代表構造物について技術評価を実施する。

### 2.1 構造、材料、使用条件

鉄筋コンクリート構造物は、必要な強度を確保するために、圧縮力には強いが引張力に弱いコンクリートを、引張力に強い鉄筋で補強した構造物である。また、鉄筋を強アルカリ性であるコンクリートで包むことにより、鉄筋の腐食を防止することができる。コンクリートは、セメントに骨材（粗骨材、細骨材）、水および混和材料を混合したものである。

コンクリートの設計基準強度は、外部遮蔽壁が44.1 N/mm<sup>2</sup>（450 kgf/cm<sup>2</sup>）、原子炉格納施設基礎、内部コンクリートおよび原子炉周辺建屋が29.4 N/mm<sup>2</sup>（300 kgf/cm<sup>2</sup>）、タービン建屋が20.6 N/mm<sup>2</sup>（210 kgf/cm<sup>2</sup>）、海水ポンプ室が23.5 N/mm<sup>2</sup>（240 kgf/cm<sup>2</sup>）である。

コンクリート構造物のうちPCCVのプレストレスシステムとは、テンドンと定着具から構成される緊張システムである。テendonはPC鋼より線により構成され、PC鋼より線をウェッジ（くさび）により定着する方式である。定着部はD側（ディテンション側）とN側（ノーマル側）で一組となる。アンカヘッドに反力を取り、ジャッキによりPC鋼より線を緊張し、くさびによりPC鋼より線をアンカヘッドに定着することによってテendonを緊張する。テendonは、ドーム上部から投影して格子状に配置し、両端は底部内に設けるテendonギャラリーに定着する逆U型鉛直テendon（逆Uテendon）と、360°のフープ状に配置し、180°間隔で設ける2つのバットレスに定着する水平方向テendon（フープテendon）から形成される。

鉄骨構造物は、構造用鋼材を溶接またはボルトにて接合した構造物であり、柱脚部はコンクリート基礎にアンカーボルトなどで固定されている。鉄骨部は、施工時に適切な防錆塗装などが施されている。

大飯4号炉のプラント配置図および代表構造物の概要をそれぞれ図2.1-1および図2.1-2に示す。

大飯4号炉のコンクリート構造物および鉄骨構造物の主な使用材料を表2.1-1に示す。また、使用条件については、表1-2に示したとおりである。



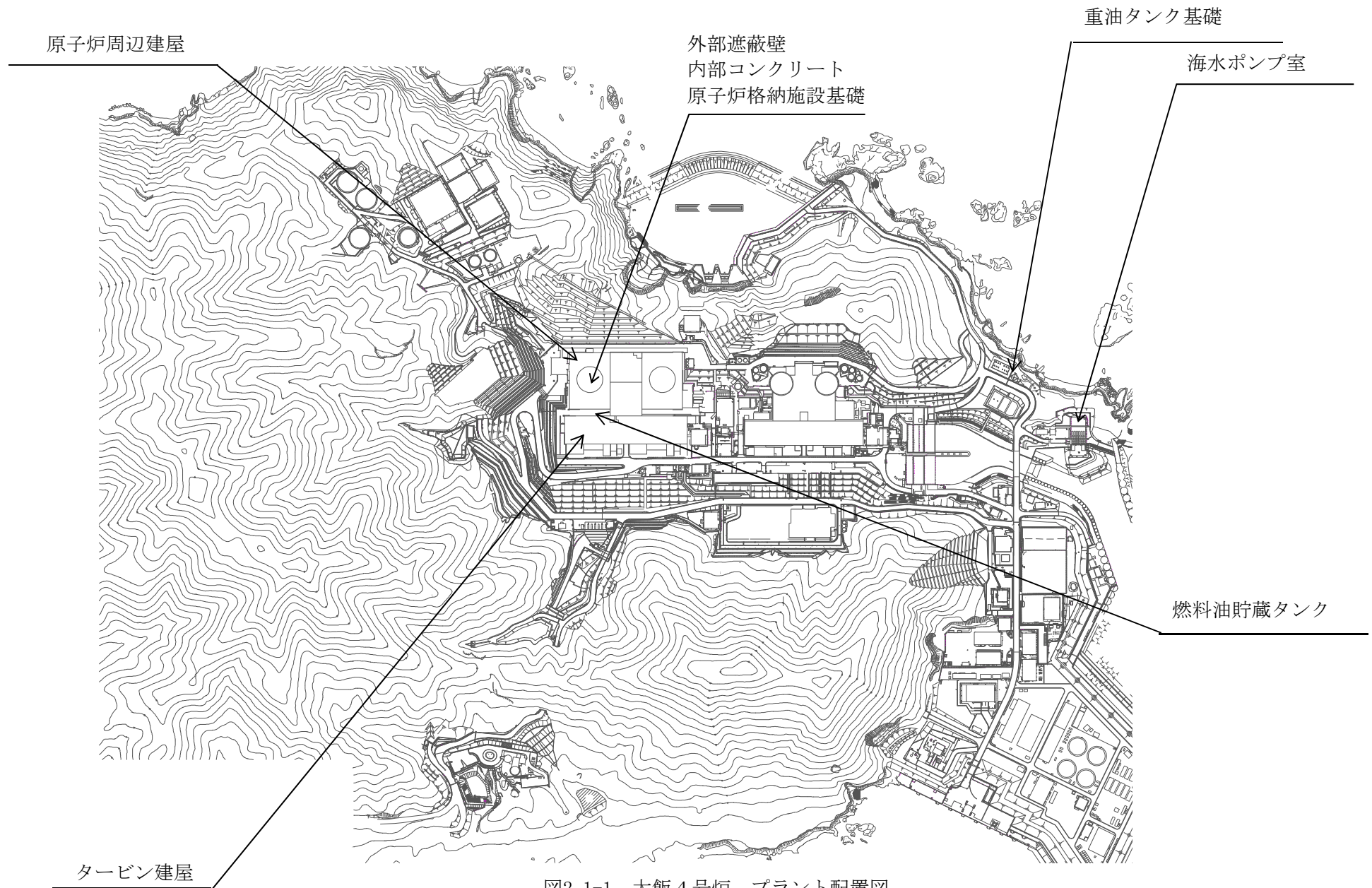


図2.1-1 大飯4号炉 プラント配置図

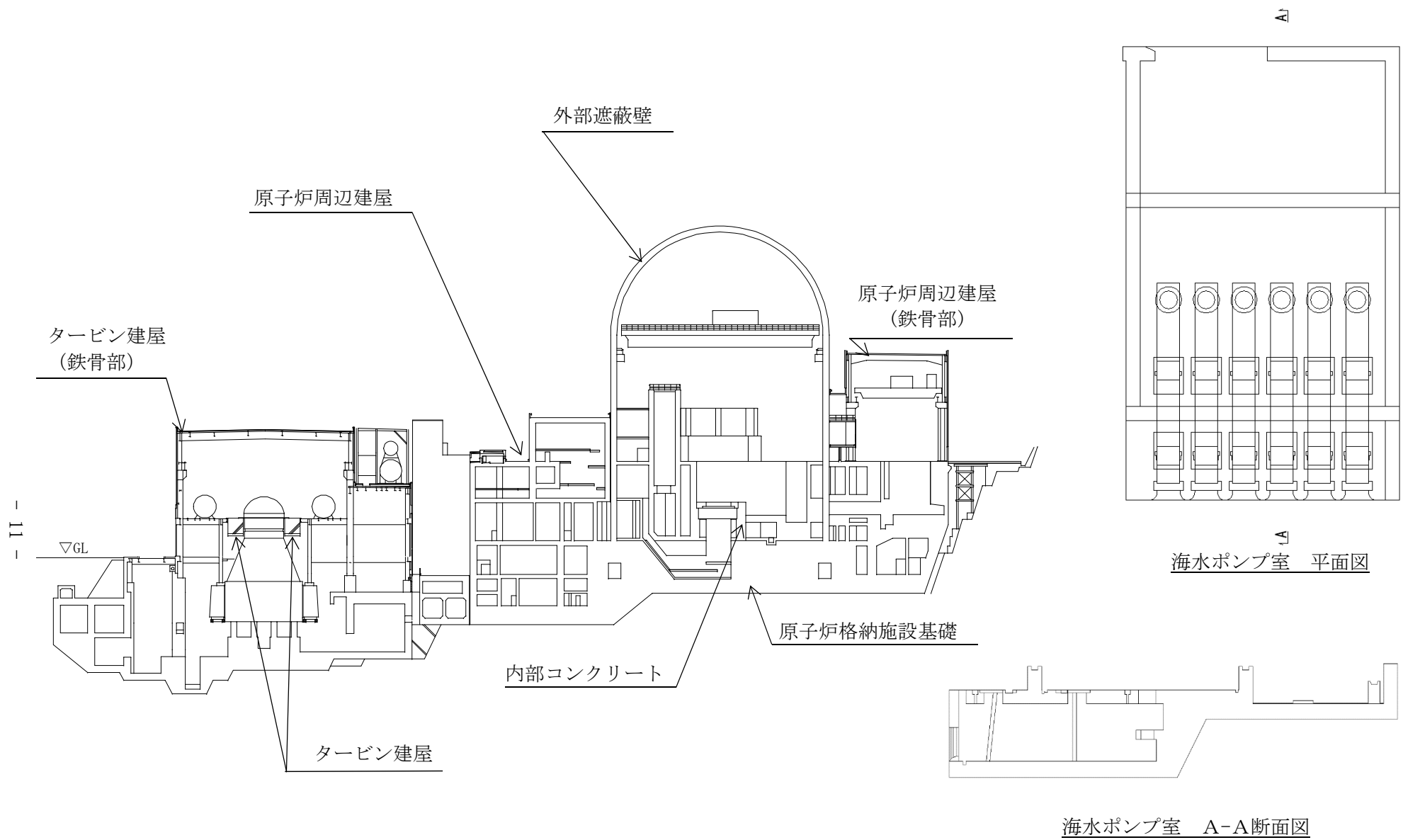


図2.1-2 大飯4号炉 代表構造物の概要

表2.1-1 大飯4号炉 コンクリート構造物および鉄骨構造物の主な使用材料

			材 料	
コンクリート構造物	コンクリート	骨材	粗骨材	砕石（敦賀市葉原産、舞鶴市余部上産、舞鶴市下漆原産）
			細骨材	砕砂（敦賀市葉原産、舞鶴市余部上産、舞鶴市下漆原産） および陸砂（三国町産）
		セメント	中庸熟ポルトランドセメント	
		混和材料	混和材（フライアッシュ） 混和剤（A E 減水剤、流動化剤）	
		鉄筋	異形棒鋼（SD345、SD390）	
		塗装材	（外部）建築用塗膜防水材（外壁用） （内部）エポキシ樹脂塗料	
	プレストレスシステム	テンドン	PC鋼より線	
		定着具	アンカーヘッド：低合金鋼 シム：炭素鋼 支圧板：炭素鋼	
	鉄骨構造物	鉄骨	炭素鋼	
		塗装材	エポキシ樹脂塗料、合成樹脂調合ペイント	

## 2.2 高経年化対策上着目すべき部位・経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 安全機能達成に必要な項目

評価対象のコンクリート構造物および鉄骨構造物に要求される機能は、支持機能と、一部のコンクリート構造物における放射線の遮蔽機能、耐圧機能および耐火機能である。したがって、次の5つの項目が必要であり、高経年化対策上も重要と判断される。

- ① コンクリート強度の維持
- ② コンクリート遮蔽能力の維持
- ③ テンドン緊張力の維持
- ④ コンクリート耐火能力の維持
- ⑤ 鉄骨強度の維持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき構造物・経年劣化事象

「2.2.1 安全機能達成に必要な項目」であげたそれぞれの機能に影響を及ぼすことが否定できない経年劣化事象として、コンクリートの強度低下、コンクリートの遮蔽能力低下、テンドンの緊張力低下、コンクリートの耐火能力低下および鉄骨の強度低下が考えられる。

設計上および一般構造物での事例などから各事象に影響を及ぼす要因を抽出し、さらに、抽出した各要因に対して、代表構造物の使用環境、使用条件、重要度から、評価対象とする構造物を選定した。大飯4号炉のコンクリート構造物および鉄骨構造物に想定される経年劣化事象と評価対象とする構造物を表2.2-1に示す。

想定される経年劣化事象と、各事象に影響を及ぼす要因のうち高経年化対策上着目すべきもの（表2.2-1で○となっているもの）を以下に示す。なお、評価対象とする構造物は [ ] で示す。

#### (1) コンクリートの強度低下

##### a. 熱による強度低下 [内部コンクリート (1次遮蔽壁)]

コンクリートが熱を受けると、温度条件によってはコンクリート中の水分の逸散に伴う乾燥に起因する微細なひび割れ、あるいは水分の移動に起因する空隙の拡大などにより強度が低下する可能性があるため、経年劣化に対する評価が必要である。

コンクリート構造物のうち、運転時に最も高温状態となる内部コンクリート (1次遮蔽壁) を評価対象とした。

b. 放射線照射による強度低下 [内部コンクリート (1次遮蔽壁)]

コンクリートは、中性子照射やガンマ線照射に起因する内部発熱によるコンクリート中の水分の逸散などにより、強度が低下する可能性があるため、経年劣化に対する評価が必要である。

コンクリート構造物のうち、中性子照射量およびガンマ線照射量の最も大きい内部コンクリート (1次遮蔽壁) を評価対象とした。

c. 中性化による強度低下 [原子炉周辺建屋 (屋内面)、タービン建屋 (屋内面)、海水ポンプ室 (気中帯)]

コンクリートは空気中の二酸化炭素の作用を受けると、徐々にそのアルカリ性を失い中性化する。

中性化がコンクリートの内部に進行しアルカリ性が失われると鉄筋周囲に生成されていた不動態被膜も失われ、鉄筋はコンクリート中の水分、酸素の作用により腐食し始める。さらに、鉄筋の腐食が進行すると酸化生成物による体積膨張からコンクリートにひび割れや剥離が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性があるため、経年劣化に対する評価が必要である。

中性化の進行度合いに影響を及ぼす要因としては、塗装などのコンクリート表面仕上げの有無、二酸化炭素濃度、温度および相対湿度があげられる。

仕上げの有無については、仕上げ材が二酸化炭素侵入の遮断または抵抗体となることから仕上げが施されていない部位の方が影響度が大きい。本評価対象のうち屋内については、中央制御室など、作業員が常駐する部位には運転開始時点より仕上げが施されている。また、屋外については、建設時から外部遮蔽壁などに塗装を施している。

二酸化炭素濃度については、高濃度であるほど中性化に及ぼす影響度が大きい。気象庁の観測資料によると、大気中の二酸化炭素濃度は、徐々に上昇傾向が見られるものの、2010～2012年に、原子炉建屋などの屋内にて計測した結果、二酸化炭素濃度は、平均で約400ppmであった。

温度については、高温であるほど中性化に及ぼす影響度が大きくなる傾向があるとされている。

相対湿度については、低湿度であるほど中性化に及ぼす影響度が大きくなる傾向があるとされている。なお、一般に、温度が上がれば相対湿度は下がり、温度が下がれば相対湿度は上がる。

2010年～2012年の大飯4号炉における環境測定結果などから推定した、供用期間中の二酸化炭素濃度、温度、相対湿度の平均値に基づき中性化に及ぼす影響度を確認した結果、原子炉周辺建屋およびタービン建屋

の屋内環境が、中性化に及ぼす影響度が比較的大きいと考えられた。

以上より、屋内で仕上げが施されていない部位があり、他と比べて環境条件が中性化に及ぼす影響度が比較的大きいと考えられる原子炉周辺建屋(屋内面)およびタービン建屋(屋内面)を評価対象として選定した。さらに、屋外の代表として仕上げが施されていない部位がある海水ポンプ室(気中帯)を評価対象とした。

d. 塩分浸透による強度低下 [海水ポンプ室]

コンクリート中に塩化物イオンが浸透して鉄筋位置まで達すると、鉄筋表面の不動態被膜が破壊されるため、鉄筋は、コンクリート中の水分、酸素の作用により腐食し始める。腐食が進行すると酸化生成物による体積膨張からコンクリートにひび割れや剥離が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性があるため、経年劣化に対する評価が必要である。

コンクリート構造物のうち、海水とその飛沫の影響により最も厳しい塩分浸透環境下であり、塗装などの仕上げが施されていない部位がある海水ポンプ室を評価対象とした。

e. 機械振動による強度低下 [タービン建屋 (タービン架台)]

機械振動により、コンクリート構造物が長期間にわたって繰返し荷重を受けると、ひび割れの発生、ひいては損傷に至る可能性があるため、経年劣化に対する評価が必要である。

コンクリート構造物のうち、比較的大きな振動を受ける部位として、タービン建屋(タービン架台)を評価対象とした。

(2) コンクリートの遮蔽能力低下

a. 熱による遮蔽能力低下 [内部コンクリート (1次遮蔽壁)]

コンクリートは、周辺環境からの伝達熱および放射線照射に起因する内部発熱により、コンクリート中の水分が逸散し、放射線に対する遮蔽能力が低下する可能性があるため、経年劣化に対する評価が必要である。

コンクリート構造物のうち、運転時最高温度となる内部コンクリート (1次遮蔽壁) を評価対象とした。

(3) テンドンの緊張力低下

a. プレストレス損失 [外部遮蔽壁、原子炉格納施設基礎 (テンドン定着部)]

コンクリートの乾燥収縮およびクリープは構造物の供用期間中にわたってコンクリート部の体積を変化させ、テンドンの緊張力に影響を及ぼす。また、P C鋼より線のリラクセーションはP C鋼より線の材料特性、初期応力、温度および時間に依存してテンドンの引張応力を低下させる。これらのことから、プレストレス損失によりテンドンの緊張力が低下するおそれがあるため、経年劣化事象に対する評価が必要である。

コンクリート構造物のうち、プレストレスシステムを有する外部遮蔽壁と原子炉格納施設基礎 (テンドン定着部) を評価対象とした。

### 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

経年劣化事象と、各事象に影響を及ぼす要因のうち

- 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、想定した劣化傾向などにに基づき適切な保全活動を行っているもの。
- 2) 現在まで運転経験や使用条件から考えた材料試験データとの比較により、今後も経年劣化事象の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象。

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）と判断し、以下に示す。

#### (1) コンクリートの強度低下

##### a. アルカリ骨材反応による強度低下

コンクリート中の反応性シリカを含む骨材と、セメントなどに含まれるアルカリ（ナトリウムイオンやカリウムイオン）が、水の存在下で反応してアルカリ珪酸塩を生成し、この膨張作用によりコンクリートにひび割れが生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。

大飯4号炉で使用している骨材（粗骨材、細骨材）については、建設時にモルタルバー法（JIS A 5308）による反応性試験を実施し、反応性骨材ではないことを確認している。モルタルバー法による反応性試験の結果は、膨張率が材齢6ヶ月で0.1%未満の場合は無害とする判定基準に対して最も高い骨材でも0.068%であった。また、定期的に目視確認を実施しており、アルカリ骨材反応に起因すると判断されるひび割れなどは認められていない。

以上から、アルカリ骨材反応による強度低下については、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。

##### b. 凍結融解による強度低下

コンクリート中の水分が凍結し、それが気温の上昇や日射を受けることなどにより融解する凍結融解を繰り返すことでコンクリートにひび割れが生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。

日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事（2018）」に示される凍害危険度の分布図によると大飯4号炉の周辺地域は「ごく軽微」よりも危険度が低い。また、定期的に目視確認を実施しており、凍結融解に起因すると判断されるひび割れなどは認められていない。



以上から、凍結融解による強度低下は、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

(2) テンドンの緊張力低下

a. 熱（高温）による緊張力低下

大飯4号炉において通常運転時の状態でP C鋼より線に熱損傷が生じる可能性は極めて低いことから、熱（高温）による緊張力低下は高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

b. 放射線照射による緊張力低下

大飯4号炉のテンドンは高レベルの放射線を受ける使用環境にないことから、放射線照射による緊張力低下は高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

c. 腐食による緊張力低下

プレストレスシステム（テンドンおよび定着具）の材料であるP C鋼より線などは一般に大気中の酸素、水分と化学反応を起こして腐食する。

しかしながら、大飯4号炉ではテンドンおよび定着具の腐食を防止するために、グリースキャップおよびシース内には防錆剤が充填されているため、テンドンおよび定着具が腐食する可能性はない。したがって、腐食による緊張力低下は高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

d. 疲労による緊張力低下

大飯4号炉のP C C Vにおいて、通常運転時に繰返し载荷や振動を与える機器類はなく、また、プレストレスシステムの疲労試験（高サイクル疲労試験および低サイクル疲労試験）を施工に先立ち実施しており、疲労破壊する可能性は極めて低いことから、疲労による緊張力低下は高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

(3) コンクリートの耐火能力低下

a. 火災時の熱などによる耐火能力低下

コンクリート構造物は、断面厚により耐火能力を確保する設計であるが、火災時の熱により剥落が生じ、部分的な断面厚の減少に伴う耐火能力の低下によりコンクリートの健全性が損なわれる可能性がある。

しかしながら、コンクリート構造物は通常の使用環境において、コンクリー

ト構造物の断面厚が減少することはなく、また、定期的に見視確認を実施しており、火災時などの熱に起因すると判断される断面厚の減少は認められていない。

以上から、火災時の熱などによる耐火能力低下は、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

#### (4) 鉄骨の強度低下

##### a. 腐食による強度低下

鉄は一般に大気中の酸素、水分と化学反応を起こして腐食する。また、海塩粒子などにより、腐食が促進される。腐食が進行すると鉄骨の断面欠損に至り、鉄骨の強度低下につながる可能性がある。

しかしながら、定期的に見視確認を実施しており、強度に支障をきたす可能性のあるような鋼材の腐食は認められておらず、また、強度に支障をきたす可能性のあるような鋼材の腐食に影響する塗膜の劣化などが見られた場合には、その部分の塗替えなどを行うこととしている。

以上から、腐食による強度低下は、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

##### b. 風などによる疲労に起因する強度低下

繰返し荷重が継続的に鉄骨構造物にかかることにより、疲労による損傷が蓄積され、鉄骨の強度低下につながる可能性がある。

大飯4号炉の鉄骨構造物には、疲労破壊が生じるような風などによる繰返し荷重を継続的に受ける構造部材はないことから、風などによる疲労に起因する強度低下は高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

表2.2-1 大飯4号炉 コンクリート構造物および鉄骨構造物に想定される経年劣化事象と評価対象とする構造物

構造種別		コンクリート構造物													鉄骨構造物		
		強度低下						遮蔽能力低下	テンダンの緊張力低下				耐火能力低下	強度低下			
要因		熱	放射線照射	中性化	塩分浸透	機械振動	アルカリ骨材反応	凍結融解	熱	プレストレス損失	熱	放射線照射	腐食	疲労	耐火能力低下	腐食	風などによる疲労
代表 構 造 物	外部遮蔽壁						△	△		○*	▲	▲	▲	▲	△		
	内部 コンクリート	1次 遮蔽壁* ○	1次 遮蔽壁* ○				△	△	1次 遮蔽壁* ○						△		
	原子炉格納 施設基礎						△	△		tendon 定着部* ○	tendon 定着部 ▲	tendon 定着部 ▲	tendon 定着部 ▲	tendon 定着部 ▲			
	原子炉 周辺建屋			屋内面* ○			△	△							△	鉄骨部 △	鉄骨部 ▲
	タービン建屋			屋内面* ○		タービン 架台* ○	タービン 架台 △	タービン 架台 △								鉄骨部 △	鉄骨部 ▲
	海水ポンプ室			気中帯* ○	○*		△	△									

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表中の○に対応する代表構造物：評価対象とする構造物）

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理対象事象）

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

\*：評価対象部位

## 2.3 高経年化対策上着目すべき構造物・経年劣化事象の技術評価

### 2.3.1 コンクリートの強度低下

#### (1) 健全性評価

「2.2 高経年化対策上着目すべき部位・経年劣化事象の抽出」で示した、コンクリートの強度低下をもたらす可能性のある要因ごとに、長期健全性評価を行う。

#### a. 熱による強度低下

##### ① 事象の説明

一般にコンクリートは、温度が70℃程度ならばコンクリートの基本特性に大きな影響を及ぼすような自由水の逸散は生じず、100℃程度以下ならば圧縮強度の低下は少ない。

一方、コンクリート温度が190℃付近まで上昇すると結晶水が解放され始め、さらに高温になると脱水現象が著しくなるため、コンクリートの特性に影響が出始めるとされている（日本機械学会「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（2014）」）。

なお、コンクリートが高温に加熱された場合、強度が上昇するケースと低下するケースが見られる。強度の上昇をもたらす要因としては、セメントペースト中の未水和セメント粒子の水和の促進があり、強度低下をもたらす要因としては、コンクリート中の水分の逸散に伴う乾燥に起因する微細なひび割れ、あるいは水分の移動に起因する空隙の拡大などが考えられる。コンクリートの強度性状は、各要因によって支配されるものと考えられる。

##### ② 技術評価

コンクリートについては、日本建築学会「原子炉建屋構造設計指針・同解説（1988）」において、局部では90℃、一般部分では65℃という温度制限値が定められている。

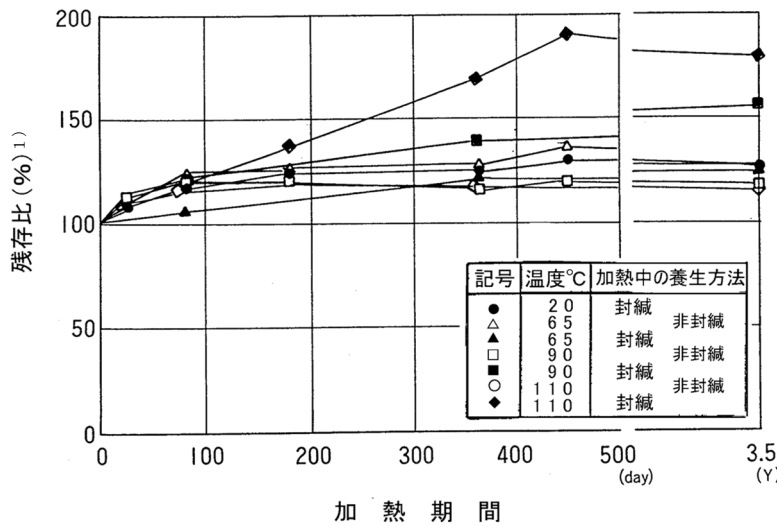
長尾らの実験によれば、長期加熱時のコンクリートの圧縮強度は、65℃、90℃および110℃で3.5年間加熱した場合でも、強度低下は見られず、また、サイクル加熱時のコンクリートの圧縮強度は、20～110℃で120回サイクル加熱した場合、長期加熱時と同様に、強度の大きな低下は見られなかった（図2.3-1および図2.3-2）。これらは、熱による強度の変化は、加熱開始後、比較的短期間でほぼ収束し、コンクリート中の温度が110℃程度以下ならば、加熱時間および繰返し回数がコンクリートの強度に影響を与えないことを示していると考えられる。

大飯4号炉のコンクリート構造物のうち、内部コンクリート(1次遮蔽壁)を評価対象とし、運転時に最も高温となる炉心領域部および原子炉容器サポート(以下、「RVサポート」という)直下部を評価点とし、ガンマ発熱を考慮した温度分布解析により評価を実施した。内部コンクリート(1次遮蔽壁)の概略図を図2.3-3に示す。

断続的運転を前提とした場合における大飯4号炉の内部コンクリートの最高温度は、温度分布解析の結果、炉心領域部で約52.0℃であった。

大飯4号炉において、コンクリート中の最高温度が温度制限値を下回っていることから、熱による強度への影響はなく、また、110℃を下回っていることから、長期加熱およびサイクル加熱による強度への影響はないものと考えられる。

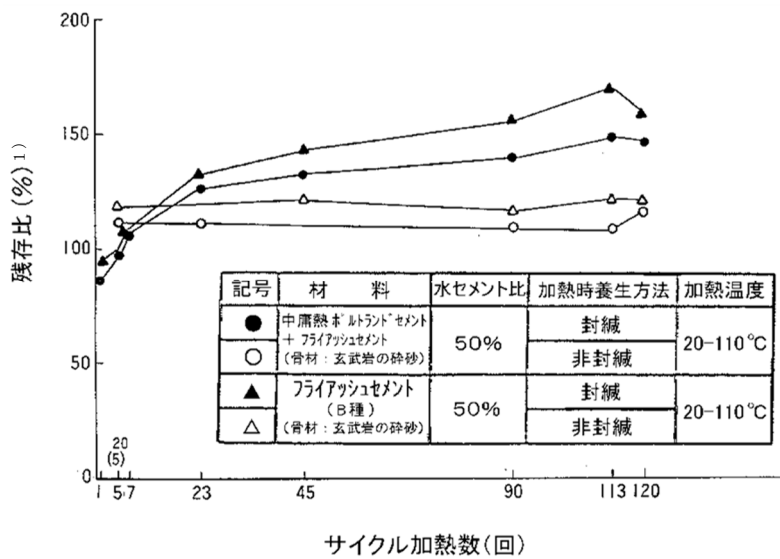
以上から、熱による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とはならない。



材料：中庸熱ポルトランドセメント  
 +フライッシュセメント  
 水セメント比：50%  
 骨材：玄武岩の碎石  
 加熱前養生方法：20°C封緘養生  
 加熱開始時期：材齢91日  
 ※65°C、90°Cおよび110°Cの温度で3.5年間加熱しても強度の低下はみられない。  
 なお、記号の一部誤記は修正した。

1) 残存比：加熱開始直前の圧縮強度に対する加熱後の圧縮強度の比  
 (出典：長尾他、「熱影響場におけるコンクリートの劣化に関する研究」、  
 第48回セメント技術大会講演集、1994)

図2.3-1 長期加熱後のコンクリート圧縮強度の変化



加熱前養生方法：20°C封緘養生  
 加熱開始時期：材齢91日  
 サイクル加熱条件：  
 1サイクル4日間 (96時間)  
 (20→110°C加熱：3時間)  
 (110°C定温保持：45時間)  
 (110→20°C冷却：3時間)  
 (20°C定温保持：45時間)  
 ※20～110°Cの加熱・冷却を120回繰返しても強度の大きな低下は見られない。

1) 残存比：加熱開始直前の圧縮強度に対する加熱後の圧縮強度の比  
 (出典：長尾他、「熱影響場におけるコンクリートの劣化に関する研究」、  
 第48回セメント技術大会講演集、1994)

図2.3-2 サイクル加熱後のコンクリート圧縮強度の変化 (20～110°C)

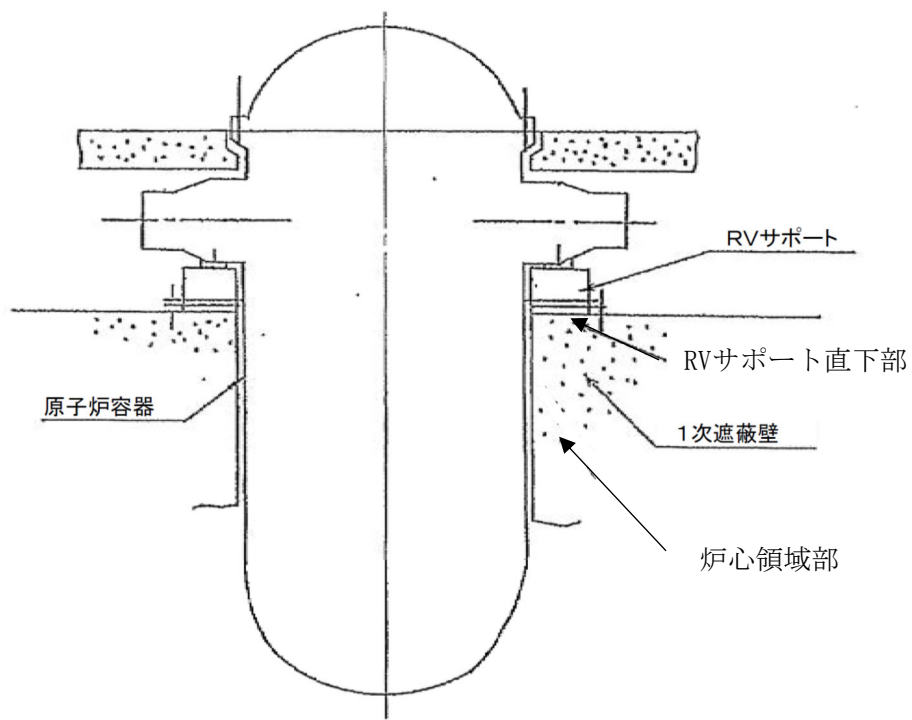


図2.3-3 大飯4号炉 内部コンクリート（1次遮蔽壁）

b. 放射線照射による強度低下

① 事象の説明

コンクリートが中性子照射やガンマ線照射を受けた場合、コンクリート中の水分の逸散などにより強度が低下する可能性がある。

② 技術評価

中性子照射と強度の関係に関しては、従来Hilsdorf他の文献における「中性子照射したコンクリートの圧縮強度 ( $f_{cu}$ ) と照射しないコンクリートの圧縮強度 ( $f_{cu0}$ ) の変化」を参照していた。一方で、小嶋他の試験結果を踏まえた最新知見(小嶋他、NTEC-2019-1001「中性子照射がコンクリートの強度に及ぼす影響(2019)」)によると、 $1 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{MeV}$ ) の中性子照射量から強度低下する可能性があることが確認されている。

また、ガンマ線照射量と強度との関係に関するHilsdorf他の文献によると、少なくとも  $2 \times 10^8 \text{Gy}$  ( $2 \times 10^{10} \text{rad}$ ) 程度のガンマ線照射量では有意な強度低下は見られない(図2.3-4)。

大飯4号炉のコンクリート構造物のうち、中性子照射量およびガンマ線照射量の最も大きい内部コンクリート(1次遮蔽壁)を評価対象とし、中性子照射量およびガンマ線照射量が最大となる1次遮蔽壁炉心側コンクリートを評価点とし、評価を実施した。

大飯4号炉の運転開始後60年時点で予想される中性子照射量( $E > 0.11 \text{MeV}$ )は、評価点において約  $1.89 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  となるが、照射量が  $1 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  を超えるコンクリートの範囲は、深さ方向に最大でも4cm程度であり、1次遮蔽壁の厚さ(最小壁厚279cm)に比べて十分小さい。また、照射量が  $1 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  を超える範囲を除いた構造体の耐力が地震時の鉛直荷重などの設計荷重を上回ることで、また、日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG 4601-1987)」に基づく内部コンクリートの最大せん断ひずみ評価に対して影響がないことを確認している。

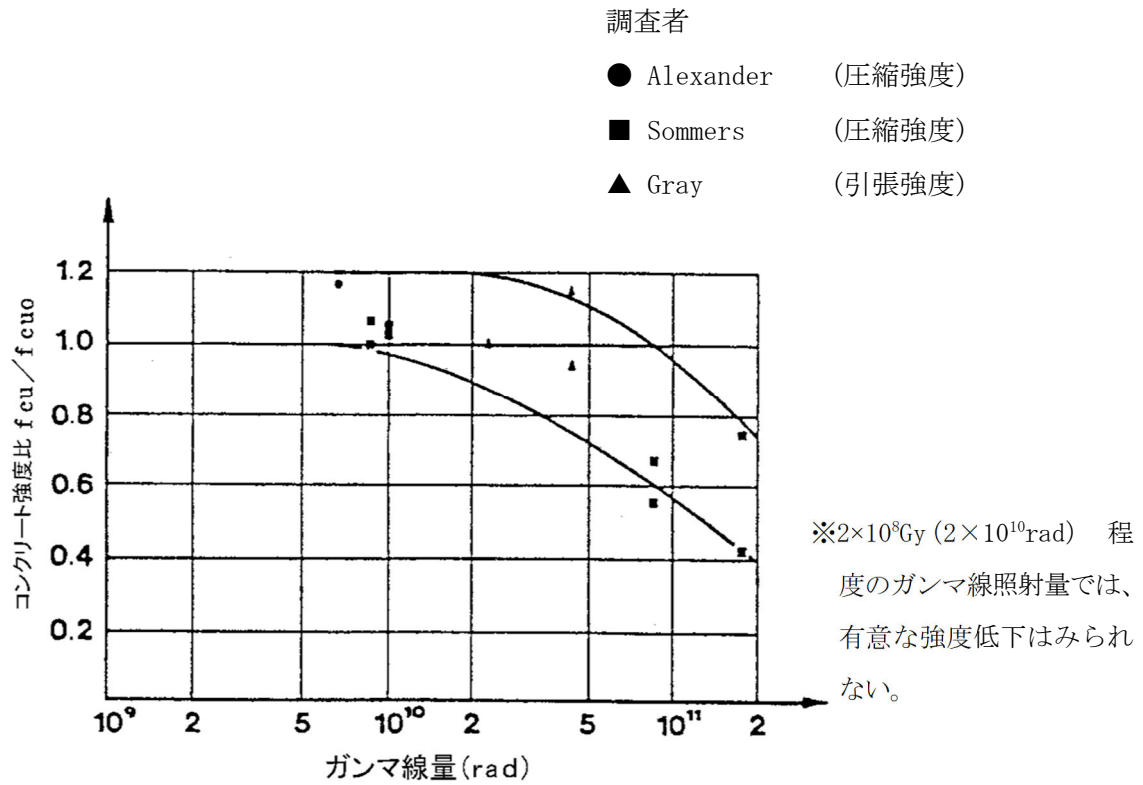
なお、日本原子力研究所(現:日本原子力研究開発機構)動力試験炉の生体遮蔽コンクリートから採取したコンクリートの試験結果によると、 $1 \times 10^{17} \text{n/cm}^2$  ( $E > 0.11 \text{MeV}$ ) 程度の中性子照射量では、圧縮強度の低下は見られない(図2.3-5)。

大飯4号炉運転開始後60年経過時点で予想されるガンマ線照射量は、1



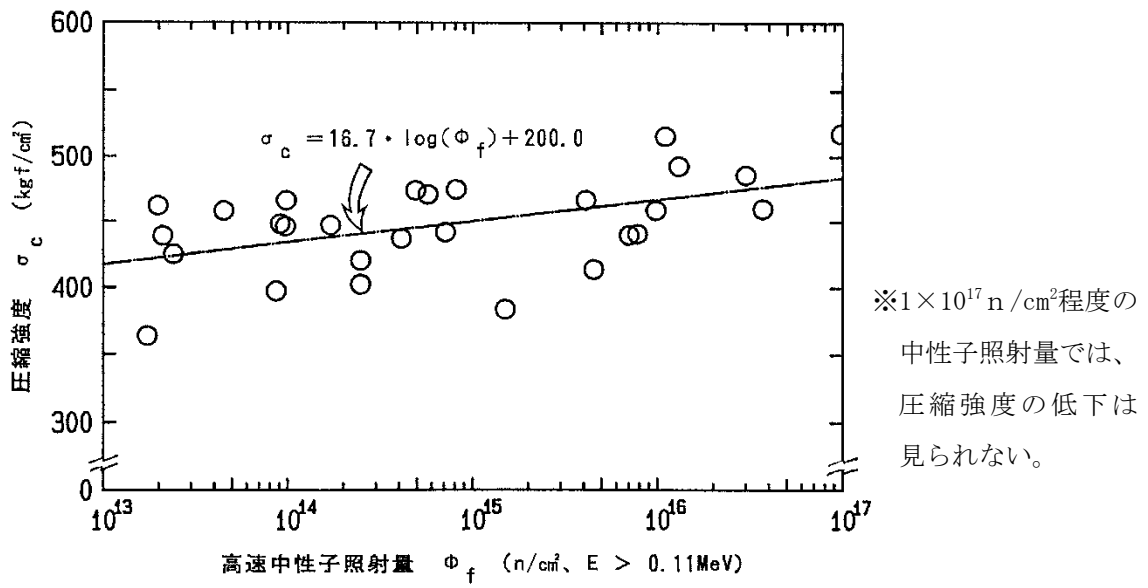
次遮蔽壁炉心側コンクリートにおいて最大約 $1.18 \times 10^8 \text{Gy}$  (約 $1.18 \times 10^{10} \text{rad}$ ) であり、 $2 \times 10^8 \text{Gy}$  ( $2 \times 10^{10} \text{rad}$ ) を下回っていることから、内部コンクリート（1次遮蔽壁）の強度への影響はないものと考えられる。

以上から、放射線照射による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とはならない。



(出典 : Hilsdorf、Kropp、and Koch、*「The Effects of Nuclear Radiation on the Mechanical Properties of Concrete」*、American Concrete Institute Publication SP 55-10. 1978)

図2.3-4 ガンマ線照射したコンクリートの強度 ( $f_{cu}$ ) と照射しないコンクリートの強度 ( $f_{cu0}$ ) の変化



(出典：出井他、「JPDR生体遮蔽コンクリートの材料強度特性」、  
日本原子力研究所（現日本原子力研究開発機構）、  
JAERI-M 90-205、1990)

図2.3-5 高速中性子量とコンクリートの圧縮強度との関係

c. 中性化による強度低下

① 事象の説明

コンクリートは空気中の二酸化炭素の作用を受けると、徐々にそのアルカリ性を失い中性化する。

中性化がコンクリートの内部に進行し、アルカリ性が失われると鉄筋周囲に生成されていた不動態被膜も失われ、鉄筋はコンクリート中の水分、酸素の作用により腐食し始める。さらに、鉄筋の腐食が進行すると酸化生成物による体積膨張からコンクリートにひび割れや剥離が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。

② 技術評価

鉄筋が腐食し始める時の中性化深さは、一般に屋外の雨掛かりの部分では鉄筋のかぶり厚さまで達したとき、屋内の部分では鉄筋のかぶり厚さから2 cm奥まで達したときとされている（日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説（2016）」）。評価対象の設計最小かぶり厚さは、原子炉周辺建屋（屋内面）が6.5 cm、タービン建屋（屋内面）が3.5 cm、海水ポンプ室が8.5 cmである。

中性化の進行速度の推定式としては、森永式（森永「鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート建築物の寿命予測に関する研究—東京大学学位論文（1986）」）および実測値に基づく $\sqrt{t}$ 式（土木学会「コンクリート標準示方書 維持管理編（2018）」）がある。

中性化の進行度合いに影響を及ぼす要因としては、塗装などのコンクリート表面仕上げの有無、二酸化炭素濃度、温度および相対湿度とされている。

これらの要因を考慮し、屋内で仕上げが施されていない部位があり、森永「鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート建築物の寿命予測に関する研究—東京大学学位論文（1986）」に基づき、環境条件の中性化に及ぼす影響度が比較的大きいと考えられる原子炉周辺建屋（屋内面）、タービン建屋（屋内面）を評価対象として選定した。さらに、屋外の代表として、仕上げが施されていない部位がある海水ポンプ室を評価対象とした。なお、評価点（サンプリング箇所）については、環境条件を踏まえて選定した。これらの評価対象について、森永式および実測値に基づく $\sqrt{t}$ 式を用いて、大飯4号炉運転開始後60年経過時点の中性化深さを推定し、鉄筋が腐食し始める時の中性化深さと比較することで評価を実施した。

評価対象にて測定した中性化深さの平均値は、原子炉周辺建屋（屋内面）では0.1 cm、タービン建屋（屋内面）では0.2 cm、海水ポンプ室では1.9 cmであった。森永式および実測値に基づく $\sqrt{t}$ 式を用いて大飯4号炉運転開始後60年経過時点における中性化深さを評価した結果は、原子炉周辺建屋（屋内面）では2.8 cm、タービン建屋（屋内面）では2.9 cm、海水ポンプ室では2.8 cmであった（表2.3-1）。

大飯4号炉運転開始後60年経過時点の中性化深さの推定値が、鉄筋が腐食し始める時の中性化深さを下回っていることから、コンクリートの強度への影響はないものと考えられる。

なお、定期的に見視確認を実施しているが、鉄筋腐食に起因すると判断されるひび割れなどは認められていない。

以上から、中性化による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とはならない。

表2.3-1 大飯4号炉 コンクリートの中性化深さ

	調査時点の中性化深さ			4号炉運転開始後 60年経過時点の 中性化深さ*1 (cm) (推定式)	鉄筋が腐食 し始める時の 中性化深さ (cm)
	経過年数	実測値 (cm)	推定値 (cm) (推定式)		
原子炉周辺建屋 (屋内面)	27年	0.1	1.9 (森永式)	2.8 (森永式)	8.5
タービン建屋 (屋内面)	27年	0.2	2.0 (森永式)	2.9 (森永式)	5.5
海水ポンプ室 (気中帯)	27年	1.9	0.6 (森永式)	2.8 ( $\sqrt{t}$ 式)	8.5

\*1：森永式および実測値に基づく $\sqrt{t}$ 式による評価結果のうち最大値を記載

d. 塩分浸透による強度低下

① 事象の説明

コンクリート中に塩化物イオンが浸透して鉄筋位置まで達すると、鉄筋表面の不動態被膜が破壊されるため、鉄筋は、コンクリート中の水分、酸素の作用により腐食し始める。腐食が進行すると酸化生成物による体積膨張からコンクリートにひび割れや剥離が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。

② 技術評価

塩分によるコンクリート中の鉄筋への影響を評価する方法としては、鉄筋の腐食速度に着目し、鉄筋の腐食減量が、かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の腐食減量に達するまでの期間の予測式として、森永式（森永「鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート建築物の寿命予測に関する研究—東京大学学位論文（1986）」）が提案されている。

大飯4号炉のコンクリート構造物のうち、海水とその飛沫の影響により最も厳しい塩分浸透環境下であり、塗装などの仕上げが施されていない部位がある海水ポンプ室を評価対象とし、環境条件の異なる気中帯、干満帯および海中帯を評価点として評価を実施した。

評価対象より試料を採取して測定した鉄筋位置での塩化物イオン濃度をもとに、森永式を適用して鉄筋の腐食減量を計算した結果を表2.3-2に示す。

大飯4号炉運転開始後60年時点の鉄筋腐食減量は、かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量を下回っていることから、コンクリートの強度への影響はないものと考えられる。

なお、定期的な目視確認を実施しているが、鉄筋腐食に起因すると判断されるひび割れなどは認められていない。

以上から、塩分浸透による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とはならない。

表2.3-2 大飯4号炉 鉄筋の腐食減量

	調査時期 (運転開始後 経過年数)	鉄筋位置での 塩化物イオン 濃度および量 上段 (%) 下段 (kg/m <sup>3</sup> )	鉄筋の腐食減量 ( $\times 10^{-4}$ g/cm <sup>2</sup> )		
			調査時点	運転開始 後60年 経過時点	かぶりコンクリ ートにひび割れ が発生する時点
海水ポンプ室 (気中帯)	2020年 (27年)	0.01 (0.13)	2.3	5.1	90.1
海水ポンプ室 (干満帯)	2020年 (27年)	0.01 (0.22)	7.0	15.0	90.1
海水ポンプ室 (海中帯)	2020年 (27年)	0.01 (0.20)	0.0	0.0	90.1

e. 機械振動による強度低下

① 事象の説明

機械振動により、コンクリート構造物が長期間にわたって繰返し荷重を受けると、ひび割れの発生、ひいては損傷に至る可能性がある。

② 技術評価

大飯4号炉のコンクリート構造物のうち、比較的大きな振動を受けるタービン建屋（タービン架台）を評価対象とし、局部的に影響を受ける可能性がある基礎ボルト周辺のコンクリートを評価点とした。

基礎ボルト周辺のコンクリートに作用する荷重のうち、鉛直方向については、機械の自重やナットの締め付けによる圧縮力が常時作用している。これに加えて機械振動による荷重が作用しても、通常、機械振動による荷重は機械の自重に比べて小さいことから、基礎ボルトの有意な引き抜き荷重やコンクリートへの過大な圧縮力は発生せず、コンクリートのひび割れ発生には至らないと考えられる。

また、水平方向については、基礎ボルトの機械振動による水平変位は、コンクリート内部よりもコンクリート表面部の方が大きいため、コンクリートが機械振動により受ける応力は、定着部表面部の方がコンクリート内部よりも大きくなる。したがって、コンクリートにひび割れが発生する場合には、表面から発生する可能性が高いと考えられる。このため、機械振動により機器のコンクリート基礎への定着部の支持力が失われるような場合、機械の異常振動や定着部周辺コンクリート表面に有害なひび割れが発生するものと考えられる。

なお、定期的な目視確認を実施しているが、大きな振動を受けるタービン架台などの機器支持部表面に、機械振動に起因すると判断されるひび割れなどは認められていない。

以上から、機械振動による強度低下に対しては、長期健全性評価上問題とはならない。



技術的評価に加え、現状のコンクリート強度の確認として、大飯4号炉のコンクリート構造物から採取した試料について破壊試験を行った結果を表2.3-3に示す。なお、外部遮蔽壁については、リバウンドハンマーを用いた非破壊試験により現状のコンクリート強度の推定を行った。

各代表構造物の平均圧縮強度（外部遮蔽壁については平均推定圧縮強度）が設計基準強度を上回っていることを確認した。

表2.3-3 大飯4号炉 コンクリートの強度試験結果

代表構造物	実施時期	試験箇所数	平均圧縮強度※ <sup>1</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )
外部遮蔽壁	2020年	15	76.8	44.1
内部コンクリート	2020年	3	43.3	29.4
原子炉格納施設基礎	2020年	3	35.1	29.4
原子炉周辺建屋	2020年	3	47.7	29.4
タービン建屋	2020年	3	31.0	20.6
海水ポンプ室	2020年	9	46.7	23.5

※1：外部遮蔽壁については平均推定圧縮強度

(2) 現状保全

コンクリートの強度低下については、定期的に屋内、屋外ともコンクリート表面のひび割れ、塗膜の劣化などの目視確認を実施し、強度に支障をきたす可能性のあるような有意な欠陥がないことを確認し、必要に応じて塗装の塗替えなどの補修を実施している。

また、コンクリートの強度については、非破壊試験などを実施し、強度に急激な経年劣化が生じていないことを確認している。

(3) 総合評価

コンクリートの強度については、健全性評価結果から判断して、現状において設計基準強度を上回っており、今後、強度低下が急激に発生する可能性は極めて小さいと考えられる。

また、定期的に目視確認を実施し、強度に支障をきたす可能性のあるような有意な欠陥がないことを確認するとともに非破壊試験などを実施し、強度に急激な経年劣化が生じていないことを確認し、必要に応じて塗装の塗替えなどの補修を実施していることから、保全方法は適切であり、現状保全を継続することにより、健全性の維持は可能であると考ええる。

(4) 高経年化への対応

コンクリートの強度低下については、今後も現状の保全方法により健全性を確認していくものとし、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。

## 2.3.2 コンクリートの遮蔽能力の低下

### (1) 健全性評価

#### a. 熱による遮蔽能力低下

##### ① 事象の説明

コンクリートは、周辺環境からの伝達熱および放射線照射に起因する内部発熱により、コンクリート中の水分が逸散し、放射線に対する遮蔽能力が低下する可能性がある。

##### ② 技術評価

放射線防護の観点から、コンクリート遮蔽体の設計に適用されている「コンクリート遮蔽体設計規準」(R. G. Jaeger et al. 「Engineering Compendium on Radiation Shielding (ECRS) VOL. 2 (1975)」)には、周辺および内部最高温度の制限値が示されており、コンクリートに対しては中性子遮蔽で88℃以下、ガンマ線遮蔽で177℃以下となっている。

コンクリート構造物のうち、内部コンクリート（1次遮蔽壁）を評価対象とし、運転時に最も高温となる炉心領域部およびRVサポート直下部を評価点とし、ガンマ発熱を考慮した温度分布解析により評価を実施した。

断続的運転を前提とした場合における大飯4号炉の内部コンクリートの最高温度は、温度分布解析の結果、炉心領域部で約52.0℃であり、制限値を下回っていることから、遮蔽能力への影響はないと考えられる。

以上から、熱による遮蔽能力低下に対しては、長期健全性評価上問題とされない。

### (2) 現状保全

コンクリート構造物の遮蔽能力低下については、定期的を目視確認を実施し、遮蔽能力に支障をきたす可能性のあるひび割れなどの有意な欠陥がないことを確認している。

### (3) 総合評価

コンクリート構造物の遮蔽能力低下については、健全性評価結果から判断して、遮蔽能力低下の可能性はないと考える。また、ひび割れなどについては目視確認で検知可能であり、保全方法として適切であり、現状保全を継続することにより、健全性の維持は可能であると考えられる。

(4) 高経年化への対応

コンクリート構造物の遮蔽能力低下については、今後も現状の保全方法により健全性を確認していくものとし、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。

### 2.3.3 テンドンの緊張力低下

#### (1) 健全性評価

##### a. プレストレス損失

##### ① 事象の説明

コンクリートの乾燥収縮およびクリープは、構造物の供用期間中にわたってコンクリート部の体積を変化させ、テンダンの緊張力に影響を及ぼす。また、PC鋼より線のリラクゼーションは、PC鋼より線の材料特性、初期応力、温度および時間に依存してテンダンの引張応力を低下させる。これらのことから、プレストレス損失により、テンダンの緊張力が低下する可能性がある。

##### ② 技術評価

大飯4号炉のコンクリート構造物のうち、外部遮蔽壁と原子炉格納施設基礎（テンダンの定着部）を評価対象とし、2020年に実施した30年目供用期間中検査（以下、「ISI」という）における、緊張力検査の対象テンダンを評価点とし、プレストレス損失を考慮したテンダンの緊張力と設計要求値を比較することで評価を実施した。

30年目ISIにおける緊張力検査結果をもとに、緊張力低下を予測する方法を用いてテンダンの緊張力を評価した結果を表2.3-4に示す。

大飯4号炉運転開始後60年経過時点のテンダンの緊張力予測値は、設計要求値を上回っていることから、テンダンの緊張力への影響はないものと考えられる。

以上から、プレストレス損失によるテンダンの緊張力低下に対しては、長期健全性評価上問題とはならない。

表2.3-4 大飯4号炉 テンダンの緊張力

	テンダンの緊張力 (×MN)		
	測定値	予測値	設計要求値*1
	30年目ISI	運転開始後 60年経過時点	
フープ テンダン	6.21	6.18	5.36
逆U テンダン	6.29	6.26	5.66

\*1：工事計画認可資料に基づき設定されたテンダン定着部の緊張力

(2) 現状保全

テンドンの緊張力低下については、定期的に緊張力検査および定着部（定着具、周辺コンクリート部）の目視点検を実施し、緊張力に支障をきたす可能性のあるような急激な経年劣化がないことを確認している。

(3) 総合評価

テンドンの緊張力低下については、健全性評価結果から判断して、今後、テンドンの緊張力低下が急激に進展する可能性は極めて小さいと考えられる。

また、定期的に緊張力検査および定着部（定着具、周辺コンクリート部）の目視点検を実施することで、緊張力低下について検知可能であることから、保全方法は適切であり、現状の保全方法を継続することにより、健全性の維持は可能であると考えられる。

(4) 高経年化への対応

テンドンの緊張力低下に対しては、今後も現状の保全方法により健全性を確認していくものとし、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。

### 3. グループ内全構造物への展開

コンクリート構造物および鉄骨構造物の技術評価については、「2.2 高経年化対策上着目すべき部位・経年劣化事象の抽出」および「2.3 高経年化対策上着目すべき構造物・経年劣化事象の技術評価」に示すとおり、代表構造物について、各経年劣化事象に影響を及ぼす要因ごとに、使用条件を考慮して、実施している。コンクリート構造物および鉄骨構造物の場合、グループ内全構造物の使用条件は、代表構造物の使用条件に含まれているため、技術評価結果も代表構造物の評価結果に含まれた結果となる。

したがって、代表構造物の技術評価を行ったことで、グループ内全構造物の技術評価は実施済みである。