

浜岡原子力発電所 4 号機

ポンプの技術評価書

[冷温停止状態が維持されることを前提とした評価]

中部電力株式会社

本評価書は、浜岡原子力発電所4号機（以下、「浜岡4号機」という。）における安全上重要なポンプ（重要度分類指針におけるPS-1,2及びMS-1,2に該当する機器）、高温・高圧の環境下にあるクラス3のポンプ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。

評価対象機器の一覧を表1に、機能を表2に示す。

評価対象機器を型式、内部流体、材料等で分類し、それぞれのグループから重要度及び使用条件等の観点で代表機器を選定し技術評価を行った後、代表以外の機器について評価を展開している。

本評価書はポンプの型式等をもとに、以下の2分冊で構成されている。

1. ターボポンプ
2. 原子炉冷却材再循環ポンプ

なお、原子炉冷却材再循環ポンプは遠心ポンプであり、ターボポンプに属することになるが、構造の複雑さとPS-1の特殊性を考慮し、ターボポンプと分けて単独で評価している。

また、非常用ディーゼル発電機関の補機ポンプは「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとする。

更に、炉内ジェットポンプは「炉内構造物の技術評価書」にて、本評価書で対象となっているポンプのポンプモータは「ポンプモータの技術評価書」にて、原子炉冷却材再循環ポンプのサポート部は「配管の技術評価書」に含め、それぞれ評価を実施するものとし、本評価書には含まれていない。

なお、本文中の単位の記載はSI単位系に基づくものとする（圧力の単位は特に注記がない限りゲージ圧力を示す）。

表1 評価対象機器一覧

型式	機器名称 (台数)	仕様 (容量×揚程)	重要度*1
ターボポンプ	制御棒駆動水ポンプ(2)	25.9 m ³ /h×1,270 m	高*2
	余熱除去封水ポンプ(1)	5 m ³ /h×50 m	高*2
	高圧炉心スプレイ封水ポンプ(1)	5 m ³ /h×50 m	高*2
	低圧炉心スプレイ封水ポンプ(1)	5 m ³ /h×50 m	高*2
	原子炉機器冷却水ポンプ(6)	1,250 m ³ /h×55 m	MS-1
	高圧炉心スプレイ機器冷却水ポンプ(3)	280 m ³ /h×45 m	MS-1
	原子炉冷却材浄化ホールディングポンプ(2)	13 m ³ /h×20 m	PS-2
	原子炉機器冷却海水ポンプ(4)	2,300 m ³ /h×30 m	MS-1
	高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプ(2)	650 m ³ /h×30 m	MS-1
	余熱除去ポンプ(3)	1,691 m ³ /h×92 m	MS-1
	高圧炉心スプレイポンプ(1)	368 m ³ /h×866 m 1,460 m ³ /h×273 m 1,576 m ³ /h×197 m	MS-1
	低圧炉心スプレイポンプ(1)	1,441 m ³ /h×218 m 1,637 m ³ /h×166 m	MS-1
	原子炉冷却材浄化ポンプ(2)	123 m ³ /h×125 m	PS-2
原子炉冷却材再循環ポンプ	原子炉冷却材再循環ポンプ(2)	10,100 m ³ /h×241 m	PS-1

*1：最上位の重要度を示す

*2：最高使用温度が 95 °C を超え、又は最高使用圧力が 1,900 kPa を超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス 3 の機器

表 2 評価対象機器機能一覧

機器名称	機能
制御棒駆動水ポンプ	制御棒の駆動に必要な高圧の駆動水，冷却水及びアキュムレータ充填水を供給する。
余熱除去封水ポンプ	余熱除去ポンプ(B)及び余熱除去ポンプ(C)吐出配管を加圧する。
高圧炉心スプレイ封水ポンプ	高圧炉心スプレイポンプ吐出配管を加圧する。
低圧炉心スプレイ封水ポンプ	低圧炉心スプレイポンプ及び余熱除去ポンプ(A)吐出配管を加圧する。
原子炉機器冷却水ポンプ	原子炉格納容器，原子炉建屋内の原子炉機器等に冷却水を循環供給する。
高圧炉心スプレイ機器冷却水ポンプ	高圧炉心スプレイ系の機器に冷却水を循環供給する。
原子炉冷却材浄化ホールディングポンプ	原子炉冷却材浄化系ろ過脱塩塔の保持エレメントからの樹脂のはく離を防止する。
原子炉機器冷却海水ポンプ	原子炉機器冷却水熱交換器へ冷却用海水を送水する。
高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプ	高圧炉心スプレイ機器冷却水熱交換器へ冷却用海水を送水する。
余熱除去ポンプ	原子炉停止時の崩壊熱除去のため，原子炉冷却材を原子炉冷却材再循環系より余熱除去熱交換器に送水し冷却する。他に低圧注水系等のモードがある。
高圧炉心スプレイポンプ	冷却材喪失事故時に，炉心に復水貯蔵槽水又はサプレッションプール水をスプレイする。
低圧炉心スプレイポンプ	冷却材喪失事故時に，炉心にサプレッションプール水をスプレイする。
原子炉冷却材浄化ポンプ	原子炉水を原子炉冷却材浄化系に導き，浄化後，原子炉給水系に戻す。
原子炉冷却材再循環ポンプ	原子炉冷却材を原子炉圧力容器より引き出し，加圧した後，原子炉圧力容器に設置したジェットポンプを通して原子炉内へ供給することで原子炉冷却材を強制循環させる。

1 ターボポンプ

[対象ポンプ]

- ① 制御棒駆動水ポンプ
- ② 余熱除去封水ポンプ
- ③ 高圧炉心スプレイ封水ポンプ
- ④ 低圧炉心スプレイ封水ポンプ
- ⑤ 原子炉機器冷却水ポンプ
- ⑥ 高圧炉心スプレイ機器冷却水ポンプ
- ⑦ 原子炉冷却材浄化ホールディングポンプ
- ⑧ 原子炉機器冷却海水ポンプ
- ⑨ 高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプ
- ⑩ 余熱除去ポンプ
- ⑪ 高圧炉心スプレイポンプ
- ⑫ 低圧炉心スプレイポンプ
- ⑬ 原子炉冷却材浄化ポンプ

目 次

1.	対象機器及び代表機器の選定	1
1.1	グループ化の考え方及び結果	1
1.2	代表機器の選定	1
2.	代表機器の技術評価	5
2.1	構造, 材料及び使用条件	5
2.1.1	制御棒駆動水ポンプ	5
2.1.2	余熱除去封水ポンプ	9
2.1.3	原子炉機器冷却水ポンプ	12
2.1.4	原子炉冷却材浄化ホールディングポンプ	15
2.1.5	原子炉機器冷却海水ポンプ	18
2.1.6	余熱除去ポンプ	21
2.1.7	原子炉冷却材浄化ポンプ	24
2.2	経年劣化事象の抽出	27
2.2.1	機器の機能達成に必要な項目	27
2.2.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	27
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	28
3.	代表機器以外への展開	42
3.1	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	42
3.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	42

1. 対象機器及び代表機器の選定

ターボポンプの主な仕様を表 1-1 に示す。

これらのポンプをグループ化し、それぞれのグループより代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

型式, 内部流体, 材料を分類基準とし, ターボポンプを表 1-1 に示すとおりグループ化する。

1.2 代表機器の選定

表 1-1 に分類したグループ毎に, 原則として重要度, 使用状態, 最高使用温度, 最高使用圧力, 仕様 (容量・揚程) の観点から代表機器を選定するものとする。

(1) 横軸遠心ポンプ (内部流体: 純水, 材料: ステンレス鋼)

このグループには制御棒駆動水ポンプのみが属するため, 制御棒駆動水ポンプを代表機器とする。

(2) 横軸遠心ポンプ (内部流体: 純水, 材料: 炭素鋼)

このグループには余熱除去封水ポンプ, 高圧炉心スプレー封水ポンプ, 低圧炉心スプレー封水ポンプが属するが, 重要度, 使用状態, 最高使用温度, 最高使用圧力, 仕様が同等であるため, 設置環境を踏まえて余熱除去封水ポンプを代表機器とする。

(3) 横軸遠心ポンプ (内部流体: 冷却水 (防錆剤入り), 材料: 炭素鋼)

このグループには原子炉機器冷却水ポンプ, 高圧炉心スプレー機器冷却水ポンプが属するが, 仕様 (容量・揚程) の観点から原子炉機器冷却水ポンプを代表機器とする。

(4) 横軸キャンドモータ型ポンプ (内部流体: 純水, 材料: ステンレス鋼)

このグループには原子炉冷却材浄化ホールディングポンプのみが属するため, 原子炉冷却材浄化ホールディングポンプを代表機器とする。

(5) 立軸斜流ポンプ (内部流体: 海水, 材料: ステンレス鋼)

このグループには原子炉機器冷却海水ポンプ, 高圧炉心スプレー機器冷却海水ポンプが属するが, 仕様 (容量・揚程) の観点から原子炉機器冷却海水ポンプを代表機器とする。

(6) 立軸斜流ポンプ (内部流体: 純水, 材料: 炭素鋼)

このグループには余熱除去ポンプ, 高圧炉心スプレーポンプ, 低圧炉心スプレーポンプが属するが, 使用状態の観点から余熱除去ポンプを代表機器とする。

(7) 立軸キャンドモータ型ポンプ（内部流体：純水，材料：ステンレス鋼）

このグループには原子炉冷却材浄化ポンプのみが属するため，原子炉冷却材浄化ポンプを代表機器とする。

表 1-1(1/2) 浜岡 4 号機 ターボポンプのグループ化及び代表機器の選定

分類基準			機器名称 (台数)	選定基準					選定	選定理由
型式	内部 流体	材料*1		仕様 (容量×揚程)	重要度*2	使用条件				
						使用 状態	最高使用 温度 (°C)	最高使用 圧力		
横軸遠心	純水*3	ステンレス鋼	制御棒駆動水ポンプ(2)	25.9 m ³ /h×1,270 m	高*4	連続	66	13.83 MPa	◎	設置環境
		炭素鋼	余熱除去封水ポンプ(1)	5 m ³ /h×50 m	高*4	待機	100	1.57 MPa	◎	
			高圧炉心スプレイ封水ポンプ(1)	5 m ³ /h×50 m	高*4	待機	100	1.57 MPa		
			低圧炉心スプレイ封水ポンプ(1)	5 m ³ /h×50 m	高*4	待機	100	1.57 MPa		
	冷却水*5	炭素鋼	原子炉機器冷却水ポンプ(6)	1,250 m ³ /h×55 m	MS-1	連続	70	1.37 MPa	◎	仕様 (容量・揚程)
			高圧炉心スプレイ機器冷却水ポンプ(3)	280 m ³ /h×45 m	MS-1	連続	70	1.37 MPa		

*1：ケーシングの材料を示す

*2：最上位の重要度を示す

*3：復水，サブプレッションプール水を示す

*4：最高使用温度が 95 °C を超え，又は最高使用圧力が 1,900 kPa 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

*5：冷却水（防錆剤入り）を示す

表 1-1(2/2) 浜岡 4 号機 ターボポンプのグループ化及び代表機器の選定

分類基準			機器名称 (台数)	選定基準					選定	選定理由
型式	内部 流体	材料*1		仕様 (容量×揚程)	重要度*2	使用条件				
						使用 状態	最高使用 温度 (°C)	最高使用 圧力		
横軸キャン ドモータ	純水*3	ステンレス鋼	原子炉冷却材浄化ホールディング ポンプ(2)	13 m ³ /h×20 m	PS-2	連続 (短期)	66	10.20 MPa	◎	
立軸斜流	海水	ステンレス鋼	原子炉機器冷却海水ポンプ(4)	2,300 m ³ /h×30 m	MS-1	連続	50	0.59 MPa	◎	仕様 (容量・揚程)
			高圧炉心スプレイ機器冷却海水 ポンプ(2)	650 m ³ /h×30 m	MS-1	連続	50	0.59 MPa		
	純水*3	炭素鋼	余熱除去ポンプ(3)	1,691 m ³ /h×92 m	MS-1	連続 (短期)*4	186	3.73 MPa	◎	使用状態
			高圧炉心スプレイポンプ(1)	368 m ³ /h×866 m 1,460 m ³ /h×273 m 1,576 m ³ /h×197 m	MS-1	待機	100	10.79 MPa		
低圧炉心スプレイポンプ(1)	1,441 m ³ /h×218 m 1,637 m ³ /h×166 m	MS-1	待機	100	4.41 MPa					
立軸キャン ドモータ	純水*3	ステンレス鋼	原子炉冷却材浄化ポンプ(2)	123 m ³ /h×125 m	PS-2	連続	66	10.20 MPa	◎	

*1：ケーシングの材料を示す

*2：最上位の重要度を示す

*3：一次冷却材，復水，サプレッションプール水を示す

*4：除熱時（安定停止状態の維持含む。）は連続（余熱除去ポンプは除熱機能を有する 2 台が該当）

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下のポンプについて技術評価を実施する。

- ① 制御棒駆動水ポンプ
- ② 余熱除去封水ポンプ
- ③ 原子炉機器冷却水ポンプ
- ④ 原子炉冷却材浄化ホールディングポンプ
- ⑤ 原子炉機器冷却海水ポンプ
- ⑥ 余熱除去ポンプ
- ⑦ 原子炉冷却材浄化ポンプ

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 制御棒駆動水ポンプ

(1) 構造

制御棒駆動水ポンプは、容量 25.9 m³/h、揚程 1,270 m の横軸多段遠心ポンプであり、2台設置されている。

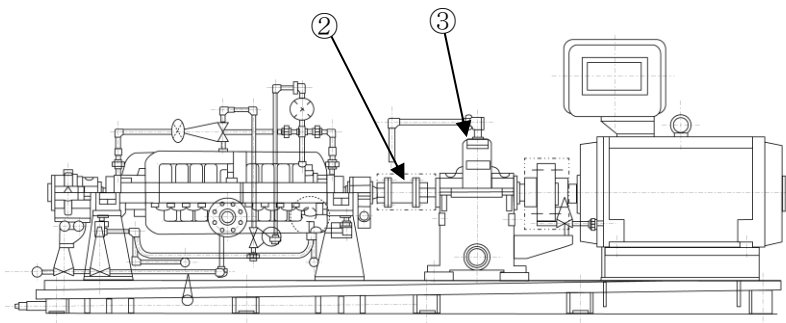
純水に接液するケーシング、羽根車にはステンレス鋳鋼、主軸にはステンレス鋼を使用しており、軸封部には、内部流体の漏れを防止するため、メカニカルシールを使用している。

また、羽根車及び主軸は、取付ボルトを緩め、ケーシング等を取外すことにより、外に取出し点検手入れが可能である。

制御棒駆動水ポンプの構造図を図 2.1-1 に示す。

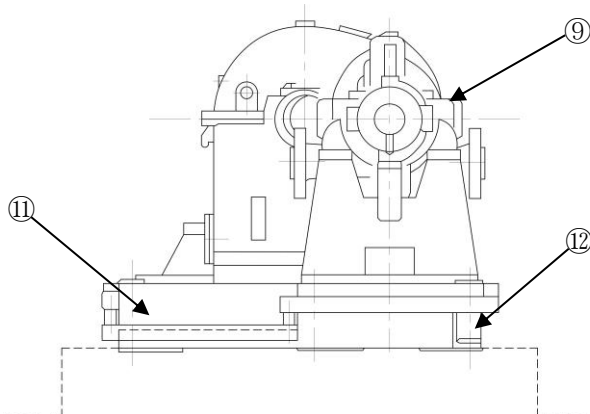
(2) 材料及び使用条件

制御棒駆動水ポンプ主要部位の使用材料を表 2.1-1 に、使用条件を表 2.1-2 に示す。



全体図

No.	部位
①	主軸
②	軸継手
③	増速機
④	羽根車
⑤	ライナーリング
⑥	軸受 (すべり)
⑦	軸受箱
⑧	ケーシング
⑨	取付ボルト
⑩	メカニカルシール
⑪	ベース
⑫	基礎ボルト



A-A 矢視

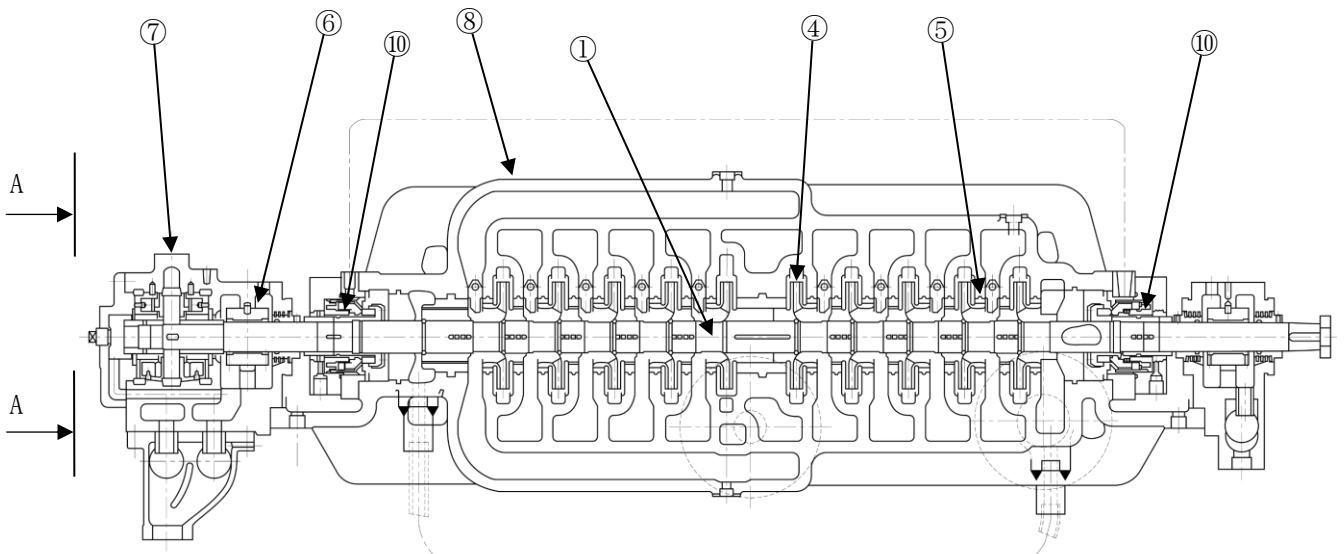


図 2.1-1(1/2) 浜岡 4 号機 制御棒駆動水ポンプ構造図

No.	部位
①	油ポンプ
②	油ポンプモータ
③	油タンク
④	油冷却器
⑤	配管・弁

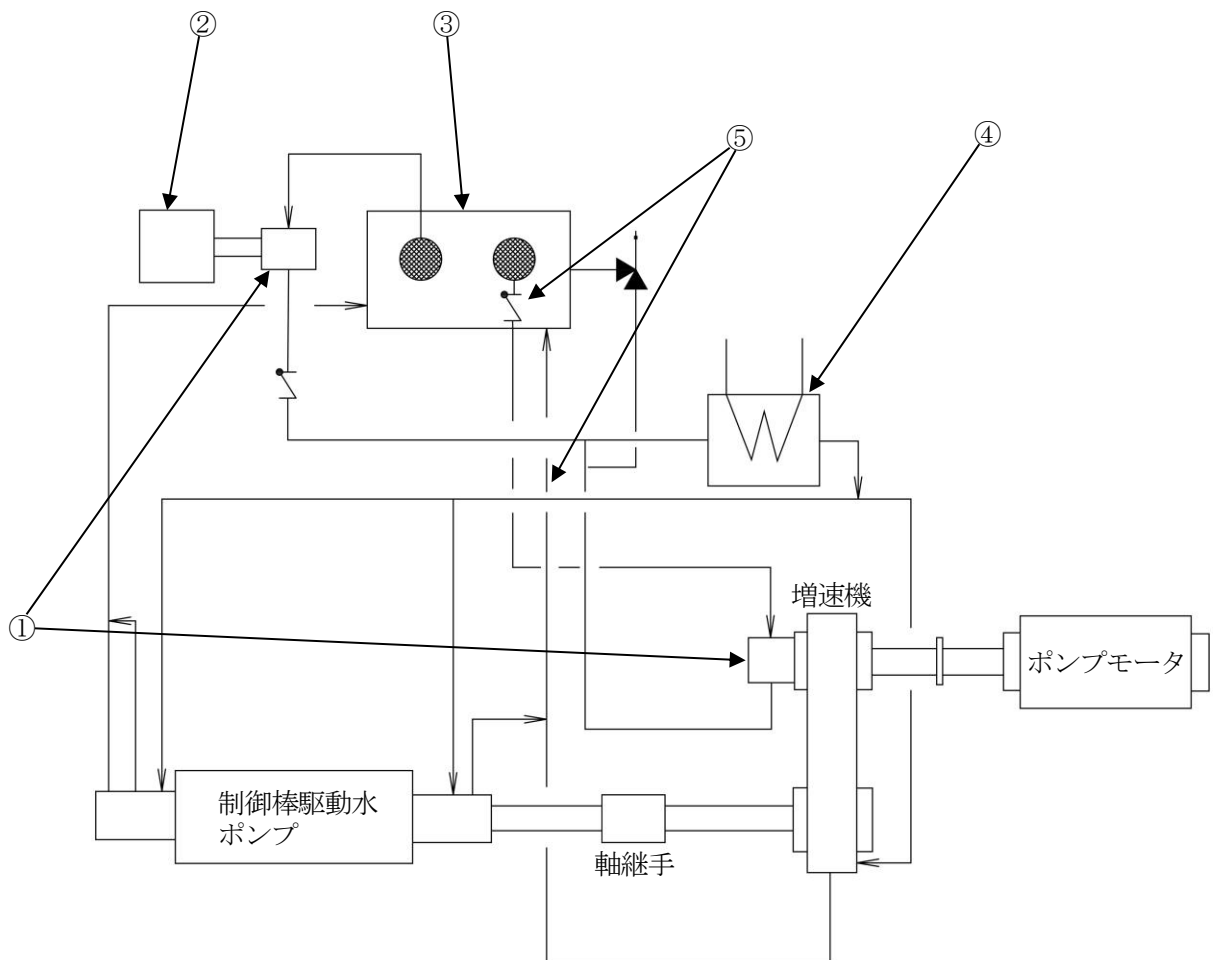


図 2.1-1(2/2) 浜岡 4 号機 制御棒駆動水ポンプ構造図 (潤滑油ユニット)

表 2.1-1 浜岡 4 号機 制御棒駆動水ポンプ主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料	
ポンプの容量と揚程の確保	エネルギー伝達	主軸	ステンレス鋼	
		軸継手	炭素鋼	
		増速機	鋳鉄, 低合金鋼, 炭素鋼, ホワイトメタル	
	エネルギー変換	羽根車	ステンレス鋳鋼	
		ライナーリング	ステンレス鋳鋼	
	軸支持	軸受 (すべり)		炭素鋼, ホワイトメタル
		軸受箱		鋳鉄
		潤滑油ユニット	油ポンプ	鋳鉄, 炭素鋼, 銅合金
			油ポンプモータ (低圧, 全閉, 屋内)	銅, 絶縁物他
			油タンク	炭素鋼
			油冷却器	炭素鋼, 銅合金
配管・弁		炭素鋼		
バウンダリの維持	耐圧	ケーシング	ステンレス鋳鋼	
		取付ボルト	低合金鋼	
	軸シール	メカニカルシール	(消耗品)	
機器の支持	支持	ベース	炭素鋼	
		基礎ボルト	炭素鋼	

表 2.1-2 浜岡 4 号機 制御棒駆動水ポンプの使用条件

最高使用圧力	13.83 MPa
最高使用温度	66 °C
容量	25.9 m ³ /h
内部流体	純水

2.1.2 余熱除去封水ポンプ

(1) 構造

余熱除去封水ポンプは、容量 5 m³/h、揚程 50 m の横軸単段遠心ポンプであり、1 台設置されている。

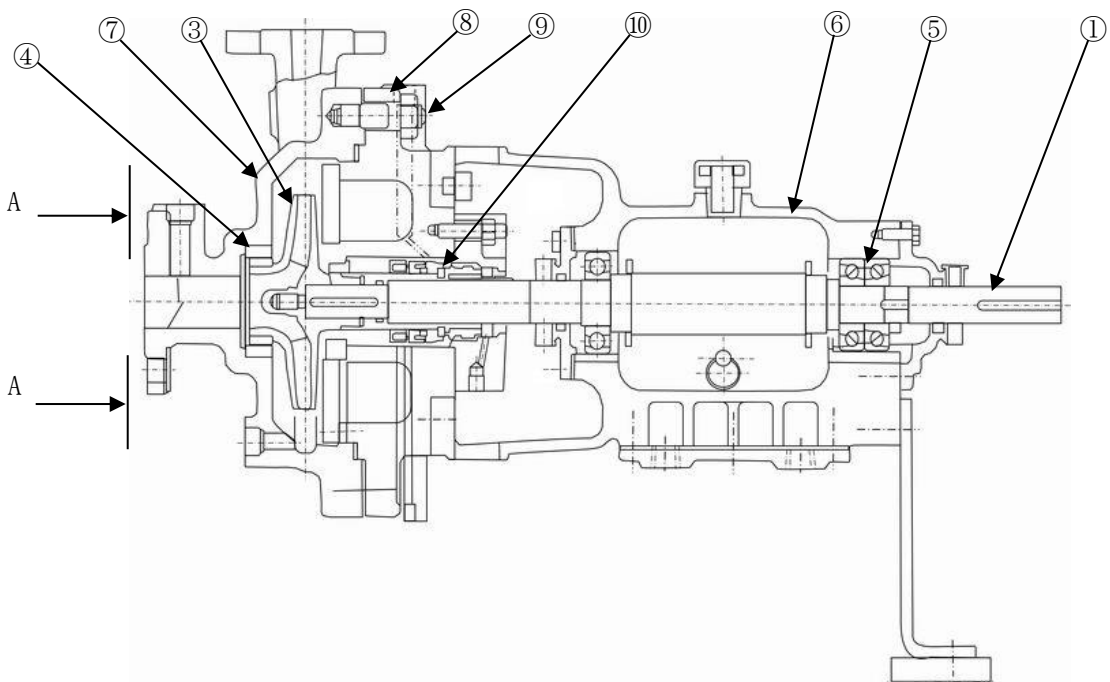
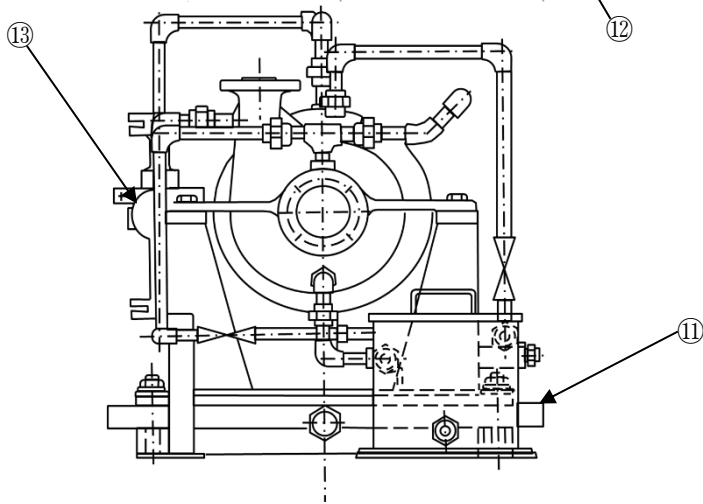
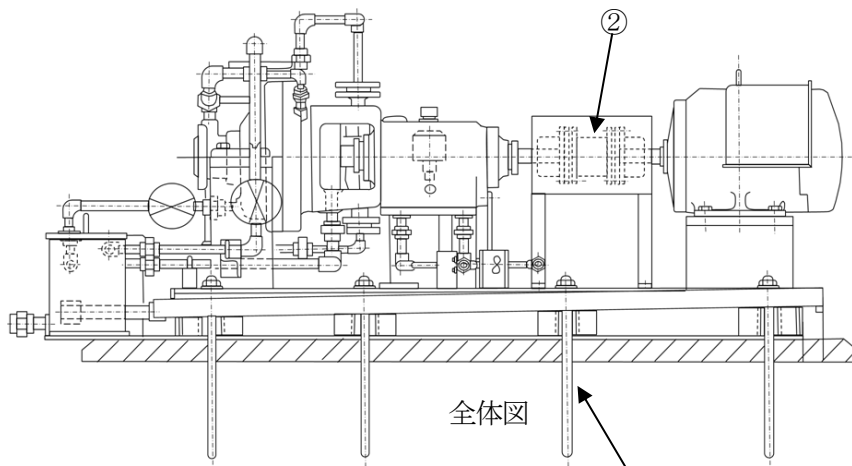
純水に接液するケーシングには炭素鋼鋳鋼、主軸、羽根車にはそれぞれステンレス鋼、ステンレス鋳鋼を使用しており、軸封部には、内部流体の漏れを防止するため、メカニカルシールを使用している。

また、羽根車及び主軸は、取付ボルトを緩め、ケーシングカバー等を取外すことにより、外に取出し点検手入れが可能である。

余熱除去封水ポンプの構造図を図 2.1-2 に示す。

(2) 材料及び使用条件

余熱除去封水ポンプ主要部位の使用材料を表 2.1-3 に、使用条件を表 2.1-4 に示す。



No.	部位
①	主軸
②	軸継手
③	羽根車
④	ライナーリング
⑤	軸受 (転がり)
⑥	軸受箱
⑦	ケーシング
⑧	ケーシングカバー
⑨	取付ボルト
⑩	メカニカルシール
⑪	ベース
⑫	基礎ボルト
⑬	サイクロンセパレータ

図 2.1-2 浜岡 4 号機 余熱除去封水ポンプ構造図

表 2.1-3 浜岡 4 号機 余熱除去封水ポンプ主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
ポンプの容量と揚程の確保	エネルギー伝達	主軸	ステンレス鋼
		軸継手	炭素鋼
	エネルギー変換	羽根車	ステンレス鋼
		ライナーリング	ステンレス鋼
	軸支持	軸受（転がり）	(消耗品)
		軸受箱	鋳鉄
バウンダリの維持	耐圧	ケーシング	炭素鋼鋳鋼
		ケーシングカバー	炭素鋼鋳鋼
		取付ボルト	ステンレス鋼
	軸シール	メカニカルシール	(消耗品)
機器の支持	支持	ベース	炭素鋼
		基礎ボルト	炭素鋼
その他	その他	サイクロンセパレータ	ステンレス鋼

表 2.1-4 浜岡 4 号機 余熱除去封水ポンプの使用条件

最高使用圧力	1.57 MPa
最高使用温度	100 °C
容量	5 m ³ /h
内部流体	純水

2.1.3 原子炉機器冷却水ポンプ

(1) 構造

原子炉機器冷却水ポンプは、容量 1,250 m³/h、揚程 55 m の横軸単段遠心ポンプであり、6 台設置されている。

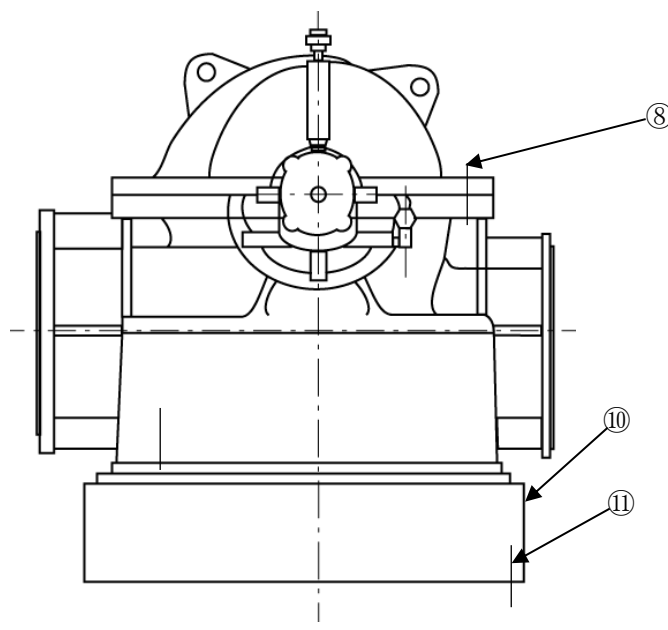
冷却水(防錆剤入り)に接液するケーシング、主軸、羽根車にはそれぞれには炭素鋼、炭素鋼、ステンレス鋼を使用しており、軸封部には、内部流体の漏れを防止するため、メカニカルシールを使用している。

また、羽根車及び主軸は、取付ボルトを緩め、ケーシング等を取外すことにより、外に取出し点検手入れが可能である。

原子炉機器冷却水ポンプの構造図を図 2.1-3 に示す。

(2) 材料及び使用条件

原子炉機器冷却水ポンプ主要部位の使用材料を表 2.1-5 に、使用条件を表 2.1-6 に示す。



No.	部位
①	主軸
②	軸継手
③	羽根車
④	ライナーリング
⑤	軸受 (転がり)
⑥	軸受箱
⑦	ケーシング
⑧	取付ボルト
⑨	メカニカルシール
⑩	ベース
⑪	基礎ボルト
⑫	サイクロンセパレータ

A-A 矢視

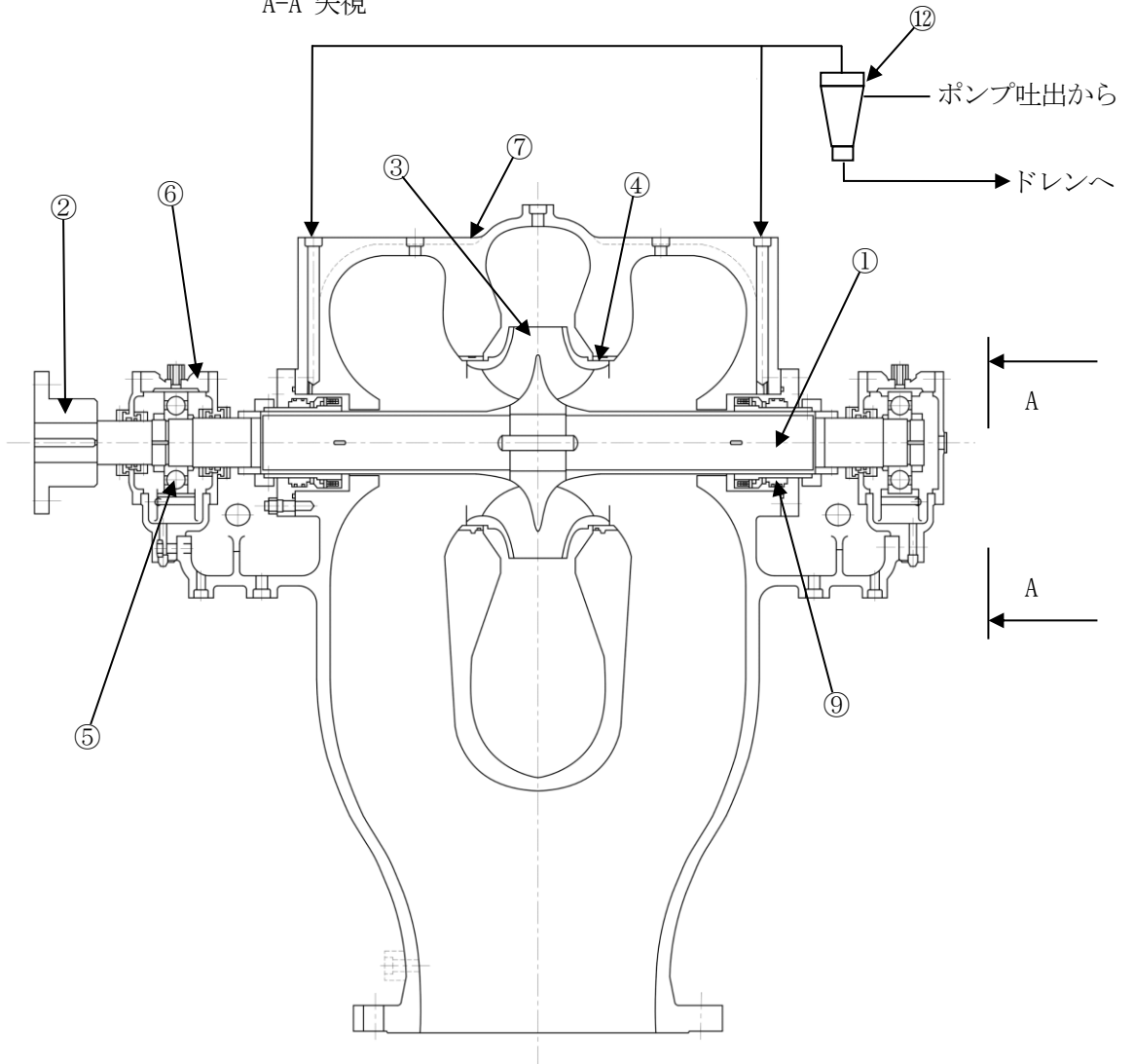


図 2.1-3 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却水ポンプ構造図

表 2.1-5 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却水ポンプ主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
ポンプの容量と揚程の確保	エネルギー伝達	主軸	炭素鋼
		軸継手	炭素鋼
	エネルギー変換	羽根車	ステンレス鋳鋼
		ライナーリング	ステンレス鋼
	軸支持	軸受（転がり）	(消耗品)
		軸受箱	鋳鉄
ハウンドリの維持	耐圧	ケーシング	炭素鋼鋳鋼
		取付ボルト	低合金鋼
	軸シール	メカニカルシール	(消耗品)
機器の支持	支持	ベース	炭素鋼
		基礎ボルト	炭素鋼
その他	その他	サイクロンセパレータ	ステンレス鋼

表 2.1-6 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却水ポンプの使用条件

最高使用圧力	1.37 MPa
最高使用温度	70 °C
容量	1,250 m ³ /h
内部流体	冷却水（防錆剤入り）

2.1.4 原子炉冷却材浄化ホールディングポンプ

(1) 構造

原子炉冷却材浄化ホールディングポンプは、容量 13 m³/h、揚程 20 m の横軸キャンドモータ型ポンプであり、2 台設置されている。

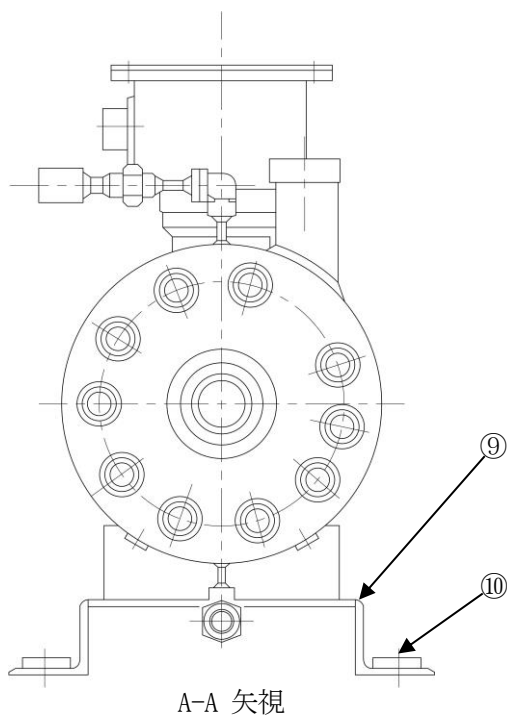
純水に接液するケーシング、羽根車にはステンレス鋼、ステンレス鋳鋼、主軸にはステンレス鋼を使用しており、内部流体の漏れを防止するため、軸封部のないキャンドモータ型ポンプを使用している。

また、羽根車及び主軸は、取付ボルトを緩め、ケーシング等を取外すことにより、外に出し点検手入れが可能である。

原子炉冷却材浄化ホールディングポンプの構造図を図 2.1-4 に示す。

(2) 材料及び使用条件

原子炉冷却材浄化ホールディングポンプ主要部位の使用材料を表 2.1-7 に、使用条件を表 2.1-8 に示す。



No.	部位
①	主軸
②	ロータ
③	羽根車
④	軸受 (すべり)
⑤	ケーシング
⑥	リアディスク
⑦	エンドベル
⑧	取付ボルト
⑨	ベース
⑩	基礎ボルト

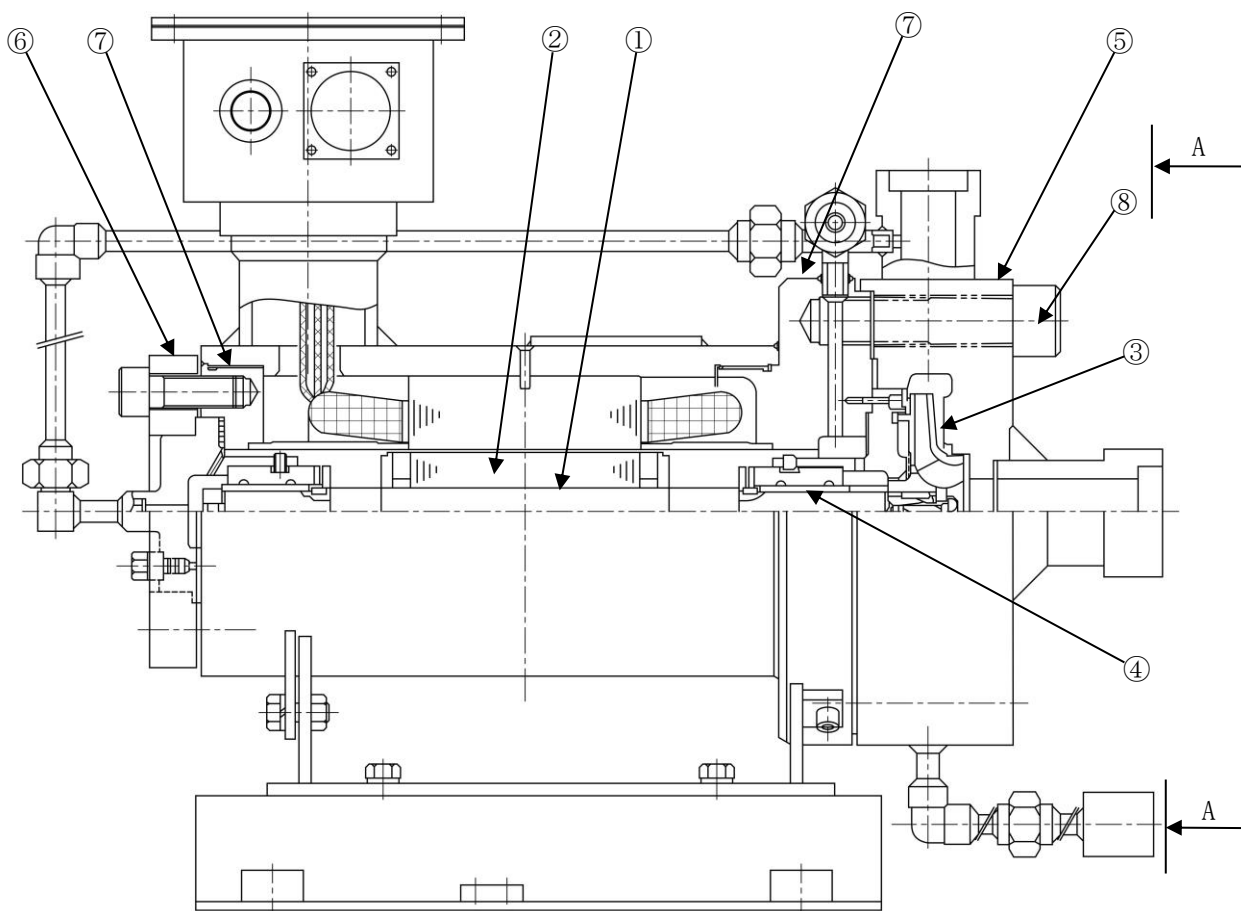


図 2.1-4 浜岡 4 号機 原子炉冷却材浄化ホールディングポンプ構造図

表 2.1-7 浜岡 4 号機 原子炉冷却材浄化ホールディングポンプ主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
ポンプの容量と揚程の確保	エネルギー伝達	主軸	ステンレス鋼
		ロータ	高ニッケル合金
	エネルギー変換	羽根車	ステンレス鋳鋼
	軸支持	軸受 (すべり)	(定期取替品)
バウンダリの維持	耐圧	ケーシング	ステンレス鋼
		リアディスク	ステンレス鋼
		エンドベル	ステンレス鋼
		取付ボルト	低合金鋼
機器の支持	支持	ベース	炭素鋼
		基礎ボルト	炭素鋼

表 2.1-8 浜岡 4 号機 原子炉冷却材浄化ホールディングポンプの使用条件

最高使用圧力	10.20 MPa
最高使用温度	66 °C
容量	13 m ³ /h
内部流体	純水

2.1.5 原子炉機器冷却海水ポンプ

(1) 構造

原子炉機器冷却海水ポンプは、容量 2,300 m³/h、揚程 30 m の立軸単段斜流ポンプであり、4 台設置されている。

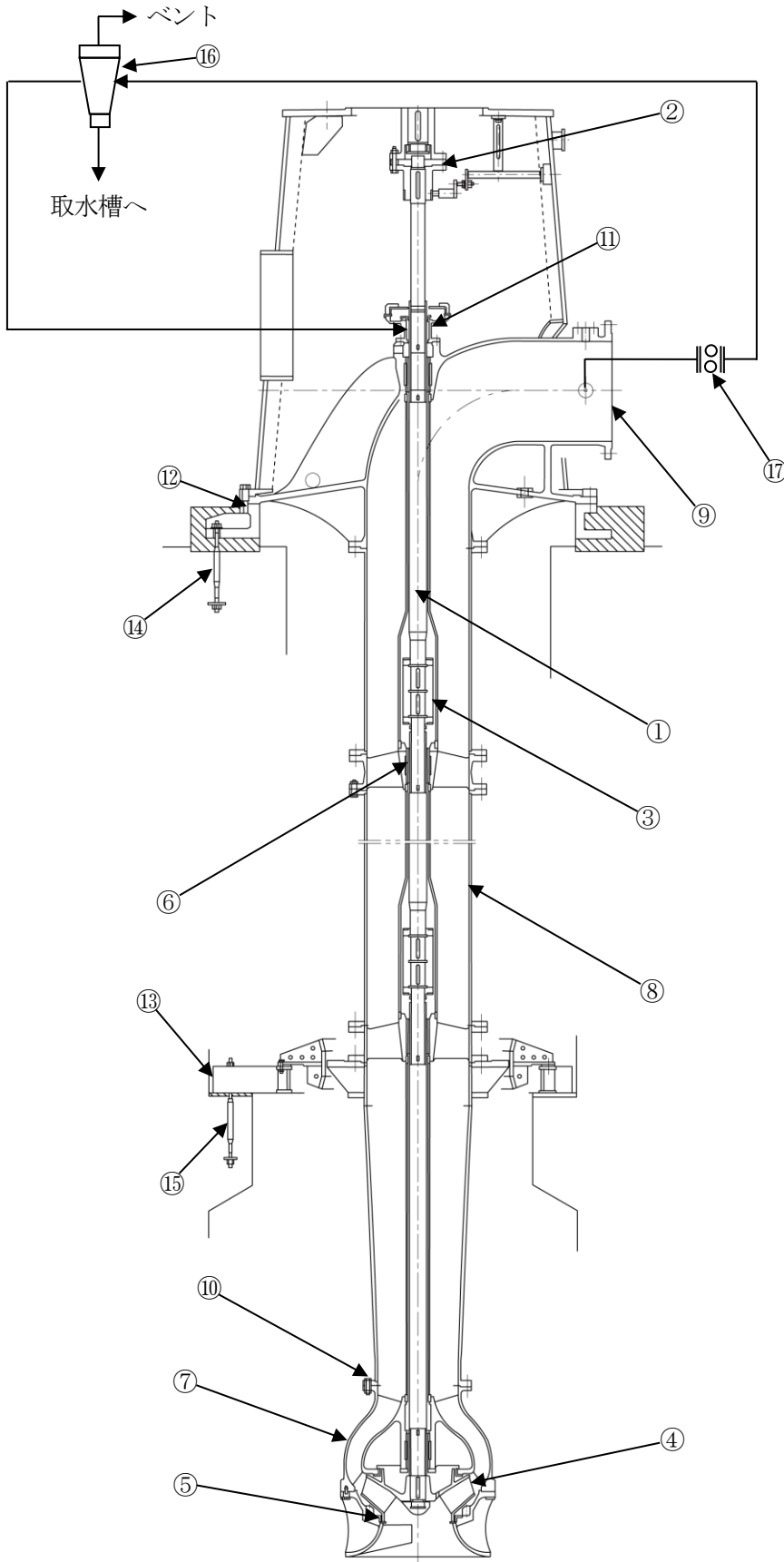
海水に接液するケーシング、羽根車にはステンレス鋳鋼、主軸にはステンレス鋼を使用しており、軸封部には、内部流体の漏れを防止するため、グランドパッキンを使用している。

また、羽根車及び主軸は、ポンプを吊上げ、取付ボルトを緩め、ケーシング等を取外すことにより、外に取出し点検手入れが可能である。

原子炉機器冷却海水ポンプの構造図を図 2.1-5 に示す。

(2) 材料及び使用条件

原子炉機器冷却海水ポンプ主要部位の使用材料を表 2.1-9 に、使用条件を表 2.1-10 に示す。



No.	部位
①	主軸
②	軸継手
③	中間軸継手
④	羽根車
⑤	ライナーリング
⑥	軸受 (すべり)
⑦	ケーシング
⑧	揚水管
⑨	吐出エルボ
⑩	取付ボルト
⑪	グランドパッキン
⑫	ベース
⑬	中間支持台
⑭	基礎ボルト
⑮	中間支持台基礎ボルト
⑯	サイクロンセパレータ
⑰	自圧水ストレーナ

図 2.1-5 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却海水ポンプ構造図

表 2.1-9 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却海水ポンプ主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
ポンプの容量と揚程の確保	エネルギー伝達	主軸	ステンレス鋼
		軸継手	炭素鋼
		中間軸継手	ステンレス鋼
	エネルギー変換	羽根車	ステンレス鋳鋼
		ライナーリング	ステンレス鋼
軸支持	軸受 (すべり)	(定期取替品)	
バウンダリの維持	耐圧	ケーシング	ステンレス鋳鋼
		揚水管	ステンレス鋼
		吐出エルボ	ステンレス鋳鋼
		取付ボルト	ステンレス鋼
	軸シール	グランドパッキン	(消耗品)
機器の支持	支持	ベース	炭素鋼鋳鋼
		中間支持台	ステンレス鋼
		基礎ボルト	低合金鋼
		中間支持台基礎ボルト	ステンレス鋼
その他	その他	サイクロンセパレータ	炭素鋼 (内面ゴムライニング)
		自圧水ストレーナ	ステンレス鋳鋼, ステンレス鋼

表 2.1-10 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却海水ポンプの使用条件

最高使用圧力	0.59 MPa
最高使用温度	50 °C
容量	2,300 m ³ /h
内部流体	海水

2.1.6 余熱除去ポンプ

(1) 構造

余熱除去ポンプは、容量 1,691 m³/h、揚程 92 m の立軸多段斜流ポンプであり、3 台設置されている。

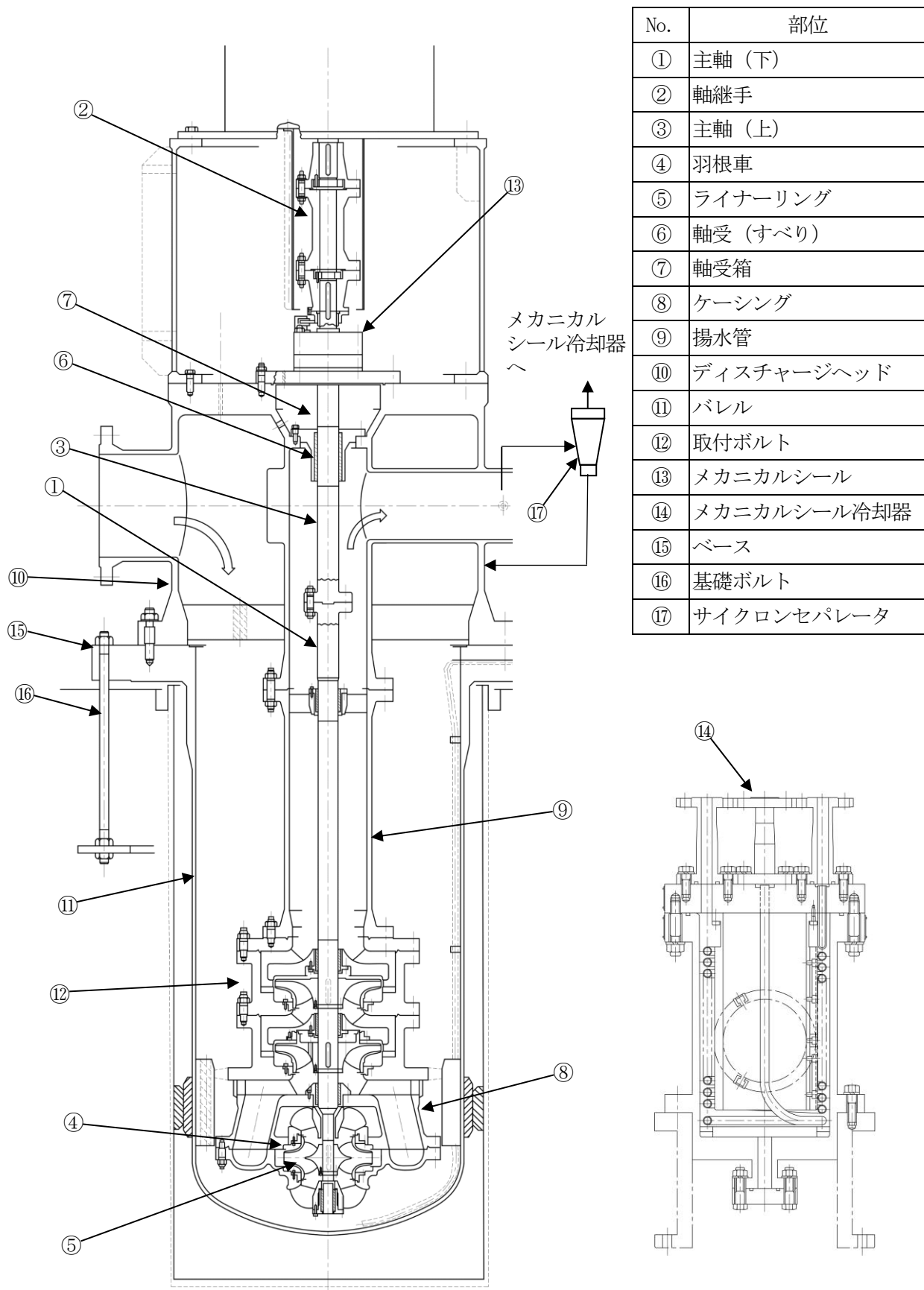
純水に接液するケーシング、主軸、羽根車にはそれぞれ炭素鋼、低合金鋼、ステンレス鋼、ステンレス鋳鋼を使用しており、軸封部には、内部流体の漏れを防止するため、メカニカルシールを使用している。メカニカルシールはメカニカルシール冷却器で冷やされたシール水で満たされており、このメカニカルシール冷却器の胴体は炭素鋼、伝熱管はステンレス鋼を使用している。

また、羽根車及び主軸は、ポンプを吊上げ、取付ボルトを緩め、ケーシング等を取外すことにより、外に取出し点検手入れが可能である。

余熱除去ポンプの構造図を図 2.1-6 に示す。

(2) 材料及び使用条件

余熱除去ポンプ主要部位の使用材料を表 2.1-11 に、使用条件を表 2.1-12 に示す。



No.	部位
①	主軸 (下)
②	軸継手
③	主軸 (上)
④	羽根車
⑤	ライナーリング
⑥	軸受 (すべり)
⑦	軸受箱
⑧	ケーシング
⑨	揚水管
⑩	ディスチャージヘッド
⑪	バレル
⑫	取付ボルト
⑬	メカニカルシール
⑭	メカニカルシール冷却器
⑮	ベース
⑯	基礎ボルト
⑰	サイクロンセパレータ

図 2.1-6 浜岡 4 号機 余熱除去ポンプ構造図

表 2.1-11 浜岡 4 号機 余熱除去ポンプ主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
ポンプの容量と揚程の確保	エネルギー伝達	主軸（下）	ステンレス鋼
		軸継手	炭素鋼
		主軸（上）	ステンレス鋼
	エネルギー変換	羽根車	ステンレス鋳鋼
		ライナーリング	ステンレス鋼
	軸支持	軸受（すべり）	（定期取替品）
		軸受箱	ステンレス鋼
バウンダリの維持	耐圧	ケーシング	炭素鋼, 低合金鋼
		揚水管	炭素鋼
		ディスチャージヘッド	炭素鋼
		バレル	炭素鋼
		取付ボルト	低合金鋼
	軸シール	メカニカルシール	（消耗品）
		メカニカルシール冷却器	炭素鋼, ステンレス鋼
機器の支持	支持	ベース	炭素鋼
		基礎ボルト	低合金鋼
その他	その他	サイクロンセパレータ	ステンレス鋼

表 2.1-12 浜岡 4 号機 余熱除去ポンプの使用条件

最高使用圧力	3.73 MPa
最高使用温度	186 °C
容量	1,691 m ³ /h
内部流体	純水

2.1.7 原子炉冷却材浄化ポンプ

(1) 構造

原子炉冷却材浄化ポンプは、容量 123 m³/h、揚程 125 m の立軸キャンドモータ型ポンプであり、2 台設置されている。

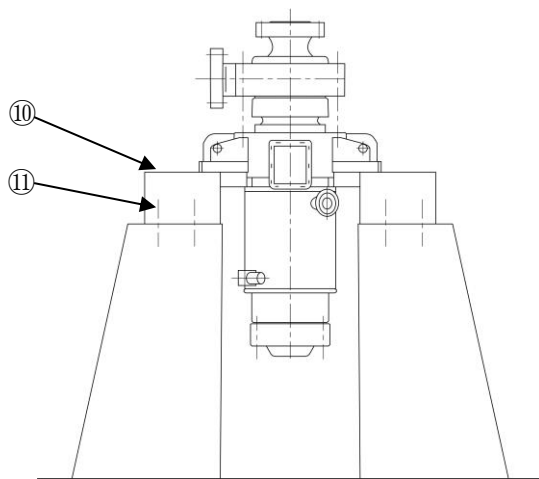
純水に接液するケーシング、羽根車にはステンレス鋳鋼、主軸にはステンレス鋼を使用しており、内部流体の漏れを防止するため、軸封部のないキャンドモータ型ポンプを使用している。

また、羽根車及び主軸は、取付ボルトを緩め、ケーシング等を取外すことにより、外に出し点検手入れが可能である。

原子炉冷却材浄化ポンプの構造図を図 2.1-7 に示す。

(2) 材料及び使用条件

原子炉冷却材浄化ポンプ主要部位の使用材料を表 2.1-13 に、使用条件を表 2.1-14 に示す。



外形図

No.	部位
①	主軸
②	ロータ
③	羽根車
④	ライナーディスク
⑤	軸受 (すべり)
⑥	ケーシング
⑦	リアカバー
⑧	アダプタ
⑨	取付ボルト
⑩	スタンド
⑪	基礎ボルト

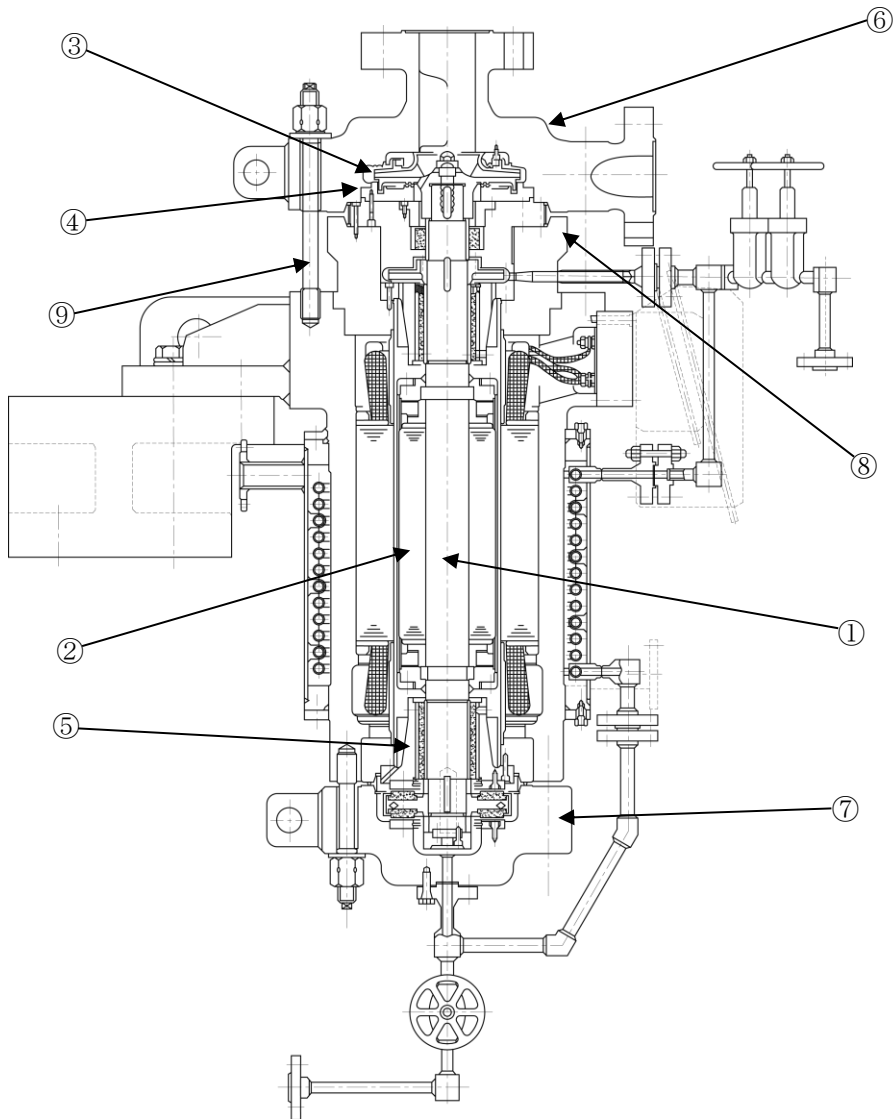


図 2.1-7 浜岡 4 号機 原子炉冷却材浄化ポンプ構造図

表 2.1-13 浜岡 4 号機 原子炉冷却材浄化ポンプ主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
ポンプの容量と揚程の確保	エネルギー伝達	主軸	ステンレス鋼
		ロータ	高ニッケル合金
	エネルギー変換	羽根車	ステンレス鋳鋼
		ライナーディスク	ステンレス鋼
	軸支持	軸受 (すべり)	(定期取替品)
バウンダリの維持	耐圧	ケーシング	ステンレス鋳鋼
		リアカバー	ステンレス鋳鋼
		アダプタ	ステンレス鋼
		取付ボルト	ステンレス鋼
機器の支持	支持	スタンド	鋳鉄
		基礎ボルト	炭素鋼

表 2.1-14 浜岡 4 号機 原子炉冷却材浄化ポンプの使用条件

最高使用圧力	10.20 MPa
最高使用温度	66 °C
容量	123 m ³ /h
内部流体	純水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

ターボポンプの機能は、羽根車を回転させることにより、流体にエネルギーを与えるものであり、この機能の達成に必要な項目は以下のとおり。

- ①ポンプの容量と揚程の確保
- ②ハウンドリの維持
- 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

(1) 想定される経年劣化事象

ターボポンプについて、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、個々の部位の材料、構造、使用条件及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。

なお、消耗品及び定期取替品は次項のとおり評価対象外とする。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

グラントパッキン、メカニカルシール及び軸受（余熱除去封水ポンプ、原子炉機器冷却水ポンプ、原子炉冷却材浄化ホールディングポンプ、原子炉機器冷却海水ポンプ、余熱除去ポンプ、原子炉冷却材浄化ポンプ）は消耗品又は定期取替品であり、設計時に長期使用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。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

- ①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）
- 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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 主軸の摩耗 [余熱除去封水ポンプ，原子炉機器冷却水ポンプ]

転がり軸受を使用している主軸は、軸受との接触面の摩耗が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

b. 主軸の摩耗 [制御棒駆動水ポンプ，原子炉冷却材浄化ホールディングポンプ，余熱除去ポンプ，原子炉冷却材浄化ポンプ]

すべり軸受を使用している主軸は、主軸はステンレス鋼、軸受はホワイトメタル又はカーボンであり、軸受との接触面の摩耗が想定される。しかしながら、制御棒駆動水ポンプの軸受には潤滑剤が供給され、主軸と軸受間に油膜が形成されており、摩耗が発生する可能性は小さい。また、原子炉冷却材浄化ホールディングポンプ、余熱除去ポンプ及び原子炉冷却材浄化ポンプの軸受にはカーボンが使用されており、摺動する主軸に比べ軸受が摩耗しやすいため、摩耗が発生する可能性は小さい。さらに、分解点検時における目視点検及び寸法測定により設備の健全性を定期的に確認している。

c. 主軸の摩耗 [原子炉機器冷却海水ポンプ]

主軸はステンレス鋼、軸受は合成ゴム又はテフロンゴムであり、軸受との接触面の摩耗が想定される。しかしながら、主軸はスリーブにて保護されていることから、摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検及び寸法測定により設備の健全性を定期的に確認し、必要に応じてスリーブの取替えを実施している。

d. 軸継手の摩耗 [制御棒駆動水ポンプ]

軸継手は歯車型軸継手であり、歯車によりトルクを伝達するため、長期使用により摩耗が想定される。しかしながら、歯車には潤滑剤が塗布されており、摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

e. 羽根車，ライナーリング及びライナーディスクの摩耗 [共通]

羽根車，ライナーリング及びライナーディスクは、摺動することによる摩耗が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検，寸法測定により設備の健全性を定期的に確認している。

f. 増速機及び潤滑油ユニット油ポンプの摩耗 [制御棒駆動水ポンプ]

増速機及び潤滑油ユニット油ポンプの歯車は、歯面の接触による摩耗が想定される。しかしながら、歯車には潤滑油が供給されており、摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

g. 軸受（すべり）の摩耗及びはく離 [制御棒駆動水ポンプ]

ホワイトメタルを軸受に鑄込み溶着しているため、摩耗及びはく離が想定される。しかしながら、軸受は潤滑剤が供給され主軸と軸受間に油膜が形成されており、摩耗及びはく離が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検及び浸透探傷試験により設備の健全性を定期的に確認している。

h. 主軸及びケーシング接液部の腐食（全面腐食） [原子炉機器冷却水ポンプ]

主軸は炭素鋼、ケーシングは炭素鋼鑄鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、内部流体は防錆剤入り冷却水であり、材料表面が不働態に保たれているため、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

i. 軸継手の腐食（全面腐食） [制御棒駆動水ポンプ、余熱除去封水ポンプ、原子炉機器冷却水ポンプ、原子炉機器冷却海水ポンプ、余熱除去ポンプ]

軸継手は炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

j. 増速機、油ポンプ、油タンク、油冷却器、配管及び弁の腐食（全面腐食） [制御棒駆動水ポンプ]

増速機、油ポンプ、油タンク、油冷却器、配管及び弁は、炭素鋼又は鑄鉄が使用されているため、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潤滑油であり、腐食が発生し難い環境にある。外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

k. 軸受箱の腐食（全面腐食） [制御棒駆動水ポンプ、余熱除去封水ポンプ、原子炉機器冷却水ポンプ]

軸受箱は鑄鉄であり、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潤滑油であり、腐食が発生し難い環境にある。外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- l. ケーシング、ケーシングカバー、揚水管、ディスチャージヘッド及びバレル接液部の腐食（全面腐食） [余熱除去封水ポンプ、余熱除去ポンプ]

余熱除去封水ポンプのケーシング、ケーシングカバーは炭素鋼鋳鋼、余熱除去ポンプのケーシング、揚水管、ディスチャージヘッド、バレルは炭素鋼又は低合金鋼であり、内部流体が純水であるため、腐食が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

- m. ケーシング、ケーシングカバー、ディスチャージヘッド外面の腐食（全面腐食） [余熱除去封水ポンプ、原子炉機器冷却水ポンプ、余熱除去ポンプ]

ケーシング、ケーシングカバー、ディスチャージヘッドは炭素鋼、炭素鋼鋳鋼又は低合金鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

- n. 取付ボルトの腐食（全面腐食） [制御棒駆動水ポンプ、原子炉機器冷却水ポンプ、原子炉冷却材浄化ホールディングポンプ]

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、屋内空調環境下に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

- o. 取付ボルトの腐食（全面腐食） [余熱除去ポンプ]

取付ボルトは低合金鋼であり、接液する流体が純水であるため、腐食が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

- p. メカニカルシール冷却器の腐食（全面腐食） [余熱除去ポンプ]

余熱除去ポンプのメカニカルシール冷却器の胴材料は炭素鋼が使用されていることから、腐食が想定される。しかしながら、内面については、内部流体は防錆剤入り冷却水であり、材料表面が不動態に保たれているため、腐食が発生する可能性は小さい。外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

- q. ベース(スタンド)の腐食（全面腐食） [制御棒駆動水ポンプ、余熱除去封水ポンプ、原子炉機器冷却水ポンプ、原子炉冷却材浄化ホールディングポンプ、余熱除去ポンプ、原子炉冷却材浄化ポンプ]

ベース(スタンド)は炭素鋼又は鋳鉄であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。

い。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

r. ベースの腐食（全面腐食）〔原子炉機器冷却海水ポンプ〕

ベースは炭素鋼鋳鋼であり、屋外に設置されていることから腐食が想定される。しかしながら、防食塗装により腐食を防止しており、巡視点検等で塗膜の状態を確認し、はく離が認められた場合は必要に応じて補修を行っている。

s. サイクロンセパレータの腐食（全面腐食）〔原子炉機器冷却海水ポンプ〕

サイクロンセパレータは炭素鋼であり、内部流体は海水であるため、腐食が想定される。しかしながら、内面についてはゴムライニングが施工されており、分解点検時における目視点検を実施し、必要に応じて補修又は取替えを行っている。外面については防食塗装により腐食を防止しており、巡視点検等で塗膜の状態を確認し、はく離が認められた場合は必要に応じて補修を行っている。

t. 主軸、中間軸継手、羽根車、ライナーリング、ケーシング、揚水管、吐出エルボ、取付ボルト、中間支持台及び中間支持台基礎ボルト接液部の腐食（孔食、隙間腐食）〔原子炉機器冷却海水ポンプ〕

主軸、中間軸継手、羽根車、ライナーリング、ケーシング、揚水管、吐出エルボ、取付ボルト、中間支持台及び中間支持台基礎ボルトはステンレス鋼又はステンレス鋳鋼であり、海水に接液することによる腐食が想定される。しかしながら、ポンプにカーボンブラシを取付けることにより主軸と揚水管部をボンディングし、流電陽極方式の純鉄電極を設けることにより、腐食を抑制している。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

u. 自圧水ストレーナの腐食（孔食、隙間腐食）〔原子炉機器冷却海水ポンプ〕

自圧水ストレーナはステンレス鋼及びステンレス鋳鋼であり、海水に接液することによる腐食が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認し、必要に応じて補修又は取替えを行っている。

v. 羽根車の腐食（エロージョン）〔共通〕

ポンプ内部でキャビテーションが発生すると羽根車表面に腐食が生じ、ポンプ性能に影響を及ぼすことが想定される。しかしながら、ポンプはキャビテーションを起こさない条件（有効吸込ヘッド>必要有効吸込ヘッド）を満たすよう設計段階において考慮されており、この大小関係は経年的に変わるものではないことから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

w. ロータの腐食（エロージョン） [原子炉冷却材浄化ホールディングポンプ，原子炉冷却材浄化ポンプ]

キャンドモータポンプの特徴的な構成部品であるロータは狭隘部に純水が流れるため、腐食が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により、必要に応じてロータの補修又は取替えを行っている。

x. 主軸の高サイクル疲労割れ [共通]

主軸にはポンプ運転時に繰返し応力が発生することから、応力集中部等において、高サイクル疲労割れが想定される。しかしながら、主軸は設計段階において高サイクル疲労割れが発生しないように考慮された設計となっており、高サイクル疲労割れが発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検及び浸透探傷試験により設備の健全性を定期的に確認している。

y. ケーシング，リアディスク，エンドベル，リアカバー及びアダプタの疲労割れ [制御棒駆動水ポンプ，原子炉冷却材浄化ホールディングポンプ，原子炉冷却材浄化ポンプ]

ケーシング，リアディスク，エンドベル，リアカバー及びアダプタは、温度変化により有意な熱過渡を受け、低サイクル疲労割れが発生することが想定される。しかしながら、内部流体の最高使用温度は 66 °C と低く、ケーシング，リアディスク，エンドベル，リアカバー及びアダプタの温度変化は緩やかであり、有意な熱過渡を受けないことから、低サイクル疲労割れが発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検及び浸透探傷試験により設備の健全性を定期的に確認している。

z. 羽根車の高サイクル熱疲労割れ [原子炉冷却材浄化ポンプ]

他プラントにおいて、原子炉冷却材浄化ポンプの羽根車ボス部に高温の炉水と冷温のパージ水の混合に伴う熱疲労が原因と推定される割れ事象が発生した。しかしながら、浜岡 4 号機は当該プラントとは異なり、設計時に熱疲労割れを考慮し、ポンプ入口側に熱交換器を配置しており、炉水が複数の熱交換器により冷却されてポンプへ到達するため、最高使用温度は 66 °C と低く、高サイクル熱疲労割れが発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検及び浸透探傷試験により設備の健全性を定期的に確認している。

aa. 主軸のフレットング疲労割れ [制御棒駆動水ポンプ]

他プラントにおいてフレットング疲労による主軸損傷事象が発生しており、羽根車が主軸に焼き嵌めにより固定されるポンプの主軸は、フレットング疲労割れが想定される。しかしながら、ポンプケーシングはダブルボリュート構造であること、制御棒駆動水ポンプは多段昇圧ポンプであることから、吐出流体による回転方向水平荷重がバランスされる設計であり、変動応力が生じる可能性の小さい構造であるため、フレットング疲労割れが発生する可能性は小さい。また、国内外 BWR プラントではこれまで当該

部のフレッティング疲労割れ事象が報告された事例は無い。さらに、分解点検時における目視点検及び浸透探傷試験により設備の健全性を定期的に確認している。

- bb. ケーシング，リアディスク，エンドベル，リアカバー，アダプタ及び取付ボルト外面の貫粒型応力腐食割れ [制御棒駆動水ポンプ，原子炉冷却材浄化ホールディングポンプ，原子炉冷却材浄化ポンプ]

ケーシング，リアディスク，エンドベル，リアカバー，アダプタ及び取付ボルトはステンレス鋳鋼又はステンレス鋼であり，外面に塩分が付着することに起因する貫粒型応力腐食割れが想定される。しかしながら，付着塩分量を維持管理基準以下に管理するため代表ポイントにおける付着塩分量測定を実施している。清掃基準を超えた場合には清掃を計画するとともに，目視点検を実施し，必要に応じて補修又は取替えを行うことで設備の健全性を定期的に確認している。

- cc. サイクロンセパレータ，メカニカルシール冷却器外面の貫粒型応力腐食割れ [余熱除去封水ポンプ，原子炉機器冷却水ポンプ，余熱除去ポンプ]

サイクロンセパレータ，メカニカルシール冷却器はステンレス鋼であり，外面に塩分が付着することに起因する貫粒型応力腐食割れが想定される。しかしながら，付着塩分量を維持管理基準以下に管理するため代表ポイントにおける付着塩分量測定を実施している。清掃基準を超えた場合には清掃を計画するとともに，目視点検を実施し，必要に応じて補修又は取替えを行うことで設備の健全性を定期的に確認している。

- dd. メカニカルシール冷却器及びサイクロンセパレータの粒界型応力腐食割れ [余熱除去ポンプ]

メカニカルシール冷却器の伝熱管及びサイクロンセパレータはステンレス鋼であり，内部流体が 100℃以上の純水であることから，粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら，メカニカルシール冷却器の伝熱管及びサイクロンセパレータの材料は応力腐食割れの感受性を低減した材料であるため，応力腐食割れが発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- ee. 潤滑油ユニット油ポンプモータ（低圧，屋内，全閉）の主軸の摩耗 [制御棒駆動水ポンプ]

- ff. 潤滑油ユニット油ポンプモータ（低圧，屋内，全閉）のフレーム，エンドブラケット，端子箱，固定子コア，回転子コア及び取付ボルトの腐食（全面腐食） [制御棒駆動水ポンプ]

- gg. 潤滑油ユニット油ポンプモータ（低圧，屋内，全閉）の主軸の高サイクル疲労割れ [制御棒駆動水ポンプ]

- hh. 潤滑油ユニット油ポンプモータ（低圧，屋内，全閉）の固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁特性低下 [制御棒駆動水ポンプ]

ii. 潤滑油ユニット配管の配管及びフランジボルト・ナット，埋込金物，ラグ，サポートの腐食（全面腐食） [制御棒駆動水ポンプ]

jj. 潤滑油ユニット配管の小口径配管の高サイクル疲労割れ [制御棒駆動水ポンプ]

kk. 潤滑油ユニット弁の弁棒の疲労割れ [制御棒駆動水ポンプ]

11. 基礎ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

ee. ～hh. の評価については「ポンプモータの技術評価書」の低圧ポンプモータと同一であり，ii. ～jj. の評価については「配管の技術評価書」と同一であり，kk. の評価については「弁の技術評価書」と同一であり，11. の評価については「機械設備の技術評価書」の基礎ボルトと同一であることから，それぞれの評価書を参照のこと。

(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事象を以下に示す（表 2. 2-1 で▲）。

これらの劣化事象については，当面の安定停止状態においても経年劣化の傾向が変化する要因があるとは考え難いことから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 潤滑油ユニット油ポンプモータ（低圧，屋内，全閉）の回転子棒及び回転子エンドリングの疲労割れ [制御棒駆動水ポンプ]

a. の評価については「ポンプモータの技術評価書」の低圧ポンプモータと同一であることから，当該の評価書を参照のこと。

表 2.2-1(1/7) 浜岡4号機 制御棒駆動水ポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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				
ポンプの容量と揚程の確保	エネルギー伝達	主軸		ステンレス鋼	△		△ ^{*1*2}					*1:高サイクル疲労割れ *2:フレッキング疲労割れ		
		軸継手		炭素鋼	△	△						*3:歯車		
		増速機		鋳鉄, 低合金鋼 炭素鋼他	△ ^{*3}	△						*4:エロージョン *5:はく離		
	エネルギー変換	羽根車		ステンレス鋳鋼	△	△ ^{*4}						*6:低圧, 屋内, 全閉		
		ライナーリング		ステンレス鋳鋼	△							*7:主軸 *8:フレーム, エントブラケット, 端子箱, 固定子コア, 回転子コア, 取付ボルト		
	軸支持	軸受	軸受(すべり)		炭素鋼, ホワイトメタル	△						△ ^{*5}		
			軸受箱		鋳鉄		△							
		潤滑油ユニット	油ポンプ		鋳鉄, 炭素鋼, 銅合金	△ ^{*3}	△							*9:回転子棒及び回転子エンドリング
			油ポンプモータ ^{*6}		銅, 絶縁物他	△ ^{*7}	△ ^{*8}	△ ^{*1*7} ▲ ^{*9}					△ ^{*10}	*10:固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁特性低下
			油タンク		炭素鋼		△							*11:フランジボルト・ナット, 埋込金物, ラグ, サポート含む
			油冷却器		炭素鋼, 銅合金		△							*12:小口径配管 *13:弁棒
	配管・弁		炭素鋼		△ ^{*11}		△ ^{*1*12} △ ^{*13}					*14:貫粒型応力腐食割れ *15:外面		
	バウンダリの維持	耐圧	ケーシング		ステンレス鋳鋼			△	△ ^{*14*15}					
取付ボルト				低合金鋼		△								
	軸シール	メカニカルシール	◎											
機器の支持	支持	ベース		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）

▲：（同上）（日常劣化管理事象以外）

表 2.2-1(2/7) 浜岡4号機 余熱除去封水ポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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		
ポンプの容量と揚程の確保	エネルギー伝達	主軸		ステンレス鋼	△		△*1					*1:高サイクル疲労割れ *2:エロージョン *3:接液部 *4:外面 *5:貫粒型応力腐食割れ
		軸継手		炭素鋼		△						
	エネルギー変換	羽根車		ステンレス鋼	△	△*2						
		ライナーリング		ステンレス鋼	△							
	軸支持	軸受(転がり)	◎									
軸受箱				鋳鉄		△						
バウンダリの維持	耐圧	ケーシング		炭素鋼鋳鋼		△*3 △*4						
		ケーシングカバー		炭素鋼鋳鋼		△*3 △*4						
		取付ボルト		ステンレス鋼								
	軸シール	メカニカルシール	◎									
機器の支持	支持	ベース		炭素鋼		△						
		基礎ボルト		炭素鋼		△						
その他	その他	サイクロンセパレータ		ステンレス鋼				△*4*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）

表 2.2-1(3/7) 浜岡4号機 原子炉機器冷却水ポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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		
ポンプの容量と揚程の確保	エネルギー伝達	主軸		炭素鋼	△	△ ^{*1}	△ ^{*2}				*1:接液部 *2:高サイクル疲労割れ *3:エロージョン *4:外面 *5:貫粒型応力腐食割れ	
		軸継手		炭素鋼		△						
	エネルギー変換	羽根車		ステンレス鋳鋼	△	△ ^{*3}						
		ライナーリング		ステンレス鋼	△							
	軸支持	軸受(転がり)	◎									
		軸受箱		鋳鉄		△						
バウンダリの維持	耐圧	ケーシング		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △ ^{*4}						
		取付ボルト		低合金鋼		△						
	軸シール	メカニカルシール	◎									
機器の支持	支持	ベース		炭素鋼		△						
		基礎ボルト		炭素鋼		△						
その他	その他	サイクロンセパレータ		ステンレス鋼				△ ^{*4*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）

表 2.2-1(4/7) 浜岡 4 号機 原子炉冷却材浄化ホールディング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	サブシステム	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		
ポンプの容量と揚程の確保	エネルギー伝達	主軸		ステンレス鋼	△		△ ^{*1}					*1:高サイクル疲労割れ *2:エロージョン *3:貫粒型応力腐食割れ *4:外面
		ロータ		高ニッケル合金		△ ^{*2}						
	エネルギー変換	羽根車		ステンレス鋳鋼	△	△ ^{*2}						
	軸支持	軸受(すべり)	◎									
バウンダリの維持	耐圧	ケーシング		ステンレス鋼			△	△ ^{*3*4}				
		リアディスク		ステンレス鋼			△	△ ^{*3*4}				
		エンドバル		ステンレス鋼			△	△ ^{*3*4}				
		取付ボルト		低合金鋼		△						
機器の支持	支持	ベース		炭素鋼		△						
		基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1 (5/7) 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却海水ポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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		
ポンプの容量と揚程の確保	エネルギー伝達	主軸	◎*1	ステンレス鋼	△	△*2	△*3					*1:スリーブ *2:孔食, 隙間腐食 *3:高サイクル疲労割れ *4:エロージョン
		軸継手		炭素鋼		△						
		中間軸継手		ステンレス鋼		△*2						
	エネルギー変換	羽根車		ステンレス鋳鋼	△	△*2*4						
		ライナーリング		ステンレス鋼	△	△*2						
	軸支持	軸受 (すべり)	◎									
バウンダリの維持	耐圧	ケーシング		ステンレス鋳鋼		△*2						
		揚水管		ステンレス鋼		△*2						
		吐出エルボ		ステンレス鋳鋼		△*2						
		取付ボルト		ステンレス鋼		△*2						
	軸シール	グランドパッキン	◎									
機器の支持	支持	ベース		炭素鋼鋳鋼		△						
		中間支持台		ステンレス鋼		△*2						
		基礎ボルト		低合金鋼		△						
		中間支持台基礎ボルト		ステンレス鋼		△*2						
その他	その他	サイクロンセパレータ		炭素鋼		△						
		自圧水ストレーナ		ステンレス鋳鋼, 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(6/7) 浜岡 4 号機 余熱除去ポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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		
ポンプの容量と揚程の確保	エネルギー伝達	主軸（下）		ステンレス鋼	△		△*1				*1:高サイクル疲労割れ *2:エロージョン *3:接液部 *4:外面 *5:貫粒型応力腐食割れ *6:粒界型応力腐食割れ	
		軸継手		炭素鋼		△						
		主軸（上）		ステンレス鋼	△		△*1					
	エネルギー変換	羽根車		ステンレス鋳鋼	△	△*2						
		ライナーリング		ステンレス鋼	△							
	軸支持	軸受（すべり）	◎									
		軸受箱		ステンレス鋼								
バウンダリの維持	耐圧	ケーシング		炭素鋼, 低合金鋼		△*3 △*4						
		揚水管		炭素鋼		△*3						
		ディスチャージヘッド		炭素鋼		△*3 △*4						
		バレル		炭素鋼		△*3						
		取付ボルト		低合金鋼		△						
	軸シール	メカニカルシール	◎									
		メカニカルシール冷却器		炭素鋼, ステンレス鋼		△		△*3*6 △*4*5				
機器の支持	支持	ベース		炭素鋼		△						
		基礎ボルト		低合金鋼		△						
その他	その他	サイクロンセパレータ		ステンレス鋼			△*3*6 △*4*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）

表 2.2-1(7/7) 浜岡 4 号機 原子炉冷却材浄化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	サブシステム	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		
ポンプの容量と揚程の確保	エネルギー伝達	主軸		ステンレス鋼	△		△*1					*1:高サイクル疲労割れ *2:エロージョン *3:高サイクル熱疲労割れ *4:貫粒型応力腐食割れ *5:外面
		ロータ		高ニッケル合金		△*2						
	エネルギー変換	羽根車		ステンレス鋳鋼	△	△*2	△*3					
		ライナーディスク		ステンレス鋼	△							
	軸支持	軸受 (すべり)	◎									
バウンダリの維持	耐圧	ケーシング		ステンレス鋳鋼			△	△*4*5				
		リアカバー		ステンレス鋳鋼			△	△*4*5				
		アダプタ		ステンレス鋼			△	△*4*5				
		取付ボルト		ステンレス鋼				△*4*5				
機器の支持	支持	スタンド		鋳鉄		△						
		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。

- ① 高圧炉心スプレイ封水ポンプ
- ② 低圧炉心スプレイ封水ポンプ
- ③ 高圧炉心スプレイ機器冷却水ポンプ
- ④ 高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプ
- ⑤ 高圧炉心スプレイポンプ
- ⑥ 低圧炉心スプレイポンプ

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

代表機器同様、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 主軸の摩耗 [高圧炉心スプレイ封水ポンプ, 低圧炉心スプレイ封水ポンプ, 高圧炉心スプレイ機器冷却水ポンプ]

代表機器同様、転がり軸受を使用している主軸は、軸受との接触面の摩耗が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

b. 主軸の摩耗 [高圧炉心スプレイポンプ, 低圧炉心スプレイポンプ]

代表機器同様、すべり軸受を使用している主軸は、主軸はステンレス鋼であり、軸受はカーボンであり、軸受との接触面の摩耗が想定される。しかしながら、軸受にはカーボンが使用されており、摺動する主軸に比べ軸受が摩耗しやすいため、摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

c. 主軸の摩耗 [高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプ]

代表機器同様、主軸はステンレス鋼、軸受は合成ゴム又はテフロンゴムであり、軸受との接触面の摩耗が想定される。しかしながら、主軸はスリーブにて保護されていることから、摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検及び寸法

測定により設備の健全性を定期的に確認し、必要に応じてスリーブの取替えを実施している。

d. 羽根車及びライナーリングの摩耗 [共通]

代表機器同様、羽根車及びライナーリングは、摺動することによる摩耗が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

e. 主軸及びケーシング接液部の腐食（全面腐食） [高圧炉心スプレー機器冷却水ポンプ]

代表機器同様、主軸は炭素鋼、ケーシングは炭素鋼鋳鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、内部流体は防錆剤入り冷却水であり、材料表面が不動態に保たれているため、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

f. 軸継手の腐食（全面腐食） [共通]

代表機器同様、軸継手は炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

g. 軸受箱の腐食（全面腐食） [高圧炉心スプレー封水ポンプ、低圧炉心スプレー封水ポンプ、高圧炉心スプレー機器冷却水ポンプ]

代表機器同様、軸受箱は鋳鉄であり、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潤滑油であり、腐食が発生し難い環境にある。外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

h. ケーシング、ケーシングカバー、揚水管、ディスチャージヘッド及びバレル接液部の腐食（全面腐食） [高圧炉心スプレー封水ポンプ、低圧炉心スプレー封水ポンプ、高圧炉心スプレーポンプ、低圧炉心スプレーポンプ]

代表機器同様、高圧炉心スプレー封水ポンプ及び低圧炉心スプレー封水ポンプのケーシング、ケーシングカバーは炭素鋼鋳鋼、高圧炉心スプレーポンプ及び低圧炉心スプレーポンプのケーシング、揚水管、ディスチャージヘッド及びバレルは炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であり、内部流体が純水であるため、腐食が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

i. ケーシング、ケーシングカバー、ディスチャージヘッド外面の腐食（全面腐食） [高圧炉心スプレー封水ポンプ、低圧炉心スプレー封水ポンプ、高圧炉心スプレー機器冷却水ポンプ、高圧炉心スプレーポンプ、低圧炉心スプレーポンプ]

代表機器同様、ケーシング、ケーシングカバー、ディスチャージヘッドは炭素鋼、炭

素鋼鋳鋼又は低合金鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

j. 取付ボルトの腐食（全面腐食）〔高圧炉心スプレイポンプ，低圧炉心スプレイポンプ〕

代表機器同様，取付ボルトは低合金鋼であり，接液する流体が純水であるため，腐食が想定される。しかしながら，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

k. 取付ボルトの腐食（全面腐食）〔高圧炉心スプレイ機器冷却水ポンプ〕

代表機器同様，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，屋内空調環境下に設置されており，腐食が発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

l. メカニカルシール冷却器の腐食（全面腐食）〔高圧炉心スプレイポンプ，低圧炉心スプレイポンプ〕

代表機器同様，高圧炉心スプレイポンプ及び低圧炉心スプレイポンプのメカニカルシール冷却器の胴材料は炭素鋼が使用されていることから，腐食が想定される。しかしながら，内面については，内部流体は防錆剤入り冷却水であり，材料表面が不働態に保たれているため，腐食が発生する可能性は小さい。外面については，屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

m. ベースの腐食（全面腐食）〔高圧炉心スプレイ封水ポンプ，低圧炉心スプレイ封水ポンプ，高圧炉心スプレイ機器冷却水ポンプ，高圧炉心スプレイポンプ，低圧炉心スプレイポンプ〕

代表機器同様，ベースは炭素鋼であり，腐食が想定される。しかしながら，屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

n. ベースの腐食（全面腐食）〔高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプ〕

代表機器同様，ベースは炭素鋼鋳鋼であり，屋外に設置されていることから腐食が想定される。しかしながら，防食塗装により腐食を防止しており，巡視点検等で塗膜の状態を確認し，はく離が認められた場合は必要に応じて補修を行っている。

o. サイクロンセパレータの腐食（全面腐食）〔高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプ〕

代表機器同様，サイクロンセパレータは炭素鋼であり，内部流体は海水であるため，腐食が想定される。しかしながら，内面についてはゴムライニングが施工されており，分解点検時における目視点検を実施し，必要に応じて補修又は取替えを行っている。外

面については防食塗装により腐食を防止しており、巡視点検等で塗膜の状態を確認し、はく離が認められた場合は必要に応じて補修を行っている。

- p. 主軸，中間軸継手，羽根車，ライナーリング，ケーシング，揚水管，吐出エルボ，取付ボルト，中間支持台及び中間支持台基礎ボルト接液部の腐食（孔食，隙間腐食）〔高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプ〕

代表機器同様，主軸，中間軸継手，羽根車，ライナーリング，ケーシング，揚水管，吐出エルボ，取付ボルト，中間支持台及び中間支持台基礎ボルトはステンレス鋼又はステンレス鋳鋼であり，海水に接液することによる腐食が想定される。しかしながら，ポンプにカーボンブラシを取付けることにより主軸と揚水管部をボンディングし，流電陽極方式の純鉄電極を設けることにより，腐食を抑制している。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- q. 自圧水ストレーナの腐食（孔食，隙間腐食）〔高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプ〕

代表機器同様，自圧水ストレーナはステンレス鋼及びステンレス鋳鋼であり，海水に接液することによる腐食が想定される。しかしながら，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認し，必要に応じて補修又は取替えを行っている。

- r. 羽根車の腐食（エロージョン）〔共通〕

代表機器同様，ポンプ内部でキャビテーションが発生すると羽根車表面に腐食が生じ，ポンプ性能に影響を及ぼすことが想定される。しかしながら，ポンプはキャビテーションを起こさない条件(有効吸込ヘッド>必要有効吸込ヘッド)を満たすよう設計段階において考慮されており，この大小関係は経年的に変わるものではないことから，腐食が発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- s. 主軸の高サイクル疲労割れ〔共通〕

代表機器同様，主軸にはポンプ運転時に繰返し応力が発生することから，応力集中部等において，高サイクル疲労割れが想定される。しかしながら，主軸は設計段階において高サイクル疲労割れが発生しないように考慮された設計となっており，高サイクル疲労割れが発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- t. サイクロンセパレータ，メカニカルシール冷却器外面の貫粒型応力腐食割れ〔高圧炉心スプレイ封水ポンプ，低圧炉心スプレイ封水ポンプ，高圧炉心スプレイ機器冷却水ポンプ，高圧炉心スプレイポンプ，低圧炉心スプレイポンプ〕

代表機器同様，サイクロンセパレータ，メカニカルシール冷却器はステンレス鋼であり，外面に塩分が付着することに起因する貫粒型応力腐食割れが想定される。しかしな

がら、付着塩分量を維持管理基準以下に管理するため代表ポイントにおける付着塩分量測定を実施している。清掃基準を超えた場合には清掃を計画するとともに、目視点検を実施し、必要に応じて補修又は取替えを行うことで設備の健全性を定期的に確認している。

u. メカニカルシール冷却器及びサイクロンセパレータの粒界型応力腐食割れ [高圧炉心スプレイポンプ, 低圧炉心スプレイポンプ]

代表機器同様、メカニカルシール冷却器の伝熱管及びサイクロンセパレータはステンレス鋼であり、内部流体が 100 °C 以上の純水であることから、粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら、メカニカルシール冷却器の伝熱管及びサイクロンセパレータの材料は応力腐食割れの感受性を低減した材料であるため、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

v. 基礎ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

v. の評価については「機械設備の技術評価書」の基礎ボルトと同一であることから、それぞれの評価書を参照のこと。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

以 上

2 原子炉冷却材再循環ポンプ

[対象機器]

- ① 原子炉冷却材再循環ポンプ

目 次

1.	対象機器及び代表機器の選定	1
2.	原子炉冷却材再循環ポンプの技術評価	2
2.1	構造, 材料及び使用条件	2
2.2	経年劣化事象の抽出	5
2.2.1	機器の機能達成に必要な項目	5
2.2.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	5
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	6
2.3	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	9

1. 対象機器及び代表機器の選定

原子炉冷却材再循環ポンプの主な仕様を表 1-1 に示す。

表 1-1 浜岡 4 号機 原子炉冷却材再循環ポンプの主な仕様

機器名称 (台数)	仕様 (容量×揚程)	重要度*1	使用条件		
			使用 状態	最高使用温度 (°C) *2	最高使用圧力 (MPa) *2
原子炉冷却材再循環 ポンプ(2)	10,100 m ³ /h×241 m	PS-1	連続	302	10.40

*1：最上位の重要度を示す。

*2：ポンプ吐出配管の仕様を示す。

2. 原子炉冷却材再循環ポンプの技術評価

2.1 構造, 材料及び使用条件

(1) 構造

原子炉冷却材再循環ポンプは, 容量 10, 100 m³/h, 揚程 241 m の立軸単段うず巻ポンプであり, 原子炉冷却材を高温・高圧で循環させる機能を有し, 2 台設置されている。

純水に接液する羽根車及びケーシングにはステンレス鋳鋼, 主軸にはステンレス鋼を使用しており, 軸封部はメカニカルシール方式を採用している。

また, 羽根車及び主軸は, 取付ボルトを緩め, ケーシングカバー等を取外すことにより, 外に取出し点検手入れが可能である。

第 4 回定期点検 (1998 年度) において, 主軸とケーシングカバーの熱疲労への対策として, ヒータ付きサーマルバリアを採用したケーシングカバーへの取替えを実施している。

原子炉冷却材再循環ポンプの構造図を図 2. 1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

原子炉冷却材再循環ポンプ主要部位の使用材料を表 2. 1-1 に, 使用条件を表 2. 1-2 に示す。

No.	部位
①	主軸
②	軸継手
③	羽根車
④	ライナーリング
⑤	水中軸受
⑥	ケーシング
⑦	ケーシングカバー
⑧	取付ボルト
⑨	メカニカルシール
⑩	内装熱交換器

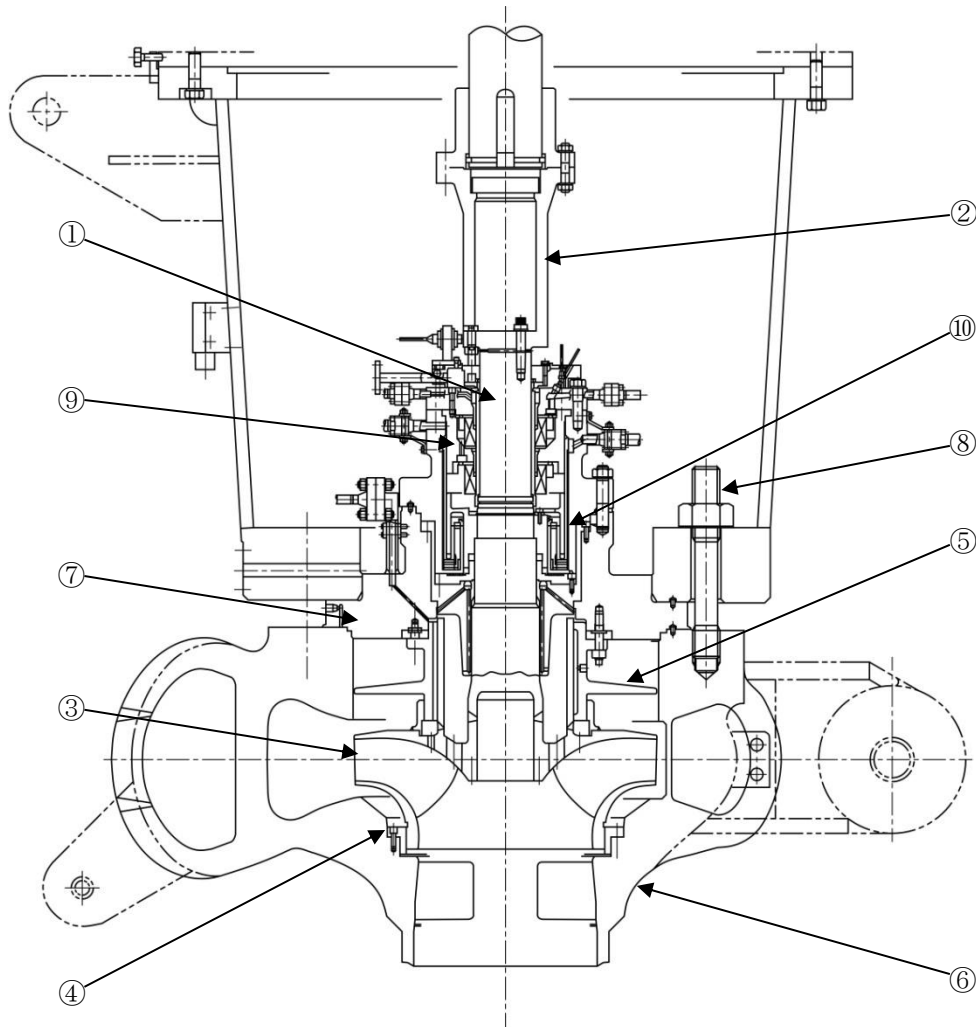


図 2.1-1 浜岡 4 号機 原子炉冷却材再循環ポンプの構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 原子炉冷却材再循環ポンプ主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
ポンプの容量と揚程の確保	エネルギー伝達	主軸	ステンレス鋼
		軸継手	ステンレス鋼
	エネルギー変換	羽根車	ステンレス鋳鋼
		ライナーリング	ステンレス鋳鋼
	軸支持	水中軸受	ステンレス鋳鋼+デロロ #60 盛金
バウンダリの維持	耐圧	ケーシング	ステンレス鋳鋼
		ケーシングカバー	ステンレス鋼
		取付ボルト	低合金鋼
	軸シール	メカニカルシール	(消耗品)
その他	メカニカルシールパージ	内装熱交換器	ステンレス鋼

表 2.1-2 浜岡 4 号機 原子炉冷却材再循環ポンプの使用条件

最高使用圧力	10.40 MPa
最高使用温度	302 °C
容量	10,100 m ³ /h
内部流体	純水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

原子炉冷却材再循環ポンプの機能は、羽根車を回転させることにより、流体にエネルギーを与えるものであり、この機能の達成に必要な項目は以下のとおり。

- ①ポンプの容量と揚程の確保
- ②バウンダリの維持
- ③その他（メカニカルシールパージ）

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

(1) 想定される経年劣化事象

原子炉冷却材再循環ポンプについて、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、個々の部位の材料、構造、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、表 2.2-1 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

なお、消耗品及び定期取替品は次項のとおり評価対象外とする。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

メカニカルシールは消耗品であり、設計時に長期使用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。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

- ①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）
- 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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として以下の事象を抽出した（表 2.2-1 で○）。

- a. ケーシングの疲労割れ
- b. ケーシングの熱時効

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 主軸の摩耗

主軸はケーシングカバーとの接触により、摩耗が想定される。しかしながら、構造的に主軸が回転中にケーシングカバーと接触する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

b. 羽根車及びライナーリング間の摩耗

羽根車及びライナーリングは、長期使用に伴い摩耗が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。また、摩耗の進展速度は、運転時間やポンプ回転数等により影響されるが、これらは通常運転中ほぼ一定であり、今後も進展傾向が大きく変化することは考え難い。

c. 羽根車の腐食（エロージョン）

ポンプ内部でキャビテーションが発生すると羽根車表面の腐食が想定される。しかしながら、ポンプはキャビテーションを起こさない条件（有効吸込ヘッド>必要有効吸込ヘッド）を満たすよう設計段階において考慮されており、この大小関係は経年的に変わるものではないことから腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

d. 取付ボルトの腐食（全面腐食）

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、通常運転中は窒素雰囲気又は屋内空調環境下に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

e. 主軸の高サイクル疲労割れ

主軸にはポンプ運転時に繰返し応力が発生することから、応力集中部等において、高サイクル疲労割れが想定される。しかしながら、主軸は設計段階において疲労割れが発生しないように考慮された設計となっており、高サイクル疲労割れが発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検及び浸透探傷試験により設備の健全性を定期的を確認している。

f. 主軸及びケーシングカバーの高サイクル熱疲労割れ

メカニカルシール（軸封部）へ注入されている低温のパージ水と高温純水（一次冷却材）混合部に温度変動が生じ、主軸及びケーシングカバー表面に高サイクル熱疲労割れが想定される。しかしながら、主軸及びケーシングカバーは第4回定期点検（1998年度）時にラビリンス部の熱疲労対策として、ヒータ付きサーマルバリアを採用したタイプへ取替えを実施していることから、高サイクル熱疲労割れが発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検又は浸透探傷試験により設備の健全性を定期的に確認している。

g. 主軸の粒界型応力腐食割れ

主軸はステンレス鋼であり、粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら、主軸は粒界型応力腐食割れの感受性を低減した材料であり、主軸の溶接部においては溶接後熱処理による残留応力の低減を図っており、粒界型応力腐食割れが発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検及び浸透探傷試験により設備の健全性を定期的に確認している。

h. 内装熱交換器の粒界型応力腐食割れ

内装熱交換器はステンレス鋼であり、粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら、内装熱交換器は粒界型応力腐食割れの感受性を低減した材料であり、通常時は低温のパージ水が流れているため100℃以下であることから、粒界型応力腐食割れが発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

i. 羽根車、ライナーリング及び水中軸受の熱時効

羽根車、ライナーリング及び水中軸受の材料はステンレス鋳鋼であり、高温純水中にあるため、熱時効による材料の靱性低下が想定され、この状態でき裂が存在する場合には小さな荷重でき裂が進展し、不安定破壊を引き起こす可能性がある。しかしながら、「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」（1997年3月 財団法人 発電設備技術検査協会）においては、BWRの炉水温度（約280℃）における熱時効による材料への影響は大きくないとしている。また、当該部位に、疲労割れ等のき裂が生ずる経年劣化事象が想定されないため、熱時効を起因とする不安定破壊が発生する可能性は小さい。さらに、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

表 2.2-1 浜岡 4 号機 原子炉冷却材再循環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	サブシステム	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		
ポンプの容量と揚程の確保	エネルギー伝達	主軸		ステンレス鋼	△		△ ^{*1*2}	△ ^{*3}				*1:高サイクル疲労割れ *2:高サイクル熱疲労割れ *3:粒界型応力腐食割れ *4:エロージョン *5:テロロ盛金
		軸継手		ステンレス鋼								
	エネルギー変換	羽根車		ステンレス鋳鋼	△	△ ^{*4}			△			
		ライナーリング		ステンレス鋳鋼	△				△			
	軸支持	水中軸受		ステンレス鋳鋼 ^{*5}					△			
バウンダリの維持	耐圧	ケーシング		ステンレス鋳鋼			○		○			
		ケーシングカバー		ステンレス鋼			△ ^{*2}					
		取付ボルト		低合金鋼		△						
	軸シール	メカニカルシール	◎									
その他	メカニカルシールパージ	内装熱交換器		ステンレス鋼				△ ^{*3}				

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

(1) ケーシングの疲労割れ

a. 事象の説明

ケーシングはプラントの起動・停止時等に熱過渡を受けることになるため、繰返しによる熱疲労が蓄積されて、疲労割れが発生する可能性があり、経年劣化に対する評価が必要である。

b. 技術評価

①健全性評価

ケーシングはプラントの起動・停止時等に熱過渡を受け、疲労割れが起こる可能性は否定できないため、形状不連続で荷重的に厳しいポンプケーシング出口ノズルと配管との溶接部を評価対象とし、配管・弁を含む三次元梁モデルにより応力算出及び評価を行った。評価部位を図 2.3-1 に示す。

浜岡 4 号機の運転実績に基づいた現時点（2020 年度末）の過渡回数を用いて、日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 2005 年版（2007 年追補版を含む）」（JSME NC1-2005/2007）（以下、「設計・建設規格」という。）に基づき疲労評価を行った。また、使用環境を考慮した疲労について、日本機械学会「発電用原子力設備規格 環境疲労評価手法」（JSME S NF1-2009）以下、「環境疲労評価手法」という。）に基づいて評価した。評価用過渡条件を表 2.3-1 に、評価結果を表 2.3-2 に示す。

この結果、表 2.3-2 に示すとおり、疲れ累積係数は 2020 年度末時点において許容値以下であり、安定停止状態においては、有意な熱過渡事象は発生しないため、運転開始後 40 年時点までは疲労割れが発生する可能性はない。

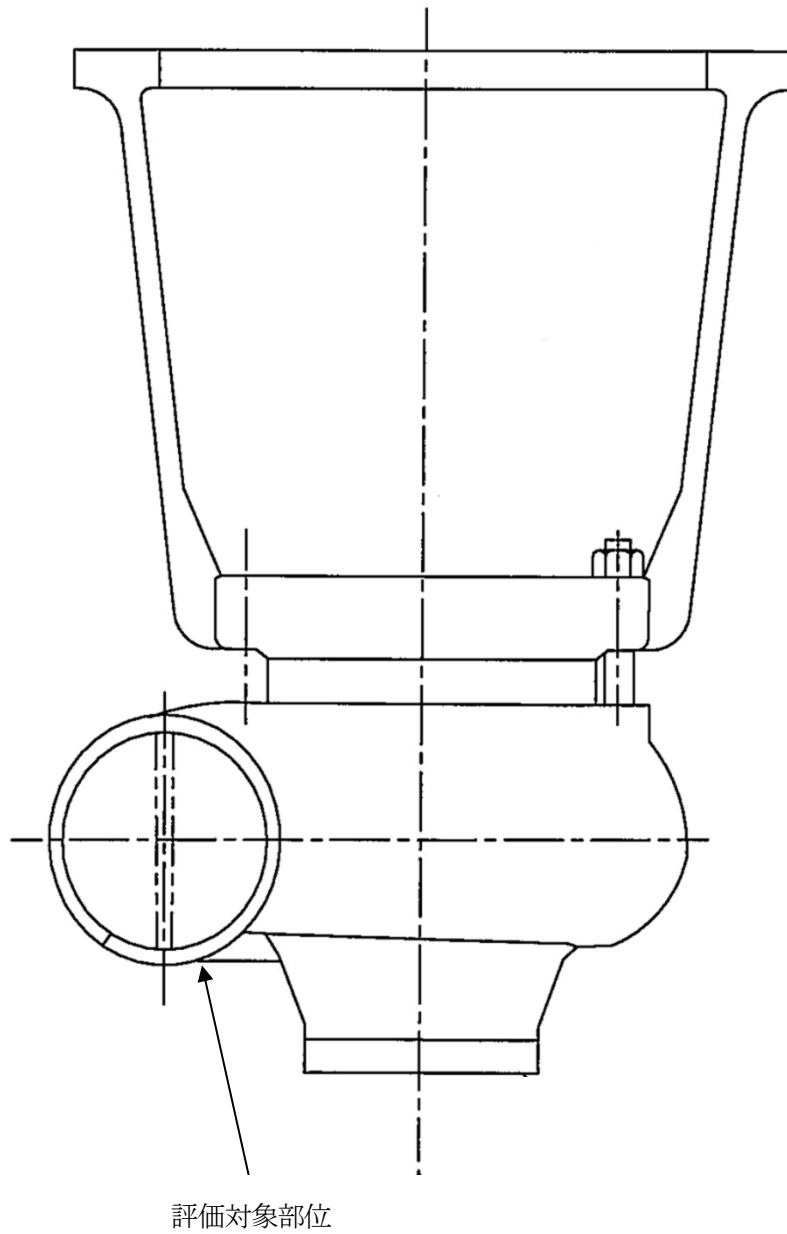


図 2.3-1 浜岡 4 号機 原子炉冷却材再循環ポンプ外形図

表 2.3-1 浜岡 4 号機 原子炉冷却材再循環系評価用過渡条件

運転条件	運転実績に基づく 過渡回数 (2020 年度末時点)
ボルト締付	16
耐圧試験 (最高使用圧力以下)	45
起動 (昇温)	34
起動 (タービン起動)	31
夜間低出力運転 (出力 75%)	0
週末低出力運転 (出力 50%)	3
制御棒パターン変更	116
給水加熱器機能喪失 (発電機トリップ)	7
スクラム (タービントリップ)	4
スクラム (原子炉給水ポンプ停止)	0
スクラム (その他)	6
停止	34
ボルト取外	16
逃がし安全弁誤作動	0

表 2.3-2 浜岡 4 号機 原子炉冷却材再循環ポンプの疲労評価結果

部位	運転実績回数に基づく疲れ累積係数 (許容値：1 以下)	
	設計・建設規格の疲労曲線による解析	環境疲労評価手法による解析
	現時点 (2020 年度末時点)	現時点 (2020 年度末時点)
ポンプケーシング出口 ノズルと配管との溶接部	0.0005	0.0113

②現状保全

ケーシングは、分解点検時の目視点検により、設備の健全性を定期的に確認している。また、供用期間中検査にてポンプケーシング出口ノズルと配管との溶接部については超音波探傷試験、ケーシング内表面については目視点検により疲労割れに対する健全性を確認している。さらに、当面の安定停止状態においては、その運転状況を考慮した追加的な点検等を行っている。

③総合評価

健全性評価結果よりケーシングの疲労割れが発生する可能性は小さく、また、疲労割れが発生する可能性は外表面と比較し内表面が高いと考えられるが、内表面は供用期間中検査において目視点検を実施しており、現状の保全は点検手法として適切であると判断する。

なお、当面の安定停止状態においては、有意な熱過渡事象は発生しないため、運転開始後 40 年時点までは疲労割れが発生する可能性はないと判断する。

c. 高経年化への対応

ケーシングの疲労割れについては、高経年化対策の観点から現状保全の内容に追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

(2) ケーシングの熱時効

a. 事象の説明

ケーシングの材料はステンレス鋳鋼を用いており、熱時効による材料の靱性低下が想定され、この状態でき裂が存在する場合には小さな荷重でき裂が進展し、不安定破壊を引き起こす可能性がある。

b. 技術評価

①健全性評価

原子炉冷却材再循環ポンプの実使用温度は 280 °C 程度であり、熱時効が問題となる温度（約 290 °C）には到達せず、国内他プラント、海外プラントにおける脆化試験の結果から靱性の低下はほとんど見られていない。また、これまでの分解点検時における目視点検及び浸透探傷試験の結果から有意な欠陥は見られておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

②現状保全

ケーシングについては、分解点検時の目視点検及び浸透探傷試験により設備の健全性を定期的に確認している。また、当面の安定停止状態においては、その運転状況を考慮した追加的な点検等を行っている。

③総合評価

ケーシングの熱時効については、高温環境下のため熱時効により靱性が低下する可能性はあるが、実使用温度は280℃程度であり材料への影響は小さい。また、分解点検時に目視点検及び浸透探傷試験を実施しており、健全性の確認は可能であると判断する。

なお、当面の安定停止状態においては、熱時効による有意な材料特性の低下は想定されないため、今後の熱時効の発生及び進展する可能性は小さいと判断する。

c. 高経年化への対応

ケーシングの熱時効については、高経年化対策の観点から現状保全の内容に追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

以 上

浜岡原子力発電所 4 号機

熱交換器の技術評価書

[冷温停止状態が維持されることを前提とした評価]

中部電力株式会社

本評価書は、浜岡原子力発電所4号機（以下、「浜岡4号機」という。）における安全上重要な熱交換器（重要度分類指針におけるPS-1, 2及びMS-1, 2に該当する機器）、原子炉格納容器外の高温度・高圧の環境下にあるクラス3の熱交換器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。

評価対象機器の一覧を表1に、機能を表2に示す。

評価対象機器を型式、内部流体、材料等で分類し、それぞれのグループから重要度及び使用条件等の観点で代表機器を選定し技術評価を行った後、代表以外の機器について評価を展開している。

本評価書は熱交換器の型式等をもとに、以下の2分冊で構成されている。

1. 直管式熱交換器
2. U字管式熱交換器

また、非常用ディーゼル機関、圧縮空気系設備の熱交換器は「機械設備の技術評価書」に含め、それぞれ評価を実施するものとし、本評価書には含まれていない。

なお、本文中の単位の記載はSI単位系に基づくものとする（圧力の単位は特に注記がない限りゲージ圧力を示す）。

表1 評価対象機器一覧

型式	機器名称 (基数)	仕様 (熱交換量)	重要度*1
直管式熱交換器	原子炉機器冷却水熱交換器 (6)	15.9 MW	MS-1
	高圧炉心スプレイ機器冷却水熱交換器 (2)	3.84 MW	MS-1
U字管式熱交換器	原子炉冷却材浄化再生熱交換器 (1)	50.7 MW	PS-2
	余熱除去熱交換器 (2)	11.2 MW	MS-1
	原子炉冷却材浄化非再生熱交換器 (2)	8.86 MW	PS-2

*1：最上位の重要度を示す

表2 評価対象機器機能一覧

機器名称	機能
原子炉機器冷却水熱交換器	原子炉建屋内の機器を冷却する冷却水（防錆剤入り）を海水で冷却する。
高圧炉心スプレイ機器冷却水熱交換器	高圧炉心スプレイ系機器を冷却する冷却水（防錆剤入り）を海水で冷却する。
原子炉冷却材浄化再生熱交換器	熱効率低下を防止するため、原子炉から取出した高温の原子炉冷却材と、浄化した後に原子炉に戻す低温の原子炉冷却材を熱交換する。
余熱除去熱交換器	原子炉停止時の崩壊熱除去のため、原子炉機器冷却水と原子炉冷却材との熱交換を行う。また、他に格納容器冷却モード等において使用する。
原子炉冷却材浄化非再生熱交換器	再生熱交換器で冷却された原子炉冷却材を浄化装置に通水可能な温度まで原子炉機器冷却水で冷却する。

1 直管式熱交換器

[対象機器]

- ① 原子炉機器冷却水熱交換器
- ② 高圧炉心スプレイ機器冷却水熱交換器

目 次

1.	対象機器及び代表機器の選定	1
1.1	グループ化の考え方及び結果	1
1.2	代表機器の選定	1
2.	代表機器の技術評価	3
2.1	構造, 材料及び使用条件	3
2.1.1	原子炉機器冷却水熱交換器	3
2.2	経年劣化事象の抽出	6
2.2.1	機器の機能達成に必要な項目	6
2.2.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	6
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	7
3.	代表機器以外への展開	11
3.1	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	11
3.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	11

1. 対象機器及び代表機器の選定

直管式熱交換器の主な仕様を表 1-1 に示す。

これらの直管式熱交換器をグループ化し、代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

内部流体、材料を分類基準とし、直管式熱交換器を表 1-1 に示すとおりグループ化する。

1.2 代表機器の選定

表 1-1 に分類したグループについて、原則として重要度、使用状態、最高使用温度、最高使用圧力、熱交換量の観点から代表機器を選定する。

(1) 内部流体/材料（管側：海水/銅合金，胴側：冷却水/炭素鋼）

このグループには原子炉機器冷却水熱交換器及び高圧炉心スプレイ機器冷却水熱交換器が属するが、熱交換量の観点から原子炉機器冷却水熱交換器を代表機器とする。

表 1-1 浜岡 4 号機 直管式熱交換器のグループ化及び代表機器の選定

分類基準					機器名称 (基数)	仕様 (熱交換量)	選定基準						選定	選定理由
型式	流体		材料				重要度*1	使用 状態	使用条件					
	管側	胴側	伝熱管	胴					最高使用温度 (°C)		最高使用圧力 (MPa)			
							管側	胴側	管側	胴側				
直管式	海水	冷却水*2	銅合金	炭素鋼	原子炉機器冷却水熱交換器(6)	15.9 MW	MS-1	連続	50	70	0.59	1.37	◎	熱交換量
					高压炉心スプレイ機器冷却水熱交換器(2)	3.84 MW	MS-1	連続	50	70	0.59	1.37		

*1：最上位の重要度を示す

*2：冷却水（防錆剤入り）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熱交換器について技術評価を実施する。

① 原子炉機器冷却水熱交換器

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 原子炉機器冷却水熱交換器

(1) 構造

原子炉機器冷却水熱交換器は、熱交換量 15.9 MW の横置直管式熱交換器であり、6 基設置されている。

本熱交換器は、熱交換機能を有する伝熱管に冷却用海水を送水するための管側構成品、管側と胴側を分離するための管板、伝熱管を介して冷却される冷却水（防錆剤入り）が流れる胴側構成品、機器を支持するための基礎ボルトから構成される。また伝熱管、水室（マンホール蓋を含む）、管板は、フランジボルトを取外すことにより、点検手入れが可能である。

原子炉機器冷却水熱交換器の構造図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

原子炉機器冷却水熱交換器主要部位の使用材料を表 2.1-1 に、使用条件を表 2.1-2 に示す。

No.	部位	No.	部位
①	伝熱管	⑥	マンホール蓋
②	管支持板	⑦	フランジボルト・ナット
③	管板	⑧	ガスケット
④	水室（亜鉛板付き）	⑨	基礎ボルト
⑤	胴	⑩	支持脚

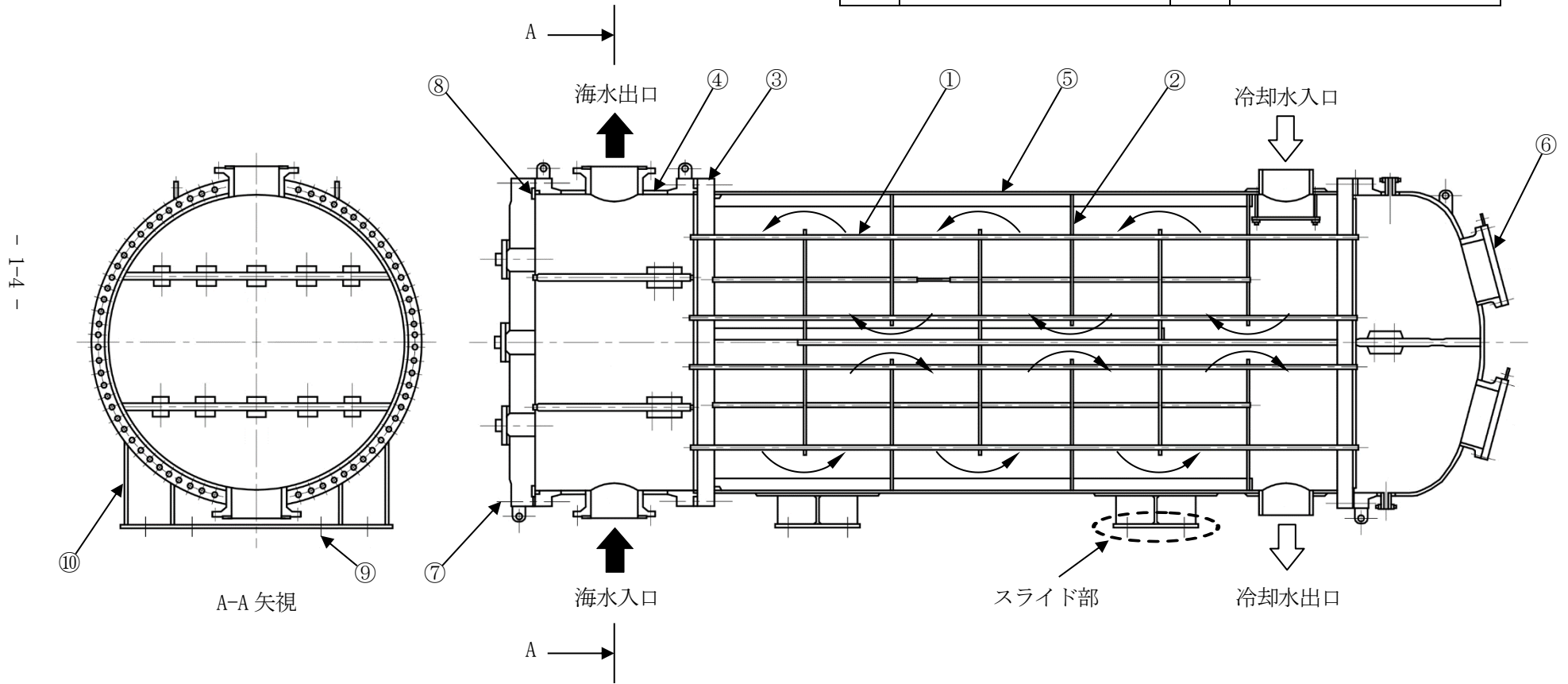


図 2.1-1 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却水熱交換器構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却水熱交換器主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
伝熱性能の確保	エネルギー伝達	伝熱管	銅合金
	伝熱管の支持	管支持板	炭素鋼
バウンダリの維持	耐圧	管板	炭素鋼+銅合金クラッド
		水室	炭素鋼+ゴムライニング 亜鉛板 (消耗品) 付
		胴	炭素鋼
		マンホール蓋	炭素鋼+ゴムライニング
		フランジボルト・ナット	低合金鋼
		ガスケット	(消耗品)
機器の支持	支持	基礎ボルト	炭素鋼
		支持脚	炭素鋼

表 2.1-2 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却水熱交換器の使用条件

	管側	胴側
最高使用温度	50 °C	70 °C
最高使用圧力	0.59 MPa	1.37 MPa
容量 (設計熱交換量)	15.9 MW	
内部流体	海水	冷却水 (防錆剤入り)

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

直管式熱交換器の機能は2つの流体の熱交換であり、この機能の達成に必要な項目は以下のとおり。

- ①伝熱性能の確保
- ②バウンダリの維持
- ③機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

(1) 想定される経年劣化事象

直管式熱交換器について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の材料、構造、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、表 2.2-1 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

なお、消耗品及び定期取替品は次項のとおり評価対象外とする。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

ガスケット、亜鉛板は消耗品であり、設計時に長期使用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。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

- ①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）
- 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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 伝熱管の高サイクル疲労割れ及び摩耗

原子炉機器冷却水熱交換器の伝熱管については管支持板接触面において、流体振動による高サイクル疲労割れ及び摩耗が想定される。しかしながら、伝熱管は管支持板により流体振動が十分小さくなるよう設計されているため、振動による高サイクル疲労割れ及び摩耗が発生する可能性は小さい。また、開放点検時に目視点検及び渦流探傷試験を実施し、有意な指示が確認された場合は必要に応じて施栓、取替えを行っている。

b. 管板の腐食（全面腐食）

原子炉機器冷却水熱交換器の管板は炭素鋼であり、内部流体が海水であることから、腐食が想定される。しかしながら、管板接液部は耐食性の良い銅合金クラッド処理が施されていることから腐食が発生する可能性は小さい。また、電気防食や亜鉛板による防食処置が施されており、亜鉛板については開放点検時に重量測定を実施し、必要に応じて取替えを行っている。さらに、開放点検時における目視点検により、設備の健全性を定期的に確認している。

c. 水室等内外面の腐食（全面腐食）

原子炉機器冷却水熱交換器の水室（マンホール蓋を含む）は炭素鋼であり、内部流体が海水であることから、腐食が想定される。しかしながら、接液部はゴムライニングが施されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、電気防食や亜鉛板による防食処置が施されており、亜鉛板については開放点検時に重量測定を実施し、必要に応じて取替えを行っている。さらに、開放点検時の目視点検において、ライニング材にはく離等が発生した場合には、必要に応じて補修を行っている。

外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、開放点検時における目視点検により、設備の健全性を定期的に確認している。

d. 胴外面の腐食（全面腐食）

原子炉機器冷却水熱交換器の胴は炭素鋼であるため、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、開放点検時における目視点検により、設備の健全性を定期的に確認

している。

e. フランジボルト・ナットの腐食（全面腐食）

原子炉機器冷却水熱交換器のフランジボルト・ナットは低合金鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、開放点検時における目視点検により、設備の健全性を定期的を確認している。

f. 支持脚（スライド部を含む）の腐食（全面腐食）

原子炉機器冷却水熱交換器の支持脚は炭素鋼であり、腐食が想定される。また、スライド部の穴部はボルト径に比べて大きな穴径となっており、スライド部がベースプレート上を滑ることにより横方向への熱移動を吸収できるようになっているが、スライド部及びベースプレートは炭素鋼であり、接触面の腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており、スライド部を除く大気接触部については塗装を施していることから腐食が発生する可能性は小さい。さらに、スライド部を含めて目視点検により設備の健全性を定期的を確認しており、接触面についてもこれまでの点検結果から有意な腐食は確認されていない。

g. 伝熱管の腐食（流れ加速型腐食（以下、「FAC」という。））

原子炉機器冷却水熱交換器の伝熱管は銅合金であり、付着した海生物や伝熱管入口部での内部流体（海水）の渦流による保護皮膜の破壊により、伝熱管内面の腐食が想定される。しかしながら、伝熱管入口部で発生する渦流に対しては、伝熱管入口部にベルマウス加工を施すことで抑制し、海生物の流入により発生する渦流に対しては、熱交換器入口側にストレーナを設置し海生物の流入を抑制するとともに、逆洗運転により海生物付着の低減を図ることで伝熱管内面の腐食への対策を行っている。さらに、開放点検時に渦流探傷試験を実施し、有意な指示が確認された場合は必要に応じて施栓、取替えを行っている。

h. 伝熱管の異物付着

伝熱管の内部流体は海水であり、伝熱管への海生物の付着により伝熱性能への影響が想定される。しかしながら、熱交換器入口側にストレーナを設置し海生物の流入を抑制するとともに、逆洗運転により海生物付着の低減を図っている。また、開放点検時に目視点検、渦流探傷試験及び伝熱管内部清掃により設備の健全性を定期的を確認している。

i. 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

i. の評価については「機械設備の技術評価書」の基礎ボルトと同一であることから、当該の評価書を参照のこと。

- (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事象を以下に示す（表 2.2-1 で▲）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても経年劣化の傾向が変化する要因があるとは考え難いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 胴内面，管支持板の腐食（全面腐食）

原子炉機器冷却水熱交換器の胴及び管支持板は炭素鋼であるため、腐食が想定される。しかしながら、胴側内部流体は防錆剤入り冷却水であり、材料表面が不動態に保たれているため、腐食が発生する可能性は小さい。

表 2.2-1 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却水熱交換器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
					減肉		割れ		材質変化			その他
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
伝熱性能の確保	エネルギー伝達	伝熱管		銅合金	△	△*1	△*2				△*3	*1:FAC *2:高サイクル疲労割れ *3:異物付着 *4:銅合金クラック *5:亜鉛板 *6:内面コムライニング *7:外面 *8:内面 *9:スライト部含む
	伝熱管の支持	管支持板		炭素鋼		▲						
バウンダリの維持	耐圧	管板		炭素鋼*4		△						
		水室	◎*5	炭素鋼*6		△						
		胴		炭素鋼		△*7 ▲*8						
		マンホール蓋		炭素鋼*6		△						
		フランジボルト・ナット		低合金鋼		△						
		ガスケット	◎									
機器の支持	支持	基礎ボルト		炭素鋼		△						
		支持脚		炭素鋼		△*9						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：（同上）（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を検討した。

① 高圧炉心スプレイ機器冷却水熱交換器

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

代表機器同様、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 伝熱管の高サイクル疲労割れ及び摩耗

代表機器同様、伝熱管については管支持板接触面において、高サイクル疲労割れ及び摩耗が想定される。しかしながら、伝熱管は管支持板により流体振動が十分小さくなるよう設計されているため、振動による高サイクル疲労割れ及び摩耗が発生する可能性は小さい。また、開放点検時に目視点検及び渦流探傷試験を実施し、有意な指示が確認された場合は必要に応じて施栓、取替えを行っている。

b. 管板の腐食（全面腐食）

代表機器同様、管板は炭素鋼であり、内部流体が海水であることから、腐食が想定される。しかしながら、管板接液部は耐食性の良い銅合金クラッド処理が施されていることから腐食が発生する可能性は小さい。また、電気防食や亜鉛板による防食処置が施されており、亜鉛板については開放点検時に重量測定を実施し、必要に応じて取替えを行っている。さらに、開放点検時における目視点検により、設備の健全性を定期的に確認している。

c. 水室等内外面の腐食（全面腐食）

代表機器同様、水室（マンホール蓋を含む）は炭素鋼であり、内部流体が海水であることから、腐食が想定される。しかしながら、接液部はゴムライニングが施されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、電気防食や亜鉛板による防食処置が施されており、亜鉛板については開放点検時に重量測定を実施し、必要に応じて取替えを行っている。さらに、開放点検時の目視点検において、ライニング材にはく離等が発生した場合には、必要に応じて補修を行っている。

外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、開放点検時における目視点検により、設備の健全性を定期的に確認している。

d. 胴外面の腐食（全面腐食）

代表機器同様、胴は炭素鋼であるため、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、開放点検時における目視点検により、設備の健全性を定期的に確認している。

e. フランジボルト・ナットの腐食（全面腐食）

代表機器同様、フランジボルト・ナットは低合金鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、開放点検時における目視点検により、設備の健全性を定期的に確認している。

f. 支持脚（スライド部を含む）の腐食（全面腐食）

代表機器同様、支持脚は炭素鋼であり、腐食が想定される。また、スライド部の穴部はボルト径に比べて大きな穴径となっており、スライド部がベースプレート上を滑ることにより横方向への熱移動を吸収できるようになっているが、スライド部及びベースプレートは炭素鋼であり、接触面の腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており、スライド部を除く大気接触部については塗装を施していることから腐食が発生する可能性は小さい。さらに、スライド部を含めて目視点検により設備の健全性を定期的に確認しており、接触面についてもこれまでの点検結果から有意な腐食は確認されていない。

g. 伝熱管の腐食（FAC）

代表機器同様、伝熱管は銅合金であり、海生物の付着や伝熱管入口部での内部流体（海水）の渦流による保護皮膜の破壊により、伝熱管内面の腐食が想定される。しかしながら、伝熱管入口部で発生する渦流に対しては、伝熱管入口部にベルマウス加工を施すことで抑制し、海生物の流入により発生する渦流に対しては、熱交換器入口側にストレーナを設置し海生物の流入を抑制するとともに、逆洗運転により海生物付着の低減を図ることで伝熱管内面の腐食による減肉の対策を行っている。さらに、開放点検時に渦流探傷試験を実施し、有意な指示が確認された場合は必要に応じて施栓、取替えを行っている。

h. 伝熱管の異物付着

代表機器同様、伝熱管の内部流体は海水であり、伝熱管への海生物の付着により伝熱性能への影響が想定される。しかしながら、熱交換器入口側にストレーナを設置し海生物の流入を抑制するとともに、逆洗運転により海生物付着の低減を図っている。また、

開放点検時に目視点検，渦流探傷試験及び伝熱管内部清掃により設備の健全性を定期的に確認している。

i. 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

i. の評価については「機械設備の技術評価書」の基礎ボルトと同一であることから，当該の評価書を参照のこと。

- (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事象を以下に示す。

これらの劣化事象については，当面の安定停止状態においても経年劣化の傾向が変化する要因があるとは考え難いことから，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 胴内面，管支持板の腐食（全面腐食）

代表機器同様，胴及び管支持板は炭素鋼であるため，腐食が想定される。しかしながら，胴側内部流体は防錆剤入り冷却水であり，材料表面が不動態に保たれているため，腐食が発生する可能性は小さい。

以 上

2 U字管式熱交換器

[対象機器]

- ① 原子炉冷却材浄化再生熱交換器
- ② 余熱除去熱交換器
- ③ 原子炉冷却材浄化非再生熱交換器

目 次

1.	対象機器及び代表機器の選定	1
1.1	グループ化の考え方及び結果	1
1.2	代表機器の選定	1
2.	代表機器の技術評価	3
2.1	構造, 材料及び使用条件	3
2.1.1	原子炉冷却材浄化再生熱交換器	3
2.1.2	余熱除去熱交換器	6
2.2	経年劣化事象の抽出	9
2.2.1	機器の機能達成に必要な項目	9
2.2.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	9
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	10
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	16

1. 対象機器及び代表機器の選定

U字管式熱交換器の主な仕様を表 1-1 に示す。

これらのU字管式熱交換器をグループ化し、それぞれのグループより代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

内部流体，材料を分類基準とし，U字管式熱交換器を表 1-1 に示すとおりグループ化する。

1.2 代表機器の選定

表 1-1 に分類したグループ毎に，原則として重要度，使用状態，最高使用温度，最高使用圧力，熱交換量の観点から代表機器を選定する。

(1) 内部流体/材料（管側：純水/ステンレス鋼，胴側：純水/炭素鋼）

このグループには原子炉冷却材浄化再生熱交換器のみが属するため，原子炉冷却材浄化再生熱交換器を代表機器とする。

(2) 内部流体/材料（管側：純水/ステンレス鋼，胴側：冷却水/炭素鋼）

このグループには余熱除去熱交換器及び原子炉冷却材浄化非再生熱交換器が属するが，重要度の観点から余熱除去熱交換器を代表機器とする。

表 1-1 浜岡 4 号機 U 字管式熱交換器のグループ化及び代表機器の選定

分類基準					機器名称 (基数)	仕様 (熱交換量)	重要度*1	選定基準					選定	選定理由
型式	流体		材料					重要度*1	使用条件					
	管側	胴側	伝熱管	胴					使用 状態	最高使用温度 (°C)		最高使用圧力 (MPa)		
							管側	胴側		管側	胴側			
U 字管式	純水	純水	ステンレス鋼	炭素鋼	原子炉冷却材浄化 再生熱交換器(1)	50.7 MW	PS-2	連続	302	302	8.83	10.20	◎	
	純水	冷却水*2	ステンレス鋼	炭素鋼	余熱除去熱交換器(2)	11.2 MW	MS-1	連続*3 (短期)	186	70	3.73	1.37	◎	重要度
					原子炉冷却材浄化 非再生熱交換器(2)	8.86 MW	PS-2	連続	302	85	8.83	1.37		

*1：最上位の重要度を示す

*2：冷却水（防錆剤入り）を示す

*3：除熱時（安定停止状態の維持含む。）は連続

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熱交換器について技術評価を実施する。

- ① 原子炉冷却材浄化再生熱交換器
- ② 余熱除去熱交換器

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 原子炉冷却材浄化再生熱交換器

(1) 構造

原子炉冷却材浄化再生熱交換器は、熱交換量 50.7 MW の横型 U 字管式熱交換器であり、1 基設置されている。

本熱交換器は、熱交換機能を有する伝熱管に高温側純水を送水するための管側構成品、管側と胴側を分離するための管板、伝熱管を介して高温側純水を冷却する低温側純水が流れる胴側構成品、機器を支持するための基礎ボルトから構成される。また水室とダイヤフラムはリークポテンシャルを低減するため、溶接にて取付けられている。

原子炉冷却材浄化再生熱交換器の構造図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

原子炉冷却材浄化再生熱交換器主要部位の使用材料を表 2.1-1 に、使用条件を表 2.1-2 に示す。

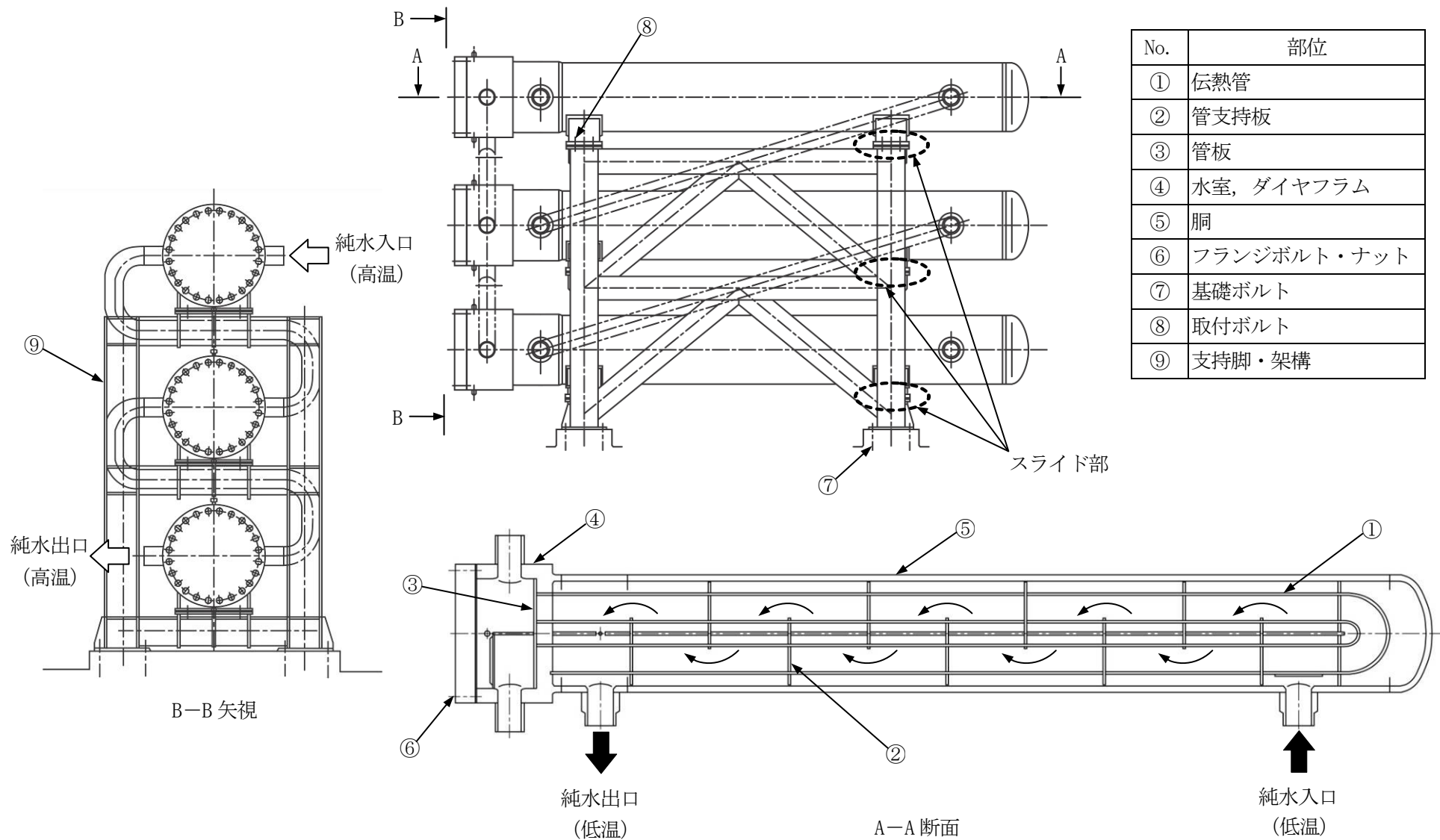


図 2.1-1 浜岡 4 号機 原子炉冷却材浄化再生熱交換器構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 原子炉冷却材浄化再生熱交換器主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
伝熱性能の確保	エネルギー伝達	伝熱管	ステンレス鋼*1
	伝熱管の支持	管支持板	ステンレス鋼
バウンダリの維持	耐圧	管板	炭素鋼 (管側ステンレス鋼クラッド*1)
		水室, ダイヤフラム	炭素鋼
		胴	炭素鋼
		フランジボルト・ナット	低合金鋼
機器の支持	支持	基礎ボルト	炭素鋼
		取付ボルト	炭素鋼
		支持脚・架構	炭素鋼

*1 : 炭素量を抑え, 応力腐食割れの感受性を低減している

表 2.1-2 浜岡 4 号機 原子炉冷却材浄化再生熱交換器の使用条件

	管側 (高温)	胴側 (低温)
最高使用温度	302 °C	302 °C
最高使用圧力	8.83 MPa	10.20 MPa
容量 (設計熱交換量)	50.7 MW	
内部流体	純水	純水

2.1.2 余熱除去熱交換器

(1) 構造

余熱除去熱交換器は、熱交換量 11.2 MW の横型 U 字管式熱交換器であり、2 基設置されている。

本熱交換器は、熱交換機能を有する伝熱管に余熱を除去するための純水を送水するための管側構成品、管側と胴側を分離するための管板、伝熱管を介して純水を冷却する冷却水（防錆剤入り）が流れる胴側構成品、機器を支持するための基礎ボルトから構成される。また伝熱管、水室、管板は、フランジボルトを取外すことにより、点検手入れが可能である。

余熱除去熱交換器の構造図を図 2.1-2 に示す。

(2) 材料及び使用条件

余熱除去熱交換器主要部位の使用材料を表 2.1-3 に、使用条件を表 2.1-4 に示す。

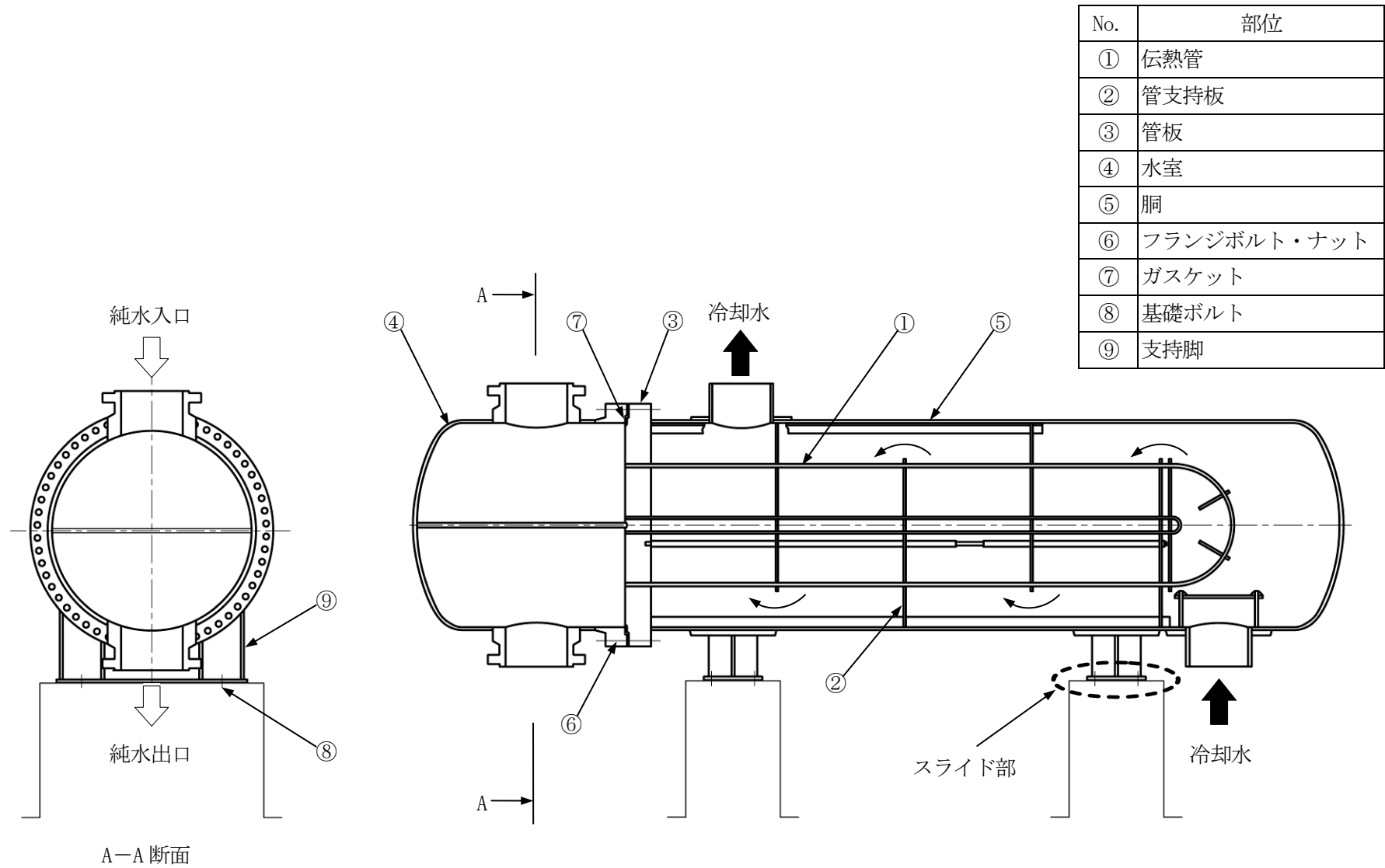


図 2.1-2 浜岡 4 号機 余熱除去熱交換器構造図

表 2.1-3 浜岡 4 号機 余熱除去熱交換器主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
伝熱性能の確保	エネルギー伝達	伝熱管	ステンレス鋼*1
	伝熱管の支持	管支持板	炭素鋼
バウンダリの維持	耐圧	管板	炭素鋼 (管側ステンレス鋼クラッド*1)
		水室	炭素鋼
		胴	炭素鋼
		フランジボルト・ナット	低合金鋼
		ガスケット	(消耗品)
機器の支持	支持	基礎ボルト	炭素鋼
		支持脚	炭素鋼

*1：炭素量を抑え、応力腐食割れの感受性を低減している

表 2.1-4 浜岡 4 号機 余熱除去熱交換器の使用条件

	管側	胴側
最高使用温度	186 °C	70 °C
最高使用圧力	3.73 MPa	1.37 MPa
容量 (設計熱交換量)	11.2 MW	
内部流体	純水	冷却水 (防錆剤入り)

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

U字管式熱交換器の機能は2つの流体の熱交換であり、この機能の達成に必要な項目は以下のとおり。

- ①伝熱性能の確保
- ②バウンダリの維持
- ③機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

(1) 想定される経年劣化事象

U字管式熱交換器について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の材料、構造、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表2.2-1に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

なお、消耗品及び定期取替品は次項のとおり評価対象外とする。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

ガasketは消耗品であり、設計時に長期使用せず取替えを前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3項に示すとおり、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。

- ①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表2.2-1で△）
- 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（表2.2-1で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 伝熱管の高サイクル疲労割れ及び摩耗 [余熱除去熱交換器]

伝熱管については管支持板接触面において、流体振動による高サイクル疲労割れ及び摩耗が想定される。しかしながら、伝熱管は管支持板により流体振動が十分小さくなるよう設計されているため、流体振動による高サイクル疲労割れ及び摩耗が発生する可能性は小さい。また、開放点検時における目視点検及び渦流探傷検査により設備の健全性を定期的に確認している。

b. 胴外面の腐食（全面腐食） [原子炉冷却材浄化再生熱交換器，余熱除去熱交換器]

胴は炭素鋼であり、外面の腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、運転圧による目視点検（漏えい試験）、開放点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

c. 胴内面の腐食（全面腐食） [原子炉冷却材浄化再生熱交換器，余熱除去熱交換器]

原子炉冷却材浄化再生熱交換器の胴は炭素鋼であり、内面の腐食が想定される。しかしながら、運転圧による目視点検（漏えい試験）により設備の健全性を定期的に確認している。

余熱除去熱交換器の胴は炭素鋼であり、内面の腐食が想定される。しかしながら、内部流体は防錆剤入り冷却水であり、材料表面が不動態に保たれているため、腐食が発生する可能性が小さい。また、運転圧による目視点検（漏えい試験）により設備の健全性を定期的に確認している。

d. 水室外面の腐食（全面腐食） [原子炉冷却材浄化再生熱交換器，余熱除去熱交換器]

水室は炭素鋼であり、外面の腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、開放点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

e. 水室及びダイヤフラム内面の腐食（全面腐食） [原子炉冷却材浄化再生熱交換器，余熱除去熱交換器]

原子炉冷却材浄化再生熱交換器の水室及びダイヤフラムは炭素鋼であり、内部流体が

純水であることから、腐食が想定される。しかしながら、目視点検（漏えい試験）又は浸透探傷試験、超音波探傷試験により設備の健全性を定期的に確認している。

余熱除去熱交換器の水室は炭素鋼であり、内部流体が純水であることから、内面の腐食が想定される。しかしながら、開放点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

f. フランジボルト・ナット及び取付ボルトの腐食（全面腐食）〔原子炉冷却材浄化再生熱交換器，余熱除去熱交換器〕

フランジボルト・ナット及び取付ボルトは低合金鋼又は炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、開放点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

g. 支持脚（スライド部を含む）及び架構の腐食（全面腐食）〔原子炉冷却材浄化再生熱交換器，余熱除去熱交換器〕

支持脚及び架構は炭素鋼であり、腐食が想定される。また、スライド部の穴径はボルト径に比べて大きな穴径となっており、スライド部がベースプレート上を滑ることにより横方向への熱移動を吸収できるようになっているが、スライド部及びベースプレートは炭素鋼であり、接触面の腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており、スライド部を除く大気接触部については塗装を施していることから腐食が発生する可能性は小さい。さらに、スライド部を含めて目視点検により設備の健全性を定期的に確認しており、接触面についてもこれまでの点検結果から有意な腐食は確認されていない。

h. 水室，ダイヤフラム，胴及び管板の疲労割れ〔原子炉冷却材浄化再生熱交換器，余熱除去熱交換器〕

水室，ダイヤフラム，胴及び管板は内部流体の温度変化に伴い低サイクル疲労割れが想定される。

原子炉冷却材浄化再生熱交換器（水室，ダイヤフラム，胴）は，温度変化率で管理されている原子炉圧力容器と同様又はそれより緩やかな温度変化となるため，熱疲労が問題となるような急激な熱過渡を受ける可能性は小さい。また，これまでの点検結果からダイヤフラムに有意な割れは確認されておらず，目視点検（漏えい試験）により設備の健全性を定期的に確認している。

余熱除去熱交換器（水室，管板，胴）は，起動・停止時の温度変動を暖機運転によって運転開始時の炉水との温度差が十分小さくなるように管理しており，熱疲労が問題となるような急激な熱過渡を受ける可能性は小さい。また，これまでの点検結果から有意な割れは確認されておらず，目視点検（漏えい試験）により設備の健全性を定期的に確認している。

i. 伝熱管の粒界型応力腐食割れ [余熱除去熱交換器]

余熱除去熱交換器（伝熱管）はステンレス鋼であり、100℃以上の流体に接液する応力の高い部位に粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら、粒界型応力腐食割れの感受性を低減したステンレス鋼を使用しているため、粒界型応力腐食割れが発生する可能性は小さい。また、伝熱管については定期的に渦流探傷試験を実施し、管板については目視点検及び浸透探傷試験を実施しており、これまで有意な割れは認められていない。

j. 基礎ボルトの腐食（全面腐食） [原子炉冷却材浄化再生熱交換器，余熱除去熱交換器]

j. の評価については「機械設備の技術評価書」の基礎ボルトと同一であることから、当該の評価書を参照のこと。

- (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事象を以下に示す（表 2.2-1 で▲）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても経年劣化の傾向が変化する要因があるとは考え難いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 伝熱管の高サイクル疲労割れ及び摩耗 [原子炉冷却材浄化再生熱交換器]

伝熱管については管支持板接触面において、流体振動による高サイクル疲労割れ及び摩耗が想定される。しかしながら、伝熱管は管支持板により流体振動が十分小さくなるよう設計されているため、流体振動による高サイクル疲労割れ及び摩耗が発生する可能性は小さい。

b. 管支持板の腐食（全面腐食） [余熱除去熱交換器]

余熱除去熱交換器の管支持板は炭素鋼であるため、腐食が想定される。しかしながら、内部流体は防錆剤入り冷却水であり、材料表面が不動態に保たれているため、腐食が発生する可能性は小さい。

c. 管板の疲労割れ [原子炉冷却材浄化再生熱交換器]

管板は内部流体の温度変化に伴い低サイクル疲労割れが想定される。しかしながら、原子炉冷却材浄化再生熱交換器（管板）は温度変化率で管理されている原子炉圧力容器と同様又はそれより緩やかな温度変化となるため、熱疲労が問題となるような急激な熱過渡を受ける可能性は小さい。

d. 伝熱管の粒界型応力腐食割れ [原子炉冷却材浄化再生熱交換器]

原子炉冷却材浄化再生熱交換器（伝熱管）はステンレス鋼であり、100℃以上の流体に接液する応力の高い部位に粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら、粒界型応力腐食割れの感受性を低減したステンレス鋼を使用しているため、粒界型応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

表 2.2-1(1/2) 浜岡 4 号機 原子炉冷却材浄化再生熱交換器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
					減肉		割れ		材質変化			その他
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
伝熱性能の確保	エネルギー伝達	伝熱管		ステンレス鋼	▲		▲*1	▲*2			*1:高サイクル疲労割れ *2:粒界型応力腐食割れ *3:管側ステンレス鋼クラック	
	伝熱管の支持	管支持板		ステンレス鋼								
バウンダリの維持	耐圧	管板		炭素鋼*3			▲				*4:内面 *5:外面(ダイヤフラム除く) *6:スライド部含む	
		水室, ダイヤフラム		炭素鋼		△*4 △*5	△					
		胴		炭素鋼		△*4 △*5	△					
		フランジボルト・ナット		低合金鋼		△						
機器の支持	支持	基礎ボルト		炭素鋼		△						
		取付ボルト		炭素鋼		△						
		支持脚・架構		炭素鋼		△*6						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：（同上）（日常劣化管理事象以外）

表 2.2-1(2/2) 浜岡4号機 余熱除去熱交換器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
					減肉		割れ		材質変化			その他
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
伝熱性能の確保	エネルギー伝達	伝熱管		ステンレス鋼	△		△ ^{*1}	△ ^{*2}			*1:高サイクル疲労割れ *2:粒界型応力腐食割れ *3:管側ステンレス鋼クラック *4:内面 *5:外面 *6:スライド部含む	
	伝熱管の支持	管支持板		炭素鋼		▲						
バウンダリの維持	耐圧	管板		炭素鋼 ^{*3}			△					
		水室		炭素鋼		△ ^{*4} △ ^{*5}	△					
		胴		炭素鋼		△ ^{*4} △ ^{*5}	△					
		フランジボルト・ナット		低合金鋼		△						
		ガスケット	◎									
機器の支持	支持	基礎ボルト		炭素鋼		△						
		支持脚		炭素鋼		△ ^{*6}						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：（同上）（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を検討した。

① 原子炉冷却材浄化非再生熱交換器

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

代表機器同様、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 水室外面の腐食（全面腐食）

代表機器同様、水室は炭素鋼であり、外面の腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、開放点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

b. 水室及びダイヤフラム内面の腐食（全面腐食）

代表機器同様、水室及びダイヤフラムは炭素鋼であり、内部流体が純水であることから、腐食が想定される。しかしながら、目視点検（漏えい試験）又は浸透探傷試験、超音波探傷試験により設備の健全性を定期的に確認している。

c. 胴内外面の腐食（全面腐食）

代表機器同様、胴は炭素鋼であるため、腐食が想定される。しかしながら、外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していること、内面については内部流体は防錆剤入り冷却水であり、材料表面が不動態に保たれているため、腐食が発生する可能性は小さい。また、運転圧による目視点検（漏えい試験）により設備の健全性を定期的に確認している。

d. フランジボルト・ナット及び取付ボルトの腐食（全面腐食）

代表機器同様、フランジボルト・ナット及び取付ボルトは低合金鋼又は炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、開放点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

e. 支持脚（スライド部を含む）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。また、スライド部の穴径はボルト径に比べて大きな穴径となっており、スライド部がベースプレート上を滑ることにより横方向への熱移動を吸収できるようになっているが、スライド部及びベースプレートは炭素鋼であり、接触面の腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており、スライド部を除く大気接触部については塗装を施していることから腐食が発生する可能性は小さい。さらに、スライド部を含めて目視点検により設備の健全性を定期的に確認しており、接触面についてもこれまでの点検結果から有意な腐食は確認されていない。

f. 水室、ダイヤフラム及び胴の疲労割れ

代表機器同様、水室、ダイヤフラム及び胴は内部流体の温度変化に伴い低サイクル疲労割れが想定される。

原子炉冷却材浄化非再生熱交換器（水室、ダイヤフラム、胴）は、温度変化率で管理されている原子炉圧力容器と同様又はそれより緩やかな温度変化となるため、熱疲労が問題となるような急激な熱過渡を受ける可能性は小さい。また、これまでの点検結果から有意な割れは確認されておらず、目視点検（漏えい試験）により設備の健全性を定期的に確認している。

g. 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

g. の評価については「機械設備の技術評価書」の基礎ボルトと同一であることから、当該の評価書を参照のこと。

- (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事象を以下に示す。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても経年劣化の傾向が変化する要因があるとは考え難いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 伝熱管の高サイクル疲労割れ及び摩耗

代表機器同様、伝熱管については管支持板接触面において、流体振動による高サイクル疲労割れ及び摩耗が想定される。しかしながら、伝熱管は管支持板により流体振動が十分小さくなるよう設計されているため、流体振動による高サイクル疲労割れ及び摩耗が発生する可能性は小さい。

b. 管支持板の腐食（全面腐食）

代表機器同様、管支持板は炭素鋼であるため、腐食が想定される。しかしながら、内部流体は防錆剤入り冷却水であり、材料表面が不動態に保たれているため、腐食が発生する可能性は小さい。

c. 管板の疲労割れ

代表機器同様、管板は内部流体の温度変化に伴い低サイクル疲労割れが想定される。

原子炉冷却材浄化非再生熱交換器（管板）は温度変化率で管理されている原子炉压力容器と同様又はそれより緩やかな温度変化となるため、熱疲労が問題となるような急激な熱過渡を受ける可能性は小さい。

d. 伝熱管の粒界型応力腐食割れ

代表機器同様、伝熱管はステンレス鋼であり、100 °C以上の流体に接液する応力の高い部位に粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら、粒界型応力腐食割れの感受性を低減したステンレス鋼を使用しているため、粒界型応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

以 上

浜岡原子力発電所 4 号機

ポンプモータの技術評価書

[冷温停止状態が維持されることを前提とした評価]

中部電力株式会社

本評価書は、浜岡原子力発電所4号機（以下、「浜岡4号機」という。）における安全上重要なポンプモータ（重要度分類指針におけるPS-1, 2及びMS-1, 2に該当する機器）、原子炉格納容器外の高温・高圧の環境下にあるクラス3のポンプモータ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。なお、高温・高圧の環境下にあるポンプモータはない。

評価対象機器の一覧を表1に、機能の一覧を表2に示す。

評価対象機器を電圧区分、型式及び設置場所で分類し、それぞれのグループから重要度及び使用条件等の観点で代表機器を選定し技術評価を行った後、代表機器以外の機器について評価を展開している。

本評価書は、ポンプモータの電圧区分をもとに、以下の2分冊で構成されている。

1. 高圧ポンプモータ
2. 低圧ポンプモータ

なお、本評価書の評価対象機器は、「ポンプの技術評価書」において評価対象機器としているポンプのポンプモータとしており、これらのポンプモータ以外のモータについては、各機器の技術評価書にて抽出している。

また、本評価書のポンプモータ以外のモータは、重要度、使用条件、使用状態等の観点から代表性を考慮し、本評価書の評価を参照している。

表1 評価対象機器一覧

電圧区分	機器名称 (台数)	仕様 (定格出力×回転速度)	重要度*1
高圧ポンプモータ	原子炉機器冷却海水ポンプモータ (4)	270 kW×880 rpm	MS-1
	余熱除去ポンプモータ (3)	750 kW×1,175 rpm	MS-1
	高圧炉心スプレイポンプモータ (1)	2,650 kW×1,185 rpm	MS-1
	低圧炉心スプレイポンプモータ (1)	1,250 kW×1,180 rpm	MS-1
低圧ポンプモータ	高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプモータ (2)	80 kW×1,750 rpm	MS-1
	原子炉冷却材浄化ポンプモータ (2)	120 kW×3,490 rpm	PS-2
	原子炉冷却材浄化ホールディングポンプモータ (2)	3.7 kW×3,430 rpm	PS-2
	原子炉機器冷却水ポンプモータ (6)	255 kW×1,770 rpm	MS-1
	高圧炉心スプレイ機器冷却水ポンプモータ (3)	55 kW×1,740 rpm	MS-1

*1：最上位の重要度を示す

表2 評価対象機器機能一覧

機器名称	機能
原子炉機器冷却海水ポンプモータ	原子炉機器冷却水熱交換器へ冷却用海水を送水するポンプを駆動する。
余熱除去ポンプモータ	原子炉隔離時及び通常運転時に、サブプレッションプール水を熱交換器を用いて冷却し、冷却材喪失事故時に原子炉から吹き出した蒸気をサブプレッションプール水で完全に凝縮できるように、プール水の温度を維持するポンプを駆動する。
高圧炉心スプレイポンプモータ	冷却材喪失事故時、炉心に復水貯蔵槽水又はサブプレッションプール水をスプレイするポンプを駆動する。
低圧炉心スプレイポンプモータ	冷却材喪失事故時、炉心にサブプレッションプール水をスプレイするポンプを駆動する。
高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプモータ	高圧炉心スプレイ機器冷却水熱交換器へ冷却用海水を送水するポンプを駆動する。
原子炉冷却材浄化ポンプモータ	原子炉水を原子炉冷却材浄化系に導き、浄化後、給水系に戻すポンプを駆動する。
原子炉冷却材浄化ホールディングポンプモータ	原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔の保持エレメントからの樹脂のはく離を防止するためのポンプを駆動する。
原子炉機器冷却水ポンプモータ	原子炉格納容器、原子炉建屋内の原子炉機器等に冷却水を循環供給するポンプを駆動する。
高圧炉心スプレイ機器冷却水ポンプモータ	高圧炉心スプレイ系の機器に冷却水を循環供給するポンプを駆動する。

1 高圧ポンプモータ

[対象機器]

- ① 原子炉機器冷却海水ポンプモータ
- ② 余熱除去ポンプモータ
- ③ 高圧炉心スプレィポンプモータ
- ④ 低圧炉心スプレィポンプモータ

目 次

1.	対象機器及び代表機器の選定	1
1.1	グループ化の考え方及び結果	1
1.2	代表機器の選定	1
2.	代表機器の技術評価	3
2.1	構造, 材料及び使用条件	3
2.1.1	原子炉機器冷却海水ポンプモータ	3
2.1.2	余熱除去ポンプモータ	6
2.2	経年劣化事象の抽出	9
2.2.1	機器の機能達成に必要な項目	9
2.2.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	9
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	10
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	18
3.1	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	18
3.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	18

1. 対象機器及び代表機器の選定

高圧ポンプモータの主な仕様を表 1-1 に示す。

これらの高圧ポンプモータをグループ化し、それぞれのグループより代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

型式及び設置場所を分類基準とし、高圧ポンプモータを表 1-1 に示すとおりグループ化する。

1.2 代表機器の選定

表 1-1 に分類したグループ毎に、重要度、使用状態、定格電圧及び周囲温度の観点から代表機器を選定する。

(1) 屋外設置（型式：開放形）

このグループには原子炉機器冷却海水ポンプモータのみが属するため、原子炉機器冷却海水ポンプモータを代表機器とする。

(2) 屋内設置（型式：開放形）

このグループには余熱除去ポンプモータ、高圧炉心スプレイポンプモータ及び低圧炉心スプレイポンプモータが属するが、使用状態の観点から余熱除去ポンプモータを代表機器とする。

表 1-1 浜岡 4 号機 高圧ポンプモータのグループ化及び代表機器の選定

分類基準			ポンプモータ名称 (台数)	仕様 (定格出力×回転数)	選定基準			選定	選定理由	
電圧 区分	型式	設置 場所			重要度*1	使用条件				
						使用状態	定格電圧			周囲温度
高圧	開放	屋外	原子炉機器冷却海水ポンプモータ(4)	270 kW×880 rpm	MS-1	連続	6,600 V	35 ℃以下	◎	
	開放	屋内	余熱除去ポンプモータ(3)	750 kW×1,175 rpm	MS-1	連続*2(短期)	6,600 V	50 ℃以下	◎	使用状態
			高圧炉心スプレイポンプモータ(1)	2,650 kW×1,185 rpm	MS-1	待機	6,600 V	50 ℃以下		
			低圧炉心スプレイポンプモータ(1)	1,250 kW×1,180 rpm	MS-1	待機	6,600 V	50 ℃以下		

*1：最上位の重要度を示す

*2：除熱時は連続（余熱除去ポンプは除熱機能を有する 2 台が該当）

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下のポンプモータについて技術評価を実施する。

- ① 原子炉機器冷却海水ポンプモータ
- ② 余熱除去ポンプモータ

なお、基礎ボルトについては、ポンプとポンプモータの取付けベースが共通であることから、「ポンプの技術評価書」での技術評価項目とし本評価書には含めていない。

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 原子炉機器冷却海水ポンプモータ

(1) 構造

原子炉機器冷却海水ポンプモータは、定格出力 270kW、回転数 880 rpm の開放形三相誘導モータであり、4台設置されている。

a. 固定部

モータをポンプの取付台に固定支持する下部エンドブラケットの上部にフレームが固定され、フレーム内に固定子コアが挿入されている。固定子コアには固定子コイルが保持されている。

また、フレーム上部及び下部には回転子を支持するエンドブラケットが取付けられ、内側には軸受が挿入されている。

b. 回転部

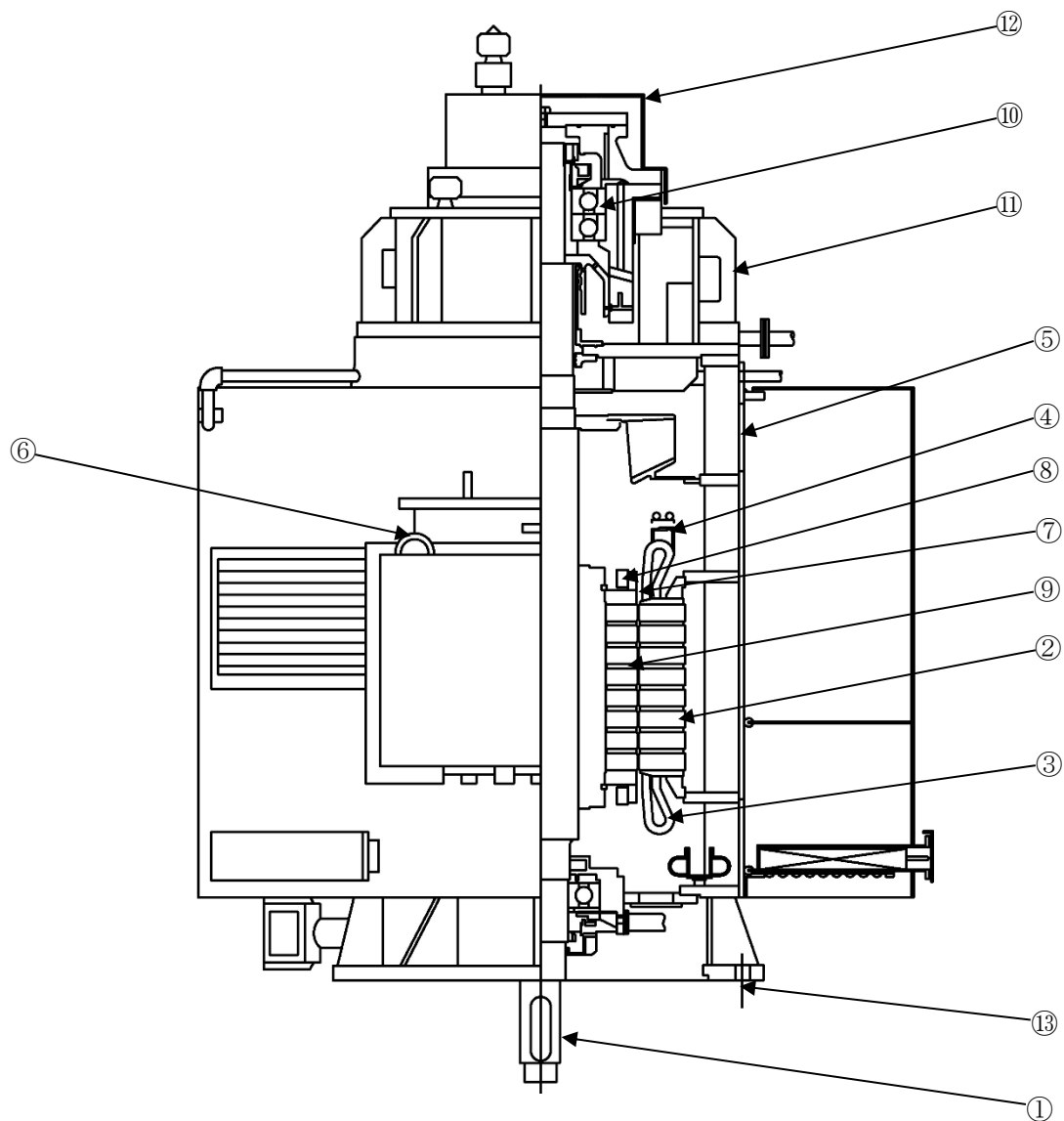
軸受により支持される主軸に回転子コアが固定されている。回転子コアには回転子棒が挿入され、両端には回転子エンドリングが取付けられている。

なお、固定子や回転子は、フレーム、エンドブラケット間の取付ボルトを緩め、エンドブラケットを外すことにより、点検手入れが可能である。

原子炉機器冷却海水ポンプモータの構造図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

原子炉機器冷却海水ポンプモータ主要部位の使用材料を表 2.1-1 に、使用条件を表 2.1-2 に示す。



No.	部位	No.	部位
①	主軸	⑧	回転子エンドリング
②	固定子コア	⑨	回転子コア
③	固定子コイル	⑩	軸受 (転がり)
④	口出線・接続部品	⑪	エンドブラケット
⑤	フレーム	⑫	屋外カバー
⑥	端子箱	⑬	取付ボルト
⑦	回転子棒		

図 2.1-1 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却海水ポンプモータ構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却海水ポンプモータ主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
駆動機能の確保	エネルギー伝達	主軸	炭素鋼
	エネルギー変換	固定子コア	電磁鋼
		固定子コイル	銅, 絶縁物
		口出線・接続部品	銅, 絶縁物
		フレーム	炭素鋼
		端子箱	炭素鋼
		回転子棒	銅
		回転子エンドリング	銅
		回転子コア	電磁鋼
	軸支持	軸受 (転がり)	(消耗品)
		エンドブラケット	炭素鋼
	保護	屋外カバー	炭素鋼
機器の支持	支持	取付ボルト	低合金鋼

表 2.1-2 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却海水ポンプモータの使用条件

定格出力	270 kW
定格電圧	6,600 V
回転数	880 rpm
周囲温度	35 °C以下*1

*1：屋外の設計値を示す

2.1.2 余熱除去ポンプモータ

(1) 構造

余熱除去ポンプモータは、定格出力 750 kW、回転数 1,175 rpm の開放形三相誘導モータであり、3 台設置されている。

a. 固定部

モータをポンプの取付台に固定支持する下部エンドブラケットの上部にフレームが固定され、フレーム内に固定子コアが挿入されている。固定子コアには固定子コイルが保持されている。

また、フレーム上部及び下部には回転子を支持するエンドブラケットが取付けられ、内側には軸受が挿入されており、軸受近傍には油冷管が取付けられている。

b. 回転部

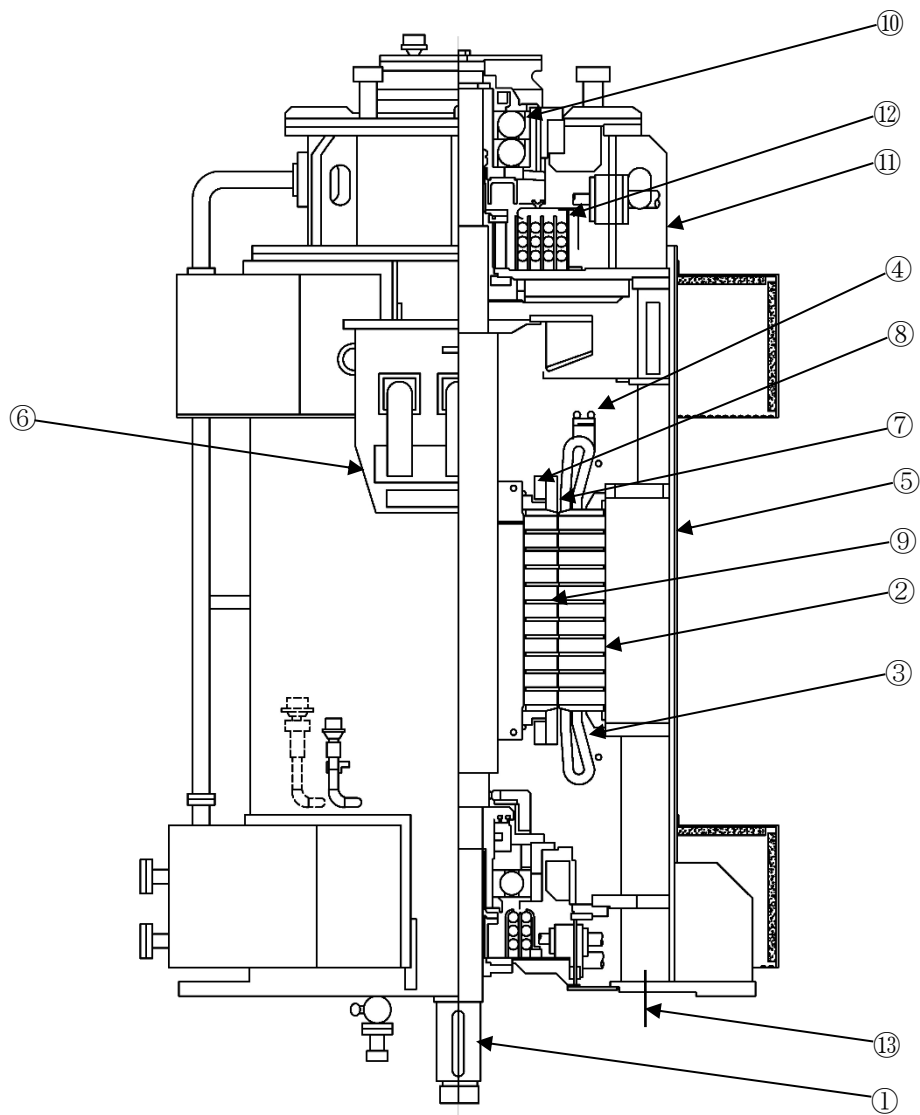
軸受により支持される主軸に回転子コアが固定されている。回転子コアには回転子棒が挿入され、両端には回転子エンドリングが取付けられている。

なお、固定子及び回転子は、フレーム、エンドブラケット間の取付ボルトを緩め、エンドブラケットを外すことにより、点検手入れが可能である。

余熱除去ポンプモータの構造図を図 2.1-2 に示す。

(2) 材料及び使用条件

余熱除去ポンプモータ主要部位の使用材料を表 2.1-3 に、使用条件を表 2.1-4 に示す。



No.	部位	No.	部位
①	主軸	⑧	回転子エンドリング
②	固定子コア	⑨	回転子コア
③	固定子コイル	⑩	軸受（転がり）
④	口出線・接続部品	⑪	エンドブラケット
⑤	フレーム	⑫	油冷管
⑥	端子箱	⑬	取付ボルト
⑦	回転子棒		

図 2.1-2 浜岡 4 号機 余熱除去ポンプモータ構造図

表 2.1-3 浜岡 4 号機 余熱除去ポンプモータ主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
駆動機能の確保	エネルギー伝達	主軸	炭素鋼
	エネルギー変換	固定子コア	電磁鋼
		固定子コイル	銅, 絶縁物
		口出線・接続部品	銅, 絶縁物
		フレーム	炭素鋼
		端子箱	炭素鋼
		回転子棒	銅合金
		回転子エンドリング	銅
		回転子コア	電磁鋼
	軸支持	軸受 (転がり)	(消耗品)
		エンドブラケット	炭素鋼
	油冷却	油冷管	銅合金, ステンレス鋼
機器の支持	支持	取付ボルト	低合金鋼

表 2.1-4 浜岡 4 号機 余熱除去ポンプモータの使用条件

定格出力	750 kW
定格電圧	6,600 V
回転数	1,175 rpm
周囲温度	50 °C以下*1

*1：原子炉建屋余熱除去ポンプ室の設計値を示す

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

高圧ポンプモータの機能（ポンプ送水機能）の達成に必要な項目は以下のとおり。

- ①駆動機能の確保
- ②機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

(1) 想定される経年劣化事象

高圧ポンプモータについて、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の材料、構造、設置場所、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表 2.2-1 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

なお、消耗品及び定期取替品は次項のとおり評価対象外とする。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

軸受（転がり）は消耗品であり、設計時に長期使用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。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

- ①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）
- 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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として以下の事象を抽出した（表 2.2-1 で○）。

- a. 固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁特性低下 [余熱除去ポンプモータ]

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 主軸の摩耗 [共通]

転がり軸受を使用している主軸は、軸受との接触面の摩耗が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検、軸寸法測定により設備の健全性を定期的に確認している。

b. 固定子コア及び回転子コアの腐食（全面腐食） [共通]

固定子コア及び回転子コアは電磁鋼のため、腐食が想定される。しかしながら、固定子コア及び回転子コアには、絶縁ワニス処理が施されており、腐食の発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

c. フレーム、エンドブラケット及び端子箱の腐食（全面腐食） [原子炉機器冷却海水ポンプモータ]

フレーム、エンドブラケット及び端子箱は炭素鋼であり、屋外に設置されていることから腐食が想定される。しかしながら、塗装により腐食を防止しており、分解点検時における目視点検等で塗膜の状態を確認し、はく離が認められた場合は必要に応じて補修を行っている。

d. フレーム、エンドブラケット及び端子箱の腐食（全面腐食） [余熱除去ポンプモータ]

フレーム、エンドブラケット及び端子箱は炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

e. 取付ボルトの腐食（全面腐食） [原子炉機器冷却海水ポンプモータ]

取付ボルトは低合金鋼であり、屋外に設置されていることから腐食が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

f. 取付ボルトの腐食（全面腐食） [余熱除去ポンプモータ]

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、屋内空調環境下に

設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により、設備の健全性を定期的に確認している。

g. 屋外カバーの腐食（全面腐食）〔原子炉機器冷却海水ポンプモータ〕

屋外カバーは炭素鋼であり、屋外に設置されていることから腐食が想定される。しかしながら、塗装により腐食を防止しており、目視点検等で塗膜の状態を確認し、はく離が認められた場合は必要に応じて補修を行っている。

h. 油冷管の腐食（全面腐食）〔余熱除去ポンプモータ〕

油冷管は銅合金が使用されており、腐食が想定される。しかしながら、耐食性の高い銅合金を使用していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

i. 回転子棒及び回転子エンドリングの疲労割れ〔共通〕

回転子棒及び回転子エンドリングは、モータ起動時における電磁力等による繰返し応力が発生することから、疲労割れが想定される。しかしながら、梁モデルによる評価を行い、発生応力は許容値に対し十分小さいことから、疲労割れが発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を確認している。

j. 主軸の高サイクル疲労割れ〔共通〕

主軸にはモータ運転時に繰返し応力が発生することから、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、主軸は設計段階において高サイクル疲労割れが発生しないように考慮された設計となっており、高サイクル疲労割れが発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を確認している。

k. 固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁特性低下〔原子炉機器冷却海水ポンプモータ〕

固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁物は有機物であるため、振動等による機械的要因、熱分解による熱的要因、絶縁物内空隙での放電等による電的要因、埃等の異物付着による環境的要因による絶縁特性低下が想定される。しかしながら、固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁特性低下に対しては、点検時における固定子コイルの目視点検、清掃、絶縁抵抗測定及び絶縁診断により設備の健全性を定期的に確認している。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

表 2.2-1(1/2) 浜岡4号機 原子炉機器冷却海水ポンプモータに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	その他	
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	信号特性変化		
駆動機能の確保	エネルギー伝達	主軸		炭素鋼	△		△*1						*1:高サイクル疲労割れ
	エネルギー変換	固定子コア		電磁鋼		△							
		固定子コイル		銅, 絶縁物					△				
		口出線・接続部品		銅, 絶縁物					△				
		フレーム		炭素鋼		△							
		端子箱		炭素鋼		△							
		回転子棒・回転子エンドリング		銅				△					
		回転子コア		電磁鋼		△							
	軸支持	軸受(転がり)	◎										
		エンドブラケット		炭素鋼		△							
保護	屋外カバー		炭素鋼		△								
機器の支持	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）

表 2.2-1(2/2) 浜岡4号機 余熱除去ポンプモータに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	その他	
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	信号特性変化		
駆動機能の確保	エネルギー伝達	主軸		炭素鋼	△		△*1						*1:高サイクル疲労割れ
	エネルギー変換	固定子コア		電磁鋼		△							
		固定子コイル		銅, 絶縁物					○				
		口出線・接続部品		銅, 絶縁物					○				
		フレーム		炭素鋼		△							
		端子箱		炭素鋼		△							
		回転子棒・回転子エンドリング		銅				△					
		回転子コア		電磁鋼		△							
	軸支持	軸受(転がり)	◎										
		エンドブラケット		炭素鋼		△							
油冷却	油冷管		銅合金, ステンレス鋼		△								
機器の支持	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）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁特性低下 [余熱除去ポンプモータ]

a. 事象の説明

固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁物は有機物であるため、振動等による機械的要因、熱分解による熱的要因、絶縁物内空隙での放電等による電的要因、埃等の異物付着による環境的要因により経年的に劣化が進行し、絶縁物の外表面、内部から絶縁特性低下を起こす可能性があり経年劣化に対する評価が必要である。

絶縁特性低下を生ずる可能性のある部位を図 2.3-1 に示す。

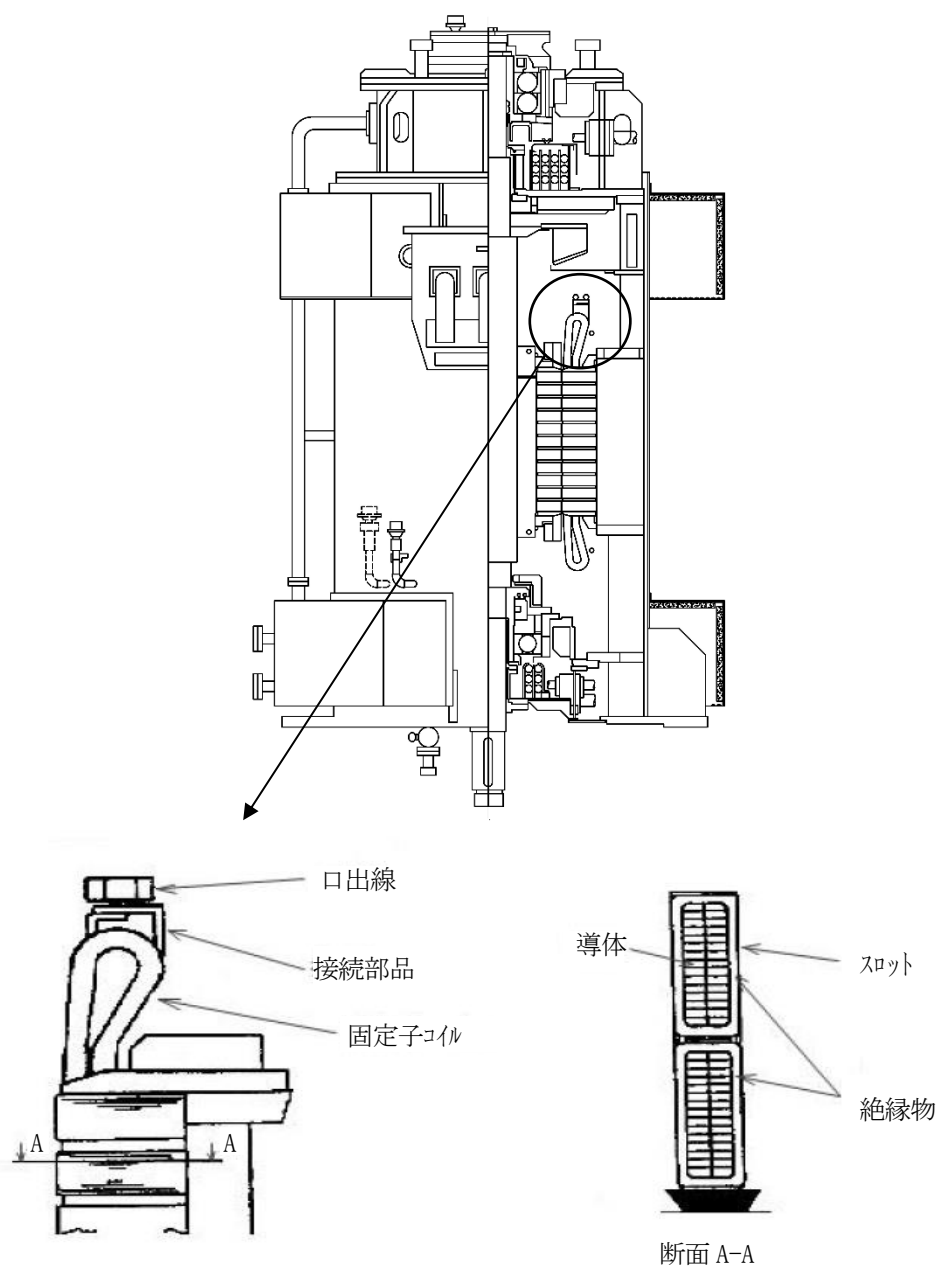


図 2.3-1 浜岡 4 号機 固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁部位

b. 技術評価

①健全性評価

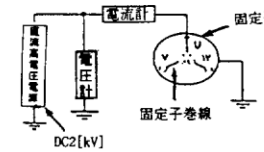
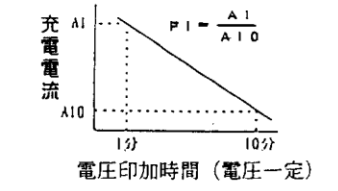
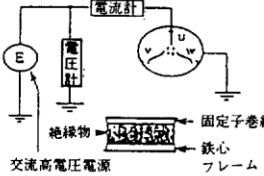
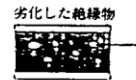
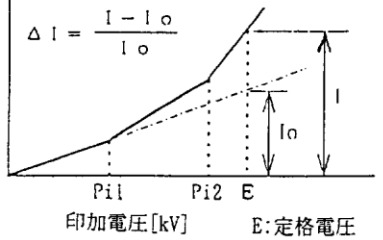
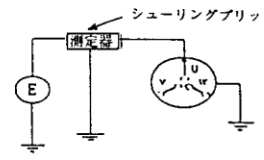
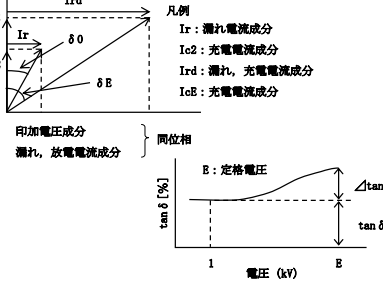
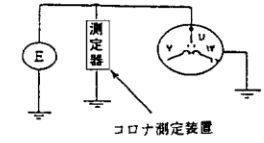
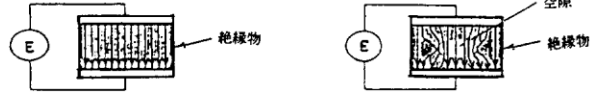
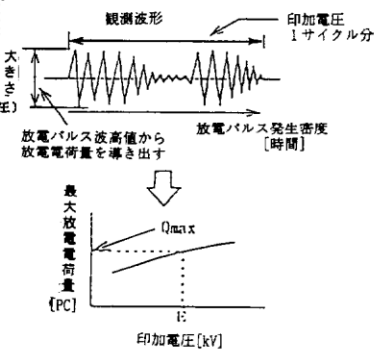
固定子コイル及び口出線・接続部品は、機械的、熱的、電氣的及び環境的要因により経年的に劣化が進行し、絶縁特性低下が想定されることから、長期間の使用を考慮すると固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁特性低下の可能性は否定できない。

②現状保全

固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁特性低下に対しては、点検時における絶縁抵抗測定及び表 2.3-1 に示す絶縁診断により設備の健全性を定期的に確認しており、点検結果から有意な絶縁特性の変化が認められた場合は、洗浄、乾燥及び絶縁補修（絶縁物にワニスを注入）又は固定子コイル及び口出線・接続部品の取替えを実施している。

また、当面の安定停止状態においては、その運転状態を考慮した追加的な点検等を行っている。

表 2.3-1 絶縁診断法

診断項目	目的	測定回路図	測定内容説明	特性図
<p>直流吸収試験 (PI)</p>	<p>直流電圧を印加した時の充電電流から絶縁物の吸湿・汚損状態を確認し、これ以降の試験にて、より高い電圧を加えても絶縁破壊しないか確認する。</p>		<p>絶縁物は電圧を加え始めると、絶縁物固体のコンデンサー成分により、充電電流(吸収電流)が流れ、充電が完了すると電流が流れなくなる。しかし、絶縁材の表面が吸湿(内側の場合もある)、汚損していると大地抵抗値が小さくなり、電流が流れ続ける。</p> <p>これにより、電圧を加え始めると1分後と10分後の比をとると、絶縁物が吸湿している場合、その比は小さくなる。</p>	
<p>交流電流試験 (Pi1, ΔI)</p>	<p>交流電圧を印加した時の電流-電圧特性は、吸湿・汚損、絶縁材劣化状態、部分放電状態により変化するのでその特性変化から絶縁の性状を推定する。</p>		<p>絶縁物に加える交流電圧を増加させると充電電流も比例して増加するが、絶縁内部の空隙で放電が始まると充電電流が比例分以上に急増し、電圧対電流の曲線に屈折を生じる。この点がPi1であり、空隙の数、大きさが大きい程Pi1は低い電圧で発生する。</p> <p>Pi2は更に電圧を増加させると、空隙相互間の絶縁の弱いつながらり部での放電が始まり、空隙の大きさが見かけ上大きくなり、再び電流が急増する。(通常の試験印加電圧では発生しない)</p> <p>ΔIは定格電圧(E)に於ける比例電流値(推定)に対する実電流の増加率を算出するもので、空隙数・大きさが大きい程値は大きくなる。</p> 	<p>交流電流</p> 
<p>誘電正接試験 (Δtanδ)</p>	<p>tanδ-電圧特性を測定する事によって、絶縁物の吸湿・汚損状況や絶縁材劣化状態を推定する。</p>		<p>交流電流試験の説明に記載の通り、空隙で放電が起こり放電電流成分が急増する。漏れ電流成分は直流吸収試験に記載の通り、絶縁物の吸湿、汚損が大きければ電流は流れやすくなる。これら放電電流・漏れ電流は、抵抗成分により流れるもののため、コンデンサー成分により流れる充電電流より90°遅れた位相となる。これをベクトルで表すと右図の通りとなり、放電が起きる前の充電電流と遅れ電流のベクトル和の位相角δ0と比べるとδ(δ0に放電分の位相が加わったもの)は大きくなる。</p> <p>δを測定する装置はtanδで表される。Δtanδ電圧は定格電圧E[kV]の値tanδEと低電圧印加に於ける値tanδ0の差である。以上より、Δtanδが大きくなることは空隙の数が多くなっていると言える。</p>	
<p>部分放電試験 [コロナパルス試験] (Qmax)</p>	<p>部分放電パルス(最大放電電荷量相当)を直接測定し、劣化によるクラック・剥離等の空隙の発生及び進展状況を把握する事により、劣化の進行を推定する。</p>		<p>絶縁物中に空隙が存在すると、空隙の誘電率[ε]は絶縁物よりも小さいため、空隙に電界が集中する。空隙では印加電圧の上昇により放電が始まる。空隙の大きさが大きい程電界は集中しやすいため、放電は更に大きくなる。</p> <p>又、空隙の静電容量C[F]は空隙の大きさが大きいほど $C = \epsilon S / d$ (空隙の面積) / d (空隙の距離) により大きくなる。よって $Q [c] = C [F] \times V [v]$ の関係より、空隙の電荷量Q[c]は大きくなる。以上より、放電の大きさが空隙の大きさと言える。</p> 	

③総合評価

固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁特性低下の可能性は否定できないが、絶縁特性低下は点検時における絶縁抵抗測定、絶縁診断及び目視点検により把握可能と考える。

また、当面の安定停止状態においても、必要な運転状態を加味し、今後も定例切替えや定例試験を含む日常保全や状態監視を継続するとともに、必要に応じて適切な対応をとることにより、設備の健全性は維持できると判断した。

c. 高経年化への対応

固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁特性低下に対しては、高経年化対策の観点から現状保全の内容に追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

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的評価について、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を検討した。

- ① 高圧炉心スプレイポンプモータ
- ② 低圧炉心スプレイポンプモータ

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

a. 固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁特性低下 [共通]

代表機器同様、固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁物は有機物であるため、熱的、機械的、電気的及び環境的要因による絶縁特性低下が想定される。しかしながら、代表機器と同様に、固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁特性低下に対しては、点検時における目視点検、絶縁抵抗測定及び絶縁診断により設備の健全性を維持できると判断した。

また、当面の安定停止状態においては、その運転状況を考慮した追加的な点検等を行っている。

したがって、当面の安定停止状態においては、必要な運転状況を加味し、定例試験を含む日常保全や状態監視を継続するとともに、必要に応じて適切な対応をとることにより、設備の健全性は維持できることから、高経年化対策の観点から現状保全の内容に対して追加すべき項目はないと判断した。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 主軸の摩耗 [低圧炉心スプレイポンプモータ]

代表機器同様、転がり軸受を使用している主軸は、軸受との接触面の摩耗が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検、軸寸法測定により設備の健全性を定期的に確認している。

b. 主軸の摩耗 [高圧炉心スプレイポンプモータ]

すべり軸受を使用している主軸については、軸受と主軸の接触面の摩耗が想定される。しかしながら、軸受には潤滑剤が供給され主軸と軸受間に膜が形成される構造となっており主軸の摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検、軸寸法測定により設備の健全性を定期的に確認している。

c. すべり軸受の摩耗及びはく離 [高圧炉心スプレイポンプモータ]

すべり軸受はホワイトメタルを軸受に鑄込み溶着しているため、摩耗及びはく離が想定される。しかしながら、軸受は潤滑剤が供給され主軸と軸受間に油膜が形成されており、摩耗及びはく離が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検及び浸透探傷試験により設備の健全性を定期的に確認している。

d. 固定子コア及び回転子コアの腐食（全面腐食） [共通]

代表機器同様、固定子コア及び回転子コアは電磁鋼のため、腐食が想定される。しかしながら、固定子コア及び回転子コアには、絶縁ワニス処理が施されており、腐食の発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

e. フレーム、エンドブラケット及び端子箱の腐食（全面腐食） [共通]

代表機器同様、フレーム、エンドブラケット及び端子箱は炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

f. 取付ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

代表機器同様、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、屋内空調環境下に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

g. 油冷管の腐食（全面腐食） [共通]

代表機器同様、油冷管は銅合金が使用されており、腐食が想定される。しかしながら、耐食性の良い銅合金を使用していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

h. 回転子棒及び回転子エンドリングの疲労割れ [共通]

代表機器同様、回転子棒及び回転子エンドリングは、モータ起動時における電磁力等による繰返し応力が発生することから、疲労割れが想定される。しかしながら、梁モデルによる評価を行い、発生応力は許容値に対し十分小さいことから、疲労割れが発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を確認している。

i. 主軸の高サイクル疲労割れ [共通]

代表機器同様，主軸にはモータ運転時に繰返し応力が発生することから，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，主軸は設計段階において高サイクル疲労割れが発生しないように考慮された設計となっており，高サイクル疲労割れが発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を確認している。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

以 上

2 低圧ポンプモータ

[対象機器]

- ① 高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプモータ
- ② 原子炉冷却材浄化ポンプモータ
- ③ 原子炉冷却材浄化ホールディングポンプモータ
- ④ 原子炉機器冷却水ポンプモータ
- ⑤ 高圧炉心スプレイ機器冷却水ポンプモータ

目 次

1.	対象機器及び代表機器の選定	1
1.1	グループ化の考え方及び結果	1
1.2	代表機器の選定	1
2.	代表機器の技術評価	3
2.1	構造, 材料及び使用条件	3
2.1.1	高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプモータ	3
2.1.2	原子炉冷却材浄化ポンプモータ	6
2.1.3	原子炉機器冷却水ポンプモータ	9
2.2	経年劣化事象の抽出	12
2.2.1	機器の機能達成に必要な項目	12
2.2.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	12
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	13
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	20

1. 対象機器及び代表機器の選定

低圧ポンプモータの主な仕様を表 1-1 に示す。

これらの低圧ポンプモータをグループ化し、それぞれのグループより代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

型式及び設置場所を分類基準とし、低圧ポンプモータを表 1-1 に示すとおりグループ化する。

1.2 代表機器の選定

表 1-1 に分類したグループ毎に、重要度、使用状態、定格電圧及び周囲温度の観点から代表機器を選定する。

(1) 屋外設置（型式：全閉形）

このグループには高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプモータのみが属するため、高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプモータを代表機器とする。

(2) 屋内設置（型式：キャンド形）

このグループには原子炉冷却材浄化ポンプモータ及び原子炉冷却材浄化ホールディングポンプモータが属するが、重要度、使用状態、定格電圧、周囲温度が同等であるため、定格出力を踏まえて原子炉冷却材浄化ポンプモータを代表機器とする。

(3) 屋内設置（型式：開放形）

このグループには原子炉機器冷却水ポンプモータ及び高圧炉心スプレイ機器冷却水ポンプモータが属するが、重要度、使用状態、定格電圧、周囲温度が同等であるため、定格出力を踏まえて原子炉機器冷却水ポンプモータを代表機器とする。

表 1-1 浜岡 4 号機 低圧ポンプモータのグループ化及び代表機器の選定

分類基準			ポンプモータ名称 (台数)	仕様 (定格出力×回転数)	重要度*1	選定基準			選定	選定理由
電圧 区分	型式	設置 場所				使用条件				
						使用状態	定格電圧	周囲温度		
低圧	全閉	屋外	高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプモータ(2)	80 kW×1,750 rpm	MS-1	連続	440 V	35℃以下	◎	
	キャンド形	屋内	原子炉冷却材浄化ポンプモータ(2)	120 kW×3,490 rpm	PS-2	連続	440 V	40℃以下	◎	定格出力
			原子炉冷却材浄化ホールディングポンプモータ(2)	3.7 kW×3,430 rpm	PS-2	連続 (短期)	440 V	40℃以下		
	開放	屋内	原子炉機器冷却水ポンプモータ(6)	255 kW×1,770 rpm	MS-1	連続	440 V	40℃以下	◎	定格出力
			高圧炉心スプレイ機器冷却水ポンプモータ(3)	55 kW×1,740 rpm	MS-1	連続	440 V	40℃以下		

*1：最上位の重要度を示す

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下のポンプモータについて技術評価を実施する。

- ① 高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプモータ
- ② 原子炉冷却材浄化ポンプモータ
- ③ 原子炉機器冷却水ポンプモータ

なお、基礎ボルトについては、ポンプとポンプモータの取付けベースが共通であることから、「ポンプの技術評価書」での技術評価項目とし本評価書には含めていない。

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプモータ

(1) 構造

高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプモータは、定格出力 80 kW、回転数 1,750 rpm の全閉形三相誘導モータであり、2台設置されている。

a. 固定部

モータをポンプの取付台に固定支持する下部エンドブラケットの上部にフレームが固定され、フレーム内に固定子コアが挿入されている。固定子コアには固定子コイルが保持されている。

また、フレーム上部及び下部には回転子を支持するエンドブラケットが取付けられ、内側には軸受（転がり）が挿入されている。

b. 回転部

軸受（転がり）により支持される主軸には回転子コアが固定されている。

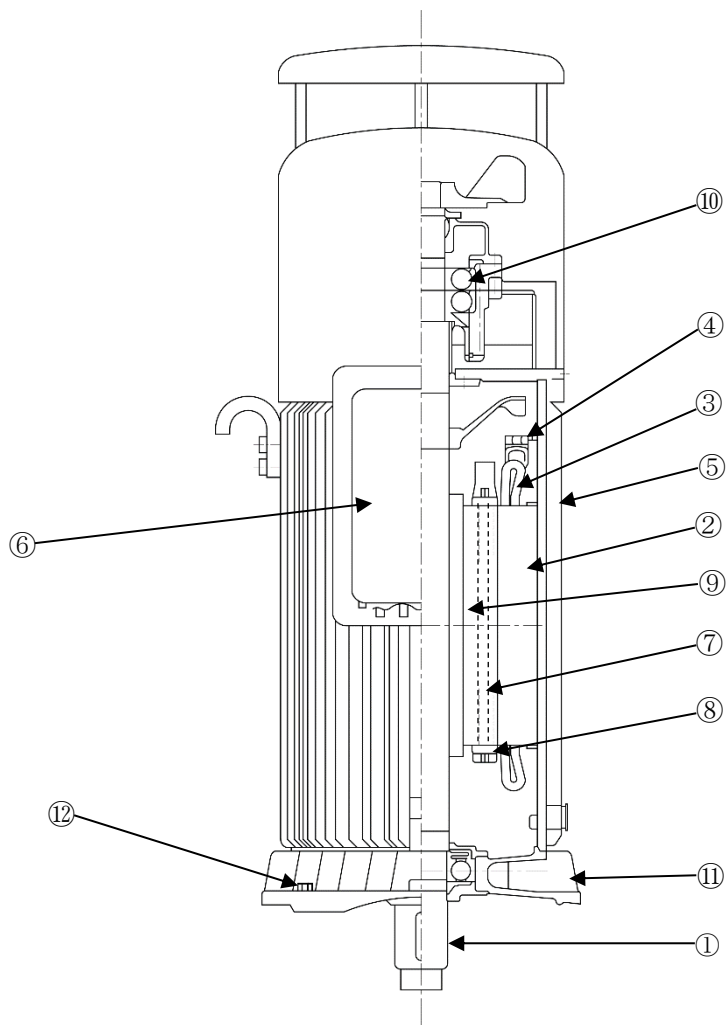
また、回転子コアには回転子棒が挿入され、その両端には回転子エンドリングがアルミダイキャストで一体成型されている。

なお、固定子や回転子は、フレーム、エンドブラケット間の取付ボルトを緩め、エンドブラケットを外すことにより点検手入れが可能である。

高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプモータの構造図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプモータ主要部位の使用材料を表 2.1-1 に、使用条件を表 2.1-2 に示す。



No.	部位	No.	部位
①	主軸	⑦	回転子棒
②	固定子コア	⑧	回転子エンドリング
③	固定子コイル	⑨	回転子コア
④	口出線・接続部品	⑩	軸受（転がり）
⑤	フレーム	⑪	エンドブラケット
⑥	端子箱	⑫	取付ボルト

図 2.1-1 浜岡 4 号機 高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプモータ構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプモータ主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
駆動機能の確保	エネルギー伝達	主軸	炭素鋼
	エネルギー変換	固定子コア	電磁鋼
		固定子コイル	銅, 絶縁物
		口出線・接続部品	銅, 絶縁物
		フレーム	鋳鉄
		端子箱	炭素鋼
		回転子棒	アルミニウム
		回転子エンドリング	アルミニウム
	軸支持	回転子コア	電磁鋼
		軸受 (転がり)	(消耗品)
		エンドブラケット	鋳鉄
機器の支持	支持	取付ボルト	炭素鋼

表 2.1-2 浜岡 4 号機 高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプモータの使用条件

定格出力	80 kW
定格電圧	440 V
回転数	1,750 rpm
周囲温度	35 °C以下*1

*1：屋外の設計値を示す

2.1.2 原子炉冷却材浄化ポンプモータ

(1) 構造

原子炉冷却材浄化ポンプモータは、定格出力 120 kW、回転数 3,490 rpm のキャンド形三相誘導モータであり、2 台設置されている。

a. 固定部

モータをポンプのスタンドに固定支持するフレーム内に固定子コアが挿入され、固定子コアには固定子コイルが保持されている。

また、フレーム両端面には回転子を支持するアダプタ及びリアカバーが取付けられ、内側には軸受が挿入されている。

フレーム外周には、固定子の冷却用に伝熱管（熱交換器）がある。また、その内部にはパージ水冷却用の伝熱管が内蔵されていて、冷却されたパージ水によりポンプモータ軸受の潤滑・冷却及び回転子の冷却を行う構造となっている。

b. 回転部

軸受（すべり）により支持される主軸に回転子コアが固定されている。

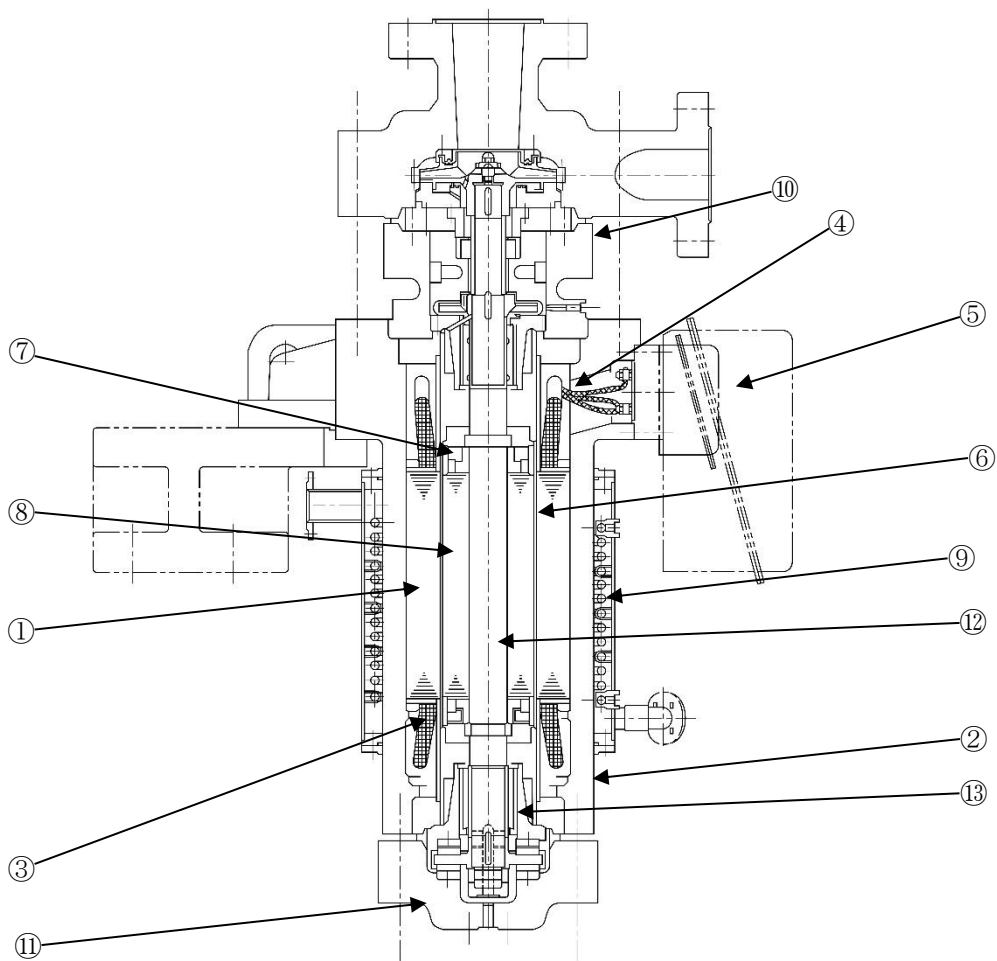
また、回転子コアには回転子棒が挿入され、その両端には回転子エンドリングが取付けられている。

なお、固定子や回転子は、フレーム、リアカバー及びアダプタ間の取付ボルトを緩め、リアカバー及びアダプタを取外すことにより点検手入れが可能である。

原子炉冷却材浄化ポンプモータの構造図を図 2.1-2 に示す。

(2) 材料及び使用条件

原子炉冷却材浄化ポンプモータ主要部位の使用材料を表 2.1-3 に、使用条件を表 2.1-4 に示す。



注：アダプタ・リアカバー・主軸・軸受（すべり）については「ポンプの技術評価書」のターボポンプの評価書を参照

No.	部位	No.	部位
①	固定子コア	⑧	回転子コア
②	フレーム	⑨	伝熱管（熱交換器）
③	固定子コイル	⑩	アダプタ
④	口出線・接続部品	⑪	リアカバー
⑤	端子箱	⑫	主軸
⑥	回転子棒	⑬	軸受（すべり）
⑦	回転子エンドリング		

図 2.1-2 浜岡 4 号機 原子炉冷却材浄化ポンプモータ構造図

表 2.1-3 浜岡 4 号機 原子炉冷却材浄化ポンプモータ主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
駆動機能の確保	エネルギー変換	固定子コア	電磁鋼
		フレーム	ステンレス鋼
		固定子コイル	銅, 絶縁物
		口出線・接続部品	銅, 絶縁物
		端子箱	炭素鋼
		回転子棒	銅
		回転子エンドリング	銅
		回転子コア	電磁鋼
	冷却部	伝熱管 (熱交換器)	ステンレス鋼

表 2.1-4 浜岡 4 号機 原子炉冷却材浄化ポンプモータの使用条件

定格出力	120 kW
定格電圧	440 V
回転数	3,490 rpm
周囲温度	40 °C以下*1

*1：原子炉冷却材浄化ポンプ室の設計値を示す

2.1.3 原子炉機器冷却水ポンプモータ

(1) 構造

原子炉機器冷却水ポンプモータは、定格出力 255 kW、回転数 1,770 rpm の開放形三相誘導モータであり、6 台設置されている。

a. 固定部

モータをベースに固定支持するフレーム内に固定子コアが挿入され、固定子コアには固定子コイルが保持されている。

また、フレーム両端面には回転子を支持するエンドブラケットが取付けられ、内側には軸受（転がり）が挿入されている。

b. 回転部

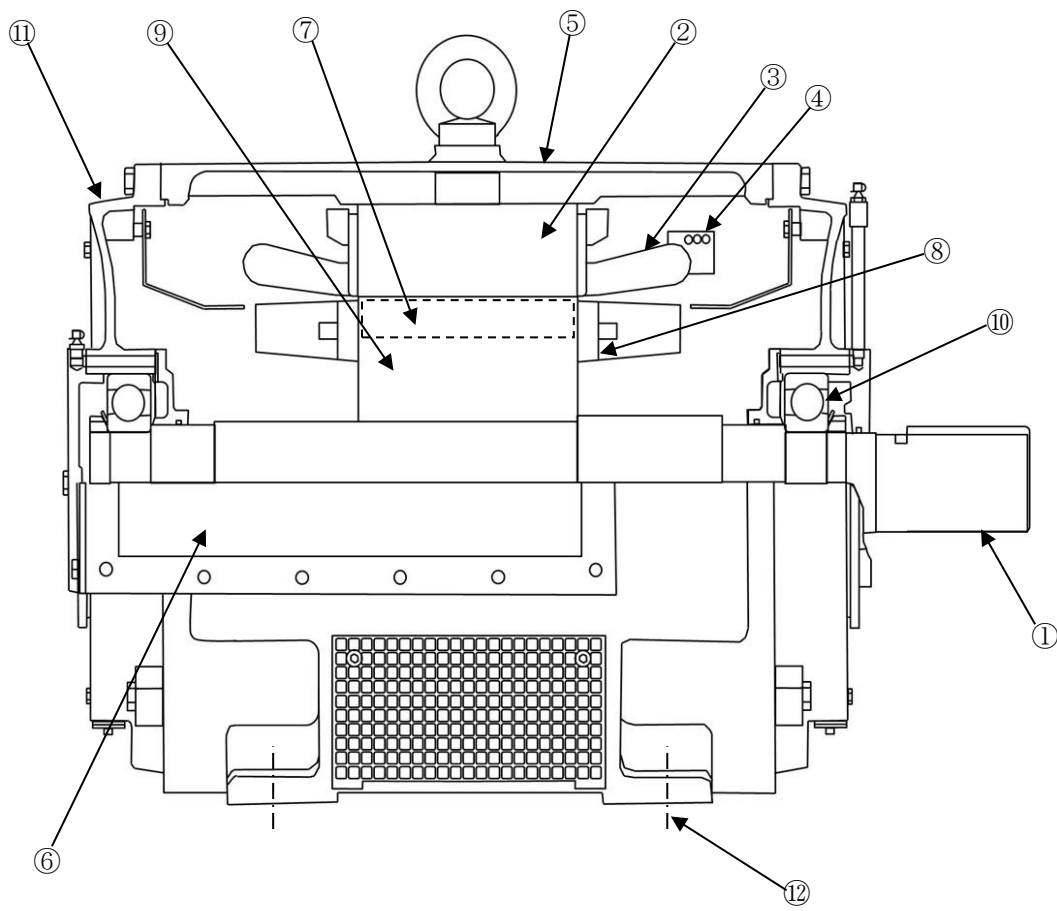
軸受（転がり）により支持される主軸には回転子コアが固定されている。

また、回転子コアには回転子棒が挿入され、その両端には回転子エンドリングがアルミダイキャストで一体成型されている。

原子炉機器冷却水ポンプモータの構造図を図 2.1-3 に示す。

(2) 材料及び使用条件

原子炉機器冷却水ポンプモータ主要部位の使用材料を表 2.1-5 に、使用条件を表 2.1-6 に示す。



No.	部位	No.	部位
①	主軸	⑦	回転子棒
②	固定子コア	⑧	回転子エンドリング
③	固定子コイル	⑨	回転子コア
④	口出線・接続部品	⑩	軸受（転がり）
⑤	フレーム	⑪	エンドブラケット
⑥	端子箱	⑫	取付ボルト

図 2.1-3 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却水ポンプモータ構造図

表 2.1-5 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却水ポンプモータ主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
駆動機能の確保	エネルギー伝達	主軸	炭素鋼
		エネルギー変換	固定子コア
	固定子コイル		銅, 絶縁物
	口出線・接続部品		銅, 絶縁物
	フレーム		鋳鉄
	端子箱		炭素鋼
	回転子棒		アルミニウム
	回転子エンドリング		アルミニウム
	回転子コア		電磁鋼
	軸支持	軸受 (転がり)	(消耗品)
エンドブラケット		鋳鉄	
機器の支持	支持	取付ボルト	炭素鋼

表 2.1-6 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却水ポンプモータの使用条件

定格出力	255 kW
定格電圧	440 V
回転数	1,770 rpm
周囲温度	40 °C以下*1

*1：原子炉機器冷却水ポンプ室の設計値を示す

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

低圧ポンプモータの機能（ポンプ送水機能）の達成に必要な項目は以下のとおり。

- ①駆動機能の確保
- ②機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

(1) 想定される経年劣化事象

低圧ポンプモータについて、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の材料、構造、設置場所、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、表 2.2-1 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

なお、消耗品及び定期取替品は次項のとおり評価対象外とする。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

軸受（転がり）は消耗品であり、設計時に長期使用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。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

- ①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）
- 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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

- a. 主軸の摩耗 [高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプモータ，原子炉機器冷却水ポンプモータ]

転がり軸受を使用している主軸は、軸受との接触面の摩耗が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検、軸寸法測定により設備の健全性を定期的に確認している。

- b. 固定子コア及び回転子コアの腐食（全面腐食） [共通]

固定子コア及び回転子コアは電磁鋼のため、腐食が想定される。しかしながら、固定子コア及び回転子コアには、絶縁ワニス処理が施されており、腐食の発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により、設備の健全性を定期的に確認している。

- c. フレーム及びエンドブラケットの腐食（全面腐食） [高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプモータ]

フレーム及びエンドブラケットは鋳鉄であり、屋外に設置されていることから腐食が想定される。しかしながら、塗装により腐食を防止しており、分解点検時における目視点検等で塗膜の状態を確認し、はく離が認められた場合は必要に応じて補修を行っている。

- d. フレーム及びエンドブラケットの腐食（全面腐食） [原子炉機器冷却水ポンプモータ]

フレーム及びエンドブラケットは鋳鉄であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検で塗膜の状態を確認し、はく離が認められた場合は必要に応じて補修を行っている。

- e. 端子箱の腐食（全面腐食） [高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプモータ]

端子箱は炭素鋼であり、屋外に設置されていることから腐食が想定される。しかしながら、塗装により腐食を防止しており、目視点検等で塗膜の状態を確認し、はく離が認められた場合は必要に応じて補修を行っている。

f. 端子箱の腐食（全面腐食）〔原子炉冷却材浄化ポンプモータ，原子炉機器冷却水ポンプモータ〕

端子箱は炭素鋼であり，腐食が想定される。しかしながら，屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検で塗膜の状態を確認し，はく離が認められた場合は必要に応じて補修を行っている。

g. 取付ボルトの腐食（全面腐食）〔高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプモータ〕

取付ボルトは炭素鋼であり，屋外に設置されていることから腐食が想定される。しかしながら，分解点検時における目視点検により，設備の健全性を定期的を確認している。

h. 取付ボルトの腐食（全面腐食）〔原子炉機器冷却水ポンプモータ〕

取付ボルトは炭素鋼であり，腐食が想定される。しかしながら，屋内空調環境下に設置されており，腐食が発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により，設備の健全性を定期的を確認している。

i. 主軸の高サイクル疲労割れ〔高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプモータ，原子炉機器冷却水ポンプモータ〕

主軸にはモータ運転時に繰返し応力が発生することから，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，主軸は設計段階において高サイクル疲労割れが発生しないように考慮された設計となっており，高サイクル疲労割れが発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により，設備の健全性を定期的を確認している。

j. 固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁特性低下〔共通〕

固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁物は有機物であるため，振動等による機械的要因，熱分解による熱的要因，埃等の異物付着による環境的要因による絶縁特性低下が想定される。しかしながら，固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁特性低下に対しては，点検時における目視点検，清掃及び絶縁抵抗測定により設備の健全性を定期的を確認している。

- (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事象を以下に示す（表 2.2-1 で▲）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても経年劣化の傾向が変化する要因があるとは考え難いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 回転子棒及び回転子エンドリングの疲労割れ [共通]

回転子棒及び回転子エンドリングは、モータ起動時における電磁力等による繰返し応力が発生することから、疲労割れが想定される。しかしながら、高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプモータ及び原子炉機器冷却水ポンプモータについては、回転子棒及び回転子エンドリングがアルミダイキャストで一体成型され、スロット内にアルミニウムが充満した状態で回転子棒が形成されているため、回転子棒とスロットの間に隙間や緩みは生じないことから、繰返し応力による疲労割れが発生する可能性は小さい。なお、アルミダイキャストの構造図を図 2.2-1 に示す。

また、原子炉冷却材浄化ポンプモータについては、図 2.2-2 に示すとおり回転子棒に回転子エンドリングが積層された一体構造となっており、回転子棒及び回転子エンドリングに応力を生じにくい設計となっていることから、疲労割れが発生する可能性は小さい。

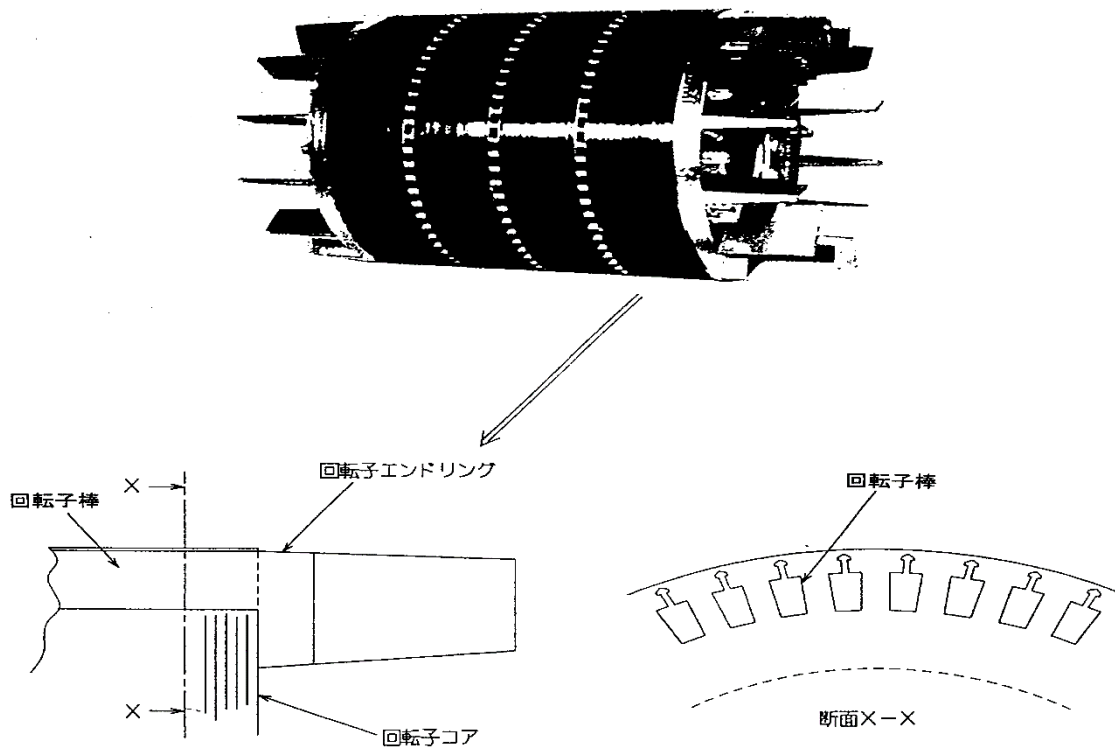


図 2.2-1 アルミダイキャスト回転子図

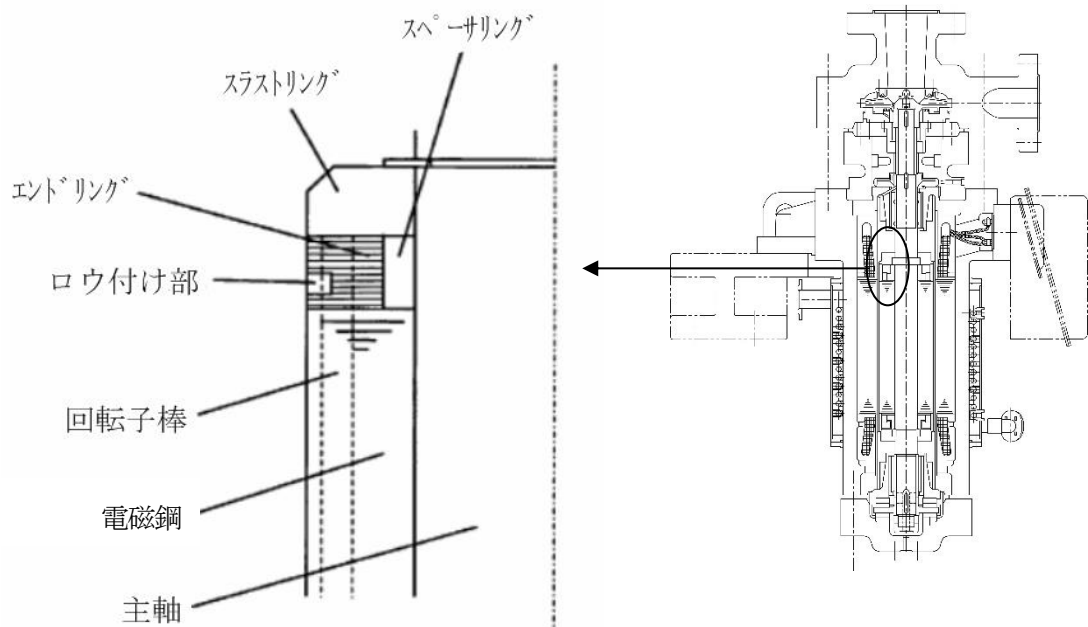


図 2.2-2 浜岡 4 号機 原子炉冷却材浄化ポンプモータ回転子エンドリング部構造

表 2.2-1(1/3) 浜岡 4 号機 高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプモータに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	その他	
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	信号特性変化		
駆動機能の確保	エネルギー伝達	主軸		炭素鋼	△		△*1						*1: 高サイクル疲労割れ
	エネルギー変換	固定子コア		電磁鋼		△							
		固定子コイル		銅, 絶縁物					△				
		口出線・接続部品		銅, 絶縁物					△				
		フレーム		鋳鉄		△							
		端子箱		炭素鋼		△							
		回転子棒・回転子エンドリング		アルミニウム				▲					
		回転子コア		電磁鋼		△							
	軸支持	軸受 (転がり)	◎										
エンドブラケット			鋳鉄		△								
機器の支持	支持	取付ボルト		炭素鋼		△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：（同上）（日常劣化管理事象以外）

表 2.2-1(2/3) 浜岡 4 号機 原子炉冷却材浄化ポンプモータに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	その他	
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	信号特性変化		
駆動機能の確保	エネルギー変換	固定子コア		電磁鋼		△							
		フレーム		ステンレス鋼									
		固定子コイル		銅, 絶縁物					△				
		口出線・接続部品		銅, 絶縁物					△				
		端子箱		炭素鋼		△							
		回転子棒・回転子エンドリング		銅, 銅合金				▲					
		回転子コア		電磁鋼		△							
	冷却部	伝熱管 (熱交換器)		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)

▲： (同上) (日常劣化管理事象以外)

表 2.2-1(3/3) 浜岡4号機 原子炉機器冷却水ポンプモータに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	その他	
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	特性変化		
駆動機能の確保	エネルギー伝達	主軸		炭素鋼	△		△*1						*1:高サイクル疲労割れ
	エネルギー変換	固定子コア		電磁鋼		△							
		固定子コイル		銅, 絶縁物					△				
		口出線・接続部品		銅, 絶縁物					△				
		フレーム		鋳鉄		△							
		端子箱		炭素鋼		△							
		回転子棒・回転子エンドリング		アルミニウム				▲					
		回転子コア		電磁鋼		△							
	軸支持	軸受(転がり)	◎										
エンドブラケット			鋳鉄		△								
機器の支持	支持	取付ボルト		炭素鋼		△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：（同上）（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的評価について、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を検討した。

- ① 原子炉冷却材浄化ホールディングポンプモータ
- ② 高圧炉心スプレイ機器冷却水ポンプモータ

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

代表機器同様に、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 主軸の摩耗 [高圧炉心スプレイ機器冷却水ポンプモータ]

代表機器同様、転がり軸受を使用している主軸は、軸受との接触面の摩耗が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検、軸寸法測定により設備の健全性を定期的に確認している。

b. 固定子コア及び回転子コアの腐食（全面腐食） [共通]

代表機器同様、固定子コア及び回転子コアは電磁鋼のため、腐食が想定される。しかしながら、固定子コア及び回転子コアには、絶縁ワニス処理が施されており、腐食の発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

c. フレーム及びエンドブラケットの腐食（全面腐食） [高圧炉心スプレイ機器冷却水ポンプモータ]

代表機器同様、フレーム及びエンドブラケットは鋳鉄であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検で塗膜の状態を確認し、はく離が認められた場合は必要に応じて補修を行っている。

d. 端子箱の腐食（全面腐食）〔共通〕

代表機器同様，端子箱は炭素鋼であり，腐食が想定される。しかしながら，屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検で塗膜の状態を確認し，はく離が認められた場合は必要に応じて補修を行っている。

e. 取付ボルトの腐食（全面腐食）〔高圧炉心スプレイ機器冷却水ポンプモータ〕

代表機器同様，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，屋内空調環境下に設置されており，腐食が発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

f. 主軸の高サイクル疲労割れ〔高圧炉心スプレイ機器冷却水ポンプモータ〕

代表機器同様，主軸にはモータ運転時に繰返し応力が発生することから，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，主軸は設計段階において高サイクル疲労割れが発生しないように考慮された設計となっており，高サイクル疲労割れが発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

g. 固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁特性低下〔共通〕

代表機器同様，固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁物は有機物であるため，振動等による機械的要因，熱分解による熱的要因，埃等の異物付着による環境的要因による絶縁特性低下が想定される。しかしながら，固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁特性低下に対しては，点検時における目視点検，清掃及び絶縁抵抗測定により設備の健全性を定期的を確認している。

- (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事象を以下に示す。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても経年劣化の傾向が変化する要因があるとは考え難いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 回転子棒及び回転子エンドリングの疲労割れ [共通]

代表機器同様、回転子棒及び回転子エンドリングは、モータ起動時における電磁力等による繰返し応力が発生することから、疲労割れが想定される。しかしながら、高圧炉心スプレイ機器冷却水ポンプモータについては、回転子棒及び回転子エンドリングがアルミダイキャストで一体成型され、スロット内にアルミニウムが充満した状態で回転子棒が形成されているため、回転子棒とスロット間に隙間や緩みは生じないことから、繰返し応力による疲労割れが発生する可能性は小さい。

また、原子炉冷却材浄化ホールディングポンプモータについては、回転子棒に回転子エンドリングが積層された一体構造となっており、回転子棒及び回転子エンドリングに応力を生じにくい設計となっていることから、疲労割れが発生する可能性は小さい。

以 上

浜岡原子力発電所 4 号機

容 器 の 技 術 評 価 書

[冷温停止状態が維持されることを前提とした評価]

中部電力株式会社

本評価書は、浜岡原子力発電所4号機（以下、「浜岡4号機」という。）における安全上重要な容器（重要度分類指針におけるPS-1, 2及びMS-1, 2に該当する機器）、原子炉格納容器外の高温・高圧の環境下にあるクラス3の容器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。

評価対象機器の一覧を表1に、機能を表2に示す。

評価対象機器を型式、内部流体、材料等で分類し、それぞれのグループから重要度及び使用条件等の観点で代表機器を選定し技術評価を行った後、代表以外の機器について評価を展開している。

本評価書は容器の型式等をもとに、以下の3分冊で構成されている。

1. 容器
2. 原子炉圧力容器
3. 原子炉格納容器
 - 3.1 原子炉格納容器本体
 - 3.2 電気ペネトレーション

なお、原子炉圧力容器と原子炉格納容器は、重要性及び特殊性を考慮し、容器と分けて単独で評価している。

また、空調設備の容器については「空調設備の技術評価書」、水圧制御ユニット、非常用ディーゼル機関、圧縮空気系設備の容器については「機械設備の技術評価書」に含め、それぞれ評価を実施するものとし本評価書には含まれていない。

なお、本文中の単位の記載は、SI単位系に基づくものとする（圧力の単位は特に注記がない限り、ゲージ圧力を示す）。

表1 評価対象機器一覧

種類	機器名称 (基数)		仕様	重要度*1
容器	スクラム排出容器(2)		全高 2,166 mm 外径 318.5 mm	高*2
	制御棒駆動水加熱器(1)		全高 2,500 mm 内径 589.6 mm	高*2
	原子炉機器冷却水サージタンク(2)		全高 4,381 mm 内径 2,800 mm	MS-1
	高圧炉心スプレー機器冷却水サージタンク(1)		全高 3,901 mm 内径 1,600 mm	MS-1
	非常用冷水系補給水タンク(2)		全高 1,858 mm 内径 800 mm	MS-1
	復水貯蔵槽(1)		縦 23,800 mm 横 8,800 mm 深さ 14,800 mm	MS-1
	燃料プール(1)		縦 15,320 mm 横 12,200 mm 深さ 11,920 mm	PS-2
	原子炉ウェル(1)		深さ 7,472 mm 内径 11,660 mm	PS-2
	原子炉室給排気隔離弁空気貯槽(4)		全長 1,450 mm 内径 1,000 mm	MS-1
	原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔(2)		全高 3,597 mm 内径 1,058 mm	PS-2
	制御棒駆動水フィルタ(2)		全高 1,315 mm 外径 216.3 mm	高*2
	原子炉機器冷却海水渦流ストレーナ(2)		全長 2,030 mm 外径 1,362 mm	MS-1
	高圧炉心スプレー機器冷却海水渦流ストレーナ(1)		全長 960 mm 外径 674 mm	MS-1
原子炉 圧力容器	原子炉圧力容器(1)		全高 22,975 mm 内径 6,420 mm	PS-1
原子炉 格納容器	原子炉格納 容器本体	原子炉格納容器(1)	ドライウェル 全高 38,250 mm 円筒部内径 23,900 mm サブプレッションチェンバ 中心径 39,200 mm 断面径 10,000 mm	MS-1
	電気ペネ レーション	モジュール型	—	MS-1

*1：最上位の重要度を示す

*2：最高使用温度が 95 °C を超え、又は最高使用圧力が 1,900 kPa を超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス 3 の機器

表2 評価対象機器機能一覧

機器名称	機能
スクラム排出容器	スクラム中に制御棒駆動機構から排出される水を貯蔵する。
制御棒駆動水加熱器	原子炉格納容器内の制御棒駆動水系配管が結露しないために、動作流体である復水を加熱させる。
原子炉機器冷却水サージタンク	原子炉機器冷却水系の冷却対象クーラ及び配管の設置位置より高い位置に設置し、冷却水及び配管の温度変化に伴う体積変化及び系統圧力の過渡変化を吸収する。
高圧炉心スプレイ機器冷却水サージタンク	高圧炉心スプレイ機器冷却水系の冷却対象クーラ及び配管の設置位置より高い位置に設置し、冷却水及び配管の温度変化に伴う体積変化及び系統圧力の過渡変化を吸収する。
非常用冷水系補給水タンク	非常用空調機器冷水系への補給水を供給又は冷水系内の水の熱膨張による水位変動を吸収する。
復水貯蔵槽	原子炉の安全停止、高温待機時に復水を必要とする各系統へ供給する復水を貯蔵する。
燃料プール	使用済燃料及び制御棒の貯蔵を行う。さらに、プール内で燃料チャンネルの取替え等も行う。
原子炉ウェル	燃料の取替え時に水を満たし、原子炉圧力容器から燃料を取出す。
原子炉室給排気隔離弁空気貯槽	原子炉室給排気隔離弁駆動用の空気を貯蔵する。
原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔	原子炉冷却材に含まれる溶解性、不溶解性不純物をイオン交換樹脂により除去する。
制御棒駆動水フィルタ	制御棒駆動水ポンプから水圧系に入ってくる錆、スケール等の異物を除去する。
原子炉機器冷却海水渦流ストレーナ	原子炉機器冷却海水ポンプ出口ラインに設置され、取水した海水内の異物を除去する。
高圧炉心スプレイ機器冷却海水渦流ストレーナ	高圧炉心スプレイ機器冷却海水ポンプ出口ラインに設置され、取水した海水内の異物を除去する。
原子炉圧力容器	原子炉の燃料及び炉心構造物を収容し、純水（原子炉冷却材）を加熱して蒸気を発生させる。
原子炉格納容器	原子炉圧力容器と冷却系統等を収納する。また、仮に原子炉の事故や冷却系の事故等により原子炉冷却材圧力バウンダリから放射性物質が放出した場合、環境へ放出されるのを防ぐ。

1 容 器

[対象機器]

- ① スクラム排出容器
- ② 制御棒駆動水加熱器
- ③ 原子炉機器冷却水サージタンク
- ④ 高圧炉心スプレイ機器冷却水サージタンク
- ⑤ 非常用冷水系補給水タンク
- ⑥ 復水貯蔵槽
- ⑦ 燃料プール
- ⑧ 原子炉ウェル
- ⑨ 原子炉室給排気隔離弁空気貯槽
- ⑩ 原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔
- ⑪ 制御棒駆動水フィルタ
- ⑫ 原子炉機器冷却海水渦流ストレーナ
- ⑬ 高圧炉心スプレイ機器冷却海水渦流ストレーナ

目 次

1.	対象機器及び代表機器の選定	1
1.1	グループ化の考え方及び結果	1
1.2	代表機器の選定	1
2.	代表機器の技術評価	4
2.1	構造, 材料及び使用条件	4
2.1.1	スクラム排出容器	4
2.1.2	制御棒駆動水加熱器	7
2.1.3	原子炉機器冷却水サージタンク	10
2.1.4	復水貯蔵槽	13
2.1.5	原子炉室給排気隔離弁空気貯槽	16
2.1.6	原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔	19
2.1.7	制御棒駆動水フィルタ	22
2.1.8	原子炉機器冷却海水渦流ストレーナ	25
2.2	経年劣化事象の抽出	28
2.2.1	機器の機能達成に必要な項目	28
2.2.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	28
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	29
3.	代表機器以外への展開	40
3.1	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	40
3.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	41

1. 対象機器及び代表機器の選定

容器（原子炉圧力容器，原子炉格納容器を除く）の主な仕様を表 1-1 に示す。

これらの容器をグループ化し，それぞれのグループより代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

種類，内部流体，材料を分類基準とし，容器を表 1-1 に示すとおりグループ化する。

1.2 代表機器の選定

表 1-1 に分類したグループ毎に，原則として重要度，最高使用温度，最高使用圧力の観点から代表機器を選定する。

(1) タンク（内部流体：純水，胴部材料：炭素鋼）

このグループにはスクラム排出容器のみが属するため，スクラム排出容器を代表機器とする。

(2) タンク（内部流体：純水，胴部材料：ステンレス鋼）

このグループには制御棒駆動水加熱器のみが属するため，制御棒駆動水加熱器を代表機器とする。

(3) タンク（内部流体：冷却水，胴部材料：炭素鋼）

このグループには原子炉機器冷却水サージタンク，高圧炉心スプレイ機器冷却水サージタンク，非常用冷水系補給水タンクが属するが，重要度，容量の観点から原子炉機器冷却水サージタンクを代表機器とする。

(4) ライニング槽（内部流体：純水，胴部材料：コンクリート（ステンレス鋼内張））

このグループには復水貯蔵槽，燃料プール及び原子炉ウェルが属するが，重要度の観点から復水貯蔵槽を代表機器とする。

(5) アキュムレータ（内部流体：その他ガス，胴部材料：炭素鋼）

このグループには原子炉室給排気隔離弁空気貯槽のみが属するため，原子炉室給排気隔離弁空気貯槽を代表機器とする。

(6) フィルタ等（内部流体：純水，胴部材料：炭素鋼）

このグループには原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔のみが属するため，原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔を代表機器とする。

(7) フィルタ等（内部流体：純水，胴部材料：ステンレス鋼）

このグループには制御棒駆動水フィルタのみが属するため，制御棒駆動水フィルタを代表機器とする。

(8) フィルタ等（内部流体：海水，胴部材料：炭素鋼）

このグループには原子炉機器冷却海水渦流ストレーナ及び高圧炉心スプレイ機器冷却海水渦流ストレーナが属するが，口径の観点から原子炉機器冷却海水渦流ストレーナを代表機器とする。

表 1-1 浜岡 4 号機 容器のグループ化及び代表機器の選定

分類基準			機器名称 (基数)	選定基準			選定	選定理由
種類	内部流体	胴部材料		重要度*1	使用条件			
					最高使用温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)		
タンク	純水	炭素鋼	スクラム排出容器(2)	高*2	138	8.62	◎	
		ステンレス鋼	制御棒駆動水加熱器(1)	高*2	180	0.98	◎	
	冷却水*3	炭素鋼	原子炉機器冷却水サージタンク(2)	MS-1	70	静水頭	◎	重要度 容量*4
			高圧炉心スプレイ機器冷却水サージタンク(1)	MS-1	70	静水頭		
非常用冷水系補給水タンク(2)	MS-1		66	静水頭				
ライニング槽	純水	コンクリート (ステンレス鋼 内張)	復水貯蔵槽(1)	MS-1	66	静水頭	◎	重要度
			燃料プール(1)	PS-2	66	静水頭		
			原子炉ウェル(1)	PS-2	66	静水頭		
アキュムレータ	その他ガス	炭素鋼	原子炉室給排気隔離弁空気貯槽(4)	MS-1	66	0.86	◎	
フィルタ等	純水	炭素鋼	原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔(2)	PS-2	66	10.20	◎	
		ステンレス鋼	制御棒駆動水フィルタ(2)	高*2	66	13.83	◎	
	海水	炭素鋼	原子炉機器冷却海水渦流ストレーナ(2)	MS-1	50	0.59	◎	口径*5
			高圧炉心スプレイ機器冷却海水 渦流ストレーナ(1)	MS-1	50	0.59		

*1：最上位の重要度を示す

*2：最高使用温度が 95 °C を超え、又は最高使用圧力が 1,900 kPa 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：冷却水（防錆剤入り純水）を示す

*4：容量は、原子炉機器冷却水サージタンクが 25 m³、高圧炉心スプレイ機器冷却水サージタンクが 7.3 m³、非常用冷水系補給水タンクが 450 L

*5：口径は、原子炉機器冷却海水渦流ストレーナが 800 A、高圧炉心スプレイ機器冷却海水渦流ストレーナが 350 A

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容器について技術評価を実施する。

- ① スクラム排出容器
- ② 制御棒駆動水加熱器
- ③ 原子炉機器冷却水サージタンク
- ④ 復水貯蔵槽
- ⑤ 原子炉室給排気隔離弁空気貯槽
- ⑥ 原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔
- ⑦ 制御棒駆動水フィルタ
- ⑧ 原子炉機器冷却海水渦流ストレーナ

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 スクラム排出容器

(1) 構造

スクラム排出容器はたて置円筒形の密閉型容器であり、2基設置されている。胴は炭素鋼であり、純水を内包している。

スクラム排出容器の構造図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

スクラム排出容器主要部位の使用材料を表 2.1-1 に、使用条件を表 2.1-2 に示す。

No.	部位
①	胴
②	鏡板

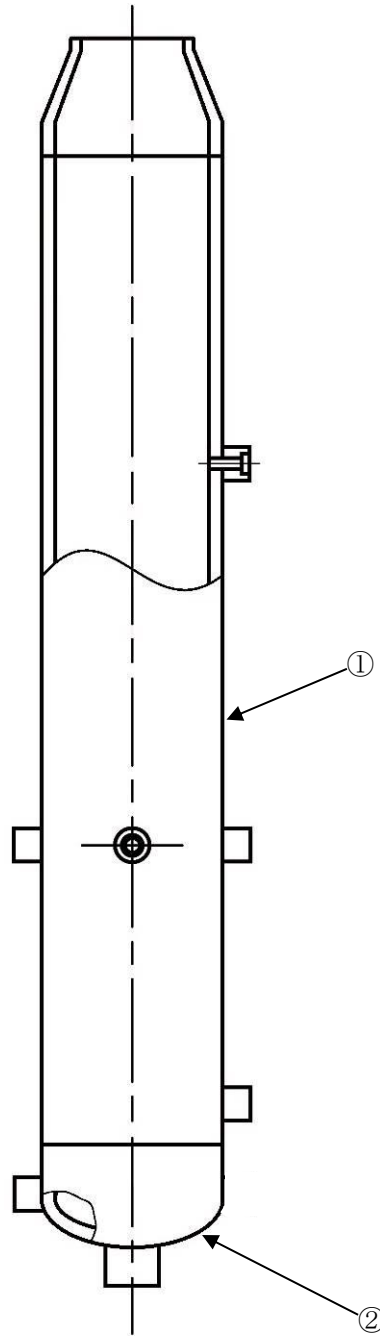


図 2.1-1 浜岡 4 号機 スクラム排出容器構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 スクラム排出容器主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	胴	炭素鋼
		鏡板	炭素鋼

表 2.1-2 浜岡 4 号機 スクラム排出容器の使用条件

最高使用圧力	8.62 MPa
最高使用温度	138 °C
主要寸法	全高：2,166 mm 外径：318.5 mm
内部流体	純水

2.1.2 制御棒駆動水加熱器

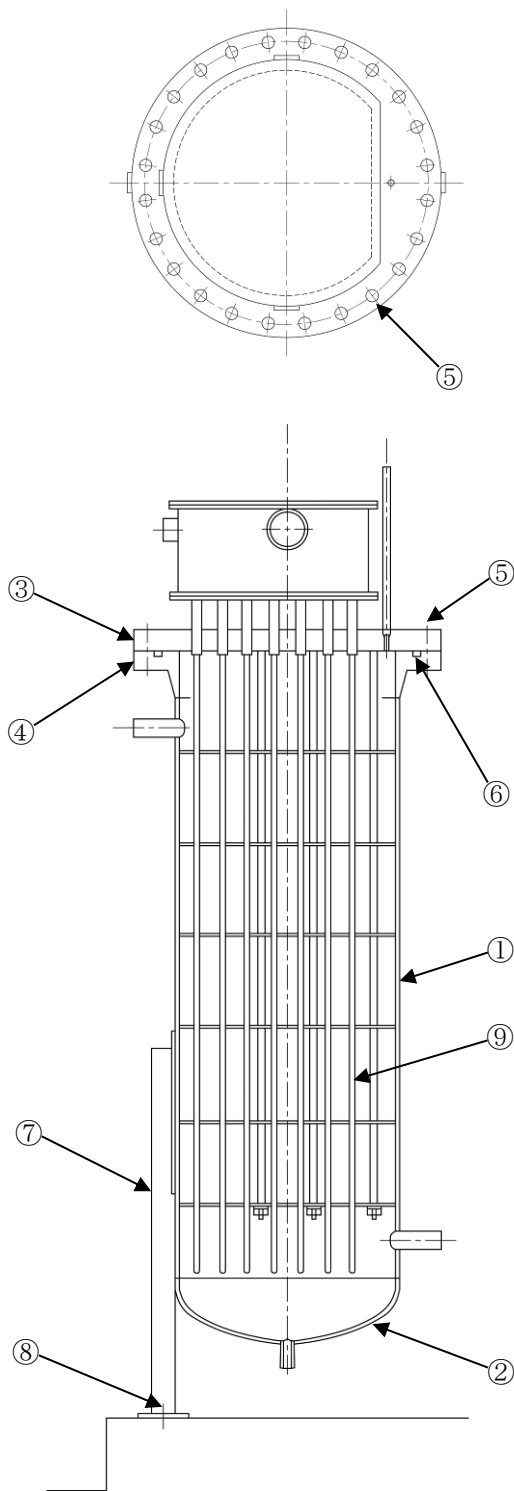
(1) 構造

制御棒駆動水加熱器はたて置円筒形の容器であり、1基設置されている。胴はステンレス鋼であり、純水を内包している。制御棒駆動水加熱器は、上部に設置されている平板を取外すことにより、開放が可能である。また、被加熱物を直接加熱する電気ヒータが6回路組み込まれている(6回路中1回路は予備ヒータ)。

制御棒駆動水加熱器の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

制御棒駆動水加熱器主要部位の使用材料を表2.1-3に、使用条件を表2.1-4に示す。



No.	部位
①	胴
②	鏡板
③	平板
④	フランジ
⑤	フランジボルト
⑥	Oリング
⑦	支持脚
⑧	基礎ボルト
⑨	電気ヒータ

図 2.1-2 浜岡 4 号機 制御棒駆動水加熱器構造図

表 2.1-3 浜岡 4 号機 制御棒駆動水加熱器主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	胴	ステンレス鋼
		鏡板	ステンレス鋼
		平板	ステンレス鋼
		フランジ	ステンレス鋼
		フランジボルト	低合金鋼
	シール	O リング	(消耗品)
機器の支持	支持	支持脚	炭素鋼
		基礎ボルト	炭素鋼
その他	その他	電気ヒータ	発熱線, 絶縁物, ステンレス鋼 ^{*1}

*1 : ヒータシース部材料

表 2.1-4 浜岡 4 号機 制御棒駆動水加熱器の使用条件

最高使用圧力	0.98 MPa
最高使用温度	180 °C
主要寸法	全高 : 2,500 mm 内径 : 589.6 mm
内部流体	純水

2.1.3 原子炉機器冷却水サージタンク

(1) 構造

原子炉機器冷却水サージタンクはたて置円筒形の容器であり、2基設置されている。胴は炭素鋼で内面にエポキシ塗装がされており、冷却水（防錆剤入り）を内包している。原子炉機器冷却水サージタンクは、上部に設置されているマンホール蓋を取外すことにより、開放が可能である。

原子炉機器冷却水サージタンクの構造図を図 2.1-3 に示す。

(2) 材料及び使用条件

原子炉機器冷却水サージタンク主要部位の使用材料を表 2.1-5 に、使用条件を表 2.1-6 に示す。

No.	部位
①	胴
②	底板
③	屋根板
④	マンホール蓋
⑤	マンホール蓋取付ボルト
⑥	ガスケット
⑦	基礎ボルト

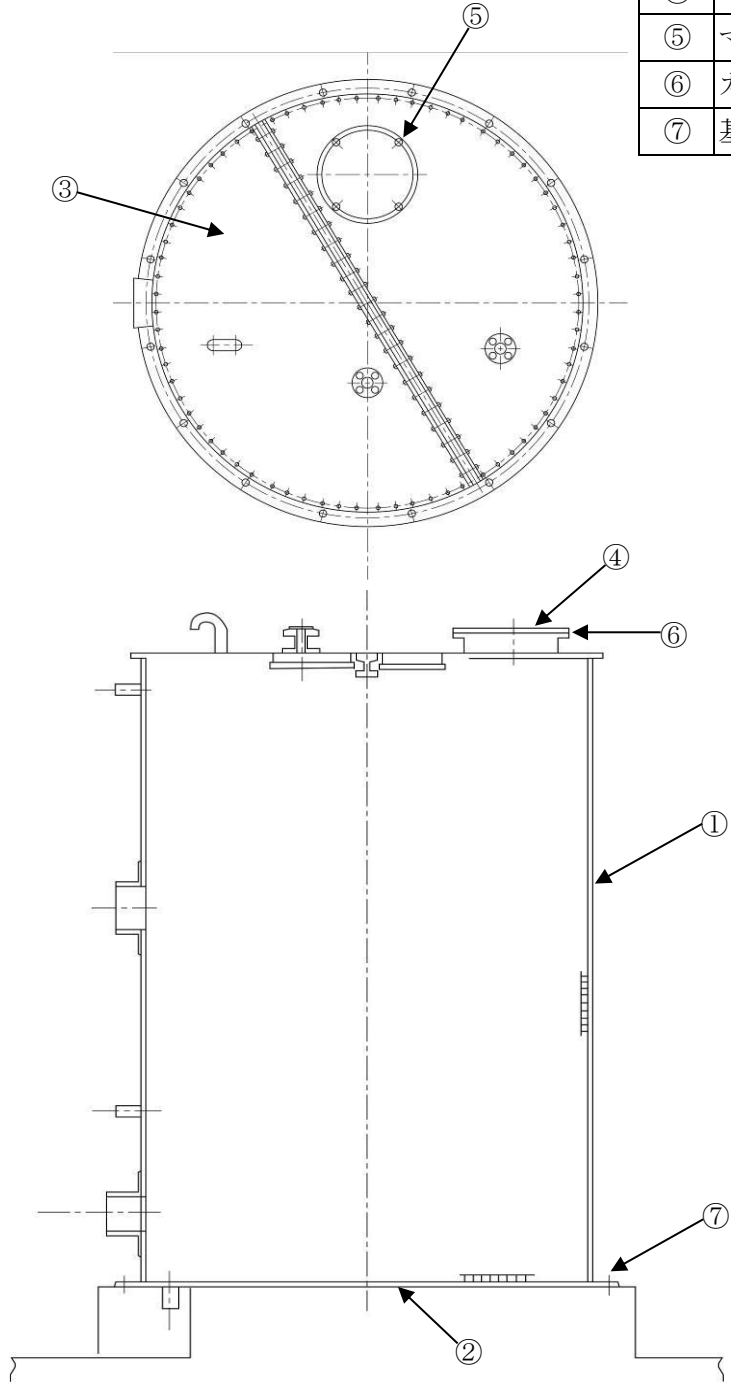


図 2.1-3 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却水サージタンク構造図

表 2.1-5 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却水サージタンク主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	胴	炭素鋼 (内面エポキシ塗装)
		底板	炭素鋼 (内面エポキシ塗装)
		屋根板	炭素鋼 (内面エポキシ塗装)
		マンホール蓋	炭素鋼 (内面エポキシ塗装)
		マンホール蓋取付ボルト	炭素鋼
	シール	ガスケット	(消耗品)
機器の支持	支持	基礎ボルト	炭素鋼

表 2.1-6 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却水サージタンクの使用条件

最高使用圧力	静水頭
最高使用温度	70 °C
主要寸法	全高 : 4,381 mm 内径 : 2,800 mm
内部流体	冷却水 (防錆剤入り)

2.1.4 復水貯蔵槽

(1) 構造

復水貯蔵槽はライニング槽であり，1基設置されている。本体は鉄筋コンクリート製であり，漏えい防止のためステンレス鋼が内張りされており，純水を内包している。復水貯蔵槽は，上部に設置されているマンホール蓋を取外すことにより，開放が可能である。

復水貯蔵槽の構造図を図 2.1-4 に示す。

(2) 材料及び使用条件

復水貯蔵槽主要部位の使用材料を表 2.1-7 に，使用条件を表 2.1-8 に示す。

No.	部位
①	本体
②	マンホール蓋

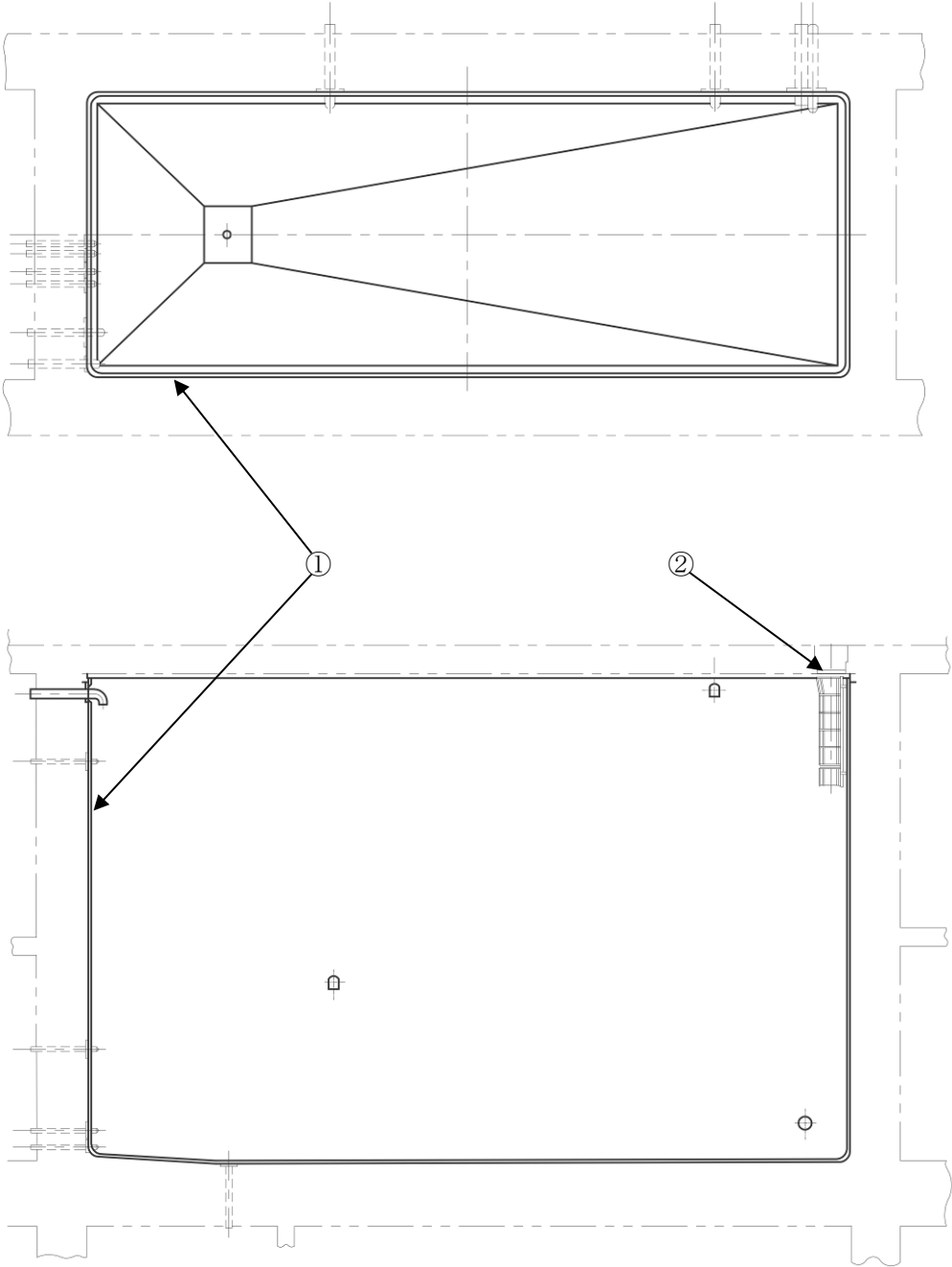


図 2.1-4 浜岡 4 号機 復水貯蔵槽構造図

表 2.1-7 浜岡 4 号機 復水貯蔵槽主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	本体	コンクリート(ステンレス鋼内張)
		マンホール蓋	ステンレス鋼

表 2.1-8 浜岡 4 号機 復水貯蔵槽使用条件

最高使用圧力	静水頭
最高使用温度	66 °C
主要寸法	縦 : 23,800 mm 横 : 8,800 mm 深さ : 14,800 mm
内部流体	純水

2.1.5 原子炉室給排気隔離弁空気貯槽

(1) 構造

原子炉室給排気隔離弁空気貯槽は円筒形の容器であり、4基設置されている。胴は炭素鋼であり、ガス（空気）を内包している。

原子炉室給排気隔離弁空気貯槽の構造図を図 2.1-5 に示す。

(2) 材料及び使用条件

原子炉室給排気隔離弁空気貯槽主要部位の使用材料を表 2.1-9 に、使用条件を表 2.1-10 に示す。

No.	部位
①	胴
②	マンホール蓋
③	マンホール蓋取付ボルト
④	ガスケット
⑤	支持脚
⑥	基礎ボルト

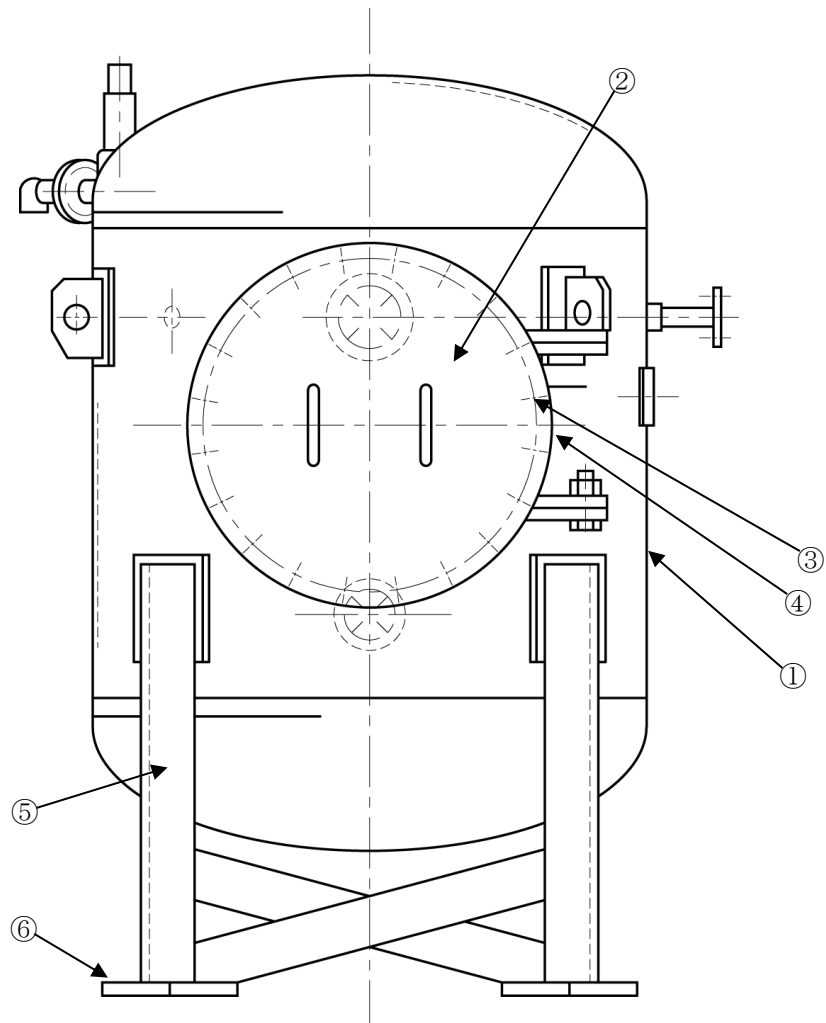


図 2.1-5 浜岡 4 号機 原子炉室給排気隔離弁空気貯槽構造図

表 2.1-9 浜岡 4 号機 原子炉室給排気隔離弁空気貯槽主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	胴	炭素鋼
		マンホール蓋	炭素鋼
		マンホール蓋取付ボルト	炭素鋼
	シール	ガスケット	(消耗品)
機器の支持	支持	支持脚	炭素鋼
		基礎ボルト	炭素鋼

表 2.1-10 浜岡 4 号機 原子炉室給排気隔離弁空気貯槽の使用条件

最高使用圧力	0.86 MPa
最高使用温度	66 °C
主要寸法	全長：1,450 mm 内径：1,000 mm
内部流体	ガス（空気）

2.1.6 原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔

(1) 構造

原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔はたて置円筒形の容器であり、2基設置されている。胴は炭素鋼（ステンレス鋼クラッド）であり、純水を内包している。原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔は、フランジカバーを取外すことにより内部の点検が可能である。

原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔の構造図を図 2.1-6 に示す。

(2) 材料及び使用条件

原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔主要部位の使用材料を表 2.1-11 に、使用条件を表 2.1-12 に示す。

No.	部位
①	胴
②	鏡板
③	フランジカバー
④	フランジ
⑤	フランジボルト
⑥	ガスケット
⑦	支持脚
⑧	基礎ボルト
⑨	管板
⑩	エレメント

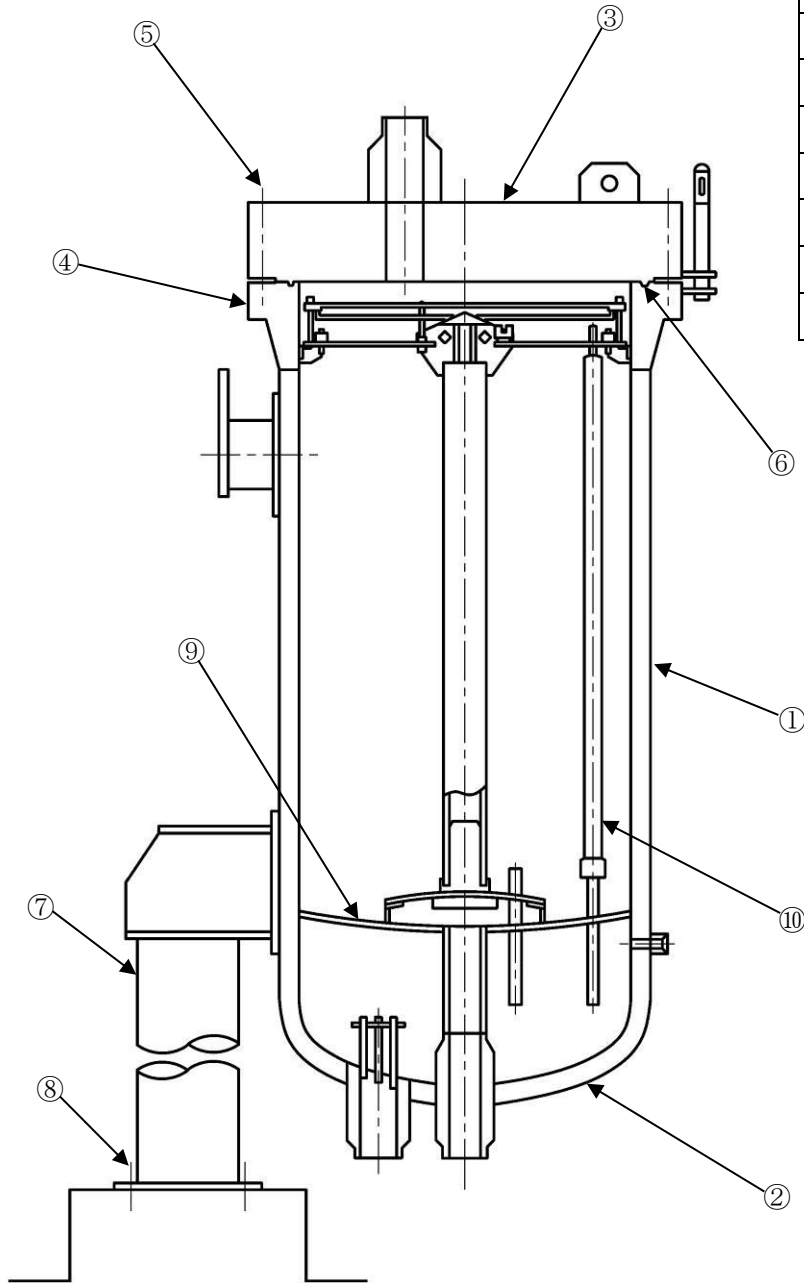


図 2.1-6 浜岡 4 号機 原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔構造図

表 2.1-11 浜岡 4 号機 原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	胴	炭素鋼 (ステンレス鋼クラッド)
		鏡板	炭素鋼 (ステンレス鋼クラッド)
		フランジカバー	炭素鋼 (ステンレス鋼クラッド)
		フランジ	炭素鋼 (ステンレス鋼クラッド)
		フランジボルト	低合金鋼
	シール	ガスケット	(消耗品)
機器の支持	支持	支持脚	炭素鋼
		基礎ボルト	炭素鋼
その他	その他	管板	ステンレス鋼
		エレメント	ステンレス鋼

表 2.1-12 浜岡 4 号機 原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔の使用条件

最高使用圧力	10.20 MPa
最高使用温度	66 °C
主要寸法	全高 : 3,597 mm 内径 : 1,058 mm
内部流体	純水

2.1.7 制御棒駆動水フィルタ

(1) 構造

制御棒駆動水フィルタはたて置円筒形の容器であり、2基設置されている。胴はステンレス鋼であり、純水を内包している。制御棒駆動水フィルタは、フランジカバーを取外すことにより内部の点検が可能である。

制御棒駆動水フィルタの構造図を図 2.1-7 に示す。

(2) 材料及び使用条件

制御棒駆動水フィルタ主要部位の使用材料を表 2.1-13 に、使用条件を表 2.1-14 に示す。

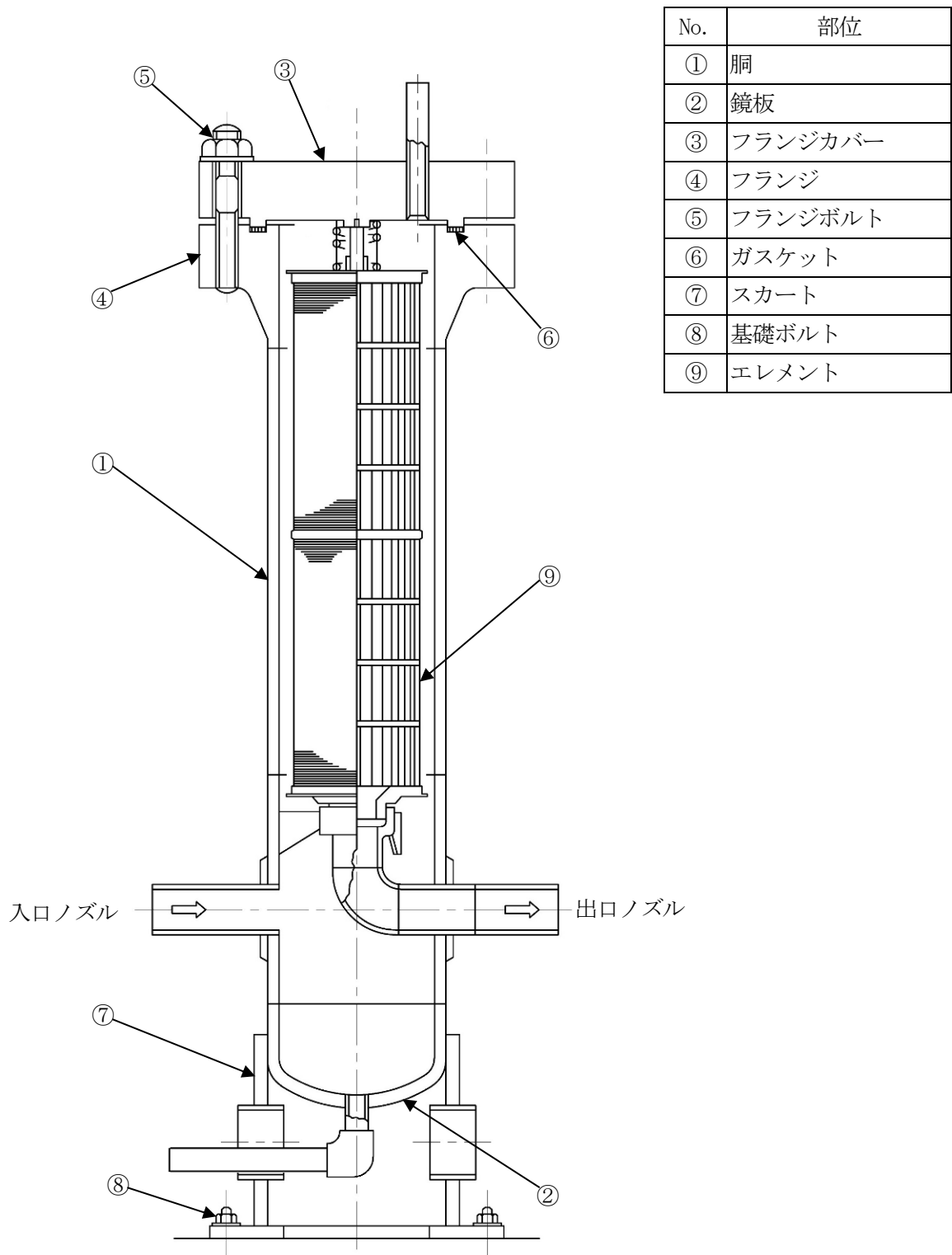


図 2.1-7 浜岡 4 号機 制御棒駆動水フィルタ構造図

表 2.1-13 浜岡 4 号機 制御棒駆動水フィルタ主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	胴	ステンレス鋼
		鏡板	ステンレス鋼
		フランジカバー	ステンレス鋼
		フランジ	ステンレス鋼
		フランジボルト	低合金鋼
	シール	ガスケット	(消耗品)
機器の支持	支持	スカート	ステンレス鋼
		基礎ボルト	炭素鋼
その他	その他	エレメント	ステンレス鋼

表 2.1-14 浜岡 4 号機 制御棒駆動水フィルタの使用条件

最高使用圧力	13.83 MPa
最高使用温度	66 °C
主要寸法	全高：1,315 mm 外径：216.3 mm
内部流体	純水

2.1.8 原子炉機器冷却海水渦流ストレーナ

(1) 構造

原子炉機器冷却海水渦流ストレーナは渦流式ストレーナであり、2基設置されている。ボディは炭素鋼であり、海水を内包している。原子炉機器冷却海水渦流ストレーナは、フランジカバーを取外すことにより内部の点検が可能である。

原子炉機器冷却海水渦流ストレーナの構造図を図 2.1-8 に示す。

(2) 材料及び使用条件

原子炉機器冷却海水渦流ストレーナ主要部位の使用材料を表 2.1-15 に、使用条件を表 2.1-16 に示す。

No.	部位
①	ボディ
②	フランジカバー
③	フランジボルト
④	ガスケット
⑤	支持脚
⑥	基礎ボルト
⑦	ストレーナ
⑧	流電陽極板

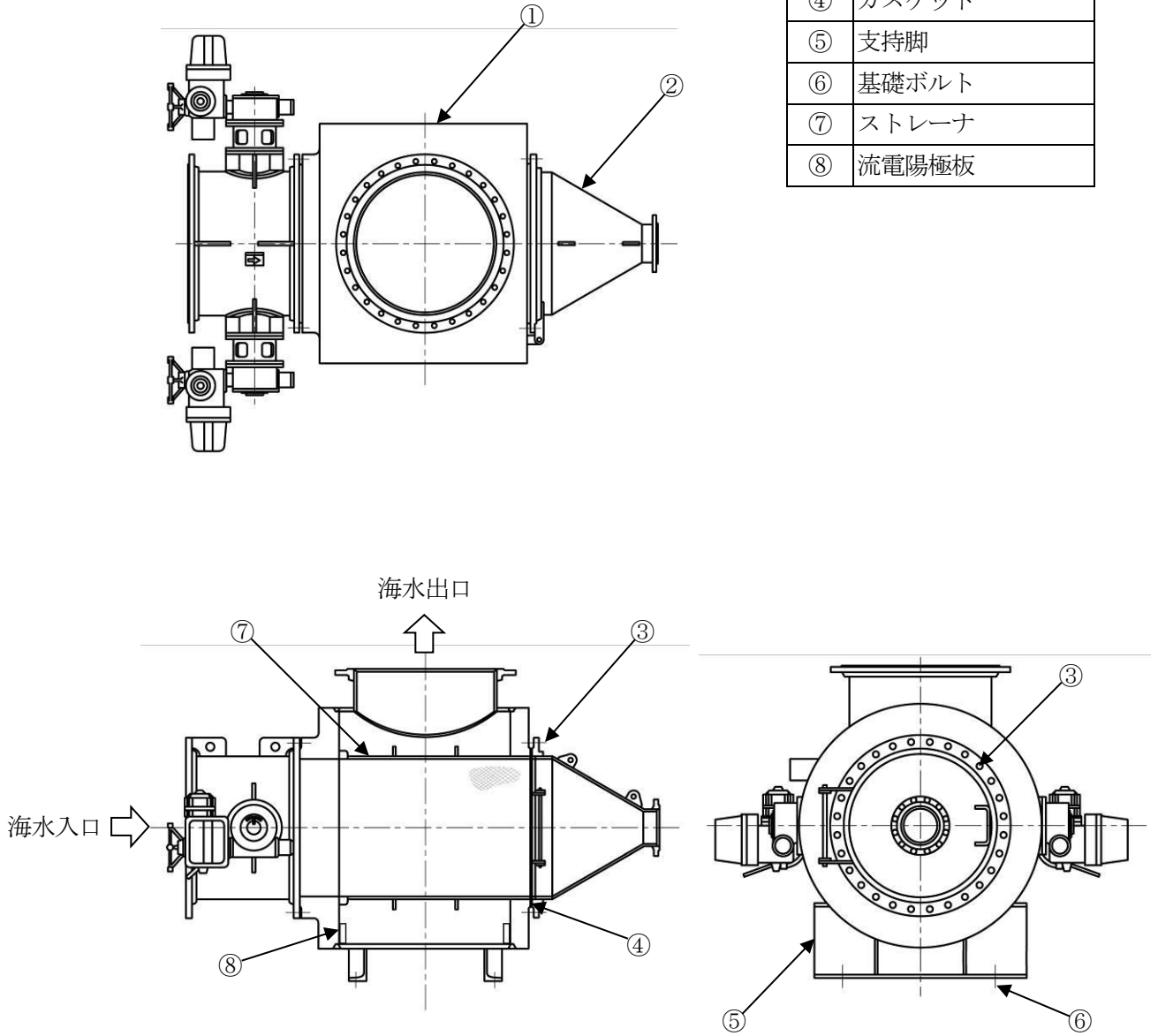


図 2.1-8 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却海水渦流ストレーナ構造図

表 2.1-15 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却海水渦流ストレーナ主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	ボディ	炭素鋼（内面樹脂ライニング）
		フランジカバー	炭素鋼（内面樹脂ライニング）
		フランジボルト	低合金鋼
	シール	ガスケット	（消耗品）
機器の支持	支持	支持脚	炭素鋼
		基礎ボルト	炭素鋼
その他	その他	ストレーナ	ステンレス鋼
		流電陽極板	亜鉛 ^{*1}

*1：消耗品

表 2.1-16 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却海水渦流ストレーナの使用条件

最高使用圧力	0.59 MPa
最高使用温度	50 °C
主要寸法	全長：2,030 mm 外径：1,362 mm
内部流体	海水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

容器の機能である貯蔵機能の達成に必要な項目は以下のとおり。

- ①バウンダリの維持
- ②機器の支持
- ③その他

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

(1) 想定される経年劣化事象

容器について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の材料、構造、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表 2.2-1 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

なお、消耗品及び定期取替品は次項のとおり評価対象外とする。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

ガスケット、Oリング、流電陽極板は消耗品であり、設計時に長期使用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。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3項に示すとおり、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。

- ①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）
- 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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上注目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

- a. 胴、鏡板等の内面の腐食（全面腐食）〔原子炉機器冷却水サージタンク，原子炉室給排気隔離弁空気貯槽，原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔〕

原子炉機器冷却水サージタンクの胴，底板，屋根板及びマンホール蓋は炭素鋼であり，内部流体が冷却水であることから，腐食が想定される。しかしながら，内面はエポキシ塗装を施していることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，開放点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

原子炉室給排気隔離弁空気貯槽の胴，マンホール蓋は炭素鋼であり，腐食が想定される。しかしながら，内部流体は除湿空気であることから腐食が発生する可能性は小さい。また，開放点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔の胴，鏡板，フランジカバー及びフランジは炭素鋼であり，内部流体が純水であることから腐食が想定される。しかしながら，内面はステンレス鋼クラッドを施していることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，開放点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- b. 取付ボルト等の腐食（全面腐食）〔制御棒駆動水加熱器，原子炉機器冷却水サージタンク，原子炉室給排気隔離弁空気貯槽，原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔，制御棒駆動水フィルタ，原子炉機器冷却海水渦流ストレーナ〕

マンホール蓋取付ボルト及びフランジボルトは炭素鋼又は低合金鋼であり，腐食が想定される。しかしながら，屋内空調環境下に設置されており，腐食が発生する可能性は小さい。また，開放点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- c. 支持脚の腐食（全面腐食）〔制御棒駆動水加熱器，原子炉室給排気隔離弁空気貯槽，原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔，原子炉機器冷却海水渦流ストレーナ〕

制御棒駆動水加熱器，原子炉室給排気隔離弁空気貯槽，原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔及び原子炉機器冷却海水渦流ストレーナの支持脚は炭素鋼であり腐食が想定される。しかしながら，外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，外観点検時又は開放点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- d. 胴、鏡板等の外面の腐食（全面腐食）〔スクラム排出容器，原子炉機器冷却水サージタンク，原子炉室給排気隔離弁空気貯槽，原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔，原子炉機器冷却海水渦流ストレーナ〕

スクラム排出容器の胴及び鏡板，原子炉機器冷却水サージタンクの胴，底板，屋根板及びマンホール蓋，原子炉室給排気隔離弁空気貯槽の胴及びマンホール蓋，原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔の胴，鏡板，フランジカバー及びフランジ並びに原子炉機器冷却海水渦流ストレーナのボディ及びフランジカバーは炭素鋼であり，腐食が想定される。しかしながら，外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，外観点検時又は開放点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

- e. ボディ，フランジカバー及びストレーナの腐食（孔食，隙間腐食）〔原子炉機器冷却海水渦流ストレーナ〕

原子炉機器冷却海水渦流ストレーナのボディ及びフランジカバーは炭素鋼，ストレーナはステンレス鋼であり，内部流体が海水である。海水中には塩化物イオンが存在し，金属成分がイオン化することにより腐食（孔食，隙間腐食）が想定される。しかしながら，ストレーナは流電陽極板による防食処置が施され，ボディ及びフランジカバーは樹脂ライニングにより腐食を防止していることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，開放点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

- f. 胴，鏡板等の貫粒型応力腐食割れ〔制御棒駆動水加熱器，復水貯蔵槽，制御棒駆動水フィルタ〕

制御棒駆動水加熱器の胴，鏡板，平板及びフランジ，復水貯蔵槽のマンホール蓋並びに制御棒駆動水フィルタの胴，鏡板，フランジカバー，フランジ及びスカートはステンレス鋼であり，外表面に塩分が付着することに起因する貫粒型応力腐食割れが想定される。しかしながら，付着塩分量を維持管理基準以下に管理するため代表ポイントにおける付着塩分量測定を実施している。清掃基準を超えた場合には清掃を計画するとともに，目視点検を実施し，必要に応じて補修又は取替えを行うことで設備の健全性を定期的を確認している。

- g. 胴，鏡板等の粒界型応力腐食割れ〔制御棒駆動水加熱器〕

制御棒駆動水加熱器の胴，鏡板，平板及びフランジはステンレス鋼であり，内部流体が 100℃以上であることから粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら，通常使用温度は 100℃以下であり，粒界型応力腐食割れが発生する可能性は小さい。また，開放点検時における目視点検及び浸透探傷試験により設備の健全性を定期的を確認している。

h. 電気ヒータの絶縁特性低下 [制御棒駆動水加熱器]

電気ヒータはシースヒータであり、絶縁特性低下が想定される。しかしながら、絶縁体がパイプ中に納められており、パイプ外部から遮断されていることから、絶縁特性が低下する可能性は小さい。また、ヒータの絶縁特性低下に対しては、開放点検時にヒータの絶縁抵抗測定及び保護パイプの目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

i. 電気ヒータの断線 [制御棒駆動水加熱器]

電気ヒータはシースヒータであり、発熱線にはニクロム線が使用されており、湿分等の浸入が生じると腐食による断線が想定される。しかしながら、発熱線はステンレス鋼のパイプの中に絶縁物と共に封入された構造となっており、通常の使用状態においては、冷却水や外気の湿分が浸入する可能性は小さい。また、開放点検時に絶縁抵抗測定により設備の健全性を定期的を確認している。

j. 基礎ボルトの腐食（全面腐食） [制御棒駆動水加熱器，原子炉機器冷却水サージタンク，原子炉室給排気隔離弁空気貯槽，原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔，制御棒駆動水フィルタ，原子炉機器冷却海水渦流ストレーナ]

j. の評価については「機械設備の技術評価書」の基礎ボルトと同一であることから、当該の評価書を参照のこと。

(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事象を以下に示す（表 2.2-1 で▲）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても経年劣化の傾向が変化する要因があるとは考え難いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 胴，鏡板等の内面の腐食（全面腐食） [スクラム排出容器]

スクラム排出容器の胴及び鏡板は炭素鋼であり、内部流体が純水であることから腐食が想定される。しかしながら、内部流体は通常排出されている状態であることから、腐食が発生する可能性は小さい。

表 2.2-1(1/8) 浜岡 4 号機 スクラム排出容器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	胴		炭素鋼		△ ^{*1} ▲ ^{*2}						*1:外面 *2:内面
		鏡板		炭素鋼		△ ^{*1} ▲ ^{*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）

▲：（同上）（日常劣化管理事象以外）

表 2.2-1(2/8) 浜岡4号機 制御棒駆動水加熱器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	胴		ステンレス鋼				△ ^{*1*2}			*1:貫粒型応力腐食割れ *2:粒界型応力腐食割れ *3:ヒータの絶縁特性低下 *4:ヒータの断線	
		鏡板		ステンレス鋼				△ ^{*1*2}				
		平板		ステンレス鋼				△ ^{*1*2}				
		フランジ		ステンレス鋼				△ ^{*1*2}				
		フランジボルト		低合金鋼		△						
	シール	Oリング	◎									
機器の支持	支持	支持脚		炭素鋼		△						
		基礎ボルト		炭素鋼		△						
その他	その他	電気ヒータ		発熱線, 絶縁物, ステンレス鋼						△ ^{*3*4}		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(3/8) 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却水サージタンクに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	胴		炭素鋼*1		△*2 △*3					*1:内面球面塗装 *2:内面 *3:外面	
		底板		炭素鋼*1		△*2 △*3						
		屋根板		炭素鋼*1		△*2 △*3						
		マンホール蓋		炭素鋼*1		△*2 △*3						
		マンホール蓋取付ボルト		炭素鋼		△						
	シール	ガスケット	◎									
機器の支持	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ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(4/8) 浜岡4号機 復水貯蔵槽に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	本体		コンクリート*1							*1:ステンレス鋼内張 *2:貫粒型応力腐食割れ	
		マンホール蓋		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(5/8) 浜岡 4 号機 原子炉室給排気隔離弁空気貯槽に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	胴		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}					*1:内面 *2:外面	
		マンホール蓋		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
		マンホール蓋取付ボルト		炭素鋼		△						
	シール	ガスケット	◎									
機器の支持	支持	支持脚		炭素鋼		△						
		基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(6/8) 浜岡 4 号機 原子炉冷却材浄化ろ過脱塩塔に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	胴		炭素鋼*1		△*2 △*3					*1:ステンレス鋼クラッド *2:内面 *3:外面	
		鏡板		炭素鋼*1		△*2 △*3						
		フランジカバー		炭素鋼*1		△*2 △*3						
		フランジ		炭素鋼*1		△*2 △*3						
		フランジボルト		低合金鋼		△						
	シール	ガスケット	◎									
機器の支持	支持	支持脚		炭素鋼		△						
		基礎ボルト		炭素鋼		△						
その他	その他	管板		ステンレス鋼								
		エレメント		ステンレス鋼								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(7/8) 浜岡4号機 制御棒駆動水フィルタに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	胴		ステンレス鋼				△*1			*1:貫粒型応力腐食割れ	
		鏡板		ステンレス鋼				△*1				
		フランジカバー		ステンレス鋼				△*1				
		フランジ		ステンレス鋼				△*1				
		フランジボルト		低合金鋼		△						
	シール	ガスケット	◎									
機器の支持	支持	スカート		ステンレス鋼				△*1				
		基礎ボルト		炭素鋼		△						
その他	その他	エレメント		ステンレス鋼								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(8/8) 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却海水渦流ストレーナに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	ボディ		炭素鋼*1		△*2 △*3					*1:内面樹脂ライニング *2:外面 *3:孔食, 隙間腐食	
		フランジカバー		炭素鋼*1		△*2 △*3						
		フランジボルト		低合金鋼		△						
	シール	ガスケット	◎									
機器の支持	支持	支持脚		炭素鋼		△						
		基礎ボルト		炭素鋼		△						
その他	その他	ストレーナ		ステンレス鋼		△*3						
		流電陽極板	◎	亜鉛								

△：高経年化対策上着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を検討した。

- ① 高圧炉心スプレイ機器冷却水サージタンク
- ② 非常用冷水系補給水タンク
- ③ 燃料プール
- ④ 原子炉ウェル
- ⑤ 高圧炉心スプレイ機器冷却海水渦流ストレーナ

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

代表機器同様、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

- a. 胴、鏡板等の内面の腐食（全面腐食）〔高圧炉心スプレイ機器冷却水サージタンク，非常用冷水系補給水タンク〕

代表機器同様，高圧炉心スプレイ機器冷却水サージタンクの胴，底板，屋根板及びマンホール蓋は炭素鋼であり，内部流体が冷却水であることから，腐食が想定される。しかしながら，内面はエポキシ塗装を施していることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，開放点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

非常用冷水系補給水タンクの胴，鏡板，屋根板及びマンホール蓋は炭素鋼であり，内部流体が冷却水であることから，腐食が想定される。しかしながら，内部流体は防錆剤入り冷却水であり，材料表面が不動態に保たれているため，腐食が発生する可能性は小さい。また，開放点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

- b. 取付ボルト等の腐食（全面腐食）〔高圧炉心スプレイ機器冷却水サージタンク，高圧炉心スプレイ機器冷却海水渦流ストレーナ〕

代表機器同様，高圧炉心スプレイ機器冷却水サージタンクのマンホール蓋取付ボルト並びに高圧炉心スプレイ機器冷却海水渦流ストレーナのフランジボルトは炭素鋼若しくは低合金鋼であり，腐食が想定される。しかしながら，屋内空調環境下に設置されており，腐食が発生する可能性は小さい。また，開放点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

- c. 支持脚の腐食（全面腐食）〔非常用冷水系補給水タンク，高圧炉心スプレイ機器冷却海水渦流ストレーナ〕

非常用冷水系補給水タンク及び高圧炉心スプレイ機器冷却海水渦流ストレーナの支持脚は炭素鋼であり腐食が想定される。しかしながら，外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，外観点検時又は開放点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

- d. 胴、鏡板等の外面の腐食（全面腐食）〔高圧炉心スプレイ機器冷却水サージタンク，非常用冷水系補給水タンク，高圧炉心スプレイ機器冷却海水渦流ストレーナ〕

代表機器同様，高圧炉心スプレイ機器冷却水サージタンクの胴，底板，屋根板及びマンホール蓋，非常用冷水系補給水タンクの胴，鏡板，屋根板及びマンホール蓋並びに高圧炉心スプレイ機器冷却海水渦流ストレーナのボディ及びフランジカバーは炭素鋼であり，腐食が想定される。しかしながら，外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，開放点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

- e. 制御棒・破損燃料貯蔵ラックの腐食（全面腐食）〔燃料プール〕

制御棒・破損燃料貯蔵ラックは，アルミニウム合金であり，純水に接液するため腐食が想定される。しかしながら，目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

- f. ボディ，フランジカバー及びストレーナの腐食（孔食，隙間腐食）〔高圧炉心スプレイ機器冷却海水渦流ストレーナ〕

代表機器同様，高圧炉心スプレイ機器冷却海水渦流ストレーナのボディ及びフランジカバーは炭素鋼，ストレーナはステンレス鋼であり，内部流体が海水である。海水中には塩化物イオンが存在し，金属成分がイオン化することにより腐食（孔食，隙間腐食）が想定される。しかしながら，ストレーナは流電陽極板による防食処置が施され，ボディ及びフランジカバーは樹脂ライニングを施していることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，開放点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

- g. プール壁及びプールゲートの貫粒型応力腐食割れ〔燃料プール，原子炉ウエル〕

プール壁及びプールゲートはステンレス鋼であるため，貫粒型応力腐食割れが想定される。

平成12年3月に伊方原子力発電所3号機において，使用済燃料ピットのスチレンスライニングに貫粒型応力腐食割れが発生しているが，この事象は，施工時の補修に伴い海塩粒子がステンレスライニングの裏側に浸入したことが原因と評価されている。しかしながら，浜岡4号機の燃料プール及び原子炉ウエルについては，建設時に必要な塩害対策を実施している。また，ライニングからの漏えいがないことを検出ラインにより確認することで，設備の健全性を定期的を確認している。

- h. 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔高圧炉心スプレイ機器冷却水サージタンク，非常用冷水系補給水タンク，高圧炉心スプレイ機器冷却海水渦流ストレーナ〕

h. の評価については「機械設備の技術評価書」の基礎ボルトと同一であることから，当該の評価書を参照のこと。

- (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事象を以下に示す。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても経年劣化の傾向が変化する要因があるとは考え難いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 取付ボルトの腐食（全面腐食） [燃料プール]

燃料プールの取付ボルト（アンカーボルト）は低合金鋼であり、取付ボルト全体がコンクリートに埋設されており、コンクリートが中性化した場合は腐食が想定される。しかしながら、「コンクリート構造物及び鉄骨構造物の技術評価書」のとおり中性化はほとんど見られておらず、腐食が発生する可能性は小さい。

以 上

2 原子炉压力容器

[対象機器]

- ① 原子炉压力容器

目 次

1.	対象機器	1
2.	原子炉圧力容器の技術評価	2
2.1	構造, 材料及び使用条件	2
2.2	経年劣化事象の抽出	8
2.2.1	機器の機能達成に必要な項目	8
2.2.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	8
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	9
2.3	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	13

1. 対象機器

原子炉压力容器の主な仕様を表 1-1 に示す。

表 1-1 浜岡 4 号機 原子炉压力容器の主な仕様

機器名称 (基数)	重要度	使用条件	
		最高使用温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)
原子炉压力容器(1)	PS-1	302	8.62

2. 原子炉圧力容器の技術評価

2.1 構造, 材料及び使用条件

(1) 構造

原子炉圧力容器は, たて置円筒形容器であり, 1基設置されている。

原子炉圧力容器は, 胴板, 上鏡, 下鏡, ノズル, ブラケット及び容器を支持する支持スカート, 基礎ボルト等から構成される。上鏡は取外し可能なフランジ構造である。

原子炉圧力容器の改造履歴を表 2.1-1 に, 構造図を図 2.1-1 に, 部位名称を表 2.1-2 に示す。

(2) 材料及び使用条件

原子炉圧力容器主要部位の使用材料を表 2.1-3 に, 炉心領域部材料の化学成分を表 2.1-4 に, 使用条件を表 2.1-5 に示す。

表 2.1-1 浜岡 4 号機 原子炉圧力容器の改造履歴

部位	時期	理由
再循環水出口ノズル(N1), セーフエンド	第 7 回定期点検 (2002 年度)	応力腐食割れ対策
再循環水入口ノズル(N2), セーフエンド	第 8 回定期点検 (2004 年度)	応力腐食割れ対策
ジェットポンプ計測管貫通部ノズル(N9), 貫通部シール	第 8 回定期点検 (2004 年度)	応力腐食割れ対策

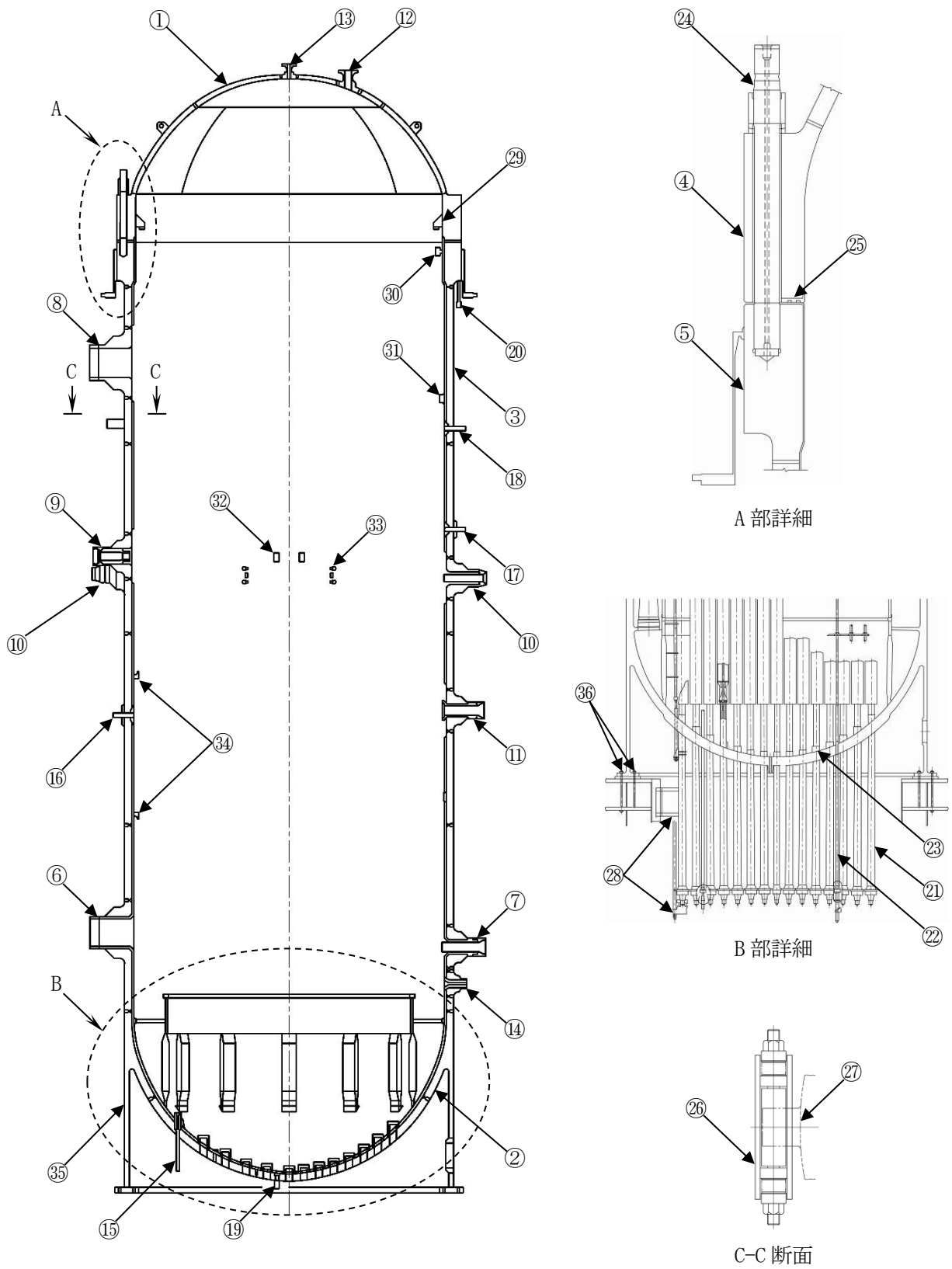


图 2.1-1 浜岡 4 号機 原子炉压力容器構造図

表 2.1-2 浜岡 4 号機 原子炉压力容器部位名称

No.	部位	No.	部位
①	上鏡	⑲	ドレンノズル(N15)
②	下鏡	⑳	漏えい検出ノズル(N17)
③	胴板	㉑	制御棒駆動機構ハウジング
④	上蓋フランジ	㉒	中性子束計測ハウジング
⑤	胴体フランジ	㉓	制御棒駆動機構ハウジング貫通孔 スタブチューブ
⑥	再循環水出口ノズル(N1), セーフエンド	㉔	スタッドボルト
⑦	再循環水入口ノズル(N2), セーフエンド	㉕	Oリング
⑧	主蒸気出口ノズル(N3), セーフエンド	㉖	スタビライザ
⑨	給水入口ノズル(N4), セーフエンド	㉗	スタビライザブラケット
⑩	炉心スプレイノズル(N5, N16), セーフエンド	㉘	制御棒駆動機構ハウジング支持金具
⑪	低圧注入ノズル(N6), セーフエンド	㉙	ドライヤホールダウンブラケット
⑫	上蓋冷却スプレイノズル(N7)	⑳	ガイドロッドブラケット
⑬	ベントノズル(N8)	㉑	ドライヤ支持ブラケット
⑭	ジェットポンプ計測管貫通部ノズル (N9), 貫通部シール	㉒	給水スパーチャブラケット
⑮	差圧検出・ほう酸水注入ノズル(N11), ティ	㉓	炉心スプレイブラケット
⑯	計装ノズル(N12), セーフエンド	㉔	監視試験片支持ブラケット
⑰	計装ノズル(N13), セーフエンド	㉕	支持スカート
⑱	計装ノズル(N14), セーフエンド	㉖	基礎ボルト

表 2.1-3 浜岡 4 号機 原子炉圧力容器主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料	
バウンダリの維持	耐圧	上鏡	低合金鋼	
		下鏡	低合金鋼	
		胴板	低合金鋼	
		主フランジ（上蓋フランジ，胴体フランジ）	低合金鋼	
		ノズル	N1～N9, N16	低合金鋼
			N11	ステンレス鋼
			N12～N14	ニッケル基合金
			N15, N17	炭素鋼
		セーフエンド	N1, N2, N12～N14	ステンレス鋼
			N3～N6, N16	炭素鋼
		貫通部シール	N9	ステンレス鋼
		ティ	N11	ステンレス鋼
		制御棒駆動機構ハウジング		ステンレス鋼
		中性子束計測ハウジング		ステンレス鋼
	制御棒駆動機構ハウジング貫通孔スタブチューブ		ニッケル基合金	
スタッドボルト		低合金鋼		
シール	0 リング	(消耗品)		
機器の支持	支持	スタビライザ	低合金鋼，炭素鋼	
		スタビライザブラケット	低合金鋼	
		制御棒駆動機構ハウジング支持金具	炭素鋼	
		ドライヤホールダウンブラケット	炭素鋼	
		ブラケット（ガイドロッド，ドライヤ支持，給水スパージャ，炉心スプレイ，監視試験片支持）	ステンレス鋼	
		支持スカート	低合金鋼	
		基礎ボルト	低合金鋼	

表 2.1-4 浜岡 4 号機 原子炉压力容器の炉心領域部材料の化学成分
(単位：重量%)

区分	Si	P	Ni	Cu
母材	0.17	0.002	0.89	0.04
溶接金属 ^{*1}	0.21	0.010	0.74	0.01

*1：溶接方法はサブマージアーク溶接

表 2.1-5 浜岡 4 号機 原子炉压力容器の使用条件

最高使用圧力	8.62 MPa
最高使用温度	302 °C
内部流体	純水, 蒸気 (原子炉冷却材)

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

原子炉压力容器の機能であるバウンダリ機能の達成に必要な項目は以下のとおり。

- ①バウンダリの維持
- ②機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

(1) 想定される経年劣化事象

原子炉压力容器について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の材料、構造、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、表 2.2-1 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

なお、消耗品及び定期取替品は次項のとおり評価対象外とする。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

O リングは消耗品であり、設計時に長期使用せず取替えを前提としていることから高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

- ①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）
- 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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として以下の事象を抽出した（表 2.2-1 で○）

a. 胴板の中性子照射脆化

- b. ノズル等の疲労割れ [上鏡, 下鏡, 胴板, 主フランジ (上蓋フランジ, 胴体フランジ), ノズル, セーフエンド, 貫通部シール, 制御棒駆動機構ハウジング, 中性子束計測ハウジング, 制御棒駆動機構ハウジング貫通孔スタブチューブ, スタッドボルト及び支持スカート]

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. スタビライザ及びスタビライザブラケット摺動部の摩耗

機器の移動を許容するスタビライザ及びスタビライザブラケットの摺動部材は、摩耗が想定される。しかしながら、水平サポートであるスタビライザ及びスタビライザブラケットは地震時のみ摺動し、運転中には有意な荷重は受けないことから、摩耗が発生する可能性は小さい。また、スタビライザ及びスタビライザブラケットの目視点検により計画的に健全性を確認している。

b. 主蒸気出口ノズル、給水入口ノズル及び上鏡内面等の腐食（流れ加速型腐食（以下、「FAC」という。）及び全面腐食）

原子炉圧力容器内部において内面クラッドが施されていない給水入口ノズル、炉心スプレイノズル、低圧注入ノズル、上蓋冷却スプレイノズル、ベントノズル、ドレンノズル、漏えい検出ノズル、上鏡内面及びドライヤホールドダウンブラケットにおいては、低合金鋼等が高温流体に接しているため、腐食（全面腐食）が想定される。

また、同じく内面クラッドが施されていない主蒸気出口ノズルにおいては高速で流れる蒸気に接しているため、FAC が想定される。しかしながら、主蒸気出口ノズルには耐FAC性に優れた低合金鋼が使用されているため、FACが発生する可能性は小さい。また、原子炉圧力容器耐圧部については定期事業者検査時の漏えい試験により、上鏡内面及びドライヤホールドダウンブラケットについては目視点検により、上蓋冷却スプレイノズル及びベントノズルの内面の丸みの部分については浸透探傷試験により、主蒸気出口ノズル、給水入口ノズル、炉心スプレイノズル及び低圧注入ノズル等のノズル内面の丸みの部分は超音波探傷試験により計画的に健全性を確認している。

c. 主フランジ（上蓋フランジ及び胴体フランジシール面）の腐食（孔食）

上蓋フランジ及び胴体フランジのシール面は狭隘部であり、腐食が想定される。しかしながら、主フランジ（上蓋フランジ及び胴体フランジシール面）は、耐食性に優れたステンレス鋼クラッドが施されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、原子炉開放時における主フランジの目視点検により計画的に健全性を確認している。

d. スタッドボルトの腐食（全面腐食）

スタッドボルトは低合金鋼であり，腐食が想定される。しかしながら，通常運転時には窒素ガス雰囲気中にあり腐食が発生する可能性は小さい。また，原子炉開放時におけるスタッドボルトの目視点検により計画的に健全性を確認している。

e. スタビライザ，スタビライザブラケット，制御棒駆動機構ハウジング支持金具及び支持スカート
の腐食（全面腐食）

スタビライザ，スタビライザブラケット，制御棒駆動機構ハウジング支持金具及び支持スカートは炭素鋼又は低合金鋼であり，腐食が想定される。しかしながら，通常運転時には窒素ガス雰囲気中にあり腐食が発生する可能性は小さい。また，スタビライザ，スタビライザブラケット，制御棒駆動機構ハウジング支持金具及び支持スカートの目視点検により計画的に健全性を確認している。

f. 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは低合金鋼であり，露出部の腐食が想定される。また，コンクリート埋設部は，コンクリートが中性化した場合に腐食が想定される。しかしながら，露出部については通常運転時に窒素ガス雰囲気中にあり，コンクリート埋設部については，実機コンクリートにおけるサンプリング結果では中性化はほとんど確認されておらず，腐食が発生する可能性は小さい。また，基礎ボルトの目視点検により計画的に健全性を確認している。

g. スタビライザ及びスタビライザブラケットの疲労割れ

スタビライザ及びスタビライザブラケットは水平サポートであり，疲労割れが想定される。しかしながら，スタビライザ及びスタビライザブラケットは地震時のみ荷重を受け，運転中には有意な荷重は受けないことから，疲労が蓄積する可能性は小さい。また，スタビライザ及びスタビライザブラケットの目視点検により計画的に健全性を確認している。

h. ノズル（差圧検出・ほう酸水注入，計装），セーフエンド（再循環水出口，再循環水入口，計装），ジェットポンプ計測管貫通部シール，差圧検出・ほう酸水注入ティ，制御棒駆動機構ハウジング，中性子束計測ハウジング，制御棒駆動機構ハウジング貫通孔スタブチューブ及びブラケット（ガイドロッド，ドライヤ支持，給水スパージャ，炉心スプレイ，監視試験片支持）の粒界型応力腐食割れ

ノズル（差圧検出・ほう酸水注入，計装），セーフエンド（再循環水出口，再循環水入口，計装），ジェットポンプ計測管貫通部シール，差圧検出・ほう酸水注入ティ，制御棒駆動機構ハウジング，中性子束計測ハウジング，制御棒駆動機構ハウジング貫通孔スタブチューブ及びブラケット（ガイドロッド，ドライヤ支持，給水スパージャ，炉心スプレイ，監視試験片支持）は，ステンレス鋼又はニッケル基合金であり高温の純水又

は飽和蒸気環境中にあり、粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら、原子力規制委員会文書「実用発電用原子炉及びその附属施設における破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥の解釈」（原規技発第 2107219 号（令和 3 年 7 月 21 日原子力規制委員会決定））及び日本機械学会「発電用原子力設備規格 維持規格（2012 年版）」（2013 年追補及び 2014 年追補を含む。）（JSME S NA1-2012/2013/2014）（以下、「維持規格」という。）に基づき、供用期間中検査において目視点検、超音波探傷試験、浸透探傷試験又は漏えい試験をすることで計画的に健全性を確認している。

また、再循環水出口及び再循環水入口のノズルセーフエンド並びにジェットポンプ計測管貫通部ノズル貫通部シールについては、第 7 回定期点検（2002 年度）から第 8 回定期点検（2004 年度）において、高周波誘導加熱処理*1 による残留応力改善措置を行っている。

*1：高周波誘導加熱処理：高周波誘導コイルにより配管外面を加熱すると同時に、配管内に冷却水を通し、配管の内外面の温度差で配管内面の残留応力を改善する方法。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

表 2.2-1 浜岡 4 号機 原子炉圧力容器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	上鏡		低合金鋼		△*1	○				*1:主蒸気出口ノズル, 給水入口ノズル, 上鏡内面等の FAC 及び全面腐食 *2:内面ニッケル基合金クラッド *3:内面ステンレス鋼クラッド *4:中性子照射脆化 *5:フランジ面の孔食 *6:ノズル, セーフエンド, 貫通部シール *7:ノズル, セーフエンド, ハウジング, ブラケット等の粒界型応力腐食割れ *8:摺動部	
		下鏡		低合金鋼*2*3			○					
		胴板		低合金鋼*3			○			○*4		
		主フランジ (上蓋フランジ, 胴体フランジ)		低合金鋼*3		△*5	○					
		ノズル, セーフエンド, 貫通部シール, ティ		炭素鋼, 低合金鋼		△*1	○*6					
				低合金鋼*3								
				ステンレス鋼, ニッケル基合金					△*7			
			制御棒駆動機構ハウジング		ステンレス鋼			○	△*7			
			中性子束計測ハウジング		ステンレス鋼			○	△*7			
		制御棒駆動機構ハウジング貫通孔スタブチューブ		ニッケル基合金			○	△*7				
	スタッドボルト		低合金鋼		△	○						
	シール	0 リング	◎									
機器の支持	支持	スタビライザ, スタビライザブラケット		低合金鋼, 炭素鋼	△*8	△	△					
		制御棒駆動機構ハウジング支持金具		炭素鋼		△						
		ドライヤホールドダウンブラケット		炭素鋼		△*1						
		ブラケット		ステンレス鋼				△*7				
		支持スカート		低合金鋼		△	○					
		基礎ボルト		低合金鋼		△						

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着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

(1) 胴板の中性子照射脆化

a. 事象の説明

金属材料は中性子の照射を受けると非常に微小な欠陥（析出物，マイクロボイド）が生じ，靱性（破壊に対する抵抗）の低下が生じる。原子炉圧力容器の炉心領域部においては，中性子照射に伴い遷移温度の上昇と上部棚領域の靱性が低下（上部棚吸収エネルギーの低下）することが知られている（図 2.3-1 参照）。

中性子照射脆化は，材料の銅，リン等の不純物の影響を受けるが，日本では米国等に比してこれらの不純物量は一般に低くなっている。

胴板は中性子照射脆化が発生する可能性があり，経年劣化に対する評価が必要である。

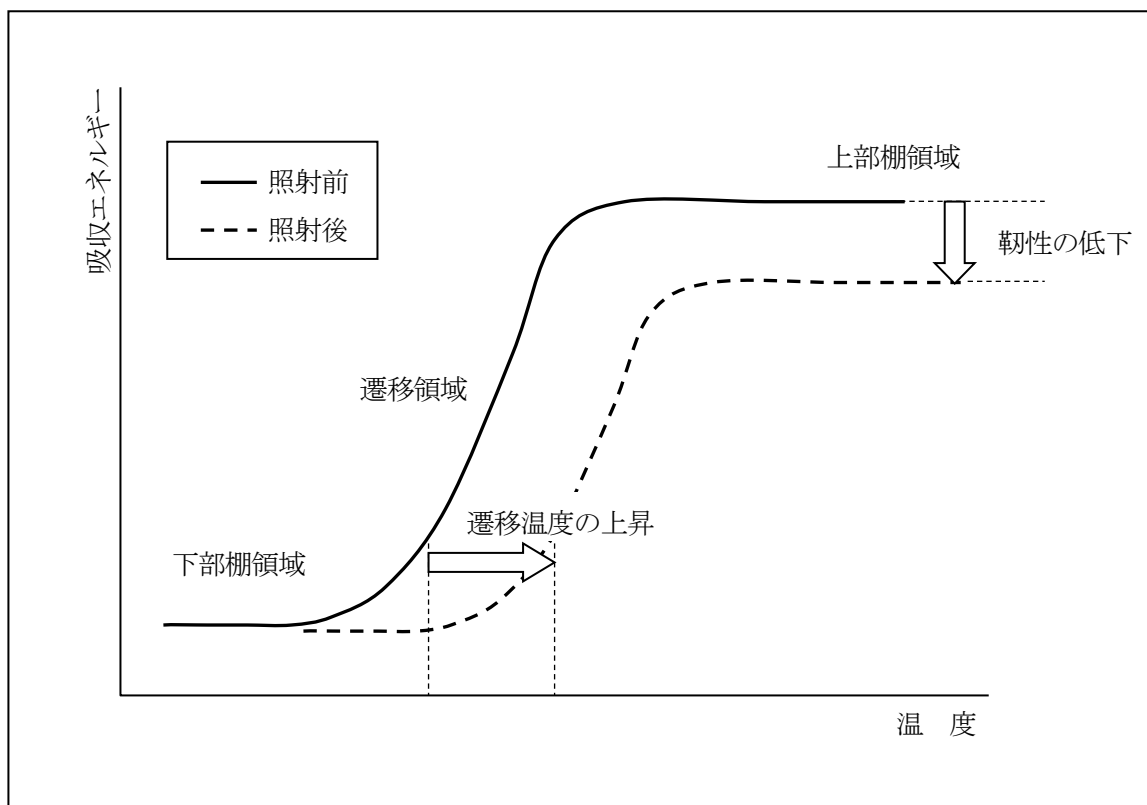


図 2.3-1 中性子照射による機械的性質（靱性）の変化

b. 技術評価

①健全性評価

中性子照射脆化に対する健全性評価上厳しい箇所は、炉心領域の胴板である。胴板内表面での中性子照射量は、2020年度末時点*1で $2.48 \times 10^{21} \text{n/m}^2 (>1\text{MeV})$ 程度と評価される。また、評価に用いる板厚1/4深さ位置での中性子照射量は、2020年度末時点*1で $1.72 \times 10^{21} \text{n/m}^2 (>1\text{MeV})$ 程度と評価される。

*1：中性子照射量については、2011年5月のプラント停止より中性子照射が停止し、それ以降の中性子照射の累積がないことから、2011年5月時点での中性子照射量とする。

本項では浜岡4号機の監視試験結果と「日本電気協会 電気技術規程」（以下、「JEAC」という。）に基づいた評価を示す。

なお、JEAC「監視試験の対象」である相当運転期間末期の最大中性子照射量が容器内面で $1.0 \times 10^{21} \text{n/m}^2 (>1\text{MeV})$ を超えると予測される炉心領域には、2020年度末時点において胴板以外にN6ノズルが含まれるが、胴板に比べ中性子照射量が小さいことから、中性子照射脆化に対する健全性評価は、胴板で実施する。

定期事業者検査で行う漏えい試験は、比較的温度が低い状態で運転圧力まで昇圧するため、非延性破壊に対して最も厳しい状態となる。このため、漏えい試験時には原子炉圧力容器の最低使用温度を守るよう運転管理を行っている。

なお、JEACにおいては、PWRプラントの原子炉（圧力）容器の炉心領域部の非延性破壊に対して供用状態C、Dで最も厳しい条件として加圧熱衝撃(PTS)評価を要求しているが、BWRプラントの原子炉圧力容器は通常運転時には蒸気の飽和圧力温度となっており、事故時に非常用炉心冷却系が作動しても冷却水の注入に伴って圧力が低下するため、高圧（高い応力がかかった状態）のまま低温になることがなく、BWRプラントでは実施する必要がない。

また、設計上、低温の水が導かれるようなノズルにはサーマルスリーブが設けられており、原子炉圧力容器が急速に冷却されないようになっている。

1) 最低使用温度

現在までの監視試験結果を表2.3-1に示す。

日本電気協会「原子炉構造材の監視試験方法 JEAC4201-2007(2013年追補版)」（以下、「JEAC4201」という。）により求めた関連温度移行量の予測値と測定値は、図2.3-2に示すとおり、予測式にマージンを見込んだものの範囲にあり、測定値について特異な脆化は認められない。

また、日本電気協会「原子力発電所用機器に対する破壊靱性の確認試験方法 JEAC4206-2007」（以下、「JEAC4206」という。）及びJEAC4201により求めた2020年度末時点での関連温度移行量、関連温度、最低使用温度を表2.3-2に示す。

関連温度は2020年度末時点で -16°C 程度となる。その際の胴板の最低使用温度は、破壊力学的検討により求めたマージン約 28°C を考慮すると、2020年度末時点で 12°C 程度と算定される。

2) 上部棚吸収エネルギーの評価

上部棚吸収エネルギーの変化について JEAC4201 に基づいて評価した結果を表 2.3-3 に示す。

最も上部棚吸収エネルギーが低下するのは、実測値から推定される溶接金属であり、建設時（未照射材）で 212J，2020 年度末時点で 176J 程度となっている。

いずれの場合も JEAC4206 で規定されている 68J を上回っている。

表 2.3-1 浜岡 4 号機 監視試験結果

回数	中性子照射量 ($\times 10^{21}\text{n/m}^2$) ($E > 1\text{MeV}$)	関連温度及び関連温度移行量(°C)						上部棚吸収エネルギー(J)		
		母材		溶接金属		熱影響部		母材	溶接金属	熱影響部
関連温度初期値	0	-40		-65		-40		229	212	252
第 1 回 (加速)	11.1	関連温度移行量	関連温度	関連温度移行量	関連温度	関連温度移行量	関連温度	219	198	212
		3	-37	2	-63	16	-24			
第 2 回 (炉壁)	1.98	7	-33	6	-59	5	-35	228	220	245

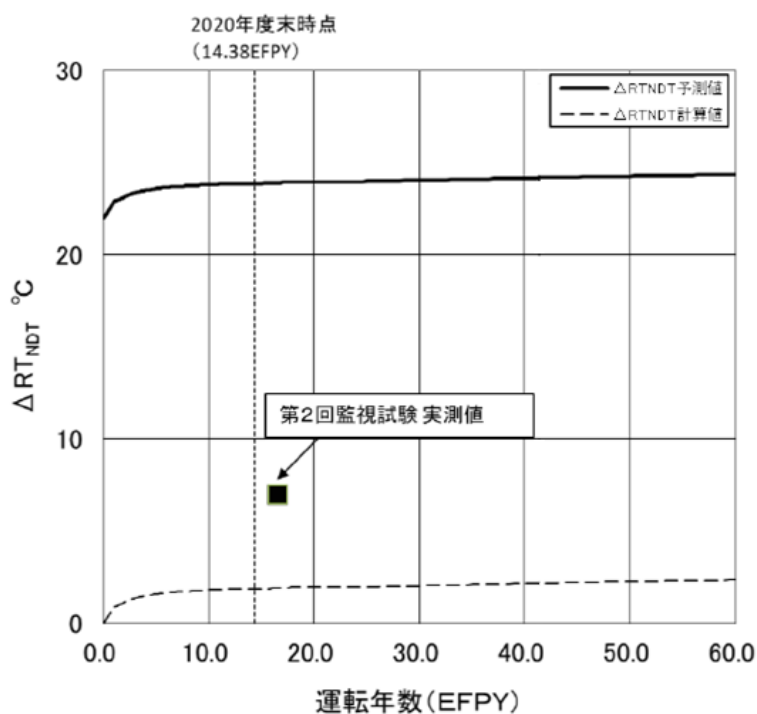


図 2.3-2 浜岡 4 号機 関連温度移行量の測定値と予測値（マージン有り）

表 2.3-2 浜岡 4 号機 関連温度予測値

評価時期	鋼種	関連温度 初期値 (°C)	関連温度 移行量 (°C)*1	関連温度 (°C)	破壊力学的 検討による マージン(°C)	胴板の 最低使用 温度(°C)
2020 年度 末時点	母材	-40	24	-16	28	12
	溶接金属	-65	24	-41		

*1：圧力容器内壁面から板厚 1/4 深さでの予測値

表 2.3-3 浜岡 4 号機 上部棚吸収エネルギー予測値 (単位：J)

	方向	初期値	2020 年度末時点
母材	加工方向に直角	229	197
溶接金属	溶接線に直角	212	176

②現状保全

炉心領域部材料の中性子照射による機械的性質の変化については、日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版を含む））」（以下、「設計・建設規格」という。）、JEAC4201 に基づいて、計画的に監視試験を実施し破壊靱性の将来の変化を予測している。

監視試験結果から、JEAC4206 に基づく最低使用温度により漏えい試験を実施しており、全 4 セット中 2 セットを取出し済みである。

原子炉圧力容器に対しては、供用期間中検査で超音波探傷試験及び漏えい試験を実施し、有意な欠陥のないことを確認している。

③総合評価

健全性評価結果より、胴板（炉心領域部材）の中性子照射による脆化が問題となる可能性は小さい。今後も JEAC4201 等の脆化予測に基づき、運転状態又は試験状態における最低温度となる漏えい検査時の最低使用温度を管理していくことにより、健全性を確保できるものと判断する。なお、当面の安定停止状態においては、劣化が進展する事象ではないため、健全性に対して影響を及ぼす可能性はないと判断する。

c. 高経年化への対応

胴板（炉心領域部材）の中性子照射脆化については、最新の脆化予測に基づき評価をして、現状保全を継続していく。

- (2) ノズル等の疲労割れ [上鏡, 下鏡, 胴板, 主フランジ (上蓋フランジ, 胴体フランジ), ノズル, セーフエンド, 貫通部シール, 制御棒駆動機構ハウジング, 中性子束計測ハウジング, 制御棒駆動機構ハウジング貫通孔スタブチューブ, スタッドボルト及び支持スカート]

a. 事象の説明

上鏡, 下鏡, 胴板, 主フランジ (上蓋フランジ, 胴体フランジ), ノズル, セーフエンド, 貫通部シール, 制御棒駆動機構ハウジング, 中性子束計測ハウジング, 制御棒駆動機構ハウジング貫通孔スタブチューブ, スタッドボルト及び支持スカートについては, プラントの起動・停止時等に熱過渡を受けるため, 繰返しにより疲労が蓄積する可能性がある。

b. 技術評価

①健全性評価

温度変化が大きく比較的大きな熱応力が発生する給水ノズル, 締付け力が加わる主フランジ (上鏡フランジ, 胴体フランジ), スタッドボルト, 容器の自重が加わる下鏡及び支持スカートについて, 応力算出及び評価を実施した。

疲労評価は, 運転実績に基づいた現時点 (2020 年度末) の過渡回数を用いて, 設計・建設規格に基づき実施した。評価部位を図 2.3-3 に, 評価用過渡条件を表 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「発電用原子力設備規格 環境疲労評価手法 JSME S NF1-2009」(以下, 「環境疲労評価手法」という。)に基づき評価を実施した。

この結果, 表 2.3-5 に示すとおり, 疲れ累積係数及び環境を考慮した疲れ累積係数は 2020 年度末時点では許容値以下であり, 安定停止状態においては, 有意な熱過渡事象は発生しないため, 運転開始後 40 年時点までは疲労割れの可能性はないと判断する。

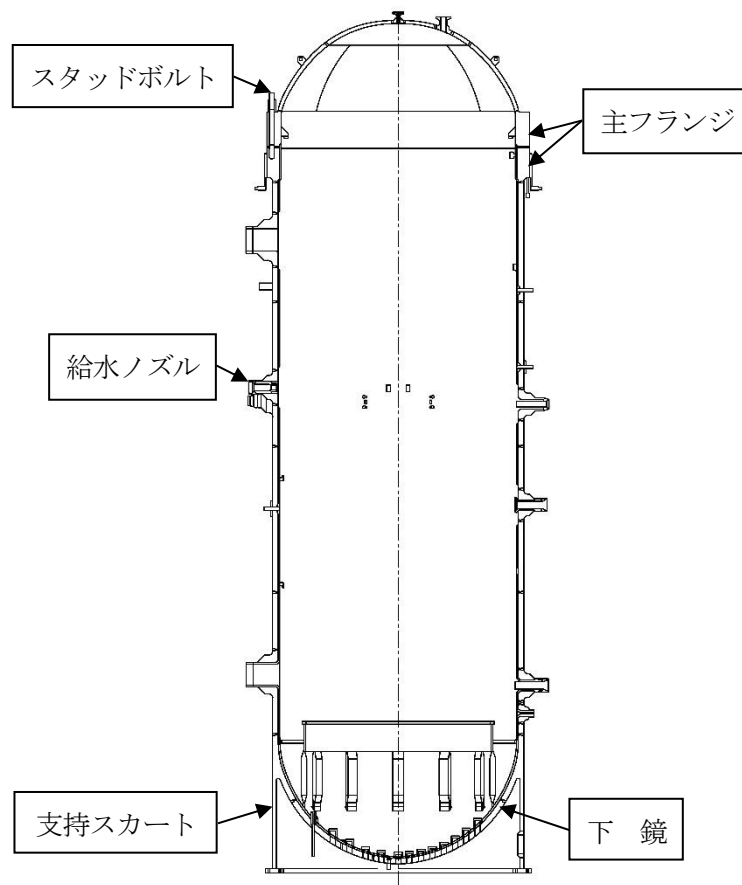


図 2.3-3 浜岡 4 号機 原子炉圧力容器 疲労評価部位

表 2.3-4 浜岡 4 号機 原子炉圧力容器評価用過渡条件

運転条件	運転実績に基づく 過渡回数 (2020 年度末時点)
ボルト締付	16
耐圧試験 (最高使用圧力以下)	45
起動 (昇温)	34
起動 (タービン起動)	31
夜間低出力運転 (出力 75%)	0
週末低出力運転 (出力 50%)	3
制御棒パターン変更	116
給水加熱器機能喪失 (発電機トリップ)	7
スクラム (タービントリップ)	4
スクラム (原子炉給水ポンプ停止)	0
スクラム (その他)	6
停止	34
ボルト取外	16
逃がし安全弁誤作動	0

表 2.3-5 浜岡 4 号機 原子炉圧力容器の疲労評価結果

部位	運転実績回数に基づく疲れ解析（許容値：1 以下）	
	設計・建設規格の疲労曲線 による解析	環境疲労評価手法 による解析
	2020 年度末時点	2020 年度末時点
主フランジ	0.0349	—
スタッドボルト	0.1863	—
給水ノズル	0.0590	0.3046
下鏡	0.0048	—
支持スカート	0.1157	—

②現状保全

原子炉圧力容器及びスタッドボルトに対しては、原子力規制委員会文書「実用発電用原子炉及びその附属施設における破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥の解釈」（原規技発第 2107219 号（令和 3 年 7 月 21 日原子力規制委員会決定））及び維持規格に基づき定期的な超音波探傷試験を実施し、有意な欠陥のないことを確認している。また、定期事業者検査毎の漏えい試験により、耐圧部の健全性を確認している。さらに、当面の安定停止状態においては、その運転状況を考慮した追加的な点検等を行っている。

③総合評価

健全性評価結果より、ノズル等については疲労割れが発生する可能性はなく、また、疲労割れは定期的実施している超音波探傷試験、浸透探傷試験及び漏えい試験によって検知可能であることから、現状保全は点検手法として適切であると判断する。

なお、当面の安定停止状態においては、有意な熱過渡事象は発生しないため、運転開始後 40 年時点までは疲労割れが発生する可能性はないと判断する。

c. 高経年化への対応

ノズル等の疲労割れについては、現状保全項目に留意すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

以 上

3 原子炉格納容器

[対象機器]

- 3.1 原子炉格納容器本体
- 3.2 電気ペネトレーション

原子炉格納容器の部位は、本体及び貫通部に大きく分かれ、型式等でグループ化すると2個のグループに分類されるため、ここでは、これらについての技術評価を行う。

- 3.1 原子炉格納容器本体
- 3.2 電気ペネトレーション

3.1 原子炉格納容器本体

[対象機器]

- ① 原子炉格納容器

目 次

1.	対象機器	1
2.	原子炉格納容器の技術評価	2
2.1	構造, 材料及び使用条件	2
2.2	経年劣化事象の抽出	5
2.2.1	機器の機能達成に必要な項目	5
2.2.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	5
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	6

1. 対象機器

原子炉格納容器本体の主な仕様を表 1-1 に示す。

表 1-1 浜岡 4 号機 原子炉格納容器本体の主な仕様

機器名称 (基数)	重要度	使用条件			
		最高使用温度 (°C)		最高使用圧力 (MPa)	
		ドライウエル	サプレッション チェンバ	ドライウエル	サプレッション チェンバ
原子炉格納容器(1)	MS-1	171	104	内圧：0.427 外圧：0.014	内圧：0.427 外圧：0.014

2. 原子炉格納容器の技術評価

2.1 構造, 材料及び使用条件

(1) 構造

原子炉格納容器は, 圧力抑制形の容器であり, 1 基設置されている。

原子炉格納容器は, 上部半球下部円筒形をしたドライウエルと, 円環状で内部に水を保有するサプレッションチェンバ及び機器を支持する支持構造物等から構成される。

ドライウエル及びサプレッションチェンバの外表面 (コンクリート埋設部は除く), 内表面とも鋼板に防食塗装が施されている。

原子炉格納容器の構造図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

原子炉格納容器主要部位の使用材料を表 2.1-1 に, 使用条件を表 2.1-2 に示す。

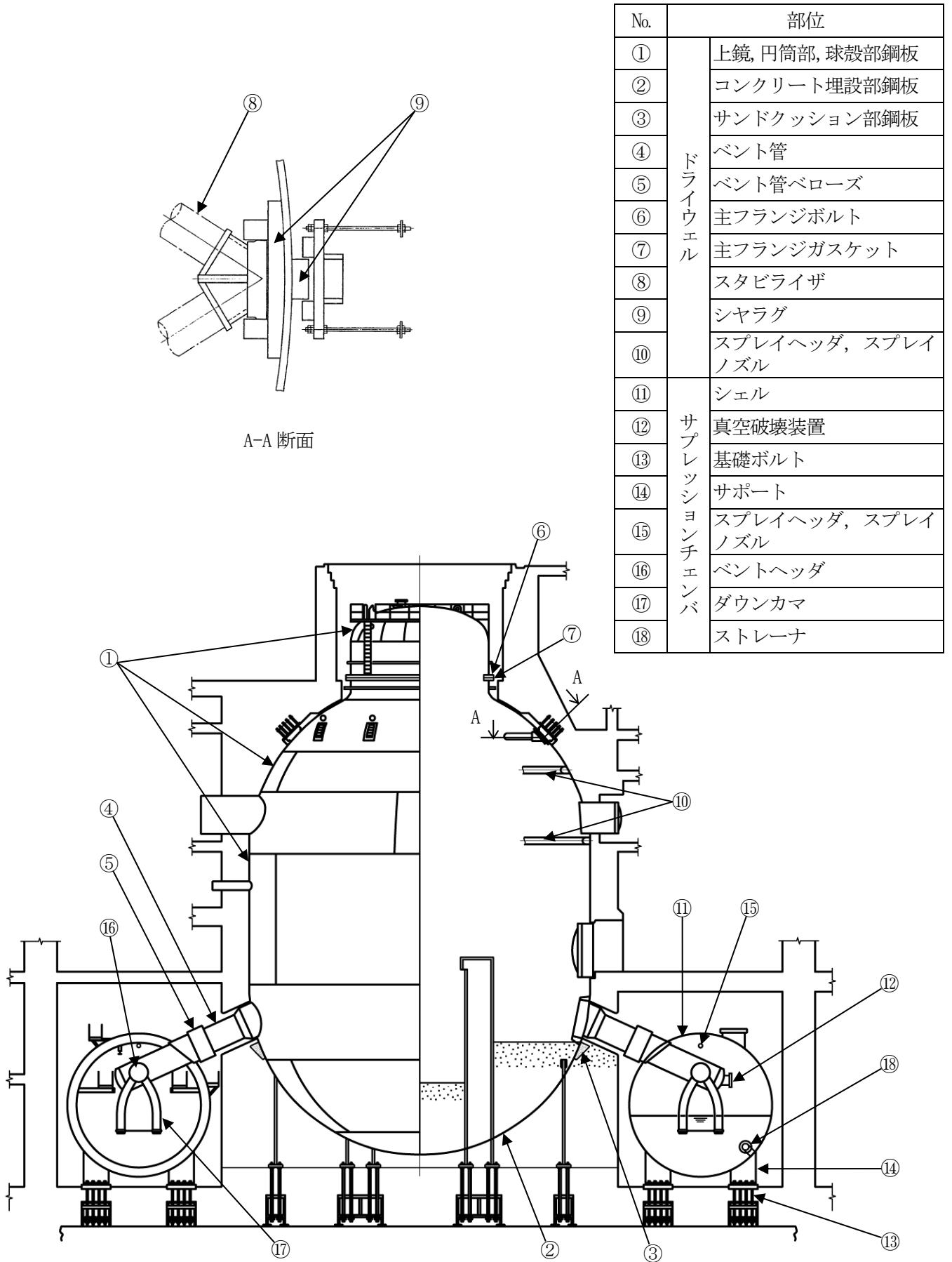


図 2.1-1 浜岡 4 号機 原子炉格納容器構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 原子炉格納容器主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位		材料	
バウンダリの維持	耐圧	ドライウエル	上鏡, 円筒部, 球殻部鋼板	炭素鋼	
			コンクリート埋設部鋼板	炭素鋼	
			サンドクッション部鋼板	炭素鋼	
			ベント管	炭素鋼	
			ベント管ベローズ	ステンレス鋼	
			主フランジボルト	低合金鋼	
			主フランジガasket	(消耗品)	
			スタビライザ	炭素鋼	
機器の支持	支持		シヤラグ	炭素鋼	
その他	その他		スプレイヘッダ	炭素鋼	
			スプレイノズル	ステンレス鋳鋼	
バウンダリの維持	耐圧	サプレッションチェンバ	シェル	炭素鋼	
			真空破壊装置	炭素鋼, 炭素鋼鋳鋼	
機器の支持	支持		基礎ボルト	低合金鋼	
その他	その他			サポート	炭素鋼
				スプレイヘッダ	炭素鋼
				スプレイノズル	ステンレス鋳鋼
				ベントヘッダ	炭素鋼
				ダウンカマ	炭素鋼
		ストレーナ	ステンレス鋼		

表 2.1-2 浜岡 4 号機 原子炉格納容器の使用条件

	ドライウエル	サプレッションチェンバ
最高使用圧力	0.427 MPa (内圧) 0.014 MPa (外圧)	0.427 MPa (内圧) 0.014 MPa (外圧)
最高使用温度	171 °C	104 °C
内部流体	窒素(N ₂)	窒素(N ₂), 純水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

原子炉格納容器に必要な機能は、事故時の放射性物質漏えい防止機能であり、この機能の達成に必要な項目は以下のとおり。

- ①バウンダリの維持
- ②機器の支持
- ③その他

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

(1) 想定される経年劣化事象

原子炉格納容器について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の材料、構造、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、表 2.2-1 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

なお、消耗品及び定期取替品は次項のとおり評価対象外とする。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

主フランジガスケットは消耗品であり、設計時に長期使用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。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

- ①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）
- 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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. スタビライザ、シヤラグ及びサプレッションチェンバサポートの摩耗

スタビライザ、シヤラグ及びサプレッションチェンバサポートは摺動部を有しているため、摩耗が想定される。しかしながら、地震時のみ摺動するものであり、発生回数が非常に少ないことから摩耗が発生する可能性は小さい。また、定期点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

b. 上鏡、円筒部、球殻部鋼板、ベント管、シヤラグ及びサプレッションチェンバシェル部の腐食（全面腐食）

上鏡、円筒部、球殻部鋼板、ベント管、シヤラグ及びサプレッションチェンバシェル部は炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、内外面は防食塗装が施されており、内面は通常運転中は窒素雰囲気にあること、また、外面は屋内空調環境下に設置されていることから、腐食が発生する可能性は小さい。さらに、これまでの点検結果から有意な腐食は確認されておらず、サプレッションチェンバシェル部内面（水中部）については、定期的に目視点検を実施し、塗膜状況の確認を行っている。

c. 主フランジボルトの腐食（全面腐食）

主フランジボルトは低合金鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、開放点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

d. スタビライザ、ドライウェルスプレイヘッド、サプレッションチェンバスプレイヘッド、ベントヘッド、ダウンカメラ及び真空破壊装置の腐食（全面腐食）

スタビライザ、ドライウェルスプレイヘッド、サプレッションチェンバスプレイヘッド、ベントヘッド、ダウンカメラ及び真空破壊装置は炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、防食塗装が施されており、通常運転中は窒素雰囲気にあるため腐食が発生する可能性は小さい。また、定期点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

e. サプレッションチェンバサポートの腐食（全面腐食）

サプレッションチェンバサポートは炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、定期点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

f. ストレーナの閉塞

高圧炉心スプレイ系、低圧炉心スプレイ系、余熱除去系及び原子炉隔離冷却系のストレーナはポンプ起動時に、サプレッションチェンバ内に混入した異物の影響で閉塞が想定される。しかしながら、サプレッションチェンバの清掃、目視点検により設備の健全性を定期的を確認しており、これまでストレーナの閉塞は確認されていない。また、第9回定期点検時（2006年度）においてストレーナ閉塞の対策として高圧炉心スプレイ系、低圧炉心スプレイ系及び余熱除去系ストレーナの大容量化を実施しており、炉心冷却機能に影響を及ぼす閉塞が発生する可能性は小さい。

g. ベント管ベローズの疲労割れ

ベント管ベローズは、プラントの起動・停止時等の熱過渡によるドライウェルとサプレッションチェンバの相対変位を吸収するため、ベローズには伸縮の繰返しによる疲労が蓄積され疲労割れが想定される。しかしながら、設計段階において疲労割れが発生しないように考慮された設計となっており、また、安定停止状態においては、有意な熱過渡事象は発生しないため、運転開始後40年時点までは疲労割れが発生する可能性はない。さらに、原子炉格納容器全体として、原子炉格納容器の全体漏えい率試験を実施し、設備の健全性を定期的を確認している。

h. サプレッションチェンバ基礎ボルトの腐食（全面腐食）

h. の評価については「機械設備の技術評価書」の基礎ボルトと同一であることから、当該の評価書を参照のこと。

- (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事象を以下に示す（表 2.2-1 で▲）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても経年劣化の傾向が変化する要因があるとは考え難いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. コンクリート埋設部鋼板の腐食（全面腐食）

コンクリート埋設部鋼板は、コンクリートが中性化した場合に腐食が想定される。しかしながら、実機コンクリートにおけるサンプリング結果では中性化はほとんど確認されておらず、腐食が発生する可能性は小さい。

b. サンドクッション部鋼板の腐食（全面腐食）

サンドクッション部鋼板は炭素鋼であり、海外プラントにおいて、ドレン管が閉塞していたことにより、原子炉格納容器上部からの漏えい水がサンドクッション部に溜まり、鋼板が腐食する事例が報告されている。しかしながら、内外表面は防食塗装が施されており、内面は通常運転中は窒素雰囲気にあること、外面は屋内空調環境下に設置されていることから、腐食が発生する可能性は小さい。なお、ドレン管が閉塞していないこと及び漏えい水が流入していないことを目視点検により定期的を確認している。

表 2.2-1(1/2) 浜岡 4 号機 原子炉格納容器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	ド ラ イ ウ エ ル	上鏡, 円筒部, 球殻部鋼板		炭素鋼		△					
			コンクリート埋設部鋼板		炭素鋼		▲					
			サンドクッション部鋼板		炭素鋼		▲					
			ベント管		炭素鋼		△					
			ベント管ベローズ		ステンレス鋼			△				
			主フランジボルト		低合金鋼		△					
			主フランジガasket	◎								
機器の支持	支持	ド ラ イ ウ エ ル	スタビライザ		炭素鋼	△	△					
			シヤラグ		炭素鋼	△	△					
その他	その他		スプレイヘッド		炭素鋼		△					
			スプレイノズル		ステンレス鋳鋼							

△：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）

▲：（同上）（日常劣化管理事象以外）

表 2.2-1 (2/2) 浜岡 4 号機 原子炉格納容器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	サブプレッショントラップ	シェル	炭素鋼		△						*1:閉塞
			真空破壊装置	炭素鋼, 炭素鋼 鋳鋼		△						
機器の支持	支持		基礎ボルト	低合金鋼		△						
			サポート	炭素鋼	△	△						
その他	その他		スプレイヘッド	炭素鋼		△						
			スプレイノズル	ステンレス鋳鋼								
			ベントヘッド	炭素鋼		△						
			ダウンカム	炭素鋼		△						
			ストレーナ	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）

以上

3.2 電気ペネトレーション

[対象機器]

- ① モジュール型

目 次

1.	対象機器及び代表機器の選定	1
1.1	グループ化の考え方及び結果	1
1.2	代表機器の選定	1
2.	代表機器の技術評価	3
2.1	構造, 材料及び使用条件	3
2.1.1	信号 (核計装) 用ケーブルペネトレーション	3
2.2	経年劣化事象の抽出	6
2.2.1	機器の機能達成に必要な項目	6
2.2.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	6
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	7
2.3	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	9
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. 対象機器及び代表機器の選定

電気ペネトレーションの主な仕様を表 1-1 に示す。

これらの電気ペネトレーションをグループ化し、それぞれのグループより代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

型式及びシール材材料を分類基準とし、電気ペネトレーションを表 1-1 に示すとおりグループ化する。

1.2 代表機器の選定

表 1-1 に分類したグループ毎に、原則として電気ペネトレーション及び接続機器の重要度の観点から代表機器を選定する。

(1) 電気ペネトレーション（シール材材料：エポキシ樹脂）

このグループには、信号（核計装）用、制御・計装用、制御棒位置指示用及び低圧動力用が属するが、接続機器の重要度が高い信号（核計装）用ケーブルペネトレーションを代表機器とする。

表 1-1 浜岡 4 号機 電気ペネトレーションのグループ化と代表機器の選定

分類基準		ペネトレーション番号	使用用途	仕様 呼び径	選定基準（重要度）		選定	選定理由
型式	シール材材料				電気ペネ トレーション	接続機器*1		
モジュール型	エポキシ樹脂	X-100A, 100B, 100C, 100D	信号（核計装）用	300A	MS-1	MS-1	◎	接続機器の重要度
		X-102A	制御・計装用	300A	MS-1	外		
		X-102B, 102C, 102D, 102E	制御・計装用	300A	MS-1	MS-1		
		X-103A	制御・計装用	300A	MS-1	PS-3, MS-3		
		X-103B	制御・計装用	300A	MS-1	PS-3, MS-3		
		X-250A, 250B	制御・計装用	300A	MS-1	MS-1		
		X-104A, 104B, 104C, 104D	制御棒位置指示用	300A	MS-1	MS-3		
		X-105A, 105B, 105C, 105D	低圧動力用	300A	MS-1	MS-1		

*1：最上位の重要度を示す

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気ペネトレーションについて技術評価を実施する。

① 信号（核計装）用ケーブルペネトレーション

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 信号（核計装）用ケーブルペネトレーション

(1) 構造

信号（核計装）用ケーブルペネトレーションは、モジュールボディを取付ボルトで原子炉格納容器外側のヘッダーに固定した構造であり、モジュール交換の便を図ったものである。

モジュール内部は、同軸ケーブル又は電線が貫通し、このケーブル内部を通して窒素ガスなどの漏えいがないように、エポキシ樹脂による2重シールを構成し、気密同軸導体部又は導体部をコネクタ又は接続子により再接続する構造となっている。また、コネクタ、同軸ケーブル及び電線についても、エポキシ樹脂によるシールが施されている。

信号（核計装）用ケーブルペネトレーションの構造図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

信号（核計装）用ケーブルペネトレーション主要部位の使用材料を表 2.1-1 に、使用条件を表 2.1-2 に示す。

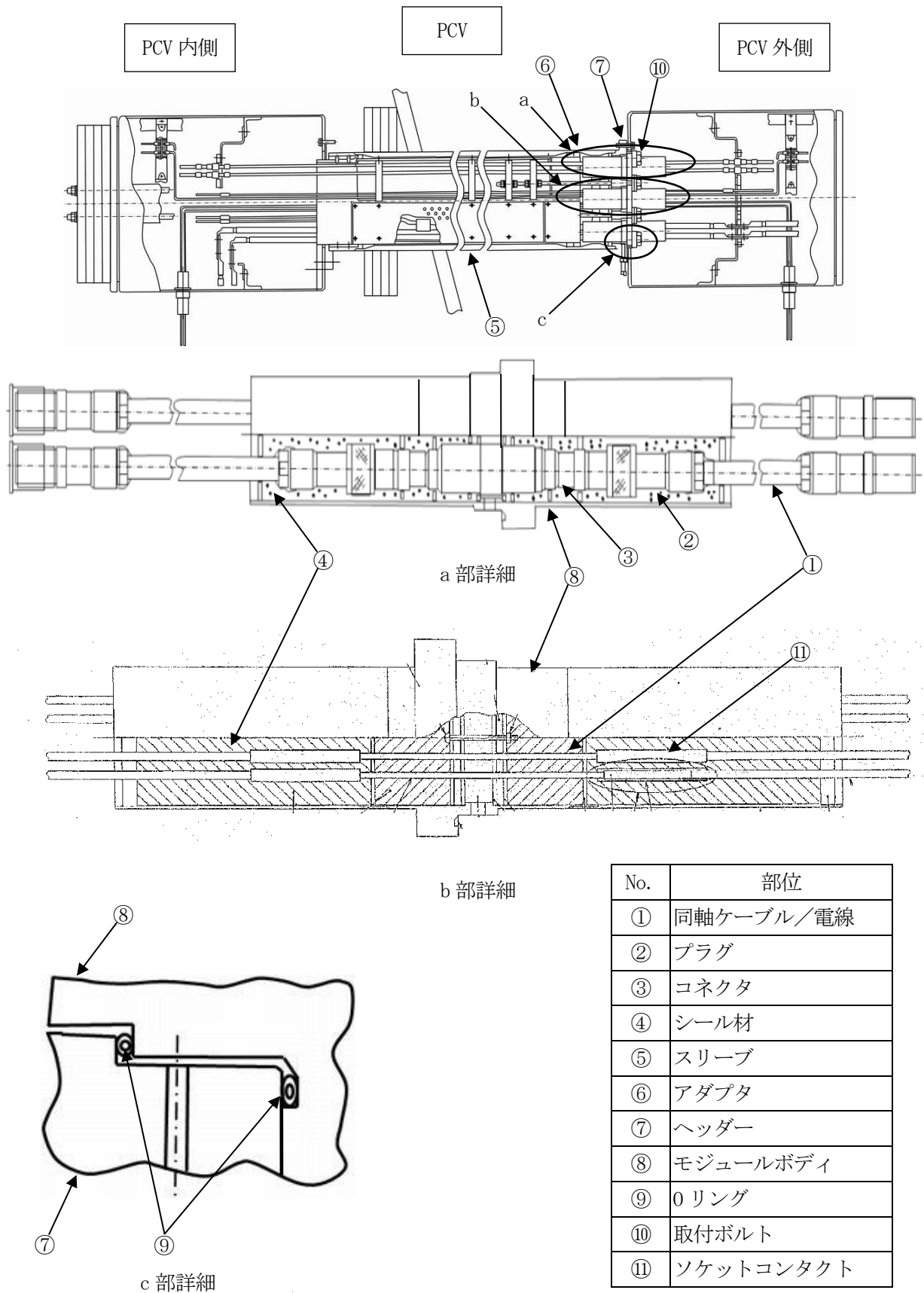


図 2.1-1 浜岡 4 号機 信号 (核計装) 用ケーブルペネトレーション構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 信号 (核計装) 用ケーブルペネトレーション主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
通電・絶縁性能の確保	エネルギー伝達	同軸ケーブル/電線	銅, 絶縁体(耐放射線性架橋ポリエチレン, 難燃性架橋ポリエチレン)
		プラグ	銅
		コネクタ	銅
		ソケットコンタクト	銅合金
	耐圧, 絶縁	シール材	エポキシ樹脂

表 2.1-2 浜岡 4 号機 信号 (核計装) 用ケーブルペネトレーションの使用条件

設置場所	原子炉格納容器内
周囲温度	51℃以下*1

*1:原子炉格納容器内の通常運転時の設計値を示す

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

電気ペネトレーションの機能の達成に必要な項目は以下のとおり。

①通電・絶縁性能の確保

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

(1) 想定される経年劣化事象

電気ペネトレーションについて、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の材料、構造、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表 2.2-1 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

電気ペネトレーションについては、消耗品及び定期取替品はない。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）

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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として以下の事象を抽出した（表 2.2-1 で○）。

a. シール材並びに同軸ケーブル及び電線の絶縁特性低下

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 同軸ケーブル・電線，ソケットコンタクト，プラグ及びコネクタの導通不良

同軸ケーブルや電線に大きな荷重が作用すると、断線や途中接続点のソケットコンタクト、プラグ、コネクタの外れ等により導通不良が想定される。しかしながら、ケーブル及び電線単体には外部からの大きな荷重が作用しない構造となっており、導通不良が発生する可能性は小さい。また、接続機器の点検時に実施する特性試験で健全であることを確認している。

- (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（日常劣化管理事象以外）に該当する事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

表 2.2-1 浜岡 4 号機 信号 (核計装) 用ケーブルペネトレーションに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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		その他
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良		
通電・絶縁性能の確保	エネルギー伝達	同軸ケーブル/電線		銅, 絶縁体					○	△		
		プラグ		銅						△		
		コネクタ		銅						△		
		ソケットコンタクト		銅合金						△		
	耐圧, 絶縁	シール材		エポキシ樹脂					○			

○：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)

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

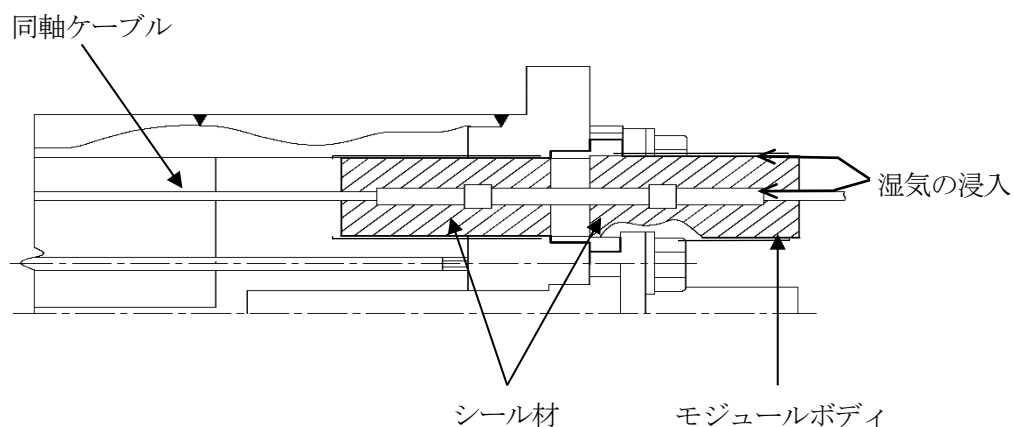
(1) シール材並びに同軸ケーブル及び電線の絶縁特性低下

a. 事象の説明

シール材として使用しているエポキシ樹脂及び同軸ケーブル並びに電線の絶縁体で使用される耐放射線性架橋ポリエチレン，難燃性架橋ポリエチレンは有機物であるため，熱的，放射線照射，機械的，電氣的，環境的要因により，経年的に劣化が進行し，絶縁特性低下を起こす可能性があり，経年劣化に対する評価が必要である。また，モジュールボディ，導体等との接着力が低下し，これら接着面の隙間から大気中の湿気が電気ペネトレーション内部に浸入する可能性があり，これが絶縁特性に影響する可能性がある。

図 2.3-1 に想定される湿気の浸入ルートを示す。

なお，信号（核計装）用ケーブルペネトレーションは静止機器であること，電圧が低いこと，密封状態であることから，機械的，電氣的，環境的要因による劣化は起きないと考える。



信号（核計装）用ケーブルペネトレーション

図 2.3-1 湿気の浸入ルート

b. 技術評価

①健全性評価

シール材として使用しているエポキシ樹脂及び同軸ケーブル、電線の絶縁体で使用している耐放射線性架橋ポリエチレン、難燃性架橋ポリエチレンは、有機物であるため、熱的、放射線照射、機械的、電氣的、環境的要因により、経年的に劣化が進行し、絶縁特性低下を起こす可能性があることから、長期間の使用を考慮すると絶縁体の絶縁特性低下の可能性は否定できない。

②現状保全

信号（核計装）用ケーブルペネトレーションの絶縁特性低下に対しては、接続機器点検時に絶縁抵抗測定を実施し、設備の健全性を定期的に確認している。

また、電気ペネトレーションに有意な絶縁特性低下が認められた場合はモジュールの取替え等を行う。

③総合評価

絶縁体の絶縁特性低下の可能性は否定できないが、絶縁特性低下は点検時における絶縁抵抗測定で把握可能であると考ええる。

また、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応をとることで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

c. 高経年化への対応

信号（核計装）用ケーブルペネトレーションのシール材並びに同軸ケーブル及び電線の絶縁特性低下に対しては、高経年化対策の観点から現状保全の内容に対し追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

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を検討した。

① ケーブルペネトレーション [制御棒位置指示用, 制御・計装用, 低圧動力用]

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

代表機器以外の制御棒位置指示用, 制御・計装用, 低圧動力用のケーブルペネトレーションは, その目的に応じて使用電圧, 通電電流, 導体サイズ及び導体員数が異なっているが, 基本構造, シール材及び電線の材料が同一であることから, 基本的には2章の評価と同等と考える。

a. シール材及び電線の絶縁特性低下 [制御棒位置指示用, 制御・計装用, 低圧動力用のケーブルペネトレーション]

制御棒位置指示用, 制御・計装用, 低圧動力用のケーブルペネトレーションの基本構造, シール材及び電線の材料は, 代表機器である信号(核計装)用ケーブルペネトレーションと同一であることから, 絶縁特性低下を起こす可能性は否定できない。

しかしながら, 絶縁特性低下は接続機器点検時の絶縁抵抗測定や動作試験で把握可能であり, 絶縁特性低下が確認された電気ペネトレーションは, モジュールの取替え等が可能である。また, 当面の安定停止状態においては, 接続機器の使用状態を加味し, 系統機器の定例的な切り替えや定例試験を含む日常保全を継続し, 必要に応じて適切な対応をとることにより健全性は維持できる。

したがって, 高経年化対策の観点から現状保全の内容に対し追加すべき項目はないと判断した。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

- a. 電線、コネクタ及びソケットコンタクトの導通不良 [制御棒位置指示用, 制御・計装用, 低圧動力用のケーブルペネトレーション]

代表機器同様、ケーブルや電線に大きな荷重が作用すると、断線や途中接続点のコネクタ、ソケットコンタクトの外れ等により導通不良が想定される。しかしながら、ケーブルや電線単体には外部からの大きな荷重が作用しない構造となっており、導通不良が発生する可能性は小さい。また、接続機器の点検時に実施する特性試験で健全であることを確認している。

- (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（日常劣化管理事象以外）に該当する事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

以 上

浜岡原子力発電所 4 号機

配管の技術評価書

[冷温停止状態が維持されることを前提とした評価]

中部電力株式会社

本評価書は、浜岡原子力発電所4号機（以下、「浜岡4号機」という。）における安全上重要な配管系（重要度分類指針におけるPS-1,2及びMS-1,2に該当する機器）及び原子炉格納容器外の高圧・高温の環境下にあるクラス3の配管系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。

評価対象機器の一覧を表1に、機能を表2に示す。

評価対象機器を内部流体、材料等で分類し、それぞれのグループから重要度及び使用条件等の観点で代表機器を選定し技術評価を行った後、代表以外の機器について評価を展開している。

本評価書は配管の材料等をもとに、以下の2分冊で構成されている。

1. ステンレス鋼配管系
2. 炭素鋼配管系

なお、本評価書における原子炉冷却材再循環系配管サポートの評価は、原子炉冷却材再循環ポンプのサポートの評価も含まれている。また、制御棒駆動水ポンプ等のポンプ廻りの油配管については「ポンプの技術評価書」、空調設備の油配管及び冷媒配管については「空調設備の技術評価書」、水圧制御ユニット付属配管、非常用ディーゼル機関の補機系統配管及び燃料油配管、圧縮空気系設備配管については「機械設備の技術評価書」に含め、それぞれ評価を実施するものとし本評価書には含まれていない。

また、温度差のある流体の混合等により生じる温度変動による損傷（閉塞分岐管型熱成層）に対しては、（社）日本機械学会「配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針」（JSME S 017-2003）に基づき問題ないことを確認しており、設計上考慮される劣化事象と整理している。

なお、本文中の単位はSI単位系に基づくものとする（圧力の単位は特に注記がない限りゲージ圧力を示す）。

表 1(1/3) 評価対象機器一覧

分類基準		配管系統	仕様 (口径×肉厚)	選定基準			
材料	流体			重要度*1	使用条件		
					使用状態	最高使用圧力	最高使用温度 (°C)
ステンレス鋼	純水	主蒸気系	20 A×S80	MS-1	連続	8.62 MPa	302
		原子炉冷却材再循環系	637.4 mm×44.9 mm	PS-1	連続	10.40 MPa	302
		制御棒駆動水圧系	32 A×S80	MS-1	連続	13.83 MPa	66
		余熱除去系	20 A×S80	MS-1	連続 (短期) *2	8.62 MPa	302
		低圧炉心スプレイ系	20 A×S80	MS-1	待機	8.62 MPa	302
		高圧炉心スプレイ系	20 A×S80	MS-1	待機	8.62 MPa	302
		原子炉冷却材浄化系	20 A×S80	MS-1	連続	8.62 MPa	302
		燃料プール冷却浄化系	200 A×S40	MS-2	連続	1.57 MPa	66
		放射性ドレン移送系	20 A×S40	MS-1	待機	0.981 MPa	171
		補給水系	400 A×STD	MS-1	待機	静水頭	66
	その他ガス	計装用圧縮空気系	50 A×S80	MS-1	連続	0.86 MPa	171
五ほう酸 ナトリウム水	ほう酸水注入系	40 A×S80	MS-1	待機	8.62 MPa	302	

*1：最上位の重要度を示す

*2：除熱時（冷温停止状態の維持含む。）は連続

表 1(2/3) 評価対象機器一覧

分類基準		配管系統	仕様 (口径×肉厚)	選定基準			
材料	流体			重要度*1	使用条件		
					使用状態	最高使用圧力	最高使用温度 (°C)
炭素鋼	純水	給水系	500 A×S100	PS-1	連続	8.62 MPa	302
		原子炉冷却材再循環系	350 A×S120	PS-1	連続	10.40 MPa	302
		制御棒駆動水圧系	200 A×S100	高*2	待機	8.62 MPa	138
		余熱除去系	350 A×S120	MS-1, PS-1	連続 (短期)*3	10.40 MPa	302
		低圧炉心スプレイ系	300 A×S100	MS-1, PS-1	待機	8.62 MPa	302
		高圧炉心スプレイ系	20 A×S160	MS-1	待機	10.79 MPa	302
		原子炉冷却材浄化系	20 A×S160	MS-1	連続	8.83 MPa	302
		燃料プール冷却浄化系	200 A×S40	MS-2	待機	3.73 MPa	186
		放射性ドレン移送系	20 A×S80	MS-1	待機	0.981 MPa	171
		濃縮廃液系	50 A×S80	高*2	連続 (短期)	1.37 MPa	109
		サプレッションプール水排水系	200 A×S40	MS-1	待機	0.427 MPa	104

*1：最上位の重要度を示す

*2：最高使用温度が 95 °C を超え、又は最高使用圧力が 1,900 kPa 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：除熱時（冷温停止状態の維持含む。）は連続

表 1(3/3) 評価対象機器一覧

分類基準		配管系統	仕様 (口径×肉厚)	選定基準			
材料	流体			重要度*1	使用条件		
					使用状態	最高使用圧力	最高使用温度 (°C)
炭素鋼	冷却水*2	原子炉機器冷却水系	200 A×S40	MS-1	連続	1.37 MPa	171
		高圧炉心スプレイ機器冷却水系	300 A×S40	MS-1	連続	1.37 MPa	70
		非常用空調機器冷却水系	200 A×S40	MS-2	連続	1.08 MPa	66
		常用空調機器冷却水系	100 A×S40	MS-1	連続	1.27 MPa	66
	ガス	非常用ガス処理系	300 A×S40	MS-1	待機	0.024 MPa	140
	海水	原子炉機器冷却海水系	800 A×STD	MS-1	連続	0.59 MPa	50
		高圧炉心スプレイ機器冷却海水系	350 A×S40	MS-1	連続	0.59 MPa	50

*1：最上位の重要度を示す

*2：冷却水（防錆剤入り）を示す。

表 2(1/2) 評価対象機器機能一覧

配管系統名	機能
主蒸気系	原子炉で発生した蒸気を主タービンに送る主蒸気系統を構成する。
給水系	復水系より移送された給水を原子炉へ供給する給水系統を構成する。
原子炉冷却材再循環系	原子炉冷却材を原子炉圧力容器より引き出し、原子炉冷却材再循環ポンプで加圧した後、原子炉圧力容器に設置したジェットポンプを通して原子炉内へ供給することで原子炉冷却材を強制循環させる原子炉冷却材再循環系統を構成する。
制御棒駆動水压系	制御棒の駆動に必要な純水を供給する制御棒駆動系統を構成する。
ほう酸水注入系	何らかの理由で制御棒が挿入できなくなり、原子炉の冷温停止ができない場合に、ほう酸水を炉心底部より注入して負の反応度を与え、原子炉を冷温停止状態にするほう酸水注入系統を構成する。
余熱除去系	原子炉停止時の崩壊熱除去のため余熱除去熱交換器にて原子炉冷却材を冷却する余熱除去系統を構成する。他に格納容器冷却モード等のモードがある。
低圧炉心スプレイ系	冷却材喪失事故時、炉心の過熱による燃料破損を防止するため、炉心にサブプレッションプール水をスプレイする低圧炉心スプレイ系統を構成する。
高圧炉心スプレイ系	冷却材喪失事故時、炉心の過熱による燃料破損を防止するため、炉心に復水貯蔵槽水又はサブプレッションプール水をスプレイする高圧炉心スプレイ系統を構成する。
原子炉冷却材浄化系	原子炉冷却材の一部をろ過、脱塩し、給水系に戻す原子炉冷却材浄化系統を構成する。
燃料プール冷却浄化系	燃料プール水の一部をろ過、脱塩し、燃料プールに戻す燃料プール冷却浄化系統を構成する。
放射性ドレン移送系	建屋内で発生した液体廃棄物を分離収集し、各収集槽又はタンクへ移送する放射性ドレン移送系統を構成する。
濃縮廃液系	高電導度廃液を貯蔵し、線量が減衰した廃液を固化装置に移送する濃縮廃液系統を構成する。
補給水系	各系統に必要な補給水を復水貯蔵槽より移送する補給水系統を構成する。
原子炉機器冷却水系	原子炉設備の非常用機器、常用機器で発生する熱を除去する原子炉機器冷却水系統を構成する。
高圧炉心スプレイ機器冷却水系	高圧炉心スプレイ系で発生する熱を除去する高圧炉心スプレイ機器冷却水系統を構成する。
原子炉機器冷却海水系	原子炉機器冷却水熱交換器に冷却用の海水を供給する原子炉機器冷却海水系統を構成する。
高圧炉心スプレイ機器冷却海水系	高圧炉心スプレイ機器冷却水熱交換器に冷却用の海水を供給する高圧炉心スプレイ機器冷却海水系統を構成する。

表 2(2/2) 評価対象機器機能一覧

配管系統名	機能
計装用圧縮空気系	空気作動弁や計装機器に圧縮空気を供給する計装用圧縮空気系統を構成する。
サブプレッションプール水排水系	サブプレッションプールの保守点検のため、プール水を排水するサブプレッションプール水排水系統を構成する。
非常用ガス処理系	原子炉格納容器から漏えいした放射性物質を除去すると共に、原子炉室内を負圧に保ち、放射性物質が大気中に漏えいすることを防止する非常用ガス処理系統を構成する。
非常用空調機器冷水系	非常用系の換気空調給気ユニット内の冷却コイルの冷却水として冷凍機冷水を供給する非常用空調機器冷水系統を構成する。
常用空調機器冷水系	常用系の換気空調給気ユニット内の冷却加熱コイルやローカルクーラ等の冷却水として冷凍機冷水を供給する常用空調機器冷水系統を構成する。

1 ステンレス鋼配管系

[対象系統]

- | | |
|--------------|--------------|
| ① 主蒸気系 | ⑨ 燃料プール冷却浄化系 |
| ② 原子炉冷却材再循環系 | ⑩ 放射性ドレン移送系 |
| ③ 制御棒駆動水圧系 | ⑪ 補給水系 |
| ④ ほう酸水注入系 | ⑫ 計装用圧縮空気系 |
| ⑤ 余熱除去系 | |
| ⑥ 低圧炉心スプレイ系 | |
| ⑦ 高圧炉心スプレイ系 | |
| ⑧ 原子炉冷却材浄化系 | |

目 次

1.	対象機器及び代表機器の選定	1
1.1	グループ化の考え方及び結果	1
1.2	代表機器の選定	1
2.	代表機器の技術評価	3
2.1	構造, 材料及び使用条件	3
2.1.1	原子炉冷却材再循環系	3
2.1.2	計装用圧縮空気系	6
2.1.3	ほう酸水注入系	9
2.2	経年劣化事象の抽出	12
2.2.1	機器の機能達成に必要な項目	12
2.2.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	12
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	13
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	24

1. 対象機器及び代表機器の選定

ステンレス鋼配管系の主な仕様を表 1-1 に示す。

これらの配管系をグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

内部流体を分類基準とし、ステンレス鋼配管系を表 1-1 に示すとおりグループ化する。

1.2 代表機器の選定

表 1-1 に分類したグループ毎に、原則として重要度、使用状態、最高使用温度、最高使用圧力及び口径の観点から代表機器を選定する。

(1) 内部流体：純水

このグループには主蒸気系、原子炉冷却材再循環系、制御棒駆動水压系、余熱除去系、低圧炉心スプレイ系、高圧炉心スプレイ系、原子炉冷却材浄化系、燃料プール冷却浄化系、放射性ドレン移送系、補給水系が属するが、重要度、使用状態、最高使用温度、最高使用圧力の観点から原子炉冷却材再循環系を代表機器とする。

(2) 内部流体：その他ガス

このグループには計装用圧縮空気系のみが属することから、計装用圧縮空気系を代表機器とする。

(3) 内部流体：五ほう酸ナトリウム水

このグループにはほう酸水注入系のみが属することから、ほう酸水注入系を代表機器とする。

表 1-1 浜岡 4 号機 ステンレス鋼配管系のグループ化及び代表機器の選定

分類基準		配管系統	仕様 (口径×肉厚)	選定基準			選定	選定理由	
材料	流体			重要度*1	使用条件				
					使用状態	最高使用温度 (°C)			最高使用圧力
ステンレス鋼	純水	主蒸気系	20A×S80	MS-1	連続	302	8.62 MPa	重要度 使用状態 最高使用温度 最高使用圧力	
		原子炉冷却材再循環系	637.4mm×44.9mm	PS-1	連続	302	10.40 MPa		◎
		制御棒駆動水圧系	32A×S80	MS-1	連続	66	13.83 MPa		
		余熱除去系	20A×S80	MS-1	連続 (短期)*2	302	8.62 MPa		
		低圧炉心スプレイ系	20A×S80	MS-1	待機	302	8.62 MPa		
		高圧炉心スプレイ系	20A×S80	MS-1	待機	302	8.62 MPa		
		原子炉冷却材浄化系	20A×S80	MS-1	連続	302	8.62 MPa		
		燃料プール冷却浄化系	200A×S40	MS-2	連続	66	1.57 MPa		
		放射性ドレン移送系	20A×S40	MS-1	待機	171	0.981 MPa		
		補給水系	400A×STD	MS-1	待機	66	静水頭		
	その他ガス	計装用圧縮空気系	50A×S80	MS-1	連続	171	0.86 MPa	◎	
五ほう酸ナトリウム水	ほう酸水注入系	40A×S80	MS-1	待機	302	8.62 MPa	◎		

*1：最上位の重要度を示す

*2：除熱時（安定停止状態の維持含む。）は連続

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配管系について技術評価を実施する。

- ① 原子炉冷却材再循環系
- ② 計装用圧縮空気系
- ③ ほう酸水注入系

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 原子炉冷却材再循環系

(1) 構造

原子炉冷却材再循環系配管は、直管、エルボ、温度計ウェル等で構成されており、ステンレス鋼が使用されている。また、各配管は溶接により他の配管、機器に接続されている。

原子炉冷却材再循環系配管の系統図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

原子炉冷却材再循環系配管主要部位の使用材料を表 2.1-1 に、使用条件を表 2.1-2 に示す。

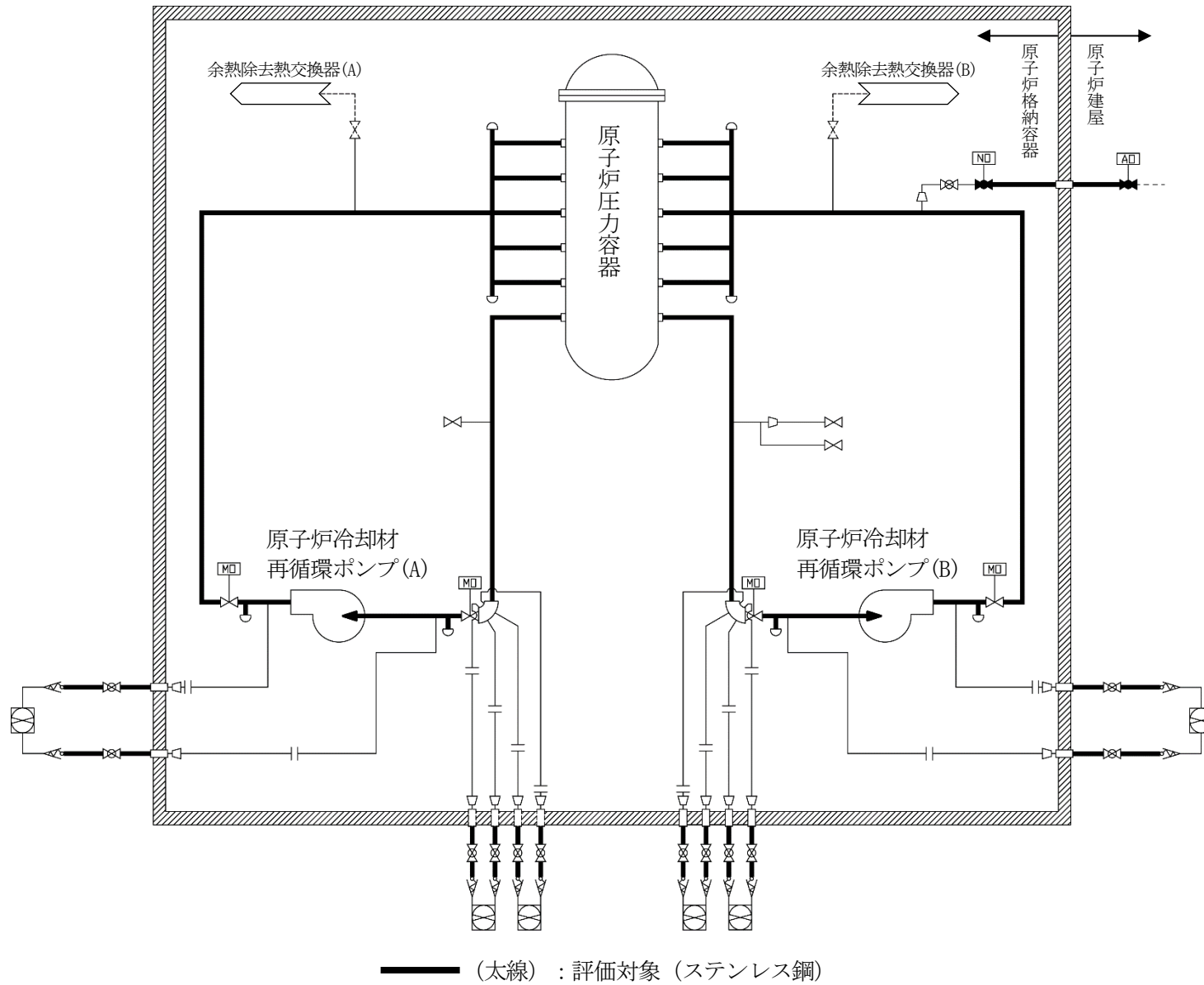


図 2.1-1 浜岡 4 号機 原子炉冷却材再循環系系統図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 原子炉冷却材再循環系配管主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	配管	ステンレス鋼
		温度計ウェル	ステンレス鋼
		サンプリングノズル	ステンレス鋼
機器の支持	支持	メカニカルスナッパ	炭素鋼
		ハンガ	炭素鋼
		ラグ	ステンレス鋼
		レストレイント	炭素鋼, 低合金鋼
		サポート取付ボルト・ナット	ステンレス鋼
		埋込金物	炭素鋼

表 2.1-2 浜岡 4 号機 原子炉冷却材再循環系配管の使用条件

最高使用圧力	10.40 MPa
最高使用温度	302 °C
内部流体	純水

2.1.2 計装用圧縮空気系

(1) 構造

計装用圧縮空気系配管は、直管、エルボ等で構成されており、ステンレス鋼が使用されている。また、各配管は溶接により他の配管、機器に接続されている。

計装用圧縮空気系配管の系統図を図 2.1-2 に示す。

(2) 材料及び使用条件

計装用圧縮空気系配管主要部位の使用材料を表 2.1-3 に、使用条件を表 2.1-4 に示す。

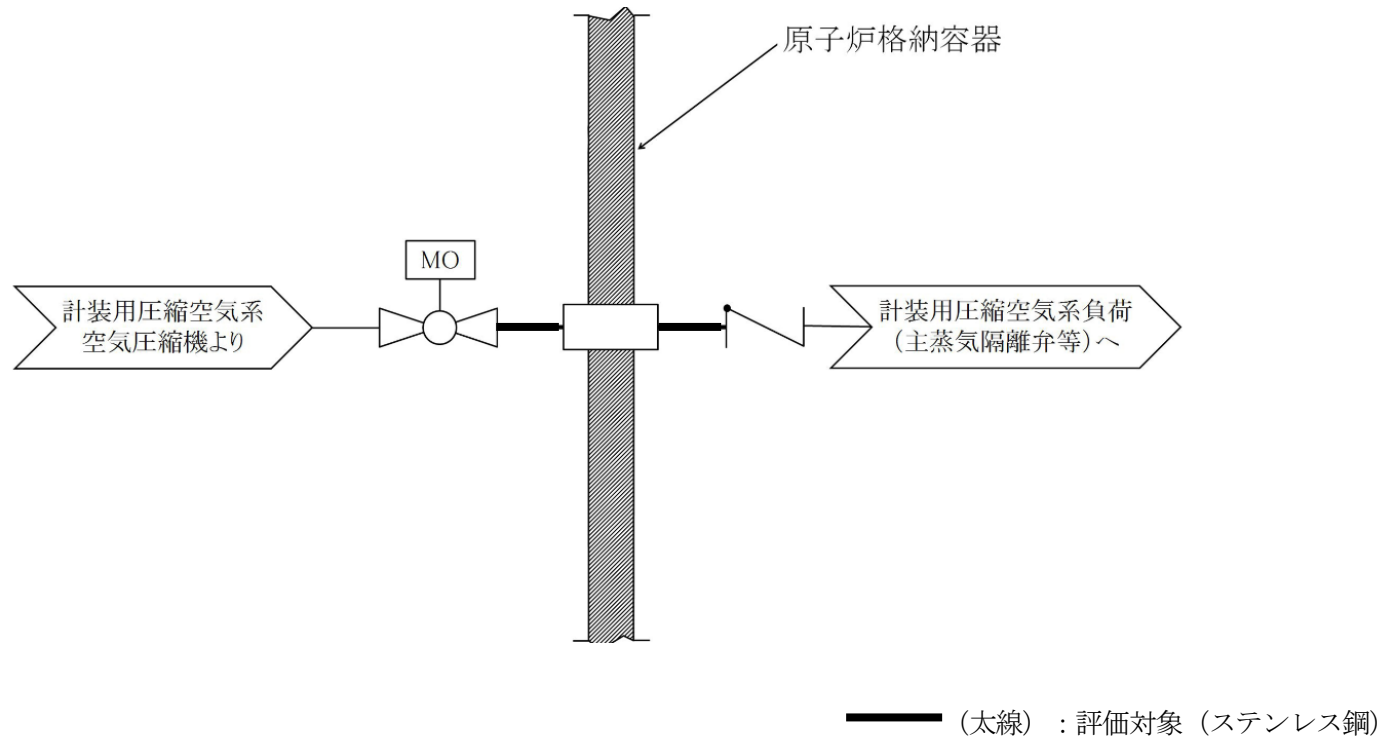


図 2.1-2 浜岡 4 号機 計装用圧縮空気系系統図

表 2.1-3 浜岡 4 号機 計装用圧縮空気系配管主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	配管	ステンレス鋼
機器の支持	支持	レストレイント	炭素鋼
		サポート取付ボルト・ナット	ステンレス鋼
		埋込金物	炭素鋼

表 2.1-4 浜岡 4 号機 計装用圧縮空気系配管の使用条件

最高使用圧力	0.86 MPa
最高使用温度	171 °C
内部流体	その他ガス

2.1.3 ほう酸水注入系

(1) 構造

ほう酸水注入系配管は、直管、エルボ等で構成されており、ステンレス鋼が使用されている。また、各配管は溶接により他の配管、機器に接続されている。

ほう酸水注入系配管の系統図を図 2.1-3 に示す。

(2) 材料及び使用条件

ほう酸水注入系配管主要部位の使用材料を表 2.1-5 に、使用条件を表 2.1-6 に示す。

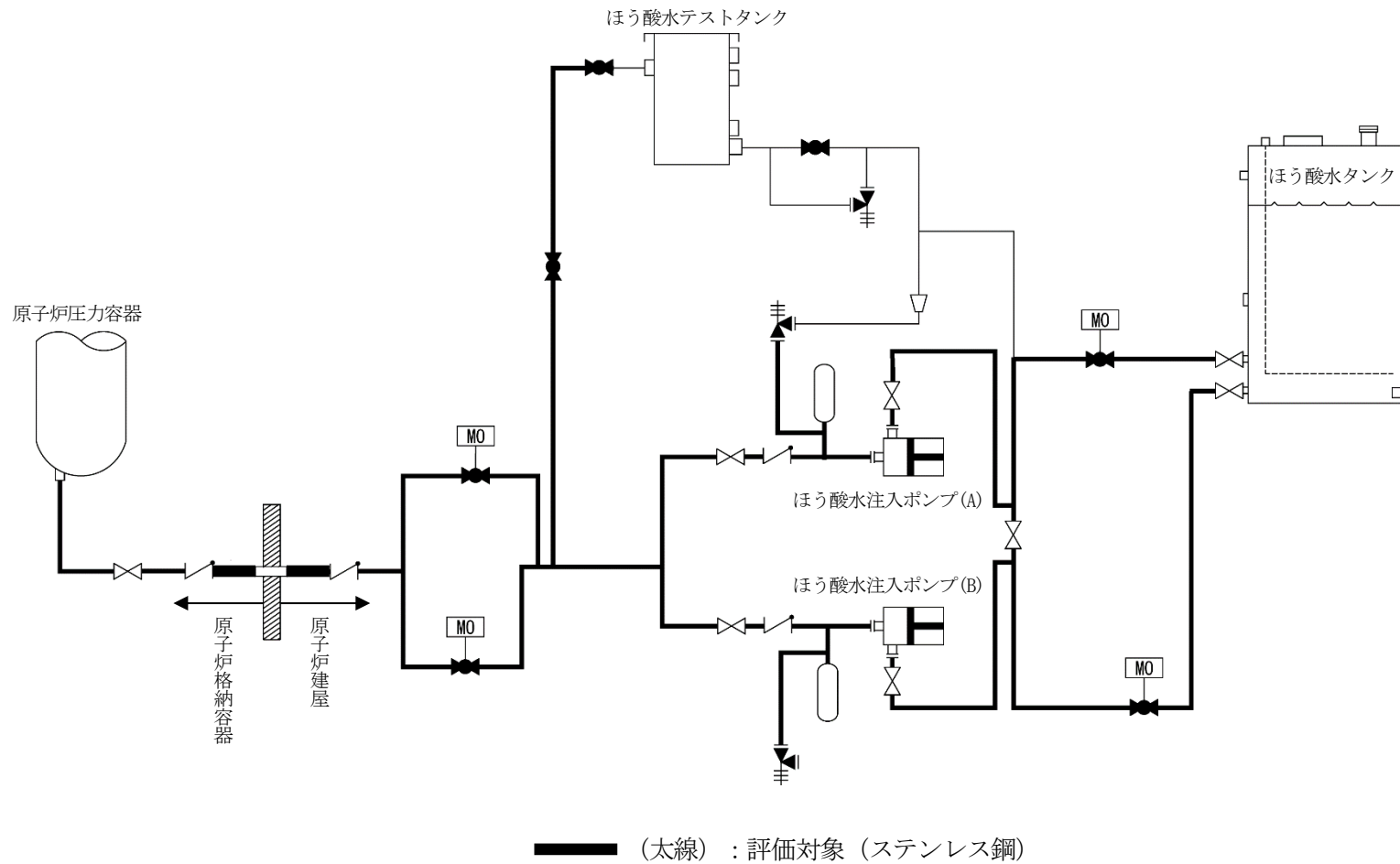


図 2.1-3 浜岡 4 号機 ほう酸水注入系系統図

表 2.1-5 浜岡 4 号機 ほう酸水注入系配管主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	配管	ステンレス鋼
機器の支持	支持	メカニカルスナッパ	炭素鋼
		ハンガ	炭素鋼
		レストレイント	炭素鋼
		サポート取付ボルト・ナット	ステンレス鋼
		埋込金物	炭素鋼

表 2.1-6 浜岡 4 号機 ほう酸水注入系配管の使用条件

最高使用圧力	8.62 MPa
最高使用温度	302 °C
内部流体	五ほう酸ナトリウム水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

ステンレス鋼配管系の機能（流体の流路確保）の達成に必要な項目は以下のとおり。

- ①バウンダリの維持
- ②機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

(1) 想定される経年劣化事象

ステンレス鋼配管系について、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、個々の部位の材料、構造、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表 2.2-1 に示すとおり経年劣化事象を抽出する。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

配管については、消耗品及び定期取替品はない。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

- ①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）
- 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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として以下の事象を抽出した（表 2.2-1 で○）。

a. 配管の疲労割れ [原子炉冷却材再循環系]

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

- a. メカニカルスナッパ、ハンガ及びレストレイントの腐食（全面腐食）〔ステンレス鋼配管系共通〕

これらの機器の材料は炭素鋼又は低合金鋼を使用しており、腐食が想定される。しかしながら、通常運転中は窒素雰囲気又は屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、定期点検時又は巡視点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- b. ラグ及びレストレイントの疲労割れ〔ステンレス鋼配管系共通〕

ラグ及びレストレイントについては、配管熱変位の拘束に伴う繰返し荷重により材料（特に支持部材取付け溶接継手）に疲労が蓄積されるため、低サイクル疲労割れが想定される。しかしながら、設計段階において、配管の熱応力を考慮して拘束点を選定しており、熱応力が過大になる場合はスナッパを使用することとしていることから、熱応力により割れに至る疲労が蓄積される可能性は小さい。また、定期点検時又は巡視点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- c. 埋込金物の腐食（全面腐食）〔ステンレス鋼配管系共通〕

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、大気接触部については塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、定期点検時又は巡視点検時における目視点検により、必要に応じて補修を行うことで設備の健全性を確認している。なお、コンクリート埋設部については、コンクリート大気接触表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、「コンクリート構造物及び鉄骨構造物の技術評価書」のとおり中性化はほとんどみられておらず、腐食が発生する可能性は小さい。

- d. 配管の高サイクル疲労割れ〔ステンレス鋼配管系共通〕

小口径配管のソケット溶接部は、ポンプ等の機械・流体振動による繰返し応力により、高サイクル疲労割れが想定される。しかしながら、設計段階において、これらの想定を検討事項に反映し小口径配管の振動対策として改良すみ肉溶接及び配管サポートの設置等の対策を建設段階において実施済みであり、高サイクル疲労割れ対策が既に図られている。また、振動の状態は経年的に変化するものではないことから、高サイクル疲労割れが発生する可能性は小さい。

温度差のある流体の混合等により生じる温度変動による損傷（高低温水合流型高サイクル熱疲労）に対しては、原子力安全・保安院指示文書（平成 19・2・15 原院第 2 号 平成 19 年 2 月 16 日「高サイクル熱疲労に係る評価及び検査に対する要求事項について」NISA-163b-07-01）に従い（社）日本機械学会「配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針」（JSME S 017-2003）に基づき評価した結果、当該事象に関し問題ないことを確認している。また、定期点検時又は巡視点検時における目視点検により設備の健全性を確認している。

e. 温度計ウェル及びサンプリングノズルの高サイクル疲労割れ [原子炉冷却材再循環系]

温度計ウェル及びサンプリングノズルについては、内部流体の流体力、カルマン渦、双子渦発生による励振力により、管台との取合い部に高サイクル疲労割れが想定される。しかしながら、設計上流体との同期振動の回避及びランダム渦による強度が考慮されていれば損傷を回避できるものであり、これまで当該系統において高サイクル疲労割れの事例はない。また、流体振動による配管内円柱状構造物の損傷に対しては、原子力安全・保安院指示文書（平成 17・12・22 原院第 6 号 平成 17 年 12 月 27 日「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の改正に伴う電気事業法に基づく定期事業者検査の実施について」NISA-163a-05-03）及び当該文書の別紙 1「新省令第 6 条及び第 8 条の 2 第 2 項における流体振動による損傷の防止に関する当面の措置について」に従い（社）日本機械学会「配管内円柱状構造物の流力振動評価指針（JSME S012-1998）」に基づき評価した結果、損傷の可能性が否定できないものについては第 9 回定期点検（2006 年度）にて、短尺化による共振の回避又は撤去により対策を実施している。また、定期点検時における目視点検により設備の健全性を確認している。

f. 配管等の貫粒型応力腐食割れ [ステンレス鋼配管系共通]

ステンレス鋼を使用している配管、温度計ウェル、サンプリングノズル及びラグは、外表面に塩分が付着することに起因する貫粒型応力腐食割れが想定される。しかしながら、付着塩分量を維持管理基準以下に管理するため代表ポイントにおける付着塩分量測定を実施している。清掃基準を超えた場合には清掃を計画するとともに、目視点検を実施し、必要に応じて補修又は取替えを行うことで設備の健全性を定期的に確認している。また、通常運転中は窒素雰囲気又は屋内空調環境下に設置されており、さらに、原子炉格納容器内の配管については、原子炉格納容器の給気は塩分除去装置を通気しているため、塩分が付着することに起因する貫粒型応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

g. 配管の粒界型応力腐食割れ [ステンレス鋼配管系共通]

ステンレス鋼配管は、100℃以上の流体が接液する応力が高い部位で粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら、原子炉冷却材再循環系配管については、第 7 回定期点検（2002 年度）において、ひび割れの徴候が確認された配管の取替えや補修、高周波誘導加熱処理^{*1} 等による残留応力改善措置を行っている。また、1999 年度において、原

子炉冷却材再循環ポンプ入口配管除染座（フランジ）のキャップ化を行い、2010年度にそのキャップ化した箇所について、内面肉盛工法^{*2}による応力腐食割れの感受性改善措置を実施している。また、ほう酸水注入系配管及び計装用圧縮空気系配管については、小口径配管であり、溶接部の残留応力が小さいことから粒界型応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

さらに、「実用発電用原子炉及びその附属施設における破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥の解釈」（原規技発第 2107219 号（令和 3 年 7 月 21 日原子力規制委員会決定））又は日本機械学会「発電用原子力設備規格 維持規格（2012 年版（2013 年追補及び 2014 年追補を含む。）（JSME S NA1-2012/2013/2014）」（以下、「維持規格」という。）等に基づき計画的に設備の健全性を確認している。

*1：高周波誘導加熱処理：高周波誘導コイルにより配管外面を加熱すると同時に、配管内に冷却水を通し、配管の内外面の温度差で配管内面の残留応力を改善する方法

*2：内面肉盛工法：配管内面の接液部をあらかじめ溶着金属で覆い、応力腐食割れの感受性を改善する方法

h. メカニカルスナッパ及びハンガの機能低下〔原子炉冷却材再循環系、ほう酸水注入系〕

メカニカルスナッパ及びハンガは長期にわたる摺動の繰返しによるピン、ボールネジ及びボールナット等の摺動部材の摩耗による機能低下が想定される。しかしながら、ピン、ボールネジ及びボールナット等の摺動部材については、起動・停止時に想定される配管熱移動による摺動回数は少なく、著しい摩耗が生じる可能性は小さい。

また、ハンガのスプリング（ばね）については常時応力がかかった状態で使用されるため、へたりによる機能低下が想定される。しかしながら、スプリング使用時のねじり応力が、許容ねじり応力以下になるように設定されており、スプリングの材料に対する推奨使用最高温度よりも実際の使用温度は低いことから、へたりが進行する可能性は小さい。

さらに、定期点検時又は巡視点検時における目視点検、メカニカルスナッパの低速走行試験により設備の健全性を定期的に確認している。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

表 2.2-1(1/3) 浜岡 4 号機 原子炉冷却材再循環系配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	配管		ステンレス鋼			○ △*1	△*2*3				*1:高サイクル疲労割れ	
		温度計ウェル		ステンレス鋼			△*1	△*2				*2:貫粒型応力腐食割れ	
		サンプリングノズル		ステンレス鋼			△*1	△*2				*3:粒界型応力腐食割れ	
機器の支持	支持	メカニカルスナッパ		炭素鋼		△					△*4	*4:機能低下	
		ハンガ		炭素鋼		△					△*4		
		ラグ		ステンレス鋼				△	△*2				
		レストレイント		炭素鋼, 低合金鋼			△	△					
		サポート取付ボルト・ナット		ステンレス鋼									
		埋込金物		炭素鋼			△						

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(2/3) 浜岡4号機 計装用圧縮空気系配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	配管		ステンレス鋼			△*1	△*2*3				*1:高サイクル疲労割れ
機器の支持	支持	レストレイント		炭素鋼		△	△					*2:貫粒型応力腐食割れ
		サポート取付ボルト ・ナット		ステンレス鋼								*3:粒界型応力腐食割れ
		埋込金物		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(3/3) 浜岡4号機 ほう酸水注入系配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	配管		ステンレス鋼			△*1	△*2*3				*1:高サイクル疲労割れ	
機器の支持	支持	メカニカルスナッパ		炭素鋼		△					△*4	*2:貫粒型応力腐食割れ	
		ハンガ		炭素鋼		△					△*4	*3:粒界型応力腐食割れ	
		レストレイント		炭素鋼		△	△						*4:機能低下
		サポート取付ボルト・ナット		ステンレス鋼									
		埋込金物		炭素鋼			△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

(1) 配管の疲労割れ [原子炉冷却材再循環系]

a. 事象の説明

原子炉冷却材再循環系配管は、プラントの起動・停止時等に熱過渡を受けるため、繰返しにより疲労が蓄積する可能性がある。

b. 技術評価

①健全性評価

原子炉冷却材再循環系配管について、応力算出並びに評価を実施した。

疲労評価は、図 2.3-1 に示す三次元梁モデルを作成し、運転実績に基づいた現時点（2020 年度末）の過渡回数を用いて、日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 2005 年版（2007 年追補版を含む）（JSME S NC1-2005/2007）」（以下、「設計・建設規格」という。）に基づき実施した。評価用過渡条件を表 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「発電用原子力設備規格 環境疲労評価手法（2009 年版）（JSME S NF1-2009）」（以下、「環境疲労評価手法」という。）に基づき評価を実施した。

この結果、表 2.3-2 に示すとおり、環境を考慮した疲れ累積係数は 2020 年度末時点において許容値以下であり、安定停止状態においては、有意な熱過渡事象は発生しないため、運転開始後 40 年時点までは疲労割れが発生する可能性はないと判断する。

②現状保全

原子炉冷却材再循環系配管については、「実用発電用原子炉及びその附属施設における破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥の解釈」（原規技発第 2107219 号（令和 3 年 7 月 21 日原子力規制委員会決定））又は維持規格に基づき定期的に超音波探傷試験、浸透探傷試験及び漏えい試験を実施し、耐圧部の健全性を確認している。

さらに、当面の安定停止状態においては、その運転状態を考慮した追加的な点検等を行っている。

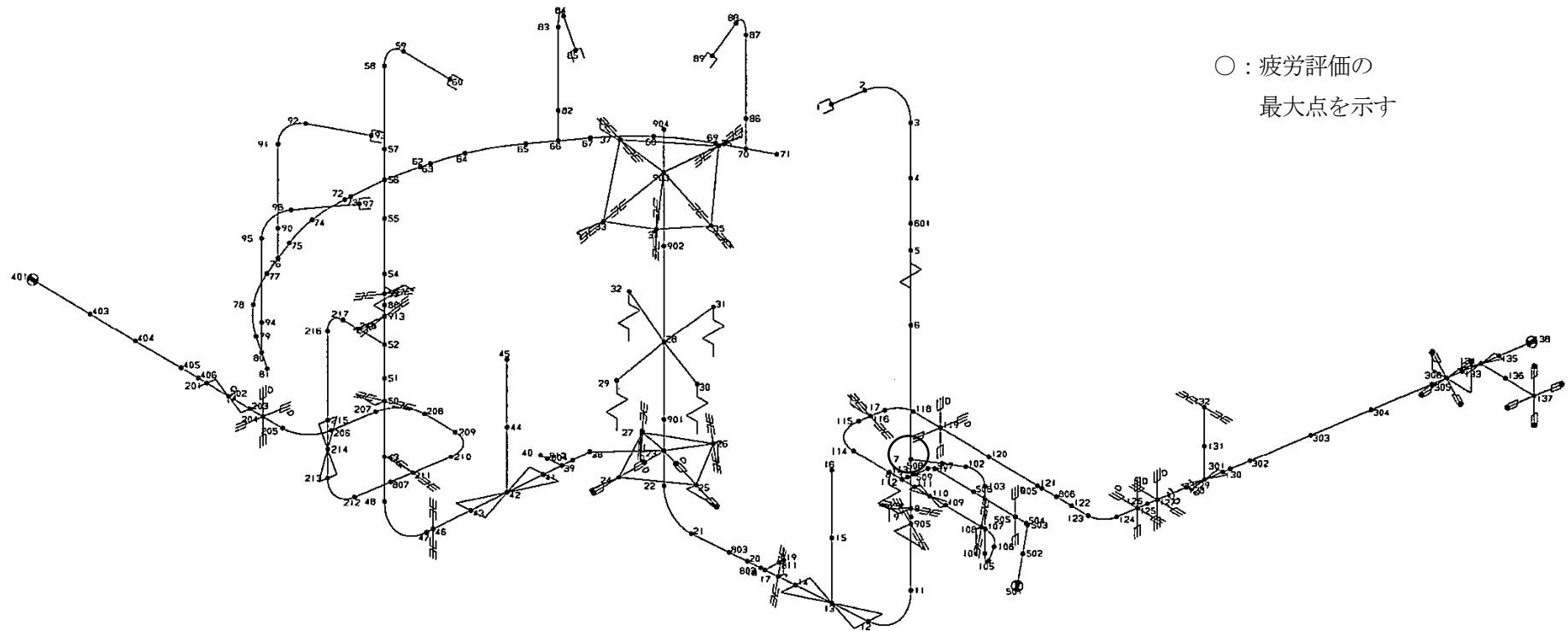
③総合評価

健全性評価結果より、原子炉冷却材再循環系配管は、疲労割れが発生する可能性はなく、また、疲労割れは定期的に実施している超音波探傷試験、浸透探傷試験及び漏えい試験によって検知可能であることから、現状の保全は点検手法として適切であると判断する。

なお、当面の安定停止状態においては、有意な熱過渡事象は発生しないため、運転開始後 40 年時点までは疲労割れが発生する可能性はないと判断する。

c. 高経年化への対応

配管の疲労割れについては，高経年化対策の観点から現状保全の内容に追加すべき項目はなく，今後も現状保全を継続していく。



○：疲労評価の
最大点を示す

図 2.3-1 浜岡 4 号機 原子炉冷却材再循環系配管三次元梁モデル

表 2.3-1 浜岡 4 号機 原子炉冷却材再循環系評価用過渡条件

運転条件	運転実績に基づく 過渡回数 (2020 年度末時点)
ボルト締付	16
耐圧試験 (最高使用圧力以下)	45
起動 (昇温)	34
夜間低出力運転 (出力 75%)	0
週末低出力運転 (出力 50%)	3
制御棒パターン変更	116
給水加熱器機能喪失 (発電機トリップ)	7
スクラム (タービントリップ)	4
スクラム (原子炉給水ポンプ停止)	0
スクラム (その他)	6
停止	34
ボルト取外	16
逃がし安全弁誤作動	0

表 2.3-2 浜岡 4 号機 原子炉冷却材再循環系配管の疲労評価結果

配管系	運転実績回数に基づく疲れ累積係数 (許容値 : 1 以下)	
	設計・建設規格の疲労曲線による解析	環境疲労解析手法による解析
	現時点 (2020 年度末時点)	現時点 (2020 年度末時点)
原子炉冷却材再循環系	0.0051	0.1148

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へ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を検討した。

[対象系統]

- ① 主蒸気系
- ② 制御棒駆動水圧系
- ③ 余熱除去系
- ④ 低圧炉心スプレイ系
- ⑤ 高圧炉心スプレイ系
- ⑥ 原子炉冷却材浄化系
- ⑦ 燃料プール冷却浄化系
- ⑧ 放射性ドレン移送系
- ⑨ 補給水系

3.1 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は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

- a. メカニカルスナッパ及びレストレイントの腐食（全面腐食）〔主蒸気系，制御棒駆動水圧系，余熱除去系，低圧炉心スプレイ系，高圧炉心スプレイ系，原子炉冷却材浄化系，燃料プール冷却浄化系〕

代表機器同様，これらの機器の材料は炭素鋼を使用しており，腐食が想定される。しかしながら，通常運転中は窒素雰囲気又は屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，定期点検時又は巡視点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- b. レストレイントの疲労割れ〔主蒸気系，制御棒駆動水圧系，余熱除去系，低圧炉心スプレイ系，高圧炉心スプレイ系，原子炉冷却材浄化系，燃料プール冷却浄化系〕

代表機器同様，レストレイントについては，配管熱変位の拘束に伴う繰返し荷重により材料（特に支持部材取付け溶接継手）に疲労が蓄積されるため，低サイクル疲労割れが想定される。しかしながら，設計段階において，配管の熱応力を考慮して拘束点を選定しており，熱応力が過大になる場合はスナッパを使用することとしていることから，熱応力により割れに至る疲労が蓄積される可能性は小さい。また，定期点検時又は巡視点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- c. 埋込金物の腐食（全面腐食）〔主蒸気系，制御棒駆動水圧系，余熱除去系，低圧炉心スプレイ系，高圧炉心スプレイ系，原子炉冷却材浄化系，燃料プール冷却浄化系〕

代表機器同様，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，大気接触部については塗装を施していることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，定期点検時又は巡視点検時における目視点検により，必要に応じて補修を行うことで設備の健全性を確認している。なお，コンクリート埋設部については，コンクリート大気接触表面からの中性化の進行により腐食環境となるが，「コンクリート構造物及び鉄骨構造物の技術評価書」のとおり中性化はほとんどみられておらず，腐食が発生する可能性は小さい。

- d. 配管の高サイクル疲労割れ〔ステンレス鋼配管系共通〕

代表機器同様，小口径配管のソケット溶接部は，ポンプ等の機械・流体振動による繰返し応力により，高サイクル疲労割れが想定される。しかしながら，設計段階において，

これらの想定を検討事項に反映し小口径配管の振動対策としてや改良すみ肉溶接及び配管サポートの設置等の対策を建設段階において実施済みであり、高サイクル疲労割れ対策が既に図られている。また、振動の状態は経年的に変化するものではないことから、高サイクル疲労割れが発生する可能性は小さい。

温度差のある流体の混合等により生じる温度変動による損傷（高低温水合流型高サイクル熱疲労）に対しては、原子力安全・保安院指示文書（平成19・2・15原院第2号 平成19年2月16日「高サイクル熱疲労に係る評価及び検査に対する要求事項について」NISA-163b-07-01）に従い（社）日本機械学会「配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針」（JSME S 017-2003）に基づき評価した結果、当該事象に関し問題ないことを確認している。また、定期点検時又は巡視点検時における目視点検により設備の健全性を確認している。

e. 配管の貫粒型応力腐食割れ [ステンレス鋼配管系共通]

代表機器同様、ステンレス鋼を使用している配管は、外表面に塩分が付着することに起因する貫粒型応力腐食割れが想定される。しかしながら、付着塩分量を維持管理基準以下に管理するため代表ポイントにおける付着塩分量測定を実施している。清掃基準を超えた場合には清掃を計画するとともに、目視点検を実施し、必要に応じて補修又は取替を行うことで設備の健全性を定期的に確認している。また、通常運転中は窒素雰囲気又は屋内空調環境下に設置されており、さらに、原子炉格納容器内の配管については、原子炉格納容器の給気は塩分除去装置を通気しているため、塩分が付着することに起因する貫粒型応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

f. 配管の粒界型応力腐食割れ [ステンレス鋼配管系共通]

代表機器同様、ステンレス鋼配管は、100℃以上の流体が接液する応力が高い部位で粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら、小口径配管においては、溶接部の残留応力が小さいことから粒界型応力腐食割れが発生する可能性は小さい。また、「実用発電用原子炉及びその附属施設における破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥の解釈」（原規技発第2107219号（令和3年7月21日原子力規制委員会決定））又は維持規格等に基づき計画的に設備の健全性を確認している。

g. メカニカルスナッパの機能低下 [主蒸気系]

メカニカルスナッパは長期にわたる摺動の繰返しによるピン、ボールネジ及びボールナット等の摺動部材の摩耗による機能低下が想定される。しかしながら、ピン、ボールネジ及びボールナット等の摺動部材については、起動・停止時に想定される配管熱移動による摺動回数は少なく、著しい摩耗が生じる可能性は小さい。

また、定期点検時又は巡視点検時における目視点検、メカニカルスナッパの低速走行試験により設備の健全性を定期的に確認している。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

以 上

2 炭素鋼配管系

[対象系統]

- ① 給水系
- ② 原子炉冷却材再循環系
- ③ 制御棒駆動水圧系
- ④ 余熱除去系
- ⑤ 低圧炉心スプレイ系
- ⑥ 高圧炉心スプレイ系
- ⑦ 原子炉冷却材浄化系
- ⑧ 燃料プール冷却浄化系
- ⑨ 放射性ドレン移送系
- ⑩ 濃縮廃液系
- ⑪ 原子炉機器冷却水系
- ⑫ 高圧炉心スプレイ機器冷却水系
- ⑬ 原子炉機器冷却海水系
- ⑭ 高圧炉心スプレイ機器冷却海水系
- ⑮ サプレッションプール水排水系
- ⑯ 非常用ガス処理系
- ⑰ 非常用空調機器冷水系
- ⑱ 常用空調機器冷水系

目 次

1.	対象機器及び代表機器の選定	1
1.1	グループ化の考え方及び結果	1
1.2	代表機器の選定	1
2.	代表機器の技術評価	3
2.1	構造, 材料及び使用条件	3
2.1.1	給水系	3
2.1.2	原子炉機器冷却水系	6
2.1.3	非常用ガス処理系	9
2.1.4	原子炉機器冷却海水系	12
2.2	経年劣化事象の抽出	15
2.2.1	機器の機能達成に必要な項目	15
2.2.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	15
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	16
2.3	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	24
3.	代表機器以外への展開	27
3.1	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	27
3.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	28

1. 対象機器及び代表機器の選定

炭素鋼配管系の主な仕様を表 1-1 に示す。

これらの配管系をグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

内部流体を分類基準とし、炭素鋼配管系を表 1-1 に示すとおりグループ化する。

1.2 代表機器の選定

表 1-1 に分類したグループ毎に、原則として重要度、使用状態、最高使用温度、最高使用圧力及び口径の観点から代表機器を選定する。

(1) 内部流体：純水

このグループには給水系、原子炉冷却材再循環系、制御棒駆動水圧系、余熱除去系、低圧炉心スプレイ系、高圧炉心スプレイ系、原子炉冷却材浄化系、燃料プール冷却浄化系、放射性ドレン移送系、濃縮廃液系、サプレッションプール水排水系が属するが、重要度、使用状態、口径の観点から給水系を代表機器とする。

(2) 内部流体：冷却水（防錆剤入り）

このグループには原子炉機器冷却水系、高圧炉心スプレイ機器冷却水系、非常用空調機器冷却水系、常用空調機器冷却水系が属するが、重要度、最高使用温度の観点から原子炉機器冷却水系を代表機器とする。

(3) 内部流体：その他ガス

このグループには非常用ガス処理系のみが属するため、非常用ガス処理系を代表機器とする。

(4) 内部流体：海水

このグループには原子炉機器冷却海水系、高圧炉心スプレイ機器冷却海水系が属するが、口径の観点から原子炉機器冷却海水系を代表機器とする。

表 1-1 浜岡 4 号機 炭素鋼配管系のグループ化及び代表機器の選定

分類基準		配管系統	仕様 (口径×肉厚)	選定基準			選定	選定理由	
材料	流体			重要度*1	使用条件				
					使用 状態	最高使用温度 (℃)			最高使用圧力
炭素鋼	純水	給水系	500A×S100	PS-1	連続	302	8.62 MPa	◎	重要度 使用状態 口径
		原子炉冷却材再循環系	350A×S120	PS-1	連続	302	10.40 MPa		
		制御棒駆動水圧系	200A×S100	高*2	待機	138	8.62 MPa		
		余熱除去系	350A×S120	MS-1, PS-1	連続(短期)*3	302	10.40 MPa		
		低圧炉心スプレイ系	300A×S100	MS-1, PS-1	待機	302	8.62 MPa		
		高圧炉心スプレイ系	20A×S160	MS-1	待機	302	10.79 MPa		
		原子炉冷却材浄化系	20A×S160	MS-1	連続	302	8.83 MPa		
		燃料プール冷却浄化系	200A×S40	MS-2	待機	186	3.73 MPa		
		放射性ドレン移送系	20A×S80	MS-1	待機	171	0.981 MPa		
		濃縮廃液系	50A×S80	高*2	連続(短期)	109	1.37 MPa		
	サプレッションプール水排水系	200A×S40	MS-1	待機	104	0.427 MPa			
	冷却水*4	原子炉機器冷却水系	200A×S40	MS-1	連続	171	1.37 MPa	◎	重要度 最高使用温度
		高圧炉心スプレイ機器冷却水系	300A×S40	MS-1	連続	70	1.37 MPa		
		非常用空調機器冷水系	200A×S40	MS-2	連続	66	1.08 MPa		
		常用空調機器冷水系	100A×S40	MS-1	連続	66	1.27 MPa		
	その他 ガス	非常用ガス処理系	300A×S40	MS-1	待機	140	0.024 MPa	◎	
	海水	原子炉機器冷却海水系	800A×STD	MS-1	連続	50	0.59 MPa	◎	口径
		高圧炉心スプレイ機器冷却海水系	350A×S40	MS-1	連続	50	0.59 MPa		

*1：最上位の重要度を示す

*2：最高使用温度が 95 ℃を超え、又は最高使用圧力が 1,900 kPa 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：除熱時（安定停止状態の維持含む。）は連続

*4：冷却水（防錆剤入り）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配管系について技術評価を実施する。

- ① 給水系
- ② 原子炉機器冷却水系
- ③ 非常用ガス処理系
- ④ 原子炉機器冷却海水系

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 給水系

(1) 構造

給水系配管は、直管、エルボ等で構成されており、炭素鋼が使用されている。また各配管は溶接により他の配管、機器に接続されている。

給水系配管の系統図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

給水系配管主要部位の使用材料を表 2.1-1 に、使用条件を表 2.1-2 に示す。

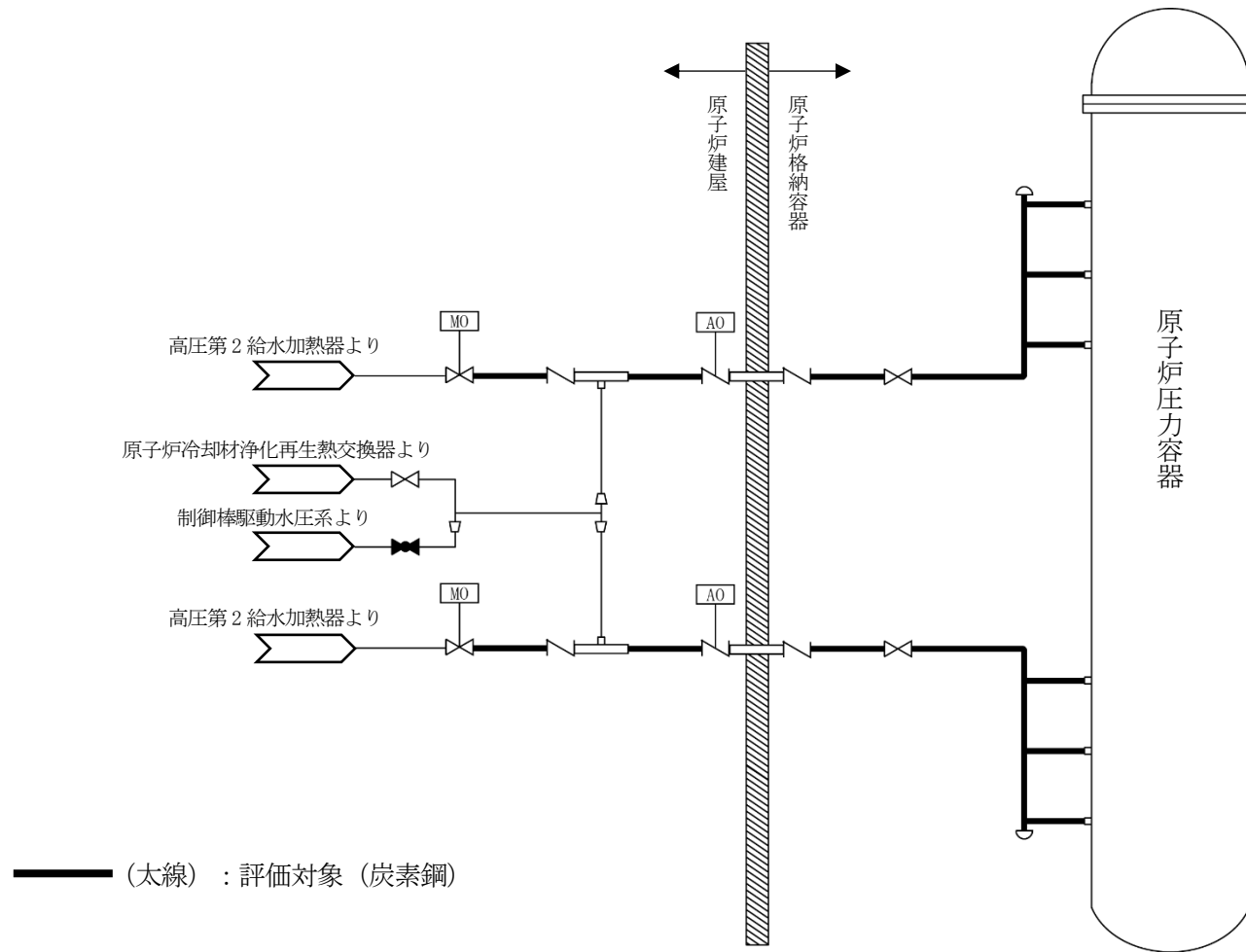


図 2.1-1 浜岡 4 号機 給水系統図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 給水系配管主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	配管	炭素鋼
機器の支持	支持	メカニカルスナッパ	炭素鋼
		ハンガ	炭素鋼
		ラグ	炭素鋼
		埋込金物	炭素鋼

表 2.1-2 浜岡 4 号機 給水系配管の使用条件

最高使用圧力	8.62 MPa
最高使用温度	302 °C
内部流体	純水

2.1.2 原子炉機器冷却水系

(1) 構造

原子炉機器冷却水系配管は、直管、エルボ、温度計ウェル等で構成されており、炭素鋼が使用されている。また各配管はフランジ又は溶接により他の配管、機器に接続されている。

原子炉機器冷却水系配管の系統図を図 2.1-2 に示す。

(2) 材料及び使用条件

原子炉機器冷却水系配管主要部位の使用材料を表 2.1-3 に、使用条件を表 2.1-4 に示す。

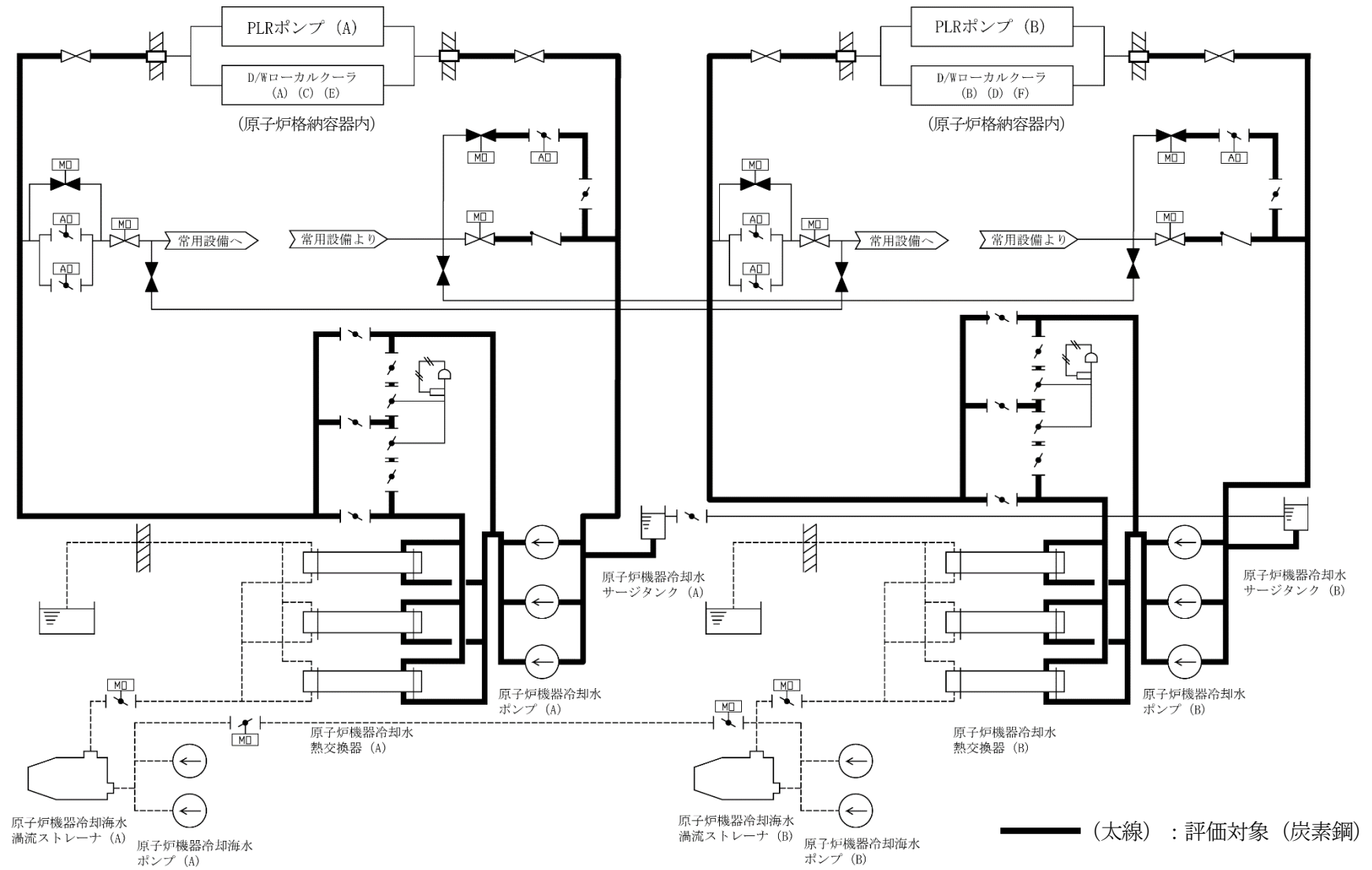


図 2.1-2 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却水系統図

表 2.1-3 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却水系配管主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	配管	炭素鋼
		温度計ウェル	炭素鋼
		フランジボルト・ナット	炭素鋼, 低合金鋼
		ガスケット	(消耗品)
機器の支持	支持	ハンガ	炭素鋼
		レストレイント	炭素鋼
		サポート取付ボルト・ナット	炭素鋼
		埋込金物	炭素鋼

表 2.1-4 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却水系配管の使用条件

最高使用圧力	1.37 MPa
最高使用温度	171 °C
内部流体	冷却水 (防錆剤入り)

2.1.3 非常用ガス処理系

(1) 構造

非常用ガス処理系配管は、直管、エルボ等で構成されており、炭素鋼が使用されている。また各配管はフランジ又は溶接により他の配管、機器に接続されている。

非常用ガス処理系配管の系統図を図 2.1-3 に示す。

(2) 材料及び使用条件

非常用ガス処理系配管主要部位の使用材料を表 2.1-5 に、使用条件を表 2.1-6 に示す。

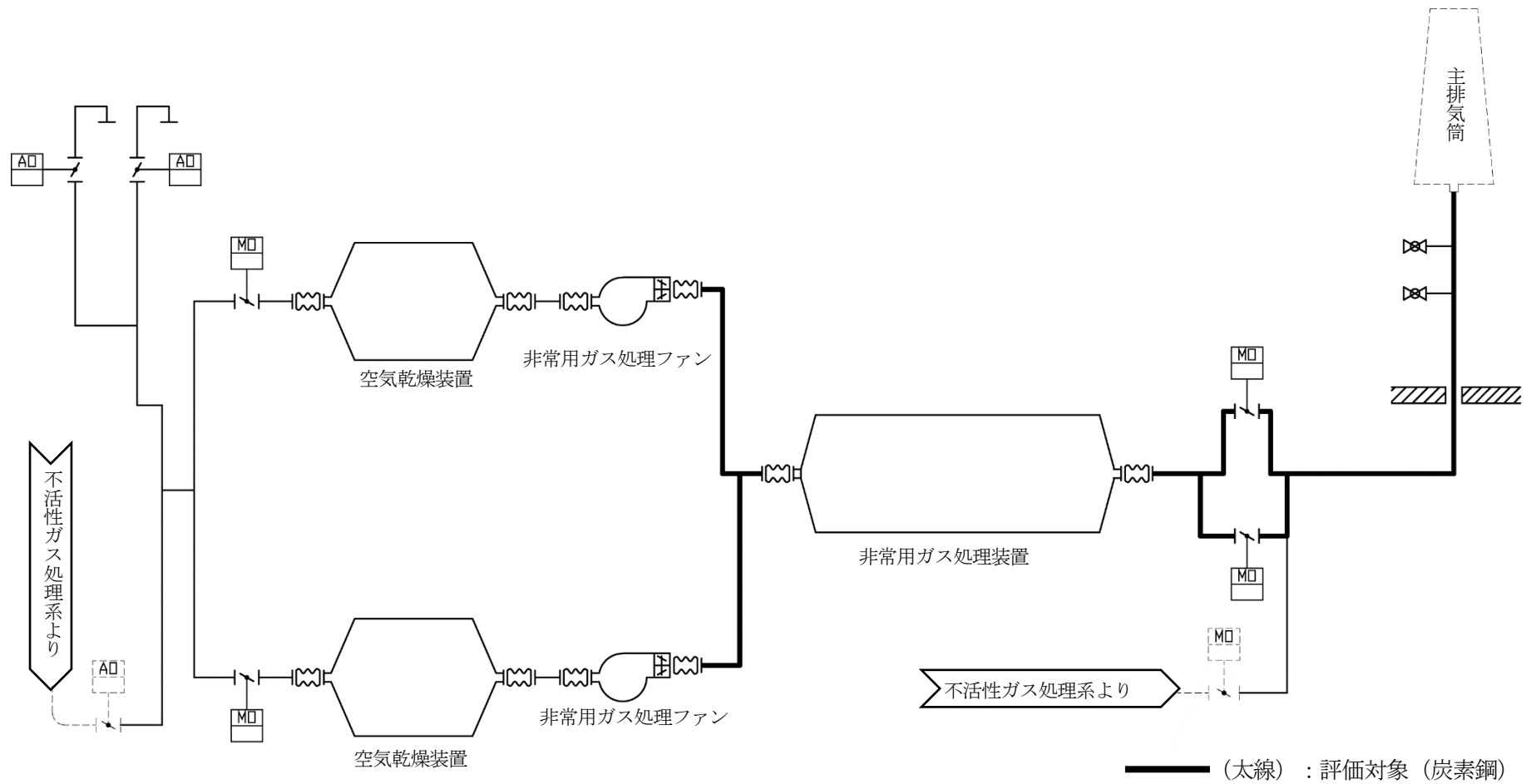


図 2.1-3 浜岡 4 号機 非常用ガス処理系系統図

表 2.1-5 浜岡 4 号機 非常用ガス処理系配管主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	配管	炭素鋼
		フランジボルト・ナット	炭素鋼, 低合金鋼
		ガスケット	(消耗品)
機器の支持	支持	レストレイント	炭素鋼
		埋込金物	炭素鋼

表 2.1-6 浜岡 4 号機 非常用ガス処理系配管の使用条件

最高使用圧力	0.024 MPa
最高使用温度	140 °C
内部流体	ガス (空気)

2.1.4 原子炉機器冷却海水系

(1) 構造

原子炉機器冷却海水系配管は、直管、エルボ等で構成されており、炭素鋼が使用されている。また各配管はフランジ又は溶接により他の配管，機器に接続されている。

原子炉機器冷却海水系配管の系統図を図 2.1-4 に示す。

(2) 材料及び使用条件

原子炉機器冷却海水系配管主要部位の使用材料を表 2.1-7 に，使用条件を表 2.1-8 に示す。

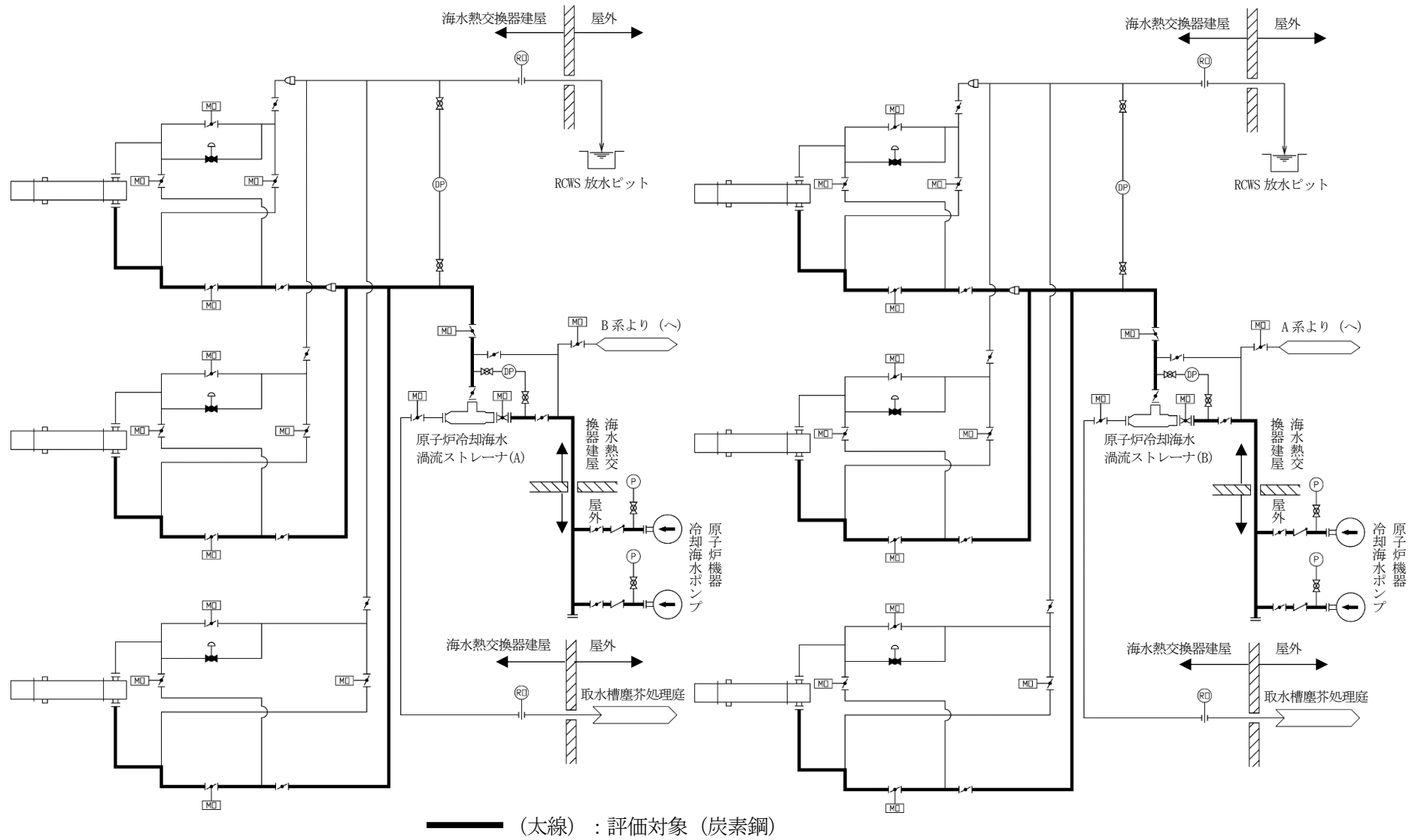


図 2.1-4 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却海水系系統図

表 2.1-7 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却海水系配管主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	配管	炭素鋼 (ポリエチレンライニング, ゴムライニング)
		フランジボルト・ナット	炭素鋼, 低合金鋼
		ガスケット	(消耗品)
機器の支持	支持	レストレイント	炭素鋼
		埋込金物	炭素鋼

表 2.1-8 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却海水系配管の使用条件

最高使用圧力	0.59 MPa
最高使用温度	50 °C
内部流体	海水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

炭素鋼配管系の機能（流体の流路確保）の達成に必要な項目は以下のとおり。

- ①バウンダリの維持
- ②機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

(1) 想定される経年劣化事象

炭素鋼配管系について、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、個々の部位の材料、構造、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表 2.2-1 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

なお、消耗品及び定期取替品は次項のとおり評価対象外とする。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

ガスケットは消耗品であり、設計時に長期使用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。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

- ①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）
- 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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として以下の事象を抽出した（表 2.2-1 で○）。

a. 配管の疲労割れ [給水系]

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 配管外面の腐食（全面腐食）〔炭素鋼配管系共通〕

これらの配管は炭素鋼を使用しており、配管外面の腐食が想定される。しかしながら、原子炉機器冷却海水系の屋外配管以外については、屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、外観点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

原子炉機器冷却海水系の屋外配管は、長期間外気にさらされていると表面塗装が劣化することから、配管外面の腐食が想定される。しかしながら、屋外配管については、目視点検により塗装の劣化が認められた場合は、塗装を除去し、目視点検及び厚さ測定を行い、必要に応じて補修又は取替えを実施することで設備の健全性を定期的を確認している。

b. 配管内面の腐食（全面腐食）〔原子炉機器冷却水系、非常用ガス処理系〕

原子炉機器冷却水系及び非常用ガス処理系配管は炭素鋼を使用しており、配管内面の腐食が想定される。しかしながら、原子炉機器冷却水系配管の内部流体は防錆剤入り冷却水であり、材料表面が不動態に保たれているため、腐食が発生する可能性は小さい。また、非常用ガス処理系配管の内部流体は窒素ガス及び屋内空調環境下の気体であるため、腐食が発生する可能性は小さい。さらに、弁等の分解点検時における配管内部の目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

c. 配管内面の腐食（全面腐食）〔原子炉機器冷却海水系〕

原子炉機器冷却海水系配管は、内部流体が海水であることから、配管内面の腐食が想定される。しかしながら、内面に防食を目的としたライニングを施しており、腐食はライニングが劣化しない限り進行しない。また、ライニングにピンホール、はく離等が発生した場合は腐食する可能性があるが、開放点検時にライニングの目視点検を行い、必要に応じ補修を実施している。

- d. フランジボルト・ナット及びサポート取付ボルト・ナットの腐食（全面腐食）〔原子炉機器冷却水系，非常用ガス処理系〕

フランジボルト・ナット及びサポート取付ボルト・ナットの材料は炭素鋼又は低合金鋼を使用しており，腐食が想定される。しかしながら，屋内空調環境下に設置されており，腐食が発生する可能性は小さい。また，目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

- e. フランジボルト・ナットの腐食（全面腐食）〔原子炉機器冷却海水系〕

フランジボルト・ナットの材料は炭素鋼又は低合金鋼を使用しており，腐食が想定される。しかしながら，目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

- f. メカニカルスナッパ，ハンガ，ラグ及びレストレイントの腐食（全面腐食）〔炭素鋼配管系共通〕

これらの機器の材料は炭素鋼を使用しており，腐食が想定される。しかしながら，原子炉機器冷却海水系以外については，屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

原子炉機器冷却海水系のレストレイントは，長期間外気にさらされていると表面塗装が劣化することから，腐食が想定される。しかしながら，目視点検により塗装の劣化が認められた場合は，塗装を除去し，必要に応じて補修を実施することで設備の健全性を定期的を確認している。

- g. 埋込金物の腐食（全面腐食）〔原子炉機器冷却海水系以外〕

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，大気接触部については塗装を施していることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，目視点検により，必要に応じて補修を行うことで設備の健全性を確認している。なお，コンクリート埋設部については，コンクリート大気接触表面からの中性化の進行により腐食環境となるが，「コンクリート構造物及び鉄骨構造物の技術評価書」のとおり中性化はほとんどみられておらず，腐食が発生する可能性は小さい。

- h. 埋込金物の腐食（全面腐食）〔原子炉機器冷却海水系〕

埋込金物の材料は炭素鋼を使用しており，腐食が想定される。しかしながら，定期点検時又は巡視点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

i. 配管の腐食（流れ加速型腐食（以下、「FAC」という。）） [給水系]

常時流れがある高温の純水環境のエルボ部、分岐部等は、流れの乱れが起きる箇所であり、FACが想定される。しかしながら、減肉に係る工学的知見、運転経験等に基づき、減肉環境条件や材料により分類した上で、厚さ測定により減肉傾向を把握することにより必要最小厚さに達するまでの余寿命の評価を行っている。余寿命に応じて措置を実施することにより、設備の健全性を定期的に確認している。

j. ラグ及びレストレイントの疲労割れ [炭素鋼配管系共通]

ラグ及びレストレイントについては、配管熱変位の拘束に伴う繰返し荷重により材料（特に支持部材取付け溶接継手）に疲労が蓄積されるため、疲労割れが想定される。しかしながら、設計段階において、配管の熱応力を考慮して拘束点を選定しており、熱応力が過大になる場合はスナッパを使用することとしていることから、熱応力により割れに至る疲労が蓄積される可能性は小さい。また、目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

k. 配管の高サイクル疲労割れ [炭素鋼配管系共通]

小口径配管のソケット溶接部は、ポンプの機械・流体振動による繰返し応力により高サイクル疲労割れが想定される。しかしながら、設計段階においてこれらの検討を反映し小口径配管の振動対策として改良すみ肉溶接及び配管サポートの設置等の対策を建設段階において実施済みであり、高サイクル疲労割れ対策が既に図られている。また、振動の状態は経年的に変化するものではないことから、高サイクル疲労割れが発生する可能性は小さい。温度差のある流体の混合等により生じる温度変動による損傷（高低温水合流型高サイクル熱疲労）に対しては、原子力安全・保安院指示文書（平成19・2・15原院第2号 平成19年2月16日「高サイクル熱疲労に係る評価及び検査に対する要求事項について」NISA-163b-07-01）に従い日本機械学会「配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針」（JSME S 017-2003）に基づき評価した結果、当該事象に関し問題ないことを確認している。さらに、定期点検時又は巡視点検時における目視点検により設備の健全性を確認している。

1. 温度計ウェルの高サイクル疲労割れ [原子炉機器冷却水系]

温度計ウェルについては、内部流体の流体力、カルマン渦、双子渦発生による励振力により、管台との取合い部に高サイクル疲労割れが想定される。しかしながら、設計段階で同期振動の回避及びランダム渦による強度が考慮されていれば損傷を回避できるものであり、これまで当該系統において高サイクル疲労割れが発生した事例はない。また、定期点検時又は巡視点検時における目視点検により設備の健全性を確認している。

m. メカニカルスナッパ及びハンガの機能低下 [給水系, 原子炉機器冷却水系]

メカニカルスナッパ及びハンガは長期にわたる摺動の繰返しによるピン, ボールネジ, ボールナット等の摺動部材の摩耗による機能低下が想定される。しかしながら, ピン, ボールネジ, ボールナット等の摺動部材については, 起動・停止時に想定される配管熱移動による摺動回数は少なく, 著しい摩耗が生じる可能性は小さい。また, ハンガのスプリング (ばね) については常時応力がかかった状態で使用されるため, へたりによる機能低下が想定される。しかしながら, スプリング使用時のねじり応力が, 許容ねじり応力以下になるように設定されており, スプリングの材料に対する推奨使用最高温度よりも実際の使用温度は低いことから, へたりが進行する可能性は小さい。

さらに, 定期点検時又は巡視点検時における目視点検, メカニカルスナッパの低速走行試験により設備の健全性を定期的に確認している。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

表 2.2-1(1/4) 浜岡4号機 給水系配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	配管		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}	○ △ ^{*3}					*1:FAC *2:外面
機器の支持	支持	メカニカルスナッパ		炭素鋼		△					△ ^{*4}	*3:高サイクル疲労割れ *4:機能低下
		ハンガ		炭素鋼		△					△ ^{*4}	
		ラグ		炭素鋼		△	△					
		埋込金物		炭素鋼		△						

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(2/4) 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却水系配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	配管		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}	△ ^{*3}				*1:内面 *2:外面 *3:高サイクル疲労割れ *4:機能低下	
		温度計ウェル		炭素鋼			△ ^{*3}					
		フランジボルト・ナット		炭素鋼, 低合金鋼		△						
		ガスケット	◎									
機器の支持	支持	ハンガ		炭素鋼		△				△ ^{*4}		
		レストレイント		炭素鋼		△	△					
		サポート取付ボルト・ナット		炭素鋼		△						
		埋込金物		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(3/4) 浜岡4号機 非常用ガス処理系配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	配管		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}	△ ^{*3}					*1:内面 *2:外面 *3:高サイクル疲労割れ
		フランジボルト・ナット		炭素鋼, 低合金鋼		△						
		ガスケット	◎									
機器の支持	支持	レストレイント		炭素鋼		△	△					
		埋込金物		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(4/4) 浜岡 4 号機 原子炉機器冷却海水系配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	配管		炭素鋼*1		△*2 △*3	△*4					*1:ライニング *2:内面 *3:外面 *4:高サイクル疲労割れ
		フランジボルト・ナット		炭素鋼, 低合金鋼		△						
		ガスケット	◎									
機器の支持	支持	レストレイント		炭素鋼		△	△					
		埋込金物		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

(1) 配管の疲労割れ [給水系]

a. 事象の説明

給水系配管は、プラントの起動・停止時等に熱過渡を受けることになるため、繰返しによる熱疲労が蓄積されて、疲労割れが発生する可能性があり、経年劣化に対する評価が必要である。

b. 技術評価

①健全性評価

給水系配管について、疲労割れの評価を実施した。

疲労評価は、図 2.3-1 に示す三次元梁モデルを作成し、運転実績に基づいた現時点(2020年度末)の過渡回数を用いて、日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005年版)」(2007年追補版を含む。)(JSME S NC1-2005/2007)(以下、「設計・建設規格」という。)に基づき実施した。評価用過渡条件を表 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「発電用原子力設備規格 環境疲労評価手法」(JSME S NF1-2009)(以下、「環境疲労評価手法」という。)に基づき評価を実施した。この結果、表 2.3-2 に示すとおり、環境を考慮した疲れ累積係数は2020年度末時点では許容値以下であり、安定停止状態においては、有意な熱過渡事象は発生しないため、疲労割れが発生する可能性はない。

②現状保全

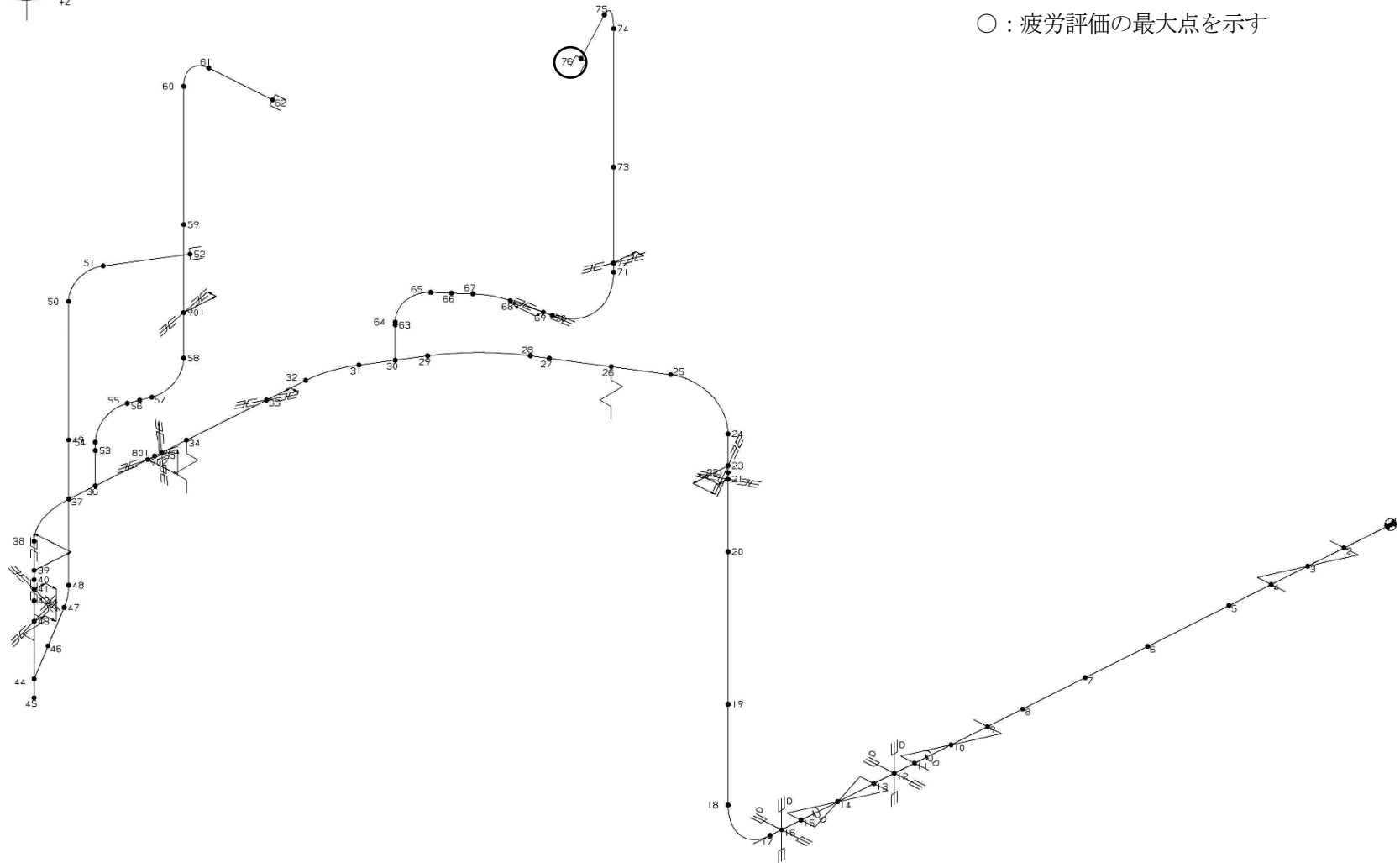
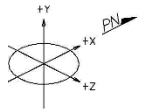
給水系配管については、原子力規制委員会文書「実用発電用原子炉及びその附属施設における破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥の解釈」(原規技発第 2107219 号(令和 3 年 7 月 21 日原子力規制委員会決定))又は日本機械学会「発電用原子力設備規格 維持規格(2012年版)」(2013年追補及び2014年追補を含む。)(JSME S NA1- 2012/2013/2014)に基づき定期的に超音波探傷試験及び漏えい試験を実施し、耐圧部の健全性を確認している。

③総合評価

健全性評価結果より、給水系配管は、疲労割れが発生する可能性はなく、また、疲労割れは定期的実施している超音波探傷試験及び漏えい試験によって検知可能であり、現状の保全は点検手法として適切であると判断する。なお、当面の安定停止状態においては、有意な熱過渡事象は発生しないため、運転開始後 40 年時点までは疲労割れが発生する可能性はないと判断する。

c. 高経年化への対応

配管の疲労割れについては、高経年化対策の観点から現状保全の内容に追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。



○ : 疲労評価の最大点を示す

図 2.3-1 浜岡 4 号機 給水系配管三次元梁モデル

表 2.3-1 浜岡 4 号機 給水系評価用過渡条件

運転条件	運転実績に基づく過渡回数 (2020 年度末)
ボルト締付	16
耐圧試験(最高使用圧力以下)	45
起動(昇温)	34
起動(タービン起動)	31
夜間低出力運転(出力 75%)	0
週末低出力運転(出力 50%)	3
制御棒パターン変更	116
給水加熱器機能喪失(発電機トリップ)	7
スクラム(タービントリップ)	4
スクラム(原子炉給水ポンプ停止)	0
スクラム(その他)	6
停止	34
ボルト取外	16
逃がし安全弁誤作動	0

表 2.3-2 浜岡 4 号機 給水系配管の疲労評価結果

配管系	運転実績回数に基づく疲れ累積係数 (許容値: 1 以下)	
	設計・建設規格の疲労曲線による解析	環境疲労解析手法による解析
	現時点 (2020 年度末時点)	現時点 (2020 年度末時点)
給水系	0.0435	0.4781

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へ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を検討した。

[対象系統]

- | | |
|--------------|-------------------|
| ① 原子炉冷却材再循環系 | ⑧ 放射性ドレン移送系 |
| ② 制御棒駆動水圧系 | ⑨ 濃縮廃液系 |
| ③ 余熱除去系 | ⑩ 高圧炉心スプレイ機器冷却水系 |
| ④ 低圧炉心スプレイ系 | ⑪ 高圧炉心スプレイ機器冷却海水系 |
| ⑤ 高圧炉心スプレイ系 | ⑫ サプレッションプール水排水系 |
| ⑥ 原子炉冷却材浄化系 | ⑬ 非常用空調機器冷水系 |
| ⑦ 燃料プール冷却浄化系 | ⑭ 常用空調機器冷水系 |

3.1 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は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 配管外面の腐食（全面腐食）〔炭素鋼配管系共通〕

代表機器同様、これらの配管は炭素鋼を使用しており、配管外面の腐食が想定される。しかしながら、高圧炉心スプレイ機器冷却海水系の屋外配管以外については、屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、外観点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。高圧炉心スプレイ機器冷却海水系の屋外配管は、長期間外気にさらされていると表面塗装が劣化することから、配管外面の腐食が想定される。しかしながら、屋外配管については、目視点検により塗装の劣化が認められた場合は、塗装を除去し、目視点検及び厚さ測定を行い、必要に応じて補修又は取替えを実施することで設備の健全性を定期的を確認している。

b. 配管内面の腐食（全面腐食）〔制御棒駆動水圧系，低圧炉心スプレイ系，高圧炉心スプレイ系，放射性ドレン移送系，濃縮廃液系，高圧炉心スプレイ機器冷却水系，サプレッションプール水排水系，非常用空調機器冷却水系，常用空調機器冷却水系〕

代表機器同様、これらの配管は炭素鋼を使用しており、配管内面の腐食が想定される。しかしながら、高圧炉心スプレイ機器冷却水系，非常用空調機器冷却水系及び常用空調機器冷却水系配管の内部流体は防錆剤入り冷却水であり、材料表面が不動態に保たれているため、腐食が発生する可能性は小さい。また、弁等の分解点検時における配管内部の目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

c. 配管内面の腐食（全面腐食）〔高圧炉心スプレイ機器冷却海水系〕

代表機器同様、内部流体が海水であることから、配管内面の腐食が想定される。しかしながら、内面に防食を目的としたライニングを施しており、腐食はライニングが劣化しない限り進行しない。また、ライニングにピンホール、はく離等が発生した場合は腐食する可能性があるが、開放点検時にライニングの目視点検を行い、必要に応じ補修を実施している。

- d. フランジボルト・ナット及びサポート取付ボルト・ナットの腐食（全面腐食）〔余熱除去系， 低圧炉心スプレイ系， 高圧炉心スプレイ系， 原子炉冷却材浄化系， 濃縮廃液系， 高圧炉心スプレイ機器冷却水系， 非常用空調機器冷水系〕

代表機器同様， フランジボルト・ナット及びサポート取付ボルト・ナットの材料は炭素鋼又は低合金鋼を使用しており， 腐食が想定される。しかしながら， 屋内空調環境下に設置されており， 腐食が発生する可能性は小さい。また， 目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- e. フランジボルト・ナットの腐食（全面腐食）〔高圧炉心スプレイ機器冷却海水系〕

代表機器同様， フランジボルト・ナットの材料は炭素鋼又は低合金鋼を使用しており， 腐食が想定される。しかしながら， 目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- f. メカニカルスナッパ， ハンガ， ラグ及びレストレイントの腐食（全面腐食）〔原子炉冷却材再循環系， 制御棒駆動水压系， 余熱除去系， 低圧炉心スプレイ系， 高圧炉心スプレイ系， 原子炉冷却材浄化系， 燃料プール冷却浄化系， 濃縮廃液系， サプレッションプール水排水系， 高圧炉心スプレイ機器冷却水系， 非常用空調機器冷水系， 高圧炉心スプレイ機器冷却海水系〕

代表機器同様， これらの機器の材料は炭素鋼を使用しており， 腐食が想定される。しかしながら， 高圧炉心スプレイ機器冷却海水系以外については， 屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから， 腐食が発生する可能性は小さい。また， 目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

高圧炉心スプレイ機器冷却海水系のレストレイントは， 長期間外気にさらされていると表面塗装が劣化することから， 腐食が想定される。しかしながら， 目視点検により塗装の劣化が認められた場合は， 塗装を除去し， 必要に応じて補修を実施することで設備の健全性を定期的に確認している。

- g. 埋込金物の腐食（全面腐食）〔原子炉冷却材再循環系， 制御棒駆動水压系， 余熱除去系， 低圧炉心スプレイ系， 高圧炉心スプレイ系， 原子炉冷却材浄化系， 燃料プール冷却浄化系， 濃縮廃液系， サプレッションプール水排水系， 高圧炉心スプレイ機器冷却水系， 非常用空調機器冷水系〕

代表機器同様， 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， 大気接触部については塗装を施していることから， 腐食が発生する可能性は小さい。また， 目視点検により， 必要に応じて補修を行うことで設備の健全性を確認している。なお， コンクリート埋設部については， コンクリート大気接触表面からの中性化の進行により腐食環境となるが， 「コンクリート構造物及び鉄骨構造物の技術評価書」のとおり中性化はほとんどみられておらず， 腐食が発生する可能性は小さい。

h. 埋込金物の腐食（全面腐食）〔高圧炉心スプレー機器冷却海水系〕

代表機器同様，埋込金物の材料は炭素鋼を使用しており，腐食が想定される。しかしながら，定期点検時又は巡視点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

i. 配管の腐食（FAC）〔原子炉冷却材再循環系，余熱除去系，原子炉冷却材浄化系，燃料プール冷却浄化系〕

代表機器同様，常時流れがある高温の純水環境のエルボ部，分岐部等は，流れの乱れが起きる箇所であり，FAC が想定される。しかしながら，減肉に係る工学的知見，運転経験等に基づき，減肉環境条件や材料により分類した上で，厚さ測定により減肉傾向を把握することにより必要最小厚さに達するまでの余寿命の評価を行っている。余寿命に応じて措置を実施することにより，設備の健全性を定期的に確認している。

j. ラグ及びレストレイントの疲労割れ〔制御棒駆動水圧系，余熱除去系，低圧炉心スプレー系，高圧炉心スプレー系，原子炉冷却材浄化系，燃料プール冷却浄化系，濃縮廃液系，サプレッションプール水排水系，高圧炉心スプレー機器冷却水系，非常用空調機器冷水系，高圧炉心スプレー機器冷却海水系〕

代表機器同様，ラグ及びレストレイントについては，配管熱変位の拘束に伴う繰返し荷重により材料（特に支持部材取付け溶接継手）に疲労が蓄積されるため，疲労割れが想定される。しかしながら，設計段階において，配管の熱応力を考慮して拘束点を選定しており，熱応力が過大になる場合はスナッパを使用することとしていることから，熱応力により割れに至る疲労が蓄積される可能性は小さい。また，目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

k. 配管の高サイクル疲労割れ〔炭素鋼配管系共通〕

代表機器同様，小口径配管のソケット溶接部は，ポンプの機械・流体振動による繰返し応力により高サイクル疲労割れが想定される。しかしながら，設計段階においてこれらの検討を反映し小口径配管の振動対策として改良すみ肉溶接及び配管サポートの設置等の対策を建設段階において実施済みであり，高サイクル疲労割れ対策が既に図られている。また，振動の状態は経年的に変化するものではないことから，高サイクル疲労割れが発生する可能性は小さい。温度差のある流体の混合等により生じる温度変動による損傷（高低温水合流型高サイクル熱疲労）に対しては，原子力安全・保安院指示文書（平成 19・2・15 原院第 2 号 平成 19 年 2 月 16 日「高サイクル熱疲労に係る評価及び検査に対する要求事項について」NISA-163b-07-01）に従い日本機械学会「配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針」（JSME S 017-2003）に基づき評価した結果，当該事象に関し問題ないことを確認している。さらに，定期点検時又は巡視点検時における目視点検により設備の健全性を確認している。

1. 温度計ウェル及びサンプリングノズルの高サイクル疲労割れ [余熱除去系, 原子炉冷却材浄化系, 高圧炉心スプレイ機器冷却水系, 非常用空調機器冷却水系]

温度計ウェル及びサンプリングノズルについては, 内部流体の流体力, カルマン渦, 双子渦発生による励振力により, 管台との取合い部に高サイクル疲労割れが想定される。しかしながら, 設計上流体との同期振動の回避及びランダム渦による強度が考慮されていれば損傷を回避できるものであり, これまで当該系統において高サイクル疲労割れが発生した事例はない。また, 定期点検時又は巡視点検時における目視点検により設備の健全性を確認している。

m. メカニカルスナッパ及びハンガの機能低下 [原子炉冷却材再循環系, 余熱除去系, 低圧炉心スプレイ系, 高圧炉心スプレイ系, 原子炉冷却材浄化系, サプレッションプール水排水系]

代表機器同様, メカニカルスナッパ及びハンガは長期にわたる摺動の繰返しによるピン, ボールネジ, ボールナット等の摺動部材の摩耗による機能低下が想定される。しかしながら, ピン, ボールネジ, ボールナット等の摺動部材については, 起動・停止時に想定される配管熱移動による摺動回数は少なく, 著しい摩耗が生じる可能性は小さい。

また, ハンガのスプリング (ばね) については常時応力がかかった状態で使用されるため, へたりによる機能低下が想定される。しかしながら, スプリング使用時のねじり応力が, 許容ねじり応力以下になるように設定されており, スプリングの材料に対する推奨使用最高温度よりも実際の使用温度は低いことから, へたりが進行する可能性は小さい。さらに, 定期点検時又は巡視点検時における目視点検, メカニカルスナッパの低速走行試験により設備の健全性を定期的に確認している。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

以 上

浜岡原子力発電所 4 号機

弁 の 技 術 評 価 書

[冷温停止状態が維持されることを前提とした評価]

中部電力株式会社

本評価書は、浜岡原子力発電所4号機（以下、「浜岡4号機」という。）における安全上重要な弁（重要度分類指針におけるPS-1,2及びMS-1,2に該当する機器）及び原子炉格納容器外の高温度・高圧の環境下にあるクラス3の弁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。

評価対象機器の一覧を表1に、機能を表2に示す。

評価対象機器を型式、内部流体、材料等で分類し、それぞれのグループから重要度及び使用条件等の観点で代表機器を選定し技術評価を行った後、代表以外の機器について評価を展開している。

本評価書は弁本体及び駆動部の型式等をもとに、以下の10分冊で構成されている。

1. 仕切弁
2. 玉形弁
3. 逆止弁
4. バタフライ弁
5. 安全弁
6. ボール弁
7. 電磁弁
8. 制御弁
9. 電動弁用駆動部
10. 空気作動弁用駆動部

ここで、制御弁については、圧力、流量等の制御に伴い中間開度の厳しい条件下での運用となるため、単独で評価している。

なお、制御棒駆動水ポンプの潤滑油系弁は「ポンプの技術評価書」、原子炉室隔離弁、中央制御室隔離弁並びに冷凍機の冷媒系弁及び潤滑油系弁は「空調設備の技術評価書」、水圧制御ユニット附属弁、非常用ディーゼル機関係弁及び一部の圧縮空気系弁は「機械設備の技術評価書」に含め、それぞれ評価を実施するものとし、本評価書には含まれていない。

なお、本文中の単位はSI単位系に基づくものとする（圧力の単位は特に注記がない限りゲージ圧力を示す）。

表 1(1/5) 評価対象機器一覧

分類	分類基準		当該系統
	弁箱材料	流体	
仕切弁	炭素鋼	純水	給水系
			余熱除去系
			低圧炉心スプレイ系
			高圧炉心スプレイ系
			原子炉冷却材浄化系
			燃料プール冷却浄化系
			サプレッションプール水排水系
			放射性ドレン移送系
	炭素鋼	冷却水（防錆剤入り）	原子炉機器冷却水系
			高圧炉心スプレイ機器冷却水系
			非常用空調機器冷却水系
	ステンレス鋼	純水	原子炉冷却材再循環系
			制御棒駆動水圧系
			高圧炉心スプレイ系
			燃料プール冷却浄化系
			放射性ドレン移送系
		五ほう酸ナトリウム水	ほう酸水注入系
		海水	原子炉機器冷却海水系
高圧炉心スプレイ機器冷却海水系			

表 1(2/5) 評価対象機器一覧

分類	分類基準		当該系統
	弁箱材料	流体	
玉形弁	炭素鋼	純水	給水系
			余熱除去系
			低圧炉心スプレイ系
			高圧炉心スプレイ系
			原子炉冷却材浄化系
			サプレッションプール水排水系
			放射性ドレン移送系
		冷却水（防錆剤入り）	原子炉機器冷却水系
			高圧炉心スプレイ機器冷却水系
			非常用空調機器冷却水系
	ステンレス鋼	ガス	計装用圧縮空気系
		純水	主蒸気系
			原子炉冷却材再循環系
			制御棒駆動水圧系
			余熱除去系
			低圧炉心スプレイ系
			高圧炉心スプレイ系
			原子炉冷却材浄化系
			燃料プール冷却浄化系
			補給水系
			濃縮廃液系
			放射性ドレン移送系
			五ほう酸ナトリウム水

表 1(3/5) 評価対象機器一覧

分類	分類基準		当該系統
	弁箱材料	流体	
逆止弁	炭素鋼	純水	給水系
			余熱除去系
			低圧炉心スプレー系
			高圧炉心スプレー系
			原子炉冷却材浄化系
			補給水系
			サプレッションプール水排水系
	炭素鋼	冷却水（防錆剤入り）	原子炉機器冷却水系
			高圧炉心スプレー機器冷却水系
			非常用空調機器冷却水系
	ステンレス鋼	ガス	計装用圧縮空気系
		純水	制御棒駆動水圧系
			原子炉冷却材浄化系
			燃料プール冷却浄化系
五ほう酸ナトリウム水		ほう酸水注入系	
海水		原子炉機器冷却海水系	
	高圧炉心スプレー機器冷却海水系		
バタフライ弁	炭素鋼	ガス	非常用ガス処理系
		冷却水（防錆剤入り）	原子炉機器冷却水系
			高圧炉心スプレー機器冷却水系
	海水	原子炉機器冷却海水系	
		高圧炉心スプレー機器冷却海水系	
安全弁	炭素鋼	純水	制御棒駆動水圧系
			余熱除去系
			低圧炉心スプレー系
			高圧炉心スプレー系
			原子炉冷却材浄化系
	ステンレス鋼	純水	制御棒駆動水圧系
			原子炉冷却材浄化系

表 1(4/5) 評価対象機器一覧

分類	分類基準		当該系統
	弁箱材料	流体	
ボール弁	炭素鋼	純水	原子炉冷却材浄化系
電磁弁	ステンレス鋼	純水	制御棒駆動水圧系
制御弁	炭素鋼	純水	原子炉冷却材浄化系
		冷却水（防錆剤入り）	原子炉機器冷却水系
			高圧炉心スプレイ機器冷却水系
	非常用空調機器冷却水系		
ステンレス鋼	純水	制御棒駆動水圧系	

表 1(5/5) 評価対象機器一覧

分類	分類基準		当該系統
	型式	設置場所	
電動弁用 駆動部	電動弁用 駆動部	原子炉格納容器内	余熱除去系
			原子炉冷却材浄化系
		原子炉格納容器外 (屋内)	余熱除去系
			低圧炉心スプレイ系
			高圧炉心スプレイ系
			原子炉冷却材浄化系
			燃料プール冷却浄化系
			原子炉機器冷却水系
			高圧炉心スプレイ機器冷却水系
			原子炉機器冷却海水系
			高圧炉心スプレイ機器冷却海水系
			計装用空気圧縮系
			非常用ガス処理系
			常用空調機器冷水系
空気作動弁用 駆動部	シリンダ型	屋内	原子炉機器冷却水系
			高圧炉心スプレイ機器冷却水系
			非常用ガス処理系

表 2(1/2) 評価対象機器機能一覧

弁系統名	機能
主蒸気系	原子炉で発生した蒸気を主タービンに送る主蒸気系統を構成する。
給水系	復水系より移送された給水を原子炉へ供給する給水系統を構成する。
原子炉冷却材再循環系	原子炉冷却材を原子炉圧力容器より引き出し、原子炉冷却材再循環ポンプで加圧した後、原子炉圧力容器に設置したジェットポンプを通して原子炉内へ供給することで原子炉冷却材を強制循環させる原子炉冷却材再循環系統を構成する。
制御棒駆動水圧系	制御棒の駆動に必要な純水を供給する制御棒駆動水圧系統を構成する。
ほう酸水注入系	何らかの理由で制御棒が挿入できなくなり、原子炉の冷温停止ができない場合に、ほう酸水を炉心底部より注入して負の反応度を与え、原子炉を冷温停止状態にするほう酸水注入系統を構成する。
余熱除去系	原子炉停止時の崩壊熱除去のため余熱除去熱交換器にて原子炉冷却材を冷却する余熱除去系統を構成する。他に格納容器冷却モード等のモードがある。
低圧炉心スプレイ系	冷却材喪失事故時、炉心の過熱による燃料破損を防止するため、炉心にサブプレッションプール水をスプレイする低圧炉心スプレイ系統を構成する。
高圧炉心スプレイ系	冷却材喪失事故時、炉心の過熱による燃料破損を防止するため、炉心に復水貯蔵槽水又はサブプレッションプール水をスプレイする高圧炉心スプレイ系統を構成する。
原子炉冷却材浄化系	原子炉冷却材の一部をろ過、脱塩し、給水系に戻す原子炉冷却材浄化系統を構成する。
燃料プール冷却浄化系	燃料プール水の一部をろ過、脱塩し、燃料プールに戻す燃料プール冷却浄化系統を構成する。
放射性ドレン移送系	建屋内で発生した液体廃棄物を分離収集し、各収集槽又はタンクへ移送する放射性ドレン移送系統を構成する。
濃縮廃液系	高電導度廃液を貯蔵し、線量が減衰した廃液を固化装置に移送する濃縮廃液系統を構成する。
原子炉機器冷却水系	原子炉設備の非常用機器、常用機器で発生する熱を除去する原子炉機器冷却水系統を構成する。
高圧炉心スプレイ機器冷却水系	高圧炉心スプレイ系で発生する熱を除去する高圧炉心スプレイ機器冷却水系統を構成する。
原子炉機器冷却海水系	原子炉機器冷却水熱交換器に冷却用の海水を供給する原子炉機器冷却海水系統を構成する。
高圧炉心スプレイ機器冷却海水系	高圧炉心スプレイ機器冷却水熱交換器に冷却用の海水を供給する高圧炉心スプレイ機器冷却海水系統を構成する。
計装用圧縮空気系	空気作動弁や計装機器に圧縮空気を供給する計装用圧縮空気系統を構成する。
補給水系	各系統に必要な補給水を復水貯蔵槽より移送する補給水系統を構成する。

表 2(2/2) 評価対象機器機能一覧

弁系統名	機能
サプレッションプール水排水系	サプレッションプールの保守点検のため、プール水を排水するサプレッションプール水排水系統を構成する。
非常用ガス処理系	原子炉格納容器から漏えいした放射性物質を除去すると共に、原子炉室内を負圧に保ち、放射性物質が大気中に漏えいすることを防止する非常用ガス処理系統を構成する。
非常用空調機器冷水系	換気空調系給気ユニット内の冷却コイルの冷却水として冷凍機冷水を供給する非常用空調機器冷水系統を構成する。
常用空調機器冷水系	常用系の換気空調系給気ユニット内の冷却加熱コイルやローカルクーラ等の冷却水として冷凍機冷水を供給する常用空調機器冷水系統を構成する。

1 仕切弁

[対象系統]

- ① 給水系
- ② 原子炉冷却材再循環系
- ③ 制御棒駆動水圧系
- ④ ほう酸水注入系
- ⑤ 余熱除去系
- ⑥ 低圧炉心スプレイ系
- ⑦ 高圧炉心スプレイ系
- ⑧ 原子炉冷却材浄化系
- ⑨ 燃料プール冷却浄化系
- ⑩ 原子炉機器冷却水系
- ⑪ 高圧炉心スプレイ機器冷却水系
- ⑫ 原子炉機器冷却海水系
- ⑬ 高圧炉心スプレイ機器冷却海水系
- ⑭ サプレッションプール水排水系
- ⑮ 非常用空調機器冷却水系
- ⑯ 放射性ドレン移送系

目 次

1.	対象機器及び代表機器の選定	1
1.1	グループ化の考え方及び結果	1
1.2	代表機器の選定	1
2.	代表機器の技術評価	4
2.1	構造, 材料及び使用条件	4
2.1.1	CUW 入口管第2 隔離弁.....	4
2.1.2	RCCW D/W 機器入口第2 隔離弁.....	7
2.1.3	PLR ポンプ出口弁	10
2.1.4	SLC 注入原子炉側元弁.....	13
2.1.5	RCWS サイクロンセパレータ入口弁.....	16
2.2	経年劣化事象の抽出	19
2.2.1	機器の機能達成に必要な項目	19
2.2.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	19
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	20
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	32
3.1	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	32
3.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象.....	33

1. 対象機器及び代表機器の選定

仕切弁の主な仕様を表 1-1 に示す。

これらの仕切弁をグループ化し、それぞれのグループより代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

弁箱材料，内部流体を分類基準とし，仕切弁を表 1-1 に示すとおりグループ化する。

1.2 代表機器の選定

表 1-1 に分類したグループ毎に，原則として重要度，使用状態，最高使用温度，最高使用圧力，口径の観点から代表機器を選定する。

(1) 純水系炭素鋼仕切弁（内部流体：純水，弁箱材質：炭素鋼）

純水系ラインに使用されている炭素鋼仕切弁のうち，重要度，使用状態，最高使用圧力の観点から CUW 入口管第 2 隔離弁を代表機器とする。

(H4-G11-M0-F004, 200A)

(2) 冷却水系炭素鋼仕切弁（内部流体：冷却水，弁箱材質：炭素鋼）

冷却水系ラインに使用されている炭素鋼仕切弁のうち，重要度，最高使用温度，口径の観点から RCCW D/W 機器入口第 2 隔離弁を代表機器とする。

(H4-P21-M0-F082A, 200A)

(3) 純水系ステンレス鋼仕切弁（内部流体：純水，弁箱材質：ステンレス鋼）

純水系ラインに使用されているステンレス鋼仕切弁のうち，重要度，使用状態，最高使用圧力の観点から PLR ポンプ出口弁を代表機器とする。

(H4-B31-M0-F002A/B, 600A)

(4) 五ほう酸ナトリウム水系ステンレス鋼仕切弁（内部流体：五ほう酸ナトリウム水，弁箱材質：ステンレス鋼）

五ほう酸ナトリウム水系ラインに使用されているステンレス鋼仕切弁は，SLC 注入原子炉側元弁のみが属するため，SLC 注入原子炉側元弁を代表機器とする。

(H4-C41-V-F009, 40A)

(5) 海水系ステンレス鋼仕切弁（内部流体：海水，弁箱材質：ステンレス鋼）

海水系ラインに使用されているステンレス鋼仕切弁は，重要度，使用状態，最高使用温度，最高使用圧力，口径が同等であるため，設置環境を踏まえて RCWS サイクロンセパレータ入口弁を代表機器とする。

(H4-P41-V-F301A-1/A-2/B-1/B-2, 40A)

表 1-1 (1/2) 浜岡 4 号機 仕切弁のグループ化及び代表機器の選定

分類基準		系統名称	選定基準					代表選定	代表機器	選定理由
弁箱材料	流体		重要度*1	使用条件						
				使用状態	最高使用温度(°C)	最高使用圧力	口径(A)			
炭素鋼	純水	給水系	PS-1	連続	302	8.62 MPa	500		CUW 入口管第 2 隔離弁 (200A, 8.83MPa, 302°C) H4-G11-M0-F004	重要度 使用状態 最高使用圧力
		余熱除去系	PS-1, MS-1	連続 (短期)*2	104~302	1.57 ~ 10.40 MPa	100~600			
		低圧炉心スプレイ系	PS-1, MS-1	待機	104~302	1.57 ~ 8.62 MPa	300~600			
		高圧炉心スプレイ系	PS-1, MS-1	待機	100~302	1.57 ~ 10.79 MPa	100~600			
		原子炉冷却材浄化系	PS-1, MS-1	連続	302	8.62 ~ 8.83 MPa	200	◎		
		燃料プール冷却浄化系	高*3	連続	186	1.57 MPa	200			
		サプレッションプール水排水系	MS-1	待機	104	0.427 MPa	200			
		放射性ドレン移送系	MS-1	待機	171	0.981 MPa	80			
	冷却水*4	原子炉機器冷却水系	MS-1	連続	70~171	1.37 MPa	150~200	◎	RCCW D/W 機器入口 第 2 隔離弁 (200A, 1.37MPa, 171°C) H4-P21-M0-F082A	重要度 最高使用温度 口径
		高圧炉心スプレイ機器冷却水系	MS-1	連続	70	1.37 MPa	80~300			
非常用空調機器冷水系		MS-2	連続	66	1.08 MPa	80~150				

*1：最上位の重要度を示す

*2：除熱時（安定停止状態の維持含む。）は連続

*3：最高使用温度が 95 °C を超え、又は最高使用圧力が 1,900 kPa を超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス 3 の機器

*4：冷却水（防錆剤入り）を示す

表 1-1 (2/2) 浜岡 4 号機 仕切弁のグループ化及び代表機器の選定

分類基準		系統名称	選定基準					代表選定	代表機器	選定理由
弁箱材料	流体		重要度*1	使用条件						
				使用状態	最高使用温度(°C)	最高使用圧力	口径(A)			
ステンレス鋼	純水	原子炉冷却材再循環系	PS-1	連続	302	8.62 ~ 10.40 MPa	600	◎	PLR ポンプ出口弁 (600A, 10.40MPa, 302°C) H4-B31-MO-F002A/B	重要度 使用状態 最高使用圧力
		制御棒駆動水圧系	高*2	連続	66~180	0.981 MPa	20~50			
		高圧炉心スプレイ系	MS-1	待機	66	0.981 MPa	250~400			
		燃料プール冷却浄化系	MS-2	連続	100	1.57 MPa	150			
		放射性ドレン移送系	MS-1	待機	171	0.981 MPa	80			
	五ほう酸ナトリウム水	ほう酸水注入系	MS-1	待機	302	8.62 MPa	40	◎	SLC 注入原子炉側元弁 (40A, 8.62MPa, 302°C) H4-C41-V-F009	
	海水	原子炉機器冷却海水系	MS-1	連続	50	0.59 MPa	40	◎	RCWS サイクロンセパレータ 入口弁 (40A, 0.59MPa, 50°C) H4-P41-V-F301A-1/A-2 /B-1/B-2	設置環境
高圧炉心スプレイ機器冷却海水系		MS-1	連続	50	0.59 MPa	40				

*1：最上位の重要度を示す

*2：最高使用温度が 95 °C を超え、又は最高使用圧力が 1,900 kPa 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弁について技術評価を実施する。

- ① CUW 入口管第2 隔離弁
- ② RCCW D/W 機器入口第2 隔離弁
- ③ PLR ポンプ出口弁
- ④ SLC 注入原子炉側元弁
- ⑤ RCWS サイクロンセパレータ入口弁

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 CUW 入口管第2 隔離弁

(1) 構造

CUW 入口管第2 隔離弁は口径 200A, 圧力クラス 900Lb の電動仕切弁で, 1 台設置されている。

弁本体は純水を内包する耐圧部 (弁箱, 弁ふた, ジョイントボルト・ナット, 軸封部), 純水を仕切る隔離部 (弁体, 弁座) 及び弁体に駆動力を伝達する駆動力伝達部 (弁棒, ヨーク) からなる。

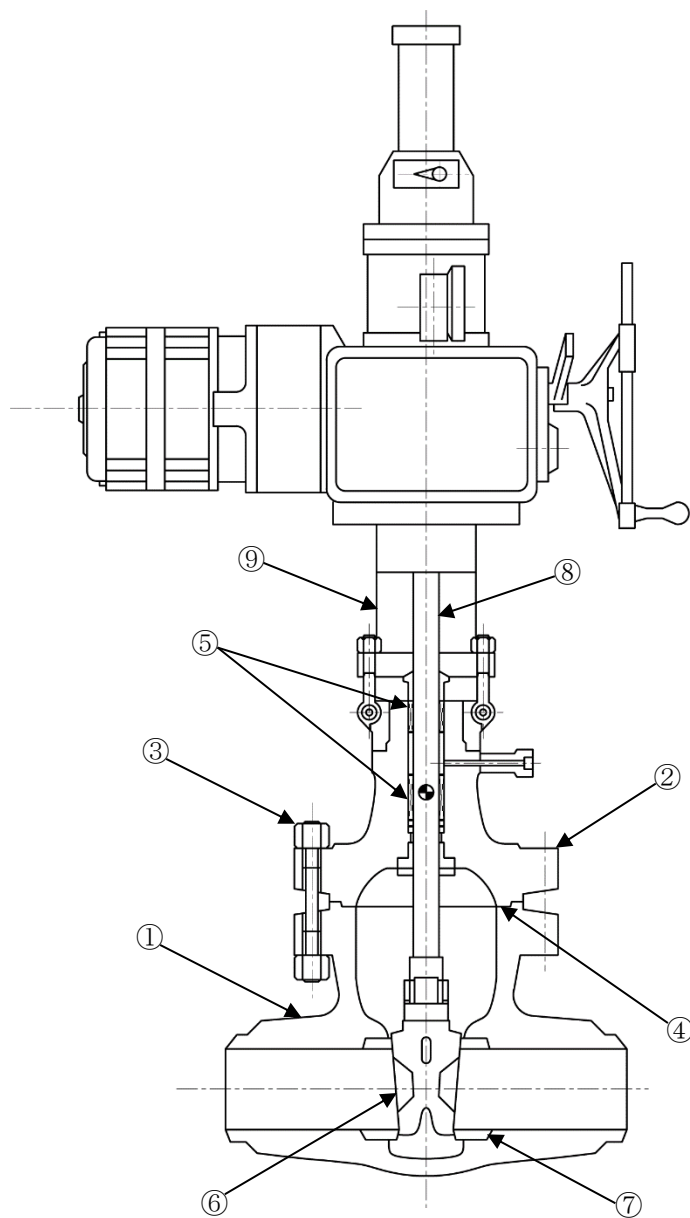
純水に接する弁箱, 弁ふた及び弁体は炭素鋼鋳鋼, 弁座は炭素鋼で製作されており, 軸封部には流体の漏れを防止するためグランドパッキンが使用されている。

なお, 当該弁については, 駆動部を切り離し, ジョイントボルト・ナットを取外すことにより, 弁内部の点検手入れが可能である。

CUW 入口管第2 隔離弁の構造図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

CUW 入口管第2 隔離弁主要部位の使用材料を表 2.1-1 に, 使用条件を表 2.1-2 に示す。



No.	部位	No.	部位
①	弁箱	⑥	弁体
②	弁ふた	⑦	弁座
③	ジョイントボルト・ナット	⑧	弁棒
④	ガスケット	⑨	ヨーク
⑤	グラウンドパッキン		

図 2.1-1 浜岡 4 号機 CUV 入口管第 2 隔離弁構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 CUW 入口管第 2 隔離弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	炭素鋼鋳鋼
		弁ふた	炭素鋼鋳鋼
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼
	シール	ガスケット	(消耗品)
		グランドパッキン	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	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)
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒	ステンレス鋼
		ヨーク	炭素鋼鋳鋼

表 2.1-2 浜岡 4 号機 CUW 入口管第 2 隔離弁の使用条件

最高使用圧力	8.83 MPa
最高使用温度	302 °C
流体	純水

2.1.2 RCCW D/W 機器入口第2 隔離弁

(1) 構造

RCCW D/W 機器入口第2 隔離弁は口径 200A、圧力クラス 150Lb の電動仕切弁で、1 台設置されている。

弁本体は冷却水（防錆剤入り）を内包する耐圧部（弁箱、弁ふた、ジョイントボルト・ナット、軸封部）、冷却水（防錆剤入り）を仕切る隔離部（弁体、弁座）及び弁体に駆動力を伝達する駆動力伝達部（弁棒、ヨーク）からなる。

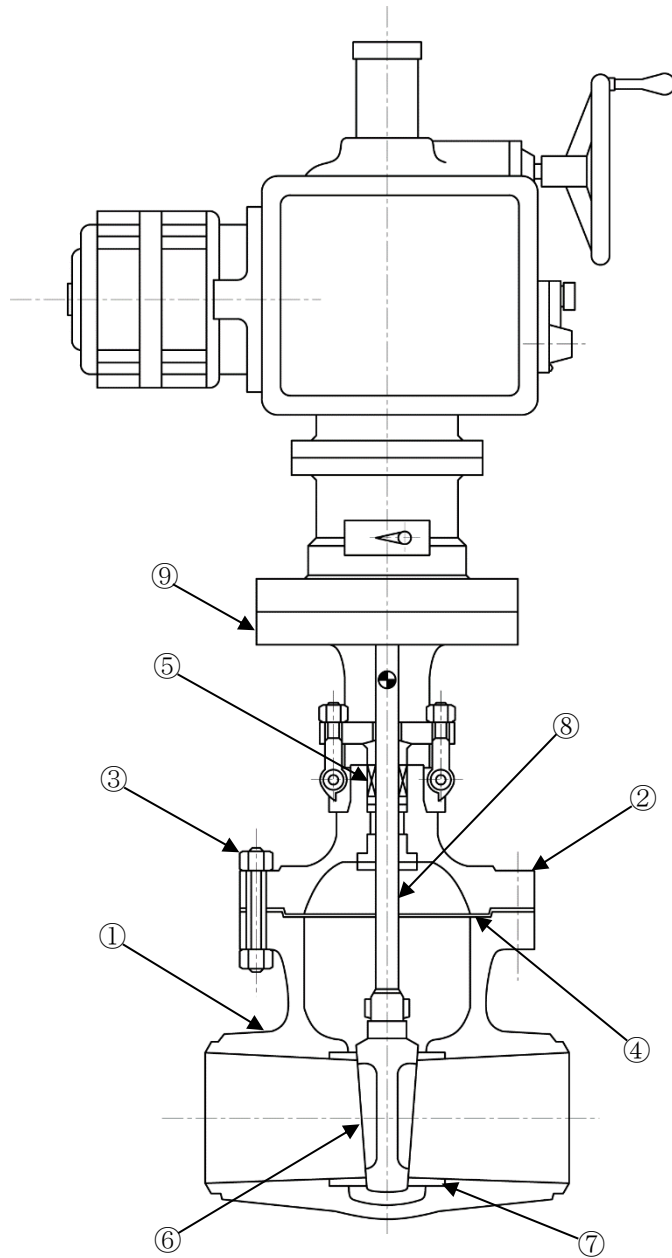
冷却水（防錆剤入り）に接する弁箱、弁ふた及び弁体は炭素鋼鋳鋼、弁座は炭素鋼で製作されており、軸封部には流体の漏れを防止するためグランドパッキンが使用されている。

なお、当該弁については、駆動部を切り離し、ジョイントボルト・ナットを取外すことにより、弁内部の点検手入れが可能である。

RCCW D/W 機器入口第2 隔離弁の構造図を図 2.1-2 に示す。

(2) 材料及び使用条件

RCCW D/W 機器入口第2 隔離弁主要部位の使用材料を表 2.1-3 に、使用条件を表 2.1-4 に示す。



No.	部位	No.	部位
①	弁箱	⑥	弁体
②	弁ふた	⑦	弁座
③	ジョイントボルト・ナット	⑧	弁棒
④	ガスケット	⑨	ヨーク
⑤	グランドパッキン		

図 2.1-2 浜岡 4 号機 RCCW D/W 機器入口第 2 隔離弁構造図

表 2.1-3 浜岡 4 号機 RCCW D/W 機器入口第 2 隔離弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	炭素鋼鋳鋼
		弁ふた	炭素鋼鋳鋼
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼
	シール	ガスケット	(消耗品)
		グランドパッキン	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	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)
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒	ステンレス鋼
		ヨーク	炭素鋼鋳鋼

表 2.1-4 浜岡 4 号機 RCCW D/W 機器入口第 2 隔離弁の使用条件

最高使用圧力	1.37 MPa
最高使用温度	171 °C
流体	冷却水 (防錆剤入り)

2.1.3 PLR ポンプ出口弁

(1) 構造

PLR ポンプ出口弁は口径 600A、圧力クラス 887Lb の電動仕切弁で、2 台設置されている。

弁本体は純水を内包する耐圧部（弁箱、弁ふた、ジョイントボルト・ナット、軸封部）、純水を仕切る隔離部（弁体、弁座）及び弁体に駆動力を伝達する駆動力伝達部（弁棒、ヨーク）からなる。

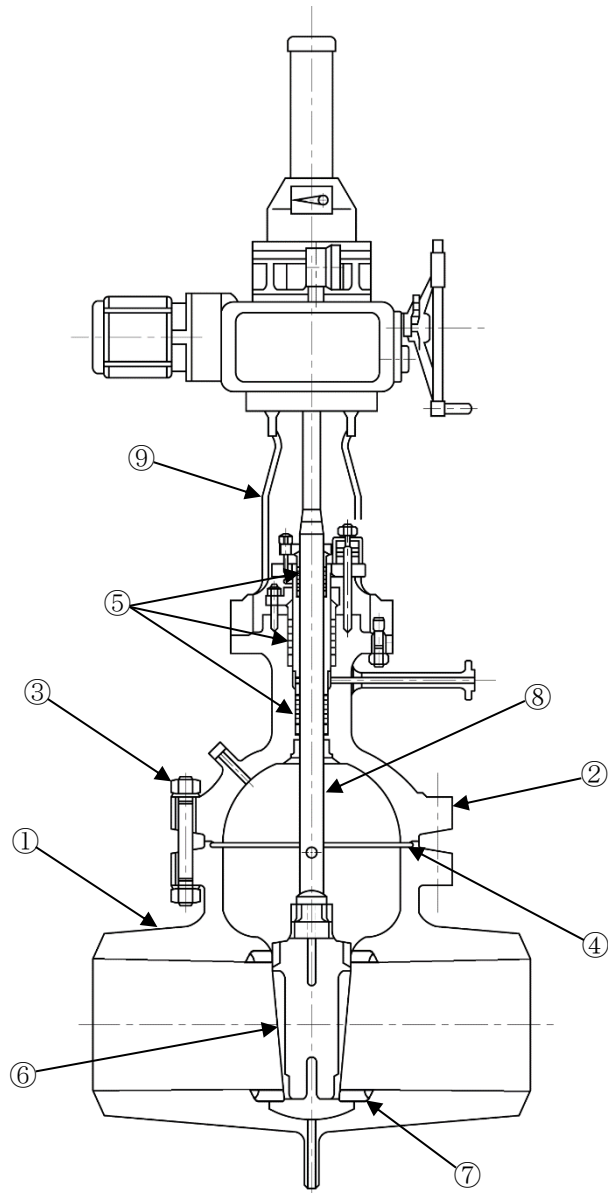
純水に接する弁箱、弁ふた及び弁体はステンレス鋳鋼、弁座はステンレス鋼で製作されており、軸封部には流体の漏れを防ぐためグラندパッキンが使用されている。

なお、当該弁については、駆動部を切り離し、ジョイントボルト・ナットを取外すことにより、弁内部の点検手入れが可能である。

PLR ポンプ出口弁の構造図を図 2.1-3 に示す。

(2) 材料及び使用条件

PLR ポンプ出口弁主要部位の使用材料を表 2.1-5 に、使用条件を表 2.1-6 に示す。



No.	部位	No.	部位
①	弁箱	⑥	弁体
②	弁ふた	⑦	弁座
③	ジョイントボルト・ナット	⑧	弁棒
④	ガスケット	⑨	ヨーク
⑤	グランドパッキン		

図 2.1-3 浜岡 4 号機 PLR ポンプ出口弁構造図

表 2.1-5 浜岡 4 号機 PLR ポンプ出口弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	ステンレス鋳鋼
		弁ふた	ステンレス鋳鋼
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼
	シール	ガスケット	(消耗品)
		グランドパッキン	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	弁体	ステンレス鋳鋼 (ステライト肉盛)
		弁座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒	ステンレス鋼
		ヨーク	炭素鋼鋳鋼

表 2.1-6 浜岡 4 号機 PLR ポンプ出口弁の使用条件

最高使用圧力	10.40 MPa
最高使用温度	302 °C
流体	純水

2.1.4 SLC 注入原子炉側元弁

(1) 構造

SLC 注入原子炉側元弁は口径 40A, 圧力クラス 1,500Lb の手動仕切弁で, 1 台設置されている。

弁本体は五ほう酸ナトリウム水を内包する耐圧部 (弁箱, 弁ふた, ジョイントボルト・ナット, 軸封部), 五ほう酸ナトリウム水を仕切る隔離部 (弁体, 弁座) 及び弁体に駆動力を伝達する駆動力伝達部 (弁棒, ヨーク) からなる。

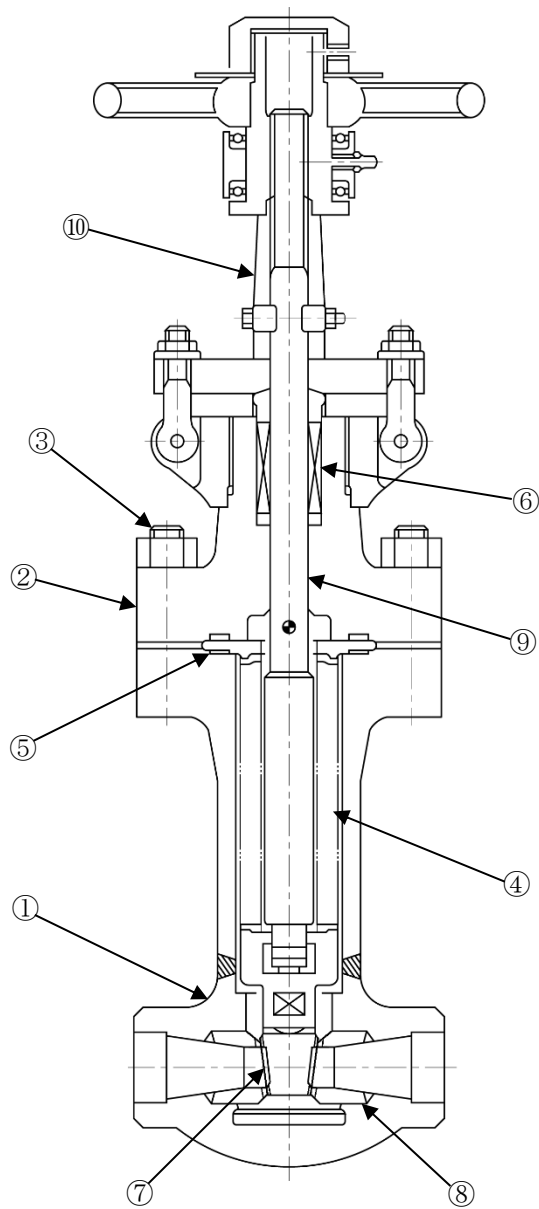
五ほう酸ナトリウム水に接する弁箱, 弁ふた, 弁体及び弁座はステンレス鋼で製作されており, 軸封部には流体の漏れを防ぐためベローズ及びグランドパッキンが使用されている。

なお, 当該弁については, ジョイントボルト・ナットを取外すことにより, 弁内部の点検手入りが可能である。

SLC 注入原子炉側元弁の構造図を図 2.1-4 に示す。

(2) 材料及び使用条件

SLC 注入原子炉側元弁主要部位の使用材料を表 2.1-7 に, 使用条件を表 2.1-8 に示す。



No.	部位	No.	部位
①	弁箱	⑥	グランドパッキン
②	弁ふた	⑦	弁体
③	ジョイントボルト・ナット	⑧	弁座
④	ベローズ	⑨	弁棒
⑤	ガスケット	⑩	ヨーク

図 2.1-4 浜岡 4 号機 SLC 注入原子炉側元弁構造図

表 2.1-7 浜岡 4 号機 SLC 注入原子炉側元弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	ステンレス鋼
		弁ふた	ステンレス鋼
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼
	シール	ベローズ	ニッケル基合金
		ガスケット	(消耗品)
		グランドパッキン	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	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)
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒	ステンレス鋼
		ヨーク	炭素鋼鋳鋼

表 2.1-8 浜岡 4 号機 SLC 注入原子炉側元弁の使用条件

最高使用圧力	8.62 MPa
最高使用温度	302 °C
流体	五ほう酸ナトリウム水

2.1.5 RCWS サイクロンセパレータ入口弁

(1) 構造

RCWS サイクロンセパレータ入口弁は口径 40A, 圧力クラス JIS10K の手動仕切弁で, 4 台設置されている。

弁本体は海水を内包する耐圧部 (弁箱, 弁ふた, ジョイントボルト・ナット, 軸封部), 海水を仕切る隔離部 (弁体, 弁座) 及び弁体に駆動力を伝達する駆動力伝達部 (弁棒) からなる。

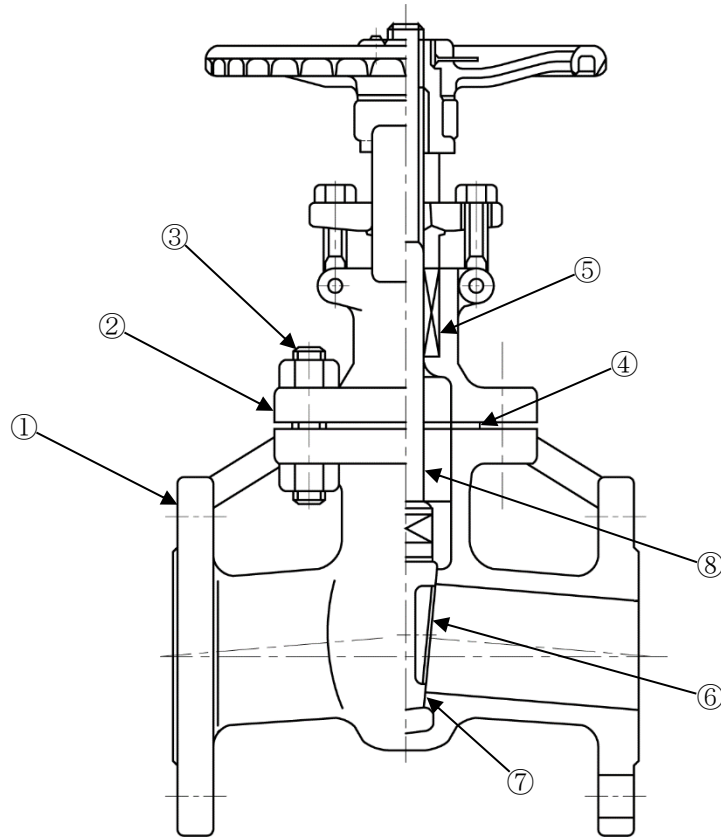
海水に接する弁箱, 弁ふた, 弁体及び弁座はステンレス鋳鋼で製作されており, 軸封部には流体の漏れを防止するためグランドパッキンが使用されている。

なお, 当該弁については, ジョイントボルト・ナットを取外すことにより, 弁内部の点検手入れが可能である。

RCWS サイクロンセパレータ入口弁の構造図を図 2.1-5 に示す。

(2) 材料及び使用条件

RCWS サイクロンセパレータ入口弁主要部位の使用材料を表 2.1-9 に, 使用条件を表 2.1-10 に示す。



No.	部位	No.	部位
①	弁箱	⑤	グランドパッキン
②	弁ふた	⑥	弁体
③	ジョイントボルト・ナット	⑦	弁座
④	ガスケット	⑧	弁棒

図 2.1-5 浜岡 4 号機 RCWS サイクロンセパレータ入口弁構造図

表 2.1-9 浜岡 4 号機 RCWS サイクロンセパレータ入口弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	ステンレス鋳鋼
		弁ふた	ステンレス鋳鋼
		ジョイントボルト・ナット	ステンレス鋼
	シール	ガスケット	(消耗品)
		グランドパッキン	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	弁体	ステンレス鋳鋼
		弁座	ステンレス鋳鋼
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒	ステンレス鋼

表 2.1-10 浜岡 4 号機 RCWS サイクロンセパレータ入口弁の使用条件

最高使用圧力	0.59 MPa
最高使用温度	50 °C
流体	海水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

仕切弁の機能である流体仕切機能の達成に必要な項目は以下のとおり。

- ①バウンダリの維持
- ②隔離機能の維持
- 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

(1) 想定される経年劣化事象

仕切弁について、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、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表 2.2-1 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

なお、消耗品及び定期取替品は次項のとおり評価対象外とする。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

グランドパッキン、ガスケットは消耗品であり、設計時に長期使用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。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

- ①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）
- 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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として以下の事象を抽出した（表 2.2-1 で○）。

- a. 弁箱の疲労割れ [CUW 入口管第 2 隔離弁, PLR ポンプ出口弁]
- b. 弁箱の熱時効 [PLR ポンプ出口弁]

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 弁体及び弁座シート面の摩耗 [共通]

弁が開閉するとシート面で摺動するため、摩耗が想定される。しかしながら、弁体及び弁座シート部にはステライト肉盛がなされており摩耗が発生する可能性は小さい。なお、RCWS サイクロンセパレータ入口弁については、弁体及び弁座シート部にステライト肉盛がなされていないが、分解点検の結果において劣化が確認された場合は、その都度弁の取替えを実施している。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

b. 弁棒の摩耗 [共通]

弁棒は、グランドパッキン（黒鉛等）と接触することにより、摩耗が想定される。しかしながら、弁棒はステンレス鋼であり、接触部はグランドパッキン（黒鉛等）よりも硬いことから、摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

c. 弁箱及び弁ふた内面、弁体、弁座の腐食（全面腐食） [CUW 入口管第 2 隔離弁、RCCW D/W 機器入口第 2 隔離弁]

CUW 入口管第 2 隔離弁の弁箱、弁ふた、弁体及び弁座は炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であり、内部流体が純水であるため、腐食が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

RCCW D/W 機器入口第 2 隔離弁の弁箱、弁ふた、弁体及び弁座は炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であるため、腐食が想定される。しかしながら、内部流体は防錆剤入り冷却水であり、材料表面が不動態に保たれているため、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

d. 弁箱及び弁ふた外面の腐食（全面腐食） [CUW 入口管第 2 隔離弁、RCCW D/W 機器入口第 2 隔離弁]

弁箱及び弁ふたは炭素鋼鋳鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- e. ジョイントボルト・ナットの腐食（全面腐食） [CUW 入口管第 2 隔離弁, RCCW D/W 機器入口第 2 隔離弁, PLR ポンプ出口弁, SLC 注入原子炉側元弁]

ジョイントボルト・ナットは低合金鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- f. ヨークの腐食（全面腐食） [CUW 入口管第 2 隔離弁, RCCW D/W 機器入口第 2 隔離弁, PLR ポンプ出口弁, SLC 注入原子炉側元弁]

ヨークは炭素鋼鋳鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- g. 弁箱, 弁ふた, 弁体, 弁座及び弁棒の腐食（孔食・隙間腐食） [RCWS サイクロンセパレータ入口弁]

弁箱, 弁ふた, 弁体, 弁座及び弁棒はステンレス鋼又はステンレス鋳鋼であり、内部流体が海水のため、腐食が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- h. 弁棒の疲労割れ [共通]

弁棒のバックシート部は常に高い応力がかかった状態では、配管振動等による疲労が蓄積し、疲労割れが想定される。しかしながら、電動弁については、バックシートが効く位置の手前でリミットスイッチが切れ、動作が止まるように設定されているため、弁棒及びバックシート部へ過負荷は加わらない。一部の電動弁では、全開位置をトルク切れによって調整しており、トルク設定値を高くすると、弁棒のバックシート部は常に高い応力がかかった状態となり、配管振動等による疲労が蓄積し、弁棒に疲労割れを起こすことが考えられる。しかしながら、トルク設定値はバックシートが効く程度の力で動作が止まるよう設定されていることから、疲労割れが発生する可能性は小さい。手動弁については開操作時に、弁棒及びバックシート部への過負荷がかからないように全開操作後に若干戻す操作を行っていることから、疲労割れが発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検及び浸透探傷試験により設備の健全性を定期的に確認している。

- i. ベローズの疲労割れ [SLC 注入原子炉側元弁]

ベローズは弁を開閉作動させることにより、疲労割れが想定される。しかしながら、弁の作動頻度が少ないことから疲労割れが発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検及び漏えい試験により設備の健全性を定期的に確認している。

j. 弁箱，弁ふた及びベローズの粒界型応力腐食割れ [SLC 注入原子炉側元弁]

弁箱，弁ふたはステンレス鋼，ベローズはニッケル基合金であり，内部流体が 100℃ 以上であることから粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら，弁箱，弁ふたは粒界型応力腐食割れの感受性を低減した材料であり，粒界型応力腐食割れが発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

k. 弁ふた及び弁体の熱時効 [PLR ポンプ出口弁]

弁ふた及び弁体はステンレス鋳鋼であり，また高温純水中にあるため，熱時効による材料の靱性低下が想定され，この状態でき裂が存在する場合には小さな荷重でき裂が進展し，不安定破壊を引起す可能性がある。しかしながら，「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」(平成 9 年 3 月 財団法人 発電設備技術検査協会) においては，BWR の炉水温度 (約 280℃) における熱時効による材料への影響は大きくないとしている。また，当該部位に，疲労割れ等のき裂が想定される経年劣化事象が想定されないため，熱時効を起因とする不安定破壊が発生する可能性は小さい。さらに，分解点検時における目視点検及び浸透探傷試験により設備の健全性を定期的に確認している。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

表 2.2-1(1/5) 浜岡4号機 CUW 入口管第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	サブシステム	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	耐圧	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}	○					*1:内面 *2:外面 *3:スライト肉盛
		弁ふた		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
		ジョイントボルト・ナット		低合金鋼		△						
	シール	ガスケット	◎									
		グランドパッキン	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		炭素鋼鋳鋼 ^{*3}	△	△						
		弁座		炭素鋼 ^{*3}	△	△						
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒		ステンレス鋼	△		△					
		ヨーク		炭素鋼鋳鋼		△						

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着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) 浜岡4号機 RCCW D/W 機器入口第2隔離弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}					*1:内面 *2:外面 *3:スライト肉盛	
		弁ふた		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
		ジョイントボルト・ナット		低合金鋼		△						
	シール	ガスケット	◎									
		グランドパッキン	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		炭素鋼鋳鋼 ^{*3}	△	△						
		弁座		炭素鋼 ^{*3}	△	△						
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒		ステンレス鋼	△		△					
		ヨーク		炭素鋼鋳鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(3/5) 浜岡4号機 PLR 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	サブシステム	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	耐圧	弁箱		ステンレス鋳鋼			○		○		*1:ストレイト肉盛	
		弁ふた		ステンレス鋳鋼					△			
		ジョイントボルト・ナット		低合金鋼		△						
	シール	ガスケット	◎									
		グランドパッキン	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		ステンレス鋳鋼*1	△				△			
		弁座		ステンレス鋼*1	△							
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒		ステンレス鋼	△		△					
		ヨーク		炭素鋼鋳鋼		△						

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着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) 浜岡 4 号機 SLC 注入原子炉側元弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	弁箱		ステンレス鋼				△ ^{*1}			*1:粒界型応力腐食割れ *2:ストレイト肉盛	
		弁ふた		ステンレス鋼				△ ^{*1}				
		ジョイントボルト・ナット		低合金鋼		△						
	シール	ベローズ		ニッケル基合金			△	△ ^{*1}				
		ガスケット	◎									
		グラウンドパッキン	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		ステンレス鋼 ^{*2}	△							
		弁座		ステンレス鋼 ^{*2}	△							
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒		ステンレス鋼	△		△					
		ヨーク		炭素鋼鋳鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(5/5) 浜岡4号機 RCWS サイクロンセパレータ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	サブシステム	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	耐圧	弁箱		ステンレス鋳鋼		△ ^{*1*2}					*1:内面 *2:孔食・隙間腐食	
		弁ふた		ステンレス鋳鋼		△ ^{*1*2}						
		ジョイントボルト・ナット		ステンレス鋼								
	シール	ガスケット	◎									
		グランドパッキン	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		ステンレス鋳鋼	△	△ ^{*2}						
		弁座		ステンレス鋳鋼	△	△ ^{*2}						
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒		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）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

(1) 弁箱の疲労割れ [CUW 入口管第 2 隔離弁, PLR ポンプ出口弁]

a. 事象の説明

CUW 入口管第 2 隔離弁及び PLR ポンプ出口弁の弁箱は、プラントの起動・停止時等に熱過渡を受けるため、繰返しにより疲労が蓄積する可能性がある。

b. 技術評価

①健全性評価

CUW 入口管第 2 隔離弁及び PLR ポンプ出口弁について、疲労評価を実施した。

疲労評価は、運転実績に基づいた現時点（2020 年度末）の過渡回数を用いて日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版）」（2007 年追補版を含む。）（JSME S NC1-2005/2007）（以下、「設計・建設規格」という。）に基づき実施した。評価部位を図 2.3-1 に、評価用過渡条件を表 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「発電用原子力設備規格 環境疲労評価手法」（JSME S NF1-2009）（以下、「環境疲労評価手法」という。）に基づき評価を実施した。

この結果、表 2.3-2 に示すとおり、環境を考慮した疲れ累積係数は 2020 年度末時点では許容値以下であり、安定停止状態においては、有意な熱過渡事象は発生しないため、運転開始後 40 年時点までは疲労割れが発生する可能性はないと判断する。

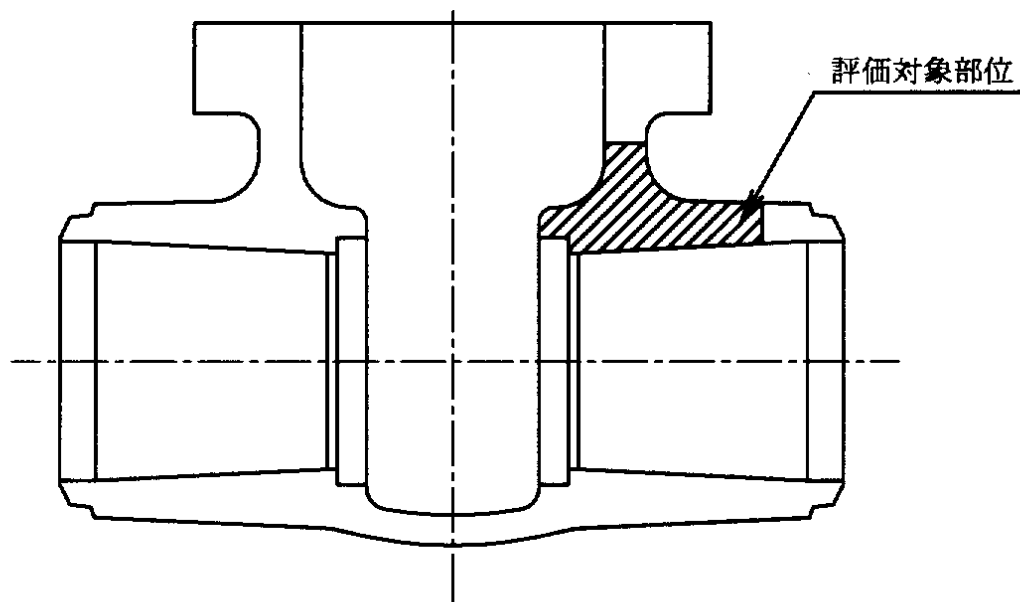


図 2.3-1 浜岡 4 号機 仕切弁疲労評価部位

表 2.3-1 浜岡 4 号機 CUW 入口管第 2 隔離弁, PLR ポンプ出口弁の疲労評価用過渡条件

運転条件	運転実績に基づく過渡回数 (2020 年度末)
ボルト締付	16
耐圧試験(最高使用圧力以下)	45
起動(昇温)	34
起動(タービン起動)	31
夜間低出力運転(出力 75%)	0
週末低出力運転(出力 50%)	3
制御棒パターン変更	116
給水加熱器機能喪失(発電機トリップ)	7
スクラム(タービントリップ)	4
スクラム(原子炉給水ポンプ停止)	0
スクラム(その他)	6
停止	34
ボルト取外	16
逃がし安全弁誤作動	0

表 2.3-2 浜岡 4 号機 CUW 入口管第 2 隔離弁, PLR ポンプ出口弁の疲労評価結果

部位	運転実績回数に基づく疲れ累積係数(許容値: 1 以下)	
	設計・建設規格の疲労曲線による解析	環境疲労評価手法による解析
	2020 年度末時点	2020 年度末時点
CUW 入口管第 2 隔離弁	0.00268	0.059
PLR ポンプ出口弁	0.00098	0.023

②現状保全

疲労割れに対しては、分解点検時に目視点検にて弁箱内面に有意な欠陥がないことを確認している。

③総合評価

健全性評価結果より、CUW 入口管第 2 隔離弁及び PLR ポンプ出口弁は、疲労割れが発生する可能性はなく、また、疲労割れは分解点検時の目視点検にて検知可能であることから、現状保全は点検手法として適切であると判断する。

なお、当面の安定停止状態においては、有意な熱過渡事象は発生しないため、運転開始後 40 年時点までは疲労割れが発生する可能性はないと判断する。

c. 高経年化への対応

弁箱の疲労割れについては、高経年化対策の観点から現状保全の内容に追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

(2) 弁箱の熱時効 [PLR ポンプ出口弁]

a. 事象の説明

弁箱はステンレス鋳鋼を用いており、熱時効による材料の靱性低下が想定され、この状態でき裂が存在する場合には小さな荷重でき裂が進展し、不安定破壊を引き起こす可能性がある。

b. 技術評価

①健全性評価

PLR ポンプ出口弁の実使用温度は 280℃程度であり、熱時効が問題となる温度（約 290℃）には到達せず、国内他プラント、海外プラントにおける脆化試験の結果から靱性の低下はほとんど見られていない。また、これまでの分解点検時における目視点検及び浸透探傷検査結果から有意な欠陥は見られておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

②現状保全

弁箱については、定期的に分解点検を行い、目視点検により健全性を確認している。

③総合評価

弁箱の熱時効については、計画的な目視点検を実施しており、健全性の確認は可能であることから、現状保全は点検手法として適切であると判断する。

なお、当面の安定停止状態においては、熱時効による有意な材料特性の低下は想定されないため、今後の熱時効の発生及び進展する可能性は小さいと判断する。

c. 高経年化への対応

弁箱の熱時効については，高経年化対策の観点から現状保全の内容に追加すべき項目はなく，今後も現状保全を継続していく。

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を検討した。

[対象系統]

- | | |
|--------------|-------------------|
| ① 給水系 | ⑨ 原子炉機器冷却水系 |
| ② 原子炉冷却材再循環系 | ⑩ 高圧炉心スプレイ機器冷却水系 |
| ③ 制御棒駆動水圧系 | ⑪ 原子炉機器冷却海水系 |
| ④ 余熱除去系 | ⑫ 高圧炉心スプレイ機器冷却海水系 |
| ⑤ 低圧炉心スプレイ系 | ⑬ サプレッションプール水排水系 |
| ⑥ 高圧炉心スプレイ系 | ⑭ 非常用空調機器冷却水系 |
| ⑦ 原子炉冷却材浄化系 | ⑮ 放射性ドレン移送系 |
| ⑧ 燃料プール冷却浄化系 | |

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

a. 弁箱の疲労割れ [PLR ポンプ入口弁]

代表機器と同様に疲労割れが想定されるが、弁形状、運転状態及び過渡条件が同等の代表機器について、2.3 高経年化対策上着目すべき劣化事象にて評価をし問題ないことを確認しており、疲労割れが発生する可能性はないと判断する。保全についても、代表機器と同様に定期的に健全性を確認している。また、当面の安定停止状態においては、有意な熱過渡はなく、運転開始後 40 年時点までは疲労割れが発生する可能性はないと判断する。

したがって、高経年化対策の観点から現状の保全内容に追加すべき項目はないと判断する。

b. 弁箱の熱時効 [PLR ポンプ入口弁]

熱時効による靱性低下への影響は、フェライト量が多いほど大きくなる。フェライト量が、より多い代表機器である PLR ポンプ出口弁については、2.3 高経年化対策上着目すべき劣化事象にて評価をしており、問題ないことを確認している。そのため、代表機器と環境が同等である PLR ポンプ入口弁についても熱時効の発生及び進展する可能性は小さいと判断する。また、当面の安定停止状態においては、熱時効による有意な材料特性の低下は想定されないため、今後の熱時効の発生及び進展する可能性は小さいと判断する。

したがって、高経年化対策の観点から現状の保全内容に追加すべき項目はないと判断する。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 弁体及び弁座シート面の摩耗 [共通]

代表機器同様、弁が開閉するとシート面で摺動するため、摩耗が想定される。しかしながら、シート面に硬質材料であるステライトを肉盛り施工している弁については、摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

b. 弁棒の摩耗 [共通]

代表機器同様、弁棒は、グランドパッキン（黒鉛等）と接触することにより、摩耗が想定される。しかしながら、弁棒はステンレス鋼であり、接触部はグランドパッキン（黒鉛等）よりも硬いことから、摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

c. 弁箱内面及び弁ふたの内面、弁体、弁座の腐食（全面腐食） [純水系炭素鋼仕切弁、冷却水系炭素鋼仕切弁]

代表機器同様、純水系炭素鋼仕切弁の弁箱、弁ふた、弁体及び弁座は炭素鋼又は炭素鋼鑄鋼であり、内部流体が純水であるため、腐食が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

代表機器同様、冷却水系炭素鋼仕切弁の弁箱、弁ふた、弁体及び弁座は炭素鋼又は炭素鋼鑄鋼であるため、腐食が想定される。しかしながら、内部流体は防錆剤入り冷却水であり、材料表面が不動態に保たれているため、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

d. 弁箱及び弁ふた外面の腐食（全面腐食） [純水系炭素鋼仕切弁、冷却水系炭素鋼仕切弁]

弁箱及び弁ふたは炭素鋼又は炭素鋼鑄鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- e. ジョイントボルト・ナットの腐食（全面腐食）〔純水系炭素鋼仕切弁，冷却水系炭素鋼仕切弁，純水系ステンレス鋼仕切弁〕

ジョイントボルト・ナットは炭素鋼又は低合金鋼であり，腐食が想定される。しかしながら，屋内空調環境下に設置されており，腐食が発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- f. ヨークの腐食（全面腐食）〔純水系炭素鋼仕切弁，冷却水系炭素鋼仕切弁，純水系ステンレス鋼仕切弁〕

ヨークは炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であり，腐食が想定される。しかしながら，屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- g. 弁箱，弁ふた，弁体，弁座及び弁棒の腐食（孔食・隙間腐食）〔海水系ステンレス鋼仕切弁〕

代表機器同様，弁箱，弁ふた，弁体，弁座及び弁棒はステンレス鋼又はステンレス鋳鋼であり，内部流体が海水のため，腐食が想定される。しかしながら，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- h. 弁棒の疲労割れ〔共通〕

代表機器同様，弁棒のバックシート部は常に高い応力がかかった状態では，配管振動等による疲労が蓄積し，疲労割れが想定される。しかしながら，電動弁については，バックシートが効く位置の手前でリミットスイッチが切れ，動作が止まるように設定されているため，弁棒及びバックシート部へ過負荷は加わらない。一部の電動弁では，全開位置をトルク切れによって調整しており，トルク設定値を高くすると，弁棒のバックシート部は常に高い応力がかかった状態となり，配管振動等による疲労が蓄積し，弁棒に疲労割れを起こすことが考えられる。しかしながら，トルク設定値はバックシートが効く程度の力で動作が止まるよう設定されていることから，疲労割れが発生する可能性は小さい。手動弁については開操作時に，弁棒及びバックシート部への過負荷がかからないように全開操作後に若干戻す操作を行っていることから，疲労割れが発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- i. 弁箱，弁ふたの粒界型応力腐食割れ〔純水系ステンレス鋼仕切弁〕

代表機器同様，弁箱，弁ふたはステンレス鋼であり，内部流体が 100℃以上の純水であることから粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら，弁箱，弁ふたに粒界型応力腐食割れの感受性を低減した材料を使用している弁については，粒界型応力腐食割れが発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

j. 弁箱及び弁ふた外面の貫粒型応力腐食割れ [純水系ステンレス鋼仕切弁]

弁箱及び弁ふたはステンレス鋳鋼又はステンレス鋼であり、外表面に塩分が付着することに起因する貫粒型応力腐食割れが想定される。しかしながら、建屋内は付着塩分量を維持管理基準以下に管理するため代表ポイントにおける付着塩分量測定を実施している。清掃基準を超えた場合には清掃を計画するとともに、目視点検を実施し、必要に応じて補修又は取替えを行うことで設備の健全性を定期的に確認している。

k. 弁ふた及び弁体の熱時効 [PLR ポンプ入口弁]

代表機器同様、弁ふた及び弁体はステンレス鋳鋼であり、また高温純水中にあるため、熱時効による材料の靱性低下が想定され、この状態でき裂が存在する場合には小さな荷重でき裂が進展し、不安定破壊を引起す可能性がある。しかしながら、「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」（平成 9 年 3 月 財団法人 発電設備技術検査協会）においては、BWR の炉水温度（約 280℃）における熱時効による材料への影響は大きくないとしている。また、当該部位に、疲労割れ等のき裂が想定される経年劣化事象が想定されないため、熱時効を起因とする不安定破壊が発生する可能性は小さい。さらに、分解点検時における目視点検及び浸透探傷試験により設備の健全性を定期的に確認している。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

以 上

2 玉形弁

[対象系統]

- | | |
|--------------|------------------|
| ① 主蒸気系 | ⑪ 放射性ドレン移送系 |
| ② 給水系 | ⑫ 濃縮廃液系 |
| ③ 原子炉冷却材再循環系 | ⑬ 補給水系 |
| ④ 制御棒駆動水圧系 | ⑭ 原子炉機器冷却水系 |
| ⑤ ほう酸水注入系 | ⑮ 高圧炉心スプレイ機器冷却水系 |
| ⑥ 余熱除去系 | ⑯ 計装用圧縮空気系 |
| ⑦ 低圧炉心スプレイ系 | ⑰ サプレッションプール水排水系 |
| ⑧ 高圧炉心スプレイ系 | ⑱ 非常用空調機器冷水系 |
| ⑨ 原子炉冷却材浄化系 | ⑲ 常用空調機器冷水系 |
| ⑩ 燃料プール冷却浄化系 | |

目 次

1.	対象機器及び代表機器の選定	1
1.1	グループ化の考え方及び結果	1
1.2	代表機器の選定	1
2.	代表機器の技術評価	4
2.1	構造, 材料及び使用条件	4
2.1.1	CUW 入口管試験タップ第1弁.....	4
2.1.2	RCCW D/W 機器入口管試験タップ弁.....	7
2.1.3	計装用空気第2 隔離弁	10
2.1.4	PLR 原子炉水サンプリング第1 隔離弁.....	13
2.1.5	SLC 注入管試験タップ第1 弁.....	16
2.2	経年劣化事象の抽出	19
2.2.1	機器の機能達成に必要な項目	19
2.2.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	19
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	20
3.	代表機器以外への展開	28
3.1	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	28
3.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象.....	29

1. 対象機器及び代表機器の選定

玉形弁の主な仕様を表 1-1 に示す。

これらの玉形弁をグループ化し、それぞれのグループより代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

弁箱材料，内部流体を分類基準とし，玉形弁を表 1-1 に示すとおりグループ化する。

1.2 代表機器の選定

表 1-1 に分類したグループ毎に，原則として重要度，使用状態，最高使用温度，最高使用圧力，口径の観点から代表機器を選定する。

(1) 純水系炭素鋼玉形弁（内部流体：純水，弁箱材質：炭素鋼）

純水系ラインに使用されている炭素鋼玉形弁のうち，重要度，使用状態，最高使用圧力の観点から CUW 入口管試験タップ第 1 弁を代表機器とする。

(H4-G11-V-F350X, 20A)

(2) 冷却水系炭素鋼玉形弁（内部流体：冷却水，弁箱材質：炭素鋼）

冷却水系ラインに使用されている炭素鋼玉形弁のうち，重要度，最高使用温度の観点から RCCW D/W 機器入口管試験タップ弁を代表機器とする。

(H4-P21-V-F520A, 20A)

(3) ガス系ステンレス鋼玉形弁（内部流体：その他ガス，弁箱材質：ステンレス鋼）

ガス系ラインに使用されているステンレス鋼玉形弁は，計装用空気第 2 隔離弁のみが属するため，計装用空気第 2 隔離弁を代表機器とする。

(H4-P61-M0-F213, 50A)

(4) 純水系ステンレス鋼玉形弁（内部流体：純水，弁箱材質：ステンレス鋼）

純水系ラインに使用されているステンレス鋼玉形弁のうち，重要度，使用状態，最高使用温度，最高使用圧力の観点から PLR 原子炉水サンプリング第 1 隔離弁を代表機器とする。

(H4-B31-N0-F301, 20A)

(5) 五ほう酸ナトリウム水系ステンレス鋼玉形弁（内部流体：五ほう酸ナトリウム水，弁箱材質：ステンレス鋼）

五ほう酸ナトリウム水系ラインに使用されているステンレス鋼玉形弁のうち，重要度の観点から SLC 注入管試験タップ第 1 弁を代表機器とする。

(H4-C41-V-F350X, 20A)

表 1-1 (1/2) 浜岡 4 号機 玉形弁のグループ化及び代表機器の選定

分類基準		系統名称	選定基準					代表選定	代表機器	選定理由
弁箱材料	流体		重要度*1	使用条件						
				使用状態	最高使用温度(°C)	最高使用圧力	口径(A)			
炭素鋼	純水	給水系	MS-1	連続	302	8.62 MPa	20	CUW 入口管試験タップ 第 1 弁 (20A, 8.83MPa, 302°C) H4-G11-V-F350X	重要度 使用状態 最高使用圧力	
		余熱除去系	PS-1, MS-1	連続 (短期)	104~302	0.427 ~ 10.40 MPa	20~500			
		低圧炉心スプレイ系	MS-1	待機	100~302	0.427 ~ 8.62 MPa	20~300			
		高圧炉心スプレイ系	MS-1	待機	100~302	1.57 ~ 10.79 MPa	20~300			
		原子炉冷却材浄化系	PS-1, MS-1	連続	302	8.62 ~ 8.83 MPa	20~50			◎
		サプレッションプール水排水系	MS-1	待機	104	0.427 ~ 1.57 MPa	20~200			
		放射性ドレン移送系	MS-1	連続 (短期)	171	0.981 MPa	20			
	冷却水*2	原子炉機器冷却水系	MS-1	連続	70~171	1.37 MPa	20~500	◎	RCCW D/W 機器入口管 試験タップ弁 (20A, 1.37MPa, 171°C) H4-P21-V-F520A	重要度 最高使用温度
		高圧炉心スプレイ機器冷却水系	MS-1	連続	70	1.37 MPa	50~200			
		非常用空調機器冷水系	MS-1	連続	66	1.08 MPa	150			
常用空調機器冷水系		MS-1	連続	66	1.27 MPa	20				

*1：最上位の重要度を示す

*2：冷却水（防錆剤入り）を示す

表 1-1 (2/2) 浜岡 4 号機 玉形弁のグループ化及び代表機器の選定

分類基準		系統名称	選定基準					代表選定	代表機器	選定理由
弁箱材料	流体		重要度*1	使用条件						
				使用状態	最高使用温度(°C)	最高使用圧力	口径(A)			
ステンレス鋼	その他ガス	計装用圧縮空気系	MS-1	連続	171	0.86 MPa	50	◎	計装用空気第 2 隔離弁 (50A, 0.86MPa, 171°C) H4-P61-M0-F213	
	純水	主蒸気系	MS-1	連続	302	8.62 MPa	20		PLR 原子炉水サンプリング 第 1 隔離弁 (20A, 10.40MPa, 302°C) H4-B31-N0-F301	重要度 使用状態 最高使用温度 最高使用圧力
		原子炉冷却材再循環系	MS-1	連続	302	8.62 ~ 10.40 MPa	20	◎		
		制御棒駆動水圧系	MS-1	連続	66	13.83 MPa	25~32			
		余熱除去系	MS-1	待機	302	8.62 MPa	20			
		低圧炉心スプレイ系	MS-1	待機	302	8.62 MPa	20			
		高圧炉心スプレイ系	MS-1	待機	302	8.62 MPa	20			
		原子炉冷却材浄化系	MS-1	連続	302	8.62 ~ 8.83 MPa	20			
		燃料プール冷却浄化系	MS-2	待機	186	3.73 MPa	200			
		補給水系	高*2	連続	66	13.8 MPa	40			
		濃縮廃液系	高*2	連続 (短期)	109	0.981 MPa	50			
	放射性ドレン移移送系	MS-1	待機	171	0.981 MPa	20				
五ほう酸 ナトリウム水	ほう酸水注入系	MS-1	待機	302	8.62 MPa	20	◎	SLC 注入管試験タップ 第 1 弁 (20A, 8.62MPa, 302°C) H4-C41-V-F350X	重要度	

*1：最上位の重要度を示す

*2：最高使用温度が 95 °C を超え、又は最高使用圧力が 1,900 kPa 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弁について技術評価を実施する。

- ① CUW 入口管試験タップ第1弁
- ② RCCW D/W 機器入口管試験タップ弁
- ③ 計装用空気第2隔離弁
- ④ PLR 原子炉水サンプリング第1隔離弁
- ⑤ SLC 注入管試験タップ第1弁

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 CUW 入口管試験タップ第1弁

(1) 構造

CUW 入口管試験タップ第1弁は口径 20A, 圧力クラス 900Lb の手動玉形弁で, 1台設置されている。

弁本体は純水を内包する耐圧部(弁箱, 弁ふた, ジョイントボルト・ナット, 軸封部), 純水を仕切る隔離部(弁体, 弁座)及び弁体に駆動力を伝達する駆動力伝達部(弁棒, ヨーク)からなる。

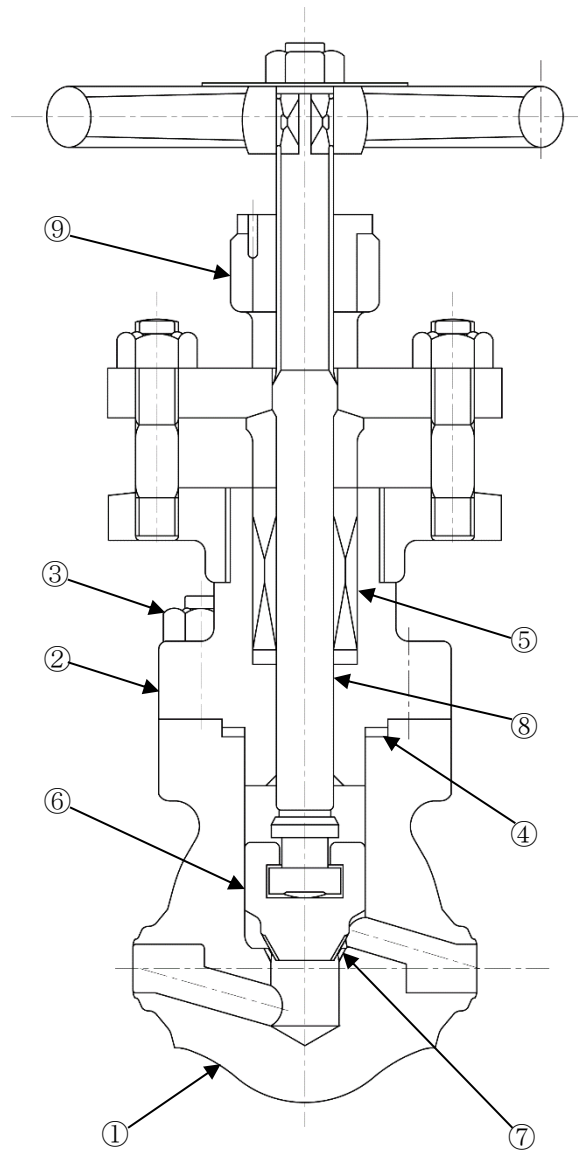
純水に接する弁箱, 弁ふた及び弁座は炭素鋼, 弁体はステンレス鋼で製作されており, 軸封部には流体の漏れを防止するためランドパッキンが使用されている。

なお, 当該弁については, ジョイントボルト・ナットを取外すことにより, 弁内部の点検手入れが可能である。

CUW 入口管試験タップ第1弁の構造図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

CUW 入口管試験タップ第1弁主要部位の使用材料を表 2.1-1 に, 使用条件を表 2.1-2 に示す。



No.	部位	No.	部位
①	弁箱	⑥	弁体
②	弁ふた	⑦	弁座
③	ジョイントボルト・ナット	⑧	弁棒
④	ガスケット	⑨	ヨーク
⑤	グランドパッキン		

図 2.1-1 浜岡 4 号機 CUV 入口管試験タップ第 1 弁構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 CUW 入口管試験タップ第 1 弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	炭素鋼
		弁ふた	炭素鋼 (ステライト肉盛)
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼
	シール	ガスケット	(消耗品)
		グランドパッキン	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	弁体	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
		弁座	炭素鋼 (ステライト肉盛)
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒	ステンレス鋼
		ヨーク	炭素鋼

表 2.1-2 浜岡 4 号機 CUW 入口管試験タップ第 1 弁の使用条件

最高使用圧力	8.83 MPa
最高使用温度	302 °C
流体	純水

2.1.2 RCCW D/W 機器入口管試験タップ弁

(1) 構造

RCCW D/W 機器入口管試験タップ弁は口径 20A, 圧力クラス 150Lb の手動玉形弁で, 1 台設置されている。

弁本体は冷却水 (防錆剤入り) を内包する耐圧部 (弁箱, 弁ふた, ジョイントボルト・ナット, 軸封部), 冷却水 (防錆剤入り) を仕切る隔離部 (弁体, 弁座) 及び弁体に駆動力を伝達する駆動力伝達部 (弁棒, ヨーク) からなる。

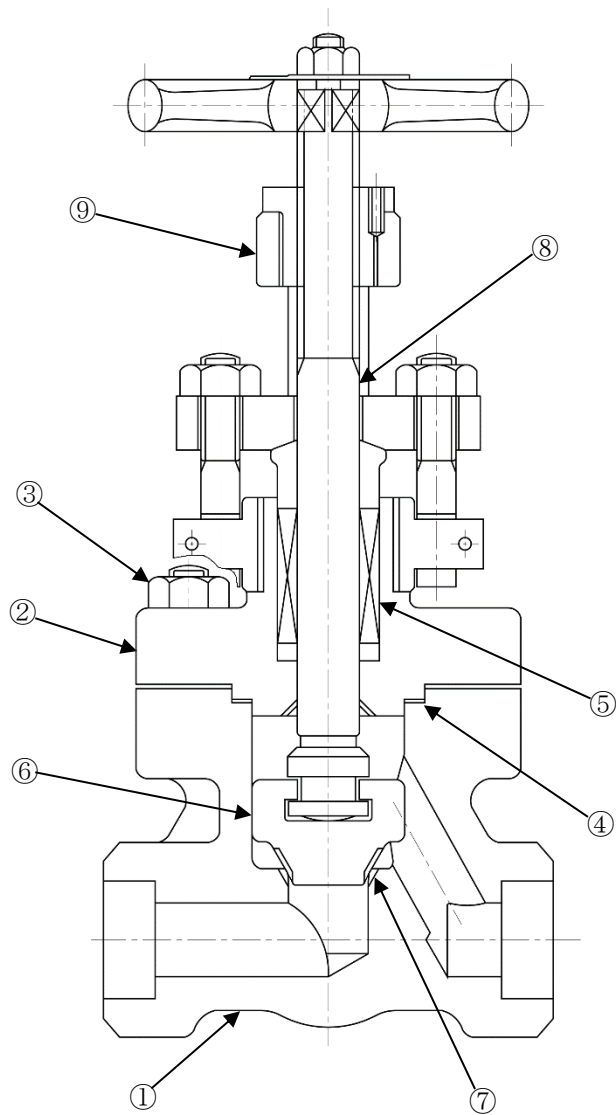
冷却水 (防錆剤入り) に接する弁箱, 弁ふた及び弁座は炭素鋼, 弁体はステンレス鋼で製作されており, 軸封部には流体の漏れを防止するためグランドパッキンが使用されている。

なお, 当該弁については, ジョイントボルト・ナットを取外すことにより, 弁内部の点検手入れが可能である。

RCCW D/W 機器入口管試験タップ弁の構造図を図 2.1-2 に示す。

(2) 材料及び使用条件

RCCW D/W 機器入口管試験タップ弁主要部位の使用材料を表 2.1-3 に, 使用条件を表 2.1-4 に示す。



No.	部位	No.	部位
①	弁箱	⑥	弁体
②	弁ふた	⑦	弁座
③	ジョイントボルト・ナット	⑧	弁棒
④	ガスケット	⑨	ヨーク
⑤	グランドパッキン		

図 2.1-2 浜岡 4 号機 RCCW D/W 機器入口管試験タップ弁構造図

表 2.1-3 浜岡 4 号機 RCCW D/W 機器入口管試験タップ弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	炭素鋼
		弁ふた	炭素鋼 (ステライト肉盛)
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼
	シール	ガスケット	(消耗品)
		グランドパッキン	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	弁体	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
		弁座	炭素鋼 (ステライト肉盛)
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒	ステンレス鋼
		ヨーク	炭素鋼

表 2.1-4 浜岡 4 号機 RCCW D/W 機器入口管試験タップ弁の使用条件

最高使用圧力	1.37 MPa
最高使用温度	171 °C
流体	冷却水 (防錆剤入り)

2.1.3 計装用空気第2隔離弁

(1) 構造

計装用空気第2隔離弁は口径50A、圧力クラス150Lbの電動玉形弁で、1台設置されている。

弁本体は、その他ガス（空気）を内包する耐圧部（弁箱、弁ふた、ジョイントボルト・ナット、軸封部）、その他ガスを仕切る隔離部（弁体、弁座）及び弁体に駆動力を伝達する駆動力伝達部（弁棒、ヨーク）からなる。

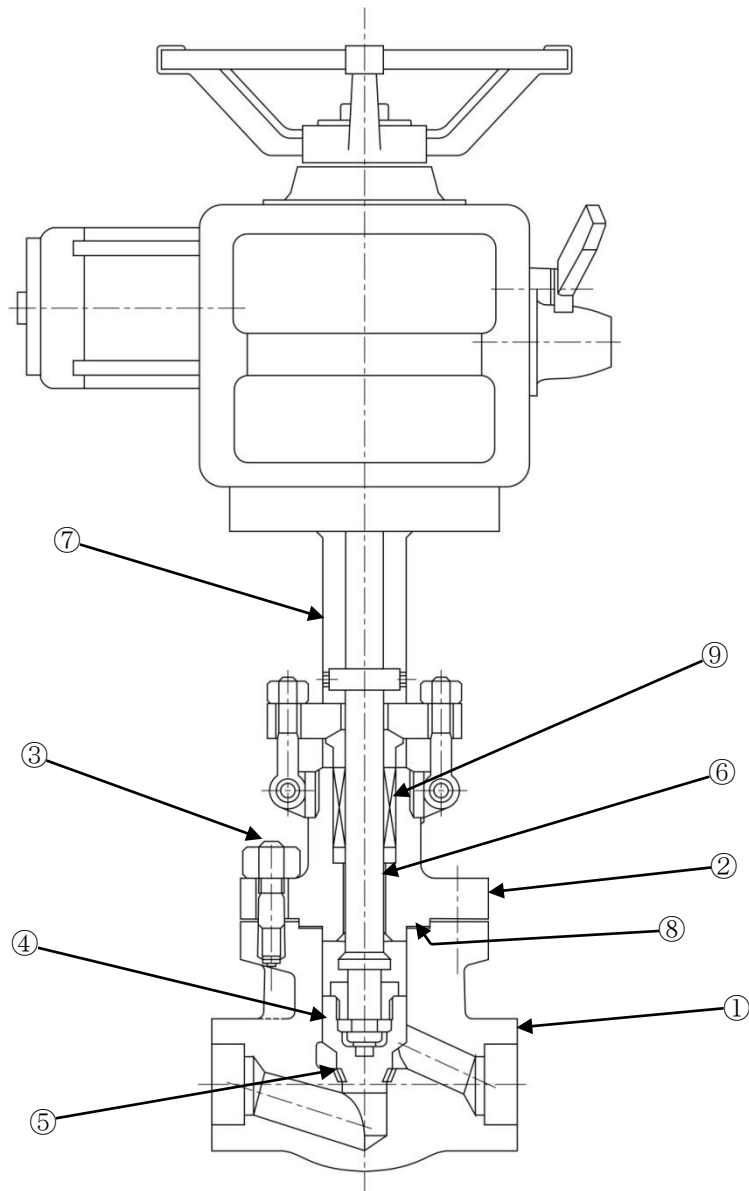
その他ガスに接する弁箱、弁ふた、弁体及び弁座はステンレス鋼で製作されており、軸封部には漏れを防止するためランドパッキンが使用されている。

なお、当該弁については、駆動部を切り離し、ジョイントボルト・ナットを取外すことにより、弁内部の点検手入れが可能である。

計装用空気第2隔離弁の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料及び使用条件

計装用空気第2隔離弁主要部位の使用材料を表2.1-5に、使用条件を表2.1-6に示す。



No.	部位	No.	部位
①	弁箱	⑥	弁棒
②	弁ふた	⑦	ヨーク
③	ジョイントボルト・ナット	⑧	ガスケット
④	弁体	⑨	グランドパッキン
⑤	弁座		

図 2.1-3 浜岡 4 号機 計装用空気第 2 隔離弁構造図

表 2.1-5 浜岡 4 号機 計装用空気第 2 隔離弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	ステンレス鋼
		弁ふた	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼
	シール	ガスケット	(消耗品)
		グランドパッキン	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	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)
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒	ステンレス鋼
		ヨーク	炭素鋼鋳鋼

表 2.1-6 浜岡 4 号機 計装用空気第 2 隔離弁の使用条件

最高使用圧力	0.86 MPa
最高使用温度	171 °C
流体	その他ガス (空気)

2.1.4 PLR 原子炉水サンプリング第1 隔離弁

(1) 構造

PLR 原子炉水サンプリング第1 隔離弁は口径 20A, 圧力クラス 1,500Lb の空気作動玉形弁で, 1 台設置されている。

弁本体は純水を内包する耐圧部 (弁箱, 弁ふた, ジョイントボルト・ナット, 軸封部), 純水を仕切る隔離部 (弁体, 弁座) 及び弁体に駆動力を伝達する駆動力伝達部 (弁棒, ヨーク) からなる。

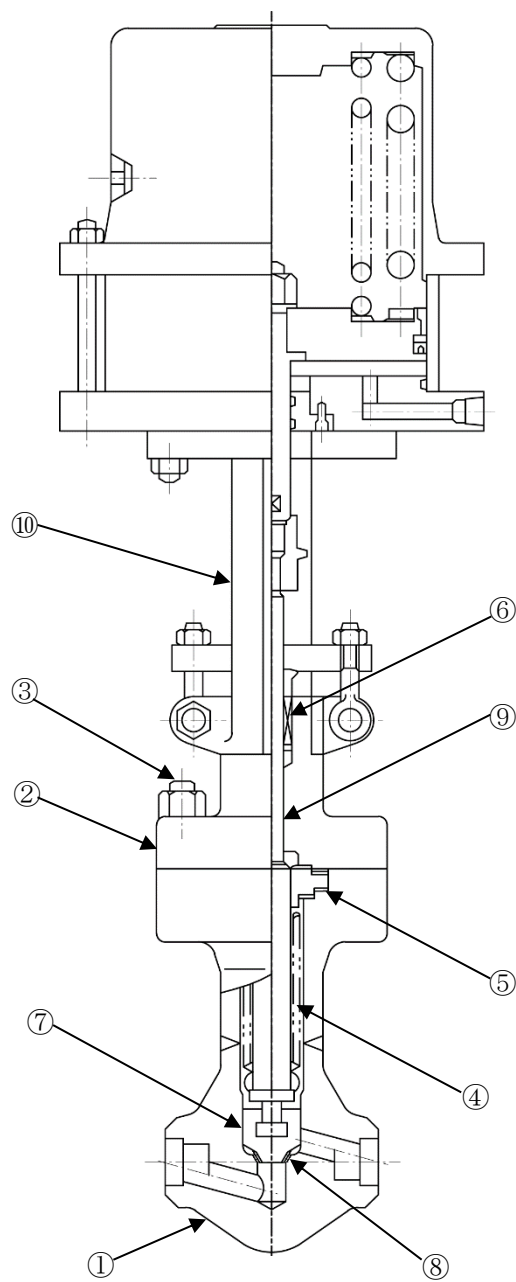
純水に接する弁箱, 弁ふた, 弁体及び弁座はステンレス鋼で製作されており, 軸封部には流体の漏れを防ぐためベローズ及びグランドパッキンが使用されている。

なお, 当該弁については, 駆動部を切り離し, ジョイントボルト・ナットを取外すことにより, 弁内部の点検手入れが可能である。

PLR 原子炉水サンプリング第1 隔離弁の構造図を図 2.1-4 に示す。

(2) 材料及び使用条件

PLR 原子炉水サンプリング第1 隔離弁主要部位の使用材料を表 2.1-7 に, 使用条件を表 2.1-8 に示す。



No.	部位	No.	部位
①	弁箱	⑥	グランドパッキン
②	弁ふた	⑦	弁体
③	ジョイントボルト・ナット	⑧	弁座
④	ベローズ	⑨	弁棒
⑤	ガスケット	⑩	ヨーク

図 2.1-4 浜岡 4 号機 PLR 原子炉水サンプリング第 1 隔離弁構造図

表 2.1-7 浜岡 4 号機 PLR 原子炉水サンプリング第 1 隔離弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	ステンレス鋼
		弁ふた	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼
	シール	ベローズ	ニッケル基合金
		ガスケット	(消耗品)
		グランドパッキン	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	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)
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒	ステンレス鋼
		ヨーク	炭素鋼鋳鋼

表 2.1-8 浜岡 4 号機 PLR 原子炉水サンプリング第 1 隔離弁の使用条件

最高使用圧力	10.40 MPa
最高使用温度	302 °C
流体	純水

2.1.5 SLC 注入管試験タップ第1弁

(1) 構造

SLC 注入管試験タップ第1弁は口径 20A、圧力クラス 1,500Lb の玉形弁で、1台設置されている。

弁本体は五ほう酸ナトリウム水を内包する耐圧部（弁箱、弁ふた、ジョイントボルト・ナット、軸封部）、五ほう酸ナトリウム水を仕切る隔離部（弁体、弁座）及び弁体に駆動力を伝達する駆動力伝達部（弁棒、ヨーク）からなる。

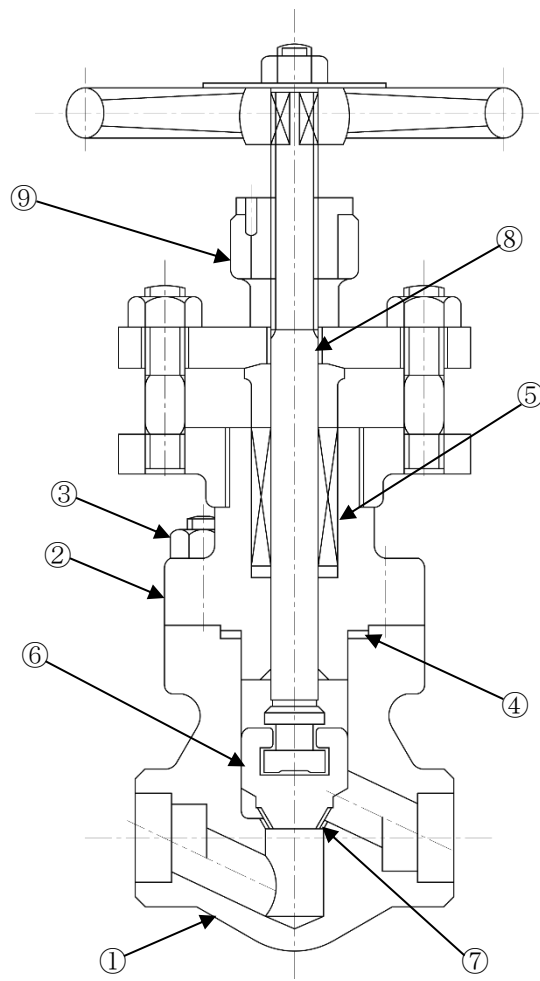
五ほう酸ナトリウム水に接する弁箱、弁ふた、弁体及び弁座はステンレス鋼で製作されており、軸封部には流体の漏れを防ぐためグランドパッキンが使用されている。

なお、当該弁については、ジョイントボルト・ナットを取外すことにより、弁内部の点検手入れが可能である。

SLC 注入管試験タップ第1弁の構造図を図 2.1-5 に示す。

(2) 材料及び使用条件

SLC 注入管試験タップ第1弁主要部位の使用材料を表 2.1-9 に、使用条件を表 2.1-10 に示す。



No.	部位	No.	部位
①	弁箱	⑥	弁体
②	弁ふた	⑦	弁座
③	ジョイントボルト・ナット	⑧	弁棒
④	ガスケット	⑨	ヨーク
⑤	グランドパッキン		

図 2.1-5 浜岡 4 号機 SLC 注入管試験タップ第 1 弁構造図

表 2.1-9 浜岡 4 号機 SLC 注入管試験タツプ第 1 弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	ステンレス鋼
		弁ふた	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼
	シール	ガスケット	(消耗品)
		グランドパッキン	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	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)
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒	ステンレス鋼
		ヨーク	炭素鋼

表 2.1-10 浜岡 4 号機 SLC 注入管試験タツプ第 1 弁の使用条件

最高使用圧力	8.62 MPa
最高使用温度	302 °C
流体	五ほう酸ナトリウム水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

玉形弁の機能である流体仕切機能（絞り機能含む）の達成に必要な項目は以下のとおり。

- ①バウンダリの維持
- ②隔離機能の維持
- 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

(1) 想定される経年劣化事象

玉形弁について、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、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表 2.2-1 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

なお、消耗品及び定期取替品は次項のとおり評価対象外とする。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

グランドパッキン、ガスケットは消耗品であり、設計時に長期使用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。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

- ①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）
- 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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 弁棒の摩耗 [共通]

弁棒は、グランドパッキン（黒鉛等）と接触することにより、摩耗が想定される。しかしながら、弁棒はステンレス鋼であり、接触部はグランドパッキン（黒鉛等）よりも硬いことから、摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

b. 弁箱及び弁ふた内面、弁座の腐食（全面腐食） [RCCW D/W 機器入口管試験タップ弁]

RCCW D/W 機器入口管試験タップ弁の弁箱、弁ふた及び弁座は炭素鋼であるため、腐食が想定される。しかしながら、内部流体は防錆剤入り冷却水であり、材料表面が不動態に保たれているため、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

c. 弁箱及び弁ふた外面の腐食（全面腐食） [CUW 入口管試験タップ第1弁, RCCW D/W 機器入口管試験タップ弁]

弁箱及び弁ふたは炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

d. ジョイントボルト・ナットの腐食（全面腐食） [共通]

ジョイントボルト・ナットは低合金鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

e. ヨークの腐食（全面腐食） [共通]

ヨークは炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、防食塗装が施されており、屋内空調環境下に設置されていることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

f. 弁箱及び弁ふた内面，弁座の腐食（流れ加速型腐食（以下，「FAC」という。））[CUW 入口管試験タップ第1弁]

CUW 入口管試験タップ第1弁の弁箱，弁ふた及び弁座は炭素鋼であり，内部流体が純水であるため，FAC が想定される。しかしながら，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

g. 弁棒の疲労割れ [共通]

弁棒のバックシート部は常に高い応力がかかった状態では，配管振動等による疲労が蓄積し，疲労割れが想定される。しかしながら，電動弁については，バックシートが効く位置の手前でリミットスイッチが切れ，動作が止まるように設定されているため，弁棒及びバックシート部への過負荷は加わらない。一部の電動弁では，全開位置をトルク切れによって調整しており，トルク設定値を高くすると，弁棒のバックシート部は常に高い応力がかかった状態となり，配管振動等による疲労が蓄積し，弁棒に疲労割れを起こすことが考えられる。しかしながら，トルク設定値はバックシートが効く程度の力で動作が止まるよう設定されていることから，疲労割れが発生する可能性は小さい。窒素作動弁については，ばね力又は圧縮気体によりバックシートに一定の負荷が加わり続けるものの，設計上バックシートが効く程度の力となるよう設定されていることから過負荷は加わらない。手動弁については開操作時に，弁棒及びバックシート部への過負荷がかからないように全開操作後に若干戻す操作を行っていることから，疲労割れが発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

h. ベローズの疲労割れ [PLR 原子炉水サンプリング第1隔離弁]

ベローズは弁を開閉作動させることにより，疲労割れが想定される。しかしながら，弁の作動頻度が少ないことから疲労割れが発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検及び漏えい試験により設備の健全性を定期的を確認している。

i. 弁箱及び弁ふたの粒界型応力腐食割れ [PLR 原子炉水サンプリング第1隔離弁，SLC 注入管試験タップ第1弁]

弁箱及び弁ふたはステンレス鋼であり，内部流体が 100℃以上の純水又は五ほう酸ナトリウム水（通常待機時は純水）であることから粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら，弁箱及び弁ふたの材料は粒界型応力腐食割れの感受性を低減した材料であり，粒界型応力腐食割れが発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

j. ベローズの粒界型応力腐食割れ [PLR 原子炉水サンプリング第 1 隔離弁]

ベローズはニッケル基合金であり、内部流体が 100℃以上の純水であることから粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検及び漏えい試験により設備の健全性を定期的に確認している。

k. 弁箱及び弁ふた外面の貫粒型応力腐食割れ [計装用空気第 2 隔離弁, SLC 注入管試験タップ第 1 弁]

各弁の弁箱及び弁ふたはステンレス鋼であり、外表面に塩分が付着することに起因する貫粒型応力腐食割れが想定される。しかしながら、計装用空気第 2 隔離弁及び SLC 注入管試験タップ第 1 弁は付着塩分量を維持管理基準以下に管理するため代表ポイントにおける付着塩分量測定を実施している。清掃基準を超えた場合には清掃を計画するとともに、目視点検を実施し、必要に応じて補修又は取替えを行うことで設備の健全性を定期的に確認している。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

表 2.2-1(1/5) 浜岡4号機 CUW 入口管試験タップ第1弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	弁箱		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}					*1:FAC *2:外面 *3:スライト肉盛	
		弁ふた		炭素鋼 ^{*3}		△ ^{*1} △ ^{*2}						
		ジョイントボルト・ナット		低合金鋼		△						
	シール	ガスケット	◎									
		グランドパッキン	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		ステンレス鋼 ^{*3}								
		弁座		炭素鋼 ^{*3}		△ ^{*1}						
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒		ステンレス鋼	△		△					
		ヨーク		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(2/5) 浜岡4号機 RCCW D/W 機器入口管試験タップ弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	弁箱		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}					*1:内面 *2:外面 *3:スライト肉盛	
		弁ふた		炭素鋼 ^{*3}		△ ^{*1} △ ^{*2}						
		ジョイントボルト・ナット		低合金鋼		△						
	シール	ガスケット	◎									
		グランドパッキン	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		ステンレス鋼 ^{*3}								
		弁座		炭素鋼 ^{*3}		△						
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒		ステンレス鋼	△		△					
		ヨーク		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(3/5) 浜岡4号機 計装用空気第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	サブシステム	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	耐圧	弁箱		ステンレス鋼				△ ^{*1*2}			*1:外面 *2:貫粒型応力腐食割れ *3:スライム肉盛	
		弁ふた		ステンレス鋼 ^{*3}				△ ^{*1*2}				
		ジョイントボルト・ナット		低合金鋼		△						
	シール	ガスケット	◎									
		グランドパッキン	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		ステンレス鋼 ^{*3}								
		弁座		ステンレス鋼 ^{*3}								
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒		ステンレス鋼	△		△					
		ヨーク		炭素鋼鋳鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(4/5) 浜岡 4 号機 PLR 原子炉水サンプリング第 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	サブシステム	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	耐圧	弁箱		ステンレス鋼				△*1			*1:粒界型応力腐食割れ *2:スライム肉盛	
		弁ふた		ステンレス鋼*2				△*1				
		ジョイントボルト・ナット		低合金鋼		△						
	シール	ベローズ		ニッケル基合金			△	△*1				
		ガスケット	◎									
		グランドパッキン	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		ステンレス鋼*2								
		弁座		ステンレス鋼*2								
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒		ステンレス鋼	△		△					
		ヨーク		炭素鋼鋳鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(5/5) 浜岡4号機 SLC 注入管試験タッポ第1弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	弁箱		ステンレス鋼				△ ^{*1} △ ^{*2*3}			*1:粒界型応力腐食割れ *2:外面 *3:貫粒型応力腐食割れ *4:スライト肉盛	
		弁ふた		ステンレス鋼 ^{*4}				△ ^{*1} △ ^{*2*3}				
		ジョイントボルト・ナット		低合金鋼		△						
	シール	ガスケット	◎									
		グランドパッキン	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		ステンレス鋼 ^{*4}								
		弁座		ステンレス鋼 ^{*4}								
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒		ステンレス鋼	△		△					
		ヨーク		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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を検討した。

[対象系統]

- | | |
|--------------|------------------|
| ① 主蒸気系 | |
| ② 給水系 | ⑪ 放射性ドレン移送系 |
| ③ 原子炉冷却材再循環系 | ⑫ 濃縮廃液系 |
| ④ 制御棒駆動水圧系 | ⑬ 補給水系 |
| ⑤ ほう酸水注入系 | ⑭ 原子炉機器冷却水系 |
| ⑥ 余熱除去系 | ⑮ 高圧炉心スプレイ機器冷却水系 |
| ⑦ 低圧炉心スプレイ系 | ⑯ サプレッションプール水排水系 |
| ⑧ 高圧炉心スプレイ系 | ⑰ 非常用空調機器冷水系 |
| ⑨ 原子炉冷却材浄化系 | ⑱ 常用空調機器冷水系 |
| ⑩ 燃料プール冷却浄化系 | |

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

代表機器同様、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 弁棒の摩耗 [共通]

代表機器同様、弁棒は、グランドパッキン（黒鉛等）と接触することにより、摩耗が想定される。しかしながら、弁棒はステンレス鋼であり、接触部はグランドパッキン（黒鉛等）よりも硬いことから、摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

b. 弁箱及び弁ふた内面、弁体、弁座の腐食（全面腐食） [冷却水系炭素鋼玉形弁]

冷却水系炭素鋼玉形弁の弁箱、弁ふた、弁体及び弁座は炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であるため、腐食が想定される。しかしながら、内部流体は防錆剤入り冷却水であり、材料表面が不動態に保たれているため、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

c. 弁箱及び弁ふた外面の腐食（全面腐食） [純水系炭素鋼玉形弁, 冷却水系炭素鋼玉形弁,]

弁箱及び弁ふたは炭素鋼、炭素鋼鋳鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

d. ジョイントボルト・ナットの腐食（全面腐食） [共通]

ジョイントボルト・ナットは炭素鋼又は低合金鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

e. 弁箱及び弁ふた内面、弁体、弁座の FAC [純水系炭素鋼玉形弁]

代表機器同様、弁箱、弁ふた、弁体及び弁座は、炭素鋼であり、内部流体が純水であるため、FAC が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

f. ヨークの腐食（全面腐食） [共通]

代表機器同様，ヨークは炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であり，腐食が想定される。しかしながら，屋内空調環境下に設置されており，塗装を施していることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

g. 弁棒の疲労割れ [共通]

代表機器同様，弁棒のバックシート部は常に高い応力がかかった状態では，配管振動等による疲労が蓄積し，疲労割れが想定される。しかしながら，電動弁については，バックシートが効く位置の手前でリミットスイッチが切れ，動作が止まるように設定されているため，弁棒及びバックシート部への過負荷は加わらない。一部の電動弁では，全開位置をトルク切れによって調整しており，トルク設定値を高くすると，弁棒のバックシート部は常に高い応力がかかった状態となり，配管振動等による疲労が蓄積し，弁棒に疲労割れを起こすことが考えられる。しかしながら，トルク設定値はバックシートが効く程度の力で動作が止まるよう設定されていることから，疲労割れが発生する可能性は小さい。空気作動弁及び窒素作動弁については，ばね力又は圧縮気体によりバックシートに一定の負荷が加わり続けるものの，設計上バックシートが効く程度の力となるよう設定されていることから過負荷は加わらない。手動弁については開操作時に，弁棒及びバックシート部への過負荷がかからないように全開操作後に若干戻す操作を行っていることから，疲労割れが発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

h. ベローズの疲労割れ [純水系炭素鋼玉形弁，純水系ステンレス鋼玉形弁，]

代表機器同様，ベローズは弁を開閉作動させることにより，疲労割れが想定される。しかしながら，弁の作動頻度が少ないことから疲労割れが発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検及び漏えい試験により設備の健全性を定期的を確認している。

i. 弁箱及び弁ふたの粒界型応力腐食割れ [純水系ステンレス鋼玉形弁，五ほう酸ナトリウム水系ステンレス鋼玉形弁]

弁箱及び弁ふたはステンレス鋼又はステンレス鋳鋼であり，内部流体が 100℃以上の純水又は五ほう酸ナトリウム水であることから粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら，弁箱及び弁ふたの材料は粒界型応力腐食割れの感受性を低減した材料であり，粒界型応力腐食割れが発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

- j. ベローズの粒界型応力腐食割れ [純水系炭素鋼玉形弁, 純水系ステンレス鋼玉形弁,]
ベローズはニッケル基合金又はステンレス鋼であり, 内部流体が 100℃以上の純水であることから粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら, 分解点検時における目視点検及び漏えい試験により設備の健全性を定期的を確認している。
- k. 弁箱及び弁ふた外面, ヨーク及びジョイントボルト・ナットの貫粒型応力腐食割れ [純水系ステンレス鋼玉形弁, 五ほう酸ナトリウム水系ステンレス鋼玉形弁]
弁箱, 弁ふた, ヨーク及びジョイントボルト・ナットはステンレス鋼又はステンレス鋳鋼であり, 外表面に塩分が付着することに起因する貫粒型応力腐食割れが想定される。しかしながら, 付着塩分量を維持管理基準以下に管理するため代表ポイントにおける付着塩分量測定を実施している。清掃基準を超えた場合には清掃を計画するとともに, 目視点検を実施し, 必要に応じて補修又は取替えを行うことで設備の健全性を定期的を確認している。また, 分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。
- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

以 上

3 逆止弁

[対象系統]

- ① 給水系
- ② 制御棒駆動水压系
- ③ ほう酸水注入系
- ④ 余熱除去系
- ⑤ 低圧炉心スプレイ系
- ⑥ 高圧炉心スプレイ系
- ⑦ 原子炉冷却材浄化系
- ⑧ 燃料プール冷却浄化系
- ⑨ 原子炉機器冷却水系
- ⑩ 高圧炉心スプレイ機器冷却水系
- ⑪ 原子炉機器冷却海水系
- ⑫ 高圧炉心スプレイ機器冷却海水系
- ⑬ 計装用圧縮空気系
- ⑭ サプレッションプール水排水系
- ⑮ 非常用空調機器冷水系

目 次

1.	対象機器及び代表機器の選定	1
1.1	グループ化の考え方及び結果	1
1.2	代表機器の選定	1
2.	代表機器の技術評価	5
2.1	構造, 材料及び使用条件	5
2.1.1	FDW 第1 隔離弁	5
2.1.2	RCCW ポンプ出口逆止弁	8
2.1.3	計装用空気第1 隔離弁	11
2.1.4	FPC, RHR 戻り管逆止弁	14
2.1.5	SLC 注入第1 隔離弁	17
2.1.6	RCWS ポンプ出口逆止弁	20
2.2	経年劣化事象の抽出	23
2.2.1	機器の機能達成に必要な項目	23
2.2.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	23
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	24
2.3	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	33
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. 対象機器及び代表機器の選定

逆止弁の主な仕様を表 1-1 に示す。

これらの逆止弁をグループ化し、それぞれのグループより代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

弁箱材料，内部流体を分類基準とし，逆止弁を表 1-1 に示すとおりグループ化する。

1.2 代表機器の選定

表 1-1 に分類したグループ毎に，原則として重要度，使用状態，最高使用温度，最高使用圧力及び口径の観点から代表機器を選定する。

(1) 純水系炭素鋼逆止弁(内部流体：純水，弁箱材質：炭素鋼)

純水系ラインに使用されている炭素鋼逆止弁のうち，重要度，使用状態の観点から FDW 第 1 隔離弁を代表機器とする。

(H4-B21-V-F052A/B, 500A)

(2) 冷却水系炭素鋼逆止弁(内部流体：冷却水(防錆剤入り)，弁箱材質：炭素鋼)

冷却水系ラインに使用されている炭素鋼逆止弁のうち，重要度，最高使用温度，口径の観点から RCCW ポンプ出口逆止弁を代表機器とする。

(H4-P21-V-F001A-1/A-2/A-3/B-1/B-2/B-3, 450A)

(3) ガス系ステンレス鋼逆止弁(内部流体：ガス，弁箱材質：ステンレス鋼)

ガス系ラインに使用されているステンレス鋼逆止弁は，計装用空気第 1 隔離弁のみが属するため，計装用空気第 1 隔離弁を代表機器とする。

(H4-P61-V-F214, 50A)

(4) 純水系ステンレス鋼逆止弁(内部流体：純水，弁箱材質：ステンレス鋼)

純水系ラインに使用されているステンレス鋼逆止弁のうち，重要度，口径の観点から FPC, RHR 戻り管逆止弁を代表機器とする。

(H4-G21-V-F028, 200A)

(5) 五ほう酸ナトリウム水系ステンレス鋼逆止弁(内部流体：五ほう酸ナトリウム水，弁箱材質：ステンレス鋼)

五ほう酸ナトリウム水系ラインに使用されているステンレス鋼逆止弁は，重要度，使用状態，最高使用温度，最高使用圧力，口径が同等であるため，設置環境を踏まえて SLC 注入第 1 隔離弁を代表機器とする。

(H4-C41-V-F008, 40A)

(6) 海水系ステンレス鋼逆止弁(内部流体：海水，弁箱材質：ステンレス鋼)

海水系ラインに使用されているステンレス鋼逆止弁のうち，口径の観点から RCWS ポンプ
出口逆止弁を代表機器とする。

(H4-P41-V-F001A-1/A-2/B-1/B-2, 600A)

表 1-1 (1/2) 浜岡 4 号機 逆止弁のグループ化及び代表機器の選定

分類基準		系統名称	選定基準					代表選定	代表機器	選定理由
弁箱材料	流体		重要度*1	使用条件						
				使用状態	最高使用温度(°C)	最高使用圧力	口径(A)			
炭素鋼	純水	給水系	PS-1, MS-1	連続	302	8.62 MPa	500	◎	FDW 第 1 隔離弁 (302°C, 8.62MPa, 500A) H4-B21-V-F052A/B	重要度 使用状態
		余熱除去系	PS-1, MS-1	連続 (短期)*2	100~302	3.73~10.40 MPa	100~500			
		低圧炉心スプレイ系	PS-1, MS-1	待機	100~302	4.41~8.62 MPa	100~400			
		高圧炉心スプレイ系	PS-1, MS-1	待機	100~302	1.57~10.79 MPa	300~600			
		原子炉冷却材浄化系	PS-2	連続	66~302	10.20 MPa	50~200			
		サプレッションプール水排水系	高*3	待機	104	1.57 MPa	200			
	冷却水*4	原子炉機器冷却水系	MS-1	連続	70	1.37 MPa	450	◎	RCCW ポンプ出口逆止弁 (70°C, 1.37MPa, 450A) H4-P21-V-F001A-1/A-2/ A-3/B-1/B-2/B-3	重要度 最高使用温度 口径
		高圧炉心スプレイ機器冷却水系	MS-1	連続	70	1.37 MPa	200~300			
		非常用空調機器冷却水系	MS-1	連続	66	1.08 MPa	150			

*1：最上位の重要度を示す

*2：除熱時（安定停止状態の維持含む。）は連続

*3：最高使用温度が 95°C を超え、又は最高使用圧力が 1,900 kPa を超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス 3 の機器

*4：冷却水（防錆剤入り）を示す

表 1-1 (2/2) 浜岡 4 号機 逆止弁のグループ化及び代表機器の選定

分類基準		系統名称	選定基準					代表選定	代表機器	選定理由
弁箱材料	流体		重要度*1	使用条件						
				使用状態	最高使用温度(°C)	最高使用圧力	口径(A)			
ステンレス鋼	ガス	計装用圧縮空気系	MS-1	連続	171	0.86MPa	50	◎	計装用空気第 1 隔離弁 (171°C, 0.86MPa, 50A) H4-P61-V-F214	
	純水	制御棒駆動水圧系	高*2	連続	66	13.83 MPa	40~50		FPC, RHR 戻り管逆止弁 (66°C, 1.57 MPa, 200A) H4-G21-V-F028	重要度 口径
		原子炉冷却材浄化系	高*2	連続	66	10.20 MPa	20			
		燃料プール冷却浄化系	MS-2	連続	66	1.57 MPa	150~200	◎		
	五ほう酸 ナトリウム水	ほう酸水注入系	MS-1	待機	302	8.62 MPa	40	◎	SLC 注入第 1 隔離弁 (302°C, 8.62MPa, 40A) H4-C41-V-F008	設置環境
	海水	原子炉機器冷却海水系	MS-1	連続	50	0.59 MPa	600	◎	RCWS ポンプ出口逆止弁 (50°C, 0.59MPa, 600A) H4-P41-V-F001A-1/A-2/ B-1/B-2	口径
高圧炉心スプレイ機器 冷却海水系		MS-1	連続	50	0.59 MPa	300				

*1：最上位の重要度を示す

*2：最高使用温度が 95°C を超え、又は最高使用圧力が 1,900 kPa 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弁について技術評価を実施する。

- ① FDW 第1 隔離弁
- ② RCCW ポンプ出口逆止弁
- ③ 計装用空気第1 隔離弁
- ④ FPC, RHR 戻り管逆止弁
- ⑤ SLC 注入第1 隔離弁
- ⑥ RCWS ポンプ出口逆止弁

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 FDW 第1 隔離弁

(1) 構造

FDW 第1 隔離弁は、口径が 500A, 圧力クラス 900Lb のスイング型逆止弁で、2 台設置されている。

弁本体は、純水を内包する耐圧部（弁箱, 弁ふた, ジョイントボルト・ナット, 軸封部）, 純水を仕切る隔離部（弁体, 弁座）及び弁体を支持し駆動力を伝達する駆動力伝達部（アーム, 弁棒）からなる。

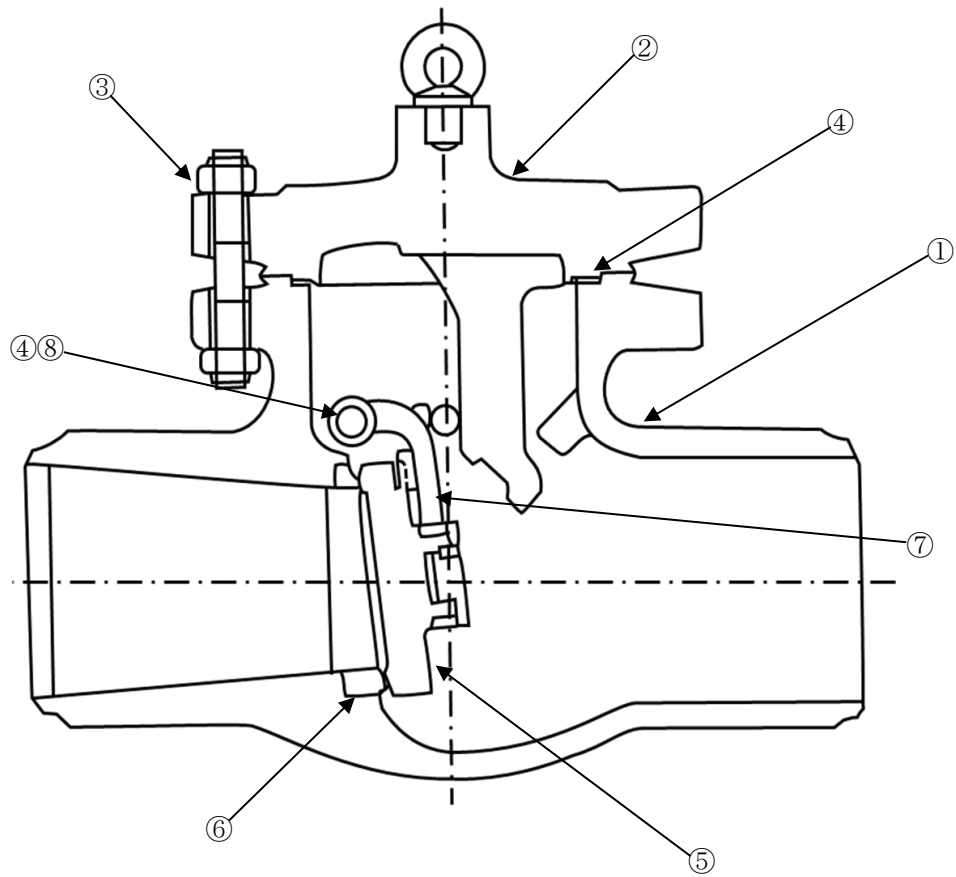
純水に接する弁箱, 弁ふた, 弁体及びアームは炭素鋼鋳鋼, 弁座は炭素鋼で製作されており, 弁棒軸封部及び弁ふた部には流体の漏れを防止するためガスケットが使用されている。

なお, 当該弁については, ジョイントボルト・ナットを取外し, 弁ふたを開放することにより, 弁内部の点検手入れが可能である。

FDW 第1 隔離弁の構造図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

FDW 第1 隔離弁主要部位の使用材料を表 2.1-1 に, 使用条件を表 2.1-2 に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁ふた
③	ジョイントボルト・ナット
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	弁座
⑦	アーム
⑧	弁棒

図 2.1-1 浜岡 4 号機 FDW 第 1 隔離弁構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 FDW 第 1 隔離弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	炭素鋼鋳鋼
		弁ふた	炭素鋼鋳鋼
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼
	シール	ガスケット	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	弁体	炭素鋼鋳鋼(13Cr 肉盛)
		弁座	炭素鋼(13Cr 肉盛)
作動機能の維持	駆動力伝達	アーム	炭素鋼鋳鋼
		弁棒	ステンレス鋼

表 2.1-2 浜岡 4 号機 FDW 第 1 隔離弁の使用条件

最高使用圧力	8.62 MPa
最高使用温度	302 °C
流体	純水

2.1.2 RCCW ポンプ出口逆止弁

(1) 構造

RCCW ポンプ出口逆止弁は、口径 450A、圧力クラス 150Lb のスイング型逆止弁で、6 台設置されている。

弁本体は冷却水（防錆剤入り）を内包する耐圧部（弁箱、弁ふた、ジョイントボルト・ナット、軸封部）、冷却水を仕切る隔離部（弁体、弁座）及び弁体を支持し駆動力を伝達する駆動力伝達部（アーム、弁棒）からなる。

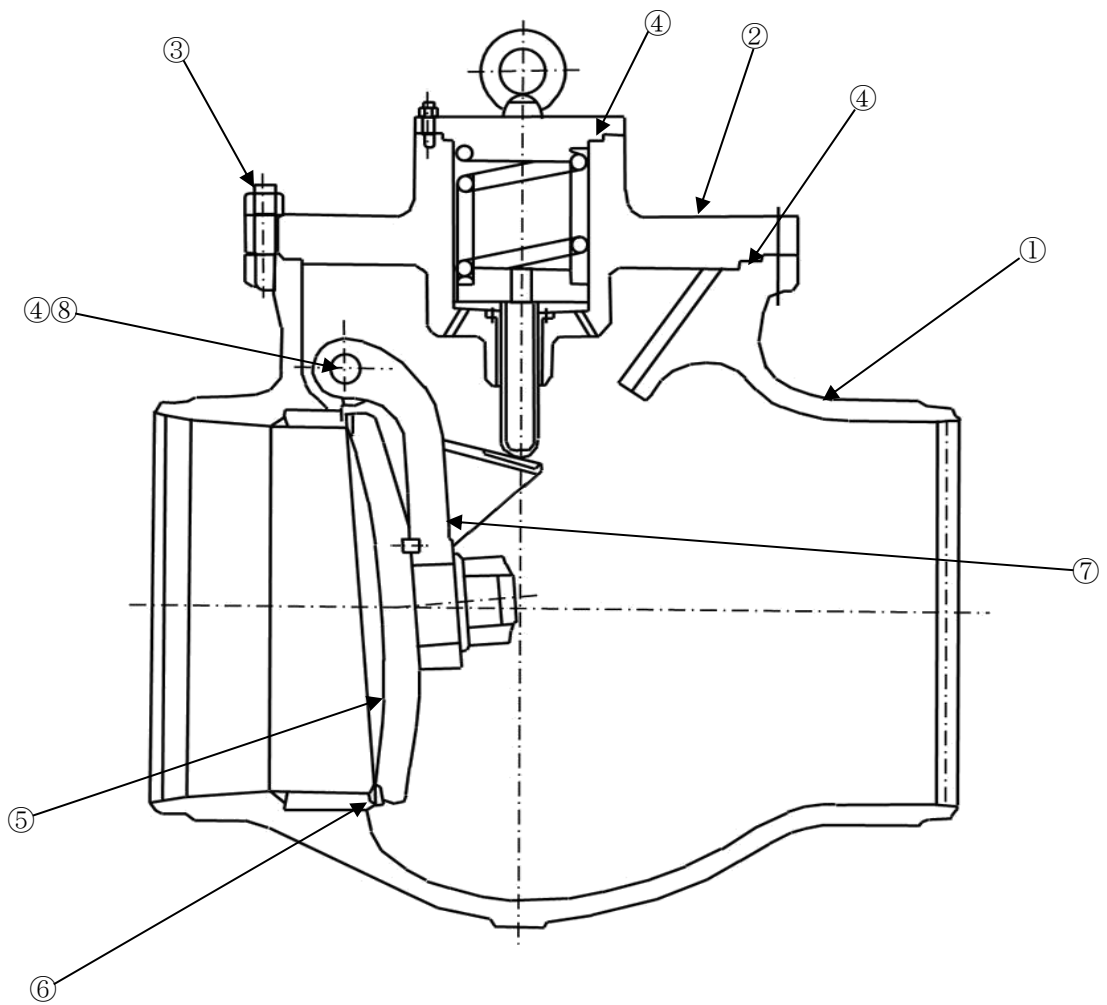
冷却水（防錆剤入り）に接する弁箱は炭素鋼鋳鋼、弁ふた、弁体、弁座及びアームは炭素鋼で製作されており、弁棒軸封部、弁ふた部及びバネふた部には流体の漏れを防止するためガスケットが使用されている。

なお、当該弁については、ジョイントボルト・ナットを取外し、弁ふたを開放することにより、弁内部の点検手入れが可能である。

RCCW ポンプ出口逆止弁の構造図を図 2.1-2 に示す。

(2) 材料及び使用条件

RCCW ポンプ出口逆止弁主要部位の使用材料を表 2.1-3 に、使用条件を表 2.1-4 に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁ふた
③	ジョイントボルト・ナット
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	弁座
⑦	アーム
⑧	弁棒

図 2.1-2 浜岡 4 号機 RCCW ポンプ出口逆止弁構造図

表 2.1-3 浜岡 4 号機 RCCW ポンプ出口逆止弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	炭素鋼鋳鋼
		弁ふた	炭素鋼
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼
	シール	ガスケット	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	弁体	炭素鋼(ステライト肉盛)
		弁座	炭素鋼(ステライト肉盛)
作動機能の維持	駆動力伝達	アーム	炭素鋼(ステライト肉盛)
		弁棒	ステンレス鋼

表 2.1-4 浜岡 4 号機 RCCW ポンプ出口逆止弁の使用条件

最高使用圧力	1.37 MPa
最高使用温度	70 °C
流体	冷却水 (防錆剤入り)

2.1.3 計装用空気第1隔離弁

(1) 構造

計装用空気第1隔離弁は、口径50A、圧力クラス300Lbのスイング型逆止弁で、1台設置されている。

弁本体は、ガス（空気）を内包する耐圧部（弁箱、弁ふた、ジョイントボルト・ナット、軸封部）、ガスを仕切る隔離部（弁体、弁座）及び弁体を支持し駆動力を伝達する駆動力伝達部（アーム、弁棒）からなる。

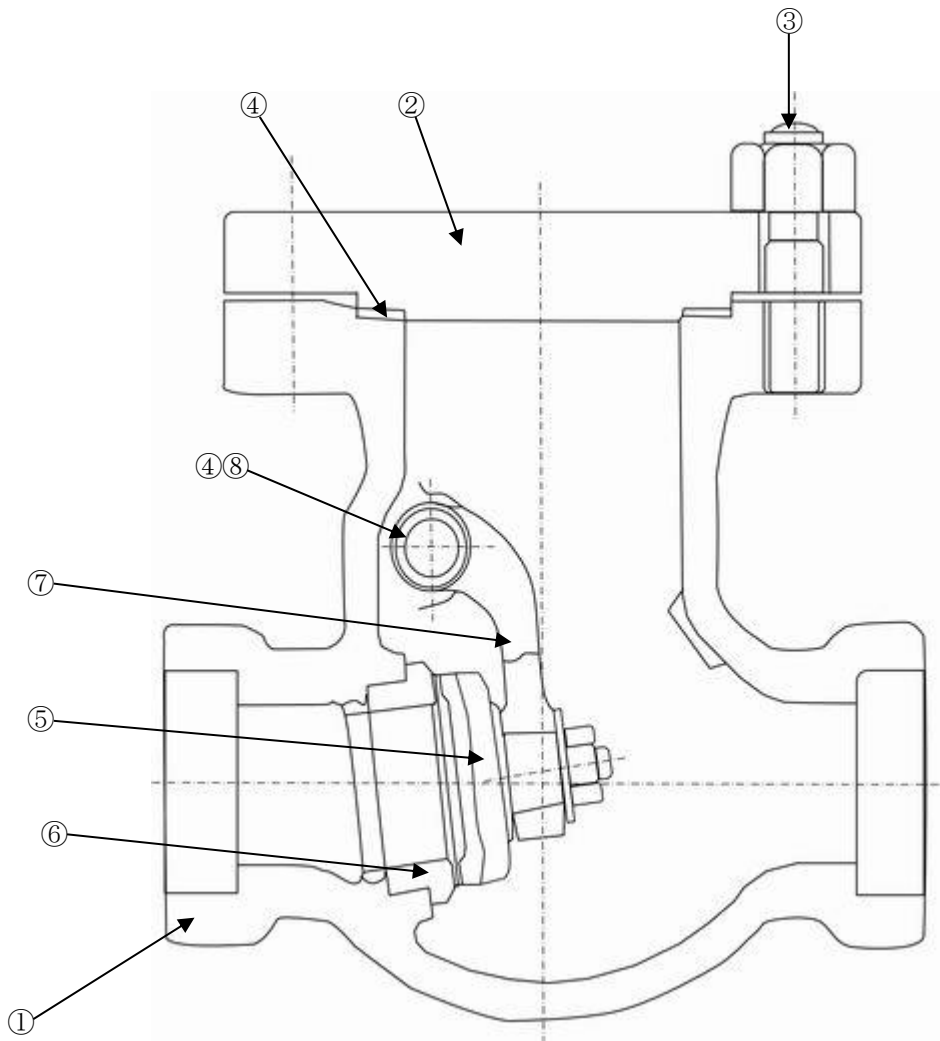
ガスに接する弁箱、アームはステンレス鋳鋼、弁ふた、弁体、弁座はステンレス鋼で製作されており、弁棒軸封部及び弁ふた部には流体の漏れを防止するためガスケットが使用されている。

なお、当該弁については、ジョイントボルト・ナットを取外し、弁ふたを開放することにより、弁内部の点検手入れが可能である。

計装用空気第1隔離弁の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料及び使用条件

計装用空気第1隔離弁主要部位の使用材料を表2.1-5に、使用条件を表2.1-6に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁ふた
③	ジョイントボルト・ナット
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	弁座
⑦	アーム
⑧	弁棒

図 2.1-3 浜岡 4 号機 計装用空気第 1 隔離弁構造図

表 2.1-5 浜岡 4 号機 計装用空気第 1 隔離弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	ステンレス鋳鋼
		弁ふた	ステンレス鋼
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼
	シール	ガスケット	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	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)
作動機能の維持	駆動力伝達	アーム	ステンレス鋳鋼
		弁棒	ステンレス鋼

表 2.1-6 浜岡 4 号機 計装用空気第 1 隔離弁の使用条件

最高使用圧力	0.86MPa
最高使用温度	171℃
流体	ガス (空気)

2.1.4 FPC, RHR 戻り管逆止弁

(1) 構造

FPC, RHR 戻り管逆止弁は、口径 200A、圧力クラス 150Lb のスイング型逆止弁で、1 台設置されている。

弁本体は、純水を内包する耐圧部（弁箱、弁ふた、ジョイントボルト・ナット）、純水を仕切る隔離部（弁体、弁座）及び弁体を支持し駆動力を伝達する駆動力伝達部（アーム、弁棒）からなる。

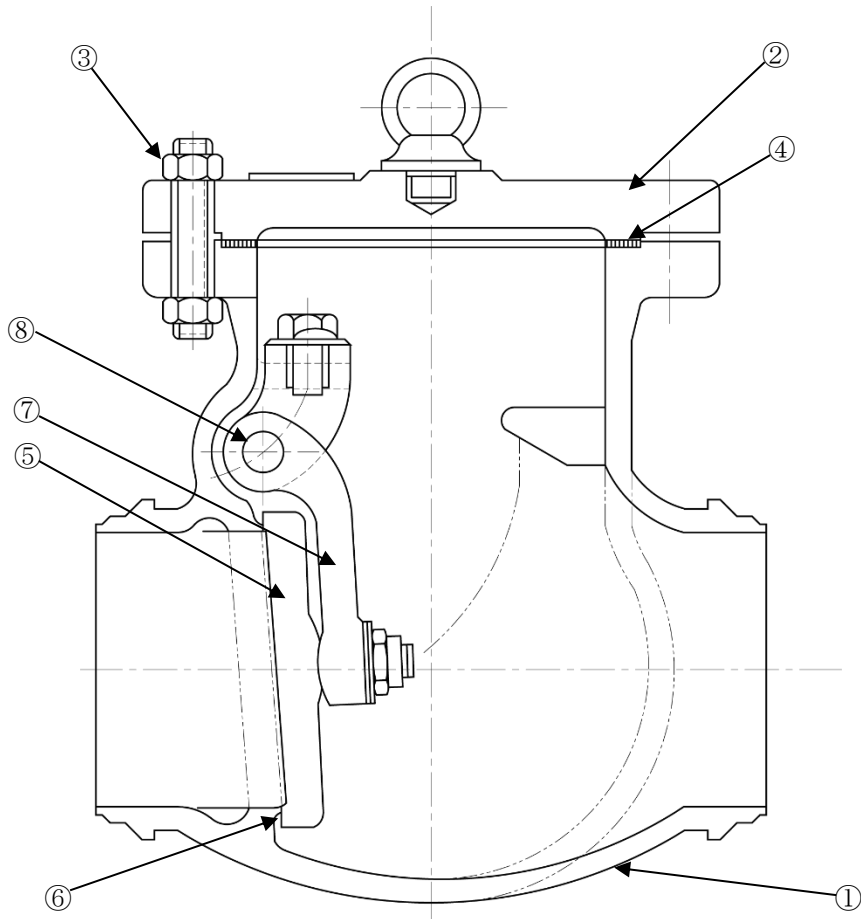
純水に接する弁箱、弁ふた、弁体及び弁座はステンレス鋳鋼で製作されているおり、弁ふた部には流体の漏れを防止するためガスケットが使用されている。

なお、当該弁については、ジョイントボルト・ナットを取外し、弁ふたを開放することにより、弁内部の点検手入れが可能である。

FPC, RHR 戻り管逆止弁の構造図を図 2.1-4 に示す。

(2) 材料及び使用条件

FPC, RHR 戻り管逆止弁主要部位の使用材料を表 2.1-7 に、使用条件を表 2.1-8 に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁ふた
③	ジョイントボルト・ナット
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	弁座
⑦	アーム
⑧	弁棒

図 2.1-4 浜岡 4 号機 FPC, RHR 戻り管逆止弁構造図

表 2.1-7 浜岡 4 号機 FPC, RHR 戻り管逆止弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	ステンレス鋳鋼
		弁ふた	ステンレス鋳鋼
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼, 炭素鋼
	シール	ガスケット	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	弁体	ステンレス鋳鋼(ステライト肉盛)
		弁座	ステンレス鋳鋼(ステライト肉盛)
作動機能の維持	駆動力伝達	アーム	ステンレス鋳鋼
		弁棒	ステンレス鋼

表 2.1-8 浜岡 4 号機 FPC, RHR 戻り管逆止弁の使用条件

最高使用圧力	1.57 MPa
最高使用温度	66 °C
流体	純水

2.1.5 SLC 注入第 1 隔離弁

(1) 構造

SLC 注入第 1 隔離弁は、口径 40A、圧力クラス 900Lb のスイング型逆止弁で、1 台設置されている。

弁本体は、五ほう酸ナトリウム水を内包する耐圧部（弁箱、弁ふた、ジョイントボルト・ナット、軸封部）、五ほう酸ナトリウム水を仕切る隔離部（弁体、弁座）及び弁体を支持し駆動力を伝達する駆動力伝達部（アーム、弁棒）からなる。

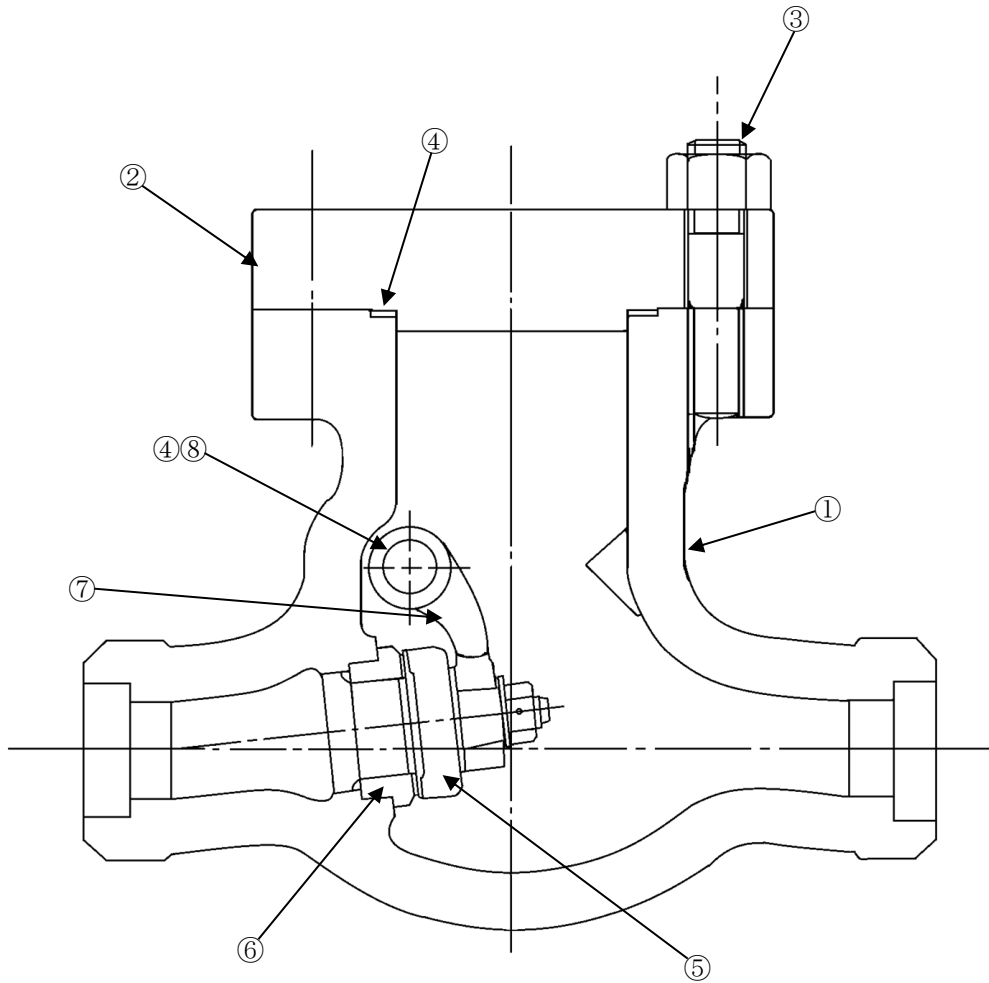
五ほう酸ナトリウム水に接する弁箱及びアームはステンレス鋳鋼、弁ふた、弁体及び弁座はステンレス鋼で製作されており、弁棒軸封部及び弁ふた部には流体の漏れを防止するためガスケットが使用されている。

なお、当該弁については、ジョイントボルト・ナットを取外し、弁ふたを開放することにより、弁内部の点検手入れが可能である。

SLC 注入第 1 隔離弁の構造図を図 2.1-5 に示す。

(2) 材料及び使用条件

SLC 注入第 1 隔離弁主要部位の使用材料を表 2.1-9 に、使用条件を表 2.1-10 に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁ふた
③	ジョイントボルト・ナット
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	弁座
⑦	アーム
⑧	弁棒

図 2.1-5 浜岡 4 号機 SLC 注入第 1 隔離弁構造図

表 2.1-9 浜岡 4 号機 SLC 注入第 1 隔離弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	ステンレス鋳鋼
		弁ふた	ステンレス鋼
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼
	シール	ガスケット	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	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)
作動機能の維持	駆動力伝達	アーム	ステンレス鋳鋼
		弁棒	ステンレス鋼

表 2.1-10 浜岡 4 号機 SLC 注入第 1 隔離弁の使用条件

最高使用圧力	8.62 MPa
最高使用温度	302 °C
流体	五ほう酸ナトリウム水

2.1.6 RCWS ポンプ出口逆止弁

(1) 構造

RCWS ポンプ出口逆止弁は、口径 600A、圧力クラス 150Lb のスイング型逆止弁で、4 台設置されている。

弁本体は、海水を内包する耐圧部（弁箱、弁ふた、ジョイントボルト・ナット、軸封部）、海水を仕切る隔離部（弁体、弁座）及び弁体を支持し駆動力を伝達する駆動力伝達部（アーム、弁棒）からなる。

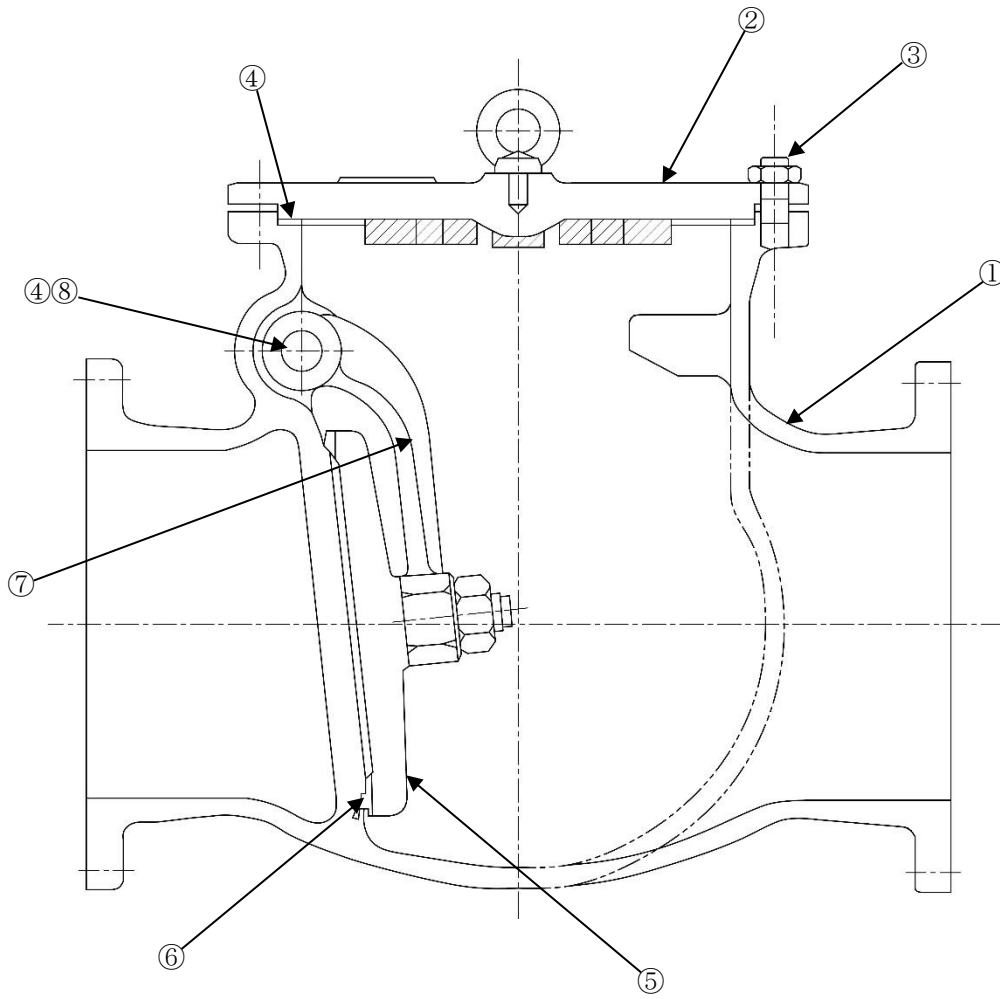
海水に接する弁箱、弁ふた、弁体、弁座及びアームはステンレス鋳鋼で製作されており、弁棒軸封部及び弁ふた部には流体の漏れを防止するためガスケットが使用されている。

なお、当該弁については、ジョイントボルト・ナットを取外し、弁ふたを開放することにより、弁内部の点検手入れが可能である。

RCWS ポンプ出口逆止弁の構造図を図 2.1-6 に示す。

(2) 材料及び使用条件

RCWS ポンプ出口逆止弁主要部位の使用材料を表 2.1-11 に、使用条件を表 2.1-12 に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁ふた
③	ジョイントボルト・ナット
④	ガスケット
⑤	弁体
⑥	弁座
⑦	アーム
⑧	弁棒

図 2.1-6 浜岡 4 号機 RCWS ポンプ出口逆止弁構造図

表 2.1-11 浜岡 4 号機 RCWS ポンプ出口逆止弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	ステンレス鋳鋼
		弁ふた	ステンレス鋳鋼
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼, 炭素鋼
	シール	ガスケット	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	弁体	ステンレス鋳鋼(ステライト肉盛)
		弁座	ステンレス鋳鋼(ステライト肉盛)
作動機能の維持	駆動力伝達	アーム	ステンレス鋳鋼
		弁棒	ステンレス鋼

表 2.1-12 浜岡 4 号機 RCWS ポンプ出口逆止弁の使用条件

最高使用圧力	0.59MPa
最高使用温度	50℃
流体	海水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

逆止弁の機能である逆流防止機能の達成に必要な項目は以下のとおり。

- ①バウンダリの維持
- ②隔離機能の維持
- 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

(1) 想定される経年劣化事象

逆止弁について、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、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表 2.2-1 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

なお、消耗品及び定期取替品は次項のとおり評価対象外とする。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

ガスケットは消耗品であり、設計時に長期使用せず取替えを前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

- ①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）
- 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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として以下の事象を抽出した（表 2.2-1 で○）。

a. 弁箱の疲労割れ [FDW 第 1 隔離弁]

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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(表 2.2-1 で△)。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. アーム及び弁体連結部の摩耗 [共通]

スイング型の逆止弁では、弁体背面に不安定な流れが生じると、弁体に不安定力が作用し、アームと弁体連結部を固定しているナットがゆるむことにより、摩耗が想定される。しかしながら、アームと弁体の連結部を固定しているナットは廻り止め又は溶接を実施していることから摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

b. アーム及び弁棒連結部の摩耗 [共通]

スイング型の逆止弁では、弁体背面に不安定な流れが生じると、弁体に不安定力が作用し、アームと弁棒連結部の摺動により、摩耗が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

c. 弁箱及び弁ふた外面の腐食（全面腐食） [FDW 第1 隔離弁]

弁箱及び弁ふたは炭素鋼鋳鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置され塗装が施されていることから腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

d. 弁箱、弁ふた、弁体、弁座及びアームの腐食（全面腐食） [RCCW ポンプ出口逆止弁]

弁箱、弁ふた、弁体、弁座及びアームは、炭素鋼鋳鋼又は炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、内面は内部流体が防錆剤入り冷却水であり、材料表面が不動態に保たれていること、外面は屋内空調環境下に設置され塗装が施されていることから腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

e. ジョイントボルト・ナットの腐食（全面腐食） [FDW 第1 隔離弁, RCCW ポンプ出口逆止弁, 計装用空気第1 隔離弁, FPC, RHR 戻り管逆止弁, SLC 注入第1 隔離弁]

ジョイントボルト・ナットは炭素鋼又は低合金鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されていることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

f. ジョイントボルト・ナットの腐食（全面腐食） [RCWS ポンプ出口逆止弁]

ジョイントボルト・ナットは炭素鋼又は低合金鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、外面については腐食防止用のキャップが施されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

g. 弁箱及び弁ふた内面、弁体、弁座及びアームの腐食（流れ加速型腐食(以下、「FAC」という。)) [FDW 第1 隔離弁]

弁箱、弁ふた、弁体、弁座及びアームは炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であり、内部流体が純水であるため、FAC が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

h. 弁箱及び弁ふた内面、弁体、弁座、アーム及び弁棒の腐食(孔食・隙間腐食) [RCWS ポンプ出口逆止弁]

弁箱、弁ふた、弁体、弁座、アーム及び弁棒はステンレス鋼又はステンレス鋳鋼であり、内部流体が海水であるため、腐食が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認し、必要に応じて補修又は取替えを行っている。

i. 弁ふたの粒界型応力腐食割れ [SLC 注入第1 隔離弁]

弁ふたはステンレス鋼であり、内部流体が 100°C以上であることから粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら、弁ふたは粒界型応力腐食割れの感受性を低減した材料であることから、粒界型応力腐食割れが発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

j. 弁箱及び弁ふた外面の貫粒型応力腐食割れ [RCWS ポンプ出口逆止弁]

弁箱及び弁ふたはステンレス鋳鋼であり、屋外に設置されていることから、塩分が付着することに起因する貫粒型応力腐食割れが想定される。しかしながら、防食塗装により塩分付着を防止しており、貫粒型応力腐食割れが発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

k. 弁箱の熱時効 [SLC 注入第 1 隔離弁]

弁箱はステンレス鋳鋼であり、高温の五ほう酸ナトリウム水（通常待機時は純水）中にあるため、熱時効による材料の靱性低下が想定される。この状態でき裂が存在する場合には小さな荷重でき裂が進展し、不安定破壊を引起す可能性がある。しかしながら、「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」（平成 9 年 3 月 財団法人発電設備技術検査協会）においては、BWR の炉水温度（約 280℃）における熱時効による材料への影響は大きくないとしている。また、当該部位に、疲労割れ等のき裂が想定される経年劣化事象が想定されないため、熱時効を起因とする不安定破壊が発生する可能性は小さい。さらに、分解点検時における目視点検や浸透探傷試験により設備の健全性を定期的に確認している。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

表 2.2-1(1/6) 浜岡 4 号機 FDW 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	サブシステム	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	耐圧	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}	○				*1:FAC *2:外面 *3:13Cr 肉盛 *4:連結部	
		弁ふた		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
		ジョイントボルト・ナット		低合金鋼		△						
	シール	ガスケット	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		炭素鋼鋳鋼 ^{*3}	△ ^{*4}	△ ^{*1}						
		弁座		炭素鋼 ^{*3}		△ ^{*1}						
作動機能の維持	駆動力伝達	アーム		炭素鋼鋳鋼	△ ^{*4}	△ ^{*1}						
		弁棒		ステンレス鋼	△ ^{*4}							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象(日常劣化管理事象)

表 2.2-1(2/6) 浜岡4号機 RCCW 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	サブシステム	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	耐圧	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}					*1:内面 *2:外面 *3:スライト肉盛 *4:連結部	
		弁ふた		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
		ジョイント ボルト・ナット		低合金鋼		△						
	シール	ガスケット	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		炭素鋼 ^{*3}	△ ^{*4}	△						
		弁座		炭素鋼 ^{*3}		△						
作動機能の維持	駆動力伝達	アーム		炭素鋼 ^{*3}	△ ^{*4}	△						
		弁棒		ステンレス鋼	△ ^{*4}							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象(日常劣化管理事象)

表 2.2-1(3/6) 浜岡4号機 計装用空気第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	サブシステム	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	耐圧	弁箱		ステンレス鋳鋼							*1:スライト肉盛 *2:連結部	
		弁ふた		ステンレス鋼								
		ジョイントボルト・ナット		低合金鋼		△						
	シール	ガスケット	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		ステンレス鋼 ^{*1}	△ ^{*2}							
		弁座		ステンレス鋼 ^{*1}								
作動機能の維持	駆動力伝達	アーム		ステンレス鋳鋼	△ ^{*2}							
		弁棒		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(4/6) 浜岡4号機 FPC, RHR 戻り管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	サブシステム	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	耐圧	弁箱		ステンレス鋳鋼							*1:スライム肉盛 *2:連結部	
		弁ふた		ステンレス鋳鋼								
		ジョイントボルト・ナット		低合金鋼, 炭素鋼		△						
	シール	ガスケット	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		ステンレス鋳鋼*1	△*2							
		弁座		ステンレス鋳鋼*1								
作動機能の維持	駆動力伝達	アーム		ステンレス鋳鋼	△*2							
		弁棒		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(5/6) 浜岡4号機 SLC 注入第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	サブシステム	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	耐圧	弁箱		ステンレス鋳鋼					△		*1:粒界型応力腐食割れ *2:スライム肉盛 *3:連結部	
		弁ふた		ステンレス鋼				△ ^{*1}				
		ジョイントボルト・ナット		低合金鋼		△						
	シール	ガスケット	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		ステンレス鋼 ^{*2}	△ ^{*3}							
		弁座		ステンレス鋼 ^{*2}								
作動機能の維持	駆動力伝達	アーム		ステンレス鋳鋼	△ ^{*3}							
		弁棒		ステンレス鋼	△ ^{*3}							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象(日常劣化管理事象)

表 2.2-1(6/6) 浜岡4号機 RCWS 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	サブシステム	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	耐圧	弁箱		ステンレス鋳鋼		△ ^{*1}		△ ^{*2*3}			*1:孔食・隙間腐食 *2:外面 *3:貫粒型応力腐食割れ *4:スライム肉盛 *5:連結部	
		弁ふた		ステンレス鋳鋼		△ ^{*1}		△ ^{*2*3}				
		ジョイントボルト・ナット		低合金鋼, 炭素鋼		△						
	シール	ガスケット	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		ステンレス鋳鋼 ^{*4}	△ ^{*5}	△ ^{*1}						
		弁座		ステンレス鋳鋼 ^{*4}		△ ^{*1}						
作動機能の維持	駆動力伝達	アーム		ステンレス鋳鋼	△ ^{*5}	△ ^{*1}						
		弁棒		ステンレス鋼	△ ^{*5}	△ ^{*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)

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

(1) 弁箱の疲労割れ [FDW 第1 隔離弁]

a. 事象の説明

FDW 第1 隔離弁の弁箱は、プラントの起動・停止時等に熱過渡を受けることになるため、繰返しにより熱疲労が蓄積されて、疲労割れが発生する可能性があり、経年劣化に対する評価が必要である。

b. 技術評価

①健全性評価

FDW 第1 隔離弁の弁箱について、疲労割れの評価を実施した。

疲労評価は、運転実績に基づいた現時点（2020 年度末）の過渡回数を用いて日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版）」（2007 年追補版を含む。）（JSME S NCI-2005/2007）（以下、「設計・建設規格」という。）に基づき実施した。評価部位を図 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「発電用原子力設備規格 環境疲労評価手法」（JSME S NF1-2009）（以下、「環境疲労評価手法」という。）に基づき評価を実施した。評価用過渡条件を表 2.3-1 に、評価結果を表 2.3-2 に示す。

この結果、表 2.3-2 に示すとおり、疲れ累積係数は 2020 年度末時点では許容値以下であり、安定停止状態においては、有意な熱過渡事象は発生しないため、運転開始後 40 年時点までは疲労割れが発生する可能性はないと判断する。

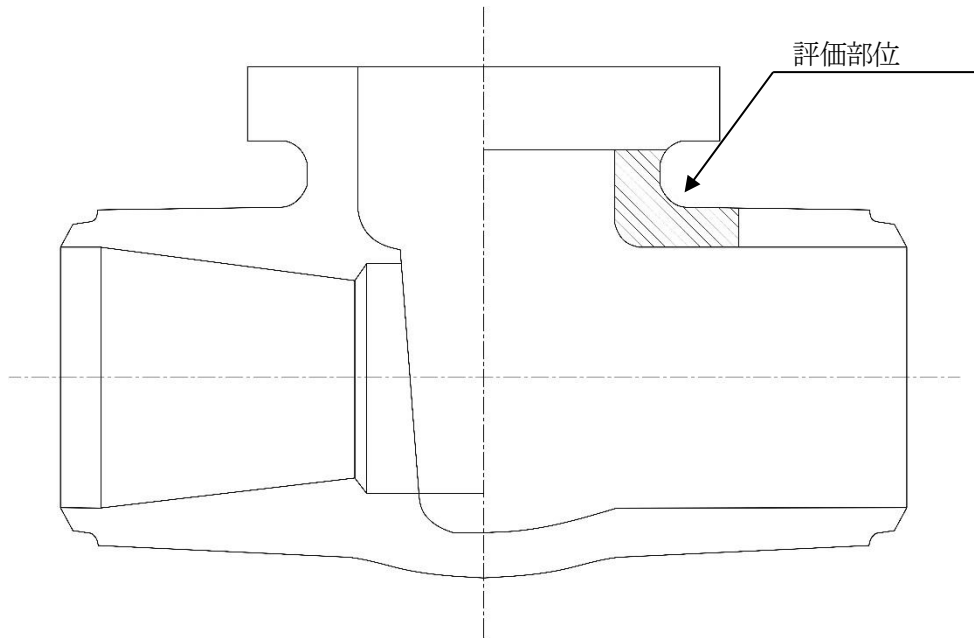


図 2.3-1 浜岡 4 号機 FDW 第 1 隔離弁疲労評価部位

表 2.3-1 浜岡 4 号機 FDW 第 1 隔離弁の疲労評価用過渡条件

運転条件	運転実績に基づく過渡回数 (2020 年度末時点)
ボルト締付	16
耐圧試験(最高使用圧力以下)	45
起動(昇温)	34
起動(タービン起動)	31
夜間低出力運転(出力 75%)	0
週末低出力運転(出力 50%)	3
制御棒パターン変更	116
給水加熱器機能喪失(発電機トリップ)	7
スクラム(タービントリップ)	4
スクラム(原子炉給水ポンプ停止)	0
スクラム(その他)	6
停止	34
ボルト取外	16
逃がし安全弁誤作動	0

表 2.3-2 浜岡 4 号機 FDW 第 1 隔離弁の疲労評価結果

部位	運転実績回数に基づく疲れ累積係数(許容値:1以下)	
	設計・建設規格の 疲労曲線による解析	環境疲労評価 手法による解析
	2020 年度末時点	2020 年度末時点
FDW 第 1 隔離弁	0.02112	0.166

②現状保全

FDW 第1 隔離弁の弁箱は、分解点検時の目視点検により、設備の健全性を定期的に確認している。

③総合評価

健全性評価結果より、FDW 第1 隔離弁の弁箱の疲労割れが発生する可能性はない。また、疲労割れは分解点検時の目視点検にて検知可能であることから、現状保全は点検手法として適切であると判断する。

なお、当面の安定停止状態においては、有意な熱過渡事象は発生しないため、運転開始後 40 年時点までは、疲労割れが発生する可能性はないと判断する。

c. 高経年化への対応

弁箱の疲労割れについては、高経年化対策の観点から現状保全の内容に追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

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を検討した。

[対象系統]

- | | |
|-------------|-------------------|
| ① 給水系 | ⑧ 燃料プール冷却浄化系 |
| ② 制御棒駆動水圧系 | ⑨ 原子炉機器冷却水系 |
| ③ ほう酸水注入系 | ⑩ 高圧炉心スプレイ機器冷却水系 |
| ④ 余熱除去系 | ⑪ 高圧炉心スプレイ機器冷却海水系 |
| ⑤ 低圧炉心スプレイ系 | ⑫ サプレッションプール水排水系 |
| ⑥ 高圧炉心スプレイ系 | ⑬ 非常用空調機器冷水系 |
| ⑦ 原子炉冷却材浄化系 | |

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

a. 弁箱の疲労割れ [FDW 第2 隔離弁]

代表機器同様、FDW 第2 隔離弁については、疲労割れの発生する可能性があるが、弁
構造、使用状態、過渡条件が代表機器である FDW 第1 隔離弁と同様であることから、疲
労割れが発生する可能性はないと判断する。

保全については、代表機器と同様に設備の健全性を定期的を確認している。なお、当
面の安定停止状態においては、有意な熱過渡事象は発生しないため、運転開始後 40 年
時点までは疲労割れが発生する可能性はないと判断する。

したがって、高経年化対策の観点から現状の保全内容に追加すべき項目はないと判断
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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. アーム、弁体連結部の摩耗 [スイング型逆止弁共通]

代表機器同様、スイング型の逆止弁では、弁体背面に不安定な流れが生じると、弁体に不安定力が作用し、アームと弁体連結部を固定しているナットがゆるむことにより、摩耗が想定される。しかしながら、アームと弁体の連結部を固定しているナットは廻り止め又は溶接を実施していることから、摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

b. アームと弁棒連結部の摩耗 [スイング型逆止弁共通]

代表機器同様、スイング型の逆止弁では、弁体背面に不安定な流れが生じると、弁体に不安定力が作用し、アームと弁棒連結部の摺動により、摩耗が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

c. 弁箱及び弁ふた外面の腐食 (全面腐食) [純水系炭素鋼逆止弁]

弁箱及び弁ふたは炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置され塗装が施されていることから腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

d. 弁箱、弁ふた、弁体、弁座及びアームの腐食 (全面腐食) [冷却水系炭素鋼逆止弁]

代表機器同様、弁箱、弁ふた、弁体、弁座及びアームは炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、内面は内部流体が防錆剤入り冷却水であり、材料表面が不動態に保たれていること、外面は屋内空調環境下に設置され塗装が施されていることから腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

e. ジョイントボルト・ナットの腐食（全面腐食） [共通]

代表機器同様，ジョイントボルト・ナットは炭素鋼又は低合金鋼であり，腐食が想定される。しかしながら，屋内設置の弁は屋内空調環境下に設置されていることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

屋外設置の弁は外面について塗装が施されており，腐食が発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

f. 弁箱及び弁ふた内面，弁体，弁座及びアームの FAC [純水系炭素鋼逆止弁]

代表機器同様，弁箱，弁ふた，弁体，弁座及びアームは，炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であり，内部流体が純水であるため，FAC が想定される。しかしながら，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

g. 弁箱及び弁ふた内面，弁体，弁座，アーム及び弁棒の腐食(孔食・隙間腐食) [海水系ステンレス鋼逆止弁]

代表機器同様，弁箱，弁ふた，弁体，弁座，アーム及び弁棒はステンレス鋼又はステンレス鋳鋼であり，内部流体が海水であるため，腐食が想定される。しかしながら，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認し，必要に応じて補修又は取替えを行っている。

h. 弁箱及び弁ふたの粒界型応力腐食割れ [純水系ステンレス鋼逆止弁，五ほう酸ナトリウム水系ステンレス鋼逆止弁]

弁箱及び弁ふたはステンレス鋼であり，内部流体が 100℃以上の純水及び五ほう酸ナトリウム水（通常待機時は純水）であることから粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら，弁箱及び弁ふたは粒界型応力腐食割れの感受性を低減した材料であることから，粒界型応力腐食割れが発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

i. 弁箱及び弁ふた外面の貫粒型応力腐食割れ [ステンレス鋼逆止弁]

弁箱及び弁ふたはステンレス鋼又はステンレス鋳鋼であり，塩分が付着することに起因する貫粒型応力腐食割れが想定される。しかしながら，屋内設置の弁は付着塩分量を維持管理基準以下に管理するため代表ポイントにおける付着塩分量測定を実施している。清掃基準を超えた場合には清掃を計画するとともに，目視点検を実施し，必要に応じて補修又は取替えを行うことで設備の健全性を定期的に確認している

屋外設置の弁は塗装により塩分付着を防止しており，貫粒型応力腐食割れが発生する可能性は小さい。さらに，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

j. 弁体の固着 [純水系炭素鋼逆止弁（リフト型逆止弁），純水ステンレス鋼逆止弁（リフト型逆止弁）]

過去に国外プラントにて，リフト型逆止弁の弁体と弁体摺動部の隙間に腐食生成物が堆積し弁体が固着した事例があり，リフト型逆止弁に弁体の固着が想定される。しかしながら，水質管理を実施していることから有意な腐食生成物が発生するような環境では使用しておらず，弁体の固着が発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

k. 弁箱の熱時効 [五ほう酸ナトリウム水系ステンレス鋼逆止弁]

代表機器同様、弁箱はステンレス鋳鋼であり，高温の五ほう酸ナトリウム水（通常待機時は純水）中にあるため，熱時効による材料の靱性低下が想定される。この状態でき裂が存在する場合には小さな荷重でき裂が進展し，不安定破壊を引起す可能性がある。しかしながら，「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」（平成9年3月 財団法人 発電設備技術検査協会）においては，BWRの炉水温度（約280℃）における熱時効による材料への影響は大きくないとしている。また，当該部位に，疲労割れ等のき裂が想定される経年劣化事象が想定されないため，熱時効を起因とする不安定破壊が発生する可能性は小さい。さらに，分解点検時における目視点検，浸透探傷試験により設備の健全性を定期的に確認している。

1. スプリングのへたり [純水系炭素鋼逆止弁（リフト型逆止弁），純水系ステンレス鋼逆止弁（リフト型逆止弁）]

リフト型逆止弁のスプリングはねじり応力がかかった状態であり，へたりが想定される。しかしながら，スプリング使用時のねじり応力が許容ねじり応力以下になるように設定されており，さらに，スプリングの材料に対する推奨使用最高温度よりも実際の使用温度は低いことから，へたりが進行する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

以上

4 バタフライ弁

[対象系統]

- ① 原子炉機器冷却水系
- ② 高圧炉心スプレイ機器冷却水系
- ③ 原子炉機器冷却海水系
- ④ 高圧炉心スプレイ機器冷却海水系
- ⑤ 非常用ガス処理系

目 次

1.	対象機器及び代表機器の選定	1
1.1	グループ化の考え方及び結果	1
1.2	代表機器の選定	1
2.	代表機器の技術評価	3
2.1	構造, 材料及び使用条件	3
2.1.1	SGTS フィルタユニット出口弁.....	3
2.1.2	RCCW 温度調整弁前弁.....	6
2.1.3	RCWS ポンプ出口弁	9
2.2	経年劣化事象の抽出	12
2.2.1	機器の機能達成に必要な項目	12
2.2.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	12
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	13
3.	代表機器以外への展開	18
3.1	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	18
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	19

1. 対象機器及び代表機器の選定

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グループ化し、それぞれのグループより代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

弁箱材料、内部流体を分類基準とし、バタフライ弁を表 1-1 に示すとおりグループ化する。

1.2 代表機器の選定

表 1-1 に分類したグループ毎に、原則として重要度、使用状態、最高使用温度、最高使用圧力及び口径の観点から代表機器を選定する。

(1) ガス系炭素鋼バタフライ弁（内部流体：ガス、弁箱材質：炭素鋼）

ガス系ラインに使用されている炭素鋼バタフライ弁のうち、最高使用温度の観点から SGTS フィルタユニット出口弁を代表機器とする。

(H4-T22-M0-F003A/B, 300A)

(2) 冷却水系炭素鋼バタフライ弁（内部流体：冷却水、弁箱材質：炭素鋼）

冷却水系ラインに使用されている炭素鋼バタフライ弁のうち、口径の観点から RCCW 温度調整弁前弁を代表機器とする。

(H4-P21-V-F005A/B, 700A)

(3) 海水系炭素鋼バタフライ弁（内部流体：海水、弁箱材質：炭素鋼）

海水系ラインに使用されている炭素鋼バタフライ弁のうち、口径の観点から RCWS ポンプ出口弁を代表機器とする。

(H4-P41-M0-F008A/B, 800A)

表 1-1 浜岡 4 号機 バタフライ弁のグループ化及び代表機器の選定

分類基準		系統名称	選定基準					代表選定	代表機器	選定理由
材料	流体		重要度*1	使用条件						
				使用状態	最高使用温度(°C)	最高使用圧力	口径(A)			
炭素鋼	ガス	非常用ガス処理系	MS-1	待機	100~140	0.014~0.024 MPa	300	◎	SGTS フィルタユニット 出口弁 (140°C, 0.024MPa, 300A) H4-T22-MO-F003A/B	最高使用温度
	冷却水*2	原子炉機器冷却水系	MS-1	連続	70	1.37 MPa	250~700	◎	RCCW 温度調整弁前弁 (70°C, 1.37MPa, 700A) H4-P21-V-F005A/B	口径
		高圧炉心スプレイ機器冷却水系	MS-1	連続	70	1.37 MPa	200~300			
炭素鋼	海水	原子炉機器冷却海水系	MS-1	連続	50	0.59 MPa	500~800	◎	RCWS ポンプ出口弁 (50°C, 0.59MPa, 800A) H4-P41-MO-F008A/B	口径
		高圧炉心スプレイ機器冷却海水系	MS-1	連続	50	0.59 MPa	300~350			

*1：最上位の重要度を示す

*2：冷却水（防錆剤入り）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弁について技術評価を実施する。

- ① SGTS フィルタユニット出口弁
- ② RCCW 温度調整弁前弁
- ③ RCWS ポンプ出口弁

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 SGTS フィルタユニット出口弁

(1) 構造

SGTS フィルタユニット出口弁は口径 300A, 最高使用圧力 23.5kPa, 最高使用温度 140°Cの電動バタフライ弁で、2台設置されている。

弁本体は、ガス（空気）を内包する耐圧部（弁箱, 底ふた, ジョイントボルト・ナット, 軸封部）, ガス（空気）を仕切る隔離部（弁体, 弁座（弁体シート））及び弁体に駆動力を伝達する駆動力伝達部（弁棒, ヨーク, ピン）からなる。

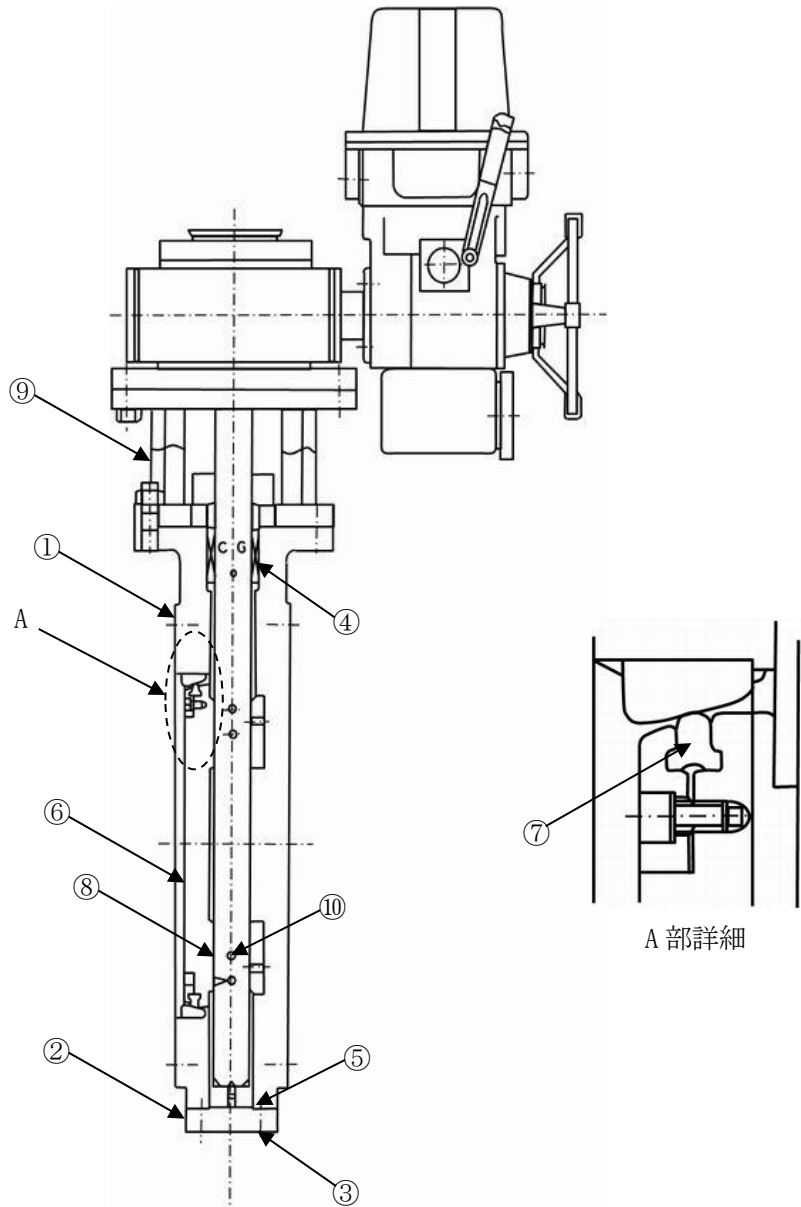
ガス（空気）に接する弁箱及び弁体は炭素鋼鋳鋼, 底ふたは炭素鋼, 弁座はエチレンプロピレンゴムで製作されており, 軸封部には流体の漏れを防止するためグランドパッキンが使用されている。

なお, 当該弁については, 駆動部を切り離し, フランジボルトを緩め弁箱を取外すことにより, 弁内部の点検手入れが可能である。

SGTS フィルタユニット出口弁の構造図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

SGTS フィルタユニット出口弁主要部位の使用材料を表 2.1-1 に, 使用条件を表 2.1-2 に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	底ふた
③	ジョイントボルト・ナット
④	グラウンドパッキン
⑤	Oリング
⑥	弁体
⑦	弁座 (弁体シート)
⑧	弁棒
⑨	ヨーク
⑩	ピン

図 2.1-1 浜岡 4 号機 SGTS フィルタユニット出口弁構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 SGTS フィルタユニット出口弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	炭素鋼鋳鋼
		底ふた	炭素鋼
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼
	シール	グランドパッキン	(消耗品)
		O リング	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	弁体	炭素鋼鋳鋼
		弁座 (弁体シート)	(消耗品)
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒	ステンレス鋼
		ヨーク	炭素鋼
		ピン	ステンレス鋼

表 2.1-2 浜岡 4 号機 SGTS フィルタユニット出口弁の使用条件

最高使用圧力	0.024 MPa
最高使用温度	140 °C
流体	ガス (空気)

2.1.2 RCCW 温度調整弁前弁

(1) 構造

RCCW 温度調整弁前弁は口径 700A, 最高使用圧力 1.37MPa, 最高使用温度 70°Cの手動バタフライ弁で, 2 台設置されている。

弁本体は, 冷却水 (防錆剤入り) を内包する耐圧部 (弁箱, 底ふた, ジョイントボルト・ナット, 軸封部), 冷却水を仕切る隔離部 (弁体, 弁座 (弁体シート)) 及び弁体に駆動力を伝達する駆動力伝達部 (弁棒, ヨーク, ピン) からなる。

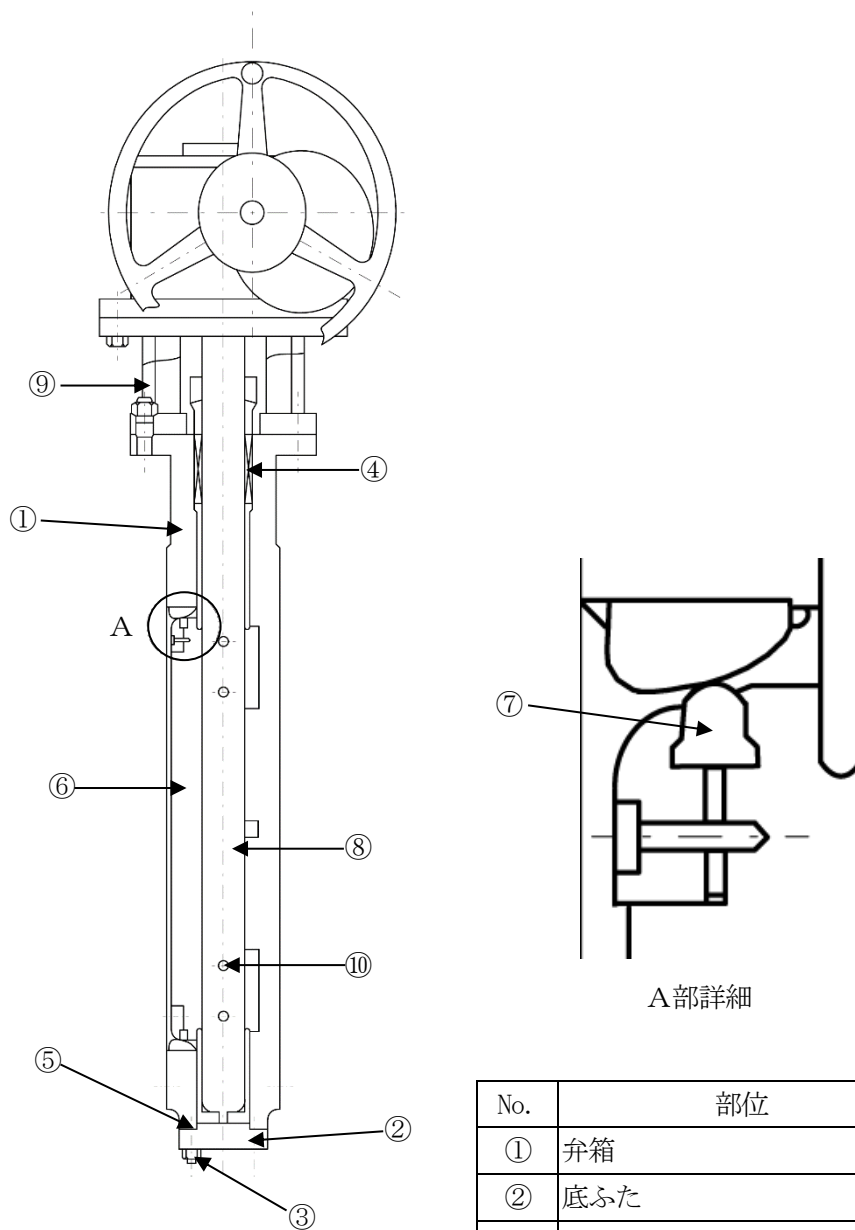
冷却水に接する弁箱及び弁体は炭素鋼鋳鋼, 底ふたは炭素鋼, 弁座はエチレンプロピレンゴムで製作されている。また, 軸封部には流体の漏れを防止するためグランドパッキンが使用されている。

なお, 当該弁については, 駆動部を切り離し, フランジボルトを緩め弁箱を取外すことにより, 弁内部の点検手入れが可能である。

RCCW 温度調整弁前弁の構造図を図 2.1-3 に示す。

(2) 材料及び使用条件

RCCW 温度調整弁前弁主要部位の使用材料を表 2.1-3 に, 使用条件を表 2.1-4 に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	底ふた
③	ジョイントボルト・ナット
④	グラウンドパッキン
⑤	Oリング
⑥	弁体
⑦	弁座 (弁体シート)
⑧	弁棒
⑨	ヨーク
⑩	ピン

図 2.1-3 浜岡 4 号機 RCCW 温度調整弁前弁構造図

表 2.1-3 浜岡 4 号機 RCCW 温度調整弁前弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	炭素鋼鋳鋼
		底ふた	炭素鋼
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼, 炭素鋼
	シール	グランドパッキン	(消耗品)
		O リング	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	弁体	炭素鋼鋳鋼
		弁座 (弁体シート)	(消耗品)
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒	ステンレス鋼
		ヨーク	炭素鋼
		ピン	ステンレス鋼

表 2.1-4 浜岡 4 号機 RCCW 温度調整弁前弁の使用条件

最高使用圧力	1.37 MPa
最高使用温度	70 °C
流体	冷却水 (防錆剤入り)

2.1.3 RCWS ポンプ出口弁

(1) 構造

RCWS ポンプ出口弁は口径 800A, 最高使用圧力 0.59MPa, 最高使用温度 50°Cの電動バタフライ弁で, 2台設置されている。

弁本体は, 海水を内包する耐圧部(弁箱, 底ふた, ジョイントボルト・ナット, 軸封部), 海水を仕切る隔離部(弁体, 弁座(弁体シート))及び弁体に駆動力を伝達する駆動力伝達部(弁棒, ヨーク, ピン)からなる。

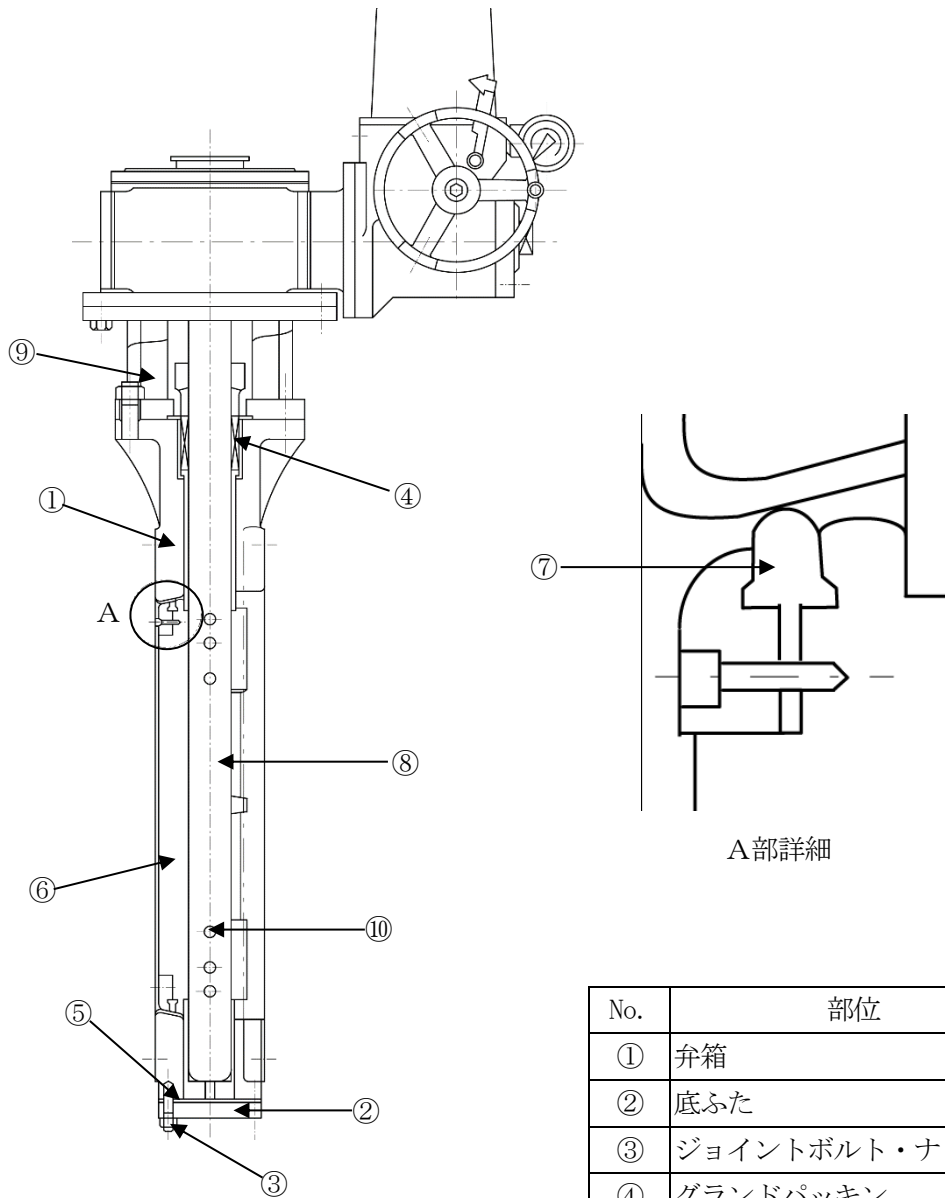
海水に接する弁箱は炭素鋼鋳鋼, 底ふたは炭素鋼, 弁体はステンレス鋳鋼, 弁座はエチレンプロピレンゴムで製作されており, 弁箱及び底ふたには硬質ゴムライニングが施されている。また, 軸封部には流体の漏れを防止するためグランドパッキンが使用されている。

なお, 当該弁については, 駆動部を切り離し, フランジボルトを緩め弁箱を取外すことにより, 弁内部の点検手入れが可能である。

RCWS ポンプ出口弁の構造図を図 2.1-4 に示す。

(2) 材料及び使用条件

RCWS ポンプ出口弁主要部位の使用材料を表 2.1-5 に, 使用条件を表 2.1-6 に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	底ふた
③	ジョイントボルト・ナット
④	グランドパッキン
⑤	ガスケット
⑥	弁体
⑦	弁座 (弁体シート)
⑧	弁棒
⑨	ヨーク
⑩	ピン

図 2.1-4 浜岡 4 号機 RCWS ポンプ出口弁構造図

表 2.1-5 浜岡 4 号機 RCWS ポンプ出口弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	炭素鋼鋳鋼 (硬質ゴムライニング)
		底ふた	炭素鋼 (硬質ゴムライニング)
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼, 炭素鋼
	シール	グランドパッキン	(消耗品)
		ガスケット	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	弁体	ステンレス鋳鋼
		弁座 (弁体シート)	(消耗品)
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒	ステンレス鋼
		ヨーク	炭素鋼
		ピン	ステンレス鋼

表 2.1-6 浜岡 4 号機 RCWS ポンプ出口弁の使用条件

最高使用圧力	0.59 MPa
最高使用温度	50 °C
流体	海水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

バタフライ弁の機能である流体調節、隔離機能の達成に必要な項目は以下のとおり。

- ① バウンダリの維持
- ② 隔離機能の維持
- 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

(1) 想定される経年劣化事象

バタフライ弁について、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、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表 2.2-1 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

なお、消耗品及び定期取替品は次項のとおり評価対象外とする。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

グランドパッキン、O リング、ガスケット、弁座（弁体シート）は消耗品であり、設計時に長期使用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。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

- ① 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）
- 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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 弁棒の摩耗 [共通]

弁棒はグランドパッキンと接触することにより、摩耗が想定される。しかしながら、弁棒はステンレス鋼であり、接触部はグランドパッキンよりも硬いことから摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

b. ピンの摩耗 [共通]

ピンは弁を開閉作動させることにより、他の部位との接触部に摩耗が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により、設備の健全性を定期的を確認している。

c. 弁箱及び底ふた内面、弁体の腐食（全面腐食） [SGTS フィルタユニット出口弁]

弁箱及び弁体は炭素鋼鋳鋼、底ふたは炭素鋼であるため、腐食が想定される。しかしながら、内部流体は屋内空調環境下の空気であるため、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

d. 弁箱及び底ふた内面、弁体の腐食（流れ加速型腐食（以下、「FAC」という。） [RCCW 温度調整弁前弁]

弁箱及び弁体は炭素鋼鋳鋼、底ふたは炭素鋼であり、FAC が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

e. 弁箱及び底ふた外面の腐食（全面腐食） [SGTS フィルタユニット出口弁, RCCW 温度調整弁前弁]

弁箱及び底ふたは炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であるため、腐食が想定される。しかしながら、外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

f. ジョイントボルト・ナットの腐食（全面腐食） [SGTS フィルタユニット出口弁, RCCW 温度調整弁前弁]

ジョイントボルト・ナットは炭素鋼又は低合金鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

g. ヨークの腐食（全面腐食） [SGTS フィルタユニット出口弁, RCCW 温度調整弁前弁]

ヨークは炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、ヨークは屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

h. 弁箱及び底ふた内面の腐食（全面腐食） [RCWS ポンプ出口弁]

弁箱は炭素鋼鋳鋼、底ふたは炭素鋼であり、内部流体が海水であるためライニングが施されているが、ライニングにはく離や膨れが発生した場合に、はく離や膨れ部の母材に腐食が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により、ライニングにはく離、膨れ等が発生した場合には、必要に応じて補修又は取替えを行っている。

i. 弁箱及び底ふた外面, ジョイントボルト・ナット, ヨークの腐食（全面腐食） [RCWS ポンプ出口弁]

弁箱は炭素鋼鋳鋼、底ふた, ナット及びヨークは炭素鋼, ジョイントボルト・ナットは低合金鋼又は炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により、設備の健全性を定期的に確認している。

j. 弁体及び弁棒の腐食（孔食・隙間腐食） [RCWS ポンプ出口弁]

弁体はステンレス鋳鋼、弁棒はステンレス鋼であり、内部流体が海水のため、孔食・隙間腐食が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により、設備の健全性を定期的に確認している。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

表 2.2-1(1/3) 浜岡 4 号機 SGTS フィルタユニット出口弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}					*1:内面 *2:外面	
		底ふた		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
		ジョイントボルト・ナット		低合金鋼		△						
	シール	グラッドパッキン	◎									
		Oリング	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		炭素鋼鋳鋼		△						
		弁座 (弁体シート)	◎									
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒		ステンレス鋼	△							
		ヨーク		炭素鋼		△						
		ピン		ステンレス鋼	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1 (2/3) 浜岡 4 号機 RCCW 温度調整弁前弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						*1:FAC *2:外面
		底ふた		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
		ジョイント ボルト・ナット		低合金鋼, 炭素鋼		△						
	シール	グランドパッキン	◎									
		Oリング	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1}						
		弁座 (弁体シート)	◎									
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒		ステンレス鋼	△							
		ヨーク		炭素鋼		△						
		ピン		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(3/3) 浜岡 4 号機 RCWS 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	サブシステム	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	耐圧	弁箱		炭素鋼鋳鋼*3		△*1 △*2					*1:内面 *2:外面 *3:ゴムライニング施工 *4:孔食・隙間腐食	
		底ふた		炭素鋼*3		△*1 △*2						
		ジョイントボルト・ナット		低合金鋼, 炭素鋼		△						
	シール	グランドパッキン	◎									
		ガスケット	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		ステンレス鋳鋼		△*4						
		弁座 (弁体シート)	◎									
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒		ステンレス鋼	△	△*4						
		ヨーク		炭素鋼		△						
		ピン		ステンレス鋼	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

3. 代表機器以外への展開

本章では、2章で実施した代表機器の技術評価について、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を検討した。

[対象系統]

- ① 原子炉機器冷却水系
- ② 高圧炉心スプレイ機器冷却水系
- ③ 原子炉機器冷却海水系
- ④ 高圧炉心スプレイ機器冷却海水系
- ⑤ 非常用ガス処理系

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

代表機器同様、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 弁棒の摩耗 [共通]

代表機器同様、弁棒はグランドパッキンと接触することにより、摩耗が想定される。しかしながら、弁棒はステンレス鋼であり、接触部はグランドパッキンよりも硬いことから摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

b. ピンの摩耗 [共通]

代表機器同様、ピンは弁を開閉作動させることにより、他の部位との接触部に摩耗が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により、設備の健全性を定期的に確認している。

c. 弁箱及び底ふた内面、弁体の腐食（全面腐食） [非常用ガス処理系]

代表機器同様、弁箱及び弁体は炭素鋼鋳鋼、底ふたは炭素鋼であるため、腐食が想定される。しかしながら、内部流体は屋内空調環境下の空気であるため、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

d. 弁箱及び底ふた内面、弁体の FAC [原子炉機器冷却水系、高圧炉心スプレイ機器冷却水系]

弁箱及び弁体は炭素鋼鋳鋼、底ふたは炭素鋼であり、内部流体が冷却水であるため、FACが想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

e. 弁箱及び底ふた外面の腐食（全面腐食） [非常用ガス処理系、原子炉機器冷却水系、高圧炉心スプレイ機器冷却水系]

代表機器同様、弁箱は炭素鋼鋳鋼、底ふたは炭素鋼であるため、腐食が想定される。しかしながら、外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- f. ジョイントボルト・ナットの腐食（全面腐食）〔非常用ガス処理系，原子炉機器冷却水系，高圧炉心スプレイ機器冷却水系〕

代表機器同様，ジョイントボルト・ナットは炭素鋼又は低合金鋼であり，腐食が想定される。しかしながら，屋内空調環境下であり，腐食が発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- g. ヨークの腐食（全面腐食）〔原子炉機器冷却水系，高圧炉心スプレイ機器冷却水系〕

代表機器同様，ヨークは炭素鋼であり，腐食が想定される。しかしながら，ヨークは屋内空調環境下に設置されており，塗装を施していることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- h. 弁箱及び底ふた内面の腐食（全面腐食）〔原子炉機器冷却海水系，高圧炉心スプレイ機器冷却海水系〕

代表機器同様，弁箱は炭素鋼鋳鋼，底ふたは炭素鋼であり，内部流体が海水であるためライニングが施されているが，ライニングにはく離や膨れが発生した場合に，はく離や膨れ部の母材に腐食が想定される。しかしながら，分解点検時における目視点検により，ライニングにはく離，膨れ等が発生した場合には，必要に応じて補修又は取替えを行っている。

- i. 弁箱及び底ふた外面，ジョイントボルト・ナット，ヨークの腐食（全面腐食）〔原子炉機器冷却海水系，高圧炉心スプレイ機器冷却海水系〕

代表機器同様，弁箱は炭素鋼鋳鋼，底ふた，ナット及びヨークは炭素鋼，ジョイントボルト・ナットは低合金鋼又は炭素鋼であり，腐食が想定される。しかしながら，分解点検時における目視点検により，設備の健全性を定期的に確認している。

- j. 弁体及び弁棒の腐食（孔食・隙間腐食）〔原子炉機器冷却海水系，高圧炉心スプレイ機器冷却海水系〕

弁体はステンレス鋳鋼，弁棒はステンレス鋼であり，内部流体が海水のため，孔食・隙間腐食が想定される。しかしながら，分解点検時における目視点検により，設備の健全性を定期的に確認している。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

以 上

5 安全弁

[対象系統]

- ① 制御棒駆動水圧系
- ② 余熱除去系
- ③ 低圧炉心スプレイ系
- ④ 高圧炉心スプレイ系
- ⑤ 原子炉冷却材浄化系

目 次

1.	対象機器及び代表機器の選定	1
1.1	グループ化の考え方及び結果	1
1.2	代表機器の選定	1
2.	代表機器の技術評価	3
2.1	構造, 材料及び使用条件	3
2.1.1	RHR ポンプ原子炉側入口隔離弁間逃がし弁.....	3
2.1.2	CRD 駆動水加熱器逃がし弁.....	6
2.2	経年劣化事象の抽出	9
2.2.1	機器の機能達成に必要な項目	9
2.2.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	9
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	10
3.	代表機器以外への展開	14
3.1	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	14
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	15

1. 対象機器及び代表機器の選定

安全弁の主な仕様を表 1-1 に示す。

これらの安全弁をグループ化し、それぞれのグループより代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

弁箱材料、内部流体を分類基準とし、安全弁を表 1-1 に示すとおりグループ化する。

1.2 代表機器の選定

表 1-1 に分類したグループ毎に、原則として重要度、使用状態、最高使用温度、最高使用圧力及び口径の観点から代表機器を選定する。

(1) 純水系炭素鋼安全弁（内部流体：純水、弁箱材質：炭素鋼）

純水系ラインに使用されている炭素鋼安全弁のうち、重要度、最高使用温度の観点から RHR ポンプ原子炉側入口隔離弁間逃がし弁を代表機器とする。

(H4-E11-SV-F079A/B, 20/25A)

(2) 純水系ステンレス鋼安全弁（内部流体：純水、弁箱材質：ステンレス鋼）

純水系ラインに使用されているステンレス鋼安全弁のうち、最高使用温度の観点から CRD 駆動水加熱器逃がし弁を代表機器とする。

(H4-C11-SV-F123, 20/40A)

表 1-1 浜岡 4 号機 安全弁のグループ化及び代表機器の選定

分類基準		系統名称	選定基準					代表選定	代表機器	選定理由
材料	流体		重要度*1	使用条件						
				使用状態	最高使用温度(°C)	最高使用圧力	口径(A)			
炭素鋼	純水	制御棒駆動水圧系	高*2	待機	138	8.62 MPa	20/25	◎	RHR ポンプ原子炉側 入口隔離弁間逃がし弁 (302°C, 8.62MPa, 20/25A) H4-E11-SV-F079A/B	重要度 最高使用温度
		余熱除去系	MS-1	待機	104~302	1.57~8.62 MPa	20/25~ 25/50			
		低圧炉心スプレイ系	MS-1	待機	104	1.57~4.41 MPa	25/50			
		高圧炉心スプレイ系	MS-1	待機	104	1.57 MPa	25/50			
		原子炉冷却材浄化系	高*2	連続	66	8.83~10.20 MPa	20			
ステンレス鋼	純水	制御棒駆動水圧系	高*2	連続	180	0.981 MPa	20/40	◎	CRD 駆動水加熱器逃がし弁 (180°C, 0.981MPa, 20/40A) H4-C11-SV-F123	最高使用温度
		原子炉冷却材浄化系	高*2	連続	66	13.83 MPa	20			

*1：最上位の重要度を示す

*2：最高使用温度が 95 °C を超え，又は最高使用圧力が 1,900 kPa 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弁について技術評価を実施する。

- ① RHR ポンプ原子炉側入口隔離弁間逃がし弁
- ② CRD 駆動水加熱器逃がし弁

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 RHR ポンプ原子炉側入口隔離弁間逃がし弁

(1) 構造

RHR ポンプ原子炉側入口隔離弁間逃がし弁は口径 20/25A, 圧力クラス JIS 110k/20k の安全弁で、2台設置されている。

弁本体は、純水を内包する耐圧部（弁箱、弁体、ノズルシート、ジョイントボルト・ナット）及び弁体を作動させる作動部（弁棒、スプリング）からなる。

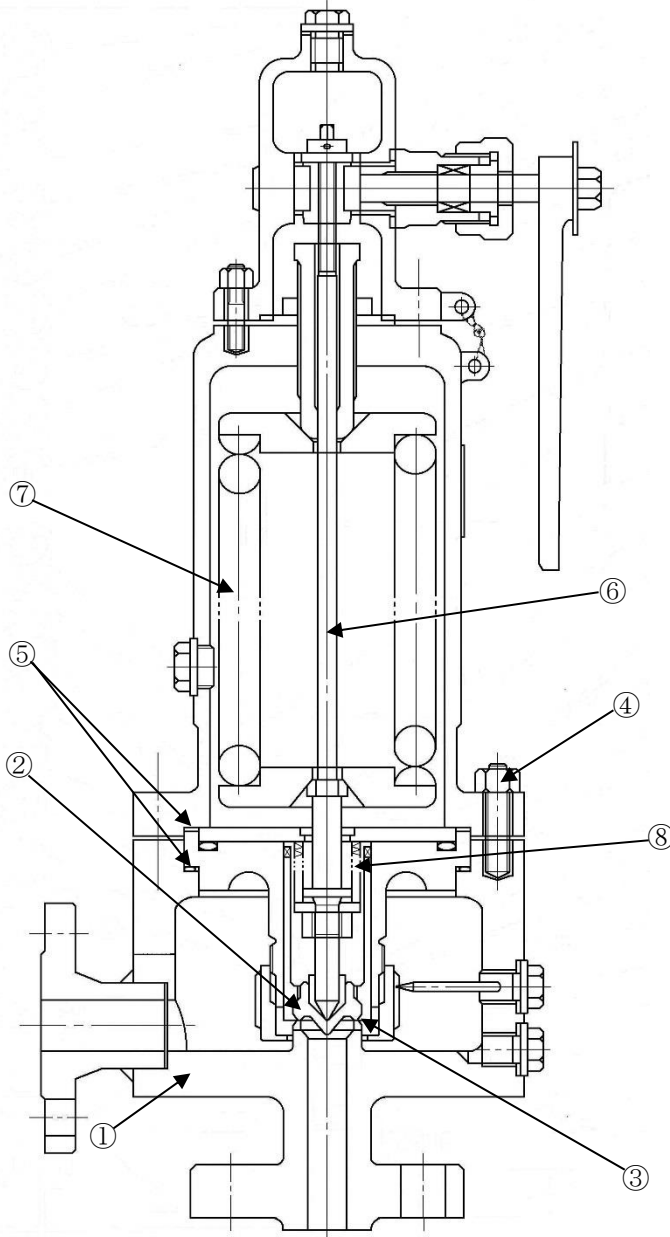
純水に接する弁箱及びノズルシートは炭素鋼、弁体はステンレス鋼で製作されており、軸封部には流体の漏れを防止するためペローズが使用されている。

なお、当該弁については、ジョイントボルト・ナットを取外すことにより、弁内部の点検手入れが可能である。

RHR ポンプ原子炉側入口隔離弁間逃がし弁の構造図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

RHR ポンプ原子炉側入口隔離弁間逃がし弁主要部位の使用材料を表 2.1-1 に、使用条件を表 2.1-2 に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁体
③	ノズルシート
④	ジョイントボルト・ナット
⑤	ガスケット
⑥	弁棒
⑦	スプリング
⑧	ベローズ

図 2.1-1 浜岡 4 号機 RHR ポンプ原子炉側入口隔離弁間逃がし弁構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 RHR ポンプ原子炉側入口隔離弁間逃がし弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	炭素鋼
		弁体	ステンレス鋼
		ノズルシート	炭素鋼(ステライト肉盛)
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼
	シール	ガスケット	(消耗品)
		ベローズ	ステンレス鋼
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒	ステンレス鋼
		スプリング	合金鋼

表 2.1-2 浜岡 4 号機 RHR ポンプ原子炉側入口隔離弁間逃がし弁の使用条件

最高使用圧力	8.62 MPa
最高使用温度	302 °C
流体	純水

2.1.2 CRD 駆動水加熱器逃がし弁

(1) 構造

CRD 駆動水加熱器逃がし弁は口径 20/40A、圧力クラス JIS10k の安全弁で、1 台設置されている。

弁本体は、純水を内包する耐圧部（弁箱、弁体、ノズルシート、ジョイントボルト・ナット）及び弁体を作動させる作動部（弁棒、スプリング）からなる。

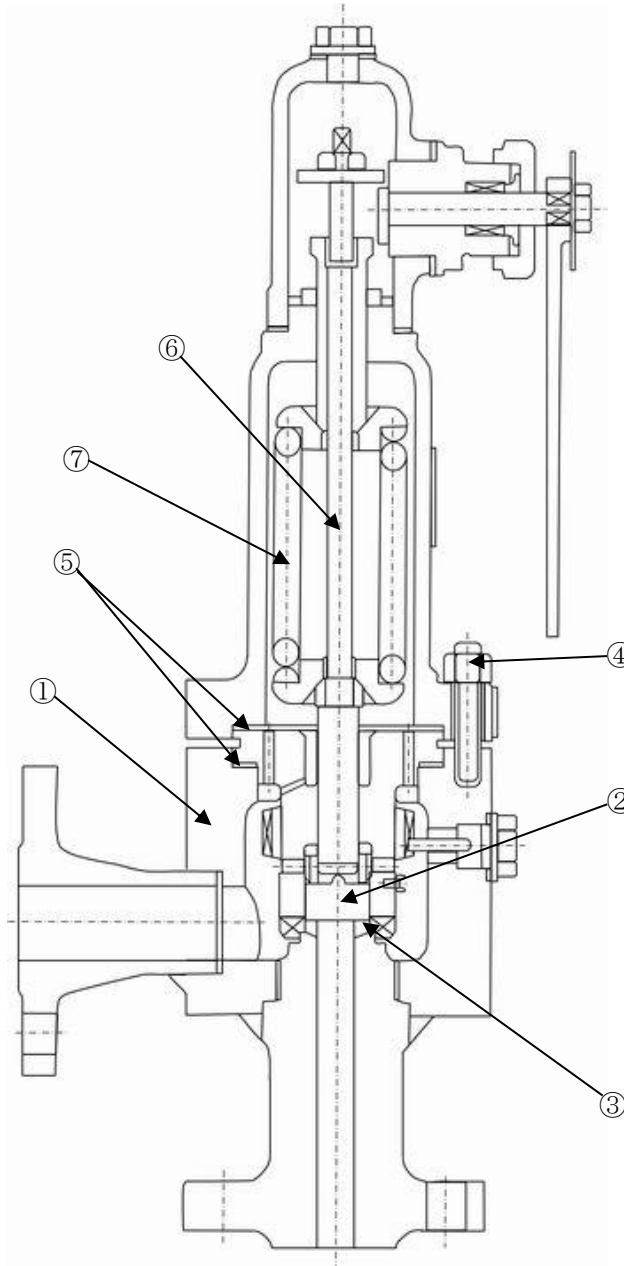
純水に接する弁箱及びノズルシートはステンレス鋼、弁体はステライトで製作されている。

なお、当該弁については、ジョイントボルト・ナットを取外すことにより、弁内部の点検手入りが可能である。

CRD 駆動水加熱器逃がし弁の構造図を図 2.1-2 に示す。

(2) 材料及び使用条件

CRD 駆動水加熱器逃がし弁主要部位の使用材料を表 2.1-3 に、使用条件を表 2.1-4 に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁体
③	ノズルシート
④	ジョイントボルト・ナット
⑤	ガスケット
⑥	弁棒
⑦	スプリング

図 2.1-2 浜岡 4 号機 CRD 駆動水加熱器逃がし弁構造図

表 2.1-3 浜岡 4 号機 CRD 駆動水加熱器逃がし弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	ステンレス鋼
		弁体	ステライト
		ノズルシート	ステンレス鋼(ステライト肉盛)
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼
	シール	ガスケット	(消耗品)
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒	ステンレス鋼
		スプリング	ばね鋼

表 2.1-4 浜岡 4 号機 CRD 駆動水加熱器逃がし弁の使用条件

最高使用圧力	0.981 MPa
最高使用温度	180 °C
流体	純水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

安全弁の機能である流体吹き出し機能の達成に必要な項目は以下のとおり。

- ①バウンダリの維持
- ②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

(1) 想定される経年劣化事象

安全弁について、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、使用条件及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。

なお、消耗品及び定期取替品は次項のとおり評価対象外とする。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

ガスケットは消耗品であり、設計時に長期使用せず取替えを前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

- ①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）
- 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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 弁棒の摩耗 [共通]

弁棒は弁体と接触することにより、摩耗が想定される。しかしながら、作動回数がほとんどないことから、摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

b. 弁箱内面の腐食（全面腐食） [RHR ポンプ原子炉側入口隔離弁間逃がし弁]

弁箱は炭素鋼であり、内部流体が純水であるため、腐食が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

c. ノズルシートの腐食（全面腐食） [RHR ポンプ原子炉側入口隔離弁間逃がし弁]

ノズルシートは炭素鋼であり腐食が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

d. 弁箱外面の腐食（全面腐食） [RHR ポンプ原子炉側入口隔離弁間逃がし弁]

弁箱は炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

e. ジョイントボルト・ナットの腐食（全面腐食） [共通]

ジョイントボルト・ナットは低合金鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

f. ベローズの疲労割れ [RHR ポンプ原子炉側入口隔離弁間逃がし弁]

ベローズは弁の開閉に伴う伸縮の繰り返しにより、疲労割れが想定される。しかしながら、弁の作動頻度が少なく、疲労割れが発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

g. 弁箱及びノズルシートの粒界型応力腐食割れ [CRD 駆動水加熱器逃がし弁]

弁箱及びノズルシートはステンレス鋼であり、内部流体が 100℃以上であることから粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検及び漏えい試験により設備の健全性を定期的に確認している。

h. ベローズの粒界型応力腐食割れ [RHR ポンプ原子炉側入口隔離弁間逃がし弁]

ベローズはステンレス鋼であり、内部流体が 100℃以上の純水であることから粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら、ベローズの材料は応力腐食割れの感受性を低減した材料であり、粒界型応力腐食割れが発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

i. 弁箱外面の貫粒型応力腐食割れ [CRD 駆動水加熱器逃がし弁]

弁箱はステンレス鋼であり、外表面に塩分が付着することに起因する貫粒型応力腐食割れが想定される。しかしながら、付着塩分量を維持管理基準以下に管理するため代表ポイントにおける付着塩分量測定を実施している。清掃基準を超えた場合には清掃を計画するとともに、目視点検を実施し、必要に応じて補修又は取替えを行うことで設備の健全性を定期的に確認している。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

j. スプリングのへたり [共通]

スプリングは常時応力がかかった状態であり、へたりが想定される。しかしながら、スプリング使用時のねじり応力が、許容ねじり応力以下になるように設定されており、また、スプリングの材料に対する推奨使用最高温度よりも実際の使用温度は低いことから、へたりが進行する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検、寸法計測及び組立後の作動確認により設備の健全性を定期的に確認している。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

表 2.2-1(1/2) 浜岡 4 号機 RHR ポンプ原子炉側入口隔離弁間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	サブシステム	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	耐圧	弁箱		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}					*1:内面 *2:外面 *3:粒界型応力腐食割れ *4:ストレイト肉盛 *5:へたり	
		弁体		ステンレス鋼								
		ノズルシート		炭素鋼 ^{*4}		△						
		ジョイントボルト・ナット		低合金鋼		△						
	シール	ガスケット	◎									
		ベローズ		ステンレス鋼			△	△ ^{*3}				
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒		ステンレス鋼	△							
		スプリング		合金鋼						△ ^{*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）

表 2.2-1 (2/2) 浜岡 4 号機 CRD 駆動水加熱器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	サブシステム	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	耐圧	弁箱		ステンレス鋼				△ ^{*1} △ ^{*2*3}				*1:粒界型応力腐食割れ *2:外面 *3:貫粒型応力腐食割れ *4:スライム肉盛 *5:へたり
		弁体		ステライト								
		ノズルシート		ステンレス鋼 ^{*4}				△ ^{*1}				
		ジョイントボルト・ナット		低合金鋼		△						
	シール	ガスケット	◎									
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒		ステンレス鋼	△							
		スプリング		ばね鋼							△ ^{*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）

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を検討した。

[対象系統]

- ① 制御棒駆動水圧系弁
- ② 余熱除去系弁
- ③ 低圧炉心スプレイ系弁
- ④ 高圧炉心スプレイ系弁
- ⑤ 原子炉冷却材浄化系弁

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

代表機器同様、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 弁棒の摩耗 [共通]

代表機器同様、弁棒は弁体と接触することにより、摩耗が想定される。しかしながら、作動回数がほとんどないことから、摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

b. 弁箱内面の腐食（全面腐食） [純水系炭素鋼安全弁]

弁箱は炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であり、内部流体が純水であるため、腐食が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

c. ノズルシートの腐食（全面腐食） [純水系炭素鋼安全弁]

代表機器同様、ノズルシートは炭素鋼であり腐食が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

d. 弁箱外面の腐食（全面腐食） [純水系炭素鋼安全弁]

弁箱は炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

e. ジョイントボルト・ナットの腐食（全面腐食） [共通]

代表機器同様、ジョイントボルト・ナットは低合金鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

f. ベローズの疲労割れ [純水系炭素鋼安全弁]

代表機器同様、ベローズは弁の開閉に伴う伸縮の繰り返しにより、疲労割れが想定される。しかしながら、弁の作動頻度が少なく、疲労割れが発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

g. ベローズの粒界型応力腐食割れ [純水系炭素鋼安全弁]

代表機器同様，ベローズはステンレス鋼であり，内部流体が 100℃以上の純水であることから粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら，ベローズの材料は応力腐食割れの感受性を低減した材料であり，粒界型応力腐食割れが発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

h. 弁箱外面の貫粒型応力腐食割れ [純水系ステンレス鋼安全弁]

代表機器同様，弁箱はステンレス鋼であり，外表面に塩分が付着することに起因する貫粒型応力腐食割れが想定される。しかしながら，付着塩分量を維持管理基準以下に管理するため代表ポイントにおける付着塩分量測定を実施している。清掃基準を超えた場合には清掃を計画するとともに，目視点検を実施し，必要に応じて補修又は取替えを行うことで設備の健全性を定期的に確認している。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

i. スプリングのへたり [共通]

代表機器同様，スプリングは常時応力がかかった状態であり，へたりが想定される。しかしながら，スプリング使用時のねじり応力が，許容ねじり応力以下になるように設定されており，また，スプリングの材料に対する推奨使用最高温度よりも実際の使用温度は低いことから，へたりが進行する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検，寸法計測及び組立後の作動確認により設備の健全性を定期的に確認している。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

以 上

6 ボール弁

[対象系統]

- ① 原子炉冷却材浄化系

目 次

1.	対象機器及び代表機器の選定	1
1.1	グループ化の考え方及び結果	1
1.2	代表機器の選定	1
2.	代表機器の技術評価	3
2.1	構造, 材料及び使用条件	3
2.1.1	CW ろ過脱塩塔入口第1弁	3
2.2	経年劣化事象の抽出	6
2.2.1	機器の機能達成に必要な項目	6
2.2.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	6
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	7
3.	代表機器以外への展開	10
3.1	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	10
3.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	11

1. 対象機器及び代表機器の選定

ボール弁の主な仕様を表 1-1 に示す。

これらのボール弁をグループ化し、それぞれのグループより代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

弁箱材料，内部流体を分類基準とし，ボール弁を表 1-1 に示すとおりグループ化する。

1.2 代表機器の選定

表 1-1 に分類したグループ毎に，原則として重要度，使用状態，最高使用温度，最高使用圧力及び口径の観点から代表機器を選定する。

(1) 純水系炭素鋼ボール弁（内部流体：純水，弁箱材質：炭素鋼）

純水系ラインに使用されている炭素鋼ボール弁のうち，重要度，口径の観点から CUW ろ過脱塩塔入口第 1 弁を代表機器とする。

(H4-G11-A0-F015A/B, 150A)

表 1-1 浜岡 4 号機 ボール弁のグループ化及び代表機器の選定

分類基準		系統名称	選定基準					代表選定	代表機器	選定理由
材料	流体		重要度*1	使用条件						
				使用状態	最高使用温度(°C)	最高使用圧力	口径(A)			
炭素鋼	純水	原子炉冷却材浄化系	PS-2	連続	66	10.20 MPa	50~150	◎	CUW ろ過脱塩塔入口第 1 弁 (66°C, 10.20MPa, 150A) H4-G11-A0-F015A/B	重要度 口径

*1：最上位の重要度を示す

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弁について技術評価を実施する。

① CUW ろ過脱塩塔入口第1弁

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 CUW ろ過脱塩塔入口第1弁

(1) 構造

CUW ろ過脱塩塔入口第1弁は口径150A、最高使用圧力10.2MPa、最高使用温度66℃の空気作動ボール弁で、2台設置されている。

弁本体は、純水を内包する耐圧部（弁箱、弁ふた、ジョイントボルト・ナット、軸封部）、純水を仕切る隔離部（弁体、弁座）及び弁体に駆動力を伝達する駆動力伝達部（弁棒）からなる。

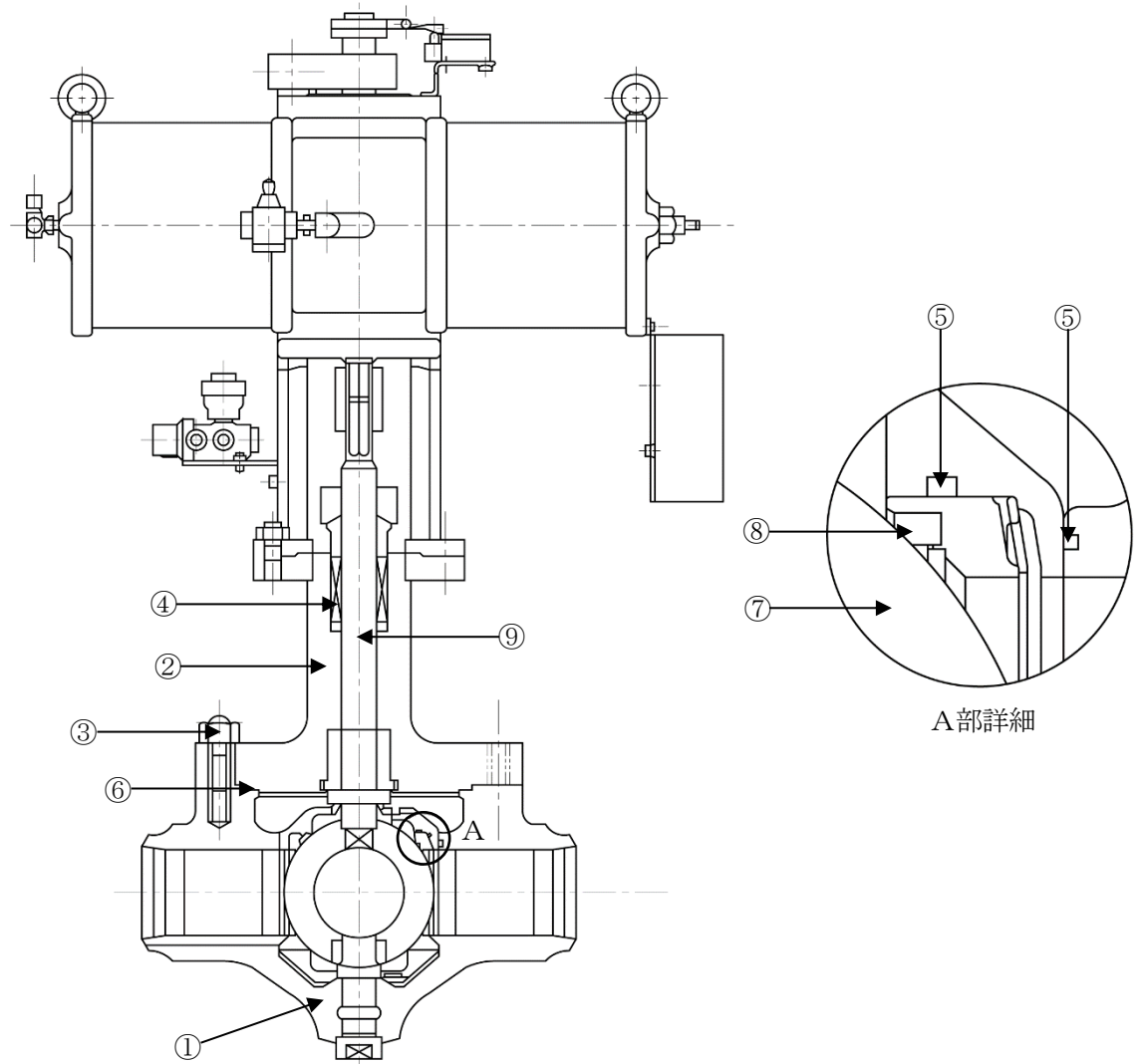
純水に接する弁箱及び弁ふたは炭素鋼鋳鋼、弁体はステンレス鋼で製作されており、外部への流体の漏れを防止するためグランドパッキンが使用されている。

なお、当該弁については、ジョイントボルト・ナットを取外すことにより、弁内部の点検手入りが可能である。

CUW ろ過脱塩塔入口第1弁の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

CUW ろ過脱塩塔入口第1弁主要部位の使用材料を表2.1-1に、使用条件を表2.1-2に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁ふた
③	ジョイントボルト・ナット
④	グランドパッキン
⑤	Oリング
⑥	ガスケット
⑦	弁体
⑧	弁座 (弁体シート)
⑨	弁棒

図 2.1-1 浜岡 4 号機 CUW ろ過脱塩塔入口第 1 弁構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 CUW ろ過脱塩塔入口第 1 弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	炭素鋼鋳鋼
		弁ふた	炭素鋼鋳鋼
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼, 炭素鋼
	シール	グランドパッキン	(消耗品)
		O リング	(消耗品)
		ガスケット	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	弁体	ステンレス鋼
		弁座 (弁体シート)	(消耗品)
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒	ステンレス鋼

表 2.1-2 浜岡 4 号機 CUW ろ過脱塩塔入口第 1 弁の使用条件

最高使用圧力	10.20 MPa
最高使用温度	66 °C
流体	純水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

ボール弁の機能である流体調節，隔離機能の達成に必要な項目は以下のとおり。

- ①バウンダリの維持
- ②隔離機能の維持
- 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

(1) 想定される経年劣化事象

ボール弁について，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，使用条件及び現在までの運転経験を考慮し，代表機器毎に表 2.2-1 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

なお，消耗品及び定期取替品は次項のとおり評価対象外とする。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

グランドパッキン，Oリング，ガスケット及び弁座は消耗品であり，設計時に長期使用せず取替えを前提としていることから，高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①，②に該当する事象については，2.2.3 項に示すとおり，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。

- ①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）
- 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（表 2.2-1 で▲）

この結果，高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 弁体の摩耗

弁体は弁座と接触しているため、弁棒が回転することにより摩耗が想定される。しかしながら、弁体はステンレス鋼であり、接触部は弁座よりも硬いことから摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

b. 弁棒の摩耗

弁棒はグラントパッキンと接触することにより、摩耗が想定される。しかしながら、弁棒はステンレス鋼であり、接触部はグラントパッキンよりも硬いことから摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

c. 弁箱及び弁ふた外面の腐食（全面腐食）

弁箱及び弁ふたは炭素鋼鋳鋼であるため、腐食が想定される。しかしながら、外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

d. ジョイントボルト・ナットの腐食（全面腐食）

ジョイントボルト・ナットは低合金鋼又は炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されていることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

e. 弁箱及び弁ふた内面の腐食（流れ加速型腐食（以下、「FAC」という。））

弁箱及び弁ふたは炭素鋼鋳鋼であり、内部流体が純水であるため、FAC が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

表 2.2-1 浜岡 4 号機 CUW ろ過脱塩塔入口第 1 弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	耐圧	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}					*1:FAC *2:外面	
		弁ふた		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
		ジョイントボルト・ナット		低合金鋼, 炭素鋼		△						
	シール	グランドパッキン	◎									
		Oリング	◎									
		ガスケット	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		ステンレス鋼	△							
		弁座 (弁体シート)	◎									
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒		ステンレス鋼	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

3. 代表機器以外への展開

本章では、2章で実施した代表機器の技術評価について、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を検討した。

[対象系統]

- ① 原子炉冷却材浄化系

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

代表機器同様、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 弁体の摩耗

代表機器同様、弁体は弁座と接触しているため、弁棒が回転することにより摩耗が想定される。しかしながら、弁体はステンレス鋼であり、接触部は弁座よりも硬いことから摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

b. 弁棒の摩耗

代表機器同様、弁棒はグランドパッキンと接触することにより、摩耗が想定される。しかしながら、弁棒はステンレス鋼であり、接触部はグランドパッキンよりも硬いことから摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

c. 弁箱及び弁ふた外面の腐食（全面腐食）

弁箱及び弁ふたは炭素鋼鋳鋼及び炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

d. ジョイントボルト・ナットの腐食（全面腐食）

代表機器同様、ジョイントボルト・ナットは低合金鋼又は炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下にあり、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

e. 弁箱及び弁ふた内面の FAC

弁箱及び弁ふたは炭素鋼鋳鋼及び炭素鋼であり、内部流体が純水であるため、FAC が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

以 上

7 電磁弁

[対象系統]

- ① 制御棒駆動水圧系

目 次

1. 対象機器	1
2. 代表機器の技術評価	2
2.1 構造, 材料及び使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	5
2.2.1 機器の機能達成に必要な項目	5
2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	5
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	6

1. 対象機器

電磁弁の主な仕様を表 1-1 に示す。

表 1-1 浜岡 4 号機 電磁弁の主な仕様

分類基準		系統名称	選定基準					代表機器
弁箱材料	流体		重要度*1	使用条件			口径 (A)	
				使用状態	最高使用温度(°C)	最高使用圧力		
ステンレス鋼	純水	制御棒駆動水圧系	高*2	連続	66	13.83 MPa	20	CRD 駆動水安定弁 (66°C, 13.83MPa, 20A) H4-C11-S0-F032A-8A, 8B H4-C11-S0-F032B-8A, 8B

*1：最上位の重要度を示す

*2：最高使用温度が 95°C を超え、又は最高使用圧力が 1,900kPa を超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス 3 の機器

2. 代表機器の技術評価

2.1 構造, 材料及び使用条件

(1) 構造

CRD 駆動水安定弁は口径 20A, 圧力クラス 900LB の電磁弁で, 4 台設置されている。

弁本体は, 純水を内包する耐圧部 (弁箱, 弁ふた, ジョイントボルト, O リング), 純水を仕切る隔離部 (弁体, 弁座) 及び弁体に動力を伝達する駆動力伝達部 (プランジャー, コイル, スプリング) からなる。

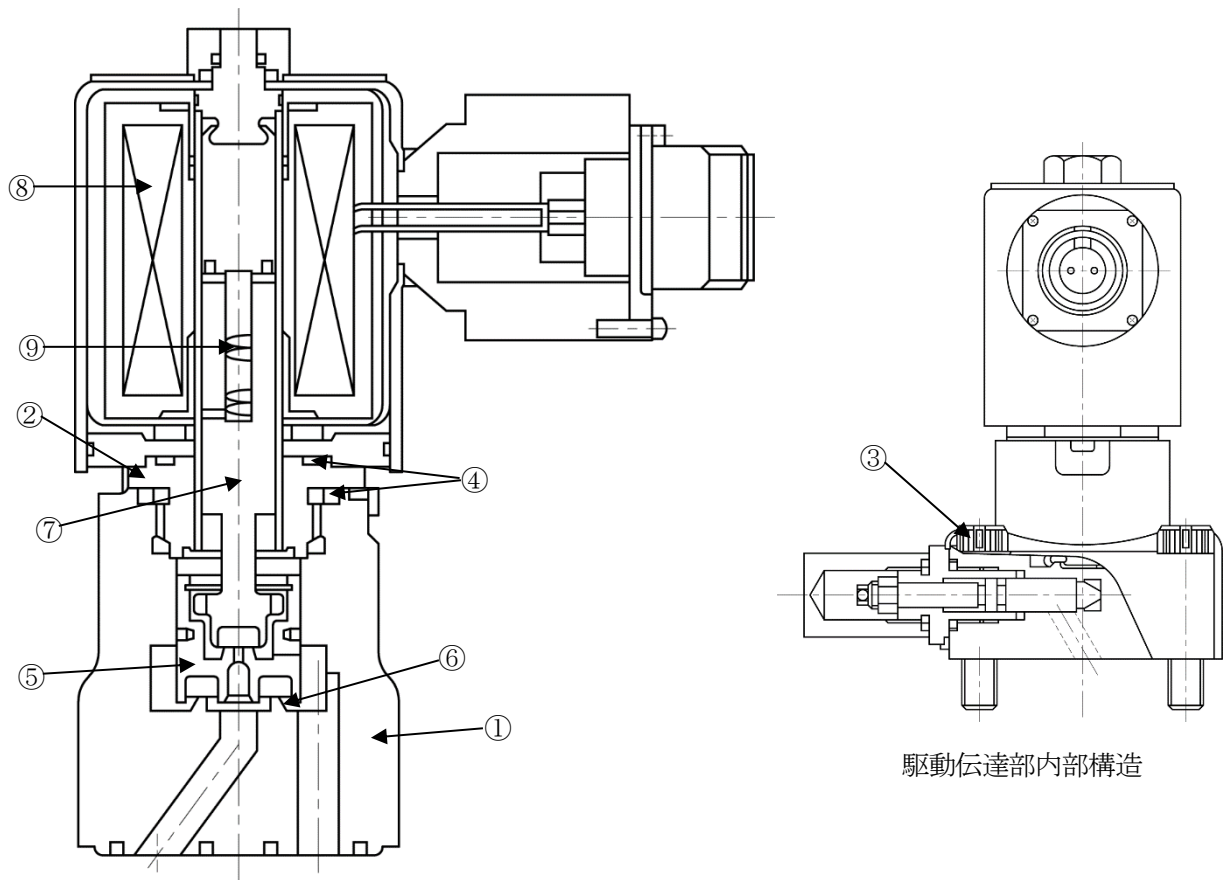
純水に接する弁箱, 弁ふた, 弁座及び弁体はステンレス鋼で製作されている。

なお, 当該弁については, コイルボンネットを取外し, 弁ふたを取外すことにより, 弁内部の点検手入れが可能である。

CRD 駆動水安定弁の構造図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

CRD 駆動水安定弁主要部位の使用材料を表 2.1-1 に, 使用条件を表 2.1-2 に示す。



No.	部位	No.	部位
①	弁箱	⑥	弁座
②	弁ふた	⑦	プランジャー
③	ジョイントボルト	⑧	コイル
④	Oリング	⑨	スプリング
⑤	弁体		

図 2.1-1 浜岡 4 号機 CRD 駆動水安定弁構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 CRD 駆動水安定弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	ステンレス鋼
		弁ふた	ステンレス鋼
		ジョイントボルト	低合金鋼
	シール	O リング	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	弁体	(定期取替品)
		弁座	ステンレス鋼
作動機能の維持	駆動力伝達	プランジャー	(定期取替品)
		コイル	銅
		スプリング	(定期取替品)

表 2.1-2 浜岡 4 号機 CRD 駆動水安定弁の使用条件

最高使用圧力	13.83 MPa
最高使用温度	66 °C
流体	純水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

電磁弁の機能である流体仕切機能の達成に必要な項目は以下のとおり。

- ①バウンダリの維持
- ②隔離機能の維持
- 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

(1) 想定される経年劣化事象

電磁弁について、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 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

なお、消耗品及び定期取替品は次項のとおり評価対象外とする。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

弁体、プランジャー、スプリング及び Oリングは消耗品又は定期取替品であり、設計時に長期使用せず取替えを前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

- ①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）
- 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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 弁座の摩耗

弁座は弁が開閉するとシート面で摺動するため、摩耗が想定される。しかしながら、弁座はステンレス鋼であり、弁座と接する消耗品である弁体シート部（テフロン）よりも硬く摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

b. ジョイントボルトの腐食（全面腐食）

ジョイント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、屋内空調環境下に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

c. 弁箱及び弁ふたの貫粒型応力腐食割れ

弁箱及び弁ふたはステンレス鋼であり、塩分が付着することに起因する貫粒型応力腐食割れが想定される。しかしながら、付着塩分量を維持管理基準以下に管理するため代表ポイントにおける付着塩分量測定を実施している。清掃基準を超えた場合には清掃を計画するとともに、目視点検を実施し、必要に応じて補修又は取替えを行うことで設備の健全性を定期的に確認している。

d. コイルの絶縁特性低下

コイルの絶縁物は有機物であるため、熱による特性変化、絶縁物に付着する埃等、熱的要因、環境的要因による絶縁特性低下が想定される。しかしながら、コイルの絶縁特性低下に対しては、点検時における目視点検、清掃及び絶縁抵抗測定により設備の健全性を定期的に確認している。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

表 2.2-1 浜岡 4 号機 CRD 駆動水安定弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	その他	
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良		
バウンダリの維持	耐圧	弁箱		ステンレス鋼				△*1				*1:貫粒型応力腐食割れ
		弁ふた		ステンレス鋼				△*1				
		ジョイントボルト		低合金鋼		△						
	シール	0 リング	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体	◎									
		弁座		ステンレス鋼	△							
作動機能の維持	駆動力伝達	プランジャー	◎									
		コイル		銅					△			
		スプリング	◎									

△：高経年化対策上着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 上

8 制御弁

[対象系統]

- ① 制御棒駆動水圧系
- ② 原子炉冷却材浄化系
- ③ 原子炉機器冷却水系
- ④ 高圧炉心スプレイ機器冷却水系
- ⑤ 非常用空調機器冷水系

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造, 材料及び使用条件	3
2.1.1 CUW ろ過脱塩塔流量調整弁	3
2.1.2 RCCW 温度調整弁	6
2.1.3 CRD 駆動水流量調整弁	9
2.2 経年劣化事象の抽出	12
2.2.1 機器の機能達成に必要な項目	12
2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	12
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	13
3. 代表機器以外への展開	18
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	18
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	19

1. 対象機器及び代表機器の選定

制御弁の主な仕様を表 1-1 に示す。

これらの制御弁をグループ化し、それぞれのグループより代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

弁箱材料，内部流体を分類基準とし，制御弁を表 1-1 に示すとおりグループ化する。

1.2 代表機器の選定

表 1-1 に分類したグループ毎に，原則として重要度，使用状態，最高使用温度，最高使用圧力及び口径の観点から代表機器を選定する。

(1) 純水系炭素鋼制御弁（内部流体：純水，弁箱材質：炭素鋼）

純水系ラインに使用されている炭素鋼制御弁は，重要度，使用状態，最高使用温度，最高使用圧力，口径が同等であるため，設置環境を踏まえて CUW ろ過脱塩塔流量調整弁を代表機器とする。

(H4-G11-FV-018A/B, 150A)

(2) 冷却水系炭素鋼制御弁（内部流体：冷却水（防錆剤入り），弁箱材質：炭素鋼）

冷却水系ラインに使用されている炭素鋼制御弁のうち，重要度，最高使用温度，口径の観点から RCCW 温度調整弁を代表機器とする。

(H4-P21-TV-006A-1/A-2/B-1/B-2, 700A)

(3) 純水系ステンレス鋼制御弁（内部流体：純水，弁箱材質：ステンレス鋼）

純水系ラインに使用されているステンレス鋼制御弁は，CRD 駆動水流量調整弁のみが属するため，CRD 駆動水流量調整弁を代表機器とする。

(H4-C11-FV-010A/B, 50A)

表 1-1 浜岡 4 号機 制御弁のグループ化及び代表機器の選定

分類基準		系統名称	選定基準					代表選定	代表機器	選定理由
弁箱材料	流体		重要度*1	使用条件						
				使用状態	最高使用温度(°C)	最高使用圧力	口径(A)			
炭素鋼	純水	原子炉冷却材浄化系	PS-2	連続	66	10.20 MPa	150	◎	CUW ろ過脱塩塔流量調整弁 (66°C, 10.20MPa, 150A) H4-G11-FV-018A/B	設置環境
	冷却水*2	原子炉機器冷却水系	MS-1	連続	70	1.37 MPa	700	◎	RCCW 温度調整弁 (70°C, 1.37MPa, 700A) H4-P21-TV-006A-1/A-2/ B-1/B-2	重要度 最高使用温度 口径
		高压炉心スプレイ機器冷却水系	MS-1	連続	70	1.37 MPa	300			
		非常用空調機器冷却水系	MS-1	連続	66	1.08 MPa	150			
ステンレス鋼	純水	制御棒駆動水圧系	高*3	連続	66	13.8 MPa	50	◎	CRD 駆動水流量調整弁 (66°C, 13.8MPa, 50A) H4-C11-FV-010A/B	

*1：最上位の重要度を示す

*2：冷却水（防錆剤入り）を示す

*3：最高使用温度が 95°C を超え、又は最高使用圧力が 1,900kPa を超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス 3 の機器

2. 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弁について技術評価を実施する。

- ① CUV ろ過脱塩塔流量調整弁
- ② RCCW 温度調整弁
- ③ CRD 駆動水流量調整弁

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 CUV ろ過脱塩塔流量調整弁

(1) 構造

CUV ろ過脱塩塔流量調整弁は口径 150A, 圧力クラス 900Lb の制御弁で, 2 台設置されている。

弁本体は, 純水を内包する耐圧部 (弁箱, 弁ふた, ジョイントボルト・ナット, 軸封部), 純水を仕切る隔離部 (弁体, 弁座) 及び弁体に駆動力を伝達する駆動力伝達部 (弁棒, ヨーク) からなる。

純水に接する弁箱, 弁ふたは炭素鋼鋳鋼, 弁体及び弁座はステンレス鋼で製作されている。また, 軸封部には流体の漏れを防止するためグランドパッキンが使用されている。

なお, 当該弁については, ジョイントボルト・ナットを取外すことにより, 弁内部の点検手入れが可能である。

CUV ろ過脱塩塔流量調整弁の構造図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

CUV ろ過脱塩塔流量調整弁主要部位の使用材料を表 2.1-1 に, 使用条件を表 2.1-2 に示す。

No.	部位
①	弁箱
②	弁ふた
③	ジョイントボルト・ナット
④	ガスケット
⑤	グランドパッキン
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	弁棒
⑨	ヨーク

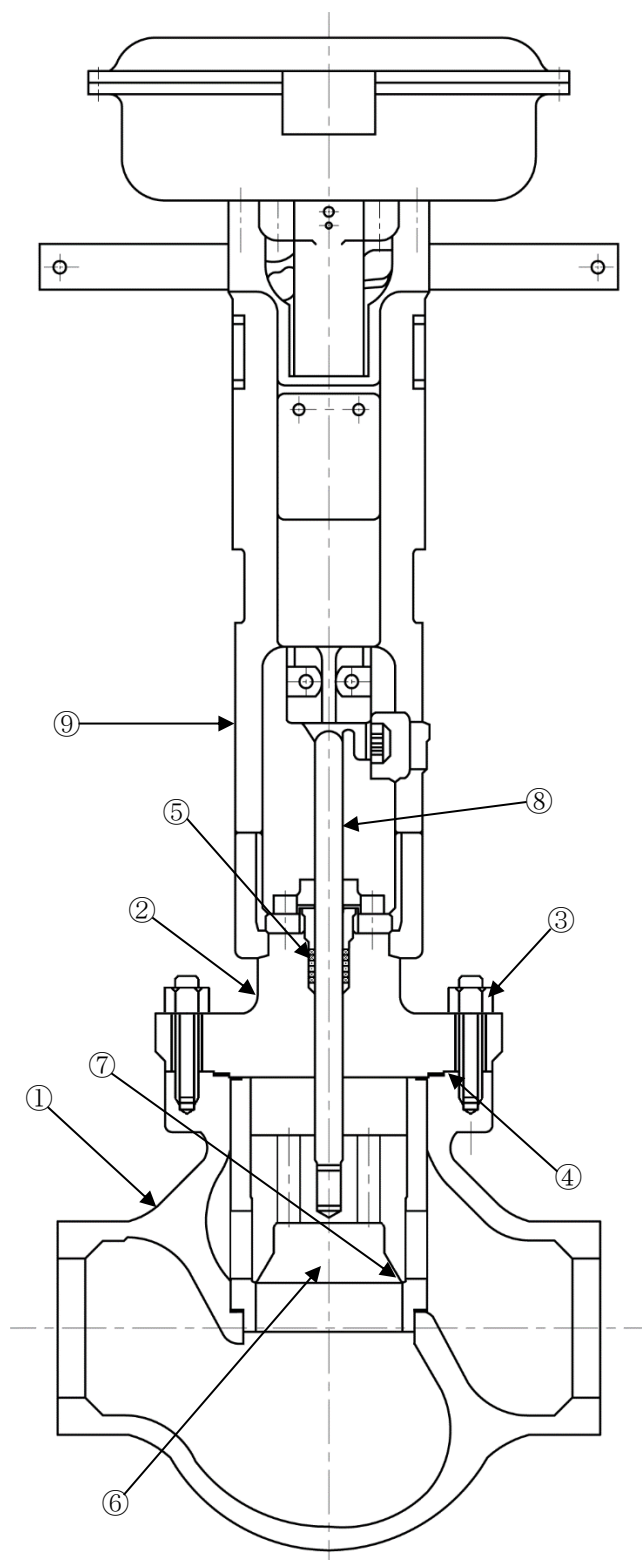


図 2.1-1 浜岡 4 号機 CUV ろ過脱塩塔流量調整弁構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 CUW ろ過脱塩塔流量調整弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	炭素鋼鋳鋼
		弁ふた	炭素鋼鋳鋼
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼, 炭素鋼
	シール	ガスケット	(消耗品)
		グラウンドパッキン	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	弁体	ステンレス鋼
		弁座	ステンレス鋼
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒	ステンレス鋼
		ヨーク	炭素鋼鋳鋼

表 2.1-2 浜岡 4 号機 CUW ろ過脱塩塔流量調整弁の使用条件

最高使用圧力	10.20 MPa
最高使用温度	66 °C
流体	純水

2.1.2 RCCW 温度調整弁

(1) 構造

RCCW 温度調整弁は口径 700A, 圧力クラス 150Lb の制御弁で, 4 台設置されている。

弁本体は, 冷却水 (防錆剤入り) を内包する耐圧部 (弁箱, 弁ふた, ジョイントボルト・ナット, 軸封部), 冷却水 (防錆剤入り) を仕切る隔離部 (弁体, 弁座 (弁体シート)) 及び弁体に駆動力を伝達する駆動力伝達部 (弁棒, ヨーク, ピン) からなる。

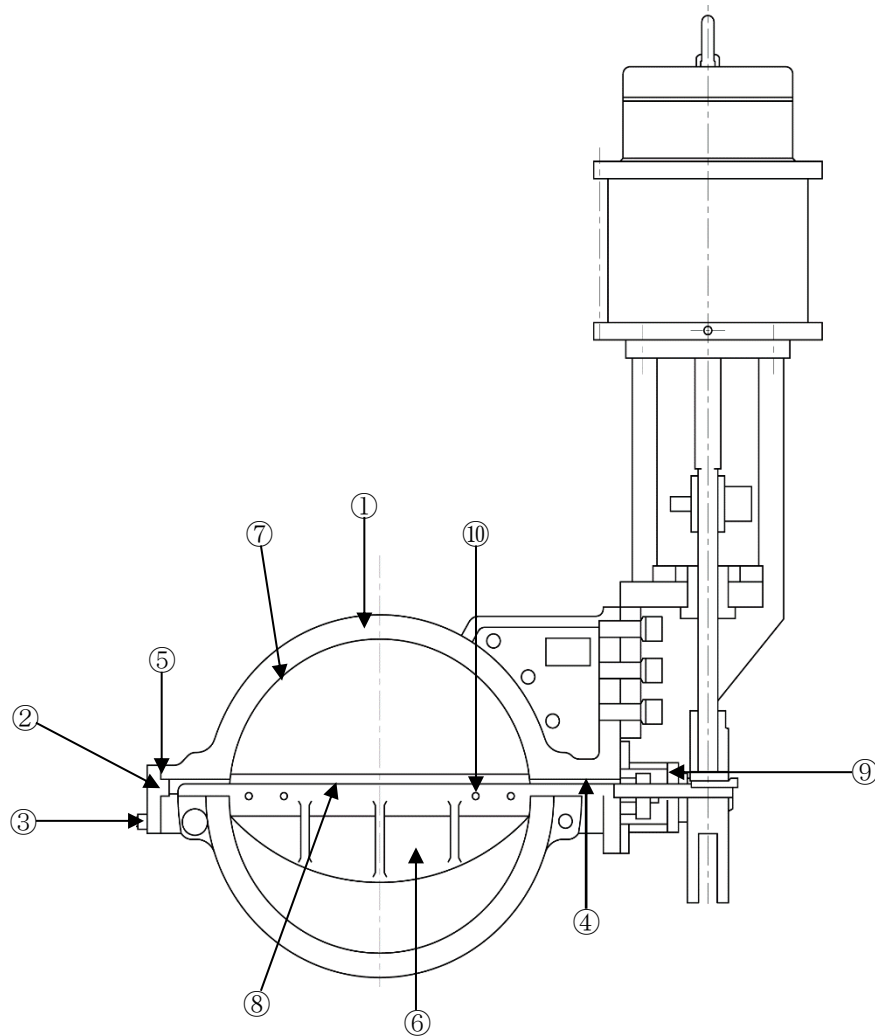
冷却水 (防錆剤入り) に接する弁箱及び弁体は炭素鋼鋳鋼, 弁ふたは炭素鋼で製作されており, 軸封部には流体の漏れを防止するためグランドパッキンが使用されている。

なお, 当該弁については, フランジボルトを緩め弁箱を取外すことにより, 弁内部の点検手入れが可能である。

RCCW 温度調整弁の構造図を図 2.1-2 に示す。

(2) 材料及び使用条件

RCCW 温度調整弁主要部位の使用材料を表 2.1-3 に, 使用条件を表 2.1-4 に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁ふた
③	ジョイントボルト・ナット
④	グランドパッキン
⑤	Oリング
⑥	弁体
⑦	弁座 (弁体シート)
⑧	弁棒
⑨	ヨーク
⑩	ピン

図 2.1-2 浜岡 4 号機 RCCW 温度調整弁構造図

表 2.1-3 浜岡 4 号機 RCCW 温度調整弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	炭素鋼鋳鋼
		弁ふた	炭素鋼
		ジョイントボルト・ナット	低合金鋼, 炭素鋼
	シール	グランドパッキン	(消耗品)
		Oリング	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	弁体	炭素鋼鋳鋼
		弁座 (弁体シート)	(消耗品)
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒	ステンレス鋼
		ヨーク	炭素鋼
		ピン	ステンレス鋼

表 2.1-4 浜岡 4 号機 RCCW 温度調整弁の使用条件

最高使用圧力	1.37 MPa
最高使用温度	70 °C
流体	冷却水 (防錆剤入り)

2.1.3 CRD 駆動水流量調整弁

(1) 構造

CRD 駆動水流量調整弁は口径 50A, 圧力クラス 900Lb の制御弁で, 2 台設置されている。

弁本体は, 純水を内包する耐圧部 (弁箱, 弁ふた, ジョイントボルト・ナット, 軸封部), 純水を仕切る隔離部 (弁体, 弁座) 及び弁体に駆動力を伝達する駆動力伝達部 (弁棒, ヨーク) からなる。

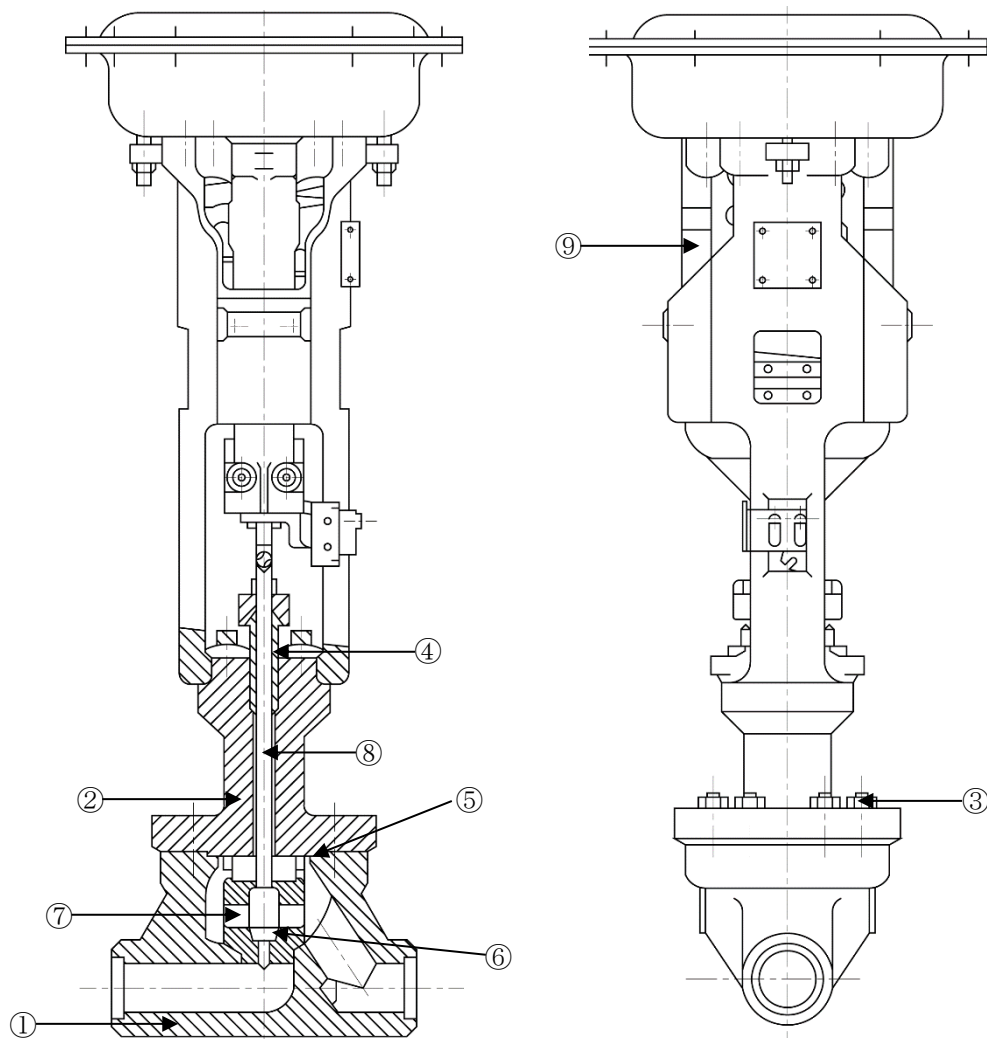
純水に接する弁箱, 弁ふた, 弁体及び弁座はステンレス鋼で製作されている。また, 軸封部には流体の漏れを防止するためグランドパッキンが使用されている。

なお, 当該弁については, ジョイントボルト・ナットを取外すことにより, 弁内部の点検手入りが可能である。

CRD 駆動水流量調整弁の構造図を図 2.1-3 に示す。

(2) 材料及び使用条件

CRD 駆動水流量調整弁主要部位の使用材料を表 2.1-5 に, 使用条件を表 2.1-6 に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁ふた
③	ジョイントボルト・ナット
④	グランドパッキン
⑤	ガスケット
⑥	弁体
⑦	弁座
⑧	弁棒
⑨	ヨーク

図 2.1-3 浜岡 4 号機 CRD 駆動水流量調整弁構造図

表 2.1-5 浜岡 4 号機 CRD 駆動水流量調整弁主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	弁箱	ステンレス鋼
		弁ふた	ステンレス鋼
		ジョイントボルト・ナット	ステンレス鋼
	シール	グラウンドパッキン	(消耗品)
		ガスケット	(消耗品)
隔離機能の維持	隔離	弁体	ステンレス鋼
		弁座	ステンレス鋼
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒	ステンレス鋼
		ヨーク	炭素鋼鋳鋼

表 2.1-6 浜岡 4 号機 CRD 駆動水流量調整弁の使用条件

最高使用圧力	13.8 MPa
最高使用温度	66 °C
流体	純水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

制御弁の機能である流体調節、隔離機能の達成に必要な項目は以下のとおり。

- ①バウンダリの維持
- ②隔離機能の維持
- 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

(1) 想定される経年劣化事象の抽出

制御弁について、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、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表 2.2-1 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

なお、消耗品及び定期取替品は次項のとおり評価対象外とする。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

グランドパッキン、ガスケット、Oリング、弁座（弁体シート）は消耗品であり、設計時に長期使用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。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

- ①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）
- 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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 弁棒の摩耗 [共通]

弁棒はグランドパッキンと接触することにより、摩耗が想定される。しかしながら、弁棒はステンレス鋼であり、接触部はグランドパッキンよりも硬いことから摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

b. ピンの摩耗 [RCCW 温度調整弁]

ピンは弁を開閉作動させることにより、他の部位との接触部に摩耗が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により、設備の健全性を定期的に確認している。

c. 弁箱及び弁ふた外面の腐食（全面腐食） [CUW ろ過脱塩塔流量調整弁, RCCW 温度調整弁]

弁箱及び弁ふたは炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であるため、腐食が想定される。しかしながら、外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

d. 弁箱及び弁ふた内面、弁体の腐食（全面腐食） [RCCW 温度調整弁]

弁箱、弁ふた及び弁体は炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であることから、腐食が想定される。しかしながら、内部流体は防錆剤入り冷却水であり、材料表面が不動態に保たれているため、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

e. ヨークの腐食（全面腐食） [共通]

ヨークは炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であることから、腐食が想定される。しかしながら、大気接触部は塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- f. ジョイントボルト・ナットの腐食（全面腐食） [CUW ろ過脱塩塔流量調整弁, RCCW 温度調整弁]

ジョイントボルト・ナットは低合金鋼又は炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- g. 弁箱及び弁ふた内面の腐食（流れ加速型腐食（以下、「FAC」という。）） [CUW ろ過脱塩塔流量調整弁]

弁箱及び弁ふたは炭素鋼であり、内部流体が純水であること、また、制御弁は流量の調整に伴い中間開度での運用が多いことから、FAC が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- h. 弁箱及び弁ふたの貫粒型応力腐食割れ [CRD 駆動水流量調整弁]

弁箱及び弁ふたはステンレス鋼であるため、貫粒型応力腐食割れが想定される。しかしながら、付着塩分量を維持管理基準以下に管理するため代表ポイントにおける付着塩分量測定を実施している。清掃基準を超えた場合には清掃を計画するとともに、目視点検を実施し、必要に応じて補修又は取替えを行うことで設備の健全性を定期的に確認している。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

表 2.2-1(1/3) 浜岡 4 号機 CUW ろ過脱塩塔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	サブシステム	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	耐圧	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}					*1:FAC *2:外面	
		弁ふた		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
		ジョイント ボルト・ナット		低合金鋼, 炭素鋼		△						
	シール	ガスケット	◎									
		グランドパッキン	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		ステンレス鋼								
		弁座		ステンレス鋼								
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒		ステンレス鋼	△							
		ヨーク		炭素鋼鋳鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(2/3) 浜岡 4 号機 RCCW 温度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	サブシステム	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	耐圧	弁箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						*1:内面 *2:外面
		弁ふた		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2}						
		ジョイントボルト・ナット		低合金鋼, 炭素鋼		△						
	シール	グランドパッキン	◎									
		Oリング	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		炭素鋼鋳鋼		△						
		弁座 (弁体シート)	◎									
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒		ステンレス鋼	△							
		ヨーク		炭素鋼		△						
		ピン		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(3/3) 浜岡 4 号機 CRD 駆動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	サブシステム	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	耐圧	弁箱		ステンレス鋼				△*1			*1:貫粒型応力腐食割れ	
		弁ふた		ステンレス鋼				△*1				
		ジョイントボルト・ナット		ステンレス鋼								
	シール	グランドパッキン	◎									
		ガスケット	◎									
隔離機能の維持	隔離	弁体		ステンレス鋼								
		弁座		ステンレス鋼								
作動機能の維持	駆動力伝達	弁棒		ステンレス鋼	△							
		ヨーク		炭素鋼鋳鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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を検討した。

[対象系統]

- ① 原子炉冷却材浄化系
- ② 高圧炉心スプレイ機器冷却水系
- ③ 非常用空調機器冷水系

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

代表機器同様、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 弁棒の摩耗 [共通]

代表機器同様、弁棒はグランドパッキンと接触することにより、摩耗が想定される。しかしながら、弁棒はステンレス鋼であり、接触部はグランドパッキンよりも硬いことから摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

b. ピンの摩耗 [冷却水系炭素鋼制御弁]

代表機器同様、ピンは弁を開閉作動させることにより、他の部位との接触部に摩耗が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により、設備の健全性を定期的に確認している。

c. 弁箱及び弁ふた外面の腐食（全面腐食） [冷却水系炭素鋼制御弁]

代表機器同様、弁箱及び弁ふたは炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であるため、腐食が想定される。しかしながら、外面については屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

d. 弁箱及び弁ふた内面、弁体の腐食（全面腐食） [冷却水系炭素鋼制御弁]

代表機器同様、弁箱、弁ふた及び弁体は炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であることから、腐食が想定される。しかしながら、内部流体は防錆剤入り冷却水であり、材料表面が不動態に保たれているため、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

e. ジョイントボルト・ナットの腐食（全面腐食） [共通]

代表機器同様、ジョイントボルト・ナットは炭素鋼又は低合金鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下にあり、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

f. ヨークの腐食（全面腐食） [共通]

代表機器同様，ヨークは炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であることから，腐食が想定される。しかしながら，大気接触部は塗装を施していることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

g. 弁箱及び弁ふた内面の腐食(FAC) [純水系炭素鋼制御弁]

代表機器同様，弁箱及び弁ふたは炭素鋼鋳鋼であり，内部流体が純水であること，また，制御弁は流量の調整に伴い中間開度での運用が多いことから，FAC が想定される。しかしながら，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

以 上

9 電動弁用駆動部

[対象系統]

- ① 余熱除去系
- ② 低圧炉心スプレイ系
- ③ 高圧炉心スプレイ系
- ④ 原子炉冷却材浄化系
- ⑤ 燃料プール冷却浄化系
- ⑥ 原子炉機器冷却水系
- ⑦ 高圧炉心スプレイ機器冷却水系
- ⑧ 原子炉機器冷却海水系
- ⑨ 高圧炉心スプレイ機器冷却海水系
- ⑩ 計装用圧縮空気系
- ⑪ 非常用ガス処理系
- ⑫ 常用空調機器冷水系

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造, 材料及び使用条件	3
2.1.1 RHR ポンプ原子炉側入口第1 隔離弁駆動部.....	3
2.1.2 RCWS ポンプ出口弁駆動部.....	7
2.2 経年劣化事象の抽出	11
2.2.1 機器の機能達成に必要な項目	11
2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	11
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	12
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	16
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	18
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	19

1. 対象機器及び代表機器の選定

電動弁用駆動部の主な仕様を表 1-1 に示す。

これらの電動弁用駆動部をグループ化し、それぞれのグループより代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

設置場所及び電源種別を分類基準とし、電動弁用駆動部を表 1-1 に示すとおりグループ化する。

1.2 代表機器の選定

表 1-1 に分類したグループ毎に、原則として重要度、口径及び出力（電動機）の観点から代表機器を選定する。

(1) 設置場所が原子炉格納容器内の電動弁用駆動部（交流）

原子炉格納容器内設置の電動弁用駆動部（交流）のうち、口径の観点から RHR ポンプ原子炉側入口第 1 隔離弁駆動部を代表機器とする。

(H4-E11-MOD-F024A/B, 400A)

(2) 設置場所が原子炉格納容器外（屋内）の電動弁用駆動部（交流）

原子炉格納容器外（屋内）設置の電動弁用駆動部（交流）のうち、重要度、口径、出力の観点から RCWS ポンプ出口弁駆動部を代表機器とする。

(H4-P41-MOD-F008A/B, 800A)

表 1-1 浜岡 4 号機 電動弁用駆動部のグループ化及び代表機器の選定

分類基準		電源	系統名称	重要度*1	選定基準			代表選定	代表機器	選定理由
区分	設置場所				使用条件					
					口径(A)	出力 (電動機) (kW)	周囲温度 (°C)			
電動弁用 駆動部	原子炉格納 容器内	交流	余熱除去系	MS-1	400	7.4	66	◎	RHR ポンプ原子炉側 入口第 1 隔離弁 駆動部 (400A, 7.4kW) H4-E11-MOD-F024A/B	口径
			原子炉冷却材浄化系	MS-1	200	9.8	66			
	原子炉格納 容器外 (屋内)	交流	余熱除去系	MS-1	100~600	0.43~19	50		RCWS ポンプ出口弁 駆動部 (800A, 2.4kW) H4-P41-MOD-F008A/B	重要度 口径 出力
			低圧炉心スプレイ系	MS-1	100~600	2.1~11.9	50			
			高圧炉心スプレイ系	MS-1	100~600	2.1~19	50			
			原子炉冷却材浄化系	MS-1	200	9.8	40			
			燃料プール冷却浄化系	MS-2	200	3.8	50			
			原子炉機器冷却水系	MS-1	150~500	0.56~3.1	50			
			高圧炉心スプレイ機器 冷却水系	MS-1	200~300	0.82~1.3	40			
			原子炉機器冷却海水系	MS-1	500~800	0.57~2.4	40	◎		
			高圧炉心スプレイ機器 冷却海水系	MS-1	350~800	0.25~0.57	40			
			計装用圧縮空気系	MS-1	50	0.13	40			
			非常用ガス処理系	MS-1	300	0.57	50			
			常用空調機器冷却水系	MS-1	100	0.3	40			

*1：最上位の重要度を示す

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弁について技術評価を実施する。

- ① RHR ポンプ原子炉側入口第1 隔離弁駆動部
- ② RCWS ポンプ出口弁駆動部

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 RHR ポンプ原子炉側入口第1 隔離弁駆動部

(1) 構造

RHR ポンプ原子炉側入口第1 隔離弁駆動部はモータ, ギア等で構成されており, モータの回転力を, ギアを介して弁棒, ステムナットに伝達し, 弁を駆動させる構造である。

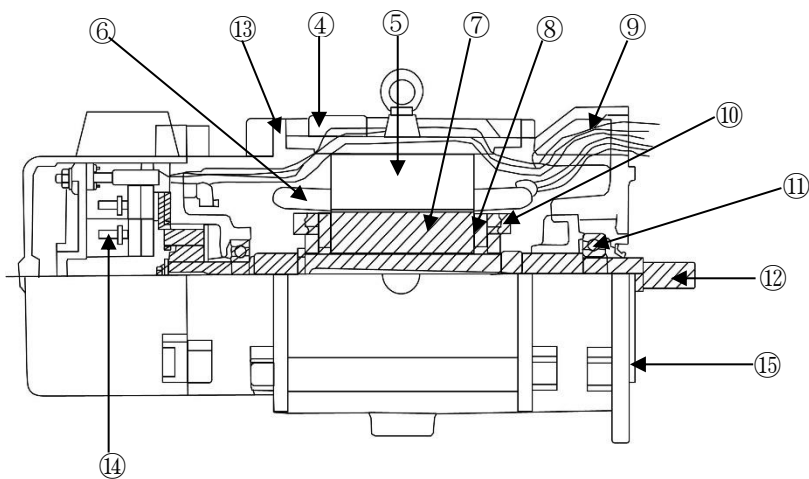
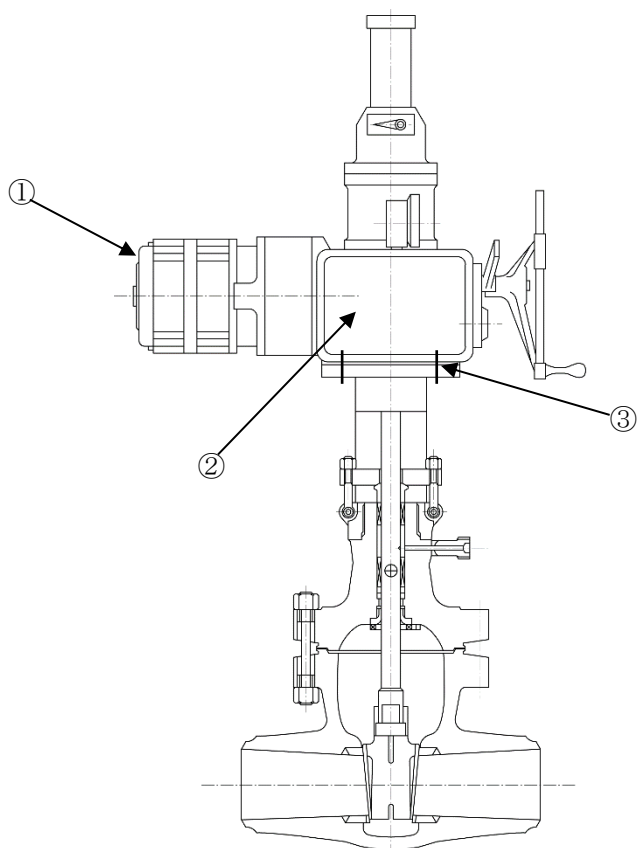
なお, 当該弁駆動部については, 駆動装置部ケース類を取外すことで駆動部内の点検手入れが可能である。

RHR ポンプ原子炉側入口第1 隔離弁駆動部の構造図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

RHR ポンプ原子炉側入口第1 隔離弁駆動部主要部位の使用材料を表 2.1-1 に, 使用条件を表 2.1-2 に示す。

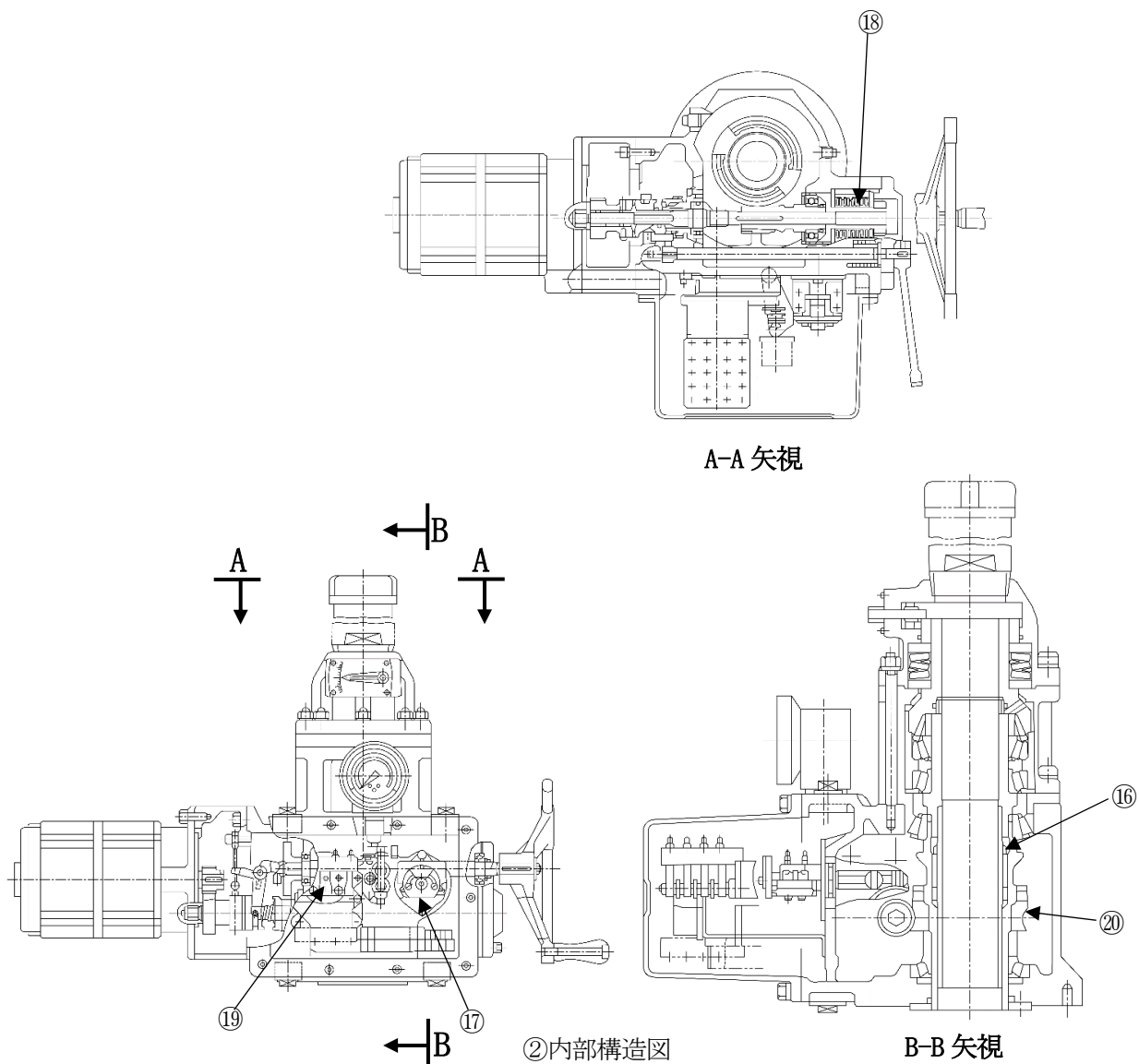
No.	部位
①	モータ
②	駆動装置 (ギア機構, スイッチ類内蔵)
③	取付ボルト



①内部構造図
斜線：回転部位

No.	部位
④	フレーム
⑤	固定子コア
⑥	固定子コイル
⑦	回転子コア
⑧	回転子棒
⑨	口出線・接続部品
⑩	回転子エンドリング
⑪	軸受 (転がり)
⑫	主軸
⑬	エンドブラケット
⑭	ブレーキ電磁コイル
⑮	ガスケット

図 2.1-1(1/2) 浜岡 4 号機 RHR ポンプ原子炉側入口第 1 隔離弁駆動部構造図



No.	部位
①⑥	ステムナット
①⑦	トルクスイッチ
①⑧	トルクスプリングパック
①⑨	リミットスイッチ
②⑩	ギア

図 2.1-1 (2/2) 浜岡 4 号機 RHR ポンプ原子炉側入口第 1 隔離弁駆動部構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 RHR ポンプ原子炉側入口第 1 隔離弁駆動部主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
モータ駆動力機能の維持	エネルギー変換	フレーム	鋳鉄
		固定子コア	珪素鋼板
		固定子コイル	銅, 絶縁物 (ポリアミドイミド, シリコンワニス)
		回転子コア	珪素鋼板
		回転子棒	銅
		口出線・接続部品	銅, 絶縁物 (シリコーンゴム)
		回転子エンドリング	銅
		軸受 (転がり)	軸受鋼
		主軸	低合金鋼
		エンドブラケット	鋳鉄
		ブレーキ電磁コイル	銅, 絶縁物 (ポリアミドイミド, シリコンワニス)
		ガスケット	(消耗品)
駆動伝達機能の維持	エネルギー伝達	ステムナット	銅合金鋳物
		トルクスイッチ	銅合金, 絶縁物 (ジアリルフタレート樹脂)
		トルクスプリングパック	ばね鋼, 低合金鋼
		リミットスイッチ	銅合金, 絶縁物 (ジアリルフタレート樹脂)
		ギア	低合金鋼, 銅合金鋳物
機器の支持	支持	取付ボルト	低合金鋼

表 2.1-2 浜岡 4 号機 RHR ポンプ原子炉側入口第 1 隔離弁駆動部の使用条件

出力*1	7.4 kW
定格電圧	AC 440 V
設置場所	原子炉格納容器内
周囲温度	66°C以下*2

*1：電動機の定格出力を示す

*2：原子炉格納容器内で電動弁用駆動部が設置されている最も周囲温度が高い区域の設計値を示す

2.1.2 RCWS ポンプ出口弁駆動部

(1) 構造

RCWS ポンプ出口弁駆動部はモータ、ギア等で構成されており、モータの回転力を、ギアを介して弁棒、ステムナットに伝達し、弁を駆動させる構造である。

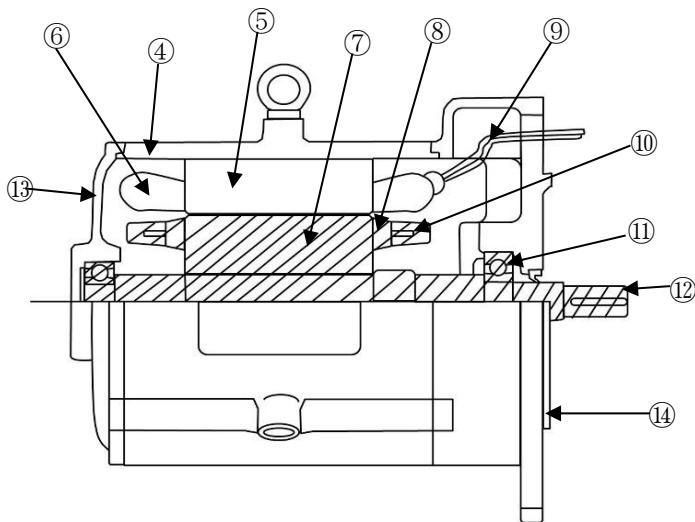
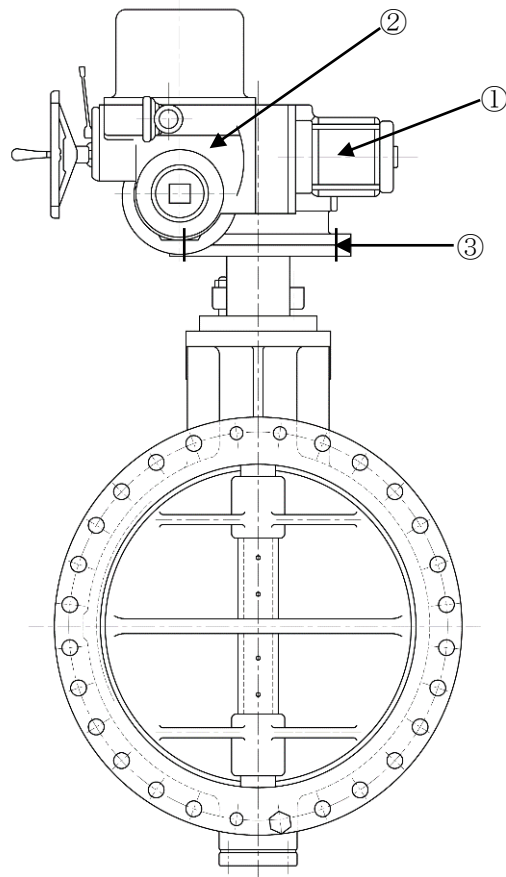
なお、当該弁駆動部については、駆動装置部ケース類を取外すことで駆動部内の点検手入れが可能である。

RCWS ポンプ出口弁駆動部の構造図を図 2.1-2 に示す。

(2) 材料及び使用条件

RCWS ポンプ出口弁駆動部主要部位の使用材料を表 2.1-3 に、使用条件を表 2.1-4 に示す。

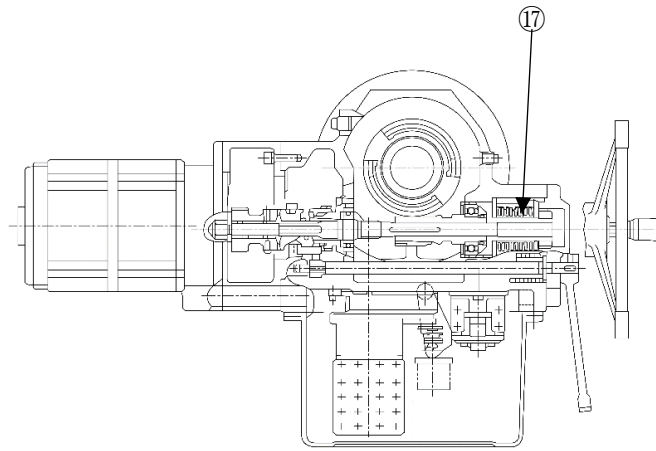
No.	部位
①	モータ
②	駆動装置 (ギア機構, スイッチ類内蔵)
③	取付ボルト



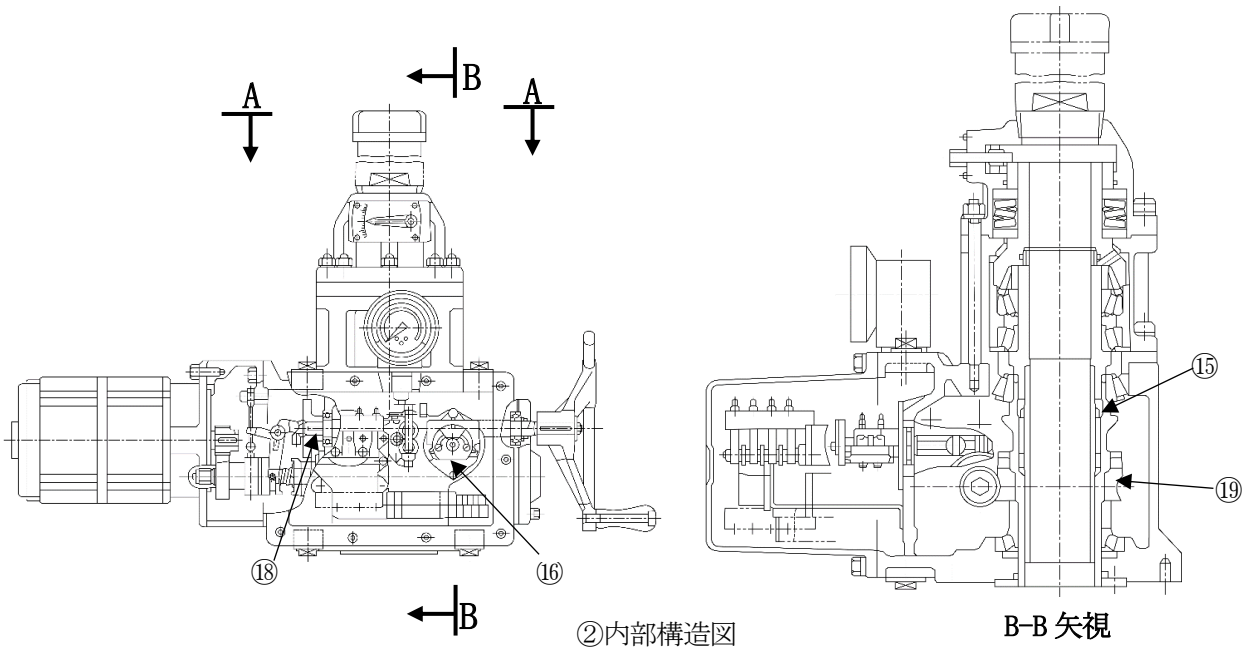
①内部構造図
斜線：回転部位

No.	部位
④	フレーム
⑤	固定子コア
⑥	固定子コイル
⑦	回転子コア
⑧	回転子棒
⑨	口出線・接続部品
⑩	回転子エンドリング
⑪	軸受(転がり)
⑫	主軸
⑬	エンドブラケット
⑭	ガスケット

図 2.1-2(1/2) 浜岡 4 号機 RCWS ポンプ出口弁駆動部構造図



A-A 矢視



②内部構造図

B-B 矢視

No.	部位
⑮	ステムナット
⑯	トルクスイッチ
⑰	トルクスプリングパック
⑱	リミットスイッチ
⑲	ギア

図 2.1-2(2/2) 浜岡 4 号機 RCWS ポンプ出口弁駆動部構造図

表 2.1-3 浜岡 4 号機 RCWS ポンプ出口弁駆動部主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
モータ駆動力機能の維持	エネルギー変換	フレーム	鋳鉄
		固定子コア	珪素鋼板
		固定子コイル	銅, 絶縁物 (ポリエステル線, ポリエステルワニス)
		回転子コア	珪素鋼板
		回転子棒	アルミ
		口出線・接続部品	銅, 絶縁物 (シリコンゴム)
		回転子エンドリング	アルミ
		軸受 (転がり)	軸受鋼
		主軸	低合金鋼
		エンドブラケット	鋳鉄
		ガスケット	(消耗品)
駆動伝達機能の維持	エネルギー伝達	ステムナット	炭素鋼
		トルクスイッチ	アルミ, 絶縁物 (フェノール樹脂)
		トルクスプリングパック	ばね鋼, 低合金鋼
		リミットスイッチ	アルミ, 絶縁物 (フェノール樹脂)
		ギア	低合金鋼, 銅合金鋳物
機器の支持	支持	取付ボルト	炭素鋼

表 2.1-4 浜岡 4 号機 RCWS ポンプ出口弁駆動部の使用条件

出力*1	2.4 kW
定格電圧	AC 440 V
設置場所	原子炉格納容器外 (屋内)
周囲温度	40°C以下*2

*1：電動機の定格出力を示す

*2：原子炉格納容器外 (屋内) で電動弁用駆動部が設置されている最も周囲温度が高い区域の設計値を示す

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

電動弁用駆動部の機能達成に必要な項目は以下のとおり。

- ①モータ駆動力機能の維持
- ②駆動伝達機能の維持
- 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

(1) 想定される経年劣化事象

電動弁用駆動部について、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、設置場所、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表 2.2-1 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

なお、消耗品及び定期取替品は以下のとおり評価対象外とする。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

ガスケットは消耗品であり、設計時に長期使用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。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

- ①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）
- 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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として以下の事象を抽出した（表 2.2-1 で○）。

- a. 固定子コイル，口出線・接続部品及びブレーキ電磁コイルの絶縁特性低下 [RHR ポンプ原子炉側入口第 1 隔離弁駆動部]

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 軸受の摩耗 [共通]

軸受は接触面において摩耗が想定される。しかしながら、電動弁用駆動部は作動頻度が少ないことから、摩耗が発生する可能性は小さい。また、弁の動作確認により、設備の健全性を定期的を確認している。

b. 主軸の摩耗 [共通]

転がり軸受を使用している主軸は、軸受との接触面の摩耗が想定される。しかしながら、電動弁用駆動部は作動頻度が少ないことから、摩耗が発生する可能性は小さい。また、弁の動作確認により、設備の健全性を定期的を確認している。

c. ステムナット及びギアの摩耗 [共通]

ステムナット及びギアは、噛合している摺動部があることから摩耗が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

d. フレーム及びエンドブラケットの腐食（全面腐食） [共通]

フレーム及びエンドブラケットは鋳鉄であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により、設備の健全性を定期的を確認している。

e. 取付ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

取付ボルトは炭素鋼又は低合金鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。

f. トルクスイッチ及びリミットスイッチの導通不良 [共通]

トルクスイッチ及びリミットスイッチは、接点に付着する浮遊塵埃により導通不良が想定される。しかしながら、トルクスイッチ及びリミットスイッチはカバー内に収納されていることから、塵埃付着の可能性は小さい。また、分解点検時における塵埃付着の有無の目視点検及び動作確認により設備の健全性を定期的を確認し、必要に応じて取替を行っている。

g. トルクスプリングパックのへたり [共通]

トルクスプリングパックは、トルクスイッチ作動時にバネがたわむことからへたりが想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検及び動作確認により設備の健全性を定期的に確認している。

h. 固定子コイル、口出線・接続部品の絶縁特性低下 [RCWS ポンプ出口弁駆動部]

h. の評価については「ポンプモータの技術評価書」のうち、低圧ポンプモータと同一であることから、当該の評価書を参照のこと。

- (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事象を以下に示す（表 2.2-1 で▲）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても経年劣化の傾向が変化する要因があるとは考え難いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 固定子コア及び回転子コアの腐食（全面腐食） [共通]

固定子コア及び回転子コアは珪素鋼板であり、腐食が想定される。しかしながら、固定子コア及び回転子コアには絶縁ワニス処理が施されており、腐食が発生する可能性は小さい。

b. 主軸の高サイクル疲労割れ [共通]

主軸にはモータ運転時に繰返し応力が発生することから、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、主軸は設計段階において疲労割れが発生しないように考慮された設計となっており、高サイクル疲労割れが発生する可能性は小さい。

c. 回転子棒、回転子エンドリングの疲労割れ [共通]

回転子棒及び回転子エンドリングにはモータ運転時に繰返し応力が発生することから、疲労割れが想定される。しかしながら、回転子棒及び回転子エンドリングは設計段階において疲労割れが発生しないように考慮された設計となっており、疲労割れが発生する可能性は小さい。

表 2.2-1(1/2) 浜岡 4 号機 RHR ポンプ原子炉側入口第 1 隔離弁駆動部に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	材料	その他	
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	特性変化	材料劣化		
モータ駆動力機能の維持	エネルギー変換	フレーム		鋳鉄		△								*1: 高サイクル疲労割れ *2: ばねのへたり
		固定子コア		珪素鋼板		▲								
		固定子コイル		銅, 絶縁物					○					
		回転子コア		珪素鋼板		▲								
		回転子棒		銅			▲							
		口出線・接続部品		銅, 絶縁物					○					
		回転子エンドリング		銅			▲							
		軸受(転がり)		軸受鋼	△									
		主軸		低合金鋼	△		▲*1							
		エンドブラケット		鋳鉄		△								
		ブレーキ電磁コイル		銅, 絶縁物					○					
ガスケット	◎													
駆動伝達機能の維持	エネルギー伝達	ステムナット		銅合金鋳物	△									
		トルクスイッチ		銅合金, 絶縁物						△				
		トルクスプリングパック		ばね鋼, 低合金鋼								△*2		
		リミットスイッチ		銅合金, 絶縁物						△				
		ギア		低合金鋼, 銅合金鋳物	△									
機器の支持	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）

▲：（同上）（日常劣化管理事象以外）

表 2.2-1(2/2) 浜岡4号機 RCWS ポンプ出口弁駆動部に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	材料		その他
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	特性変化	材料劣化		
モータ駆動力機能の維持	エネルギー変換	フレーム		鋳鉄		△							*1:高サイクル疲労割れ *2:ばねのへたり	
		固定子コア		珪素鋼板		▲								
		固定子コイル		銅, 絶縁物					△					
		回転子コア		珪素鋼板		▲								
		回転子棒		アルミ			▲							
		口出線・接続部品		銅, 絶縁物					△					
		回転子エンドリング		アルミ			▲							
		軸受(転がり)		軸受鋼	△									
		主軸		低合金鋼	△		▲*1							
		エンドブラケット		鋳鉄		△								
		ガスケット	◎											
駆動伝達機能の維持	エネルギー伝達	ステムナット		炭素鋼	△									
		トルクスイッチ		アルミ, 絶縁物					△					
		トルクスプリングパック		ばね鋼, 低合金鋼							△*2			
		リミットスイッチ		アルミ, 絶縁物					△					
		ギア		低合金鋼, 銅合金鋳物	△									
機器の支持	支持	取付ボルト		炭素鋼		△								

△: 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象(日常劣化管理事象)

▲: (同上) (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

① 固定子コイル，口出線・接続部品及びブレーキ電磁コイルの絶縁特性低下[RHR ポンプ原子炉側入口第1 隔離弁駆動部]

a. 事象の説明

固定子コイル，口出線・接続部品及びブレーキ電磁コイルの絶縁物は有機物であるため，熱及び放射線による特性変化，振動等の機械的劣化，絶縁物に付着する塵埃等，熱的，機械的，環境的要因により経年劣化が進行し，絶縁特性が低下する可能性があることから，経年劣化に対する評価が必要である。

なお，電動弁用駆動部は低圧機器であるため，高電界下で発生するトリ－劣化等の電氣的な劣化は起きないとする。

b. 技術評価

(ア) 健全性評価

電動弁用駆動部は，作動時間が短いことから温度上昇が小さく，また固定子コイル，口出線・接続部品及びブレーキ電磁コイルは密閉されていることから，急激な絶縁特性低下が起こる可能性は低いと考えられるが，長期間の使用を考慮すると固定子コイル，口出線・接続部品及びブレーキ電磁コイルの絶縁特性低下の可能性は否定できない。

(イ) 現状保全

電動弁用駆動部絶縁物の絶縁特性低下に対しては，定期的に絶縁抵抗測定を実施し，絶縁機能に有意な変化がないことを確認している。

なお，これらの点検で有意な絶縁特性低下が認められた場合には，電動弁用駆動部の補修又は取替を行うこととしている。

(ウ) 総合評価

原子炉格納容器内の電動弁用駆動部絶縁物の絶縁特性低下の可能性は否定できないが，絶縁特性低下は点検時における絶縁抵抗測定で把握可能であるとする。

また，当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し，必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから，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. 高経年化への対応

原子炉格納容器内の電動弁用駆動部の絶縁特性低下については，高経年化対策の観点から現状保全の内容に対し追加すべき項目はなく，今後も現状保全を継続していく。

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を検討した。

[対象系統]

- ① 余熱除去系
- ② 低圧炉心スプレイ系
- ③ 高圧炉心スプレイ系
- ④ 原子炉冷却材浄化系
- ⑤ 燃料プール冷却浄化系
- ⑥ 原子炉機器冷却水系
- ⑦ 高圧炉心スプレイ機器冷却水系
- ⑧ 原子炉機器冷却海水系
- ⑨ 高圧炉心スプレイ機器冷却海水系
- ⑩ 計装用圧縮空気系
- ⑪ 非常用ガス処理系
- ⑫ 常用空調機器冷水系

〈対象電動弁用駆動部〉

- (1) 設置場所が原子炉格納容器内の電動弁用駆動部（交流）
- (2) 設置場所が原子炉格納容器外（屋内）の電動弁用駆動部（交流）

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

a. 固定子コイル，口出線・接続部品及びブレーキ電磁コイルの絶縁特性低下〔原子炉格納容器内電動弁用駆動部（交流）〕

代表機器同様，固定子コイル，口出線・接続部品及びブレーキ電磁コイルの絶縁物は有機物であるため，熱的，機械的及び環境的要因により経年劣化が進行し，絶縁特性低下を起こす可能性がある。

しかしながら，代表機器同様，絶縁抵抗測定により健全性を確認しており，点検結果から有意な絶縁特性低下が認められた場合には，電動弁用駆動部の補修，取替えを行っている。また，当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し，必要に応じて補修等の対応を行っている。

したがって，高経年化対策の観点から現状の保全内容に追加すべき項目はないものと判断した。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 軸受の摩耗 [共通]

代表機器同様、軸受は接触面において摩耗が想定される。しかしながら、電動弁用駆動部は作動頻度が少ないことから、摩耗が発生する可能性は小さい。また、弁の動作確認により、設備の健全性を定期的に確認している。

b. 主軸の摩耗 [共通]

代表機器同様、転がり軸受を使用している主軸は、軸受との接触面の摩耗が想定される。しかしながら、電動弁用駆動部は作動頻度が少ないことから、摩耗が発生する可能性は小さい。また、弁の動作確認により、設備の健全性を定期的に確認している。

c. ステムナット及びギアの摩耗 [共通]

代表機器同様、ステムナット及びギアは、噛合している摺動部があることから摩耗が想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

d. フレーム及びエンドブラケットの腐食（全面腐食） [共通]

代表機器同様、フレーム及びエンドブラケットは鋳鉄であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により、設備の健全性を定期的に確認している。

e. 取付ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

代表機器同様、取付ボルトは炭素鋼又は低合金鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

f. トルクスイッチ及びリミットスイッチの導通不良 [共通]

代表機器同様、トルクスイッチ及びリミットスイッチは、接点に付着する浮遊塵埃により導通不良が想定される。しかしながら、トルクスイッチ及びリミットスイッチはカバー内に収納されていることから、塵埃付着の可能性は小さい。また、分解点検時にお

ける塵埃付着の有無の目視点検及び動作確認により設備の健全性を定期的に確認し、必要に応じて取替を行っている。

g. トルクスプリングパックのへたり [共通]

代表機器同様、トルクスプリングパックは、トルクスイッチ作動時にバネがたわむことからへたりが想定される。しかしながら、分解点検時における目視点検及び動作確認により設備の健全性を定期的に確認している。

h. 固定子コイル，口出線・接続部品の絶縁特性低下 [原子炉格納容器外（屋内）電動弁用駆動部（交流）]

h. の評価については「ポンプモータの技術評価書」のうち、低圧ポンプモータと同一であることから、当該の評価書を参照のこと。

(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事象を以下に示す。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても経年劣化の傾向が変化する要因があるとは考え難いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 固定子コア，回転子コアの腐食（全面腐食） [共通]

代表機器同様、固定子コア，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，回転子コアには絶縁ワニス処理が施されており、腐食が発生する可能性は小さい。

b. 主軸の高サイクル疲労割れ [共通]

代表機器同様、主軸にはモータ運転時に繰返し応力が発生することから、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、主軸は設計段階において疲労割れが発生しないように考慮された設計となっており、高サイクル疲労割れが発生する可能性は小さい。

c. 回転子棒，回転子エンドリングの疲労割れ [共通]

代表機器同様、回転子棒及び回転子エンドリングにはモータ運転時に繰返し応力が発生することから、疲労割れが想定される。しかしながら、回転子棒及び回転子エンドリングは設計段階において疲労割れが発生しないように考慮された設計となっており、疲労割れが発生する可能性は小さい。

以 上

10 空気作動弁用駆動部

[対象系統]

- ① 原子炉機器冷却水系
- ② 高圧炉心スプレイ機器冷却水系
- ③ 非常用ガス処理系

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造, 材料及び使用条件	3
2.1.1 RCCW 緊急閉鎖弁駆動部	3
2.2 経年劣化事象の抽出	6
2.2.1 機器の機能達成に必要な項目	6
2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	6
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	7
3. 代表機器以外への展開	10
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	10
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	10

1. 対象機器及び代表機器の選定

空気作動弁用駆動部の主な仕様を表 1-1 に示す。

これらの空気作動弁用駆動部をグループ化し、それぞれのグループより代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

型式及び設置場所を分類基準とし、空気作動弁用駆動部を表 1-1 に示すとおりグループ化する。

1.2 代表機器の選定

表 1-1 に分類したグループ毎に、原則として重要度、使用状態及び口径の観点から代表機器を選定する。

(1) 設置場所が屋内のシリンダ型空気作動弁用駆動部

屋内設置のシリンダ型空気作動弁用駆動部のうち、使用状態、口径の観点から、RCCW 緊急閉鎖弁駆動部を代表機器とする。

(H4-P21-A0D-F061 A-1/A-2/B-1/B-2, 300A)

表 1-1 浜岡 4 号機 空気作動弁用駆動部のグループ化及び代表機器の選定

分類基準		系統名称	選定基準				代表選定	代表機器	選定理由
区分	設置場所		重要度*1	使用条件					
				使用状態	口径(A)	周囲温度(℃)			
シリンダ型	屋内	原子炉機器冷却水系	MS-1	連続	250~300	40	◎	RCCW 緊急閉鎖弁駆動部 (300A, 40℃) H4-P21-AOD-F061 A-1/A-2/B-1/B-2	使用状態 口径
		高圧炉心スプレイ機器冷却水系	MS-1	連続	200	40			
		非常用ガス処理系	MS-1	待機	300	40			

*1：最上位の重要度を示す

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弁について技術評価を実施する。

① RCCW 緊急閉鎖弁駆動部

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 RCCW 緊急閉鎖弁駆動部

(1) 構造

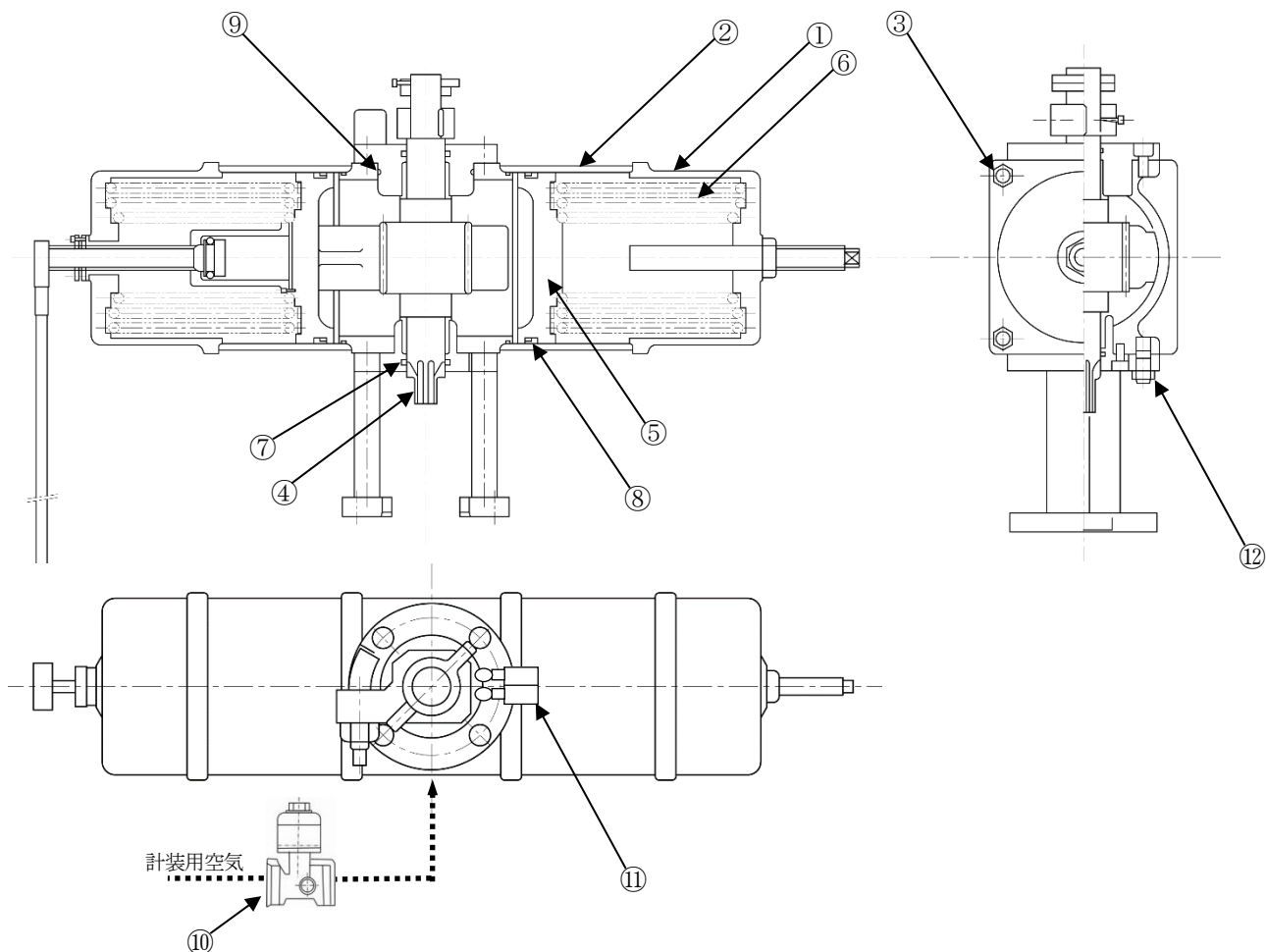
RCCW 緊急閉鎖弁駆動部はシリンダ, スプリング等で構成されており, 空気圧によりシリンダを加圧することによって弁を駆動させる構造である。

なお, 当該弁駆動部については, スプリングケース類を取外すことで駆動部内の点検手入れが可能である。

RCCW 緊急閉鎖弁駆動部の構造図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

RCCW 緊急閉鎖弁駆動部主要部位の使用材料を表 2.1-1 に, 使用条件を表 2.1-2 に示す。



No.	部位	No.	部位
①	スプリングケース	⑦	ロッドパッキン
②	シリンダ	⑧	ピストンパッキン
③	シリンダボルト・ナット	⑨	Oリング
④	ピニオン付軸	⑩	電磁弁
⑤	ラック付ピストン	⑪	リミットスイッチ
⑥	スプリング	⑫	取付ボルト・ナット

図 2.1-1 浜岡 4 号機 RCCW 緊急閉鎖弁駆動部構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 RCCW 緊急閉鎖弁駆動部主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
バウンダリの維持	耐圧	スプリングケース	鋳鉄
		シリンダ	炭素鋼 (内面クロムメッキ)
		シリンダボルト・ナット	炭素鋼
駆動伝達機能の維持	エネルギー伝達	ピニオン付軸	ステンレス鋼
		ラック付ピストン	鋳鉄
		スプリング	ばね鋼
		ロッドパッキン	(消耗品)
		ピストンパッキン	(消耗品)
		O リング	(消耗品)
		電磁弁	(定期取替品)
		リミットスイッチ	アルミニウム合金 他
機器の支持	支持	取付ボルト・ナット	炭素鋼

表 2.1-2 浜岡 4 号機 RCCW 緊急閉鎖弁駆動部の使用条件

作動空気圧力	550～700 kPa
定格電圧	DC 125 V*1
周囲温度	40 °C以下*2

*1：電磁弁の定格出力を示す

*2：原子炉格納容器外（屋内）で空気作動弁用駆動部が設置されている最も周囲温度が高い区域の設計値

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

空気作動弁用駆動部の機能である弁棒作動機能の達成に必要な項目は以下のとおり。

- ①バウンダリの維持
- ②駆動伝達機能の維持
- 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

(1) 想定される経年劣化事象

空気作動弁用駆動部について、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、設置場所、使用条件及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。

なお、消耗品及び定期取替品は次項のとおり評価対象外とする。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

ロッドパッキン、ピストンパッキン、O リング及び電磁弁は消耗品又は定期取替品であり、設計時に長期使用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。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

- ①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）
- 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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. シリンダ及びラック付ピストンの摩耗

シリンダ及びラック付ピストンは作動による摩耗が想定される。しかしながら、シリンダ内面には耐摩耗性に優れたクロムメッキ処理を施していること、ならびにピストンにはゴム製のピストンパッキンが装着されていることから、摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

b. ピニオン付軸の摩耗

ピニオン付軸はロッドパッキンと接触しているため、弁の開閉に伴う摺動による摩耗が想定される。しかしながら、ピニオン付軸の材質はステンレス鋼であり、接触部はロッドパッキンよりも硬いことから、摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

c. シリンダ、スプリングケース及びラック付ピストンの腐食（全面腐食）

シリンダは炭素鋼、スプリングケース及びラック付ピストンは鋳鉄であることから、腐食が想定される。しかしながら、シリンダ及びスプリングケース内面には除湿された清浄な空気、又は屋内空調環境下の空気が供給されていること、並びに外面は屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

d. シリンダボルト・ナット及び取付ボルト・ナットの腐食（全面腐食）

シリンダボルト・ナット及び取付ボルト・ナットは炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されていることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

e. スプリングのへたり

スプリングはねじり応力がかかった状態であり、へたりが想定される。しかしながら、スプリング使用時のねじり応力が、許容ねじり応力以下になるように設定されており、スプリングの材料に対する推奨使用最高温度よりも実際の使用温度は低いことから、へたりが進行する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

f. リミットスイッチの導通不良

リミットスイッチは、接点に付着する浮遊塵埃と接点表面に形成される酸化被膜により導通不良が想定される。しかしながら、リミットスイッチはカバー内に収納されていることから、塵埃付着、酸化被膜形成の可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検及び動作確認により設備の健全性を定期的に確認し、必要に応じて取替を行っている。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

表 2.2-1 浜岡 4 号機 RCCW 緊急閉鎖弁駆動部に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	材料		その他
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	特性変化	材料劣化		
バウンダリの維持	耐圧	スプリングケース		鋳鉄		△							*1:内面クロムメッキ処理 *2:へたり *3:導通不良	
		シリンダ		炭素鋼*1	△	△								
		シリンダボルト・ナット		炭素鋼		△								
駆動伝達機能の維持	エネルギー伝達	ピニオン付軸		ステンレス鋼	△									
		ラック付ピストン		鋳鉄	△	△								
		スプリング		ばね鋼								△*2		
		ロッドパッキン	◎											
		ピストンパッキン	◎											
		Oリング	◎											
		電磁弁	◎											
リミットスイッチ		銅 他								△*3				
機器の支持	支持	取付ボルト・ナット		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を検討した。

[対象系統]

- ① 原子炉機器冷却水系
- ② 高圧炉心スプレイ機器冷却水系
- ③ 非常用ガス処理系

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

代表機器同様、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. シリンダ及びラック付ピストンの摩耗 [共通]

代表機器同様、シリンダ及びラック付ピストンは、作動による摩耗が想定される。しかしながら、シリンダ内面には、耐摩耗性能に優れたクロムメッキ処理を施していること、ならびにピストンにはゴム製のピストンパッキンが装着されていることから、摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

b. ピニオン付軸の摩耗 [共通]

代表機器同様、ピニオン付軸はロッドパッキンと接触しているため、弁の開閉に伴う摺動による摩耗が想定される。しかしながら、ピニオン付軸の材質はステンレス鋼であり、接触部はロッドパッキンよりも硬いことから、摩耗が発生する可能性は小さい。また、分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

c. シリンダ、スプリングケース及びラック付ピストンの腐食（全面腐食） [共通]

シリンダ、スプリングケース及びラック付ピストンは鋳鉄であることから、腐食が想定される。しかしながら、シリンダ及びスプリングケース内面には除湿された清浄な空気、又は屋内空調環境下の空気が供給されていること、並びに外面は屋内空調環境下に設置されており塗装を施していることから、腐食が発生する可能性は小さい。また、分

解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

d. シリンダボルト・ナット及び取付ボルト・ナットの腐食（全面腐食） [共通]

シリンダボルト・ナット及び取付ボルト・ナットは炭素鋼であり，腐食が想定される。しかしながら，屋内空調環境下に設置されていることから，腐食が発生する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

e. スプリングのへたり [共通]

代表機器同様，スプリングはねじり応力がかかった状態であり，へたりが想定される。しかしながら，スプリング使用時のねじり応力が，許容ねじり応力以下になるように設定されており，スプリングの材料に対する推奨使用最高温度よりも実際の使用温度は低いことから，へたりが進行する可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検により設備の健全性を定期的に確認している。

f. リミットスイッチの導通不良 [共通]

代表機器同様，リミットスイッチは，接点に付着する浮遊塵埃と接点表面に形成される酸化被膜により導通不良が想定される。しかしながら，リミットスイッチはカバー内に収納されていることから，塵埃付着，酸化被膜形成の可能性は小さい。また，分解点検時における目視点検及び動作確認により設備の健全性を定期的に確認し，必要に応じて取替を行っている。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

以 上

浜岡原子力発電所 4 号機

炉内構造物の技術評価書

[冷温停止状態が維持されることを前提とした評価]

中部電力株式会社

本評価書は、浜岡原子力発電所 4 号機（以下、「浜岡 4 号機」という。）における安全上重要な炉内構造物（重要度分類指針における PS-1, 2 及び MS-1, 2 に該当する機器）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。

評価対象機器の一覧を表 1 に示す。

技術評価にあたっては炉内構造物の特殊性を考慮し、評価対象機器についてグループ化や代表機器の選定を行わずにすべての機器について評価を実施する。

なお、制御棒は「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含まれていない。

また、本文中の単位の記載は SI 単位系に基づくものとする（圧力の単位は特に注記がない限りゲージ圧力を示す）。

表 1 評価対象機器一覧

機器名称（個数）	重要度*1
炉心シュラウド(1)	PS-1
シュラウドサポート(1)	PS-1
上部格子板(1)	PS-1
炉心支持板(1)	PS-1
燃料支持金具（中央 185, 周辺 24）	PS-1
制御棒案内管(185)	PS-1, MS-1
炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）（高圧 1, 低圧 1）・スパージャ（高圧 2, 低圧 2）	MS-1
差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）(1)	MS-1
ジェットポンプ(20)	MS-1
中性子束計測案内管(51)	MS-1
余熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）(3)	MS-1

*1：最上位の重要度を示す

1 炉内構造物

[対象機器]

- ① 炉心シュラウド
- ② シュラウドサポート
- ③ 上部格子板
- ④ 炉心支持板
- ⑤ 燃料支持金具
- ⑥ 制御棒案内管
- ⑦ 炉心スプレイ配管（原子炉压力容器内部）・スパージャ
- ⑧ 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉压力容器内部）
- ⑨ ジェットポンプ
- ⑩ 中性子束計測案内管
- ⑪ 余熱除去系配管（原子炉压力容器内部）

目 次

1.	対象機器	1
2.	炉内構造物の技術評価	2
2.1	構造, 材料及び使用条件	4
2.1.1	炉心シュラウド	4
2.1.2	シュラウドサポート	7
2.1.3	上部格子板	10
2.1.4	炉心支持板	13
2.1.5	燃料支持金具	16
2.1.6	制御棒案内管	19
2.1.7	炉心スプレイ配管 (原子炉压力容器内部) ・スパージャ	22
2.1.8	差圧検出・ほう酸水注入系配管 (原子炉压力容器内部)	25
2.1.9	ジェットポンプ	28
2.1.10	中性子束計測案内管	31
2.1.11	余熱除去系配管 (原子炉压力容器内部)	34
2.2	経年劣化事象の抽出	37
2.2.1	機器の機能達成に必要な項目	37
2.2.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	37
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	38
2.3	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	53

1. 対象機器

主要な炉内構造物の仕様を表 1-1 に示す。

表 1-1 炉内構造物の主な仕様

機器名称 (個数)	重要度*1	最高使用圧力*2 (MPa)	最高使用温度 (°C)
炉心シュラウド(1)	PS-1	8.62	302
シュラウドサポート(1)	PS-1		
上部格子板(1)	PS-1		
炉心支持板(1)	PS-1		
燃料支持金具 (中央 185, 周辺 24)	PS-1		
制御棒案内管(185)	PS-1, MS-1		
炉心スプレイ配管 (原子炉圧力容器内部) (高圧 1, 低圧 1) ・スパージャ (高圧 2, 低圧 2)	MS-1		
差圧検出・ほう酸水注入系配管 (原子炉圧力容器内部) (1)	MS-1		
ジェットポンプ(20)	MS-1		
中性子束計測案内管(51)	MS-1		
余熱除去系配管 (原子炉圧力容器内部) (3)	MS-1		

*1 : 最上位の重要度クラスを示す

*2 : 環境の最高使用圧力を示す

2. 炉内構造物の技術評価

本章では、1章で評価対象とした以下の炉内構造物について技術評価を実施する。

これらの評価対象機器を含む炉内構造物全体の組立図を図1に示す。

なお、浜岡4号機の原子炉熱出力は、3,293 MWt、原子炉冷却材全流量は、 48.3×10^3 ton/hである。

- ① 炉心シュラウド
- ② シュラウドサポート
- ③ 上部格子板
- ④ 炉心支持板
- ⑤ 燃料支持金具
- ⑥ 制御棒案内管
- ⑦ 炉心スプレイ配管（原子炉压力容器内部）・スパージャ
- ⑧ 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉压力容器内部）
- ⑨ ジェットポンプ
- ⑩ 中性子束計測案内管
- ⑪ 余熱除去系配管（原子炉压力容器内部）

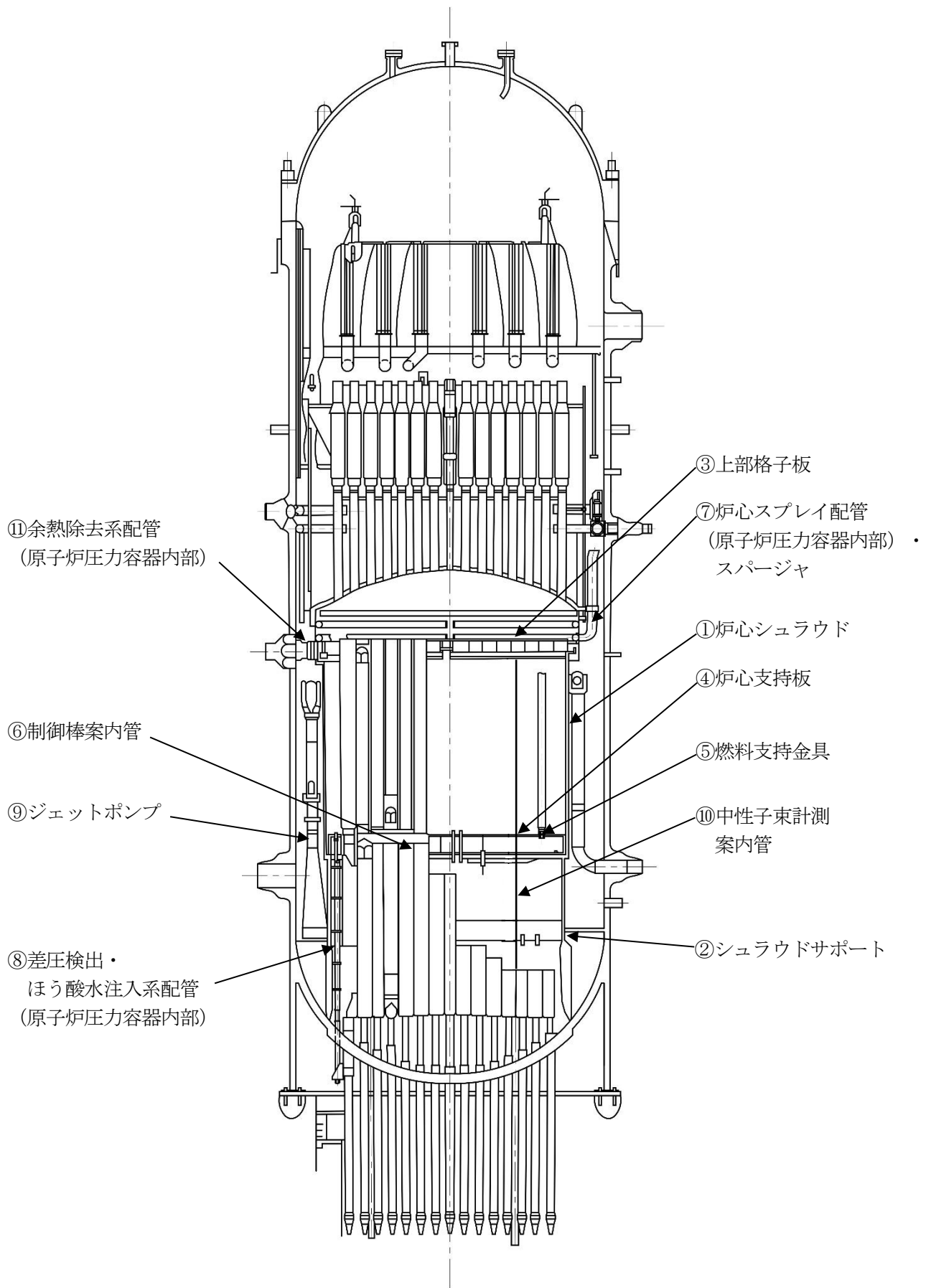


図1 炉内構造物組立図

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 炉心シュラウド

(1) 構造

炉心シュラウドは, 炉心内を上昇する原子炉冷却材の流れと, 炉心シュラウドと原子炉圧力容器壁との間の環状部を下降する原子炉冷却材の流れを隔離する円筒形の構造物で 1 個設置されており, 下端はシュラウドサポートに溶接されている。

材料は, 耐食性の高いステンレス鋼を使用している。

なお, 第 7 回定期点検 (2002 年度) 又は第 8 回定期点検 (2004 年度) に確認した炉心シュラウド中間胴と下部リングとの溶接線外側 (H6a 外) 近傍の下部リングのひび割れ, シュラウドサポートリングの溶接線 (H7a, b 内・外) 近傍のシュラウドサポートリング及び下部胴のひび割れによる損傷事例に鑑み, 第 9 回定期点検 (2006 年度) に炉心シュラウド支持ロッドによる修理を実施している。炉心シュラウド支持ロッドは炉心シュラウド上部胴上端とシュラウドサポートプレートとを連結する棒状のタイロッドと, 炉心シュラウドから原子炉圧力容器への水平方向の荷重伝達経路を形成する水平方向レストレイントにより構成される構造物で, 炉心シュラウドの外側に 4 個設置されている。

炉心シュラウドの構造図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

炉心シュラウド主要部位の使用材料を表 2.1-1 に, 使用条件を表 2.1-2 に示す。

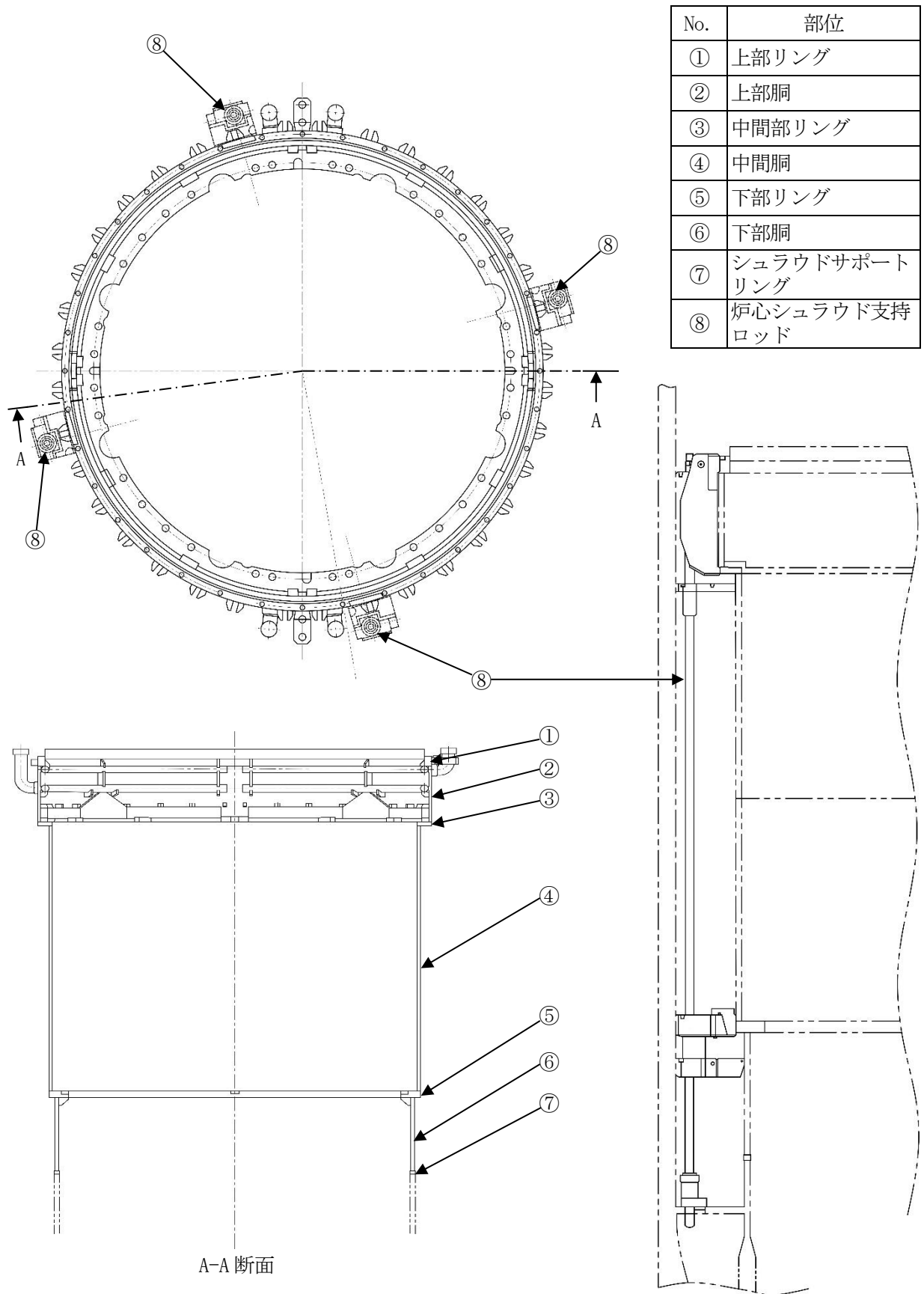


図 2.1-1 浜岡 4 号機 炉心シュラウド構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 炉心シュラウド主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
炉心の支持	支持	上部リング	ステンレス鋼
		上部胴	ステンレス鋼
		中間部リング	ステンレス鋼
		中間胴	ステンレス鋼
		下部リング	ステンレス鋼
		下部胴	ステンレス鋼
		シュラウドサポートリング	ステンレス鋼
		炉心シュラウド支持ロッド	ステンレス鋼

表 2.1-2 浜岡 4 号機 炉心シュラウドの使用条件

最高使用圧力*1	8.62 MPa
最高使用温度	302 ℃
流体	純水 (原子炉冷却材)

*1 : 環境の最高使用圧力を示す

2.1.2 シュラウドサポート

(1) 構造

シュラウドサポートは、シリンダ上端で炉心シュラウドを支持する脚支持円筒形の構造物で1個設置されており、レグ及びプレートを介し原子炉圧力容器に溶接されている。

材料は、耐食性の高いニッケル基合金を使用している。

なお、マンホール蓋については、海外プラントでのマンホール蓋取付け溶接部のクレビス部（シュラウドサポートプレートとマンホール蓋の間に存在する隙間部）に起因する応力腐食割れ損傷事例を鑑み、建設時に突き合わせ溶接によるクレビス部を排除した構造とし、応力腐食割れの感受性の低い材料を用いる設計を採用している。さらに、強度的裕度向上のためマンホール蓋をシュラウドサポートと同等の板厚としている。

シュラウドサポートの構造図を図 2.1-2 に示す。

(2) 材料及び使用条件

シュラウドサポート主要部位の使用材料を表 2.1-3 に、使用条件を表 2.1-4 に示す。

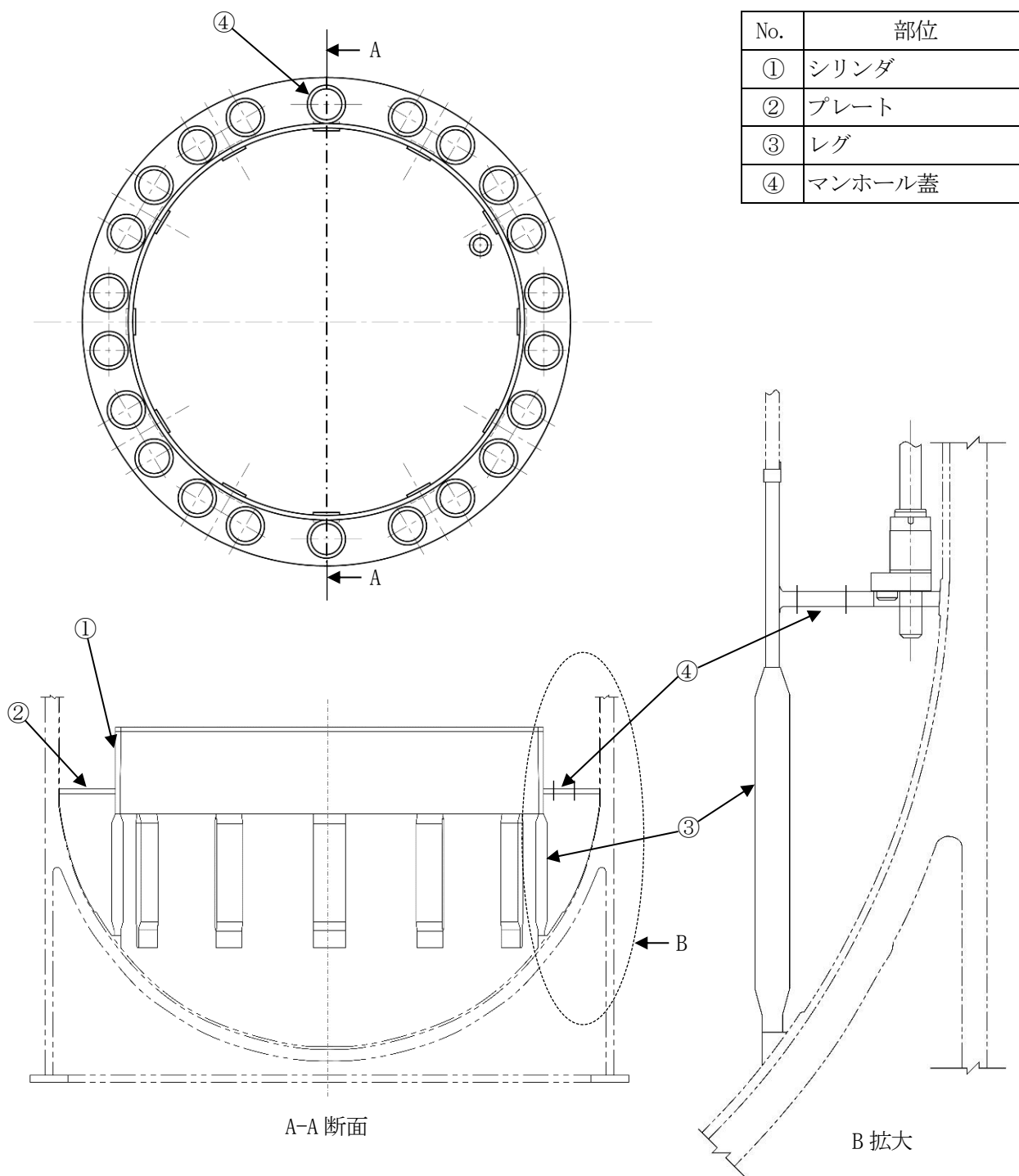


図 2.1-2 浜岡 4 号機 シュラウドサポート構造図

表 2.1-3 浜岡 4 号機 シュラウドサポート主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
炉心の支持	支持	シリンダ	ニッケル基合金
		プレート	ニッケル基合金
		レグ	ニッケル基合金
炉心冷却材流路の確保	その他	マンホール蓋	ニッケル基合金

表 2.1-4 浜岡 4 号機 シュラウドサポートの使用条件

最高使用圧力*1	8.62 MPa
最高使用温度	302 °C
流体	純水 (原子炉冷却材)

*1：環境の最高使用圧力を示す

2.1.3 上部格子板

(1) 構造

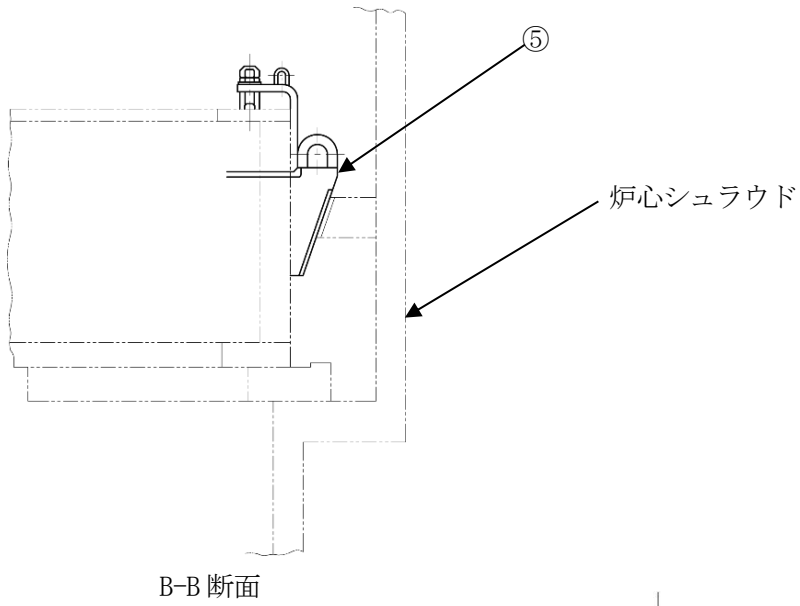
上部格子板は、燃料集合体上部の水平方向及び核計装装置の上端を支持する格子状の構造物で1個設置されており、炉心シュラウドにクサビにて取り付けられている。

材料は、耐食性の高いステンレス鋼を使用している。

上部格子板の構造図を図 2.1-3 に示す。

(2) 材料及び使用条件

上部格子板主要部位の使用材料を表 2.1-5 に、使用条件を表 2.1-6 に示す。



No.	部位
①	上板
②	グリッドプレート
③	リム胴
④	下板
⑤	クサビ

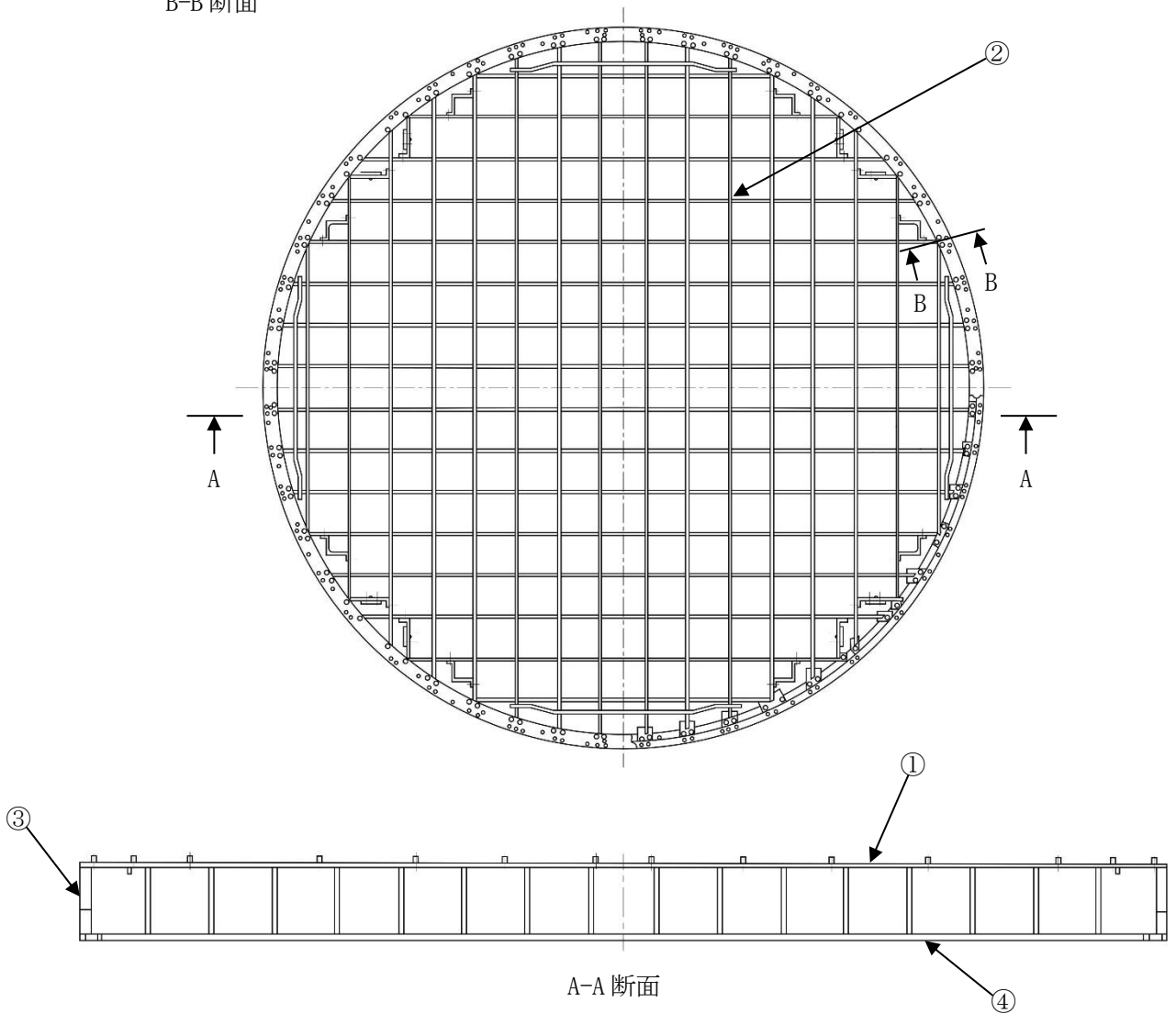


図 2.1-3 浜岡 4 号機 上部格子板構造図

表 2.1-5 浜岡 4 号機 上部格子板主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
炉心の支持	支持	上板	ステンレス鋼
		グリッドプレート	ステンレス鋼
		リム胴	ステンレス鋼
		下板	ステンレス鋼
機器の支持	支持	クサビ	ステンレス鋼

表 2.1-6 浜岡 4 号機 上部格子板の使用条件

最高使用圧力*1	8.62 MPa
最高使用温度	302 °C
流体	純水 (原子炉冷却材)

*1：環境の最高使用圧力を示す

2.1.4 炉心支持板

(1) 構造

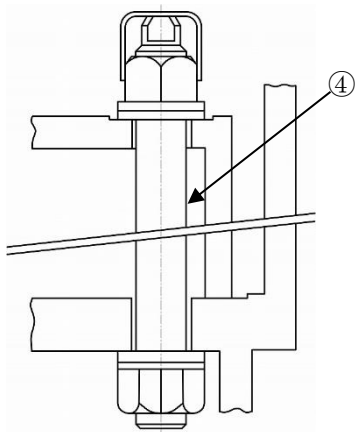
炉心支持板は、制御棒案内管上部及び中性子束計測案内管等の水平方向を支持する多孔円板状の構造物で 1 個設置されており、炉心シュラウドにスタッドにて取り付けられている。

材料は、耐食性の高いステンレス鋼を使用している。

炉心支持板の構造図を図 2.1-4 に示す。

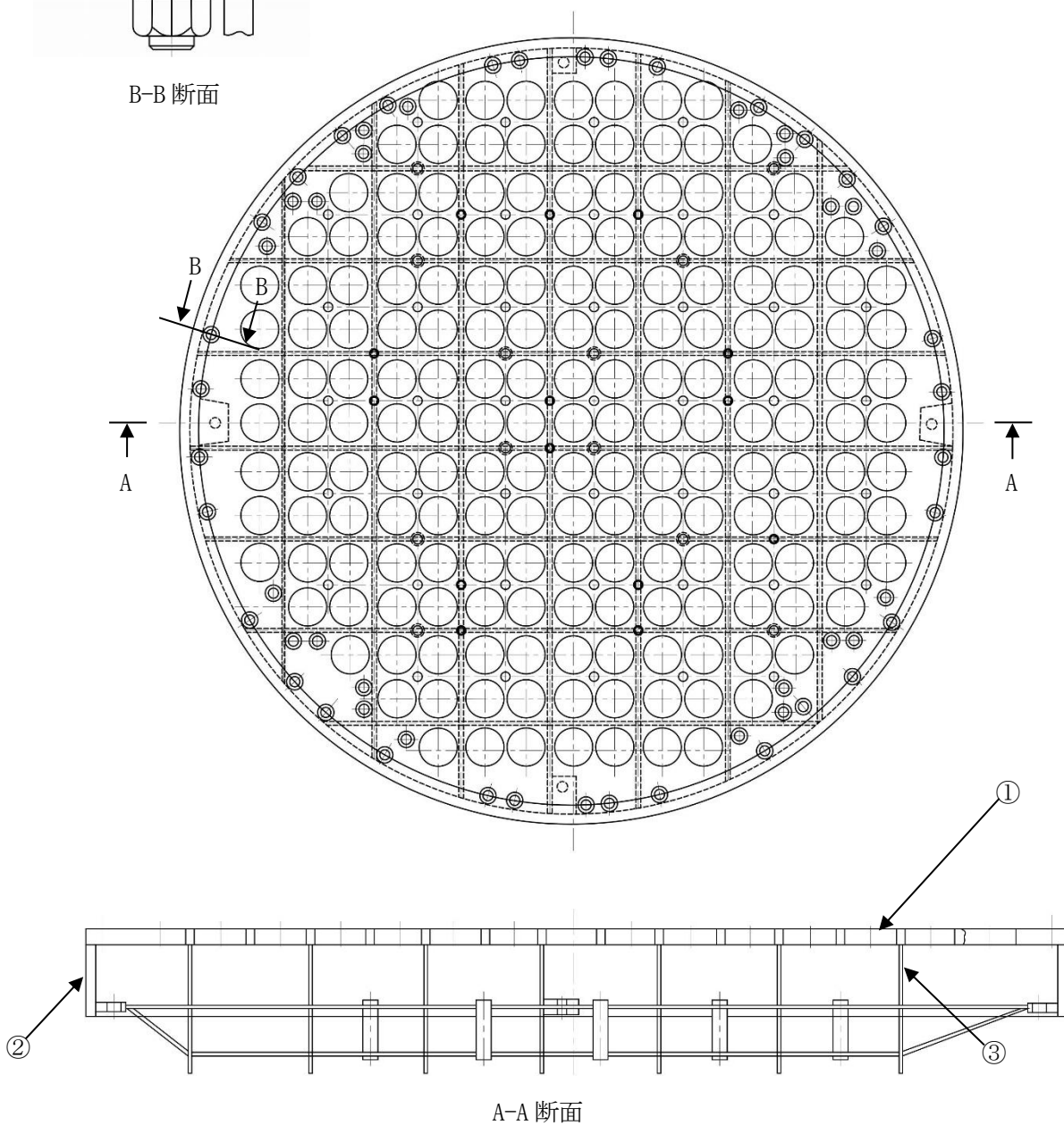
(2) 材料及び使用条件

炉心支持板主要部位の使用材料を表 2.1-7 に、使用条件を表 2.1-8 に示す。



B-B 断面

No.	部位
①	支持板
②	リム胴
③	補強ビーム
④	スタッド



A-A 断面

図 2.1-4 浜岡 4 号機 炉心支持板構造図

表 2.1-7 浜岡 4 号機 炉心支持板主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
炉心の支持	支持	支持板	ステンレス鋼
		リム胴	ステンレス鋼
		補強ビーム	ステンレス鋼
機器の支持	支持	スタッド	ステンレス鋼

表 2.1-8 浜岡 4 号機 炉心支持板の使用条件

最高使用圧力*1	8.62 MPa
最高使用温度	302 °C
流体	純水 (原子炉冷却材)

*1：環境の最高使用圧力を示す

2.1.5 燃料支持金具

(1) 構造

燃料支持金具は、燃料集合体を支持するとともに燃料集合体への原子炉冷却材の流路を形成する構造物で、中央燃料支持金具が185個、周辺燃料支持金具が24個設置されている。中央燃料支持金具は制御棒案内管の上部に取り付けられており、周辺燃料支持金具は炉心支持板に溶接されている。

材料は、耐食性の高いステンレス鋼及びステンレス鋳鋼を使用している。

燃料支持金具の構造図を図 2.1-5 に示す。

(2) 材料及び使用条件

燃料支持金具主要部位の使用材料を表 2.1-9 に、使用条件を表 2.1-10 に示す。

No.	部位
①	中央燃料支持金具
②	周辺燃料支持金具

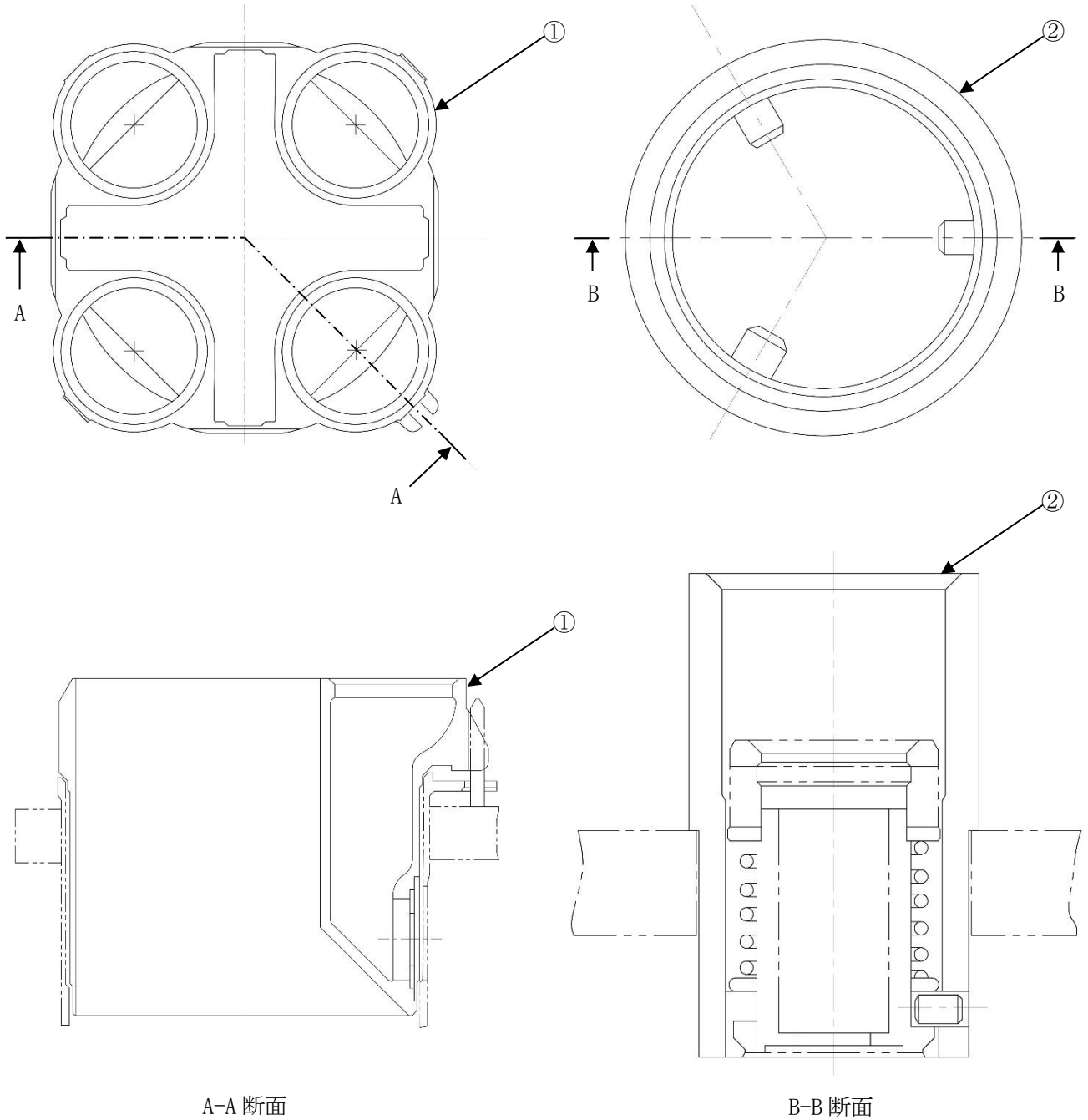


图 2.1-5 浜岡 4 号機 燃料支持金具構造図

表 2.1-9 浜岡 4 号機 燃料支持金具主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
炉心の支持	支持	中央燃料支持金具	ステンレス鋳鋼
		周辺燃料支持金具	ステンレス鋼

表 2.1-10 浜岡 4 号機 燃料支持金具の使用条件

最高使用圧力*1	8.62 MPa
最高使用温度	302 °C
流体	純水 (原子炉冷却材)

*1 : 環境の最高使用圧力を示す

2.1.6 制御棒案内管

(1) 構造

制御棒案内管は、制御棒の挿入・引抜きの際のガイドとなるとともに、中央燃料支持金具の重量を支える円筒形状の構造物で 185 個設置されており、上端は炉心支持板により水平方向を支持され、下端は制御棒駆動機構ハウジングに取り付けられている。

材料は、耐食性の高いステンレス鋼を使用している。

制御棒案内管の構造図を図 2.1-6 に示す。

(2) 材料及び使用条件

制御棒案内管主要部位の使用材料を表 2.1-11 に、使用条件を表 2.1-12 に示す。

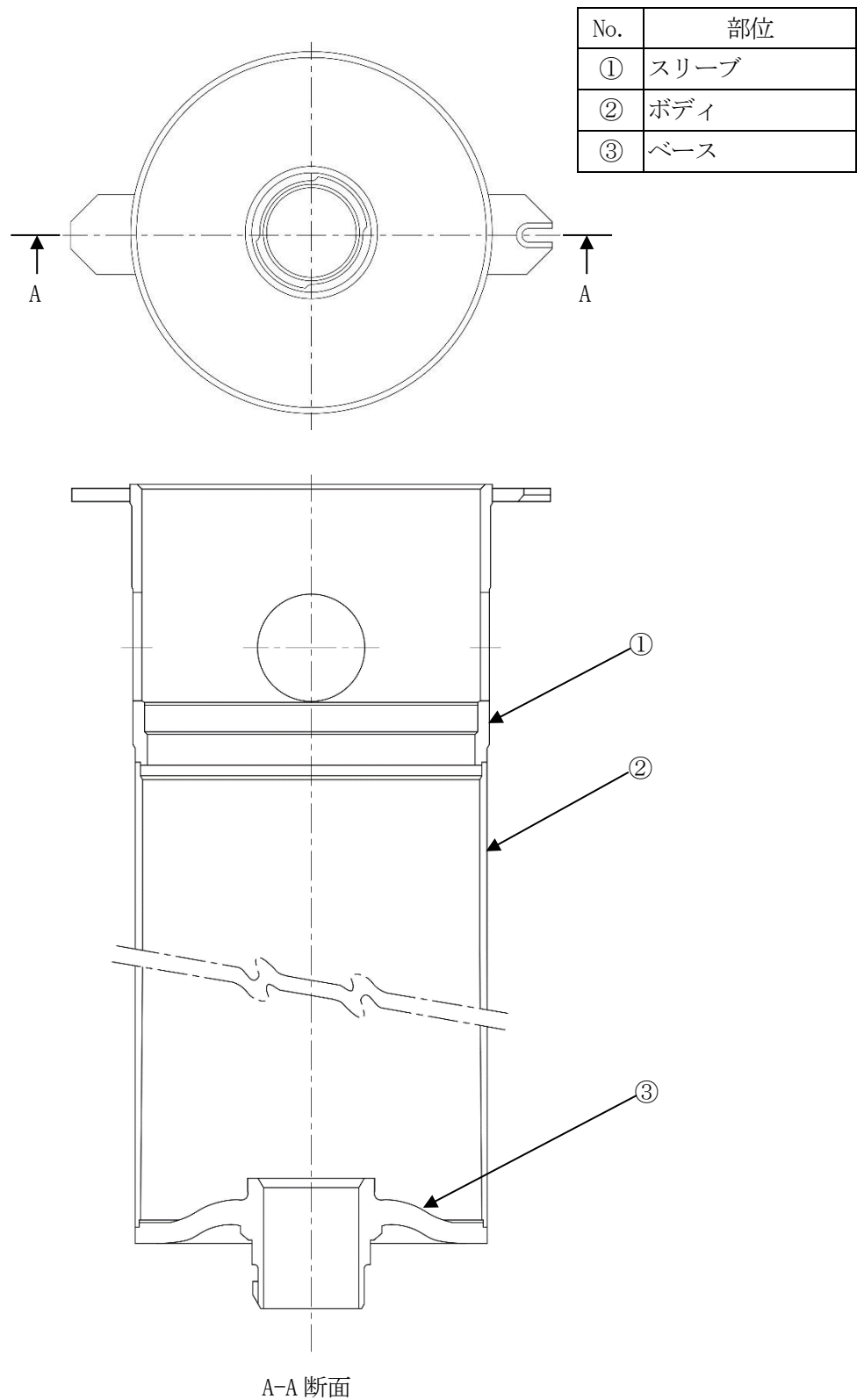


図 2.1-6 浜岡 4 号機 制御棒案内管構造図

表 2.1-11 浜岡 4 号機 制御棒案内管主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
炉心の支持	支持	スリーブ	ステンレス鋼
		ボディ	ステンレス鋼
		ベース	ステンレス鋼

表 2.1-12 浜岡 4 号機 制御棒案内管の使用条件

最高使用圧力*1	8.62 MPa
最高使用温度	302 °C
流体	純水 (原子炉冷却材)

*1：環境の最高使用圧力を示す

2.1.7 炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）・スパージャ

(1) 構造

炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）・スパージャは、冷却水を炉心に供給するための管状の構造物で、高圧2系統、低圧2系統が設置されている。炉心スプレイ配管は、原子炉圧力容器の炉心スプレイノズル・サーマルスリーブと炉心スプレイスパージャを結ぶ配管である。また、炉心スプレイスパージャは、炉心シュラウド上部胴内側に取付けられた曲管で多数の冷却水の吐出用ノズルを有する。配管は原子炉圧力容器内面ブラケットに、スパージャはヘッダをスパージャブラケットに支持されている。

材料は、耐食性の高いステンレス鋼及びステンレス鋳鋼を使用している。

炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）・スパージャの構造図を図 2.1-7 に示す。

(2) 材料及び使用条件

炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）・スパージャ主要部位の使用材料を表 2.1-13 に、使用条件を表 2.1-14 に示す。

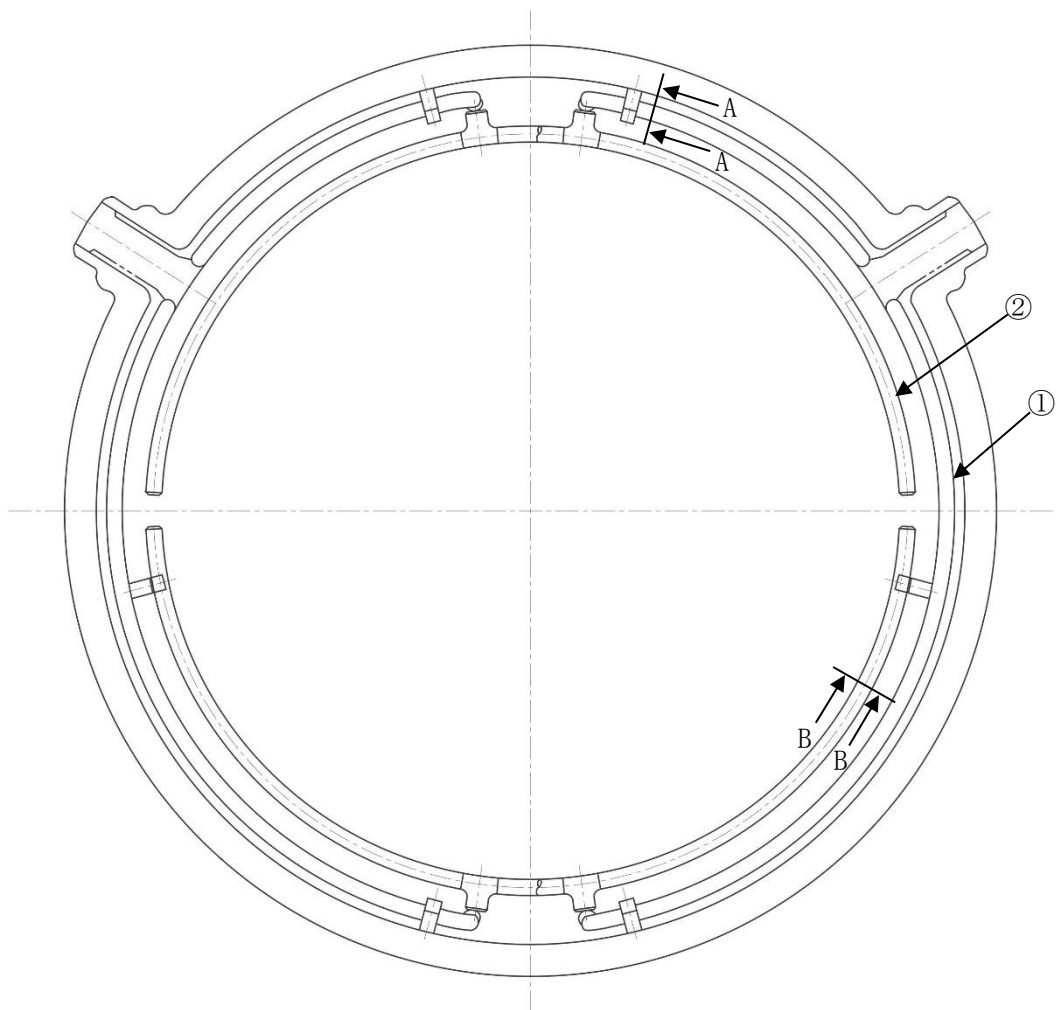
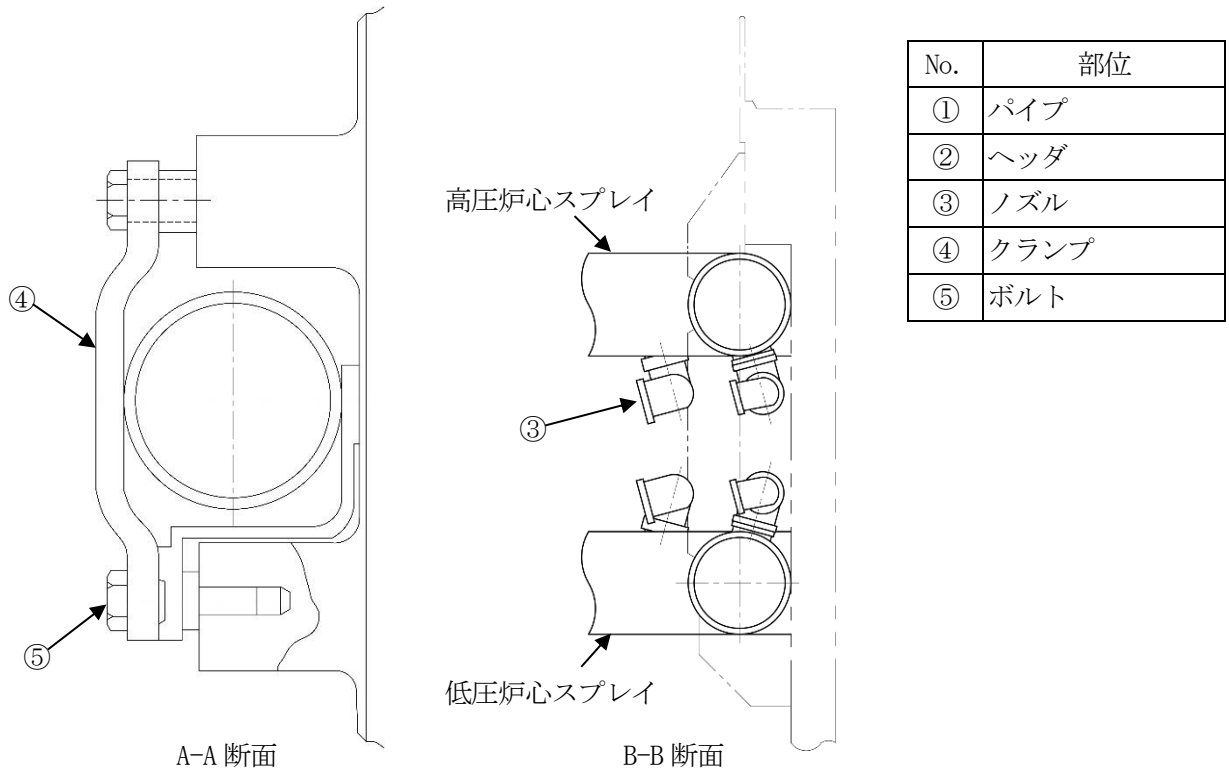


図 2.1-7 浜岡 4 号機 炉心スプレイ配管 (原子炉圧力容器内部) ・スパージャ構造図

表 2.1-13 浜岡 4 号機 炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）・スパージャ主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
炉心冷却材 流路の確保	流路形成	パイプ	ステンレス鋼
		ヘッド	ステンレス鋼
		ノズル	ステンレス鋼, ステンレス鋳鋼
機器の支持	支持	クランプ	ステンレス鋼
		ボルト	ステンレス鋼

表 2.1-14 浜岡 4 号機 炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）・スパージャの使用条件

最高使用圧力*1	8.62 MPa
最高使用温度	302 °C
流体	純水（原子炉冷却材）

*1：環境の最高使用圧力を示す

2.1.8 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）

(1) 構造

差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）は、炉心支持板上下の差圧検出及び五ほう酸ナトリウム水を注入するための二重配管状の構造物で 1 個設置されており、外側配管で炉心支持板上部圧力検出を、内側配管で炉心支持板下部圧力検出及び五ほう酸ナトリウム水の注入ができる。

差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）は、炉心差圧計装ノズルからシュラウドサポート内側を經由し炉心支持板までの範囲に位置し、途中を炉心シュラウド及びシュラウドサポートに、上端を炉心支持板に支持されている。

材料は、耐食性の高いステンレス鋼を使用している。

差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）の構造図を図 2.1-8 に示す。

(2) 材料及び使用条件

差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）主要部位の使用材料を表 2.1-15 に、使用条件を表 2.1-16 に示す。

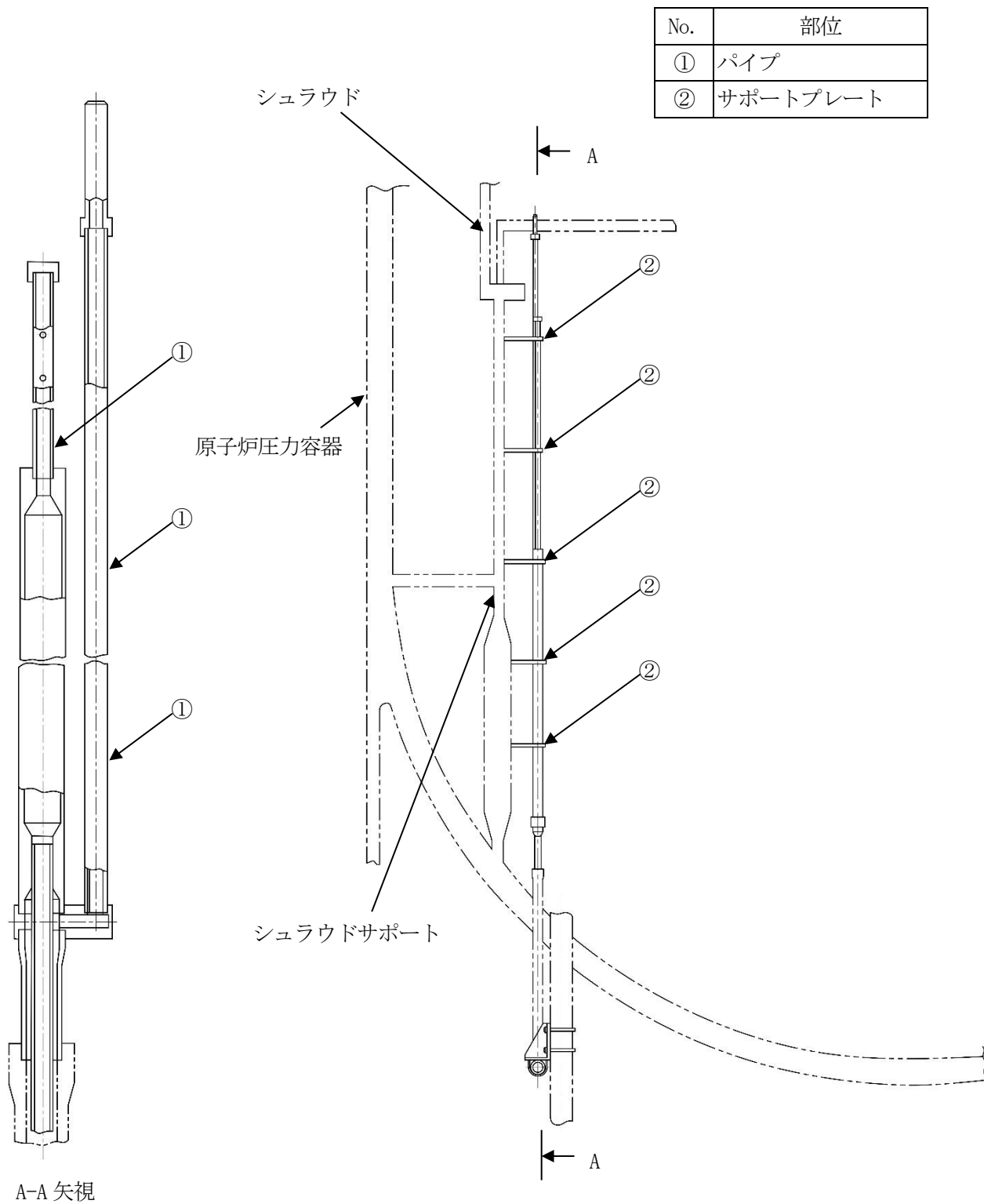


図 2.1-8 浜岡 4 号機 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉压力容器内部）構造図

表 2.1-15 浜岡 4 号機 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉压力容器内部）主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
炉心冷却材流路の確保	流路形成	パイプ	ステンレス鋼
機器の支持	支持	サポートプレート	ステンレス鋼

表 2.1-16 浜岡 4 号機 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉压力容器内部）の使用条件

最高使用圧力*1	8.62 MPa
最高使用温度	302 °C
流体*2	純水（原子炉冷却材）

*1：環境の最高使用圧力を示す

*2：通常運転時の環境を示す

2.1.9 ジェットポンプ

(1) 構造

ジェットポンプは、原子炉冷却材再循環系ポンプにより昇圧された原子炉冷却材をインレットミキサノズル部から高速で噴出し、炉心シュラウド外側の原子炉冷却材を吸い込み炉心に供給する流体噴射駆動式ポンプで 20 個設置されている。ライザは、サーマルスリーブを介し再循環水入口ノズルセーフエンドに、ライザブレースは原子炉圧力容器内面に、ディフューザ下端はシュラウドサポートプレートに溶接し、ライザパイプとディフューザ間にインレットミキサを取り付けビームにより固定されている。

材料は、耐食性の高いステンレス鋼、ステンレス鋳鋼及びニッケル基合金を使用している。

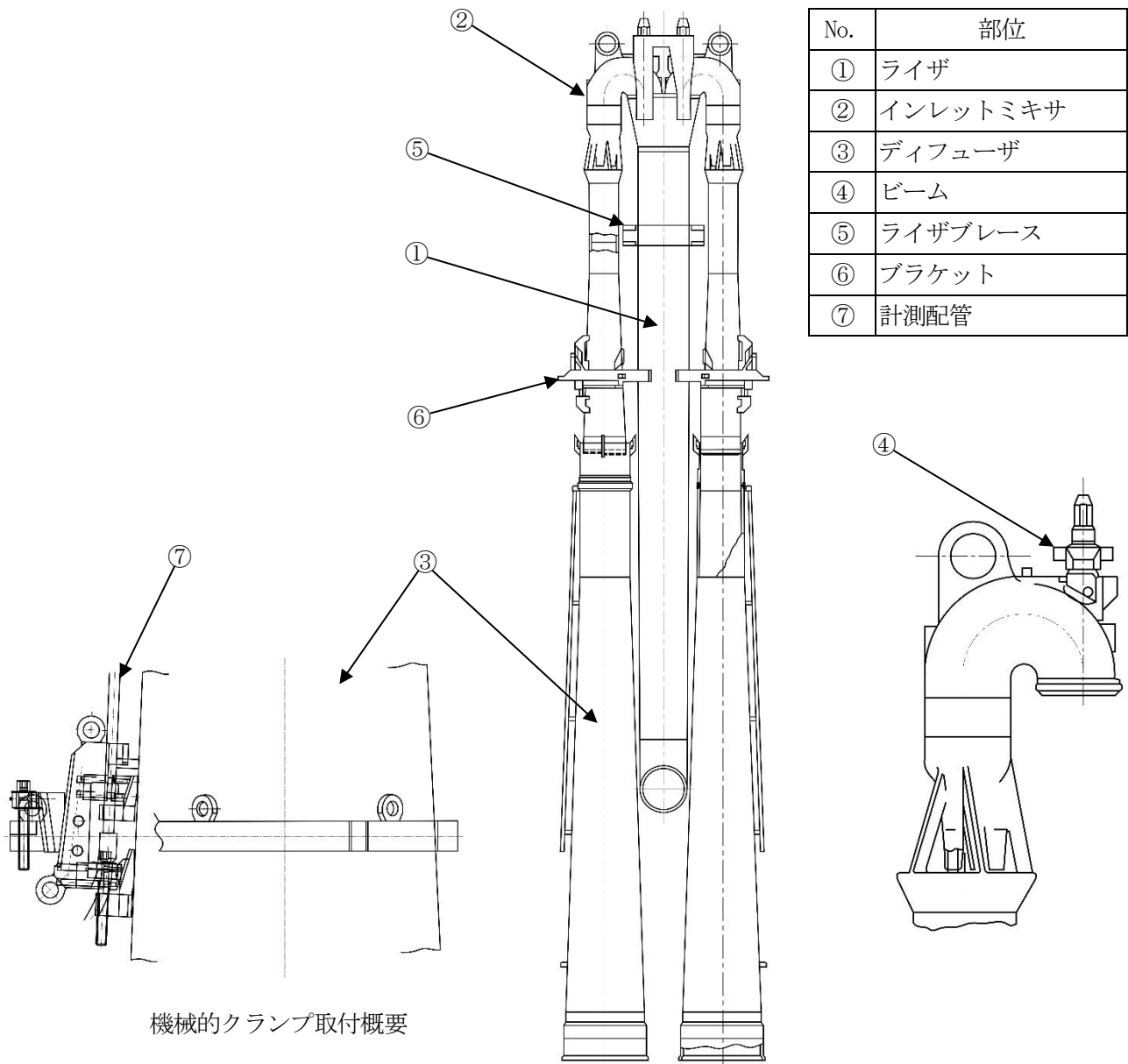
ジェットポンプビームについては、浜岡原子力発電所 1 号機及び海外プラントで粒界型応力腐食割れが発生した事例を受け、建設時より熱処理の改善及び締付力の低減による応力腐食割れ耐性を向上したビームを据付している。

また、ジェットポンプ計測配管については、福島第二原子力発電所 1 号機での高サイクル疲労割れにより折損した事例を受け、第 6 回定期点検（2001 年度）及び第 7 回定期点検（2002 年度）においてクランプの取付けにより流体振動との共振を回避する対策を実施している。柏崎刈羽原子力発電所 1 号機でクランプを取付けた計測配管が折損した事例を受けて、同様な事例がないことを確認するため、第 9 回定期点検（2006 年度）において、流体振動による共振の影響が大きい第 4 支持ブロックの計測配管のクランプを取外し、水中カメラによる目視点検を実施している。

ジェットポンプの構造図を図 2.1-9 に示す。

(2) 材料及び使用条件

ジェットポンプ主要部位の使用材料を表 2.1-17 に、使用条件を表 2.1-18 に示す。



No.	部位
①	ライザ
②	インレットミキサ
③	ディフューザ
④	ビーム
⑤	ライザブレース
⑥	ブラケット
⑦	計測配管

機械的クランプ取付概要

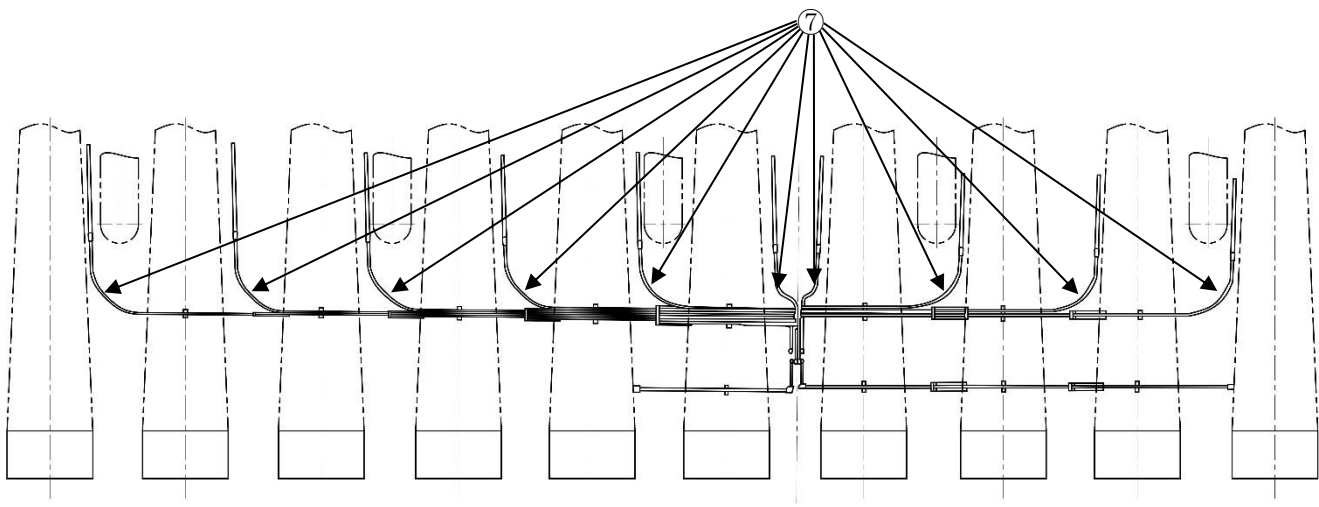


図 2.1-9 浜岡 4 号機 ジェットポンプ構造図

表 2.1-17 浜岡 4 号機 ジェットポンプ主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
炉心冷却材 流路の確保	流路形成	ライザ	ステンレス鋼, ステンレス鋳鋼
		インレットミキサ	ステンレス鋳鋼
		ディフューザ	ステンレス鋼, ステンレス鋳鋼, ニッケル基合金
機器の支持	支持	ビーム	ニッケル基合金
		ライザブレース	ステンレス鋼
		ブラケット	ステンレス鋳鋼
その他	その他	計測配管	ステンレス鋼

表 2.1-18 浜岡 4 号機 ジェットポンプの使用条件

最高使用圧力*1	8.62 MPa
最高使用温度	302 °C
流体	純水 (原子炉冷却材)

*1 : 環境の最高使用圧力を示す

2.1.10 中性子束計測案内管

(1) 構造

中性子束計測案内管は、核計装装置のガイドをする管状の構造物で51個設置されており、上端を炉心支持板に支持され、下端を中性子束計測ハウジングに溶接し、中間部はインコアスタビライザにより他の中性子束計測案内管と連結している。

材料は、耐食性の高いステンレス鋼を使用している。

中性子束計測案内管の構造図を図 2.1-10 に示す。

(2) 材料及び使用条件

中性子束計測案内管主要部位の使用材料を表 2.1-19 に、使用条件を表 2.1-20 に示す。

No.	部位
①	パイプ
②	インコアスタビライザ

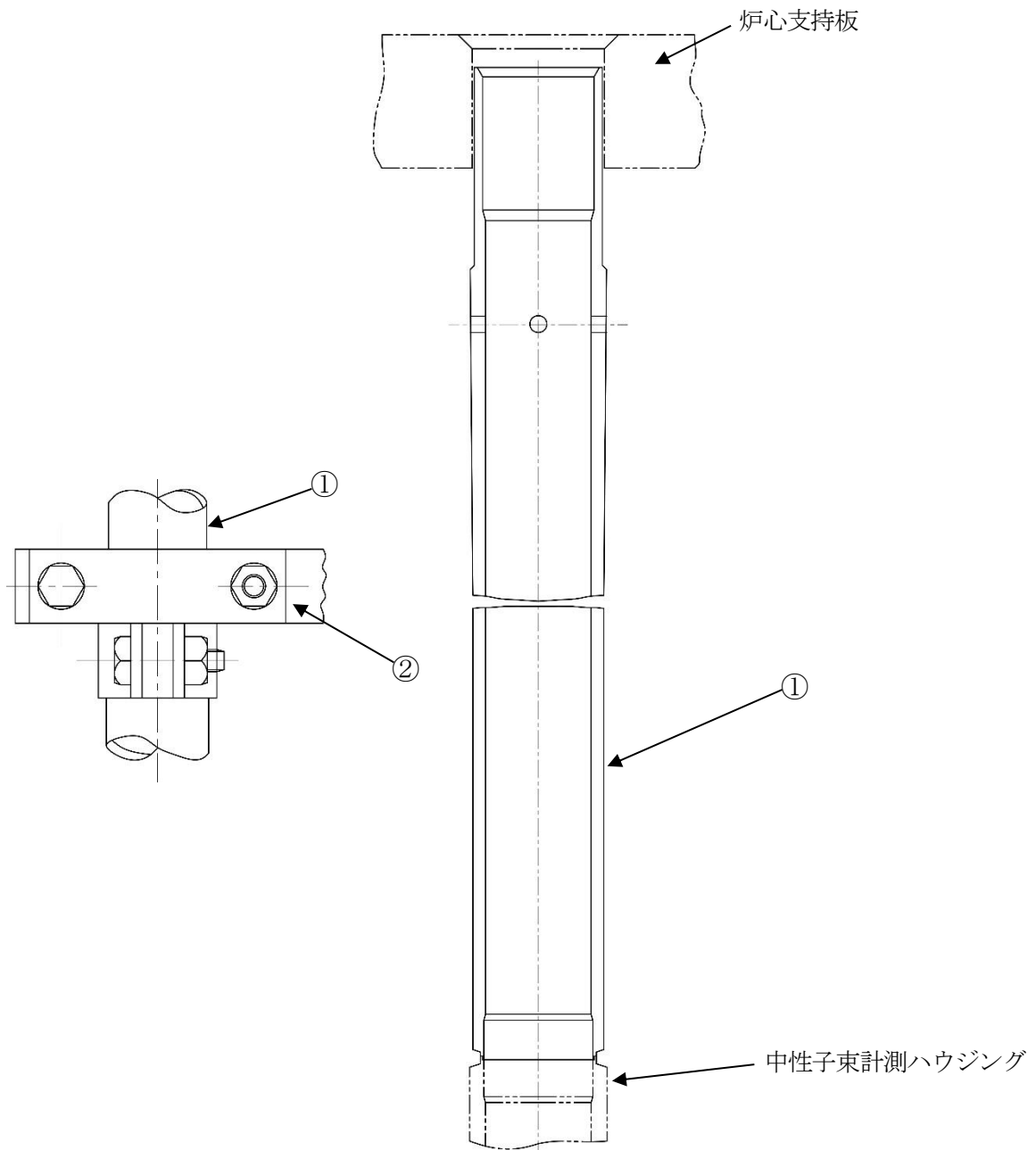


図 2.1-10 浜岡 4 号機 中性子束計測案内管構造図

表 2.1-19 浜岡 4 号機 中性子束計測案内管主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
ガイド	支持	パイプ	ステンレス鋼
機器の支持	支持	インコアスタビライザ	ステンレス鋼

表 2.1-20 浜岡 4 号機 中性子束計測案内管の使用条件

最高使用圧力*1	8.62 MPa
最高使用温度	302 ℃
流体	純水 (原子炉冷却材)

*1 : 環境の最高使用圧力を示す

2.1.11 余熱除去系配管（原子炉压力容器内部）

(1) 構造

余熱除去系配管（原子炉压力容器内部）は、冷却水を炉心に供給するための管状の構造物で 3 個設置されており、原子炉压力容器のノズルと炉心シュラウドを絡ぐ連絡管（カップリング）である。スリーブの両端はフランジネックと球面接触しており、原子炉压力容器と炉心シュラウドの熱膨張差、内圧による変位差等を吸収できるように軸方向の伸縮、あらゆる方向の回転が自由になっている。また、フランジネックはベローズで結ばれている。

材料は、耐食性の高いステンレス鋼を使用している。

余熱除去系配管（原子炉压力容器内部）の構造図を図 2.1-11 に示す。

(2) 材料及び使用条件

余熱除去系配管（原子炉压力容器内部）主要部位の使用材料を表 2.1-21 に、使用条件を表 2.1-22 に示す。

No.	部位
①	フランジネック
②	スリーブ
③	クランプ
④	アイボルト
⑤	ベローズ

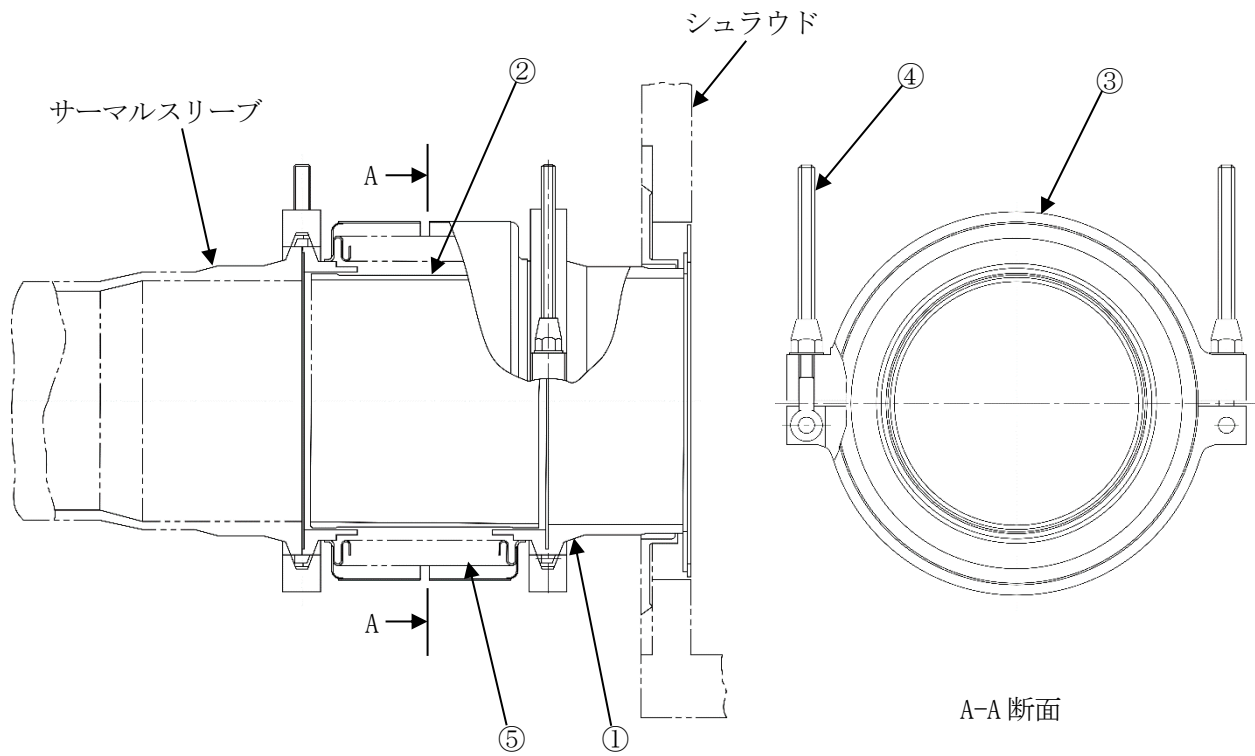


図 2.1-11 浜岡 4 号機 余熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）構造図

表 2.1-21 浜岡 4 号機 余熱除去系配管(原子炉压力容器内部) 主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
炉心冷却材流路の確保	流路形成	フランジネック	ステンレス鋼
		スリーブ	ステンレス鋼
機器の支持	支持	クランプ	ステンレス鋼
		アイボルト	ステンレス鋼
その他	その他	ベローズ	ステンレス鋼

表 2.1-22 浜岡 4 号機 余熱除去系配管(原子炉压力容器内部) の使用条件

最高使用圧力*1	8.62 MPa
最高使用温度	302 °C
流体	純水(原子炉冷却材)

*1：環境の最高使用圧力を示す

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

炉内構造物の機能（炉心形状の維持及び炉外の機器・系統との連携による炉心冷却機能）の達成に必要な項目は以下のとおり。

- ①炉心の支持
- ②炉心冷却材流路の確保
- ③機器の支持
- ④ガイド

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

(1) 想定される経年劣化事象

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、個々の部位の材料、構造、使用条件及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。

なお、消耗品及び定期取替品は次項のとおり評価対象外とする。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

炉内構造物には、消耗品及び定期取替品はない。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

- ①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）
- 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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として以下の事象を抽出した（表 2.2-1 で○）。

- a. 疲労割れ [炉心シュラウド, シュラウドサポート]
- b. 照射誘起型応力腐食割れ [炉心シュラウド, 上部格子板, 炉心支持板, 燃料支持金具, 制御棒案内管]

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 摩耗 [ジェットポンプ]

ジェットポンプのブラケットのウェッジロッド部については、インレットミキサ及びディフューザの振動による摩耗が想定される。ジェットポンプのウェッジロッド部については、第 11 回定期点検（2009 年度）において、水中カメラによる目視点検により軽微な摩耗を確認している。しかしながら、2018 年度における水中カメラによる目視点検では摩耗の進展が認められないことを確認している。また、ジェットポンプについては、今後も計画的な水中カメラによる目視点検を計画している。

b. 疲労割れ [余熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）]

余熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）については、炉心シュラウドと原子炉圧力容器との間に熱膨張差による相対変位が発生し、プラント起動停止時等の繰返しによる疲労割れの発生が想定される。しかしながら、ベローズによる伸縮可能な構造であり、相対変位に追従可能であることから、構造的に大きな荷重が作用しないため、割れに至る疲労が蓄積される可能性は小さい。また、余熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）については、計画的な水中カメラによる目視点検により健全性を確認している。

c. 高サイクル疲労割れ [ジェットポンプ]

ジェットポンプは炉心流による流体振動を受けるため、高サイクル疲労割れが想定される。しかしながら、流体振動による高サイクル疲労については、設計段階において考慮されているため、高サイクル疲労割れが発生する可能性は小さい。

ジェットポンプ計測配管については、福島第二原子力発電所 1 号機で高サイクル疲労割れにより折損した事例を受けて、第 6 回定期点検（2001 年度）及び第 7 回定期点検（2002 年度）において、クランプの取付けにより流体振動による共振を回避する対策を実施している。また、柏崎刈羽原子力発電所 1 号機でクランプを取付けていた計測配管が折損した事例を受けて、第 9 回定期点検（2006 年度）において、流体振動による共振の影響が大きい第 4 支持ブロックの計測配管のクランプを取外し、水中カメラによる目視点検により健全性を確認している。さらに、ジェットポンプ計測配管については、第 11 回定期点検（2009 年度）及び 2018 年度において、水中カメラによる目視点検により健全性を確認している。ジェットポンプについては、今後も計画的な水中カメラによる目視点検を計画している。

d. 高サイクル疲労割れ [制御棒案内管及び中性子束計測案内管]

制御棒案内管及び中性子束計測案内管は炉心流による流体振動を受けるため、高サイクル疲労割れが想定される。しかしながら、流体振動による高サイクル疲労については、設計段階において考慮されているため、高サイクル疲労割れが発生する可能性は小さい。また、制御棒案内管及び中性子束計測案内管については、2018年度において、水中カメラによる目視点検により健全性を確認している。さらに、制御棒案内管については、今後も計画的な水中カメラによる目視点検を計画している。

e. 粒界型応力腐食割れ [炉心シュラウド、シュラウドサポート、上部格子板、炉心スプレイ配管（原子炉压力容器内部）・スパージャ及びジェットポンプ]

炉心シュラウド、シュラウドサポート、上部格子板、炉心スプレイ配管（原子炉压力容器内部）・スパージャ及びジェットポンプについては、ステンレス鋼又はニッケル基合金であり高温の純水環境中にあるため、国内外の損傷事例から粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら、「実用発電用原子炉及びその附属施設における破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥の解釈」（原規技発第 2107219 号（令和 3 年 7 月 21 日原子力規制委員会決定））又は日本機械学会「発電用原子力設備規格 維持規格（2012 年版）」（2013 年追補及び 2014 年追補を含む。）（JSME S NA1-2012/2013/2014）（以下、「維持規格」という。）に基づき水中カメラによる目視点検を計画・実施し、必要に応じて補修を行っている。

炉心シュラウドについては、第 7 回定期点検（2002 年度）又は第 8 回定期点検（2004 年度）に確認した炉心シュラウド中間胴と下部リングとの溶接線外側（H6a 外）近傍の下部リングのひび割れ、シュラウドサポートリングの溶接線（H7a, b 内・外）近傍のシュラウドサポートリング及び下部胴のひび割れを含む炉心シュラウド周方向溶接線に対し、第 9 回定期点検（2006 年度）に炉心シュラウド支持ロッドによる修理を実施している。炉心シュラウド支持ロッドは、炉心シュラウドとシュラウドサポートの間に取付けており、炉心シュラウドの全周方向溶接線が全周分離した場合の地震荷重等を考慮しても、炉心シュラウドの構造健全性が確保できるよう設計されている。また、炉心シュラウド支持ロッド及び炉心シュラウド縦方向溶接線については、2018 年度において、水中カメラによる目視点検により健全性を確認している。なお、第 8 回定期点検（2004 年度）において、上部リング縦溶接線（V1 内）近傍及びスカートと上部リング周溶接線近傍の水中カメラによる目視点検及び超音波探傷試験により確認したひび割れは、炉心シュラウドの構造健全性に影響を及ぼすものではない。

シュラウドサポートについては、シュラウドサポートリングの縦溶接線（V8 内・外）及びシュラウドサポートプレートとマンホール蓋との溶接部について、2018 年度において、水中カメラによる目視点検により健全性を確認している。

ジェットポンプについては、浜岡原子力発電所 1 号機及び海外プラントにおいてジェットポンプビームに粒界型応力腐食割れが発生した事例を受け、建設時より熱処理の改

善及び締付力の低減により耐応力腐食割れ性を向上したビームを据付している。また、ビーム及び計測配管については、2018年度において、水中カメラによる目視点検により健全性を確認している。

上部格子板については、2018年度において、水中カメラによる目視点検により健全性を確認している。

- f. 粒界型応力腐食割れ [炉心支持板, 燃料支持金具, 制御棒案内管, 差圧検出・ほう酸水注入系配管 (原子炉压力容器内部), 中性子束計測案内管及び余熱除去系配管 (原子炉压力容器内部)]

炉心支持板, 燃料支持金具, 制御棒案内管, 差圧検出・ほう酸水注入系配管 (原子炉压力容器内部), 中性子束計測案内管及び余熱除去系配管 (原子炉压力容器内部) については, ステンレス鋼であり高温の純水環境中にあるため, 粒界型応力腐食割れが想定される。しかしながら, 建設時の粒界型応力腐食割れ対策や現在までの運転経験により, 粒界型応力腐食割れが発生する可能性は小さい。また, 制御棒案内管, 差圧検出・ほう酸水注入系配管 (原子炉压力容器内部) 及び中性子束計測案内管については, 2018年度において, 水中カメラによる目視点検により健全性を確認している。さらに, 維持規格等に基づき, 計画的な水中カメラによる目視点検を計画・実施している。

- g. 熱時効 [燃料支持金具, 炉心スプレイ配管 (原子炉压力容器内部) ・スパージャ及びジェットポンプ]

中央燃料支持金具, 炉心スプレイ配管 (原子炉压力容器内部) ・スパージャ及びジェットポンプはステンレス鋳鋼であり, また高温純水中にあるため, 熱時効による材料の靱性低下が想定され, この状態でき裂が存在する場合には小さな荷重でき裂が進展し, 不安定破壊を引き起こす可能性がある。

しかしながら, 「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」(平成9年3月 財団法人 発電設備技術検査協会) においては, BWRの炉水温度(約280℃)における熱時効による材料への影響は大きくないとしている。また, 当該部位に, 疲労割れ等のき裂といった経年劣化事象が想定されないため, 熱時効を起因とする不安定破壊が発生する可能性は小さい。なお, 中央燃料支持金具, 炉心スプレイ配管 (原子炉压力容器内部) ・スパージャ及びジェットポンプについては, 計画的な水中カメラによる目視点検により健全性を確認している。

- h. 中性子照射による靱性低下 [炉心シュラウド, 上部格子板, 炉心支持板, 燃料支持金具及び制御棒案内管]

炉心シュラウド, 上部格子板, 炉心支持板, 燃料支持金具及び制御棒案内管は炉心を取り囲む機器であり, 最も照射量が高い上部格子板のグリッドプレート中央部における現時点での照射量は, 約 2.2×10^{21} n/cm²である。そのため, 中性子照射による靱性低下が想定される。しかしながら, 中性子照射による靱性低下が進行した場合においても,

有意な欠陥が存在しなければ不安定破壊は起こらない。また、中性子照射量の高い上部格子板については、2018年度において、水中カメラによる目視点検により健全性を確認している。さらに、炉心シュラウド、上部格子板、炉心支持板、燃料支持金具及び制御棒案内管については、計画的な水中カメラによる目視点検により健全性を確認している。

i. 照射スウェリング [炉心シュラウド、上部格子板、炉心支持板、燃料支持金具及び制御棒案内管]

高照射領域で使用される炉心シュラウド、上部格子板、炉心支持板、燃料支持金具及び制御棒案内管については、照射スウェリングが想定される。しかしながら、BWRの温度環境（約280℃）や照射量では照射スウェリングの発生の可能性は小さい。また、中性子照射量の高い上部格子板については、2018年度において、水中カメラによる目視点検により健全性を確認している。さらに、炉心シュラウド、上部格子板、炉心支持板、燃料支持金具、制御棒案内管については、計画的な水中カメラによる目視点検により健全性を確認している。

j. 照射下クリープ [炉心シュラウド、上部格子板、炉心支持板、燃料支持金具及び制御棒案内管]

高照射領域で使用される炉心シュラウド、上部格子板、炉心支持板、燃料支持金具及び制御棒案内管については、照射下クリープが想定される。しかしながら、BWRの高照射領域にある炉内構造物においては、照射下クリープの影響が問題となる内圧等による荷重制御型の荷重はなく、差圧等による応力も非常に小さいことから、照射下クリープが発生する可能性は小さい。また、中性子照射量の高い上部格子板については、2018年度において、水中カメラによる目視点検により健全性を確認している。さらに、炉心シュラウド、上部格子板、炉心支持板、燃料支持金具及び制御棒案内管については、計画的な水中カメラによる目視点検により健全性を確認している。

- (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を以下に示す（表2.2-1で▲）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても経年劣化の傾向が変化する要因があるとは考え難いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 摩耗 [余熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）]

余熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）のフランジネック及びスリーブについては、プラント起動停止時等の温度変動に伴う相対変位による摺動面の摩耗が想定される。しかしながら、スリーブとフランジネックの摺動面に対し表面硬化処理をしていることから、摩耗が発生する可能性は小さい。

表 2.2-1(1/11) 浜岡4号機 炉心シュラウドに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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		
炉心の支持	支持	上部胴		ステンレス鋼			○	△ ^{*1}				*1:粒界型応力腐食割れ *2:照射誘起型応力腐食割れ *3:中性子照射による靱性低下 *4:照射スウェリング *5:照射下クリープ *6:シュラウドサポ-トリングを含む
		中間胴		ステンレス鋼			○	△ ^{*1} ○ ^{*2}		△ ^{*3}	△ ^{*4*5}	
		下部胴		ステンレス鋼			○	△ ^{*1}				
		リング ^{*6}		ステンレス鋼			○	△ ^{*1}				
		炉心シュラウド支持ロッド		ステンレス鋼								

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着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(2/11) 浜岡4号機 シュラウドサポートに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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		
炉心の支持	支持	シリンダ		ニッケル基合金			○	△ ^{*1}			*1:粒界型応力腐食割れ	
		プレート		ニッケル基合金			○	△ ^{*1}				
		レグ		ニッケル基合金			○	△ ^{*1}				
炉心冷却材流路の確保	その他	マンホール蓋		ニッケル基合金			○	△ ^{*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(3/11) 浜岡 4 号機 上部格子板に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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		
炉心の支持	支持	上板		ステンレス鋼				△ ^{*1}			*1:粒界型応力腐食割れ *2:照射誘起型応力腐食割れ *3:中性子照射による靱性低下 *4:照射スウェリング *5:照射下クリープ	
		グリッドプレート		ステンレス鋼				△ ^{*1} ○ ^{*2}		△ ^{*3}		△ ^{*4*5}
		リム胴		ステンレス鋼				△ ^{*1}				
		下板		ステンレス鋼				△ ^{*1}				
機器の支持	支持	クサビ		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(4/11) 浜岡 4 号機 炉心支持板に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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		
炉心の支持	支持	支持板		ステンレス鋼				△ ^{*1} ○ ^{*2}		△ ^{*3}	△ ^{*4*5}	*1:粒界型応力腐食割れ *2:照射誘起型応力腐食割れ *3:中性子照射による靱性低下 *4:照射スウェリング *5:照射下クリープ
		リム胴		ステンレス鋼				△ ^{*1}				
		補強ビーム		ステンレス鋼				△ ^{*1}				
機器の支持	支持	スタッド		ステンレス鋼								

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着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(5/11) 浜岡 4 号機 燃料支持金具に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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		
炉心の支持	支持	中央燃料支持金具		ステンレス鋳鋼					△	△ ^{*3}	△ ^{*4*5}	*1:粒界型応力腐食割れ *2:照射誘起型応力腐食割れ *3:中性子照射による靱性低下 *4:照射スウェリング *5:照射下クリープ
		周辺燃料支持金具		ステンレス鋼				△ ^{*1} ○ ^{*2}		△ ^{*3}	△ ^{*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）

表 2.2-1(6/11) 浜岡 4 号機 制御棒案内管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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		
炉心の支持	支持	スリーブ		ステンレス鋼				△ ^{*1} ○ ^{*2}		△ ^{*3}	△ ^{*4*5}	*1:粒界型応力腐食割れ *2:照射誘起型応力腐食割れ *3:中性子照射による靱性低下 *4:照射スウェリング *5:照射下クリープ *6:高サイクル疲労割れ
		ボディ		ステンレス鋼			△ ^{*6}	△ ^{*1}				
		ベース		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(7/11) 浜岡 4 号機 炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）・スパージャに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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		
炉心冷却材流路の確保	流路形成	パイプ		ステンレス鋼				△ ^{*1}				*1:粒界型応力腐食割れ
		ヘッド		ステンレス鋼				△ ^{*1}				
		ノズル		ステンレス鋼				△ ^{*1}				
				ステンレス鋳鋼					△			
機器の支持	支持	クランプ		ステンレス鋼								
		ボルト		ステンレス鋼								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(8/11) 浜岡 4 号機 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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		
炉心冷却材流路の確保	流路形成	パイプ		ステンレス鋼				△*1				*1:粒界型応力腐食割れ
機器の支持	支持	サポートプレート		ステンレス鋼				△*1				

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-1(9/11) 浜岡4号機 ジェット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	サブシステム	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		
炉心冷却材流路の確保	流路形成	ライザ		ステンレス鋼				△ ^{*1}			*1:粒界型応力腐食割れ *2:高サイクル疲労割れ	
				ステンレス鋳鋼				△				
		インレットミキサ		ステンレス鋳鋼				△				
		ディフューザ		ステンレス鋼				△ ^{*1}				
				ステンレス鋳鋼				△				
				ニッケル基合金				△ ^{*1}				
機器の支持	支持	ビーム		ニッケル基合金				△ ^{*1}				
		ライザブレース		ステンレス鋼			△ ^{*2}	△ ^{*1}				
		ブラケット		ステンレス鋳鋼	△				△			
その他	その他	計測配管		ステンレス鋼			△ ^{*2}	△ ^{*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(10/11) 浜岡 4 号機 中性子束計測案内管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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		
ガイド	支持	パイプ		ステンレス鋼			△*2	△*1				*1:粒界型応力腐食割れ *2:高サイクル疲労割れ
機器の支持	支持	インコアスタビライザ		ステンレス鋼			△*2	△*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 (11/11) 浜岡 4 号機 余熱除去系配管 (原子炉圧力容器内部) に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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		
炉心冷却材流路の確保	流路形成	フランジネック		ステンレス鋼	▲			△ ^{*1}			*1:粒界型応力腐食割れ	
		スリーブ		ステンレス鋼	▲							
機器の支持	支持	クランプ		ステンレス鋼								
		アイボルト		ステンレス鋼								
その他	その他	ベローズ		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)

▲： (同上) (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

(1) 疲労割れ [炉心シュラウド及びシュラウドサポート]

a. 事象の説明

繰返し応力のもとでは，その材料の静的強度より低い応力によっても割れを起こす場合がある。炉心シュラウド及びシュラウドサポートについては，プラントの起動・停止時等の熱過渡により，疲労が蓄積される可能性がある。

b. 技術評価

①健全性評価

炉心シュラウド及びシュラウドサポートについて，応力算出並びに評価を実施した。疲労評価は，運転実績に基づいた 2020 年度末時点の過渡回数を用いて日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版を含む））（JSME S NC1-2005/2007）」（以下，「設計・建設規格」という。）に基づき実施した。評価部位を図 2.3-1 に，評価用過渡条件を表 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「発電用原子力設備規格 環境疲労評価手法（2009 年版）（JSME S NF1-2009）」（以下，「環境疲労評価手法」という。）に基づき評価を実施した。

この結果，表 2.3-2 に示すとおり，環境を考慮した疲れ累積係数は 2020 年度末時点において許容値以下であり，安定停止状態においては，有意な熱過渡事象は発生しないため，運転開始後 40 年時点までは疲労割れ発生の可能性はないと判断する。

②現状保全

炉心シュラウド及びシュラウドサポートについては，「実用発電用原子炉及びその附属施設における破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥の解釈」（原規技発第 2107219 号（令和 3 年 7 月 21 日原子力規制委員会決定））又は維持規格に基づき水中カメラによる目視点検を計画・実施し，必要に応じて補修を行っている。炉心シュラウドについては，中間胴と下部リングの溶接線外側（H6a 外）近傍の下部リング及びシュラウドサポートリングの溶接線（H7a, b 内・外）近傍に確認された粒界型応力腐食割れによるひび割れを含む炉心シュラウド周方向溶接線に対し，第 9 回定期点検（2006 年度）に炉心シュラウド支持ロッドによる修理を実施している。炉心シュラウド支持ロッドは炉心シュラウドとシュラウドサポートの間に取付けており，炉心シュラウドの全周方向溶接線が全周分離した場合の地震荷重等を考慮しても，炉心シュラウドの構造健全性が確保できるよう設計されている。なお，第 8 回定期点検（2004 年度）において，上部リング縦溶接線（V1 内）近傍及びスカートと上部リング周溶接線近傍の水中カメラによる目視点検及び超音波探傷試験により確認したひび割れは，炉心シュラウドの構造健全性に影響を及ぼすものではない。

シュラウドサポートについては，シュラウドサポートリングの縦溶接線（V8 内・外）及びシュラウドサポートプレートとマンホール蓋との溶接部について，2018 年度にお

いて、水中カメラによる目視点検により健全性を確認している。

③総合評価

健全性評価結果より、炉心シュラウド及びシュラウドサポートは疲労割れが発生する可能性は小さく、当面の安定停止状態においては、有意な熱過渡事象は発生しないため、運転開始後 40 年時点までは疲労割れが発生する可能性はない。

c. 高経年化への対応

炉心シュラウド及びシュラウドサポートの疲労割れに対しては、高経年化対策の観点から現状の保全内容に対し、追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

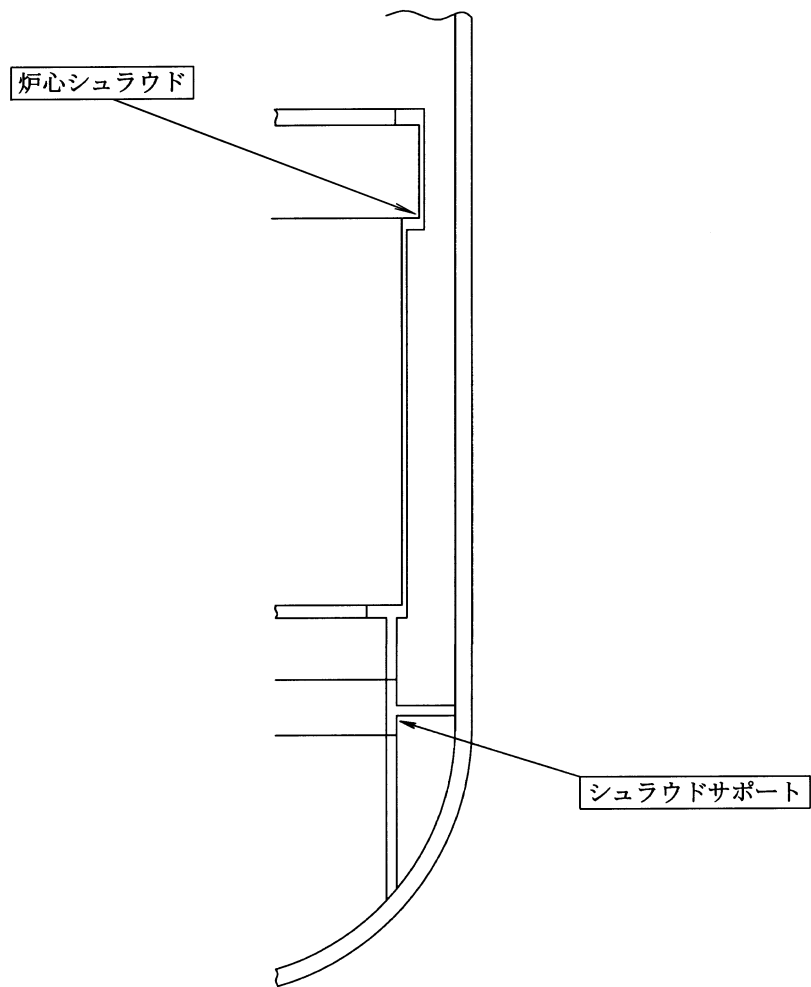


図 2.3-1 炉心シュラウド・シュラウドサポート疲労評価対象部位

表 2.3-1 炉心シュラウド・シュラウドサポート評価用過渡条件

運転条件	運転実績に基づく 過渡回数 (2020 年度末時点)
ボルト締付	16
耐圧試験（最高使用圧力以下）	45
起動（昇温）	34
起動（タービン起動）	31
夜間低出力運転（出力 75 %）	0
週末低出力運転（出力 50 %）	3
制御棒パターン変更	116
給水加熱器機能喪失（発電機トリップ）	7
スクラム（タービントリップ）	4
スクラム（原子炉給水ポンプ停止）	0
スクラム（その他）	6
停止	34
ボルト取外	16
逃がし安全弁誤作動	0

表 2.3-2 炉心シュラウド・シュラウドサポートの疲労評価結果

	運転実績回数に基づく疲れ累積係数 (許容値：1 以下)	
	設計・建設規格の疲労曲線による解析	環境疲労評価手法による解析
	現時点 (2020 年度末時点)	現時点 (2020 年度末時点)
炉心シュラウド	0.0000	0.0001
シュラウドサポート	0.0130	0.0351

(2) 照射誘起型応力腐食割れ [炉心シュラウド, 上部格子板, 炉心支持板, 燃料支持金具及び制御棒案内管]

a. 事象の説明

ステンレス鋼については, 中性子照射を受けると材料自身の応力腐食割れの感受性が高まる。また, 当該部位周辺は水の放射線分解により腐食環境が厳しくなることが知られている。照射誘起型応力腐食割れは, この状況に引張応力が重畳されると粒界型応力腐食割れを生じる現象である。

図 2.3-2 に示すように, BWR 環境下のステンレス鋼については, 比較的高い累積照射量 (1×10^{21} n/cm² (以下, 「しきい照射量」という。)) を受けた場合に応力腐食割れの感受性への影響が現れると考えられている。

b. 技術評価

①健全性評価

1) 中性子照射要因

炉心シュラウド, 上部格子板, 炉心支持板, 周辺燃料支持金具及び制御棒案内管は炉心を取り囲む機器であり高い中性子照射を受けるため, 照射誘起型応力腐食割れの感受性が増加する可能性がある。現時点での評価対象機器の照射量の最大値は, 上部格子板のグリッドプレート中央部の 2.2×10^{21} n/cm² であり, しきい照射量を超える上部格子板については照射誘起型応力腐食割れの発生する可能性は否定できない。

なお, 現時点での照射量は以下の値と想定される。

・炉心シュラウド	約 5.0×10^{20} n/cm ²
・上部格子板	約 2.2×10^{21} n/cm ²
・炉心支持板	約 5.9×10^{19} n/cm ²
・周辺燃料支持金具	約 5.9×10^{19} n/cm ²
・制御棒案内管	約 1.7×10^{20} n/cm ²

2) 応力要因

現状では, 照射誘起型応力腐食割れの応力依存性に関するデータは少ないが, 照射誘起型応力腐食割れにおいても, 高い引張応力の存在が応力腐食割れ発生条件の一つになると考えられる。この引張応力の発生要因を検討すると, 差圧, 熱及び自重等に起因する引張応力成分は低く, 応力腐食割れの主要因となる可能性は小さい。

一方, 溶接残留応力については, 正確に把握することは困難であるが, 過去の経験から比較的高い引張応力となり, 応力腐食割れの主要因となる可能性がある。

上部格子板のグリッドプレートの中央部において, しきい照射量を超えるものの, 溶接部はなく, 運転中の差圧, 熱及び自重等に起因する引張応力成分は低いことから, 照射誘起型応力腐食割れの主要因となる可能性は小さい。

3) 環境要因

評価対象機器は炉心近傍に位置していることから、照射による水の放射線分解により生成される酸化性の強い過酸化水素水等の化学種の影響が顕著となる可能性がある。

4) 評価結果

上部格子板のグリッドプレート中央部に溶接部はなく、運転中の差圧、熱及び自重等に起因する引張応力成分は低いことから、しきい照射量を超えるものの照射誘起型応力腐食割れ発生の可能性は小さい。

また、炉心シュラウド、炉心支持板、周辺燃料支持金具及び制御棒案内管については、しきい照射量を超えないことから、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性はない。

②現状保全

炉心シュラウド、上部格子板、炉心支持板、周辺燃料支持金具及び制御棒案内管については、「実用発電用原子炉及びその附属施設における破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥の解釈」（原規技発第 2107219 号（令和 3 年 7 月 21 日原子力規制委員会決定））又は維持規格に基づき水中カメラによる目視点検を計画・実施し、必要に応じて補修を行っている。

また、中性子照射量の高い上部格子板については、2018 年度において、水中カメラによる目視点検により健全性を確認している。

③総合評価

炉心シュラウド、炉心支持板、周辺燃料支持金具及び制御棒案内管については、しきい照射量を超えないことから、照射誘起型応力腐食割れは発生しないものと評価する。

上部格子板のグリッドプレート中央部については、しきい照射量を超えるものの、照射誘起型応力腐食割れ発生の可能性は小さく、維持規格等に基づき計画的に目視点検を実施することにより、健全性の確認は可能であると判断する。

なお、当面の安定停止状態においては、中性子照射による有意な材料特性の低下は想定されないため、今後の照射誘起型応力腐食割れの発生及び進展の可能性は小さいと判断する。

c. 高経年化への対応

炉心シュラウド、上部格子板、炉心支持板、周辺燃料支持金具及び制御棒案内管の照射誘起型応力腐食割れについては、高経年化対策の観点から現状の保全内容に対し、追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

以 上

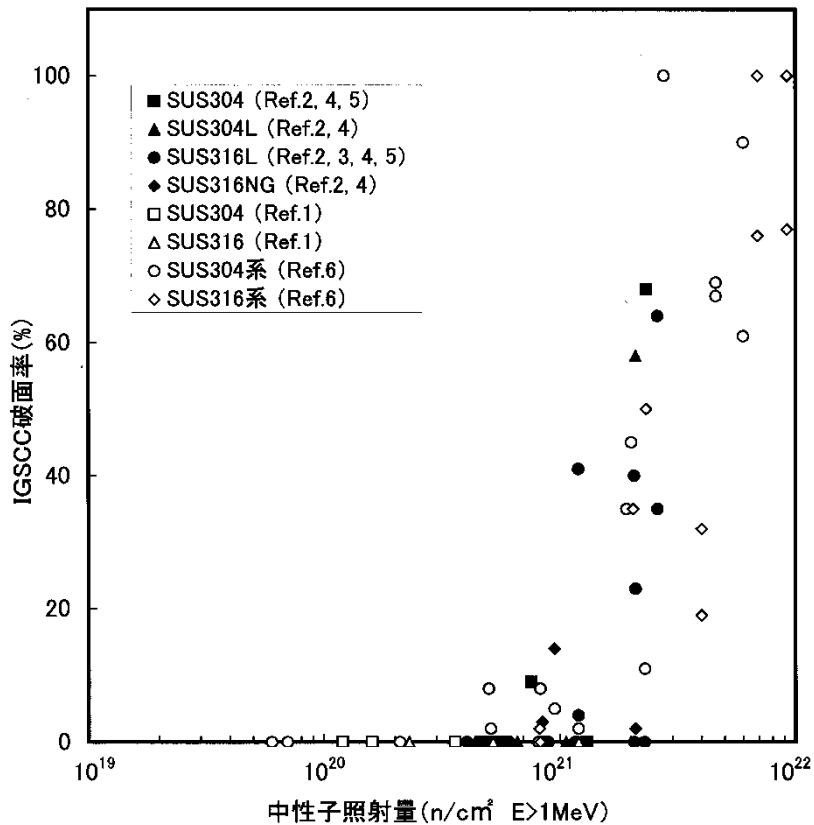


図 2.3-2 304, 316 ステンレス鋼の IGSCC 破面率に及ぼす中性子照射量の影響

[図で引用されている参考文献]

- Ref.1: K. Chatani et al, "Irradiation Assisted Stress Corrosion Cracking Susceptibility of Core Component Materials" Proceedings of 12th International Conference on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems -Water Reactors, 2005.
- Ref.2: 「平成 16 年度照射誘起応力腐食割れ(IASCC)評価技術調査研究に関する報告書」 独立行政法人 原子力安全基盤機構
- Ref.3: K. Chatani et al, "IASCC Susceptibility of Thermal Treated Type 316L Stainless Steel" Proceedings of 11th International Conference on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems -Water Reactors, 2003.
- Ref.4: Y. Tanaka et al, "IASCC Susceptibility of Type 304, 304L, and 316L Stainless Steel" Proceedings of 8th International Conference on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems -Water Reactors, 1997.
- Ref.5: K. Fukuya et al, "Mechanical Properties and IASCC Susceptibility in Irradiated Stainless Steels" Proceedings of 6th International Conference on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems -Water Reactors, 1993.
- Ref.6: S. Suzuki, M. Kodama, S. Shima, M. Yamamoto; Fifth International Symposium on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems-Water Reactors(1991). Effects of Fluence and Dissolved Oxygen on IASCC in Austenitic Stainless Steels.

浜岡原子力発電所 4 号機

ケーブルの技術評価書

[冷温状態が維持されることを前提とした評価]

中部電力株式会社

本評価書は、浜岡原子力発電所4号機（以下、「浜岡4号機」という。）における安全上重要なケーブル（重要度分類指針におけるPS-1, 2及びMS-1, 2に該当する機器）及び原子炉格納容器外の高温・高圧の環境下にあるクラス3のケーブル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。なお、高温・高圧の環境下にあるケーブルはない。

評価対象機器の一覧を表1に示す。

評価対象機器を電圧区分、絶縁体材料等で分類しそれぞれのグループから重要度、設置場所及び用途等の観点で代表機器を選定し技術評価を行った後、代表以外の機器について評価を展開している。

本評価書は、ケーブルの種別をもとにしたケーブル分類に、ケーブルトレイ、電線管及びケーブル接続部を合わせて以下の6分冊で構成されている。

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
5. ケーブルトレイ、電線管
6. ケーブル接続部

表 1(1/2) 評価対象機器一覧表

区分	絶縁体材料	名称	仕様 (シース)	重要度*1
高圧	架橋ポリエチレン	高圧難燃 CV ケーブル	難燃性低塩酸耐熱ビニル	MS-1
低圧	難燃性エチレンプロピレン ゴム	難燃 PN ケーブル	難燃性クロロプレン	MS-1
	難燃性架橋ポリエチレン	難燃 CV ケーブル	難燃性低塩酸耐熱ビニル	MS-1
		難燃 CC ケーブル	難燃性架橋ポリエチレン	MS-1
	ETFE*2	難燃 FN ケーブル	難燃性クロロプレン	MS-1
同軸	耐放射線性架橋ポリエチレン	難燃一重同軸ケーブル	難燃性低塩酸耐熱ビニル	MS-1
		難燃二重同軸ケーブル	難燃性架橋ポリエチレン	MS-1
	Rockbestos Polymer LE, 照射架橋発泡ポリオレフィン	難燃三重同軸ケーブル	難燃ノンコロシブ, 照射架橋ポリオレフィン	MS-1
	耐放射線性架橋発泡ポリエチレン	難燃六重同軸ケーブル	難燃性架橋ポリエチレン	MS-1
	発泡架橋ポリエチレン			MS-1
光ファイバ	—	GI 型光ファイバケーブル	難燃性低塩酸耐熱ビニル	MS-1
ケーブル トレイ, 電線管	—	ケーブルトレイ	—	MS-1
	—	電線管	—	MS-1
ケーブル 接続部	ジアリルフタレート樹脂	端子台接続	—	MS-1
	ポリフェニレンエーテル樹脂			MS-1
	ポリブチレンテレタレート樹脂			MS-1
	フェノール樹脂			MS-1
	ビニルテープ	端子接続	ビニルテープ	MS-1
	架橋ポリオレフィン	直ジョイント接続	—	MS-2
	ポリブチレンテレタレート樹脂			MS-1

*1：最上位の重要度を示す

*2：四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂

表 1(2/2) 評価対象機器一覧表

区分	絶縁体材料	名称	仕様 (シース)	重要度*1
ケーブル 接続部	ポリエーテルエーテルケトン樹脂	同軸コネクタ接続	—	MS-1
	テフロン			MS-1
	架橋ポリスチレン樹脂			MS-1
	ポリクロロブレン			MS-1
	難燃エチレンプロピレンゴム, エポキシ樹脂	ウォールペネトレーション接続	—	MS-1
	エポキシ樹脂, エチレンプロピレンゴム	高圧プラグインコネクタ接続	—	MS-1
	ジアリルフタレート樹脂	低圧プラグインコネクタ接続	—	PS-2

*1 : 最上位の重要度を示す

[ケーブル名称の略称について]

表 1 に示す浜岡 4 号機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。

No.	ケーブル略称	ケーブル名称
1	高圧難燃 CV ケーブル	高圧架橋ポリエチレン絶縁 難燃性低塩酸耐熱ビニルシースケーブル
2	難燃 PN ケーブル	難燃エチレンプロピレングム絶縁 難燃クロロプレンシースケーブル
3	難燃 CV ケーブル	難燃架橋ポリエチレン絶縁 難燃ビニルシースケーブル
4	難燃 CC ケーブル	難燃架橋ポリエチレン絶縁 難燃架橋ポリエチレンシースケーブル
5	難燃 FN ケーブル	四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂絶縁 難燃クロロプレンシースケーブル
6	GI 型光ファイバケーブル	グレーデッド・インデックス型光ファイバケーブル

1 高圧ケーブル

[対象機器]

- ① 高圧難燃 CV ケーブル

目 次

1.	対象機器及び代表機器の選定	1
2.	代表機器の技術評価	3
2.1	構造, 材料及び使用条件	3
2.1.1	高圧難燃 CV ケーブル	3
2.2	経年劣化事象の抽出	6
2.2.1	機器の機能達成に必要な項目	6
2.2.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	6
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	7
2.3	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	9

1. 対象機器及び代表機器の選定

高圧ケーブルの主な仕様を表 1-1 に示す。

このグループには、高圧難燃 CV ケーブルのみが対象であるが、設置場所から原子炉格納容器外のケーブルを代表機器とする。

表 1-1 浜岡 4 号機 高圧ケーブルの主な仕様

分類基準		機器名称	用途	重要度*1	設置場所		供用開始時期		仕様	
区分	絶縁体材料				原子炉格納容器内	原子炉格納容器外	建設時	運転開始後	シース	電圧
高圧	架橋ポリエチレン	高圧難燃 CV ケーブル	動力	MS-1		○	○	○	難燃性低塩酸耐熱ビニル	7,000V 以下

*1：最上位の重要度を示す

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ケーブルについて技術評価を実施する。

① 高圧難燃 CV ケーブル

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 高圧難燃 CV ケーブル

(1) 構造

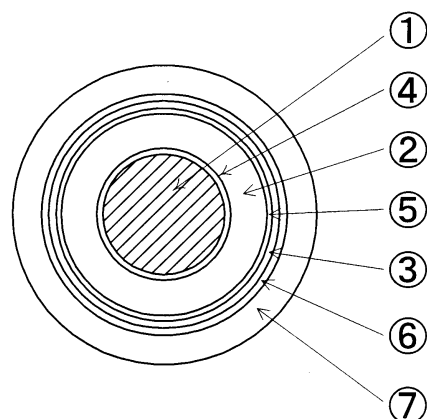
高圧難燃 CV ケーブルは、大別すると導体、内部半導電層、絶縁体、外部半導電層、シールド、押さえテープ及びシースで構成され、このうち、ケーブルの絶縁機能は、絶縁体にて保たれている。

シールドは導体の静電誘導を低減するため、内部半導電層及び外部半導電層は電界強度のバラツキを押さえるため、押さえテープはケーブルを整形するため、シースはケーブルを外的な力から保護するために設けられている。

高圧難燃 CV ケーブルの構造図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

高圧難燃 CV ケーブル主要部位の使用材料を表 2.1-1 に、使用条件を表 2.1-2 に示す。



No.	部位
①	導体
②	絶縁体
③	シールド
④	内部半導電層
⑤	外部半導電層
⑥	押さえテープ
⑦	シース

図 2.1-1 浜岡 4 号機 高圧難燃 CV ケーブル構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 高圧難燃 CV ケーブル主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
電力・信号伝達 機能の維持	エネルギー伝達	導体	軟銅より線
	絶縁	絶縁体	架橋ポリエチレン
	遮へい	シールド	軟銅テープ
	整形	内部半導電層	半導電テープ
		外部半導電層	半導電テープ
		押さえテープ	布テープ
	保護	シース	難燃性低塩酸耐熱ビニル

表 2.1-2 浜岡 4 号機 高圧難燃 CV ケーブルの使用条件

	通常運転時
設置場所	原子炉格納容器外（原子炉建屋内）
周囲温度	50℃以下*1

*1：原子炉格納容器外（原子炉建屋内）で、高圧難燃 CV ケーブルが布設されている区域における設計値を示す

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

高圧ケーブルの機能である通電機能の達成に必要な項目は以下のとおり。

①電力・信号伝達機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

(1) 想定される経年劣化事象

高圧ケーブルについて、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、個々の部位の材料、構造、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、表 2.2-1 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

高圧ケーブルには、消耗品及び定期取替品はない。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）

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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として以下の事象を抽出した（表 2.2-1 で○）。

- a. 絶縁体の絶縁特性低下
- b. 絶縁体の絶縁特性低下（水トリー劣化）

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 熱・放射線によるシースの劣化

高圧難燃 CV ケーブルの難燃性低塩酸耐熱ビニルシースは有機物であり、熱及び放射線によるシースの劣化が想定される。しかしながら、シースは、ケーブル布設時に生ずる外的な力からケーブルを保護するためのものであり、ケーブルに要求される電力・信号伝達機能の確保に対するシースの役割は極めて小さい。また、これまでにケーブルの絶縁抵抗測定及びケーブルに接続されている機器の点検時動作試験の結果から、シースの劣化による電力伝達機能への影響は確認されていない。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

表 2.2-1 浜岡 4 号機 高圧難燃 CV 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	サブシステム	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	その他		
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	特性変化			
電力・信号伝達機能の維持	エネルギー伝達	導体		軟銅より線									*1:熱・放射線を起因とした劣化 *2:水トリ劣化	
	絶縁	絶縁体		架橋ポリエチレン					○*1*2					
	遮へい	シールド		軟銅テープ										
	整形	内部半導電層		半導電テープ										
		外部半導電層		半導電テープ										
		押さえテープ		布テープ										
	保護	シース		難燃性低塩酸耐熱ビニル								△*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

(1) 絶縁体の絶縁特性低下

a. 事象の説明

絶縁体は、有機物の架橋ポリエチレンであるため、熱及び放射線による物性変化、絶縁物内の異物やボイドでの放電により、経年的に劣化が進行し、絶縁特性低下を起こす可能性があり、経年劣化に対する評価が必要である。

絶縁特性低下を生ずる可能性のある部位を図 2.3-1 に示す。

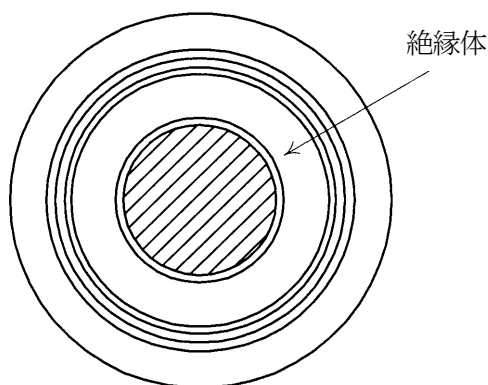


図 2.3-1 浜岡 4 号機 高圧難燃 CV ケーブルの絶縁部位

b. 技術評価

①健全性評価

高圧難燃 CV ケーブルの絶縁体は、有機物の架橋ポリエチレンであり、熱及び放射線による物性変化、絶縁物内の異物やボイドでの放電により、経年的に劣化が進行し、絶縁特性低下を起こす可能性があることから、長期間の使用を考慮すると絶縁体の絶縁特性低下の可能性は否定できない。

②現状保全

高圧難燃 CV ケーブルの絶縁特性低下に対しては、系統機器の点検時における絶縁抵抗測定及びケーブル絶縁診断を実施し、有意な絶縁特性低下が無いことを確認しており、系統機器の点検時に実施する機器の動作試験においてもケーブルの健全性を確認している。

また、点検結果から有意な絶縁特性低下が認められた場合には、ケーブルの取替えを行うこととしている。

さらに、当面の安定停止状態においては、その運転状況を考慮した点検を行うこととしている。

③総合評価

高圧難燃 CV ケーブルの絶縁体については、絶縁特性低下の可能性は否定できないが、絶縁特性低下は点検時における絶縁抵抗測定及びケーブル絶縁診断で把握可能であ

る。

また、当面の安定停止状態においても、接続機器の運転状況を加味し、系統機器の定例的な切替えや定例試験を含む日常保全を継続し、必要に応じて適切な対応をとることにより、設備の健全性を維持できると判断する。

c. 高経年化への対応

高圧難燃 CV ケーブルの絶縁体の絶縁特性低下に対しては、高経年化対策の観点から現状保全の内容に対し追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

(2) 絶縁体の絶縁特性低下（水トリー劣化）

a. 事象の説明

高圧難燃 CV ケーブルの絶縁体は有機物の架橋ポリエチレンであり、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、水トリーと称される種々の樹枝状の微細な通路あるいは空隙が発生して絶縁特性低下を起こす可能性があり、経年劣化に対する評価が必要である。

水トリー劣化を生ずる可能性のある部位を図 2.3-1 に示す。

b. 技術評価

①健全性評価

高圧難燃 CV ケーブルの絶縁体の水トリー劣化については、雨水等によるケーブル浸水及び高湿度環境により発生する可能性がある。

屋内布設ケーブルは、屋内空調環境下に設置されており、ケーブル浸水及び高湿度環境となる可能性は極めて小さい。

屋外布設ケーブルは、トレンチ及びピット内部に架空化されたケーブルトレイ、電線管により布設されており、仮に水が溜まった場合は排水ポンプ、排水口により排水され、ケーブルが長時間浸水する可能性は極めて小さいが、外気等による高湿度環境を考慮すると水トリー劣化による絶縁特性低下の可能性は否定できない。

②現状保全

高圧難燃 CV ケーブルの絶縁体の水トリー劣化については、系統機器の点検時における絶縁抵抗測定、ケーブル絶縁診断及び動作試験によりケーブルの健全性を確認しており、点検結果から有意な絶縁特性低下が認められた場合には、ケーブルの取替えを実施している。

また、当面の安定停止状態においては、その運転状況を考慮した点検を行うこととしている。

③総合評価

高圧難燃 CV ケーブルの絶縁体の劣化については、水トリー劣化による急激な絶縁特

性低下の可能性は否定できないが、系統機器点検時の絶縁抵抗測定、ケーブル絶縁診断及び系統機器の動作試験で把握可能である。

また、当面の安定停止状態においても、必要な運転状況を加味し、系統機器点検時の動作確認、絶縁抵抗測定及びケーブル絶縁診断を実施し、絶縁特性の傾向を管理していくとともに、必要に応じて適切な対応をとることにより、設備の健全性を維持できると判断する。

c. 高経年化への対応

高圧難燃 CV ケーブルの絶縁体の水トリー劣化に対しては、高経年化対策の観点から現状保全の内容に対して追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

以 上

2 低圧ケーブル

[対象機器]

- ① 難燃 PN ケーブル
- ② 難燃 CV ケーブル
- ③ 難燃 CC ケーブル
- ④ 難燃 FN ケーブル

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造, 材料及び使用条件	3
2.1.1 難燃 PN ケーブル	3
2.1.2 難燃 CV ケーブル	6
2.1.3 難燃 FN ケーブル	9
2.2 経年劣化事象の抽出	12
2.2.1 機器の機能達成に必要な項目	12
2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	12
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	13
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	17
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	21

1. 対象機器及び代表機器の選定

低圧ケーブルの主な仕様を表 1-1 に示す。

これらの低圧ケーブルをグループ化し、それぞれのグループより代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

絶縁体材料を分類基準とし、低圧ケーブルを表 1-1 に示すとおりグループ化する。

1.2 代表機器の選定

表 1-1 に分類したグループ毎に、重要度、設置場所及び用途の観点から代表機器を選定する。

(1) 絶縁体材料：難燃性エチレンプロピレンゴム

このグループには、難燃 PN ケーブルのみが属するため、難燃 PN ケーブルを代表機器とする。

(2) 絶縁体材料：難燃性架橋ポリエチレン

このグループには、難燃 CV ケーブル及び難燃 CC ケーブルが属するが、用途の観点から難燃 CV ケーブルを代表機器とする。

(3) 絶縁体材料：ETFE（四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂）

このグループには、難燃 FN ケーブルのみが属するため、難燃 FN ケーブルを代表機器とする。

表 1-1 浜岡 4 号機 低圧ケーブルのグループ化及び代表機器の選定

分類基準		機器名称	選定基準						仕様		選定	選定理由
区分	絶縁体材料		用途	重要度*1	設置場所		供用開始時期		シース	電圧		
					原子炉格納容器内	原子炉格納容器外	建設時	運転開始後				
低圧	難燃性エチレン プロピレンゴム	難燃 PN ケーブル	動力・制御・計測	MS-1	○		○	○	難燃性クロロプレン	600 V 以下	◎	
	難燃性架橋 ポリエチレン	難燃 CV ケーブル	動力・制御・計測	MS-1		○	○	○	難燃性低塩酸耐熱ビニル	600 V 以下	◎	用途
		難燃 CC ケーブル	計測	MS-1		○	○		難燃性架橋ポリエチレン	600 V 以下		
	ETFE*2	難燃 FN ケーブル	制御・計測	MS-1		○	○	○	難燃性クロロプレン	600 V 以下	◎	

*1：最上位の重要度を示す

*2：四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂

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ケーブルについて技術評価を実施する。

- ① 難燃 PN ケーブル
- ② 難燃 CV ケーブル
- ③ 難燃 FN ケーブル

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 難燃 PN ケーブル

(1) 構造

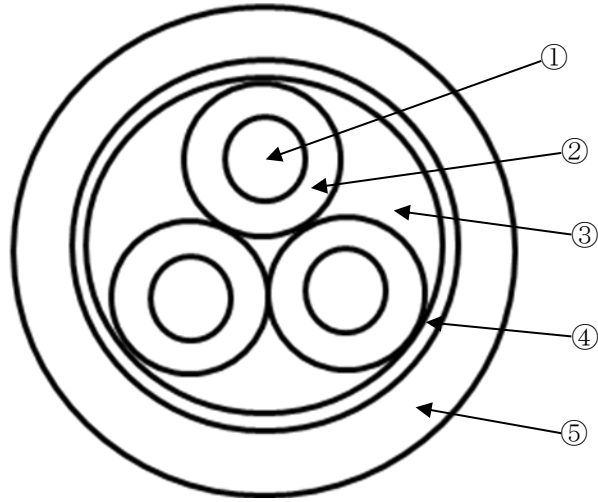
難燃 PN ケーブルは、大別すると導体、絶縁体、介在物、押さえテープ及びシースで構成され、このうち、ケーブルの絶縁機能は、絶縁体にて保たれている。

介在物及び押さえテープはケーブルを整形するため、シースはケーブルを外的な力から保護するために設けられている。

難燃 PN ケーブルの構造図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

難燃 PN ケーブル主要部位の使用材料を表 2.1-1 に、使用条件を表 2.1-2 に示す。



No.	部位
①	導体
②	絶縁体
③	介在物
④	押さえテープ
⑤	シース

図 2.1-1 浜岡 4 号機 難燃 PN ケーブル構造図 (3 心ケーブルの例)

表 2.1-1 浜岡 4 号機 難燃 PN ケーブル主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
電力・信号伝達 機能の維持	エネルギー・信号 伝達	導体	錫メッキ軟銅線
	絶縁	絶縁体	難燃性エチレンプロピレンゴム
	整形	介在物	難燃性ジュート
		押さえテープ	難燃性ゴム引布テープ
	保護	シース	難燃性クロロプレン

表 2.1-2 浜岡 4 号機 難燃 PN ケーブルの使用条件

	通常運転時
設置場所	原子炉格納容器内
周囲温度	66°C以下*1

*1：原子炉格納容器内で、難燃 PN ケーブルが布設されている最も
周囲温度が高い区域の設計値を示す

2.1.2 難燃 CV ケーブル

(1) 構造

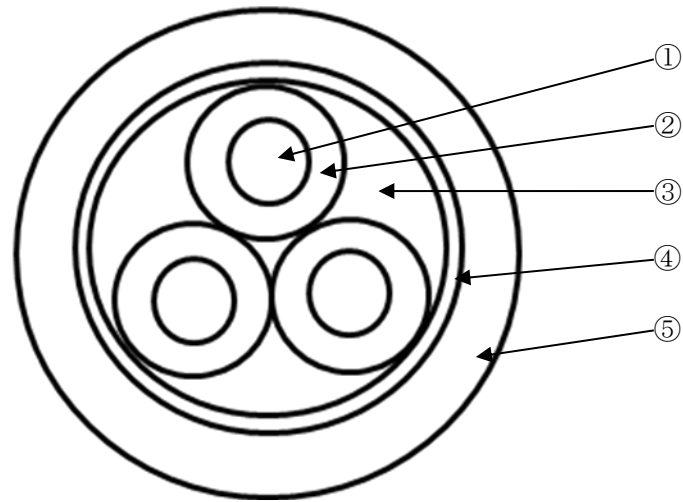
難燃 CV ケーブルは、大別すると導体、絶縁体、介在物、押さえテープ及びシースで構成され、このうち、ケーブルの絶縁機能は、絶縁体にて保たれている。

介在物及び押さえテープはケーブルを整形するため、シースはケーブルを外的な力から保護するために設けられている。

難燃 CV ケーブルの構造図を図 2.1-2 に示す。

(2) 材料及び使用条件

難燃 CV ケーブル主要部位の使用材料を表 2.1-3 に、使用条件を表 2.1-4 に示す。



No.	部位
①	導体
②	絶縁体
③	介在物
④	押さえテープ
⑤	シース

図 2.1-2 浜岡 4 号機 難燃 CV ケーブル構造図 (3 心ケーブルの例)

表 2.1-3 浜岡 4 号機 難燃 CV ケーブル主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
電力・信号伝達 機能の維持	エネルギー・信号 伝達	導体	軟銅素線
	絶縁	絶縁体	難燃性架橋ポリエチレン
	整形	介在物	難燃性ジュート
		押さえテープ	難燃性ゴム引布テープ
	保護	シース	難燃性低塩酸耐熱ビニル

表 2.1-4 浜岡 4 号機 難燃 CV ケーブルの使用条件

	通常運転時
設置場所	原子炉格納容器外
周囲温度	50℃以下*1

*1：原子炉格納容器外（原子炉建屋内）で、難燃 CV ケーブルが布設されている最も周囲温度が高い区域の設計値を示す

2.1.3 難燃 FN ケーブル

(1) 構造

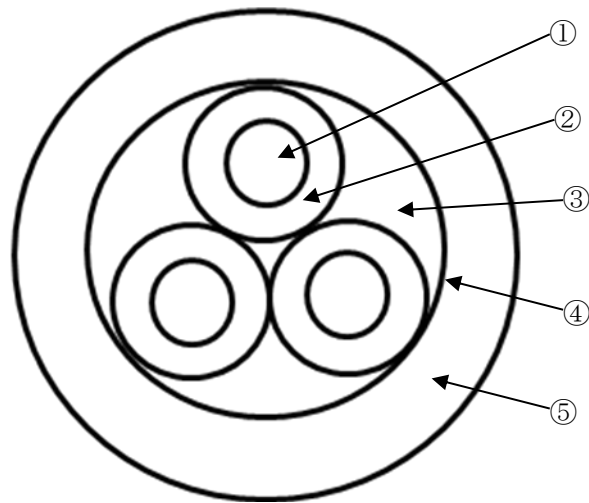
難燃 FN ケーブルは、大別すると導体、絶縁体、介在物、押さえテープ及びシースで構成されこのうち、ケーブルの絶縁機能は、絶縁体にて保たれている。

介在物及び押さえテープはケーブルを整形するため、シースはケーブルを外的な力から保護するために設けられている。

難燃 FN ケーブルの構造図を図 2.1-3 に示す。

(2) 材料及び使用条件

難燃 FN ケーブル主要部位の使用材料を表 2.1-5 に、使用条件を表 2.1-6 に示す。



No.	部位
①	導体
②	絶縁体
③	介在物
④	押さえテープ
⑤	シース

図 2.1-3 浜岡 4 号機 難燃 FN ケーブル構造図 (3 心ケーブルの例)

表 2.1-5 浜岡 4 号機 難燃 FN ケーブル主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
電力・信号伝達 機能の維持	エネルギー・信号 伝達	導体	錫メッキ軟銅線
	絶縁	絶縁体	ETFE (四フッ化エチレン・エチレン 共重合樹脂)
	整形	介在物	難燃性ジュート
		押さえテープ	難燃性ゴム引布テープ
	保護	シース	難燃性クロロプレン

表 2.1-6 浜岡 4 号機 難燃 FN ケーブルの使用条件

	通常運転時
設置場所	原子炉格納容器外
周囲温度	40℃以下*1

*1：原子炉格納容器外（原子炉建屋内）で、難燃 FN ケーブルが布設されている最も周囲温度が高い区域の設計値を示す

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

低圧ケーブルの機能である通電機能の達成に必要な項目は以下のとおり。

①電力・信号伝達機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

(1) 想定される経年劣化事象

低圧ケーブルについて、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、個々の部位の材料、構造、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、表 2.2-1 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

低圧ケーブルには、消耗品及び定期取替品はない。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）

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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として以下の事象を抽出した（表 2.2-1 で○）。

a. 絶縁体の絶縁特性低下 [難燃 PN ケーブル]

b. 絶縁体の絶縁特性低下 [難燃 CV ケーブル]

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 熱・放射線によるシースの劣化 [共通]

難燃 PN ケーブル及び難燃 FN ケーブルのシースは、有機物の難燃性クロロプレン、難燃 CV ケーブルのシースは、有機物の難燃性低塩酸耐熱ビニルであり、熱及び放射線によるシースの劣化が想定される。しかしながら、シースはケーブル布設時に生ずる外的な力からケーブルを保護するためのものであり、ケーブルに要求される電力・信号伝達機能の確保に対するシースの役割は極めて低い。また、これまでケーブルに接続されている機器の点検時の絶縁抵抗測定及び動作試験の結果から、有意なシースの劣化による電力・信号伝達機能への影響は確認されていない。

b. 絶縁体の絶縁特性低下 [難燃 FN ケーブル]

難燃 FN ケーブルの絶縁体は、有機物の四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂であり、熱による絶縁特性低下が想定される。しかしながら、絶縁体の絶縁特性低下に対しては、ケーブルに接続されている機器の点検時の絶縁抵抗測定及び動作試験により、ケーブルの健全性を定期的に確認している。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

表 2.2-1(1/3) 浜岡4号機 難燃PN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	サブシステム	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	その他		
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	特性変化			
電力・信号伝達機能の維持	エネルギー・信号伝達	導体		錫メッキ軟銅線									*1:熱・放射線を起因とした劣化	
	絶縁	絶縁体		難燃性エチレンプロピレンゴム					○*1					
	整形	介在物		難燃性ジュート										
		押さえテープ		難燃性ゴム引布テープ										
	保護	シース		難燃性クロロプレン								△*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(2/3) 浜岡4号機 難燃CV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	サブシステム	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	その他		
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	特性変化			
電力・信号伝達機能の維持	エネルギー・信号伝達	導体		軟銅素線									*1:熱・放射線を起因とした劣化	
	絶縁	絶縁体		難燃性架橋ポリエチレン					○*1					
	整形	介在物		難燃性ジュート										
		押さえテープ		難燃性ゴム引布テープ										
	保護	シース		難燃性低塩酸耐熱ビニル								△*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(3/3) 浜岡4号機 難燃FN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	サブシステム	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	その他		
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	特性変化			
電力・信号伝達機能の維持	エネルギー・信号伝達	導体		錫メッキ軟銅線									*1:四フッ化エチレン・エチン重合樹脂 *2:熱を起因とした劣化	
	絶縁	絶縁体		ETFE*1					△*2					
	整形	介在物		難燃性ジュート										
		押さえテープ		難燃性ゴム引布テープ										
	保護	シース		難燃性クロロプレン								△*2		

○：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

(1) 絶縁体の絶縁特性低下 [難燃 PN ケーブル]

a. 事象の説明

絶縁体は、有機物の難燃性エチレンプロピレンゴムであるため、熱及び放射線による物性変化により、経年的に劣化が進行し、絶縁特性低下を起こす可能性があり、経年劣化に対する評価が必要である。

絶縁特性低下を生ずる可能性のある部位を図 2.3-1 に示す。

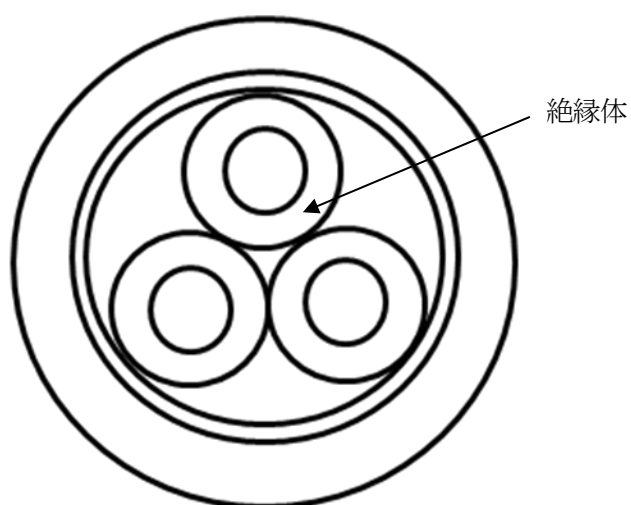


図 2.3-1 浜岡 4 号機 難燃 PN ケーブルの絶縁部

b. 技術評価

① 健全性評価

難燃 PN ケーブルの絶縁体は、有機物の難燃性エチレンプロピレンゴムであり、熱及び放射線による物性変化により、経年的に劣化が進行し、絶縁特性低下を起こす可能性があることから、長期間の使用を考慮すると絶縁体の絶縁特性低下の可能性は否定できない。

② 現状保全

難燃 PN ケーブルの絶縁特性低下に対しては、系統機器の点検時における絶縁抵抗測定及び動作試験によりケーブルの健全性を確認しており、点検結果から有意な絶縁特性低下が認められた場合には、ケーブルの取替えを行うこととしている。

また、当面の安定停止状態においては、接続機器の運転状況を考慮した点検を行うこととしている。

③ 総合評価

難燃 PN ケーブルの絶縁体については、絶縁特性低下の可能性は否定できないが、絶縁特性低下は点検時における絶縁抵抗測定により把握可能である。

また、当面の安定停止状態においては、接続機器の運転状況を加味し、系統機器の定例的な切替えや定例試験を含む日常保全を継続するとともに、必要に応じて適切な対応をとることにより、ケーブルの健全性を維持できると判断する。

c. 高経年化への対応

絶縁体の絶縁低下特性に対しては、高経年化対策の観点から現状保全の内容に追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

(2) 絶縁体の絶縁特性低下 [難燃 CV ケーブル]

a. 事象の説明

絶縁体は、有機物の難燃性架橋ポリエチレンであるため、熱及び放射線による物性変化により、経年的に劣化が進行し、絶縁特性低下を起こす可能性があり、経年劣化に対する評価が必要である。

絶縁特性低下を生ずる可能性のある部位を図 2.3-2 に示す。

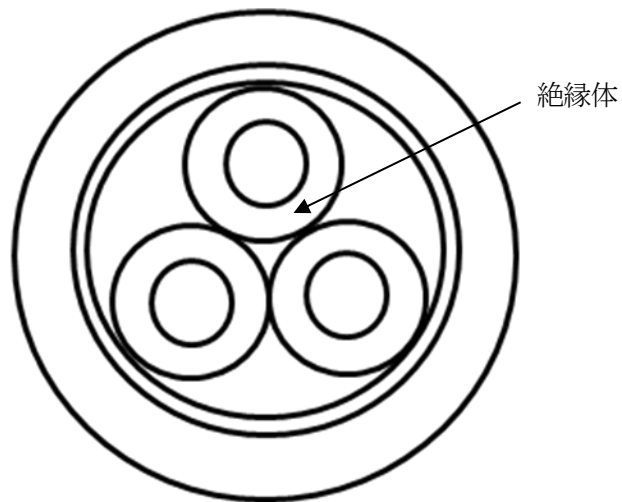


図 2.3-2 浜岡 4 号機 難燃 CV ケーブルの絶縁部位

b. 技術評価

① 健全性評価

難燃 CV ケーブルの絶縁体は、有機物の難燃性架橋ポリエチレンであり、熱及び放射線による物性変化により、経年的に劣化が進行し、絶縁特性低下を起こす可能性があることから、長期間の使用を考慮すると絶縁体の絶縁特性低下の可能性は否定できない。

② 現状保全

難燃 CV ケーブルの絶縁特性低下に対しては、系統機器の点検時における絶縁抵抗測定及び動作試験によりケーブルの健全性を確認しており、点検結果から有意な絶縁特性低下が認められた場合には、ケーブルの取替えを行うこととしている。

また、当面の安定停止状態においては、接続機器の運転状況を考慮した点検を行うこととしている。

③ 総合評価

難燃 CV ケーブルの絶縁体については、絶縁特性低下の可能性は否定できないが、絶縁特性低下は点検時における絶縁抵抗測定により把握可能である。

また、当面の安定停止状態においては、接続機器の運転状況を加味し、系統機器の定例的な切替えや定例試験を含む日常保全を継続するとともに、必要に応じて適切な対応をとることにより、ケーブルの健全性を維持できると判断する。

c. 高経年化への対応

絶縁体の絶縁特性低下に対しては、高経年化対策の観点から現状保全の内容に追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

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を検討した。

① 難燃 CC ケーブル

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

a. 絶縁体の絶縁特性低下

代表機器同様、絶縁体は有機物の難燃性架橋ポリエチレンであり、熱及び放射線による物性変化により、絶縁特性低下を起こす可能性は否定できないが、絶縁特性低下に対しては系統機器点検時の絶縁抵抗測定及び動作試験で把握可能であり、点検結果から有意な絶縁特性低下が認められた場合には、ケーブルの取替えを行うこととしている。

また、当面の安定停止状態においては、接続機器の運転状況を考慮した点検を行うこととしている。

したがって、当面の安定停止状態においては、接続機器の運転状況を加味し、系統機器の定例的な切替えや定例試験を含む日常保全を継続するとともに、必要に応じて適切な対応をとることにより、設備の健全性は維持できることから、高経年化対策の観点から現状保全の内容に対して追加すべき項目はないと判断した。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 熱・放射線によるシースの劣化

代表機器同様、難燃 CC ケーブルのシースは、有機物の難燃性架橋ポリエチレンであり、熱及び放射線によるシースの劣化が想定される。しかしながら、シースはケーブル布設時に生ずる外的な力からケーブルを保護するためのものであり、ケーブルに要求される電力・信号伝達機能の確保に対するシースの役割は極めて低い。また、これまでケーブルに接続されている機器の点検時の絶縁抵抗測定及び動作試験の結果から、有意なシースの劣化による電力・信号伝達機能への影響は確認されていない。

- (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を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

以 上

3 同軸ケーブル

[対象機器]

① 難燃一重同軸ケーブル

② 難燃二重同軸ケーブル

③ 難燃三重同軸ケーブル

④ 難燃六重同軸ケーブル

(絶縁体材料：耐放射線性架橋発泡ポリエチレン)

⑤ 難燃六重同軸ケーブル

(絶縁体材料：発泡架橋ポリエチレン)

目 次

1.	対象機器及び代表機器の選定	1
1.1	グループ化の考え方及び結果	1
1.2	代表機器の選定	1
2.	代表機器の技術評価	3
2.1	構造, 材料及び使用条件	3
2.1.1	難燃二重同軸ケーブル	3
2.1.2	難燃三重同軸ケーブル	6
2.1.3	難燃六重同軸ケーブル (絶縁体材料: 耐放射線性架橋発泡ポリエチレン)	9
2.1.4	難燃六重同軸ケーブル (絶縁体材料: 発泡架橋ポリエチレン)	12
2.2	経年劣化事象の抽出	15
2.2.1	機器の機能達成に必要な項目	15
2.2.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	15
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	16
2.3	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	21
3.	代表機器以外への展開	28
3.1	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	28
3.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	29

1. 対象機器及び代表機器の選定

同軸ケーブルの主な仕様を表 1-1 に示す。

これらの同軸ケーブルをグループ化し、それぞれのグループより代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

絶縁体材料を分類基準とし、同軸ケーブルを表 1-1 に示すとおりグループ化する。

1.2 代表機器の選定

表 1-1 に分類したグループ毎に、重要度、設置場所及び用途等の観点から、代表機器を選定する。

(1) 絶縁体材料：耐放射線性架橋ポリエチレン

このグループには、難燃一重同軸ケーブル及び難燃二重同軸ケーブルが属するが、用途の重要性の観点から難燃二重同軸ケーブルを代表機器とする。

(2) 絶縁体材料：Rockbestos Polymer LE, 照射架橋発泡ポリオレフィン

このグループには、難燃三重同軸ケーブルのみが属するため、難燃三重同軸ケーブルを代表機器とする。

(3) 絶縁体材料：耐放射線性架橋発泡ポリエチレン

このグループには、難燃六重同軸ケーブルのみが属するため、難燃六重同軸ケーブルを代表機器とする。

(4) 絶縁体材料：発泡架橋ポリエチレン

このグループには、難燃六重同軸ケーブルのみが属するため、難燃六重同軸ケーブルを代表機器とする。

表 1-1 浜岡 4 号機 同軸ケーブルのグループ化及び代表機器の選定

分類基準		機器名称	選定基準						仕様	選定	選定理由
区分	絶縁体材料		用途	重要度*1	設置場所		供用開始時期		シース		
					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	耐放射線性架橋ポリエチレン	難燃一重同軸ケーブル	計測	MS-1		○	○		難燃性低塩酸耐熱ビニル		用途
		難燃二重同軸ケーブル	計測*2	MS-1		○	○		難燃性架橋ポリエチレン	◎	
	Rockbestos Polymer LE 照射架橋発泡ポリオレフィン	難燃三重同軸ケーブル	計測*2	MS-1		○	○		難燃ノンコロシブ 照射架橋ポリオレフィン	◎	
	耐放射線性架橋発泡ポリエチレン	難燃六重同軸ケーブル	計測*2	MS-1	○			○	難燃性架橋ポリエチレン	◎	
			発泡架橋ポリエチレン	計測*2	MS-1	○			○	難燃性架橋ポリエチレン	◎

*1：最上位の重要度を示す

*2：核計装信号

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ケーブルについて技術評価を実施する。

- ① 難燃二重同軸ケーブル
- ② 難燃三重同軸ケーブル
- ③ 難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：耐放射線性架橋発泡ポリエチレン）
- ④ 難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：発泡架橋ポリエチレン）

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 難燃二重同軸ケーブル

(1) 構造

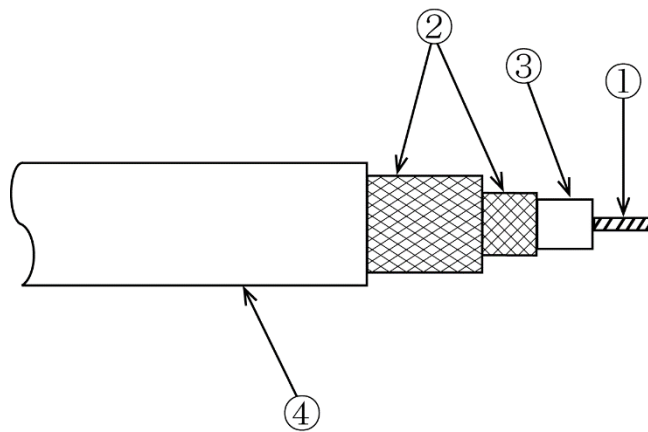
難燃二重同軸ケーブルは、大別すると内部導体、絶縁体、外部導体及びシースで構成され、このうち、ケーブルの絶縁機能は、絶縁体にて保たれている。

シースは、ケーブルを外的な力から保護するために設けられている。

代表的な難燃二重同軸ケーブルの構造図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

難燃二重同軸ケーブル主要部位の使用材料を表 2.1-1 に、使用条件を表 2.1-2 に示す。



No.	部位
①	内部導体
②	外部導体
③	絶縁体
④	シース

図 2.1-1 浜岡 4 号機 難燃二重同軸ケーブル構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 難燃二重同軸ケーブル主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
信号伝達機能の維持	信号伝達	内部導体	錫メッキ軟銅より線
		外部導体	錫メッキ軟銅編組
	絶縁	絶縁体	耐放射線性架橋ポリエチレン
	保護	シース	難燃性架橋ポリエチレン

表 2.1-2 浜岡 4 号機 難燃二重同軸ケーブルの使用条件

	通常運転時
設置場所	原子炉格納容器外
周囲温度	40 °C以下*1

*1：原子炉格納容器外（原子炉建屋内）で、難燃二重同軸ケーブルが布設されている最も周囲温度が高い区域の設計値を示す

2.1.2 難燃三重同軸ケーブル

(1) 構造

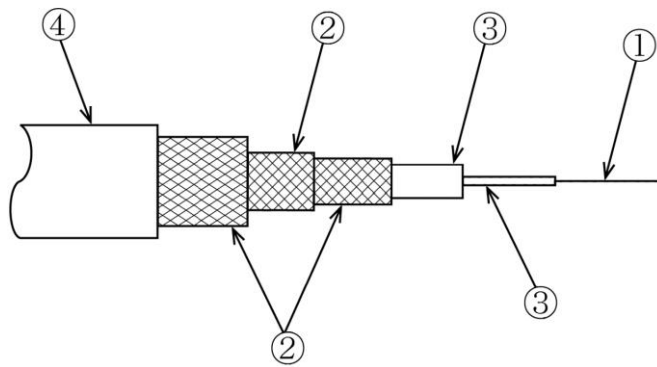
難燃三重同軸ケーブルは、大別すると内部導体、絶縁体、外部導体及びシースで構成され、このうち、ケーブルの絶縁機能は、絶縁体で保たれている。

シースは、ケーブルを外的な力から保護するために設けられている。

代表的な難燃三重同軸ケーブルの構造図を図 2.1-2 に示す。

(2) 材料及び使用条件

難燃三重同軸ケーブル主要部位の使用材料を表 2.1-3 に、使用条件を表 2.1-4 に示す。



No.	部位
①	内部導体
②	外部導体
③	絶縁体
④	シース

図 2.1-2 浜岡 4 号機 難燃三重同軸ケーブル構造図

表 2.1-3 浜岡 4 号機 難燃三重同軸ケーブル主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
信号伝達機能の維持	信号伝達	内部導体	錫メッキ軟銅より線
		外部導体	錫メッキ軟銅編組
	絶縁	絶縁体	Rockbestos Polymer LE 照射架橋発泡ポリオレフィン
	保護	シース	難燃ノンコロシブ照射架橋ポリオレフィン

表 2.1-4 浜岡 4 号機 難燃三重同軸ケーブルの使用条件

	通常運転時
設置場所	原子炉格納容器外
周囲温度	40 °C以下*1

*1：原子炉格納容器外（原子炉建屋内）で、難燃三重同軸ケーブルが
布設されている最も周囲温度が高い区域の設計値を示す

2.1.3 難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：耐放射線性架橋発泡ポリエチレン）

(1) 構造

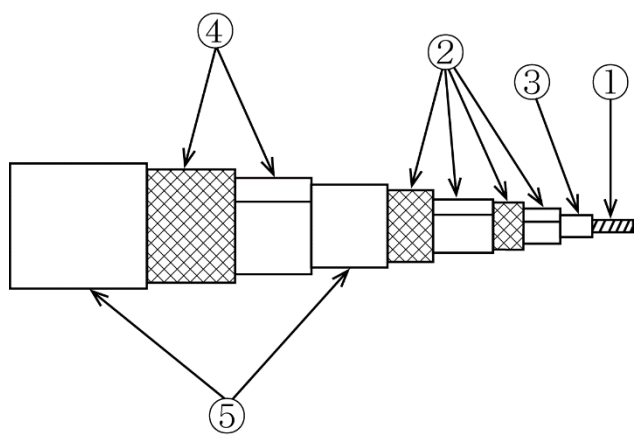
難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：耐放射線性架橋発泡ポリエチレン）は、大別すると内部導体、絶縁体、外部導体、遮へい及びシースで構成され、このうち、ケーブルの絶縁機能は、絶縁体で保たれている。

シースは、ケーブルを外的な力から保護するために設けられている。

代表的な難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：耐放射線性架橋発泡ポリエチレン）の構造図を図 2.1-3 に示す。

(2) 材料及び使用条件

難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：耐放射線性架橋発泡ポリエチレン）主要部位の使用材料を表 2.1-5 に、使用条件を表 2.1-6 に示す。



No.	部位
①	内部導体
②	外部導体
③	絶縁体
④	遮へい
⑤	シース

図 2.1-3 浜岡 4 号機 難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：耐放射線性架橋発泡ポリエチレン）構造図

表 2.1-5 浜岡 4 号機 難燃六重同軸ケーブル
 (絶縁体材料：耐放射線性架橋発泡ポリエチレン) 主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
信号伝達機能の維持	信号伝達	内部導体	軟銅線 (錫メッキ) 寄合せ
		外部導体	軟銅線 (錫メッキ) 編組 アルミ箔張付プラスチックテープ アルミマイラテープ
	絶縁	絶縁体	耐放射線性架橋発泡ポリエチレン
	遮へい	遮へい	軟銅線 (錫メッキ) 編組 アルミ箔張付プラスチックテープ
	保護	シース	難燃性架橋ポリエチレン

表 2.1-6 浜岡 4 号機 難燃六重同軸ケーブル
 (絶縁体材料：耐放射線性架橋発泡ポリエチレン) の使用条件

	通常運転時
設置場所	原子炉格納容器内
周囲温度	74 °C以下*1

*1：原子炉格納容器内で、難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：耐放射線性架橋発泡ポリエチレン）が布設されている最も周囲温度が高い区域の設計値を示す

2.1.4 難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：発泡架橋ポリエチレン）

(1) 構造

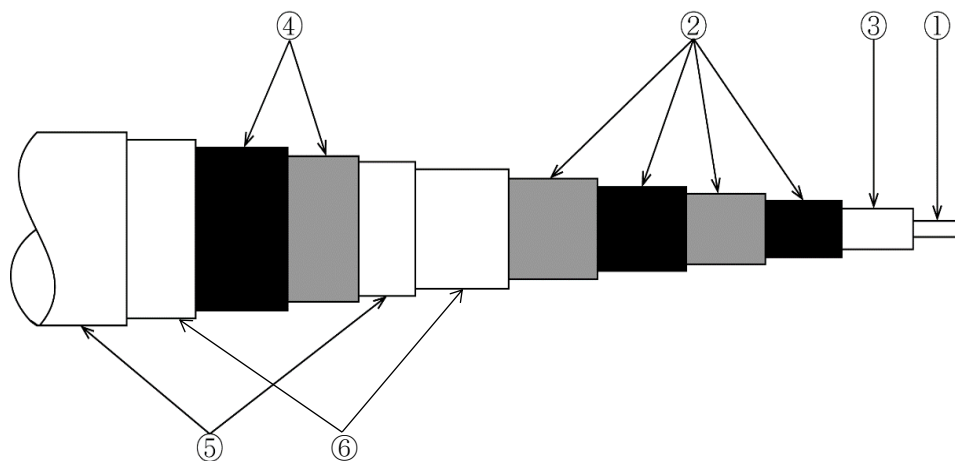
難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：発泡架橋ポリエチレン）は、大別すると内部導体、絶縁体、外部導体、遮へい及びシースで構成され、このうち、ケーブルの絶縁機能は、絶縁体で保たれている。

シースは、ケーブルを外的な力から保護するために設けられている。

代表的な難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：発泡架橋ポリエチレン）の構造図を図 2.1-4 に示す。

(2) 材料及び使用条件

難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：発泡架橋ポリエチレン）主要部位の使用材料を表 2.1-7 に、使用条件を表 2.1-8 に示す。



No.	部位
①	内部導体
②	外部導体
③	絶縁体
④	遮へい
⑤	シース
⑥	セパレータ

図 2.1-4 浜岡 4 号機 難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：発泡架橋ポリエチレン）構造図

表 2.1-7 浜岡 4 号機 難燃六重同軸ケーブル
(絶縁体材料：発泡架橋ポリエチレン) 主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
信号伝達機能の維持	信号伝達	内部導体	錫メッキ軟銅より線
		外部導体	錫メッキ軟銅線編組 アルミ/ポリエステル貼付テープ
	絶縁	絶縁体	発泡架橋ポリエチレン
	遮へい	遮へい	錫メッキ軟銅線編組 アルミ/ポリエステル貼付テープ
	保護	シース	難燃性架橋ポリエチレン
	難燃性強化	セパレータ	難燃テープ

表 2.1-8 浜岡 4 号機 難燃六重同軸ケーブル
(絶縁体材料：発泡架橋ポリエチレン) の使用条件

	通常運転時
設置場所	原子炉格納容器内
周囲温度	74 °C以下*1

*1：原子炉格納容器内で、難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：発泡架橋ポリエチレン）が布設されている最も周囲温度が高い区域の設計値を示す

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

同軸ケーブルの機能である信号伝達機能の達成に必要な項目は以下のとおり。

①信号伝達機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

(1) 想定される経年劣化事象

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、個々の部位の材料、構造、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、表 2.2-1 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

同軸ケーブルには、消耗品及び定期取替品はない。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）

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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として以下の事象を抽出した（表 2.2-1 で○）。

- a. 絶縁体の絶縁特性低下 [難燃二重同軸ケーブル]
- b. 絶縁体の絶縁特性低下 [難燃三重同軸ケーブル]
- c. 絶縁体の絶縁特性低下 [難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：耐放射線性架橋発泡ポリエチレン）]
- d. 絶縁体の絶縁特性低下 [難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：発泡架橋ポリエチレン）]

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 熱・放射線によるシースの劣化 [共通]

難燃二重同軸ケーブルのシースは、有機物の難燃性架橋ポリエチレン、難燃三重同軸ケーブルのシースは、有機物の難燃ノンコロシブ照射架橋ポリオレフィン、難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：耐放射線性架橋発泡ポリエチレン）及び難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：発泡架橋ポリエチレン）のシースは、有機物の難燃性架橋ポリエチレンであり、熱及び放射線による劣化が想定される。しかしながら、シースはケーブル布設時に生ずる外的な力からケーブルを保護するためのものであり、ケーブルに要求される信号伝達機能の維持に対するシースの役割は極めて低い。また、これまでケーブルに接続されている機器の点検時動作試験及び絶縁抵抗測定の結果から、有意なシースの劣化による信号伝達機能への影響は確認されていない。

- (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を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

表 2.2-1(1/4) 浜岡4号機 難燃二重同軸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	サブシステム	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	その他	
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	特性変化		
信号伝達機能の維持	信号伝達	内部導体		錫メッキ軟銅より線									*1:熱・放射線を起因とした劣化
		外部導体		錫メッキ軟銅編組									
	絶縁	絶縁体		耐放射線性架橋ポリエチレン					○*1				
	保護	シース		難燃性架橋ポリエチレン							△*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）

表 2.2-1(2/4) 浜岡4号機 難燃三重同軸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	サブシステム	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	その他	
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	特性変化		
信号伝達機能の維持	信号伝達	内部導体		錫メッキ軟銅より線									*1:熱・放射線を起因とした劣化
		外部導体		錫メッキ軟銅編組									
	絶縁	絶縁体		Rockbestos Polymer LE 照射架橋発泡ポリオレフィン					○*1				
	保護	シース		難燃ノンコロシブ照射架橋ポリオレフィン							△*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(3/4) 浜岡 4 号機 難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：耐放射線性架橋発泡ポリエチレン）に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	その他	
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	特性変化		
信号伝達機能の維持	信号伝達	内部導体		軟銅線（錫メッキ）寄合せ									*1:熱・放射線を起因とした劣化
		外部導体		軟銅線（錫メッキ）編組 アルミ箔張付プラスチックテープ アルミマイラテープ									
	絶縁	絶縁体		耐放射線性架橋発泡ポリエチレン					○*1				
	遮へい	遮へい		軟銅線（錫メッキ）編組 アルミ箔張付プラスチックテープ									
	保護	シース		難燃性架橋ポリエチレン								△*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）

表 2.2-1(4/4) 浜岡 4 号機 難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：発泡架橋ポリエチレン）に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	その他	
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	特性変化		
信号伝達機能の維持	信号伝達	内部導体		錫メッキ軟銅より線									*1:熱・放射線を起因とした劣化
		外部導体		錫メッキ軟銅線編組 アルミ/ポリエステル貼付テープ									
	絶縁	絶縁体		発泡架橋ポリエチレン					○*1				
	遮へい	遮へい		錫メッキ軟銅線編組 アルミ/ポリエステル貼付テープ									
	保護	シース		難燃性架橋ポリエチレン								△*1	
	難燃性強化	セパレータ		難燃テープ									

○：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

(1) 絶縁体の絶縁特性低下 [難燃二重同軸ケーブル]

a. 事象の説明

絶縁体は、有機物の耐放射線性架橋ポリエチレンであるため、熱及び放射線による物性変化により、経年的に劣化が進行し、絶縁特性低下を起こす可能性があり、経年劣化に対する評価が必要である。

絶縁特性低下を生ずる可能性のある部位を図 2.3-1 に示す。

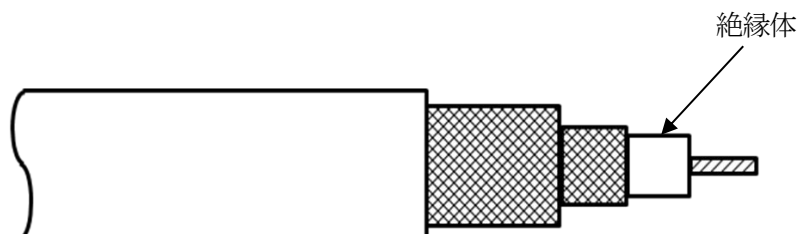


図 2.3-1 浜岡 4 号機 難燃二重同軸ケーブルの絶縁部位

b. 技術評価

①健全性評価

難燃二重同軸ケーブルの絶縁体は、有機物の耐放射線性架橋ポリエチレンであり、熱及び放射線による物性変化により、絶縁特性低下を起こす可能性があることから、長期間の使用を考慮すると絶縁体の絶縁特性低下の可能性は否定できない。

②現状保全

難燃二重同軸ケーブルの絶縁特性低下に対しては、系統機器の点検時における絶縁抵抗測定及び動作試験によりケーブルの健全性を確認しており、点検結果から有意な絶縁特性低下が認められた場合には、ケーブルの取替えを行うこととしている。

また、当面の安定停止状態においては、その運転状況を考慮した点検を行うこととしている。

③総合評価

難燃二重同軸ケーブルの絶縁体については、絶縁特性低下の可能性は否定できないが、絶縁特性低下は点検時における絶縁抵抗測定により把握可能である。

また、当面の安定停止状態においても、接続機器の運転状況を加味し、日常保全を継続し、必要に応じて適切な対応をとることにより、設備の健全性を維持できると判断する。

c. 高経年化への対応

絶縁体の絶縁特性低下に対しては、高経年化対策の観点から現状保全の内容に追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

(2) 絶縁体の絶縁特性低下 [難燃三重同軸ケーブル]

a. 事象の説明

絶縁体は、有機物の Rockbestos Polymer LE, 照射架橋発泡ポリオレフィンであるため、熱及び放射線による物性変化により、経年的に劣化が進行し、絶縁特性低下を起こす可能性があり、経年劣化に対する評価が必要である。

絶縁特性低下を生ずる可能性のある部位を図 2.3-2 に示す。

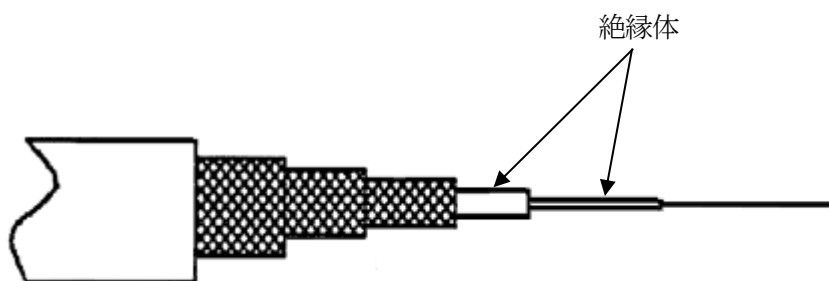


図 2.3-2 浜岡 4 号機 難燃三重同軸ケーブルの絶縁部位

b. 技術評価

①健全性評価

難燃三重同軸ケーブルの絶縁体は、有機物の Rockbestos Polymer LE、照射架橋発泡ポリオレフィンであり、熱及び放射線による物性変化により、絶縁特性低下を起こす可能性があることから、長期間の使用を考慮すると絶縁体の絶縁特性低下の可能性は否定できない。

②現状保全

難燃三重同軸ケーブルの絶縁特性低下に対しては、系統機器の点検時における絶縁抵抗測定及び動作試験によりケーブルの健全性を確認しており、点検結果から有意な絶縁特性低下が認められた場合には、ケーブルの取替えを行うこととしている。

また、当面の安定停止状態においては、その運転状況を考慮した点検を行うこととしている。

③総合評価

難燃三重同軸ケーブルの絶縁体については、絶縁特性低下の可能性は否定できないが、絶縁特性低下は点検時における絶縁抵抗測定により把握可能である。

また、当面の安定停止状態においても、接続機器の運転状況を加味し、日常保全を継続し、必要に応じて適切な対応をとることにより、設備の健全性を維持できると判断する。

c. 高経年化への対応

絶縁体の絶縁特性低下に対しては、高経年化対策の観点から現状保全の内容に追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

(3) 絶縁特性低下 [難燃六重同軸ケーブル (絶縁体材料:耐放射線性架橋発泡ポリエチレン)]

a. 事象の説明

絶縁体は、有機物の耐放射線性架橋発泡ポリエチレンであるため、熱及び放射線による物性変化により、経年的に劣化が進行し、絶縁特性低下を起こす可能性があり、経年劣化に対する評価が必要である。

絶縁特性低下を生ずる可能性のある部位を図 2.3-3 に示す。

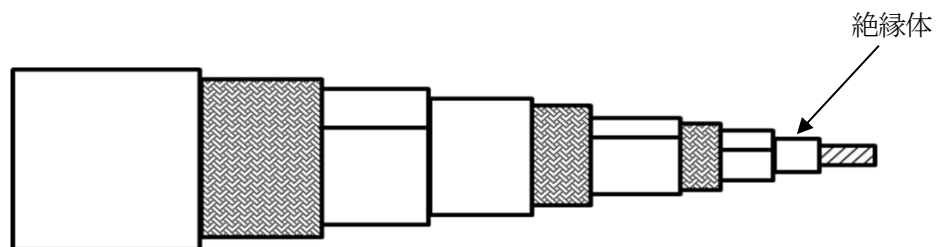


図 2.3-3 浜岡 4 号機 難燃六重同軸ケーブル (絶縁体材料:耐放射線性架橋発泡ポリエチレン) の絶縁部位

b. 技術評価

①健全性評価

難燃六重同軸ケーブルの絶縁体は、有機物の耐放射線性架橋発泡ポリエチレンであり、熱及び放射線による物性変化により、絶縁特性低下を起こす可能性があることから、長期間の使用を考慮すると絶縁体の絶縁特性低下の可能性は否定できない。

②現状保全

難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：耐放射線性架橋発泡ポリエチレン）の絶縁特性低下に対しては、系統機器の点検時における絶縁抵抗測定及び動作試験によりケーブルの健全性を確認しており、点検結果から有意な絶縁特性低下が認められた場合には、ケーブルの取替えを行うこととしている。

また、当面の安定停止状態においては、その運転状況を考慮した点検を行うこととしている。

③総合評価

難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：耐放射線性架橋発泡ポリエチレン）の絶縁体については、絶縁特性低下の可能性は否定できないが、絶縁特性低下は点検時における絶縁抵抗測定により把握可能である。

また、当面の安定停止状態においても、接続機器の運転状況を加味し、日常保全を継続し、必要に応じて適切な対応をとることにより、設備の健全性を維持できると判断する。

c. 高経年化への対応

絶縁体の絶縁特性低下に対しては、高経年化対策の観点から現状保全の内容に追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

(4) 絶縁特性低下 [難燃六重同軸ケーブル (絶縁体材料：発泡架橋ポリエチレン)]

a. 事象の説明

絶縁体は、有機物の発泡架橋ポリエチレンであるため、熱及び放射線による物性変化により、経年的に劣化が進行し、絶縁特性低下を起こす可能性があり、経年劣化に対する評価が必要である。

絶縁特性低下を生ずる可能性のある部位を図 2.3-4 に示す。

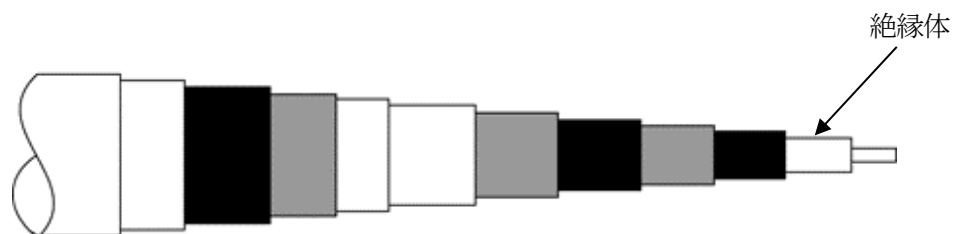


図 2.3-4 浜岡 4 号機 難燃六重同軸ケーブル (絶縁体材料：発泡架橋ポリエチレン) の絶縁部位

b. 技術評価

①健全性評価

難燃六重同軸ケーブルの絶縁体は、有機物の発泡架橋ポリエチレンであり、熱及び放射線による物性変化により、絶縁特性低下を起こす可能性があることから、長期間の使用を考慮すると絶縁体の絶縁特性低下の可能性は否定できない。

②現状保全

難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：発泡架橋ポリエチレン）の絶縁特性低下に対しては、系統機器の点検時における絶縁抵抗測定及び動作試験によりケーブルの健全性を確認しており、点検結果から有意な絶縁特性低下が認められた場合には、ケーブルの取替えを行うこととしている。

また、当面の安定停止状態においては、その運転状況を考慮した点検を行うこととしている。

③総合評価

難燃六重同軸ケーブル（絶縁体材料：発泡架橋ポリエチレン）の絶縁体については、絶縁特性低下の可能性は否定できないが、絶縁特性低下は点検時における絶縁抵抗測定により把握可能である。

また、当面の安定停止状態においても、接続機器の運転状況を加味し、日常保全を継続し、必要に応じて適切な対応をとることにより、設備の健全性を維持できると判断する。

c. 高経年化への対応

絶縁体の絶縁特性低下に対しては、高経年化対策の観点から現状保全の内容に追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

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を検討した。

① 難燃一重同軸ケーブル

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

a. 絶縁体の絶縁特性低下

代表機器同様、絶縁体は有機物の耐放射線性架橋ポリエチレンであり、熱及び放射線による物性変化により、絶縁特性低下を起こす可能性は否定できないが、絶縁特性低下に対しては系統機器点検時の絶縁抵抗測定及び動作試験で把握可能であり、点検結果から有意な絶縁特性低下が認められた場合には、ケーブルの取替えを行うこととしている。

また、当面の安定停止状態においては、その運転状況を考慮した点検を行うこととし

ている。

したがって、当面の安定停止状態においても、接続機器の運転状況を加味し、日常保全を継続し、必要に応じて適切な対応を実施していくことから、高経年化対策の観点から現状保全の内容に追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 熱・放射線によるシースの劣化

代表機器と同様、難燃一重同軸ケーブルのシースは、有機物の難燃性低塩酸耐熱ビニルであり、熱及び放射線によるシースの劣化が想定される。しかしながら、シースはケーブル布設時に生ずる外的な力からケーブルを保護するためのものであり、ケーブルに要求される信号伝達機能の維持に対するシースの役割は極めて低い。また、これまでケーブルに接続されている機器の点検時動作試験及び絶縁抵抗測定の結果から、有意なシースの劣化による信号伝達機能への影響は確認されていない。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

以 上

4 光ファイバ

[対象機器]

- ① GI 型光ファイバケーブル

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造, 材料及び使用条件	3
2.1.1 GI 型光ファイバケーブル.....	3
2.2 経年劣化事象の抽出	6
2.2.1 機器の機能達成に必要な項目	6
2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	6
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	7

1. 対象機器及び代表機器の選定

光ファイバの主な仕様を表 1-1 に示す。

このグループには, GI 型光ファイバケーブルのみが対象であることから, これを代表機器とする。

表 1-1 浜岡 4 号機 光ファイバの主な仕様

分類基準		機器名称	用途	重要度*1	設置場所		供用開始時期		仕様
区分	心線材料				原子炉 格納容器内	原子炉 格納容器外	建設時	運転 開始後	シース
光ファイバ ケーブル	石英ファイバ	GI 型光ファイバケーブル	制御・計装	MS-1		○	○	○	難燃性低塩酸耐熱ビニル

*1：最上位の重要度を示す

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ケーブルについて技術評価を実施する。

① GI 型光ファイバケーブル

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 GI 型光ファイバケーブル

(1) 構造

GI 型光ファイバケーブルは、大別すると光ファイバ心線、テンションメンバ、緩衝材、介在、テープ及びシースで構成されている。

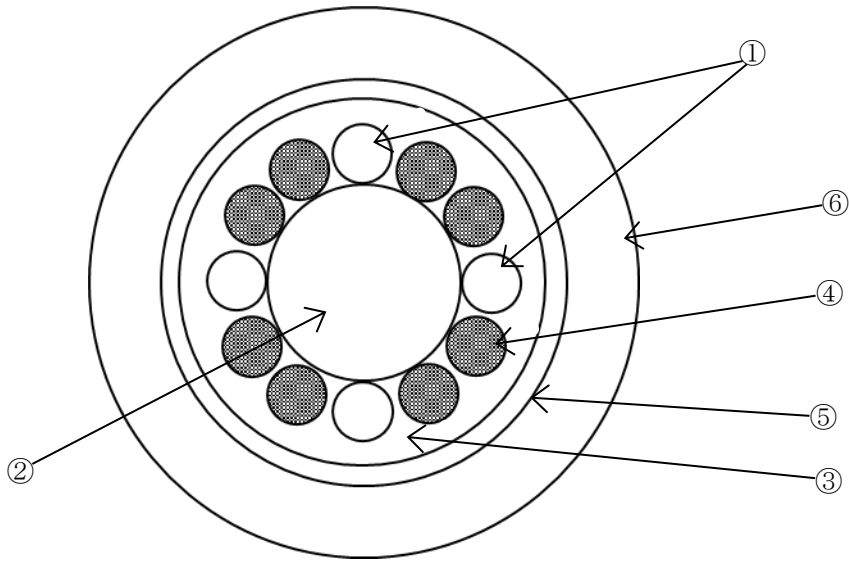
このうち光ファイバケーブルの伝送機能は、光ファイバ心線を外的な力及び透湿から保護するシースにより保たれている。

なお、テンションメンバ、緩衝材、介在及びテープは、ケーブル全体の整形及び機械的強度を確保するために設けられている。

代表的な GI 型光ファイバケーブルの構造図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

GI 型光ファイバケーブル主要部位の使用材料を表 2.1-1 に、使用条件を表 2.1-2 に示す。



No.	部位
①	光ファイバ心線
②	テンションメンバ
③	緩衝材
④	介在
⑤	テープ
⑥	シース

図 2.1-1 浜岡 4 号機 GI 型光ファイバケーブル構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 GI 型光ファイバケーブル主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
光信号伝送機能の維持	光信号伝送	光ファイバ心線	石英ファイバ (コア, クラッド) シリコンナイロン (被覆)
	保護	テンションメンバ	難燃性 FRP, 難燃性低塩酸耐熱ビニル
		緩衝材	難燃性フェノール繊維
		介在	難燃性ノンコロージブビニル
		テープ	難燃性布テープ
		シース	難燃性低塩酸耐熱ビニル

表 2.1-2 浜岡 4 号機 GI 型光ファイバケーブルの使用条件

	通常運転時
設置場所	原子炉格納容器外
周囲温度	40 °C以下*1

*1 : 原子炉格納容器外 (原子炉建屋内) で, GI 型光ファイバケーブルが布設されている最も周囲温度が高い区域の設計値を示す

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

光ファイバケーブルの機能である光信号伝送機能の達成に必要な項目は以下のとおり。

①光信号伝送機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

(1) 想定される経年劣化事象

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、個々の部位の材料、構造、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、表 2.2-1 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

光ファイバケーブルには、消耗品及び定期取替品はない。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）

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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. シース及び心線被覆の劣化

光ファイバケーブルのシース及び心線被覆はケーブルやコードとしての構造の保持、外的な力等からケーブルを保護する被覆材としての機能を有する。

シース及び心線被覆が熱的及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、光信号伝送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、及びケーブルは屋内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がたいことから、ケーブルに要求される光信号伝送機能の維持に対する影響は極めて小さい。また、これまでにケーブルに接続されている機器運転時の動作実績から、有意なシース及び心線被覆の劣化による光信号伝送機能への影響は確認されていない。

- (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事象を以下に示す。

日常劣化管理事象以外に該当する事象は抽出されなかった。

表 2.2-1 浜岡 4 号機 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	サブシステム	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	その他		
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	特性変化			
光信号伝送機能の維持	光信号伝送	光ファイバ心線		石英ファイバ（コア，クラッド）シリコン，ナイロン（被覆）									*1:劣化に伴う光ファイバ心線（コア，クラッド）の光信号伝送量減少	
	保護	テンションメンバ		難燃性 FRP， 難燃性低塩酸耐熱ビニル										
		緩衝材		難燃性フェノール繊維										
		介在		難燃性ノンコロシブビニル										
		テープ		難燃性布テープ										
		シース		難燃性低塩酸耐熱ビニル								△*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）

以上

5 ケーブルトレイ，電線管

[対象機器]

- ① ケーブルトレイ
- ② 電線管

目 次

1.	対象機器及び代表機器の選定	1
2.	代表機器の技術評価	2
2.1	構造, 材料及び使用条件	2
2.1.1	ケーブルトレイ	2
2.1.2	電線管	5
2.2	経年劣化事象の抽出	8
2.2.1	機器の機能達成に必要な項目	8
2.2.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	8
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	9

1. 対象機器及び代表機器の選定

ケーブルトレイ，電線管の主な仕様を表 1-1 に示す。

このグループには，ケーブルトレイ，電線管のみが対象であることから，各々を代表機器とする。

表 1-1 浜岡 4 号機 ケーブルトレイ，電線管の主な仕様

機器名称	重要度*1	仕様 [機能]
ケーブルトレイ	MS-1	ケーブルを収納して支持する
電線管	MS-1	ケーブルを収納して支持する

*1：最上位の重要度クラスを示す

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,材料及び使用条件

2.1.1 ケーブルトレイ

(1) 構造

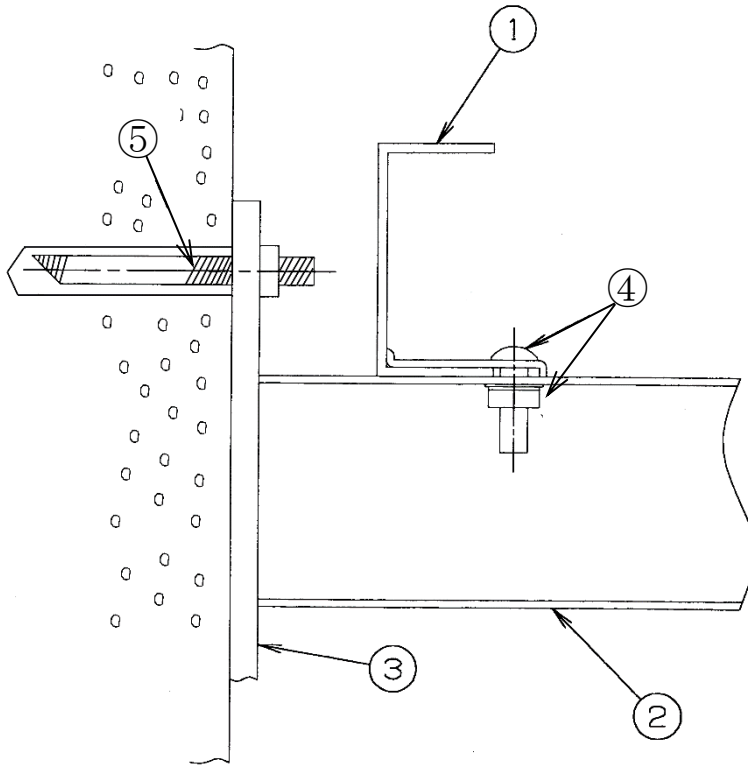
ケーブルトレイはケーブルの支持構造物であり、炭素鋼が使用されている。

トレイ取付ボルト及びナットでサポートと固定しており、また、サポートは基礎ボルト又は埋込金物で壁又は床に固定されている。

代表的なケーブルトレイの構造図を図 2.1-1 に示す。

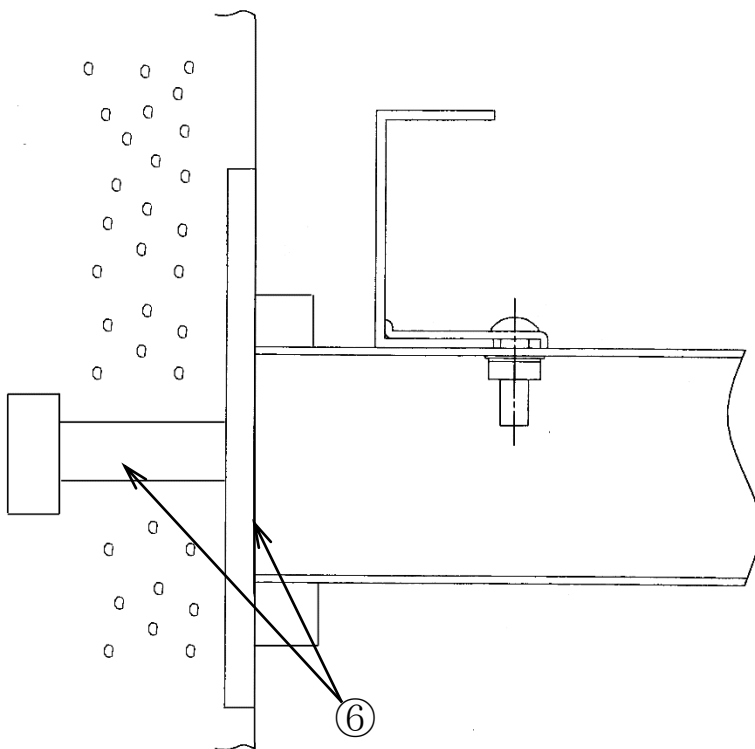
(2) 材料及び使用条件

ケーブルトレイ主要部位の使用材料を表 2.1-1 に、使用条件を表 2.1-2 に示す。



(図-a) 基礎ボルト（後打ちケミカルアンカ）の例

No.	部位
①	ケーブルトレイ
②	サポート
③	ベースプレート
④	トレイ取付ボルト, ナット
⑤	基礎ボルト
⑥	埋込金物



(図-b) 埋込金物の例

図 2.1-1 浜岡 4 号機 ケーブルトレイ構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 ケーブルトレイ主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
ケーブルの支持	支持	ケーブルトレイ	炭素鋼
		サポート	炭素鋼
		ベースプレート	炭素鋼
		トレイ取付ボルト, ナット	炭素鋼
		基礎ボルト	炭素鋼, 樹脂 ^{*1}
		埋込金物	炭素鋼

*1：後打ちケミカルアンカ

表 2.1-2 浜岡 4 号機 ケーブルトレイの使用条件

設置場所	原子炉格納容器内外, 屋外
周囲温度	66 °C以下 ^{*1}
布設ケーブルの使用電圧	6,900 V以下

*1：原子炉格納容器内で、ケーブルトレイが布設されている最も周囲温度が高い区域の設計値を示す

2.1.2 電線管

(1) 構造

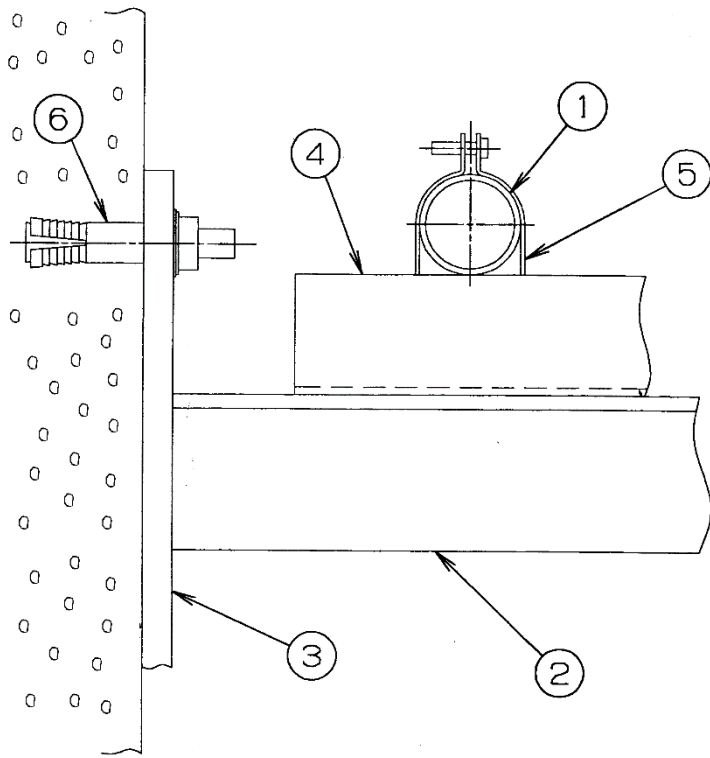
電線管はケーブルの支持構造物であり、炭素鋼が使用されている。

ユニバーチャンネル及びパイプクランプでサポートと固定しており、また、サポートは基礎ボルト又は埋込金物で壁又は床に固定されている。

代表的な電線管の構造図を図 2.1-2 に示す。

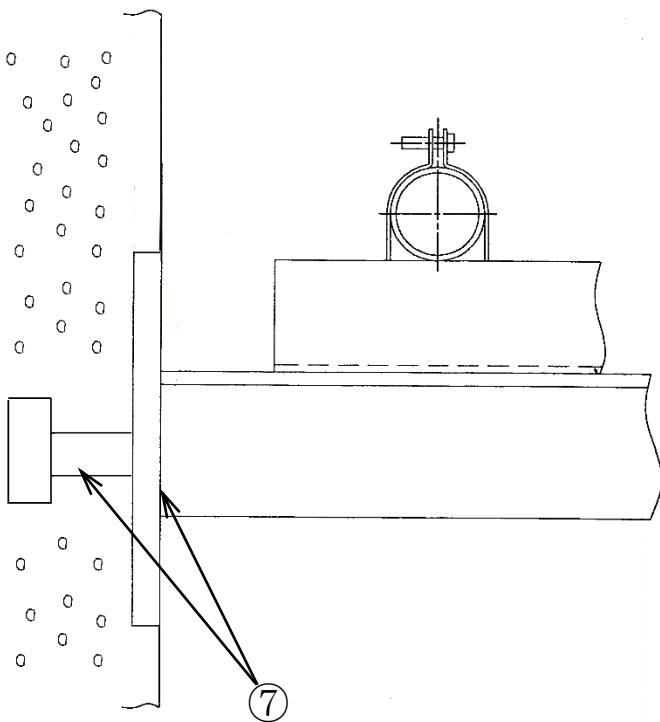
(2) 材料及び使用条件

電線管主要部位の使用材料を表 2.1-3 に、使用条件を表 2.1-4 に示す。



(図-a) 基礎ボルト（後打ちメカニカルアンカ）の例

No.	部位
①	電線管
②	サポート
③	ベースプレート
④	ユニバーチャンネル
⑤	パイプクランプ
⑥	基礎ボルト
⑦	埋込金物



(図-b) 埋込金物の例

図 2.1-2 浜岡 4 号機 電線管構造図

表 2.1-3 浜岡 4 号機 電線管主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
ケーブルの支持	支持	電線管	炭素鋼
		サポート	炭素鋼
		ベースプレート	炭素鋼
		ユニバーチャンネル	炭素鋼
		パイプクランプ	炭素鋼
		基礎ボルト	炭素鋼, 樹脂 ^{*1}
		埋込金物	炭素鋼

*1：後打ちケミカルアンカ

表 2.1-4 浜岡 4 号機 電線管の使用条件

設置場所	原子炉格納容器内外, 屋外
周囲温度	74 °C以下 ^{*1}
布設ケーブルの使用電圧	6,900 V 以下

*1：原子炉格納容器内で、電線管が布設されている最も周囲温度が高い区域の設計値を示す

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

ケーブルトレイ、電線管の機能であるケーブル回路確保維持の達成に必要な項目は以下のとおり。

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

(1) 想定される経年劣化事象

ケーブルトレイ、電線管について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の材料、構造、使用条件及び現在までの運転経験を考慮し、表 2.2-1 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

ケーブルトレイ、電線管には、消耗品及び定期取替品はない。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）

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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象は抽出されなかった。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. ケーブルトレイ、電線管及びサポート等の外面からの腐食（全面腐食） [共通]

ケーブルトレイ、電線管及びサポート等は炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋外設置については腐食防止のため溶融亜鉛メッキなど防食処理を施しており、巡視点検等における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。また、屋内設置については屋内空調環境下に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。なお、これまでの点検結果から有意な腐食は確認されていない。

b. 埋込金物の腐食（全面腐食） [共通]

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、大気接触部は防食塗装を施しており、巡視点検等における目視点検により設備の健全性を定期的を確認している。また、コンクリート埋設部については、コンクリート大気接触表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、「コンクリート構造物及び鉄骨構造物の技術評価書」のとおり中性化はほとんどみられておらず、腐食が発生する可能性は小さい。

c. 基礎ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

c. の評価については「機械設備の技術評価書」の基礎ボルトと同一であることから、当該の評価書を参照のこと。

- (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事象を以下に示す（表 2.2-1 で▲）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても経年劣化の傾向が変化する要因があるとは考え難いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 電線管のコンクリート埋設部外面からの腐食（全面腐食） [電線管]

電線管は、炭素鋼であり、コンクリート埋設部におけるコンクリートが中性化した場合に腐食が想定される。しかしながら、電線管外面は溶融亜鉛メッキが施されていること及び「コンクリート構造物及び鉄骨構造物の技術評価書」のとおり中性化はほとんどみられておらず、腐食が発生する可能性は小さい。

b. 電線管内面からの腐食（全面腐食） [電線管]

電線管は炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、電線管内面は溶融亜鉛メッキが施されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、電線管内面へ水気が浸入しやすい屋外においては、布設施工時、電線管接続部について防水処理を施している。

c. 基礎ボルトの樹脂の劣化（後打ちケミカルアンカ） [共通]

基礎ボルトの樹脂の劣化については「機械設備の技術評価書」の基礎ボルトと同一であることから、当該の評価書を参照のこと。

表 2. 2-1 (1/2) 浜岡 4 号機 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	サブシステム	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	その他	
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	特性変化		
ケーブルの支持	支持	ケーブルトレイ		炭素鋼		△							*1:後打ちケミカルアンカ *2:樹脂の劣化
		サポート		炭素鋼		△							
		ベースプレート		炭素鋼		△							
		トレイ取付ボルト, ナット		炭素鋼		△							
		基礎ボルト		炭素鋼, 樹脂*1		△						▲*2	
		埋込金物		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）

▲：（同上）（日常劣化管理事象以外）

表 2.2-1(2/2) 浜岡4号機 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	サブシステム	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	その他	
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	特性変化		
ケーブルの支持	支持	電線管		炭素鋼		△ ^{*1} ▲ ^{*2*3}							*1:外面 *2:コンクリート埋設部の外面からの腐食 *3:内面 *4:後打ちケミカルアンカ *5:樹脂の劣化
		サポート		炭素鋼		△							
		ベースプレート		炭素鋼		△							
		ユニバーチャンネル		炭素鋼		△							
		パイプクランプ		炭素鋼		△							
		基礎ボルト		炭素鋼, 樹脂 ^{*4}		△						▲ ^{*5}	
		埋込金物		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）

▲：（同上）（日常劣化管理事象以外）

以上

6 ケーブル接続部

[対象機器]

- ① 端子台接続
- ② 端子接続
- ③ 直ジョイント接続
- ④ 同軸コネクタ接続
- ⑤ ウォールペネトレーション接続
- ⑥ 高圧プラグインコネクタ接続
- ⑦ 低圧プラグインコネクタ接続

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	4
2.1 構造, 材料及び使用条件	4
2.1.1 端子台接続 (ジアリルフタレート樹脂)	4
2.1.2 直ジョイント接続 (ポリブチレンテレタレート樹脂)	7
2.1.3 同軸コネクタ接続 (ポリエーテルエーテルケトン樹脂)	10
2.1.4 ウォールペネトレーション接続 (難燃エチレンプロピレンゴム, エポキシ樹脂)	13
2.1.5 高圧プラグインコネクタ接続 (エポキシ樹脂, エチレンプロピレンゴム)	16
2.1.6 低圧プラグインコネクタ接続 (ジアリルフタレート樹脂)	19
2.2 経年劣化事象の抽出	22
2.2.1 機器の機能達成に必要な項目	22
2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	22
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	23
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	31
3. 代表機器以外への展開	41
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	41
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	42

1. 対象機器及び代表機器の選定

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グループ化し、それぞれのグループより代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

種類を分類基準とし、ケーブル接続部を表 1-1 に示すとおりグループ化する。

1.2 代表機器の選定

表 1-1 に分類したグループ毎に、重要度及び設置場所の観点から、代表機器を選定する。

(1) 種類：端子接続

このグループには、絶縁体材料の異なる端子台接続及び端子接続が属するが、設置場所の観点から原子炉格納容器内で使用している端子台接続（ジアリルフタレート樹脂）を代表機器とする。

(2) 種類：直ジョイント接続

このグループには、絶縁体材料の異なる直ジョイント接続が属するが、重要度の観点から直ジョイント接続（ポリブチレンテレタレート樹脂）を代表機器とする。

(3) 種類：同軸コネクタ接続

このグループには、絶縁体材料の異なる同軸コネクタ接続が属するが、設置場所の観点から原子炉格納容器内で使用している同軸コネクタ接続（ポリエーテルエーテルケトン樹脂）を代表機器とする。

(4) 種類：ウォールペネトレーション接続

このグループには、ウォールペネトレーション接続のみが属するため、ウォールペネトレーション接続（難燃エチレンプロピレンゴム，エポキシ樹脂）を代表機器とする。

(5) 種類：高圧プラグインコネクタ接続

このグループには、高圧プラグインコネクタ接続のみが属するため、高圧プラグインコネクタ接続（エポキシ樹脂，エチレンプロピレンゴム）を代表機器とする。

(6) 種類：低圧プラグインコネクタ接続

このグループには、低圧プラグインコネクタ接続のみが属するため、低圧プラグインコネクタ接続（ジアリルフタレート樹脂）を代表機器とする。

表 1-1(1/2) 浜岡 4 号機 ケーブル接続部のグループ化及び代表機器の選定

分類基準	接続部名称	絶縁体材料	選定基準				選定	選定理由
			用途	設置場所		重要度*1		
				原子炉格納容器内	原子炉格納容器外			
端子接続	端子台接続	ジアリルフタレート樹脂	動力・制御	○	○	MS-1	◎	設置場所 (周囲温度)
		ポリフェニレンエーテル樹脂	動力・制御・計測		○	MS-1		
		ポリブチレンテレタレート樹脂	動力・制御	○		MS-1		
		フェノール樹脂	動力・制御・計測		○	MS-1		
	端子接続	ビニルテープ	動力		○	MS-1		
直ジョイント接続	直ジョイント接続	架橋ポリオレフィン	計測	○		MS-2		重要度
		ポリブチレンテレタレート樹脂	計測		○	MS-1	◎	
同軸コネクタ接続	同軸コネクタ接続	ポリエーテルエーテルケトン樹脂	計測	○		MS-1	◎	設置場所
		テフロン			○	MS-1		
		架橋ポリスチレン樹脂			○	MS-1		
		ポリクロロブレン			○	MS-1		

*1：最上位の重要度を示す

表 1-1(2/2) 浜岡 4 号機 ケーブル接続部のグループ化及び代表機器の選定

分類基準	接続部名称	絶縁体材料	選定基準				選定	選定理由
			用途	設置場所		重要度*1		
				原子炉 格納容器内	原子炉 格納容器外			
ウォールペネトレーション接続	ウォールペネトレーション接続	難燃エチレンプロピレンゴム, エポキシ樹脂	動力・制御・計測		○	MS-1	◎	
高圧プラグインコネクタ接続	高圧プラグインコネクタ接続	エポキシ樹脂, エチレンプロピレンゴム	動力		○	MS-1	◎	
低圧プラグインコネクタ接続	低圧プラグインコネクタ接続	ジアリルフタレート樹脂	動力・制御		○	PS-2	◎	

*1：最上位の重要度を示す

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ケーブル接続部について技術評価を実施する。

- ① 端子台接続（ジアリルフタレート樹脂）
- ② 直ジョイント接続（ポリブチレンテレタレート樹脂）
- ③ 同軸コネクタ接続（ポリエーテルエーテルケトン樹脂）
- ④ ウォールペネトレーション接続（難燃エチレンプロピレンゴム, エポキシ樹脂）
- ⑤ 高圧プラグインコネクタ接続（エポキシ樹脂, エチレンプロピレンゴム）
- ⑥ 低圧プラグインコネクタ接続（ジアリルフタレート樹脂）

2.1 構造, 材料及び使用条件

2.1.1 端子台接続（ジアリルフタレート樹脂）

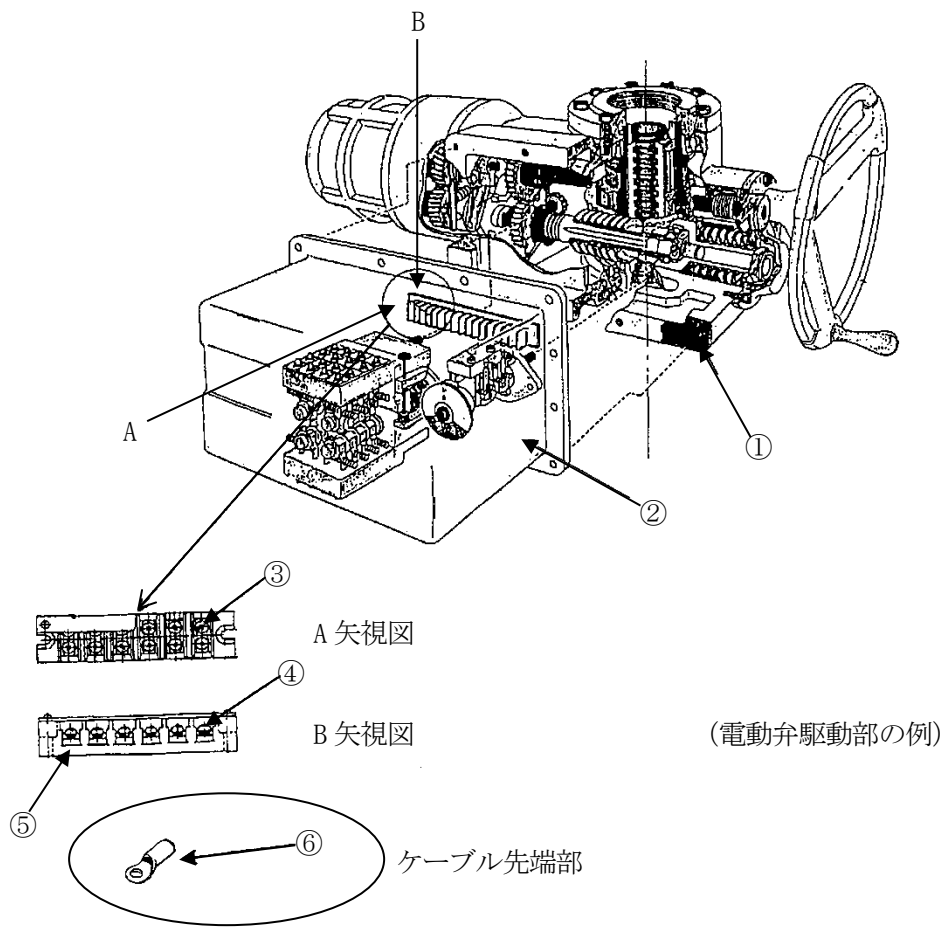
(1) 構造

端子台接続は、大別すると端子板、端子台ビス、接続端子、端子箱、ガスケット及び絶縁物で構成され、このうち端子台接続の絶縁機能は、絶縁物で保たれている。

代表的な端子台接続の構造図を図 2.1-1 に示す。

(2) 材料及び使用条件

代表的な端子台接続主要部位の使用材料を表 2.1-1 に、使用条件を表 2.1-2 に示す。



(電動弁駆動部の例)

No.	部位
①	ガスケット
②	端子箱
③	端子板
④	端子台ビス
⑤	絶縁物
⑥	接続端子

図 2.1-1 浜岡 4 号機 端子台接続構造図

表 2.1-1 浜岡 4 号機 端子台接続主要部位の使用材料（電動弁駆動部の例）

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
電力・信号伝達機能の確保	エネルギー・信号伝達	ガスケット	(消耗品)
		端子箱	鋳鉄
		端子板	銅
		端子台ビス	ステンレス鋼
		絶縁物	ジアリルフタレート樹脂
		接続端子	銅, 絶縁物 (塩化ビニル)

表 2.1-2 浜岡 4 号機 端子台接続の使用条件

	通常運転時
設置場所	原子炉格納容器内外
周囲温度	66 °C 以下*1

*1：原子炉格納容器内で、電動弁駆動部が設置されている最も周囲温度が高い区域の設計値を示す

2.1.2 直ジョイント接続（ポリブチレンテレタレート樹脂）

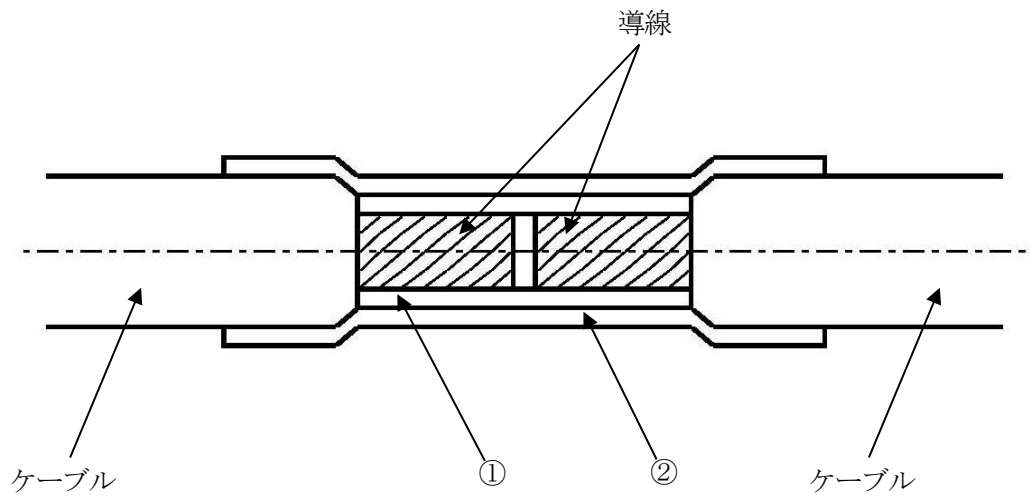
(1) 構造

直ジョイント接続は、ケーブル同士をスプライスで圧着接続し、その周囲を絶縁物により絶縁を行う構造となっている。

代表的な直ジョイント接続の構造図を図 2.1-2 に示す。

(2) 材料及び使用条件

代表的な直ジョイント接続主要部位の使用材料を表 2.1-3 に、使用条件を表 2.1-4 に示す。



No.	部位
①	スプライス
②	絶縁物

図 2.1-2 浜岡 4 号機 直ジョイント接続構造図

表 2.1-3 浜岡 4 号機 直ジョイント接続主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
電力・信号伝達機能の確保	エネルギー・信号伝達	スプライス	銅
		絶縁物	ポリブチレンテレタレート樹脂

表 2.1-4 浜岡 4 号機 直ジョイント接続の使用条件

	通常運転時
設置場所	原子炉格納容器外
周囲温度	40 °C 以下*1

*1：原子炉格納容器外（原子炉建屋内）で，直ジョイント接続が設置されている最も周囲温度が高い区域の設計値を示す

2.1.3 同軸コネクタ接続（ポリエーテルエーテルケトン樹脂）

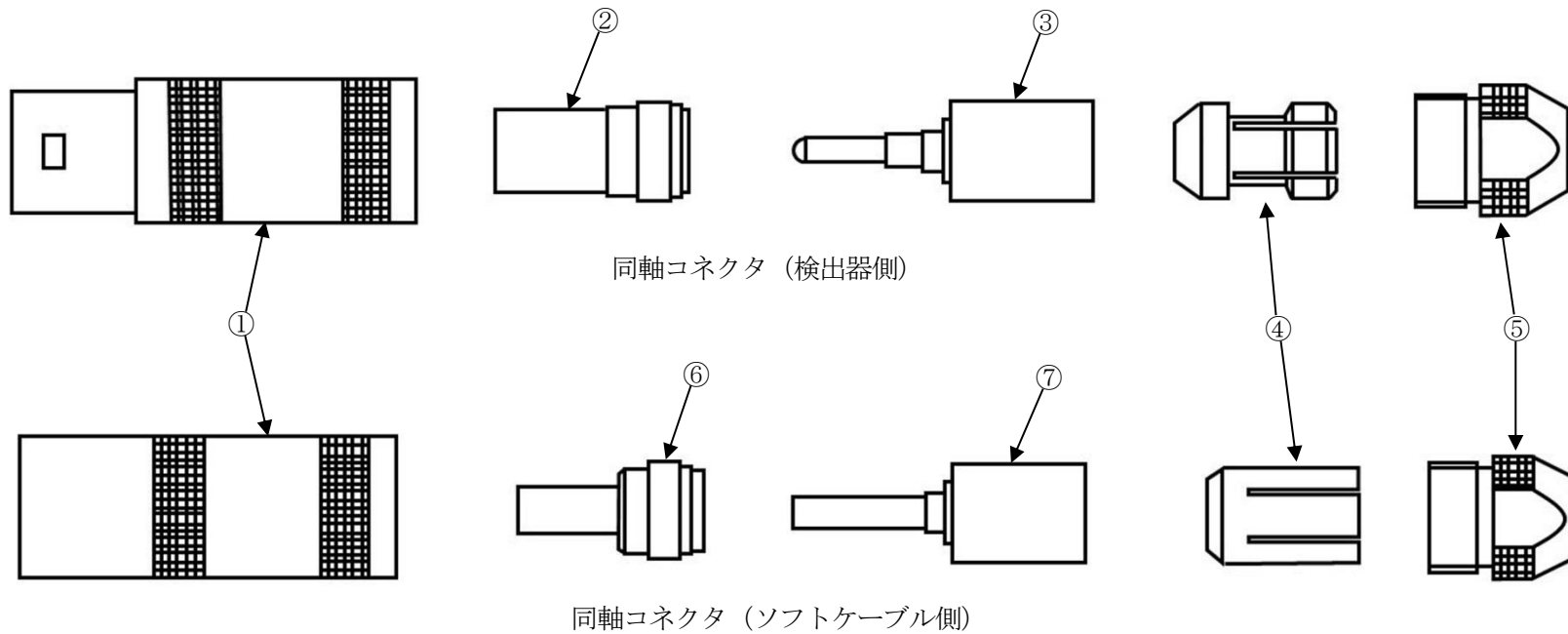
(1) 構造

同軸コネクタ接続は、大別すると、アウターシェル、プラグインシュレータ、絶縁体、スリーブ、コレット、コレットナット、Oリング、オスコンタクト及びメスコンタクト等で構成され、このうち同軸コネクタの絶縁機能は、絶縁物で保たれている。

代表的な同軸コネクタ接続の構造図を図 2.1-3 に示す。

(2) 材料及び使用条件

代表的な同軸コネクタ接続主要部位の使用材料を表 2.1-5 に、使用条件を表 2.1-6 に示す。



No.	部位	No.	部位
①	アウターシェル	⑤	コレットナット
②	プラグインシュレータ, スリーブ	⑥	絶縁体, スリーブ
③	オスコンタクト, スリーブ, Oリング	⑦	メスコンタクト, スリーブ, Oリング
④	コレット		

図 2.1-3 浜岡 4 号機 同軸コネクタ接続構造図

表 2.1-5 浜岡 4 号機 同軸コネクタ接続主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
電力・信号伝達機能の確保	信号伝達	アウターシェル	黄銅
		プラグインシュレータ, スリーブ	黄銅, ポリエーテルエーテルケトン樹脂
		オスコンタクト, スリーブ, Oリング	黄銅, ポリエーテルエーテルケトン樹脂, エチレンプロピレンジエンゴム
		コレット	黄銅
		コレットナット	黄銅
		絶縁体, スリーブ	黄銅, ポリエーテルエーテルケトン樹脂
		メスコンタクト, スリーブ, Oリング	黄銅, ポリエーテルエーテルケトン樹脂, エチレンプロピレンジエンゴム

表 2.1-6 浜岡 4 号機 同軸コネクタ接続の使用条件

	通常運転時
設置場所	原子炉格納容器内
周囲温度	74 °C以下*1

*1：原子炉格納容器内で、同軸コネクタが設置されている最も周囲温度が高い区域の設計値を示す

2.1.4 ウォールペネトレーション接続（難燃エチレンプロピレンゴム，エポキシ樹脂）

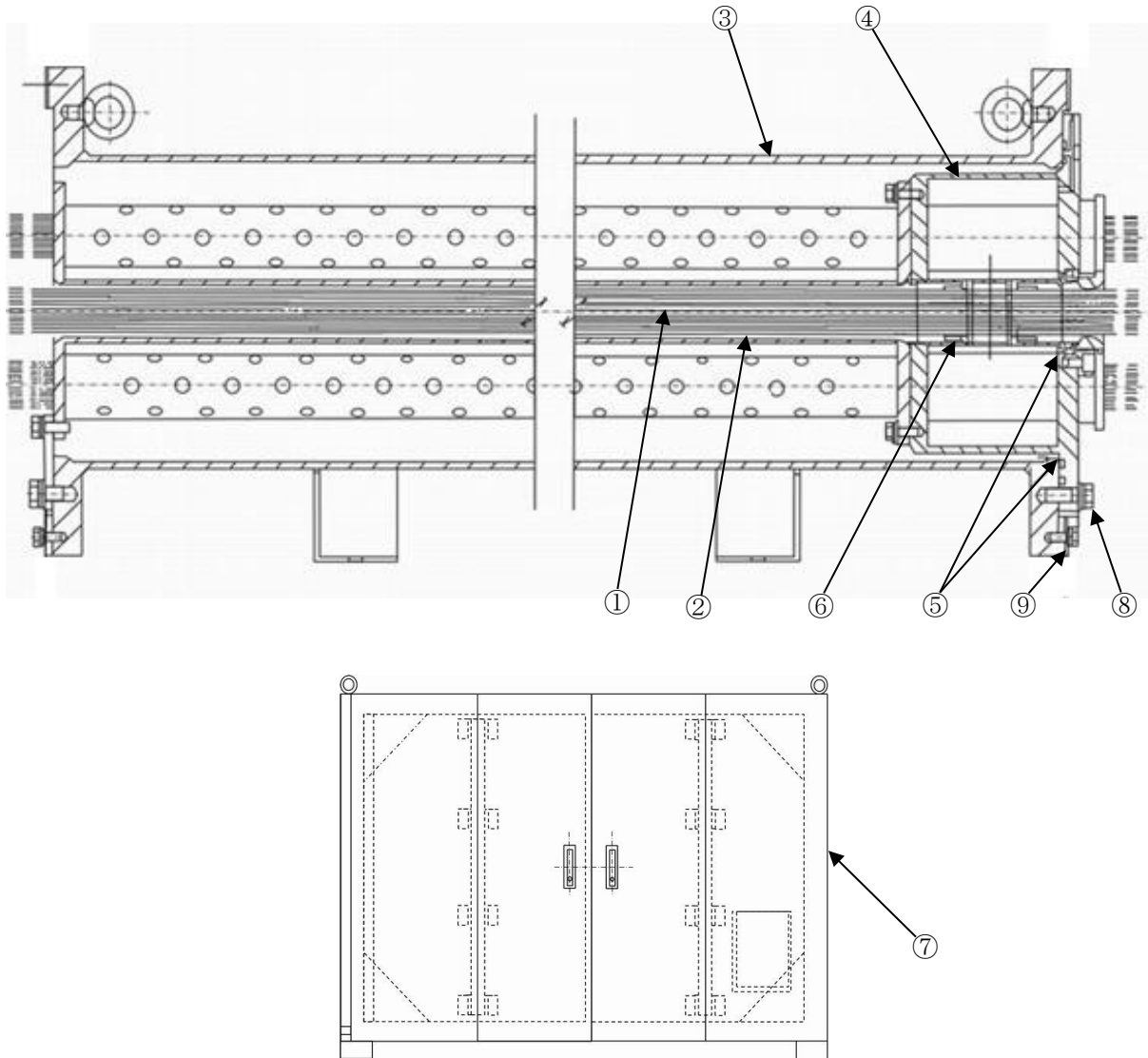
(1) 構造

ウォールペネトレーション接続は，密封構造体，モジュール，スリーブ，端子箱等で構成され，筒状のモジュール内に多本数の電線が貫通し，これらの隙間にエポキシ樹脂が二重に充填注型されて気密保持されている。また，各モジュールは二重の O リングを介して，密封構造体に気密保持されている。

代表的なウォールペネトレーション接続の構造図を図 2.1-4 に示す。

(2) 材料及び使用条件

ウォールペネトレーション接続主要部位の使用材料を表 2.1-7 に，使用条件を表 2.1-8 に示す。



端子箱外形図

No.	部位
①	電線
②	シール材
③	スリーブ
④	密封構造体
⑤	Oリング
⑥	モジュール
⑦	端子箱
⑧	取付ボルト
⑨	ガスケット

図 2.1-4 浜岡 4 号機 ウォールペネトレーション接続の構造図

表 2.1-7 浜岡 4 号機 ウォールペネトレーション接続主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
通電・絶縁性能の確保	エネルギー・信号伝達	電線	銅, 絶縁物 (難燃エチレンプロピレンゴム)
通電・絶縁性能の確保及びバウンダリの維持	絶縁, 耐圧	シール材	エポキシ樹脂
バウンダリの維持	耐圧	スリーブ	炭素鋼
		密封構造体	ステンレス鋼
		O リング	フッ素ゴム
		モジュール	ステンレス鋼
		端子箱	炭素鋼
		取付ボルト	ステンレス鋼
		ガasket	クロロプレンゴム

表 2.1-8 浜岡 4 号機 ウォールペネトレーション接続の使用条件

	通常運転時
設置場所	原子炉格納容器外
周囲温度	40 °C 以下*1

*1 : 原子炉格納容器外 (原子炉建屋内) で, ウォールペネトレーションが設置されている最も周囲温度が高い区域の設計値を示す

2.1.5 高圧プラグインコネクタ接続（エポキシ樹脂，エチレンプロピレンゴム）

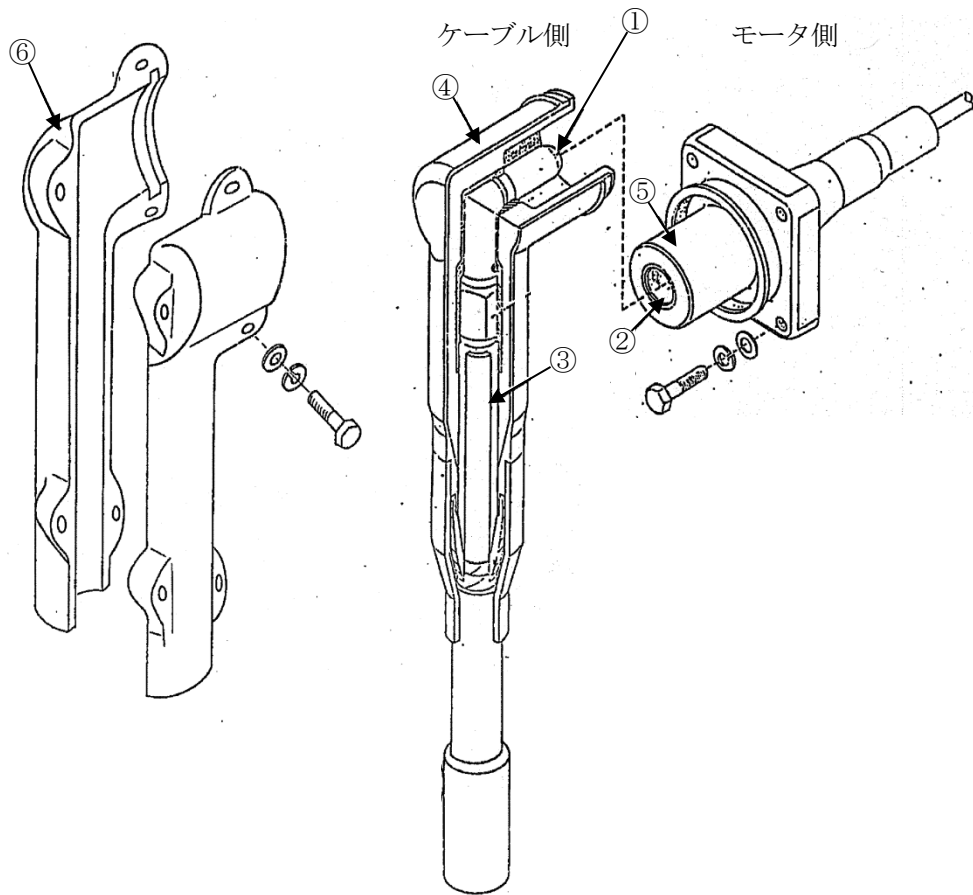
(1) 構造

高圧プラグインコネクタ接続は，大別すると，プラグ，ソケット，スペーサ，絶縁筒，接続部本体，引抜防止金具等で構成され，このうち高圧プラグインコネクタの絶縁機能は，スペーサ，絶縁筒，接続部本体で保たれている。

代表的な高圧プラグインコネクタ接続の構造図を図 2.1-5 に示す。

(2) 材料及び使用条件

代表的な高圧プラグインコネクタ接続主要部位の使用材料を表 2.1-9 に，使用条件を表 2.1-10 に示す。



No.	部位
①	プラグ
②	ソケット
③	スペーサ
④	絶縁筒
⑤	接続部本体
⑥	引抜防止金具

図 2.1-5 浜岡 4 号機 高圧プラグインコネクタ接続構造図

表 2.1-9 浜岡 4 号機 高圧プラグインコネクタ接続主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
電力・信号伝達機能の確保	エネルギー伝達	プラグ	銅
		ソケット	ベリリウム銅
		スペーサ	エチレンプロピレンゴム
		絶縁筒	エチレンプロピレンゴム
		接続部本体	エポキシ樹脂
		引抜防止金具	アルミ鋳物

表 2.1-10 浜岡 4 号機 高圧プラグインコネクタ接続の使用条件

	通常運転時
設置場所	原子炉格納容器外
周囲温度	50℃以下*1

*1：原子炉格納容器外（原子炉建屋内）で、高圧プラグインコネクタが設置されている最も周囲温度が高い区域の設計値を示す

2.1.6 低圧プラグインコネクタ接続（ジアリルフタレート樹脂）

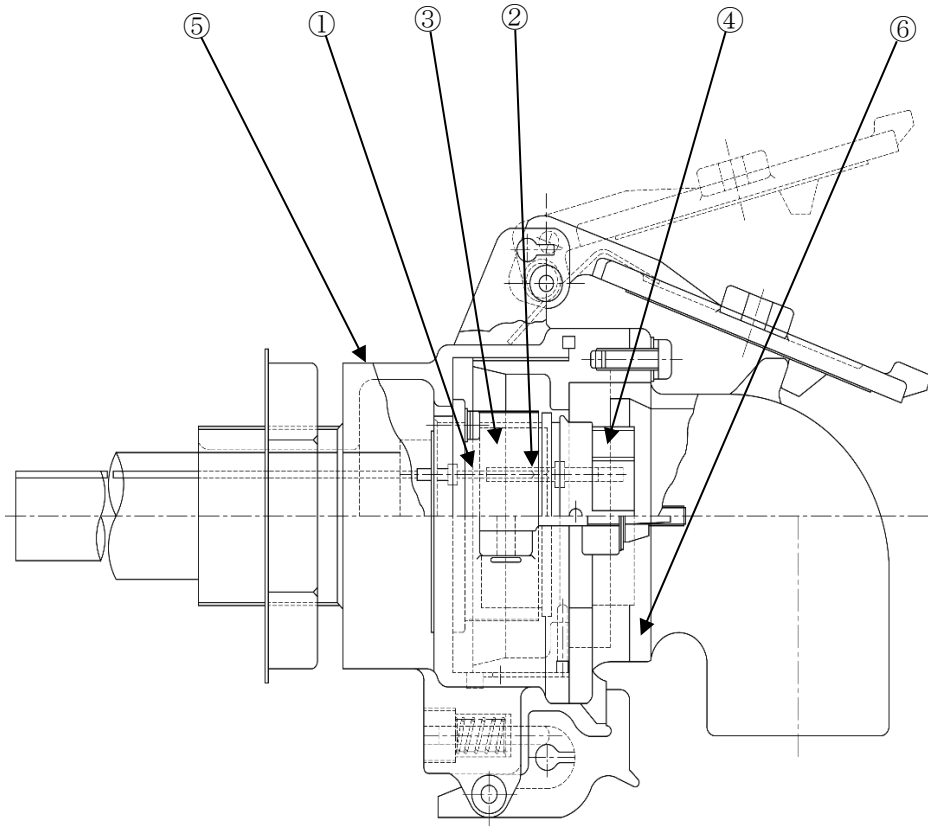
(1) 構造

低圧プラグインコネクタ接続は、大別すると、レセプタクル側コンタクト及びプラグ側コンタクト、レセプタクル側インシュレータ及びプラグ側インシュレータ、セン受体及びセン体で構成され、このうち低圧プラグインコネクタの絶縁機能は、レセプタクル側インシュレータ及びプラグ側インシュレータで保たれている。

代表的な低圧プラグインコネクタ接続の構造図を図 2.1-6 に示す。

(2) 材料及び使用条件

低圧プラグインコネクタ接続主要部位の使用材料を表 2.1-11 に、使用条件を表 2.1-12 に示す。



No.	部位
①	レセプタクル側コンタクト
②	プラグ側コンタクト
③	レセプタクル側インシュレータ
④	プラグ側インシュレータ
⑤	セン受体
⑥	セン体

図 2.1-6 浜岡 4 号機 低圧プラグインコネクタ接続の構造図

表 2.1-11 浜岡 4 号機 低圧プラグインコネクタ接続主要部位の使用材料

機能達成に必要な項目	サブシステム	部位	材料
電力・信号伝達機能の確保	エネルギー・信号伝達	レセプタクル側コンタクト	銅合金（銀メッキ）
		プラグ側コンタクト	銅合金（銀メッキ）
		レセプタクル側インシュレータ	ジアリルフタレート樹脂
		プラグ側インシュレータ	ジアリルフタレート樹脂
		セン受体	アルミニウム
		セン体	アルミニウム

表 2.1-12 浜岡 4 号機 低圧プラグインコネクタ接続の使用条件

	通常運転時
設置場所	原子炉格納容器外
周囲温度	50℃以下*1

*1：原子炉格納容器外（原子炉建屋内）で、低圧プラグインコネクタが設置されている最も周囲温度が高い区域の設計値を示す

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機器の機能達成に必要な項目

ケーブル接続部の通電機能の達成に必要な項目は以下のとおり。

- ①電力・信号伝達機能の確保
- ②通電・絶縁性能の確保（ウォールペネトレーション接続）
- ③バウンダリの維持（ウォールペネトレーション接続）

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

(1) 想定される経年劣化事象

ケーブル接続部について、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 に示すとおり経年劣化事象を抽出した。

なお、消耗品及び定期取替品は次項のとおり評価対象外とする。

(2) 消耗品及び定期取替品の扱い

電動弁駆動部のガスケットは消耗品であり、設計時に長期使用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。

(3) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

想定される経年劣化事象のうち下記①、②に該当する事象については、2.2.3 項に示すとおり、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。

- ①想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）
- 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（表 2.2-1 で▲）

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として以下の事象を抽出した（表 2.2-1 で○）。

- a. 絶縁物の絶縁特性低下 [端子台接続]
- b. 絶縁物の絶縁特性低下 [直ジョイント接続]
- c. 絶縁物の絶縁特性低下 [同軸コネクタ接続]
- d. 絶縁物及びシール材の絶縁特性低下 [ウォールペネトレーション接続]
- e. 絶縁物の絶縁特性低下 [高圧プラグインコネクタ接続]

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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（表 2.2-1 で△）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 端子板及び接続端子の腐食（全面腐食）〔端子台接続〕

端子板及び接続端子は銅が使用されていることから、湿分等の浸入による腐食が想定される。しかしながら、点検時における目視確認により設備の健全性を定期的を確認している。

b. アウターシェル、プラグインシュレータ、オスコンタクト、コレット、コレットナット、絶縁体及びメスコンタクトの腐食（全面腐食）〔同軸コネクタ接続〕

アウターシェル、プラグインシュレータ、オスコンタクト、コレット、コレットナット、絶縁体及びメスコンタクトは黄銅が使用されていることから、湿分等の浸入による腐食が想定される。しかしながら、点検時における目視確認により設備の健全性を定期的を確認している。

c. シール材、Oリング及びガスケットの気密性の低下〔ウォールペネトレーション接続〕

ウォールペネトレーションのシール材、Oリング及びガスケットは有機物であるため、熱的要因による気密性の低下が想定される。しかしながら、シール材、Oリングの気密性低下に対しては、原子炉建屋原子炉室気密性能検査を実施し、原子炉建屋原子炉室内外差圧が基準以上であることを確認することにより設備の健全性を定期的を確認している。

d. プラグ及びソケット、引抜防止金具の腐食（全面腐食）〔高圧プラグインコネクタ接続〕

高圧プラグインコネクタのプラグは銅、ソケットはベリリウム銅、引抜防止金具はアルミ鋳物が使用されていることから、湿分等の浸入により腐食が想定される。しかしながら、点検時における目視確認により設備の健全性を定期的を確認している。

e. レセプタクル側コンタクト及びプラグ側コンタクト、セン受体及びセン体の腐食（全面腐食）〔低圧プラグインコネクタ接続〕

低圧プラグインコネクタのレセプタクル側コンタクト及びプラグ側コンタクトは銅合金、セン受体及びセン体はアルミニウムが使用されていることから、湿分等の浸入により腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており、外気に接触するセン受体及びセン体の外表面には塗装を施していることから腐食が発生する可能性は

小さい。また、点検時における目視確認により設備の健全性を定期的に確認している。

f. 電線の導通不良 [ウォールペネトレーション接続]

電線に大きな荷重が作用すると、断線や接続部の外れ等により導通不良が想定される。しかしながら、電線単体には外部からの大きな荷重が作用しない構造となっており、導通不良が発生する可能性は小さい。また、点検時に実施する目視点検により接続部の外れがないことを確認している。さらに、接続機器の点検時に実施する動作試験により電線の健全性を定期的に確認している。

g. レセプタクル側インシュレータ及びプラグ側インシュレータの絶縁特性低下 [低圧プラグインコネクタ]

低圧プラグインコネクタのレセプタクル側インシュレータ及びプラグ側インシュレータの絶縁物は有機物であるため、熱及び放射線による物性変化に伴う絶縁特性低下が想定される。しかしながら、レセプタクル側インシュレータ及びプラグ側インシュレータの絶縁特性低下に対しては、点検時における目視点検、清掃及び絶縁抵抗測定により設備の健全性を定期的に確認している。

- (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事象（日常劣化管理事象以外）を以下に示す（表 2.2-1 で▲）。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても経年劣化の傾向が変化する要因があるとは考え難いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. スプライスの腐食（全面腐食） [直ジョイント接続]

スプライスは銅であり、腐食が想定される。しかしながら、直ジョイント接続は構造上スプライス部が絶縁物にて覆われており、屋内空調環境下に設置されていることから、腐食が発生する可能性は小さい。

b. スリーブ、端子箱の腐食（全面腐食） [ウォールペネトレーション接続]

スリーブ、端子箱は炭素鋼であり、腐食が想定される。しかしながら、屋内空調環境下に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。また、コンクリート埋設部については、コンクリートが中性化した場合に腐食が想定されるが、実機コンクリートにおけるサンプリング結果では中性化はほとんど見られていない。

表 2.2-1(1/6) 浜岡4号機 端子台接続に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	その他	
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	特性変化		
電力・信号伝達機能の確保	エネルギー・信号伝達	ガスケット	◎										
		端子箱		鋳鉄									
		端子板		銅		△							
		絶縁物		ジアリルフタレート樹脂					○				
		端子台ビス		ステンレス鋼									
		接続端子		銅		△							

○：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) 浜岡4号機 直ジョイント接続に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	その他	
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	特性変化		
電力・信号伝達機能の確保	エネルギー・信号伝達	スプライス		銅		▲							
		絶縁物		ポリブチレンテレタレート樹脂					○				

○：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（日常劣化管理事象以外）

表 2.2-1(3/6) 浜岡4号機 同軸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	サブシステム	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	その他			
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	特性変化				
電力・信号伝達機能の確保	信号伝達	アウターシェル		黄銅		△									
		プラグインシュレータ, スリーブ		黄銅		△									
				ポリエーテルエーテルケトン樹脂					○						
		オスコンタクト, スリーブ, Oリング		黄銅		△									
				ポリエーテルエーテルケトン樹脂, エチレンプロピレンジエンゴム					○						
		コレット		黄銅		△									
		コレットナット		黄銅		△									
		絶縁体, スリーブ		黄銅		△									
				ポリエーテルエーテルケトン樹脂						○					
		メスコンタクト, スリーブ, Oリング		黄銅		△									
	ポリエーテルエーテルケトン樹脂, エチレンプロピレンジエンゴム							○							

○：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(4/6) 浜岡 4 号機 ウォールペネトレーション接続に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	サブシステム	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	その他		
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	特性変化			
通電・絶縁性能の確保	エネルギー・信号伝達	電線		銅, 絶縁物 (難燃エチレンプロピレンゴム)					○	△			*1:気密性の低下	
通電・絶縁性能の確保及びバウンダリの維持	絶縁, 耐圧	シール材		エポキシ樹脂					○			△*1		
バウンダリの維持	耐圧	スリーブ		炭素鋼		▲								
		密封構造体		ステンレス鋼										
		Oリング		フッ素ゴム										△*1
		モジュール		ステンレス鋼										
		端子箱		炭素鋼		▲								
取付ボルト		ステンレス鋼												
ガスケット		クロロプレンゴム										△*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）

▲：（同上）（日常劣化管理事象以外）

表 2.2-1(5/6) 浜岡 4 号機 高圧プラグイン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	サブシステム	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	その他	
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	特性変化		
電力・信号伝達機能の確保	エネルギー伝達	プラグ		銅		△							
		ソケット		ベリリウム銅		△							
		スペーサ		エチレンプロピレンゴム					○				
		絶縁筒		エチレンプロピレンゴム					○				
		接続部本体		エポキシ樹脂					○				
		引抜防止金具		アルミ鋳物		△							

○：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(6/6) 浜岡 4 号機 低圧プラグイン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	サブシステム	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	その他	
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁特性低下	導通不良	特性変化		
電力・信号伝達機能の確保	エネルギー・信号伝達	レセプタクル側コンタクト		銅合金（銀メッキ）		△							
		プラグ側コンタクト		銅合金（銀メッキ）		△							
		レセプタクル側インシュレータ		ジアリルフタレート樹脂					△				
		プラグ側インシュレータ		ジアリルフタレート樹脂					△				
		セン受体		アルミニウム		△							
		セン体		アルミニウム		△							

△：高経年化対策上着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

(1) 絶縁物の絶縁特性低下 [端子台接続]

a. 事象の説明

端子台接続の絶縁物は、有機物のジアリルフタレート樹脂であるため、熱及び放射線による物性変化により、経年的に劣化が進行し、絶縁特性低下を起こす可能性があり、経年劣化に対する評価が必要である。

絶縁特性低下を生ずる可能性のある部位を図 2.3-1 に示す。

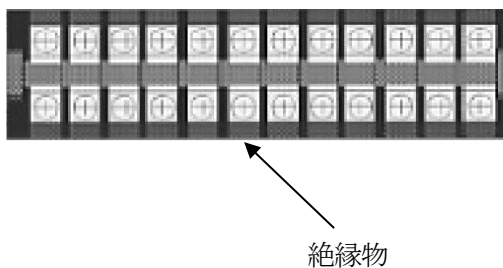


図 2.3-1 浜岡 4 号機 端子台接続の絶縁部位

b. 技術評価

①健全性評価

端子台接続の絶縁物は、有機物のジアリルフタレート樹脂であり、熱及び放射線による物性変化に伴う絶縁特性低下を起こす可能性があることから、長期間の使用を考慮すると絶縁体の絶縁特性低下の可能性は否定できない。

②現状保全

端子台接続の絶縁特性低下に対しては、系統機器の点検時に絶縁抵抗測定を実施し、有意な絶縁抵抗低下が無いことを確認している。さらに、点検時に実施する機器の動作確認においても端子台接続の絶縁性能の健全性を確認している。

また、点検で有意な絶縁特性低下が認められた場合には、端子台接続の取替えを行うこととしている。

さらに、当面の安定停止状態においては、その運転状況を考慮した点検を行うこととしている。

③総合評価

端子台接続の絶縁物については、絶縁特性低下の可能性は否定できないが、絶縁特性低下は点検時における絶縁抵抗測定及び動作試験により把握可能である。

また、当面の安定停止状態においても、接続機器の運転状況を加味し、系統機器の定例的な切替えや定例試験を含む日常保全を継続し、必要に応じて適切な対応をとることにより、設備の健全性を維持できると判断する。

c. 高経年化への対応

端子台接続の絶縁特性低下については、現状の保全内容に高経年化対策の観点から追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

(2) 絶縁物の絶縁特性低下 [直ジョイント接続]

a. 事象の説明

直ジョイント接続の絶縁物は、有機物のポリブチレンテレタレート樹脂であるため、熱による物性変化により、経年的に劣化が進行し、絶縁特性低下を起こす可能性があり、経年劣化に対する評価が必要である。

絶縁特性低下を生ずる可能性のある部位を図 2.3-2 に示す。

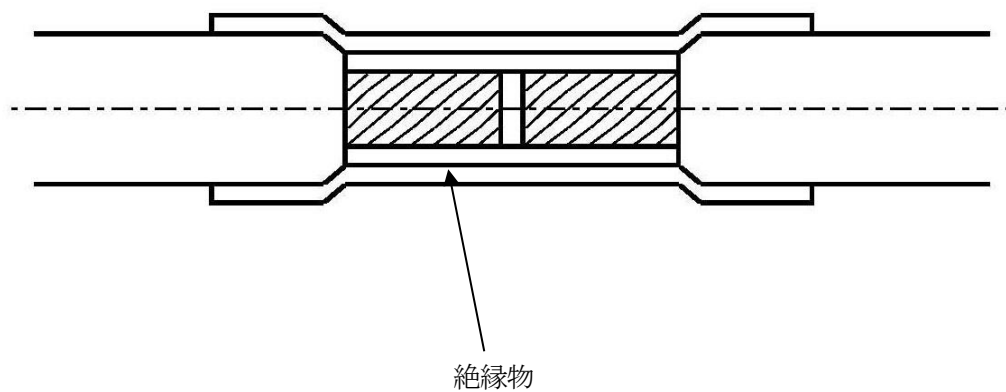


図 2.3-2 浜岡 4 号機 直ジョイント接続の絶縁部位

b. 技術評価

①健全性評価

直ジョイント接続の絶縁物は、有機物のポリブチレンテレタレート樹脂であり、熱による物性変化に伴う絶縁特性低下を起こす可能性があることから、長期間の使用を考慮すると絶縁体の絶縁特性低下の可能性は否定できない。

②現状保全

直ジョイント接続の絶縁特性低下に対しては、点検時に直ジョイント接続の目視点検及び接続機器の特性試験により、有意な絶縁抵抗低下が無いことを確認している。

また、点検で有意な絶縁特性低下が認められた場合には、直ジョイントの取替えを行うこととしている。

さらに、当面の安定停止状態においては、その運転状況を考慮した点検を行うこととしている。

③総合評価

直ジョイント接続の絶縁物については、絶縁特性低下の可能性は否定できないが、絶縁特性低下は点検時における目視点検及び特性試験により把握可能である。

また、当面の安定停止状態においても、接続機器の運転状況を加味し、系統機器の定例的な切替えや定例試験を含む日常保全を継続し、必要に応じて適切な対応をとることにより、設備の健全性を維持できると判断する。

c. 高経年化への対応

直ジョイント接続の絶縁特性低下については、現状の保全内容に高経年化対策の観点から追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

(3) 絶縁物の絶縁特性低下 [同軸コネクタ接続]

a. 事象の説明

同軸コネクタ接続の絶縁物は、有機物のポリエーテルエーテルケトン樹脂であるため、熱及び放射線による物性変化により、絶縁特性低下を起こす可能性がある。また、気密材に使用している O リングは、有機物のエチレンプロピレンジエンゴムであり、熱及び放射線による物性変化に伴い、シール面の隙間から外気の湿気が同軸コネクタ接続部に浸入する可能性があり、これが絶縁特性に影響する可能性がある。このことから、経年劣化に対する評価が必要である。

絶縁特性低下を生ずる可能性のある部位を図 2.3-3 に示す。

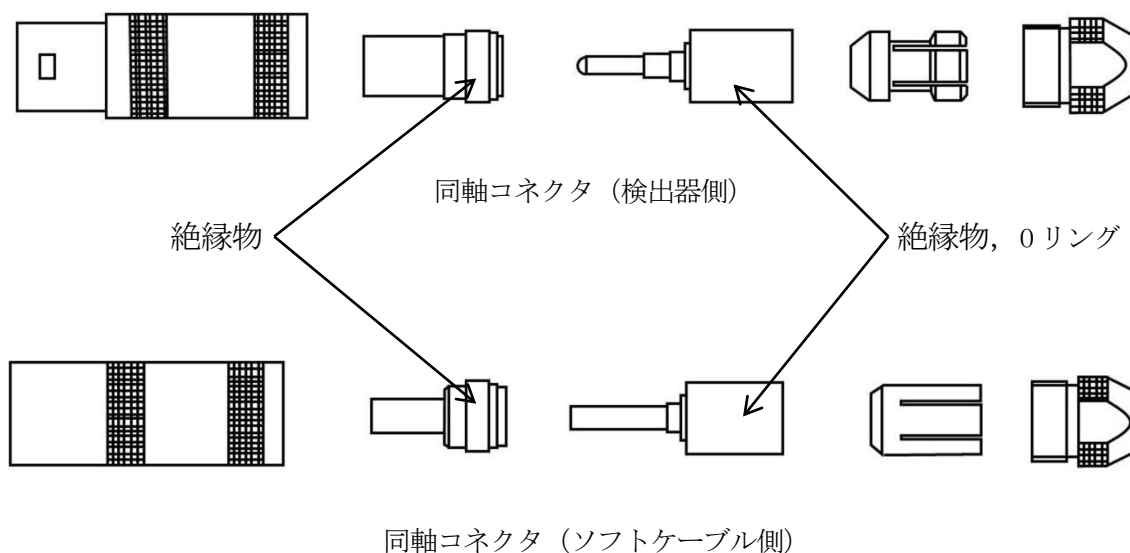


図 2.3-3 浜岡 4 号機 同軸コネクタ接続の絶縁部位

b. 技術評価

①健全性評価

同軸コネクタ接続の絶縁物は有機物のポリエーテルエーテルケトン樹脂、Oリングは、有機物のエチレンプロピレンジエンゴムであり、熱及び放射線による物性変化に伴い、絶縁特性低下を起こす可能性があることから、長期間の使用を考慮すると同軸コネクタ接続の絶縁特性低下の可能性は否定できない。

②現状保全

同軸コネクタ接続の絶縁特性低下に対しては、系統機器の点検時に絶縁抵抗測定を実施し、有意な絶縁抵抗低下が無いことを確認している。さらに、点検時に実施する機器の動作確認においても絶縁性能の健全性を確認している。

また、点検で有意な絶縁特性低下が認められた場合には、同軸コネクタ接続の取替えを行うこととしている。

さらに、当面の安定停止状態においては、その運転状況を考慮した点検を行うこととしている。

③総合評価

同軸コネクタ接続については、絶縁特性低下の可能性は否定できないが、絶縁特性低下は点検時における絶縁抵抗測定で把握可能である。

また、当面の安定停止状態においても、接続機器の運転状況を加味し、系統機器の定例的な切替えや定例試験を含む日常保全を継続し、必要に応じて適切な対応をとることにより、設備の健全性を維持できると判断する。

c. 高経年化への対応

同軸コネクタ接続の絶縁特性低下に対しては、高経年化対策の観点から現状保全の内容に対し追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

(4) 絶縁物及びシール材の絶縁特性低下 [ウォールペネトレーション接続]

a. 事象の説明

ウォールペネトレーション接続の電線の絶縁物で使用する難燃エチレンプロピレンゴム、シール材として使用されるエポキシ樹脂は有機物であるため、熱による物性変化により、絶縁特性低下を起こす可能性があり、経年劣化に対する評価が必要である。

絶縁特性低下を生ずる可能性のある部位を図 2.3-4 に示す。

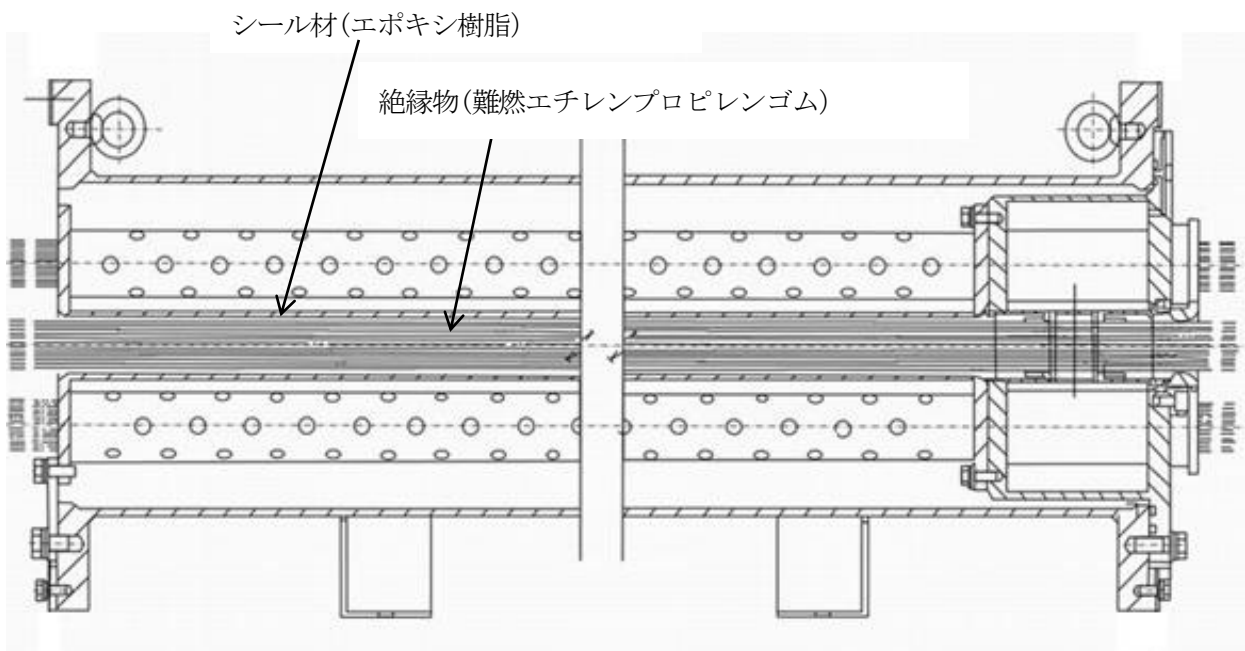


図 2.3-4 浜岡 4 号機 ウォールペネトレーション接続の絶縁部位

b. 技術評価

①健全性評価

ウォールペネトレーション接続の電線の絶縁物で使用される難燃エチレンプロピレンゴム、シール材として使用されるエポキシ樹脂は有機物であり、熱による物性変化に伴う絶縁特性低下を起こす可能性があることから、長期間の使用を考慮すると絶縁体の絶縁特性低下の可能性は否定できない。

②現状保全

ウォールペネトレーション接続の絶縁特性低下に対しては、系統機器の点検時に絶縁抵抗測定を実施し、有意な絶縁抵抗低下が無いことを確認している。さらに、点検時に実施する機器の動作確認においても絶縁性能の健全性を確認している。

また、点検で有意な絶縁特性低下が認められた場合には、ウォールペネトレーション接続の取替えを行うこととしている。

さらに、当面の安定停止状態においては、その運転状況を考慮した点検を行うこととしている。

③総合評価

ウォールペネトレーション接続の絶縁物については、絶縁特性低下の可能性は否定できないが、絶縁特性低下は点検時における絶縁抵抗測定及び動作試験により把握可能である。

また、当面の安定停止状態においても、接続機器の運転状況を加味し、系統機器の定例的な切替えや定例試験を含む日常保全を継続し、必要に応じて適切な対応をとることにより、設備の健全性を維持できると判断する。

c. 高経年化への対応

ウォールペネトレーション接続の絶縁特性低下に対しては、高経年化対策の観点から現状保全の内容に対し追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

(5) 絶縁物の絶縁特性低下 [高圧プラグインコネクタ接続]

a. 事象の説明

高圧プラグインコネクタ接続のスペーサ及び絶縁筒で使用されるエチレンプロピレンゴム, 接続部本体で使用されるエポキシ樹脂は有機物であり, 熱による物性変化により, 経年的に劣化が進行し, 絶縁特性低下を起こす可能性があり, 経年劣化に対する評価が必要である。

絶縁特性低下を生ずる可能性のある部位を図 2.3-5 に示す。

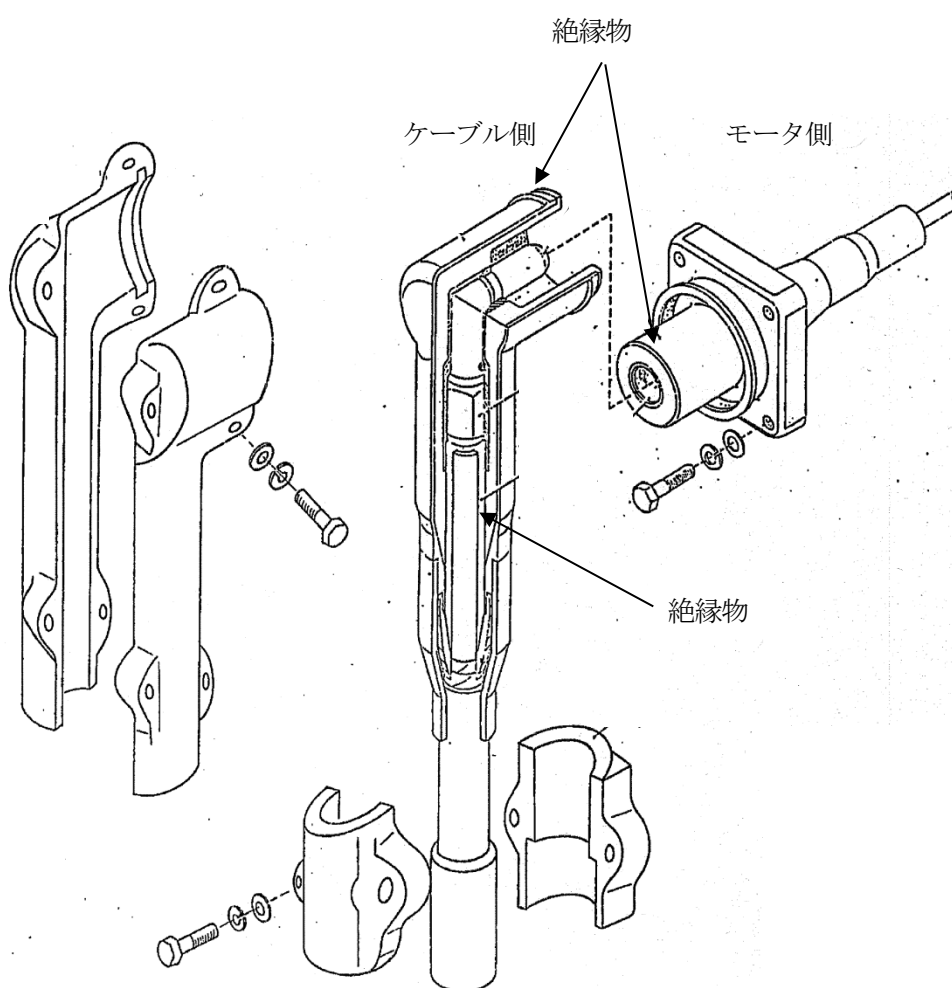


図 2.3-5 浜岡 4 号機 高圧プラグインコネクタ接続の絶縁部位

b. 技術評価

①健全性評価

高圧プラグインコネクタ接続のスペーサ及び絶縁筒で使用されるエチレンプロピレンゴム、接続部本体で使用されるエポキシ樹脂は有機物であり、熱による物性変化に伴う絶縁特性低下を起こす可能性があることから、長期間の使用を考慮すると絶縁体の絶縁特性低下の可能性は否定できない。

②現状保全

高圧プラグインコネクタ接続の絶縁特性低下に対しては、系統機器の点検時に絶縁抵抗測定を実施し、有意な絶縁抵抗低下が無いことを確認している。さらに、点検時に実施する機器の運転確認においても絶縁性能の健全性を確認している。

また、点検で有意な絶縁特性低下が認められた場合には、高圧プラグインコネクタ接続の取替えを行うこととしている。

さらに、当面の安定停止状態においては、その運転状況を考慮した点検を行うこととしている。

③総合評価

高圧プラグインコネクタ接続の絶縁特性低下の可能性は否定できないが、絶縁特性低下は点検時における絶縁抵抗測定で把握可能である。

また、当面の安定停止状態においても、接続機器の運転状況を加味し、系統機器の定例的な切替えや定例試験を含む日常保全を継続し、必要に応じて適切な対応をとることにより、設備の健全性を維持できると判断する。

c. 高経年化への対応

高圧プラグインコネクタ接続の絶縁特性低下については、現状の保全内容に高経年化対策の観点から追加すべき項目はなく、今後も現状保全を継続していく。

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を検討した。

- ① 端子台接続（ポリフェニレンエーテル樹脂）
- ② 端子台接続（ポリブチレンテレタレート樹脂）
- ③ 端子台接続（フェノール樹脂）
- ④ 端子接続（ビニルテープ）
- ⑤ 直ジョイント接続（架橋ポリオレフィン）
- ⑥ 同軸コネクタ接続（テフロン）
- ⑦ 同軸コネクタ接続（架橋ポリスチレン樹脂）
- ⑧ 同軸コネクタ接続（ポリクロロブレン）

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

a. 絶縁物の絶縁特性低下 [端子台接続（ポリフェニレンエーテル樹脂）]

代表機器同様、端子台接続の絶縁物は有機物のポリフェニレンエーテル樹脂であるため、熱による物性変化により、経年的に劣化が進行し、絶縁特性低下を起こす可能性がある。しかしながら、端子台接続の絶縁特性低下に対しては、系統機器の点検時に絶縁抵抗測定を実施し、有意な絶縁抵抗低下がないことを確認している。さらに、点検時に実施する機器の動作試験においても端子台接続の絶縁性能の健全性を確認しており、点検結果から有意な絶縁特性低下が認められた場合には、端子台の取替えを行うこととしている。

また、当面の安定停止状態においても、その運転状況を考慮した点検を行うこととしている。したがって、当面の安定停止状態においては、接続機器の運転状況を加味し、系統機器の定例的な切替えや定例試験を含む日常保全を継続し、必要に応じて適切な対応をとることにより、設備の健全性を維持できることから、高経年化対策の観点から現状保全の内容に対し追加すべき項目はないと判断する。

b. 絶縁物の絶縁特性低下 [端子台接続（フェノール樹脂）]

代表機器同様、端子台接続の絶縁物は有機物のフェノール樹脂であるため、熱による物性変化により、経年的に劣化が進行し、絶縁特性低下を起こす可能性がある。しかしながら、端子台接続の絶縁特性低下に対しては、系統機器の点検時に実施する特性試験により端子台接続の絶縁性能の健全性を確認しており、点検結果から有意な絶縁特性低下が認められた場合には、端子台の取替えを行うこととしている。

また、当面の安定停止状態においても、その運転状況を考慮した点検を行うこととしている。したがって、当面の安定停止状態においては、接続機器の運転状況を加味し、系統機器の定例的な切替えや定例試験を含む日常保全を継続し、必要に応じて適切な対応をとることにより、設備の健全性を維持できることから、高経年化対策の観点から現状保全の内容に対し追加すべき項目はないと判断する。

c. 絶縁物の絶縁特性低下 [直ジョイント (架橋ポリオレフィン)]

代表機器同様、直ジョイント接続の絶縁物は有機物の架橋ポリオレフィンであるため、熱及び放射線による物性変化に伴う絶縁特性低下が想定される。しかしながら、直ジョイント接続の絶縁特性低下に対しては、点検時における目視点検及び系統機器の特性試験により設備の健全性を確認しており、動作不良を起こす絶縁特性低下が認められた場合には、直ジョイントの取替えを実施している。

また、当面の安定停止状態においても、その運転状況を考慮した点検を行うこととしている。したがって、当面の安定停止状態においては、接続機器の運転状況を加味し、系統機器の定例的な切替えや定例試験を含む日常保全を継続し、必要に応じて適切な対応をとることにより、設備の健全性を維持できることから、高経年化対策の観点から現状保全の内容に対し追加すべき項目はないと判断する。

d. 絶縁物の絶縁特性低下 [同軸コネクタ接続 (テフロン) , 同軸コネクタ接続 (架橋ポリスチレン樹脂) , 同軸コネクタ接続 (ポリクロロプレン)]

代表機器同様、同軸コネクタ接続の絶縁物は有機物のテフロン、架橋ポリスチレン樹脂及びポリクロロプレンであるため、熱による物性変化により、経年的に劣化が進行し、絶縁特性低下を起こす可能性がある。しかしながら、同軸コネクタ接続の絶縁特性低下に対しては、系統機器の点検時における絶縁抵抗測定及び特性試験により設備の健全性を確認しており、点検結果から有意な絶縁特性低下が認められた場合には、同軸コネクタの取替えを行うこととしている。

また、当面の安定停止状態においても、その運転状況を考慮した点検を行うこととしている。したがって、当面の安定停止状態においては、接続機器の運転状況を加味し、系統機器の定例的な切替えや定例試験を含む日常保全を継続し、必要に応じて適切な対応をとることにより、設備の健全性を維持できることから、高経年化対策の観点から現状保全の内容に対し追加すべき項目はないと判断する。

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

- (1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても劣化の状況を把握し、必要に応じて補修等の対応を行うことで健全性を維持することが可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. 端子板及び接続端子の腐食 (全面腐食) [端子台接続 (ポリフェニレンエーテル樹脂) , 端子台接続 (ポリブチレンテラレート樹脂) , 端子台接続 (フェノール樹脂)]

代表機器同様、端子板及び接続端子は銅であり、湿分等の浸入により腐食が想定され

るが、端子台はガスケットでシールされた端子箱等に収納されているため、湿分等の浸入による腐食が発生する可能性は小さい。また、定期的を目視確認を行い、健全性を確認しており、これまで有意な腐食は認められていない。

b. ビニルテープの絶縁特性低下 [端子接続]

ビニルテープは、有機物のビニルであるため、熱による物性変化により経年的に劣化が進行し、絶縁特性低下を起こす可能性があるが、系統機器の点検時に取替えを行っていることから、有意な劣化が発生する可能性は小さい。また、点検時に絶縁抵抗測定を行い、これまで有意な絶縁特性低下は認められていない。

c. ボディ及びコンタクトの腐食（全面腐食） [同軸コネクタ接続（テフロン）, 同軸コネクタ接続（架橋ポリスチレン樹脂）, 同軸コネクタ接続（ポリクロロブレン）]

構成品であるボディ及びコンタクトは黄銅であり、湿分等の浸入による腐食が想定される。しかしながら、点検時における目視確認により設備の健全性を定期的に確認している。

d. 絶縁物の絶縁特性低下 [端子台接続（ポリブチレンテレタレート樹脂）]

代表機器同様、端子台接続の絶縁物は有機物のポリブチレンテレタレート樹脂であるため、熱及び放射線による物性変化に伴う絶縁特性低下が想定される。

しかしながら、系統機器の点検時に絶縁抵抗測定を実施し、有意な絶縁抵抗低下がないことを確認している。さらに、点検時に実施する機器の動作試験においても端子台接続の絶縁性能の健全性を確認しており、点検結果から有意な絶縁特性低下が認められた場合には、端子台の取替えを実施している。

(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事象を以下に示す。

これらの劣化事象については、当面の安定停止状態においても経年劣化の傾向が変化する要因があるとは考え難いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

a. スプライスの腐食（全面腐食） [直ジョイント接続（架橋ポリオレフィン）]

代表機器同様、スプライスは銅であり、腐食が想定される。しかしながら、直ジョイント接続は構造上スプライス部が絶縁物にて覆われており、屋内空調環境下に設置されていることから、腐食が発生する可能性は小さい。

以上