

# 高浜発電所 4 号炉

## ケーブルの技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

関西電力株式会社

高浜4号炉のケーブルのうち、評価対象機器である安全重要度分類審査指針におけるクラス1、2のケーブル、高温・高圧の環境下にあるクラス3のケーブルおよび常設重大事故等対処設備に属するケーブルを、種別および絶縁体材料でグループ化し、同一グループ内の複数のケーブルの存在を考慮して、用途、使用場所等の観点から代表ケーブルを選定した。

これらの一覧表を表1に示す。

本評価書においては、これら代表ケーブルについて技術評価を行うとともに、代表ケーブル以外のケーブルについて技術評価を展開している。本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考え。また、ケーブルトレイ等およびケーブル接続部についてはケーブルの機能を維持するための1部品として位置づけられるが、それぞれケーブル種別による区別は困難であることから、ケーブルトレイ等およびケーブル接続部は独立してとりまとめている。

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

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

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

本評価書ではケーブルの種別を基にしたケーブル分類に、ケーブルトレイ等およびケーブル接続部のケーブルの機能を維持するための機器を加えた以下の6つに分類している。

- 1 高圧ケーブル
- 2 低圧ケーブル
- 3 同軸ケーブル
- 4 光ファイバケーブル
- 5 ケーブルトレイ等
- 6 ケーブル接続部

表1 (1/3) 高浜4号炉 主要なケーブル

分離基準		機器名称	選定基準						代表機器の選定				
種別	絶縁体材料		用途	使用場所		重要度*1	使用開始時期		シース材料	代表機器	選定理由		
				原子炉格納容器内	原子炉格納容器外		建設時	運転開始後					
高圧	架橋ポリエチレン	難燃高圧CSHVケーブル	電力		○	MS-1、重*4	○		難燃低塩酸特殊耐熱ビニル	◎			
低圧	シリコーンゴム	難燃KKケーブル	計装	○*2,5		MS-1、重*4	○		難燃シリコーンゴム	◎			
	難燃エチレンプロピレンゴム	難燃PHケーブル	電力・制御	○*2,5	○*3	MS-1、重*4	○		難燃クロロスルホン化ポリエチレン	◎	使用場所		
			計装	○*2,5	○	MS-1、重*4		○					
		難燃PSHVケーブル	電力・制御・計装			○*3,6	MS-1、重*4	○				難燃低塩酸特殊耐熱ビニル	
	四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂	FPETケーブル	制御・計装			○	MS-1、重*4	○		四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂	◎	使用範囲	
		FPPケーブル	計装			○	MS-1、重*4	○					四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂
		FPTFケーブル	制御			○	MS-1		○				四フッ化エチレン・プロピレン共重合樹脂
四フッ化エチレン樹脂	TFEFPケーブル	制御			○	MS-1	○		四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂	◎			

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：設計基準事故（1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失）を考慮する。

\*3：設計基準事故（主蒸気管破断）を考慮する。

\*4：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

\*5：重大事故等（格納容器過温破損、原子炉格納容器の除熱機能喪失）を考慮する。

\*6：重大事故等（使用済燃料ピットにおける重大事故に至るおそれがある事故に至るおそれがある事故）を考慮する。

表 1 ( 2 / 3 ) 高浜 4 号炉 主要なケーブル

分離基準		機器名称	選定基準						シース材料		代表機器の選定	
種別	絶縁体材料		用途	使用場所		重要度 *1	使用開始時期		内部シース	外部シース	代表 機器	選定理由
				原子炉格 納容器内	原子炉格 納容器外		建設時	運転 開始後				
同軸	架橋ポリエチレン	難燃三重同軸ケーブル	計装	○*2,4	○	MS-1、 重*3	○		架橋 ポリエチレン	難燃架橋 ポリエチレン	◎	
	ポリエチレン	難燃同軸ケーブル	計装		○*5	重*3		○	—	難燃低塩酸特 殊耐熱ビニル	◎	

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：設計基準事故（1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失）を考慮する。

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

\*4：重大事故等（格納容器過温破損、原子炉格納容器の除熱機能喪失）を考慮する。

\*5：重大事故等（使用済燃料ピットにおける重大事故に至るおそれがある事故）を考慮する。

表 1 ( 3 / 3 ) 高浜 4 号炉 主要なケーブル

分離 基準	機器名称	選定基準					シース材料		代表機器 の選定		
		用途	使用場所		重要度*1	使用開始時期		内部シース	外部シース	代表 機器	選定 理由
			原子炉 格納容 器内	原子炉 格納容 器外		建設時	運転 開始後				
石英 ガラス	難燃光ファイバ ケーブルー 1	制御・ 計装		○	MS-1、 重*2		○	ポリ塩化ビニル	難燃性ポリエチレン、 アルミラミネートテープ	◎	使用 範囲
	難燃光ファイバ ケーブルー 2	制御・ 計装		○	MS-1、 重*2		○	難燃低塩酸ビニル	難燃低塩酸ビニル、 アルミラミネートテープ		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

[ケーブル名称の略称について]

表 1 に示す高浜 4 号炉の主要なケーブルの略称は、各々以下のケーブルを示すものである。

- (1) 難燃高圧 CSHV ケーブル：高圧架橋ポリエチレン絶縁難燃低塩酸特殊耐熱ビニルシースケーブル
- (2) 難燃 KK ケーブル：シリコーンゴム絶縁難燃シリコーンゴムシースケーブル
- (3) 難燃 PH ケーブル：難燃エチレンプロピレンゴム絶縁難燃クロロスルホン化ポリエチレンシースケーブル
- (4) 難燃 PSHV ケーブル：難燃エチレンプロピレンゴム絶縁難燃低塩酸特殊耐熱ビニルシースケーブル
- (5) FPET ケーブル：四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂絶縁四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂シースケーブル
- (6) FPP ケーブル：四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂絶縁四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂シースケーブル
- (7) FPTF ケーブル：四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂絶縁四フッ化エチレン・プロピレン共重合樹脂シースケーブル
- (8) TFEFP ケーブル：四フッ化エチレン樹脂絶縁四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂シースケーブル

備考：記号の意味は、次のとおりである。

C：架橋ポリエチレン

V：ビニル

SHV：特殊耐熱ビニル

K：シリコーンゴム

P：エチレンプロピレンゴム

H：クロロスルホン化ポリエチレン

# 1 高圧ケーブル

[対象機器]

- ① 難燃高圧CSHVケーブル

## 目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 難燃高圧CSHVケーブルの技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	4
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	7

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されている高圧ケーブルの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 高圧ケーブルの主な仕様

機器名称	用途	使用場所		重要度*1	使用開始時期	
		原子炉格納容器内	原子炉格納容器外		建設時	運転開始後
難燃高圧CSHVケーブル	電力		○	MS-1、重*2	○	

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. 難燃高圧CSHVケーブルの技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 難燃高圧CSHVケーブル

##### (1) 構造

高浜4号炉に使用している難燃高圧CSHVケーブルは導体、内部半導電層、絶縁体、外部半導電層、遮蔽層、テープおよびシースで構成されている。

このうちケーブルの絶縁機能は絶縁体により保たれている。

なお、内部半導電層、外部半導電層は導体および遮蔽層を整形するため、遮蔽層は導体の静電誘導を低減するため、テープはケーブル全体を整形するため、シースはケーブルを外的な力から保護するための材料である。

高浜4号炉の難燃高圧CSHVケーブルの構造図を図2.1-1に示す。

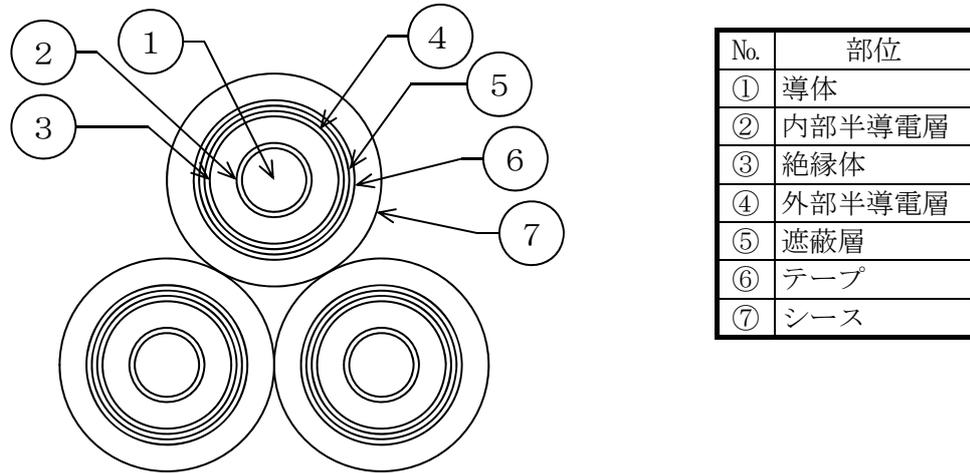


図2.1-1 高浜4号炉 難燃高圧CSHVケーブル構造図

##### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉で使用している難燃高圧CSHVケーブルの使用材料および使用条件を、表2.1-1および表2.1-2に示す。

表2.1-1 高浜4号炉 難燃高圧CSHVケーブル主要部位の使用材料

部位	材料
導体	銅
内部半導電層	布テープ（カーボン含有塗料塗布） カーボン含有架橋ポリエチレン
絶縁体	架橋ポリエチレン
外部半導電層	布テープ（カーボン含有塗料塗布） カーボン含有架橋ポリエチレン
遮蔽層	銅テープ
テープ	布
シース	難燃低塩酸特殊耐熱ビニル

表2.1-2 高浜4号炉 難燃高圧CSHVケーブルの使用条件

設置場所	原子炉格納容器外*1
周囲温度	約40℃*2
放射線	$3.4 \times 10^{-3} \text{Gy/h}^*3$

\*1：原子炉格納容器外でのみ使用。

\*2：原子炉格納容器外の設計平均温度。

\*3：通常運転時の管理区域内の最大実測値。

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

難燃高圧CSHVケーブルの機能である電力の伝達機能を維持するためには、次の項目が必要である。

#### ① 通電・絶縁機能の維持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

難燃高圧CSHVケーブルについて、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験等を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

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

#### (1) 絶縁体の絶縁低下（水トリー劣化を除く）

絶縁体は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

#### (2) 絶縁体の絶縁低下（水トリー劣化）

絶縁体は有機物であり、長時間にわたって水が存在する状態で高い電界にさらされると、水トリー劣化による絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) シースの劣化

シースは絶縁体と同様に、熱的、電氣的、環境的要因による劣化が想定される。

しかしながら、ケーブルに要求される機能である通電・絶縁機能の維持に対する影響は極めて小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器点検時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

表2.2-1 高浜4号炉 難燃高圧CSHVケーブルに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象					備考
				絶縁低下	導通不良	減肉	割れ	その他	
通電・絶縁機能の維持	導体		銅						*1：水トリー劣化を含む *2：劣化
	内部半導電層		布テープ（カーボン含有塗料塗布） カーボン含有架橋ポリエチレン						
	絶縁体		架橋ポリエチレン	○*1					
	外部半導電層		布テープ（カーボン含有塗料塗布） カーボン含有架橋ポリエチレン						
	遮蔽層		銅テープ						
	テープ		布						
	シース		難燃低塩酸特殊耐熱ビニル					△*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（日常劣化管理事象）

## 2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

### 2.3.1 絶縁体の絶縁低下（水トリー劣化を除く）

#### a. 事象の説明

絶縁体は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

ケーブルの長期間の経年劣化を考慮した必要性能の評価方法は、IEEE Std.323-1974「IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations」およびIEEE Std.383-1974「IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations」（以下「IEEE Std.383-1974」という。）の規格を根幹に、我が国のケーブル耐環境試験方法推奨案として電気学会にてまとめられており、電気学会技術報告Ⅱ部第139号「原子力発電所用電線・ケーブルの環境試験方法ならびに耐延焼性試験方法に関する推奨案」には、ケーブルの加速劣化方法を含む試験条件、試験手順、ならびに判定方法が述べられている。これらに従って、高圧ケーブルの長期健全性を評価した。

なお、高浜4号炉の実機においては、長期健全性試験を実施した難燃高圧CSHVケーブルが2種類存在するため、それぞれ難燃高圧CSHVケーブルー1および難燃高圧CSHVケーブルー2（難燃高圧CSHVケーブルー1と製造メーカーが異なる難燃高圧CSHVケーブル）に区別して評価した。

図2.3-1に試験手順および判定方法を示す。

難燃高圧CSHVケーブルー1および難燃高圧CSHVケーブルー2の長期健全性試験条件ならびに長期健全性評価結果を表2.3-1～表2.3-4に示す。

試験条件は、高浜4号炉の実機環境に基づいて60年間の運転期間を想定した劣化条件を包絡している。

評価の結果、高浜4号炉の難燃高圧CSHVケーブルー1および難燃高圧CSHVケーブルー2は、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。

また、高浜4号炉の実機においては、長期健全性試験を実施した難燃高圧CSHVケーブル-1および難燃高圧CSHVケーブル-2と製造メーカーが異なる難燃高圧CSHVケーブル-3も布設されているが、事故時雰囲気での機能要求がなく、通常運転時の使用条件は難燃高圧CSHVケーブル-1および難燃高圧CSHVケーブル-2と同様であり、難燃高圧CSHVケーブル-1および難燃高圧CSHVケーブル-2と構造および絶縁体材料が類似していることから、絶縁体の劣化特性も類似していると考えられ、また、難燃高圧CSHVケーブル-1および難燃高圧CSHVケーブル-2の使用条件はそれぞれの長期健全性試験条件に対して余裕があることから、絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、実機と同じ製造メーカーのケーブルで長期健全性試験を実施していないため、60年間の供用を想定すると絶縁低下の可能性は否定できない。

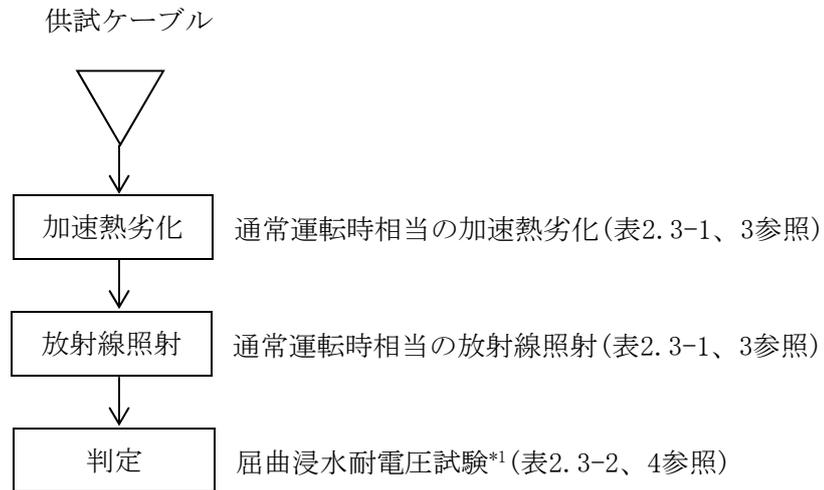


図2.3-1 難燃高圧CSHVケーブルの長期健全性試験手順および判定方法

\*1： 屈曲浸水耐電圧試験の試験手順は以下のとおりである。

- ① 直線状に試料を伸ばした後、試料外径の約20倍のマンドレルに巻付ける。
- ② ①の両端部以外を常温の水中に浸し1時間以上放置する。
- ③ ②の状態、公称絶縁体厚さに対し交流電圧80V/0.0254mm\*2を5分間印加し、絶縁破壊を生じるか否かを調べる。

\*2： IEEE Std. 383-1974に基づく。

表2.3-1 難燃高圧CSHVケーブルー1の長期健全性試験条件

	試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件
温度	150°C－15日	113°C－15日 (=60°C*1－60年)
放射線 (集積線量)	500kGy	1.79kGy*2

\*1：原子炉格納容器外でのケーブル周囲温度（約40°C）に通電による温度上昇と若干の余裕を加えた温度として設定した。

\*2： $3.4 \times 10^{-3} [\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 1.79 \text{kGy}$

表2.3-2 難燃高圧CSHVケーブルー1の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
屈曲浸水 耐電圧試験	供試体外径：51mm マンドレル径：1000mm以下 絶縁厚さ：4.0mm 課電電圧：12.6kV/5分間	良

(出典：メーカーデータ)

表2.3-3 難燃高圧CSHVケーブルー2の長期健全性試験条件

	試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件
温度	120°C－18日	96°C－18日 (=60°C*1－60年)
放射線 (集積線量)	500kGy	1.79kGy*2

\*1：原子炉格納容器外でのケーブル周囲温度（約40°C）に通電による温度上昇と若干の余裕を加えた温度として設定した。

\*2： $3.4 \times 10^{-3} [\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 1.79 \text{kGy}$

表2.3-4 難燃高圧CSHVケーブルー2の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
屈曲浸水 耐電圧試験	供試体外径：59mm マンドレル径：1100mm以下 絶縁厚さ：4.0mm 課電電圧：12.8kV/5分間	良

(出典：メーカーデータ)

② 現状保全

絶縁体の絶縁低下に対しては、定期的に絶縁抵抗測定を行い、管理値以上であることの確認を行っている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、難燃高圧CSHVケーブルー 1 および難燃高圧CSHVケーブルー 2 については、絶縁体の絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

また、難燃高圧CSHVケーブルー 3 については、絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

難燃高圧CSHVケーブルー 1 および難燃高圧CSHVケーブルー 2 の絶縁体の絶縁低下については、現状保全項目に高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

また、難燃高圧CSHVケーブルー 3 の絶縁体の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

## 2.3.2 絶縁体の絶縁低下（水トリー劣化）

### a. 事象の説明

絶縁体は有機物であり、長時間にわたって水が存在する状態で高い電界にさらされると、水トリー劣化による絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

### b. 技術評価

#### ① 健全性評価

雨水等により浸水する可能性があるものは屋外に布設しているケーブルのみであり、屋内に布設しているケーブルは、長時間にわたって水が存在する状態にさらされる可能性はない。

高浜4号炉の難燃高圧CSHVケーブルのうち、屋外に布設しているケーブルは、コンクリート製のトレンチ内に布設されているが、トレンチにはマンホールを設けており、トレンチ内に水が溜まっていないことを目視確認できる構造となっている。

さらに水が溜まった場合は、恒設の排水ポンプで自動的に排水することが可能となっていることから、ケーブルが長時間浸水する可能性は低く、水トリー劣化による絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、トレンチ底部の溜まり水によって高湿度環境となることを考慮すると、水トリー劣化による絶縁低下の可能性は否定できない。

#### ② 現状保全

屋外に布設している難燃高圧CSHVケーブルの絶縁体の絶縁低下（水トリー劣化）に対しては、定期的な絶縁診断として絶縁抵抗測定、直流漏洩電流測定、 $\tan \delta$  試験、シース絶縁抵抗測定、遮蔽層抵抗測定および部分放電試験を行い、管理範囲に収まっていることの確認を行うとともに傾向管理を行っており、点検結果の傾向に基づき取替等を検討することとしている。

また、トレンチ内の水の溜まりの有無を、定期的を目視確認している。

#### ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、長時間浸水状態となる可能性は低く、水トリー劣化による絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、高湿度環境となることを考慮すると、絶縁体の絶縁低下（水トリー劣化）の可能性は否定できない。

しかしながら、水トリー劣化による絶縁低下は絶縁診断で、浸水状態は目視確認で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

屋外に布設している難燃高圧CSHVケーブルの絶縁体の絶縁低下（水トリー劣化）については、定期的に絶縁診断を実施していくとともに、点検結果の傾向に基づき取替等を検討していく。

さらに、トレンチ内の目視確認を実施していく。

## 2 低圧ケーブル

[対象機器]

- ① 難燃KKケーブル
- ② 難燃PHケーブル
- ③ 難燃PSHVケーブル
- ④ FPETケーブル
- ⑤ FPPケーブル
- ⑥ FPTFケーブル
- ⑦ TFEFPケーブル

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	3
2.1 構造、材料および使用条件 .....	3
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	8
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 .....	23
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象 .....	23
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 .....	25

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されている低圧ケーブルの主な仕様を表1-1に示す。

これらのケーブルを絶縁体材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す低圧ケーブルを、絶縁体材料で分類すると、合計4つのグループに分類される。

### 1.2 代表機器の選定

#### (1) 絶縁体材料：シリコンゴム

このグループには難燃KKケーブルのみ属するため、難燃KKケーブルを代表機器とする。

#### (2) 絶縁体材料：難燃エチレンプロピレンゴム

このグループには難燃PHケーブルおよび難燃PSHVケーブルが属するが、原子炉格納容器内で使用している難燃PHケーブルを代表機器とする。

#### (3) 絶縁体材料：四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂

このグループにはFPETケーブル、FPPケーブルおよびFPTFケーブルが属するが、使用範囲が最も広いFPETケーブルを代表機器とする。

#### (4) 絶縁体材料：四フッ化エチレン樹脂

このグループにはTFEFPケーブルのみ属するため、TFEFPケーブルを代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 低圧ケーブルの主な仕様

分離基準	機器名称	選定基準						シース材料	代表機器の選定	
		用途	使用場所		重要度*1	使用開始時期			代表機器	選定理由
			原子炉格納容器内	原子炉格納容器外		建設時	運転開始後			
シリコーンゴム	難燃KKケーブル	計装	○*2,5		MS-1、重*4	○		難燃シリコーンゴム	◎	
難燃エチレンプロピレンゴム	難燃PHケーブル	電力・制御	○*2,5	○*3	MS-1、重*4	○		難燃クロロスルホン化ポリエチレン	◎	使用場所
		計装	○*2,5	○	MS-1、重*4		○			
	難燃PSHVケーブル	電力・制御・計装		○*3,6	MS-1、重*4	○		難燃低塩酸特殊耐熱ビニル		
四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂	FPETケーブル	制御・計装		○	MS-1、重*4	○		四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂	◎	使用範囲
	FPPケーブル	計装		○	MS-1、重*4	○		四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂		
	FPTFケーブル	制御		○	MS-1		○	四フッ化エチレン・プロピレン共重合樹脂		
四フッ化エチレン樹脂	TFEFPケーブル	制御		○	MS-1	○		四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂	◎	

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：設計基準事故（1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失）を考慮する。

\*3：設計基準事故（主蒸気管破断）を考慮する。

\*4：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

\*5：重大事故等（格納容器過温破損、原子炉格納容器の除熱機能喪失）を考慮する。

\*6：重大事故等（使用済燃料ピットにおける重大事故に至るおそれがある事故）を考慮する。

## 2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の4種類のケーブルについて技術評価を実施する。

- ① 難燃KKケーブル
- ② 難燃PHケーブル
- ③ FPETケーブル
- ④ TFEFPケーブル

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### (1) 構造

高浜4号炉に使用している低圧ケーブルは導体、絶縁体、介在、テープ、遮蔽層およびシースで構成されている。

このうちケーブルの絶縁機能は絶縁体により保たれている。

なお、介在およびテープはケーブル全体を整形するため、遮蔽層は導体の静電誘導を低減するため、シースはケーブルを外的な力から保護するための材料である。

高浜4号炉の代表的な低圧ケーブルの構造図を図2.1-1に示す。

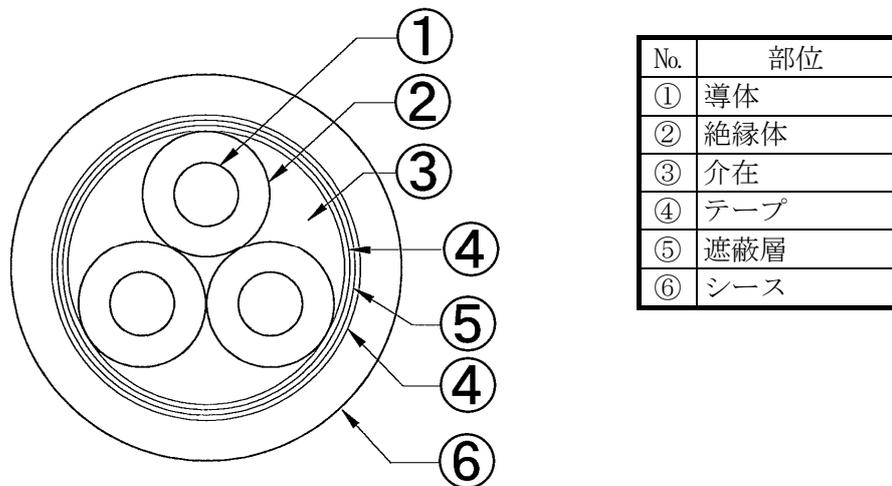


図2.1-1 高浜4号炉 代表的な低圧ケーブルの構造図

#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉で使用している難燃KKケーブル、難燃PHケーブル、FPETケーブルおよびTFEFPケーブルの使用材料および使用条件を表2.1-1～表2.1-8に示す。

表2.1-1 高浜4号炉 難燃KKケーブル主要部位の使用材料

部位	材料
導体	銅（錫メッキ）
絶縁体	シリコーンゴム
介在	ガラス糸
テープ	ガラステープ
遮蔽層	銅線編組（錫メッキ）
シース	難燃シリコーンゴム

表2.1-2 高浜4号炉 難燃KKケーブルの使用条件

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時
設置場所	原子炉格納容器内		
周囲温度	約46℃*1	約125℃ (最高温度)	約138℃ (最高温度)
圧力	約0.0098MPa [gage] 以下	約0.25MPa [gage] (最高圧力)	約0.35MPa [gage] (最高圧力)
放射線	0.5860Gy/h*2	675kGy (最大集積線量)	500kGy (最大集積線量)

\*1：設計基準事故または重大事故等を考慮する原子炉格納容器内難燃KKケーブルの通常運転時のケーブル布設箇所周囲の平均温度の最大実測値。

\*2：設計基準事故または重大事故等を考慮する原子炉格納容器内難燃KKケーブルの通常運転時のケーブル布設箇所周囲の平均線量率の最大実測値。

表2.1-3 高浜4号炉 難燃PHケーブル主要部位の使用材料

部位	材料
導体	銅（錫メッキ）
絶縁体	難燃エチレンプロピレンゴム
介在	ジュート
テープ	布
遮蔽層	銅テープ（錫メッキ）
シース	難燃クロロスルホン化ポリエチレン

表2.1-4 高浜4号炉 難燃PHケーブルの使用条件\*1

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時
設置場所	原子炉格納容器内		
周囲温度	約44℃*2	約125℃ (最高温度)	約138℃ (最高温度)
圧力	約0.0098MPa [gage] 以下	約0.25MPa [gage] (最高圧力)	約0.35MPa [gage] (最高圧力)
放射線	0.1696Gy/h*3	675kGy (最大集積線量)	500kGy (最大集積線量)

\*1：環境条件が厳しい原子炉格納容器内ケーブルを代表として記載。

\*2：設計基準事故または重大事故等を考慮する原子炉格納容器内難燃PHケーブルの通常運転時のケーブル布設箇所周囲の平均温度の最大実測値。

\*3：設計基準事故または重大事故等を考慮する原子炉格納容器内難燃PHケーブルの通常運転時のケーブル布設箇所周囲の平均線量率の最大実測値。

表2.1-5 高浜4号炉 FPETケーブル主要部位の使用材料

部位	材料
導体	銅（錫メッキ）
絶縁体	四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂
介在	ガラス介在
テープ	ポリエステルテープ
遮蔽層	アルミポリエステルテープ
シース	四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂

表2.1-6 高浜4号炉 FPETケーブルの使用条件

設置場所	原子炉格納容器外 (管理区域外*1)
周囲温度	約25℃*2
放射線	—

\*1：中央制御室およびケーブル処理室でのみ使用。

\*2：原子炉格納容器外の設計平均温度。

表2.1-7 高浜4号炉 TFEFPケーブル主要部位の使用材料

部位	材料
導体	銅（錫メッキ）
絶縁体	四フッ化エチレン樹脂
テープ	テフロンテープ
遮蔽層	銅（錫メッキ）
シース	四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂

表2.1-8 高浜4号炉 TFEFPケーブルの使用条件

設置場所	原子炉格納容器外 （管理区域外*1）
周囲温度	約25℃*2
放射線	—

\*1：中央制御室およびケーブル処理室でのみ使用。

\*2：原子炉格納容器外の設計平均温度。

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

低圧ケーブルの主な機能である電力や計測制御信号の伝達機能を維持するためには、次の項目が必要である。

#### ① 通電・絶縁機能の維持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

低圧ケーブル個々について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験等を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

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

#### (1) 絶縁体の絶縁低下 [共通]

絶縁体は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) シースの劣化 [共通]

シースは絶縁体と同様に、熱的、電氣的、環境的要因による劣化が想定される。

しかしながら、ケーブルに要求される機能である通電・絶縁機能の維持に対する影響は極めて小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

表2.2-1(1/4) 高浜4号炉 難燃KKケーブルに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象					備考
				絶縁低下	導通不良	減肉	割れ	その他	
通電・絶縁機能の維持	導体		銅（錫メッキ）						*1：劣化
	絶縁体		シリコーンゴム	○					
	介在		ガラス糸						
	テープ		ガラステープ						
	遮蔽層		銅線編組（錫メッキ）						
	シース		難燃シリコーンゴム					△*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）

表2.2-1(2/4) 高浜4号炉 難燃PHケーブルに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象					備考
				絶縁低下	導通不良	減肉	割れ	その他	
通電・絶縁機能の維持	導体		銅（錫メッキ）						*1：劣化
	絶縁体		難燃エチレンプロピレンゴム	○					
	介在		ジュート						
	テープ		布						
	遮蔽層		銅テープ（錫メッキ）						
	シース		難燃クロロスルホン化ポリエチレン					△*1	

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/4) 高浜4号炉 FPETケーブルに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象					備考
				絶縁低下	導通不良	減肉	割れ	その他	
通電・絶縁機能の維持	導体		銅（錫メッキ）						*1：劣化
	絶縁体		四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂	○					
	介在		ガラス介在						
	テープ		ポリエステルテープ						
	遮蔽層		アルミポリエステルテープ						
	シース		四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂					△*1	

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/4) 高浜4号炉 TFEFPケーブルに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象					備考
				絶縁低下	導通不良	減肉	割れ	その他	
通電・絶縁機能の維持	導体		銅（錫メッキ）						*1：劣化
	絶縁体		四フッ化エチレン樹脂	○					
	テープ		テフロンテープ						
	遮蔽層		銅（錫メッキ）						
	シース		四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂					△*1	

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

## 2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

### 2.3.1 絶縁体の絶縁低下 [共通]

#### a. 事象の説明

絶縁体は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

ケーブルの長期間の経年劣化を考慮した必要性能の評価方法は、IEEE Std.323-1974「IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations」およびIEEE Std.383-1974「IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations」の規格を根幹に、我が国のケーブル耐環境試験方法推奨案として電気学会にてまとめられている。電気学会技術報告Ⅱ部第139号「原子力発電所用電線・ケーブルの環境試験方法ならびに耐延焼性試験方法に関する推奨案」（以下「電気学会推奨案」という。）には、ケーブルの加速劣化方法を含む試験条件、試験手順、ならびに判定方法が述べられており、本評価ではこれらに従って、実機同等品または実機相当品を用いて低圧ケーブルの長期健全性を評価した。

難燃KKケーブルおよび難燃PHケーブルの電気学会推奨案に基づく試験手順および判定方法を図2.3-1に示す。

難燃KKケーブルおよび難燃PHケーブルについては、実機同等品による長期健全性試験結果を用いて評価する。

難燃KKケーブルおよび難燃PHケーブルの長期健全性試験条件ならびに長期健全性試験結果を表2.3-1～表2.3-4に示す。

通常運転時の使用条件には、原子力安全・保安院指示文書「原子炉格納容器内の安全機能を有するケーブルの布設環境等の調査実施について（平成19・07・30原院第5号 平成19年10月30日 NISA-167b-07-1）」に基づき実施した原子炉格納容器内のケーブル布設環境（温度・放射線線量率）の調査結果等を反映している。

試験条件は、高浜4号炉の実機環境に基づいて60年間の運転期間および設計基準事故、または60年間の運転期間および重大事故等時を想定した劣化条件を包絡している。

電気学会推奨案に基づく評価の結果、高浜4号炉の難燃KKケーブルおよび難燃PHケーブルは、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。

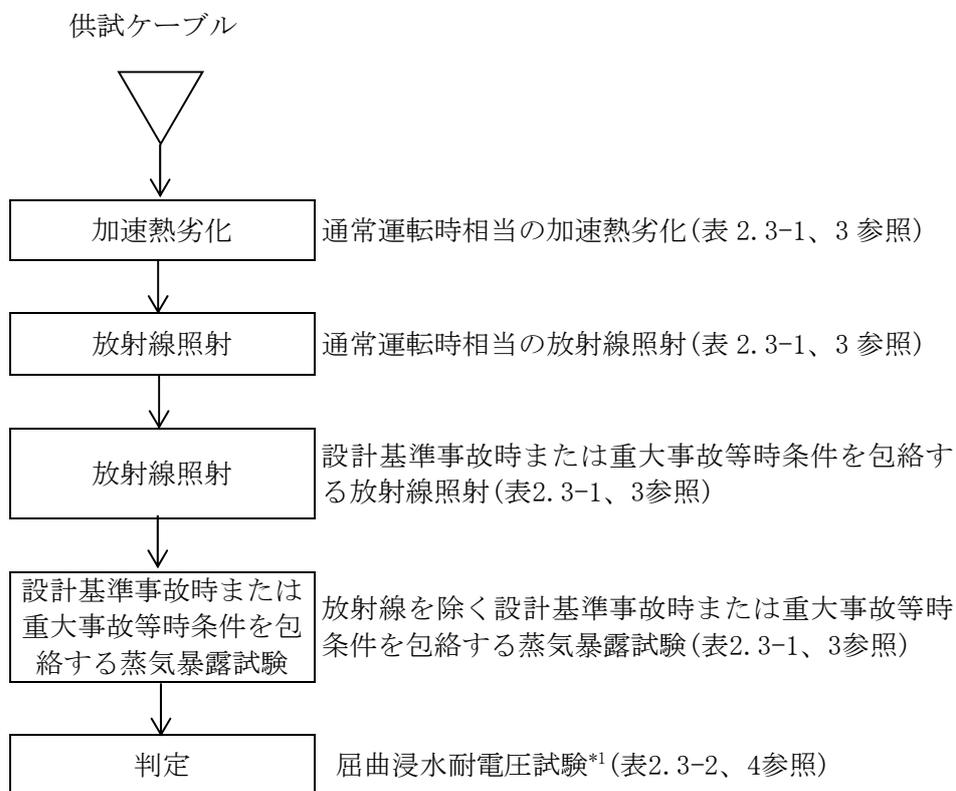


図2.3-1 難燃KKケーブルおよび難燃PHケーブルの長期健全性試験手順および判定方法

\*1：屈曲浸水耐電圧試験の試験手順は以下のとおりである。

- ① 直線状に試料を伸ばした後、試料外径の約40倍のマンドレルに巻付ける。
- ② ①の両端部以外を常温の水中に浸し1時間以上放置する。
- ③ ②の状態、公称絶縁体厚さに対し交流電圧3.2kV/mmを5分間印加し、絶縁破壊を生じるか否かを調べる。

表2.3-1 難燃KKケーブルの長期健全性試験条件（電気学会推奨案）

		試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件、設計基準事故時または重大事故等時の環境条件
通常運転時相当	温度	121℃-7日	98℃-7日 (=46℃*1-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	309kGy*2
事故時蒸気暴露試験	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)	設計基準事故時：675kGy 重大事故等時：500kGy
	温度	190℃ (最高温度)	設計基準事故時：約125℃(最高温度) 重大事故等時：約138℃(最高温度)
	圧力	0.41MPa[gage] (最高圧力)	設計基準事故時：約0.25MPa[gage](最高圧力) 重大事故等時：約0.35MPa[gage](最高圧力)

\*1：設計基準事故または重大事故等を考慮する原子炉格納容器内難燃KKケーブル布設箇所周囲の平均温度として設定した。

\*2： $0.5860[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25)[\text{h/y}] \times 60[\text{y}] = 309\text{kGy}$

表2.3-2 難燃KKケーブルの長期健全性試験結果（電気学会推奨案）

項目	試験条件	判定
屈曲浸水 耐電圧試験	供試体外径：11.5mm マンドレル径：供試体外径の約40倍 絶縁厚さ：0.76mm 課電電圧：2.6kV/5分間	良

[出典：電力共通研究「電気・計装機器の耐環境実証試験に関する研究(Step-3)」  
1983年度]

表2.3-3 難燃PHケーブルの長期健全性試験条件（電気学会推奨案）

		試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件、設計基準事故時または重大事故等時の環境条件
通常運転時相当	温度	140℃-9日	105℃-9日 (=51℃*1-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (7.3kGy/h以下)	90kGy*2
事故時蒸気暴露試験	放射線 (集積線量)	1,500kGy (7.3kGy/h以下)	設計基準事故時：675kGy 重大事故等時：500kGy
	温度	190℃ (最高温度)	設計基準事故時：約125℃(最高温度) 重大事故等時：約138℃(最高温度)
	圧力	0.41MPa[gage] (最高圧力)	設計基準事故時：約0.25MPa[gage](最高圧力) 重大事故等時：約0.35MPa[gage](最高圧力)

\*1：設計基準事故または重大事故等を考慮する原子炉格納容器内難燃PHケーブル布設箇所周囲の平均温度に、通電による温度上昇等を考慮した各布設エリアの温度を包絡する温度として設定した。

\*2： $0.1696[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25)[\text{h/y}] \times 60[\text{y}] = 90\text{kGy}$

表2.3-4 難燃PHケーブルの長期健全性試験結果（電気学会推奨案）

項目	試験条件	判定
屈曲浸水 耐電圧試験	供試体外径：11.5mm マンドレル径：400mm 絶縁厚さ：0.8mm 課電電圧：2.6kV/5分間	良

[出典：関西電力研究データ]

次に、FPETケーブルについては、実機と同じ製造メーカーのケーブルで長期健全性試験を実施していないため、構造および絶縁体材料が類似している実機相当品であるFPTFケーブルの電気学会推奨案に基づく長期健全性試験結果を用いて評価する。

FPTFケーブルの電気学会推奨案に基づく試験手順および判定方法を図2.3-2に、FPTFケーブルの長期健全性試験条件ならびに長期健全性試験結果を表2.3-5および表2.3-6に示す。

高浜4号炉のFPETケーブルと長期健全性試験を実施したFPTFケーブルの構造および絶縁体材料が類似していることから、絶縁体の劣化特性も類似していると考えられ、また、FPETケーブルの使用条件は長期健全性試験条件に対して余裕があることから、高浜4号炉のFPETケーブルについては絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、実機と同じケーブルで長期健全性試験を実施していないため、60年間の供用を想定すると、絶縁低下の可能性は否定できない。

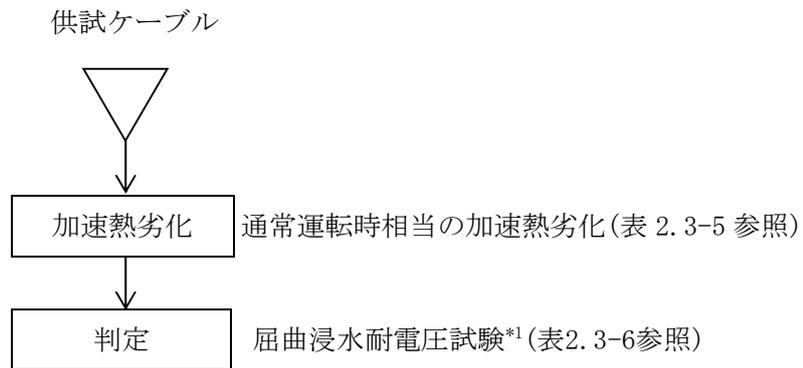


図2.3-2 FPETケーブルと構造および絶縁体材料が類似する  
FPTFケーブルの長期健全性試験手順

\*1：屈曲浸水耐電圧試験の試験手順は以下のとおりである。

- ① 直線状に試料を伸ばした後、試料外径の約20倍のマンドレルに巻付ける。
- ② ①の両端部以外を常温の水中に浸し1時間以上放置する。
- ③ ②の状態、公称絶縁体厚さに対し交流電圧3.2kV/mmを5分間印加し、絶縁破壊を生じるか否かを調べる。

表2.3-5 FPETケーブルと構造および絶縁体材料が類似する  
FPTFケーブルの長期健全性試験条件（電気学会推奨案）

	試験条件	60年間の通常運転時の 使用条件に基づく劣化条件
温度	200℃－56日	188℃－56日 (=30℃*1－60年)

\*1：中央制御室およびケーブル処理室でのケーブル周囲温度（約25℃）に若干の余裕を加えた温度として設定した。

表2.3-6 FPETケーブルと構造および絶縁体材料が類似する  
FPTFケーブルの長期健全性試験結果（電気学会推奨案）

項目	試験条件	判定
屈曲浸水 耐電圧試験	供試体外径：18.0mm マンドレル径：360mm 絶縁厚さ：0.25mm 課電電圧：0.96kV/5分間	良

〔出典：電力研究データ〕

なお、高浜4号炉の実機に布設されているTFEFPケーブルについては、事故時雰囲気内で機能要求がなく、空調された中央制御室およびケーブル処理室でのみ使用され、さらに、用途が制御用のみで通電による温度上昇はごく僅かであることから、絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、電気学会推奨案の手順による長期健全性試験を実施していないため、60年間の供用を想定すると、絶縁低下の可能性は否定できない。

また、設計基準事故時雰囲気内で機能要求があるケーブルについては、原子力安全基盤機構により原子力プラントでの使用条件に即したケーブルの経年劣化評価手法が検討され、その結果が「原子力発電所のケーブル経年劣化評価ガイド（JNES-RE-2013-2049）」（以下「ACAガイド」という。）に取りまとめられている。このため、設計基準事故時雰囲気内または重大事故等時雰囲気内で機能要求がある難燃KKケーブルおよび難燃PHケーブルについては、実機同等品によるACAガイドに従った長期健全性についても評価した。

評価にあたっては、「原子力プラントのケーブル経年変化評価技術調査研究に関する最終報告書（JNES-SS-0903）」（以下「ACA」という。）の試験結果を用いた。

ACAガイドに基づく試験手順および判定方法を図2.3-3に、ACA試験条件ならびにACA試験結果を表2.3-7および表2.3-8に、ケーブル実布設環境での長期健全性評価結果を表2.3-9に示す。

評価の結果、高浜4号炉の難燃KKケーブルおよび難燃PHケーブルは、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。

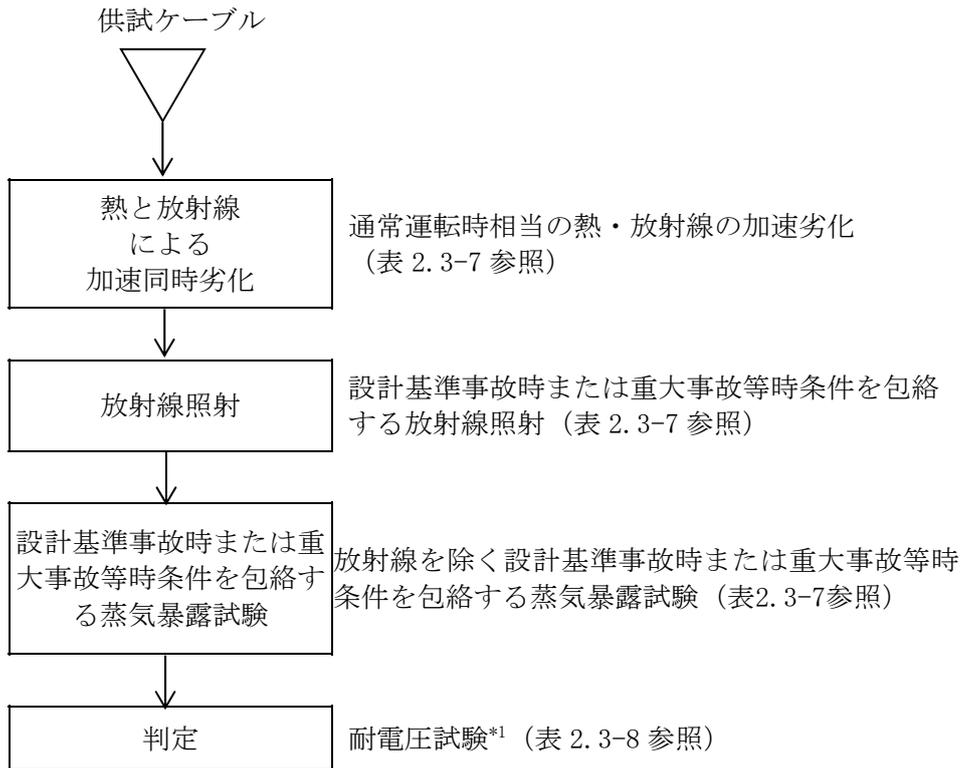


図2.3-3 難燃KKケーブルおよび難燃PHケーブルのACAガイドに基づく試験手順

\*1：耐電圧試験は、日本産業規格「ゴム・プラスチック絶縁電線試験方法」(JIS C 3005:2000) の試験

表2.3-7 難燃KKケーブルおよび難燃PHケーブルのACA試験条件

		試験条件
通常運転時相当	温度 放射線	難燃 KK ケーブル : 100°C - 99.9Gy/h - 5,549h 難燃 PH ケーブル : 100°C - 94.8Gy/h - 4,003h
設計基準事故時相当 重大事故等時相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h 以下)
	温度	最高温度 : 190°C
	圧力	最高圧力 : 0.41MPa [gage]

表2.3-8 難燃KKケーブルおよび難燃PHケーブルのACA試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	課電電圧 : 1,500V / 1 分間	良

[出典：原子力プラントのケーブル経年変化評価技術調査研究に関する最終報告書 (JNES-SS-0903)]

表2.3-9 実布設環境での長期健全性評価結果

布設区分	実布設環境条件		使用ケーブル	評価期間 [年]*1	備考
	温度 [°C]	放射線量 率[Gy/h]			
ループ室	46	0.4699	難燃 KK ケーブル	84*2	
	39	0.5860	難燃 KK ケーブル	78*2	
	43	0.0940	難燃 PH ケーブル	83*3	
	36	0.1696	難燃 PH ケーブル	92*3	
加圧器室上部	44	0.0013	難燃 PH ケーブル	149*3	
通路部	41	0.0005	難燃 PH ケーブル	92*3,4	
	36	0.0181	難燃 PH ケーブル	194*3	
MS 区画	28	0.00001	難燃 PH ケーブル	559	

\*1：時間稼働率 100%での評価期間。

\*2：等価損傷線量データの重ね合わせ手法により評価。

\*3：時間依存データの重ね合わせ手法により評価。

\*4：ケーブルトレイの温度上昇値 (10°C) を考慮して評価している。

② 現状保全

絶縁体の絶縁低下に対しては、制御・計装用ケーブルについては、定期的に系統機器の動作に異常のないことを確認し、絶縁低下による機能低下のないことを確認している。

電力用ケーブルについては、定期的に絶縁抵抗測定を行い、管理値以上であることの確認を行っている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、難燃KKケーブルおよび難燃PHケーブルについては、絶縁体の絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

絶縁低下は系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

また、FPETケーブルおよびTFEFPケーブルについては絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

難燃KKケーブルおよび難燃PHケーブルの絶縁体の絶縁低下については、現状保全項目に高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

また、FPETケーブルおよびTFEFPケーブルの絶縁体の絶縁低下については、定期的に系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定を実施していく。

### 3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表となっていないケーブルへの展開について検討した。さらに、代表機器と構造および絶縁体材料が類似するケーブル（製造メーカーが異なるケーブル等）への展開について検討した。

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

- ① 難燃PSHVケーブル
- ② FPPケーブル
- ③ FPTFケーブル
- ④ 難燃KKケーブルー1（代表機器と製造メーカーが異なる難燃KKケーブル）
- ⑤ 難燃PHケーブルー1（代表機器と製造メーカーが異なる難燃PHケーブル）
- ⑥ 難燃PSHVケーブルー1（①と製造メーカーが異なる難燃PSHVケーブル）
- ⑦ 難燃PSHVケーブルー2（①、⑥と製造メーカーが異なる難燃PSHVケーブル）

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

##### 3.1.1 絶縁体の絶縁低下 [共通]

事故時雰囲気内で機能要求がない難燃PSHVケーブル、FPPケーブル、FPTFケーブル、難燃KKケーブルー1および難燃PHケーブルー1については、構造および絶縁体材料が類似している実機相当品を用い、電気学会推奨案に基づく長期健全性試験結果を用いて評価した結果、60年間の運転期間後においても絶縁低下の可能性は小さいと考える。

これらのケーブルの絶縁低下は、系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、難燃PSHVケーブル、FPPケーブル、FPTFケーブル、難燃KKケーブルー1および難燃PHケーブルー1の絶縁体の絶縁低下については、定期的に系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定を実施していく。

設計基準事故時雰囲気内および重大事故等時雰囲気内で機能要求がある難燃PSHVケーブルー1については、絶縁体種類が同一でシース種類が異なる難燃PHケーブルの電気学会推奨案に基づく長期健全性試験結果を用いて評価した結果、60年間の運転期間および設計基準事故後、または60年間の運転期間および重大事故等後においても絶縁機能を維持できると判断する。

同様に、設計基準事故時雰囲気内で機能要求がある難燃PSHVケーブルー2については、絶縁体種類が同一でシース種類が異なる難燃PHケーブルの電気学会推奨案に基づく長期健全性試験結果を用いて評価した結果、60年間の運転期間および設計基準事故後においても絶縁機能を維持できると判断する。

また、設計基準事故時雰囲気内で機能要求があるケーブルについては、代表機器と同様、ACAガイドに従った長期健全性試験を用いて評価した。

難燃PSHVケーブルー1および難燃PSHVケーブルー2について、絶縁体種類が同一でシース種類が異なる難燃PHケーブルの試験結果を用いて評価した結果、60年間の運転期間および設計基準事故後においても絶縁機能を維持できると判断する。

したがって、難燃PSHVケーブルー1および難燃PSHVケーブルー2については、現状保全項目に高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

### 3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### 3.2.1 シースの劣化〔共通〕

シースは絶縁体と同様に、熱的、電氣的、環境的要因による劣化が想定される。

しかしながら、ケーブルに要求される機能である通電・絶縁機能の維持に対する影響は極めて小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

## 3 同軸ケーブル

[対象機器]

- ① 難燃三重同軸ケーブル
- ② 難燃同軸ケーブル

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	3
2.1 構造、材料および使用条件 .....	3
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	6
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価 .....	10

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されている同軸ケーブルの主な仕様を表1-1に示す。

これらのケーブルを絶縁体材料の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す同軸ケーブルを、絶縁体材料で分類すると、合計2つのグループに分類される。

### 1.2 代表機器の選定

#### (1) 絶縁体材料：架橋ポリエチレン

このグループには難燃三重同軸ケーブルのみ属するため、難燃三重同軸ケーブルを代表機器とする。

#### (2) 絶縁体材料：ポリエチレン

このグループには難燃同軸ケーブルのみ属するため、難燃同軸ケーブルを代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 同軸ケーブルの主な仕様

分離基準	機器名称	選定基準						シース材料		代表機器の選定	
		用途	使用場所		重要度*1	使用開始時期		内部シース	外部シース	代表機器	選定理由
			原子炉格納容器内	原子炉格納容器外		建設時	運転開始後				
絶縁体材料											
架橋ポリエチレン	難燃三重同軸ケーブル	計装	○*2,4	○	MS-1、重*3	○		架橋ポリエチレン	難燃架橋ポリエチレン	◎	
ポリエチレン	難燃同軸ケーブル	計装		○*5	重*3		○	—	難燃低塩酸特殊耐熱ビニル	◎	

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：設計基準事故（1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失）を考慮する。

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

\*4：重大事故等（格納容器過温破損、原子炉格納容器の除熱機能喪失）を考慮する。

\*5：重大事故等（使用済燃料ピットにおける重大事故に至るおそれがある事故）を考慮する。

## 2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の2種類のケーブルについて技術評価を実施する。

- ① 難燃三重同軸ケーブル
- ② 難燃同軸ケーブル

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### (1) 構造

高浜4号炉に使用している同軸ケーブルは内部導体、絶縁体、外部導体、内部シース、遮蔽体および外部シースで構成されている。

このうち同軸ケーブルの絶縁機能は絶縁体および内部シースにより保たれている。なお、遮蔽体は導体の静電誘導を低減するため、外部シースはケーブルを外的な力から保護するための材料である。

高浜4号炉の代表的な同軸ケーブルの構造図を図2.1-1に示す。

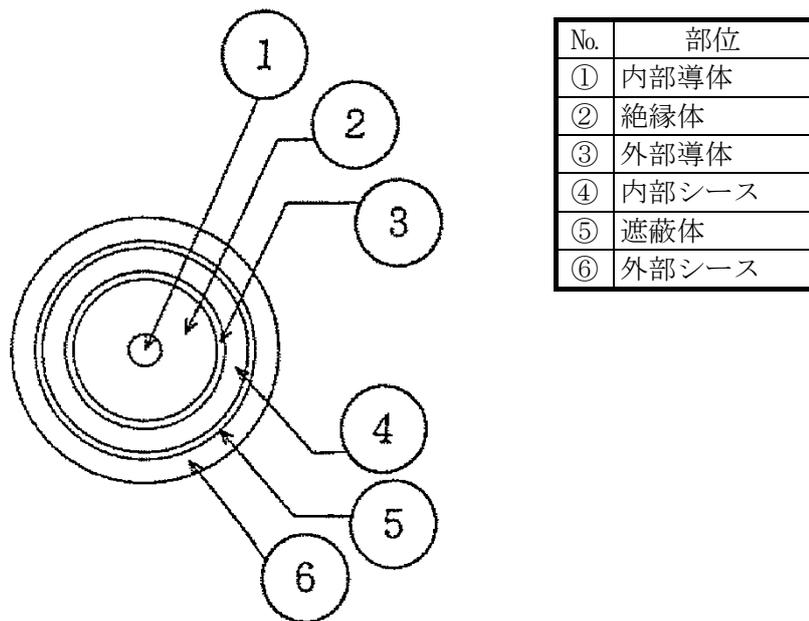


図2.1-1 高浜4号炉 代表的な同軸ケーブルの構造図

#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉で使用している難燃三重同軸ケーブルの使用材料および使用条件を表2.1-1～表2.1-4に示す。

表2.1-1 高浜4号炉 難燃三重同軸ケーブル主要部位の使用材料

部位	材料
内部導体	銅（錫メッキ）
絶縁体	架橋ポリエチレン
外部導体	銅線編組（錫メッキ）
内部シース	架橋ポリエチレン
遮蔽体	銅線編組（錫メッキ）
外部シース	難燃架橋ポリエチレン

表2.1-2 高浜4号炉 難燃三重同軸ケーブルの使用条件\*1

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時
設置場所	原子炉格納容器内		
周囲温度	約44℃*2	約125℃ (最高温度)	約138℃ (最高温度)
圧力	約0.0098MPa [gage] 以下	約0.25MPa [gage] (最高圧力)	約0.35MPa [gage] (最高圧力)
放射線	0.2537Gy/h*3	675kGy (最大集積線量)	500kGy (最大集積線量)

\*1：環境条件が厳しい原子炉格納容器内ケーブルを代表として記載。

\*2：設計基準事故または重大事故等を考慮する原子炉格納容器内難燃三重同軸ケーブルの通常運転時のケーブル布設箇所周囲の平均温度の最大実測値。

\*3：設計基準事故または重大事故等を考慮する原子炉格納容器内難燃三重同軸ケーブルの通常運転時のケーブル布設箇所周囲の平均線量率の最大実測値。

表2.1-3 高浜4号炉 難燃同軸ケーブル主要部位の使用材料

部位	材料
内部導体	銅
絶縁体	ポリエチレン
外部導体	銅線編組
遮炎層	遮炎テープ
外部シース	難燃低塩酸特殊耐熱ビニル

表2.1-4 高浜4号炉 難燃同軸ケーブルの使用条件\*1

	通常運転時	重大事故等時
設置場所	使用済燃料ピットエリア内	
周囲温度	約22°C*2	約100°C (最高温度)
放射線	0.035mGy/h*3	0.15mGy/h

\*1：重大事故等時に環境が悪化する使用済燃料ピットエリア内ケーブルを代表として記載。

\*2：使用済燃料ピットエリアのケーブル布設箇所周囲の平均温度の実測値。

\*3：使用済燃料ピットエリアのケーブル布設箇所周囲の平均線量率の実測値。

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

同軸ケーブルの主な機能である計測制御信号の伝達機能を維持するためには、次の項目が必要である。

#### ① 通電・絶縁機能の維持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

同軸ケーブル個々について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験等を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

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

#### (1) 絶縁体〔共通〕および内部シース〔難燃三重同軸ケーブル〕の絶縁低下

絶縁体および内部シースは有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) 外部シースの劣化 [共通]

外部シースは絶縁体と同様に、熱的、電氣的、環境的要因による劣化が想定される。

しかしながら、ケーブルに要求される機能である通電・絶縁機能の維持に対する影響は極めて小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器点検時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

表2.2-1(1/2) 高浜4号炉 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	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象					備考
				絶縁低下	導通不良	減肉	割れ	その他	
通電・絶縁機能の維持	内部導体		銅（錫メッキ）						*1：劣化
	絶縁体		架橋ポリエチレン	○					
	外部導体		銅線編組（錫メッキ）						
	内部シース		架橋ポリエチレン	○					
	遮蔽体		銅線編組（錫メッキ）						
	外部シース		難燃架橋ポリエチレン					△*1	

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/2) 高浜4号炉 難燃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	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象					備考
				絶縁低下	導通不良	減肉	割れ	その他	
通電・絶縁機能の維持	内部導体		銅						*1：劣化
	絶縁体		ポリエチレン	○					
	外部導体		銅線編組						
	遮炎層		遮炎テープ						
	外部シース		難燃低塩酸特殊耐熱ビニル					△*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

### 2.3.1 絶縁体〔共通〕および内部シース〔難燃三重同軸ケーブル〕の絶縁低下

#### a. 事象の説明

絶縁体および内部シースは有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

ケーブルの長期間の経年劣化を考慮した必要性能の評価方法は、IEEE Std.323-1974「IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations」およびIEEE Std.383-1974「IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations」の規格を根幹に、我が国のケーブル耐環境試験方法推奨案として電気学会にてまとめられている。電気学会技術報告Ⅱ部第139号「原子力発電所用電線・ケーブルの環境試験方法ならびに耐延焼性試験方法に関する推奨案」（以下「電気学会推奨案」という。）には、ケーブルの加速劣化方法を含む試験条件、試験手順、ならびに判定方法が述べられており、本評価ではこれらに従って、実機同等品を用いて同軸ケーブルの長期健全性を評価した。

難燃三重同軸ケーブルの電気学会推奨案に基づく試験手順および判定方法を図2.3-1に示す。

難燃三重同軸ケーブルについては、実機同等品による長期健全性試験結果を用いて評価する。

難燃三重同軸ケーブルの長期健全性試験条件ならびに長期健全性試験結果を表2.3-1および表2.3-2に示す。

通常運転時の使用条件には、原子力安全・保安院指示文書「原子炉格納容器内の安全機能を有するケーブルの布設環境等の調査実施について（平成19・07・30原院第5号 平成19年10月30日 NISA-167b-07-1）」に基づき実施した原子炉格納容器内のケーブル布設環境（温度・放射線線量率）の調査結果を反映している。

試験条件は、高浜4号炉の実機環境に基づいて60年間の運転期間および設計基準事故、または60年間の運転期間および重大事故等時を想定した劣化条件を包絡している。

電気学会推奨案に基づく評価の結果、高浜4号炉の難燃三重同軸ケーブルは、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。

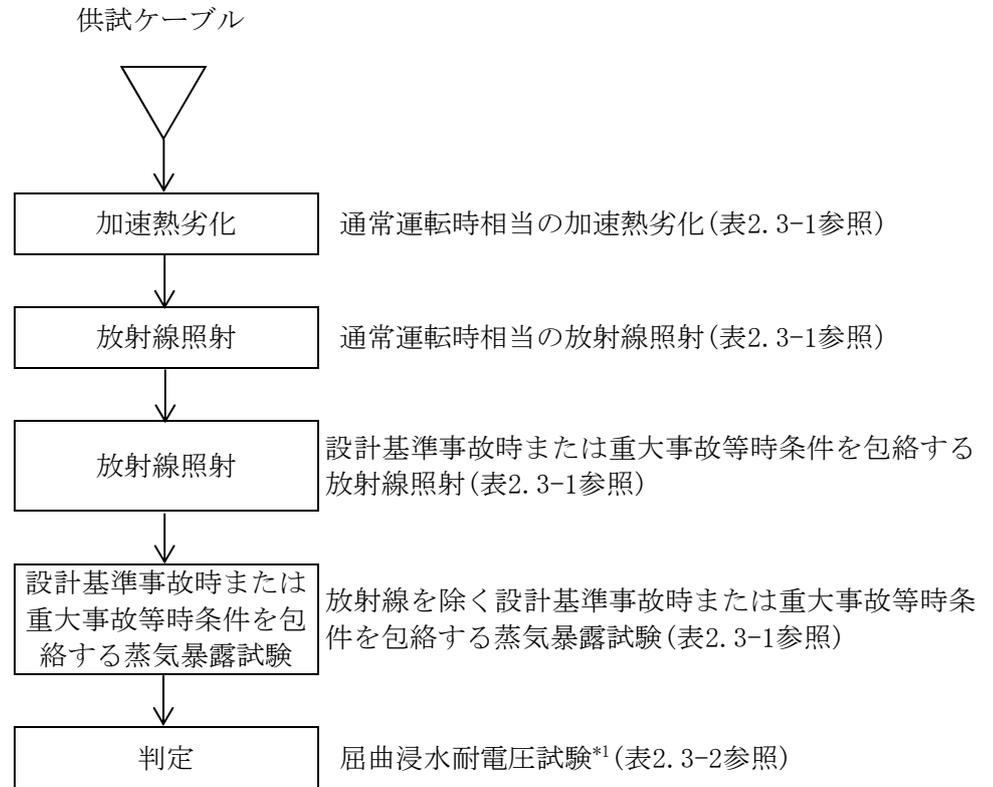


図2.3-1 難燃三重同軸ケーブルの長期健全性試験手順および判定方法

\*1：屈曲浸水耐電圧試験の試験手順は以下のとおりである。

- ① 直線状に試料を伸ばした後、試料外径の約40倍のマンドレルに巻付ける。
- ② ①の両端部以外を常温の水中に浸し1時間以上放置する。
- ③ ②の状態、公称絶縁体厚さに対し交流電圧3.2kV/mmを5分間印加し、絶縁破壊を生じるか否かを調べる。

表2.3-1 難燃三重同軸ケーブルの長期健全性試験条件（電気学会推奨案）

		試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく 劣化条件、設計基準事故時 または重大事故等時の環境条件
通常 運 転 時 相 当	温度	121℃－7日	81℃－7日 (=44℃*1－60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	134kGy*2
事 故 時 蒸 気 暴 露 試 験	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)	設計基準事故時：675kGy 重大事故等時：500kGy
	温度	190℃ (最高温度)	設計基準事故時：約125℃(最高温度) 重大事故等時：約138℃(最高温度)
	圧力	0.41MPa[gage] (最高圧力)	設計基準事故時：約0.25MPa[gage](最高圧力) 重大事故等時：約0.35MPa[gage](最高圧力)

\*1：設計基準事故または重大事故等を考慮する原子炉格納容器内難燃三重同軸ケーブル布設箇所周囲の平均温度として設定した。

\*2： $0.2537[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25)[\text{h/y}] \times 60[\text{y}] = 134\text{kGy}$

表2.3-2 難燃三重同軸ケーブルの長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
屈曲浸水 耐電圧試験	供試体外径：11.5mm マンドレル径：500mm 絶縁厚さ：2.9mm 課電電圧：9.7kV/5分間	良

(出典：メーカーデータ)

また、設計基準事故時雰囲気内で機能要求があるケーブルについては、原子力安全基盤機構により原子力プラントでの使用条件に即したケーブルの経年劣化評価手法が検討され、その結果が「原子力発電所のケーブル経年劣化評価ガイド（JNES-RE-2013-2049）」（以下「ACAガイド」という。）に取りまとめられている。このため、設計基準事故時雰囲気内または重大事故等時雰囲気内で機能要求がある難燃三重同軸ケーブルについては、実機同等品によるACAガイドに従った長期健全性についても評価した。

評価にあたっては、「原子力プラントのケーブル経年変化評価技術調査研究に関する最終報告書（JNES-SS-0903）」（以下「ACA」という。）の試験結果を用いた。

ACAガイドに基づく試験手順および判定方法を図2.3-2に、ACA試験条件ならびにACA試験結果を表2.3-3および表2.3-4に、ケーブル実布設環境での長期健全性評価結果を表2.3-5に示す。

評価の結果、高浜4号炉の難燃三重同軸ケーブルは運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。

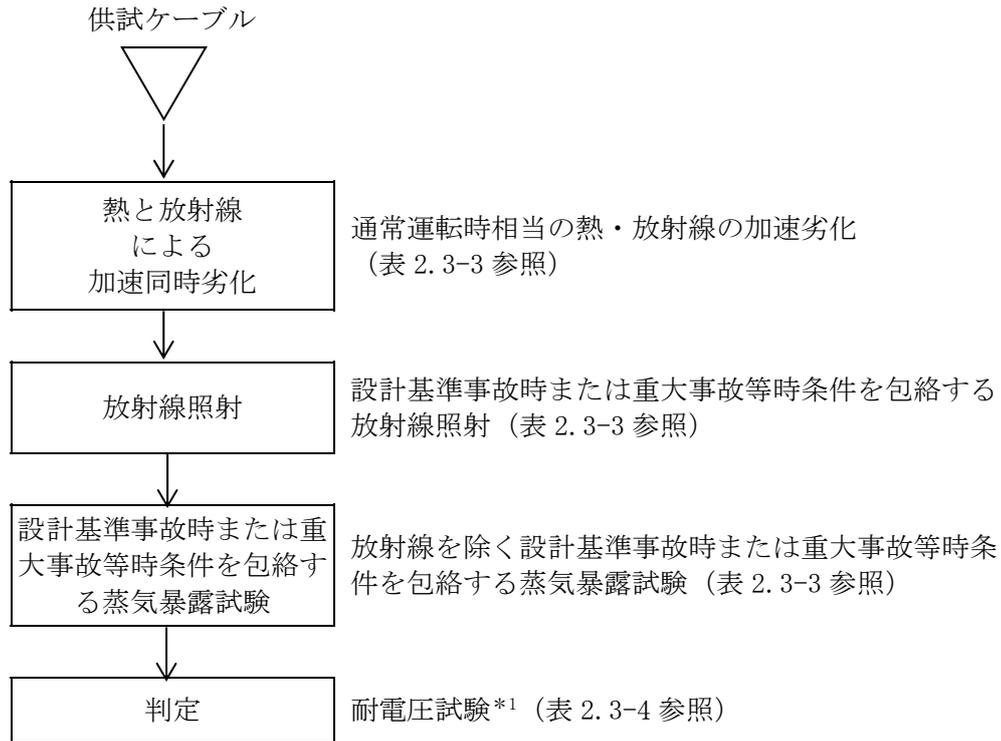


図2.3-2 難燃三重同軸ケーブルのACAガイドに基づく試験手順および判定方法

\*1：耐電圧試験は、日本産業規格「ゴム・プラスチック絶縁電線試験方法」(JIS C 3005:2000) の試験

表 2.3-3 難燃三重同軸ケーブルの ACA 試験条件

		試験条件
通常運転時相当	温度 放射線	100°C－98.9Gy/h－5,686h
設計基準事故時相当 重大事故等時相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h 以下)
	温度	最高温度：190°C
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]

表 2.3-4 難燃三重同軸ケーブルの ACA 試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	課電電圧： C-1S 間 10kV／1 分間 1S-2S 間 2kV／1 分間	良

[出典：原子カプラントのケーブル経年変化評価技術調査研究に関する最終報告書 (JNES-SS-0903)]

表 2.3-5 実布設環境での長期健全性評価結果

布設区分	実布設環境条件		評価期間 [年] *1,2	備考
	温度 [°C]	放射線量率 [Gy/h]		
ループ室	43	0.2537	100	
加圧器室上部	44	0.0013	169	
通路部	44	0.0011	169	

\*1：時間稼働率 100%での評価期間。

\*2：時間依存データの重ね合わせ手法により評価。

また、使用済燃料ピット内の重大事故等時雰囲気内で機能要求がある難燃同軸ケーブルについては、絶縁体種類が同一で構造が異なる難燃性信号対ケーブルのACAガイドに基づく長期健全性試験結果を用いて重大事故等時雰囲気内での健全性を評価した。

ACAガイドに基づく試験手順および判定方法を図2.3-3に、ACA試験条件ならびにACA試験結果を表2.3-6および表2.3-7に、ケーブル実布設環境での長期健全性評価結果を表2.3-8に示す。

評価の結果、高浜4号炉の難燃同軸ケーブルは運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。

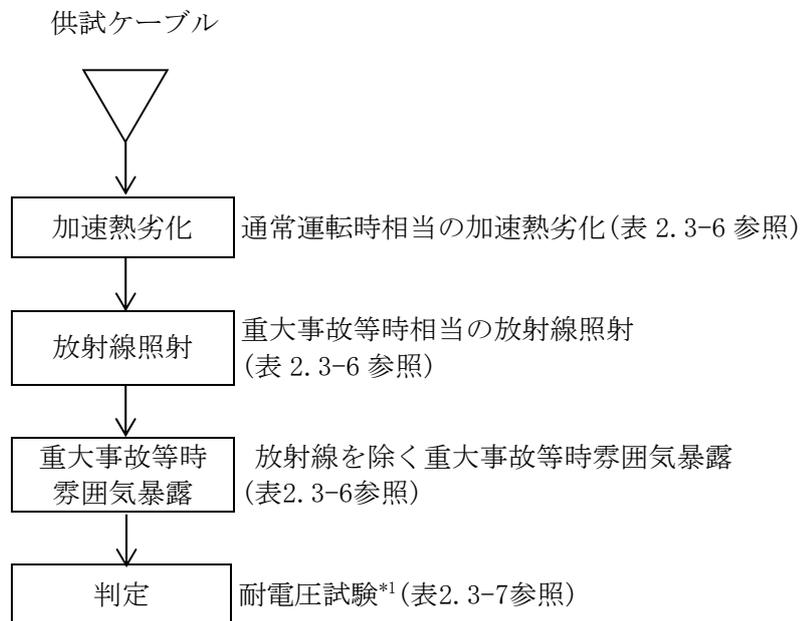


図2.3-3 難燃性信号対ケーブルの長期健全性試験手順および判定方法

\*1：耐電圧試験は、日本産業規格「ゴム・プラスチック絶縁電線試験方法」(JIS C 3005:2000)の試験

表 2.3-6 難燃性信号対ケーブルの ACA 試験条件

		試験条件
通常運転時相当	温度	110°C-3, 600h
重大事故等時相当	放射線 (集積線量)	300Gy (10kGy/h 以下)
	温度	最高温度：100°C

表 2.3-7 難燃性信号対ケーブルの ACA 試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	課電電圧：350V/1 分間	良

[出典：電力共同研究「PWRにおける過酷事故用電気計装品に関する経年劣化評価研究Phase II（ケーブル）令和元年度」]

表 2.3-8 実布設環境での長期健全性評価結果

布設区分	実布設環境条件	評価期間[年] *1	備考
	温度[°C]		
使用済燃料ピット エリア	22	175	

\*1：時間稼働率 100%での評価期間。

また、高浜4号炉の実機においては、長期健全性試験を実施した難燃三重同軸ケーブル（以下、「難燃三重同軸ケーブル」という。）と製造メーカーが異なる難燃三重同軸ケーブル（以下、「難燃三重同軸ケーブルー1」という。）も布設されているが、事故時雰囲気内で機能要求がなく、通常運転時の使用条件は難燃三重同軸ケーブルと同様であり、難燃三重同軸ケーブルと構造および絶縁体材料が類似していることから、絶縁体の劣化特性も類似していると考えられ、また、難燃三重同軸ケーブルー1の使用条件は難燃三重同軸ケーブルの長期健全性試験条件に対して余裕があることから、絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、実機と同じ製造メーカーのケーブルで長期健全性試験を実施していないため、60年間の供用を想定すると、絶縁低下の可能性は否定できない。

## ② 現状保全

絶縁体および内部シースの絶縁低下に対しては、定期的に絶縁抵抗測定を行い、管理値以上であることの確認を行っている。

## ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、難燃三重同軸ケーブルおよび難燃同軸ケーブルについては、絶縁体および内部シースの絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

また、難燃三重同軸ケーブルー1については、絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

## c. 高経年化への対応

難燃三重同軸ケーブルおよび難燃同軸ケーブルの絶縁体および内部シースの絶縁低下については、現状保全項目に高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

また、難燃三重同軸ケーブルー1の絶縁体の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

## 4 光ファイバケーブル

[対象機器]

- ① 難燃光ファイバケーブル-1
- ② 難燃光ファイバケーブル-2

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	3
2.1 構造、材料および使用条件 .....	3
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	5
3. 代表機器以外への展開 .....	8
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 .....	8

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜 4 号炉で使用されている光ファイバケーブルの主な仕様を表1-1に示す。

これらのケーブルを心線材料の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す光ファイバケーブルを、心線材料で分類すると、1つのグループに分類される。

### 1.2 代表機器の選定

#### (1) 心線材料：石英ガラス

このグループには難燃光ファイバケーブルー 1 および難燃光ファイバケーブルー 2 が属するが、安全系および常用系の計測制御設備間に布設され、使用範囲がより広範囲である難燃光ファイバケーブルー 1 を代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 光ファイバケーブルの主な仕様

分離基準	機器名称	選定基準						シース材料		代表機器の選定	
		用途	使用場所		重要度*1	使用開始時期		内部シース	外部シース	代表機器	選定理由
原子炉格納容器内	原子炉格納容器外		建設時	運転開始後							
石英ガラス	難燃光ファイバケーブルー1	制御・計装		○	MS-1、重*2		○	ポリ塩化ビニル	難燃性ポリエチレン、アルミラミネートテープ	◎	使用範囲
	難燃光ファイバケーブルー2	制御・計装		○	MS-1、重*2		○	難燃低塩酸ビニル	難燃低塩酸ビニル、アルミラミネートテープ		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. 代表機器の技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### (1) 構造

高浜4号炉に使用している難燃光ファイバケーブル-1は光ファイバ心線、補強繊維、コード外被、介在紐、テンションメンバ、緩衝層およびシースで構成されている。

このうち光ファイバケーブルの伝送機能は、光ファイバ心線を外的な力および透湿から保護するコード外被、シースにより保たれている。

なお、補強繊維、介在紐、テンションメンバおよび緩衝層はケーブル全体の整形および機械的強度を確保するための材料である。

高浜4号炉の代表的な光ファイバケーブルの構造図を図2.1-1に示す。

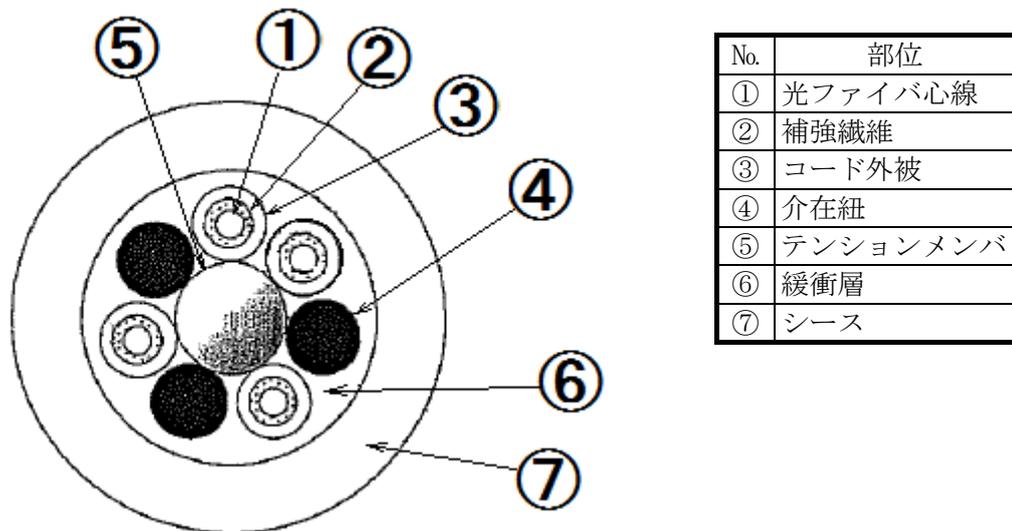


図2.1-1 高浜4号炉 代表的な光ファイバケーブルの構造図

#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉で使用している難燃光ファイバケーブル-1の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

表2.1-1 高浜4号炉 難燃光ファイバケーブル-1 主要部位の使用材料

部位	材料
光ファイバ心線	石英ガラス（コア、クラッド）、 シリコン+ポリアミド（被覆）
補強繊維	アラミド繊維
コード外被	ポリ塩化ビニル
介在紐	ポリエチレン紐
テンションメンバ	ガラス繊維強化プラスチック
緩衝層	ポリプロピレンスプリットヤーン
シース	難燃低塩酸ビニル、 アルミラミネートテープ

表2.1-2 高浜4号炉 難燃光ファイバケーブル-1 の使用条件\*1

設置場所	原子炉格納容器外
周囲温度	約25℃*2
放射線	—

\*1：原子炉格納容器外でのみ使用

\*2：原子炉格納容器外の設計平均温度

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

難燃光ファイバケーブル 1 の主な機能である計測制御信号の伝達機能を維持するためには、次の項目が必要である。

#### ① 伝送光量の維持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

難燃光ファイバケーブル 1 について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験等を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) コード外被、シースおよび心線被覆の劣化

コード外被、シースおよび心線被覆はケーブルやコードとしての構造の保持、外的な力等からの保護等の被覆材としての機能を有する。

コード外被、シースおよび心線被覆が熱的および環境的要因で劣化して光ファイバ心線（コア、クラッド）に水素や水分が混入した場合、伝送光量が減少することが想定される。

しかしながら、水素や水分を透過し難いシース構造であること、かつ自ら水素を発生することのないケーブル構成材料が使用されていること、およびケーブルは室内の空調環境下に布設されており、外部からの水分混入は考え難い。

また、ケーブルに要求される伝送光量の維持に対する影響は極めて小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、本ケーブルの伝送光量は常時監視されており、仮に伝送機能に影響を及ぼすレベルまで光量が減少した場合には、中央制御室へ警報を発信するが、これまでの運転中に光量低下による警報発信実績はない。

表2.2-1 高浜4号炉 難燃光ファイバケーブル1に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	材料	経年劣化事象					備考
			絶縁低下	導通不良	減肉	割れ	その他	
伝送光量の維持	光ファイバ心線	石英ガラス（コア、クラッド）						*1：劣化に伴う光ファイバ心線（コア、クラッド）の伝送光量減少
		シリコン+ポリアミド（被覆）					△*1	
	補強繊維	アラミド繊維						
	コード外被	ポリ塩化ビニル					△*1	
	介在紐	ポリエチレン紐						
	テンションメンバ	ガラス繊維強化プラスチック						
	緩衝層	ポリプロピレンスプリットヤーン						
	シース	難燃低塩酸ビニル、アルミラミネートテープ					△*1	

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

### 3. 代表機器以外への展開

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

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

#### ① 難燃光ファイバケーブルー2

### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

#### 3.1.1 コード外被、シースおよび心線被覆の劣化

コード外被、シースおよび心線被覆はケーブルやコードとしての構造の保持、外的な力等からの保護等の被覆材としての機能を有する。

コード外被、シースおよび心線被覆が熱的および環境的要因で劣化して光ファイバ心線（コア、クラッド）に水素や水分が混入した場合、伝送光量が減少することが想定される。

しかしながら、水素や水分を透過し難いシース構造であること、かつ自ら水素を発生することのないケーブル構成材料が使用されていること、およびケーブルは室内の空調環境下に布設されており、外部からの水分混入は考え難い。

また、ケーブルに要求される伝送光量の維持に対する影響は極めて小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、本ケーブルの伝送光量は常時監視されており、仮に伝送機能に影響を及ぼすレベルまで光量が減少した場合には、中央制御室へ警報を発信するが、これまでの運転中に光量低下による警報発信実績はない。

## 5 ケーブルトレイ等

[対象機器]

- ① ケーブルトレイ
- ② 電線管

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	2
2.1 構造、材料および使用条件 .....	2
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	8

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜 4 号炉でケーブルの支持および収納器材として使用されているケーブルトレイ等の主な仕様を表1-1に示す。

これらのケーブルトレイ等を型式の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すケーブルトレイ等を、型式で分離すると、合計 2 つのグループに分類される。

### 1.2 代表機器の選定

#### (1) 型式：トレイ式

このグループにはケーブルトレイのみが属するため、ケーブルトレイを代表機器とする。

#### (2) 型式：管式

このグループには電線管のみが属するため、電線管を代表機器とする。

表1-1 高浜 4 号炉 ケーブルトレイ等の主な仕様

分離基準	機器名称	仕様 [機能]	選定	選定理由
型式				
トレイ式	ケーブルトレイ	ケーブルを収納して支持する	◎	
管式	電線管	ケーブルを収納して支持する	◎	

注：使用場所、重要度等は収納するケーブルによる。

## 2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の2種類のケーブルトレイ等について、技術評価を実施する。

- ① ケーブルトレイ
- ② 電線管

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 ケーブルトレイ

##### (1) 構造

高浜4号炉に使用しているケーブルトレイは、鋼材、ベースプレートを溶接により架台状に製作し、その上にケーブルトレイ（本体）を溶接した構造となっている。

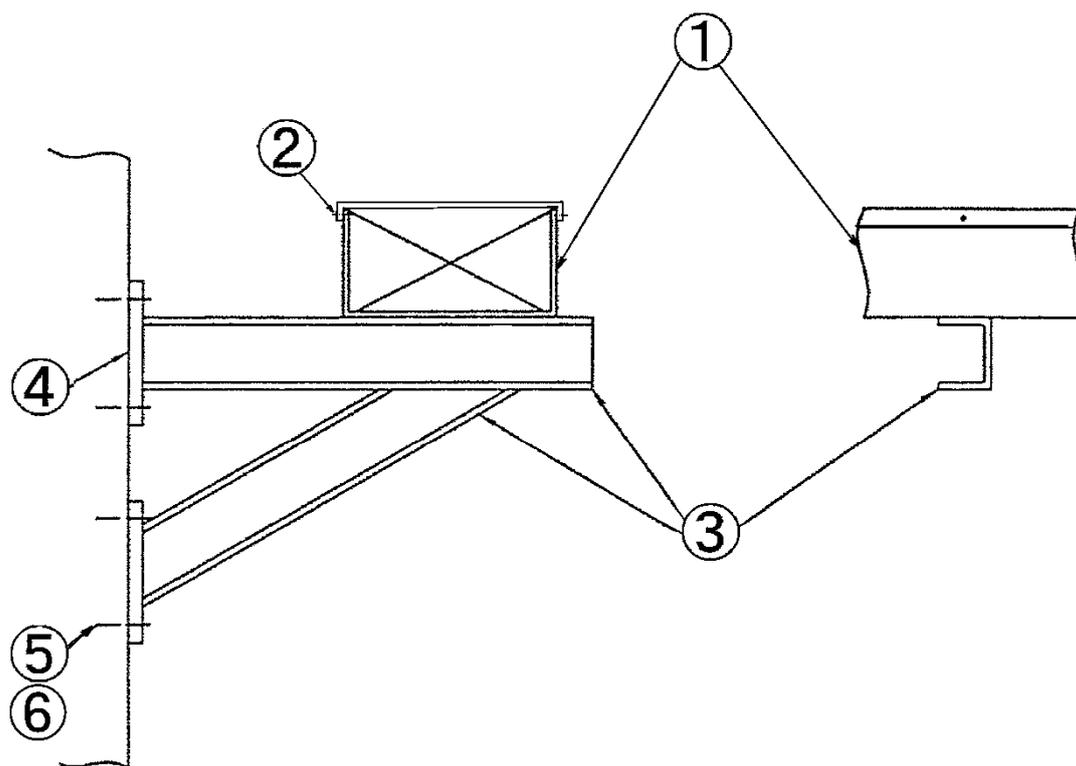
また、ベースプレートは基礎ボルトあるいは埋込金物への溶接にて支持する構造としている。

高浜4号炉のケーブルトレイの構造図の例を図2.1-1に示す。

##### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉のケーブルトレイの使用材料の例を表2.1-1に示す。

使用条件については、屋内・外に設置している。



側面図

正面図

No.	部位
①	ケーブルトレイ(本体)
②	取付ボルト
③	鋼材
④	ベースプレート
⑤	基礎ボルト
⑥	埋込金物

図2.1-1 高浜4号炉 ケーブルトレイ構造図の例

表2.1-1 高浜4号炉 ケーブルトレイ主要部位の使用材料の例

部位	材料
ケーブルトレイ(本体)	炭素鋼
取付ボルト	炭素鋼
鋼材	炭素鋼
ベースプレート	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼

## 2.1.2 電線管

### (1) 構造

高浜4号炉に使用している電線管は、鋼材、ベースプレートを溶接により架台状に製作し、その上にボルトにてユニバーサルチャンネルを取り付け、電線管(本体)をユニバーサルクランプにて挟み込んだ構造となっている。

電線管の延長は、ねじ無しカップリングにて実施している。

また、ベースプレートは基礎ボルトあるいは埋込金物への溶接にて支持する構造としている。

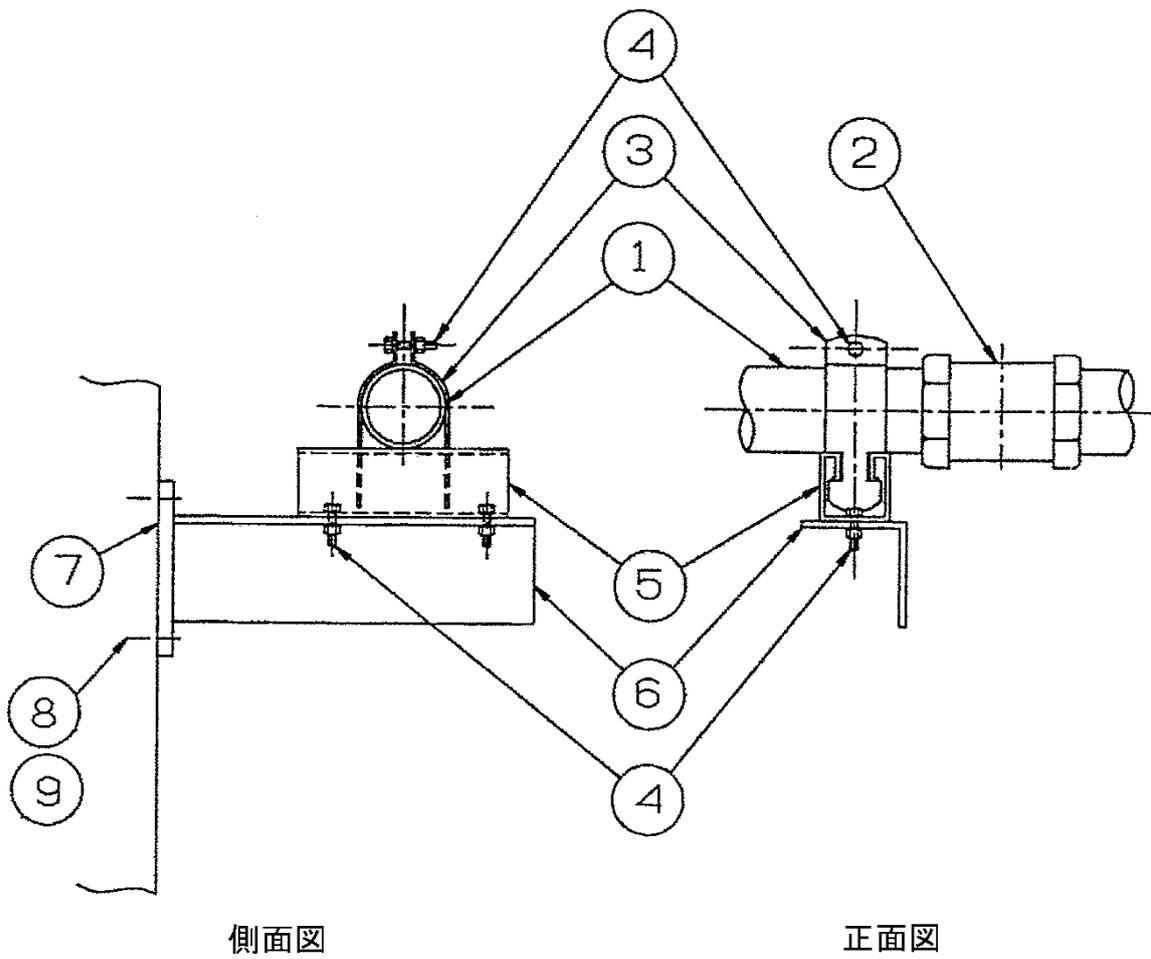
なお、電線管(本体)をコンクリートに直接埋設する構造もある。

高浜4号炉の電線管の構造図の例を図2.1-2に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の電線管の使用材料の例を表2.1-2に示す。

使用条件については、屋内・外に設置している。



No.	部位
①	電線管(本体)
②	カップリング
③	ユニバーサルクランプ
④	ボルト、ナット
⑤	ユニバーサルチャンネル
⑥	鋼材
⑦	ベースプレート
⑧	基礎ボルト
⑨	埋込金物

図2.1-2 高浜4号炉 電線管構造図の例 (ユニバーサルクランプ)

表2.1-2 高浜4号炉 電線管主要部位の使用材料の例

部位	材料
電線管(本体)	炭素鋼 (亜鉛メッキ)
カップリング	炭素鋼 (亜鉛メッキ)
ユニバーサルクランプ	炭素鋼
ボルト、ナット	炭素鋼
ユニバーサルチャンネル	炭素鋼
鋼材	炭素鋼
ベースプレート	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

ケーブルトレイ等の主な機能であるケーブルの伝達機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① ケーブルの支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

#### (1) ケーブルトレイ（本体）等の腐食（全面腐食） [共通]

ケーブルトレイ（本体）、取付ボルト（ケーブルトレイ）、鋼材、ベースプレート（共通）、ユニバーサルクランプ、ボルト、ナットおよびユニバーサルチャンネル（電線管）は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装またはメッキにより腐食を防止しており、塗膜またはメッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

- (2) 電線管（本体）およびカップリングの外表面からの腐食（全面腐食） [電線管]  
電線管（本体）およびカップリングは炭素鋼であり、外表面からの腐食が想定される。

しかしながら、外表面については塗装またはメッキにより腐食を防止しており、塗膜またはメッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

- (3) 埋込金物（大気接触部）の腐食（全面腐食） [共通]

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

- (4) 基礎ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

- (5) 電線管（本体）およびカップリングの内面からの腐食（全面腐食）〔電線管〕  
電線管（本体）およびカップリングは炭素鋼であり、内面からの腐食が想定される。

しかしながら、内面については、亜鉛メッキにより腐食を防止している。

また、内装物はケーブルのみであり、メッキ面への外力は加わらないため亜鉛メッキが剥がれることはなく、外面と比較して環境条件が緩やかであるため腐食の発生する可能性は小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (6) 埋込金物および電線管（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）〔共通〕

コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物および電線管に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

表2.2-1(1/2) 高浜4号炉 ケーブルトレイに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
ケーブルの支持	ケーブルトレイ(本体)		炭素鋼		△						*1: 大気接触部 *2: コンクリート埋設部
	取付ボルト		炭素鋼		△						
	鋼材		炭素鋼		△						
	ベースプレート		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						
	埋込金物		炭素鋼		△ <sup>*1</sup> ▲ <sup>*2</sup>						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-1(2/2) 高浜4号炉 電線管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
ケーブルの支持	電線管(本体)		炭素鋼 (亜鉛メッキ)		△ <sup>*1</sup> ▲ <sup>*2,4</sup>						*1: 外面からの腐食 *2: 内面からの腐食 *3: 大気接触部 *4: コンクリート埋設部
	カップリング		炭素鋼 (亜鉛メッキ)		△ <sup>*1</sup> ▲ <sup>*2</sup>						
	ユニバーサルクランプ		炭素鋼		△						
	ボルト、ナット		炭素鋼		△						
	ユニバーサルチャンネル		炭素鋼		△						
	鋼材		炭素鋼		△						
	ベースプレート		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						
	埋込金物		炭素鋼		△ <sup>*3</sup> ▲ <sup>*4</sup>						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

## 6 ケーブル接続部

[対象機器]

- ① 一般端子接続
- ② 端子台接続
- ③ 気密端子箱接続
- ④ 直ジョイント
- ⑤ 三重同軸コネクタ接続－1
- ⑥ 三重同軸コネクタ接続－2
- ⑦ 複合同軸コネクタ接続
- ⑧ 高圧コネクタ接続

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	3
2.1 構造、材料および使用条件 .....	3
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	14
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価 .....	21
3. 代表機器以外への展開 .....	27
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象 .....	27
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 .....	28

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜 4 号炉で使用されているケーブル接続部の主な仕様を表1-1に示す。

これらのケーブル接続部を型式の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すケーブル接続部を、型式で分離すると、4つのグループに分類される。

### 1.2 代表機器の選定

#### (1) 型式：端子接続

このグループには一般端子接続、端子台接続および気密端子箱接続が属するが、使用場所が原子炉格納容器内であり、設計基準事故を考慮すべき気密端子箱接続を代表機器とする。

#### (2) 型式：直ジョイント

このグループには直ジョイントのみが属するため、直ジョイントを代表機器とする。

#### (3) 型式：同軸コネクタ接続

このグループには三重同軸コネクタ接続-1、三重同軸コネクタ接続-2および複合同軸コネクタ接続が属するが、設計基準事故を考慮すべき三重同軸コネクタ接続-1を代表機器とする。

#### (4) 型式：高圧コネクタ接続

このグループには高圧コネクタ接続のみが属するため、高圧コネクタ接続を代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 ケーブル接続部の主な仕様

分離基準	機器名称	選定基準				代表機器の選定	
		用途	使用場所		重要度*1	代表機器	選定理由
			原子炉格納容器内	原子炉格納容器外			
端子接続	一般端子接続	電力	○	○	MS-1、重*4	◎	使用場所（設計基準事故を考慮する）
	端子台接続	電力・制御・計装	○	○	MS-1、重*4		
	気密端子箱接続	電力・制御・計装	○*2、5	○*3	MS-1、重*4		
直ジョイント	直ジョイント	電力・制御・計装	○*2、5	○*3	MS-1、重*4	◎	
同軸コネクタ接続	三重同軸コネクタ接続-1	計装	○*2、5	○	MS-1、重*4	◎	使用場所（設計基準事故を考慮する）
	三重同軸コネクタ接続-2	計装	○	○	MS-1、重*4		
	複合同軸コネクタ接続	計装		○	MS-2、重*4		
高圧コネクタ接続	高圧コネクタ接続	電力		○	重*4	◎	

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：設計基準事故（1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失）を考慮する。

\*3：設計基準事故（主蒸気管破断）を考慮する。

\*4：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

\*5：重大事故等（格納容器過温破損、原子炉格納容器の除熱機能喪失）を考慮する。

## 2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の4種類のケーブル接続部について技術評価を実施する。

- ① 気密端子箱接続
- ② 直ジョイント
- ③ 三重同軸コネクタ接続－1
- ④ 高圧コネクタ接続

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 気密端子箱接続

##### (1) 構造

高浜4号炉に使用している気密端子箱接続は、ケーブルを気密された端子箱内で端子台により接続する構造となっている。

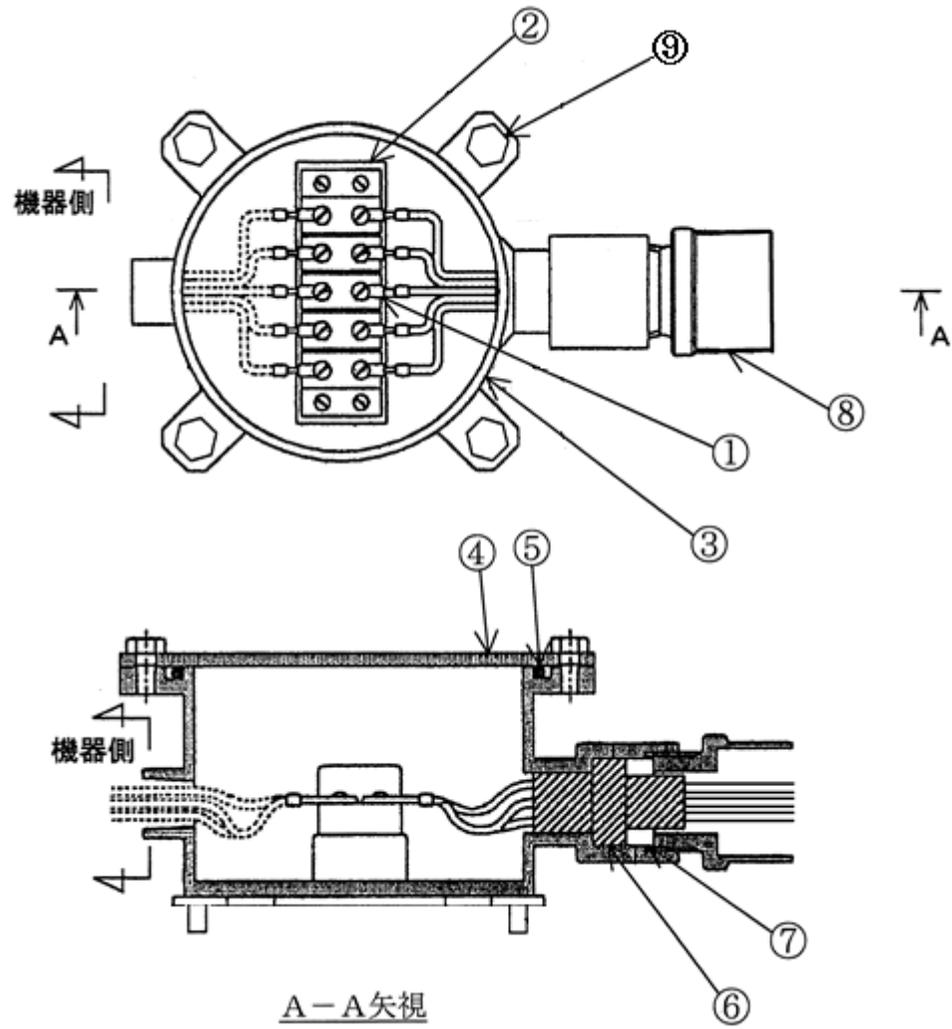
蓋板はOリングを挟んでねじ止めし、ケーブル貫通部はLCモールドを押え金具で押さえた後、ボックスコネクタにて締め込む構造となっている。

端子箱は、基礎ボルトで壁に取り付けている。

高浜4号炉の代表的な気密端子箱接続の構造図を図2.1-1に示す。

##### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉で使用されている気密端子箱接続の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	端子
②	端子台
③	端子箱
④	蓋板
⑤	Oリング
⑥	LCモールド
⑦	押え金具
⑧	ボックスコネクタ
⑨	基礎ボルト

図2. 1-1 高浜4号炉 代表的な気密端子箱接続の構造図

表2.1-1 高浜4号炉 気密端子箱接続主要部位の使用材料

部位	材料
端子	銅（錫メッキ）
端子台	磁器、銅合金（ニッケルメッキ）
端子箱	ステンレス鋼
蓋板	ステンレス鋼
Oリング	エチレンプロピレンゴム
LCモールド	エチレンプロピレンゴム、銅
押え金具	ステンレス鋼
ボックスコネクタ	銅合金
基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 気密端子箱接続の使用条件\*1

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時
設置場所	原子炉格納容器内		
周囲温度	約44℃*2	約125℃ (最高温度)	約138℃ (最高温度)
圧力	約0.0098MPa [gage] 以下	約0.25MPa [gage] (最高圧力)	約0.35MPa [gage] (最高圧力)
放射線	0.5512Gy/h*3	675kGy (最大集積線量)	500kGy (最大集積線量)

\*1：環境条件が厳しい原子炉格納容器内気密端子箱接続の使用条件を代表として記載。

\*2：通常運転時の原子炉格納容器内気密端子箱接続周囲の平均温度の最大実測値。

\*3：通常運転時の原子炉格納容器内気密端子箱接続周囲の平均線量率の最大実測値。

## 2.1.2 直ジョイント

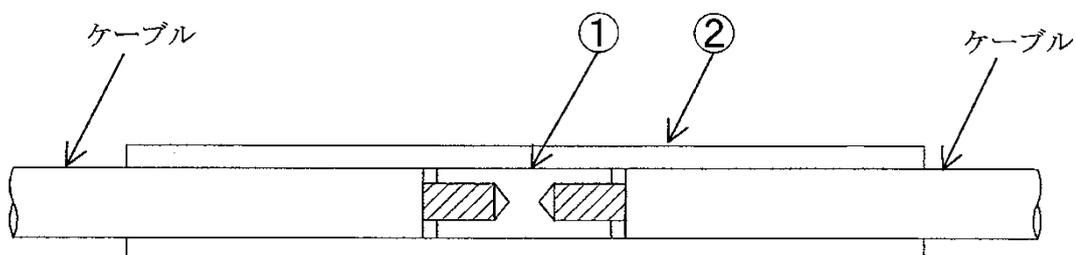
### (1) 構造

高浜4号炉で使用している直ジョイントは、ケーブル同士を隔壁付スリーブで圧着接続し、その周囲を熱収縮チューブにより固定および絶縁を行う構造となっている。

高浜4号炉の直ジョイントの構造図を図2.1-2に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉で使用されている直ジョイントの使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



No.	部位
①	隔壁付スリーブ
②	熱収縮チューブ

図2.1-2 高浜4号炉 直ジョイントの構造図

表2.1-3 高浜4号炉 直ジョイント主要部位の使用材料

部位	材料
隔壁付スリーブ	銅（錫メッキ）
熱収縮チューブ	難燃架橋ポリエチレン、シリコーンゴム

表2.1-4 高浜4号炉 直ジョイントの使用条件\*1

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時
設置場所	原子炉格納容器内		
周囲温度	約44℃*2	約125℃ (最高温度)	約138℃ (最高温度)
圧力	約0.0098MPa [gage] 以下	約0.25MPa [gage] (最高圧力)	約0.35MPa [gage] (最高圧力)
放射線	0.5860Gy/h*3	675kGy (最大集積線量)	500kGy (最大集積線量)

\*1：環境条件が厳しい原子炉格納容器内直ジョイントの使用条件を代表として記載。

\*2：通常運転時の原子炉格納容器内直ジョイント周囲の平均温度の最大実測値。

\*3：通常運転時の原子炉格納容器内直ジョイント周囲の平均線量率の最大実測値。

### 2.1.3 三重同軸コネクタ接続－1

#### (1) 構造

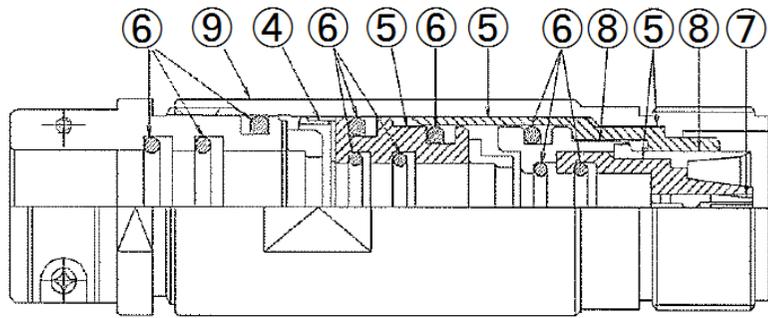
高浜4号炉に使用している三重同軸コネクタ接続－1は、ピンコンタクトおよびソケットコンタクト、1SコンタクトPおよび1SコンタクトJを接続し、プラグボディをジャックボディにねじ込むことにより接続部分が固定される構造となっている。

また、コンタクト部は、絶縁物により線間および外部との絶縁を保っている。

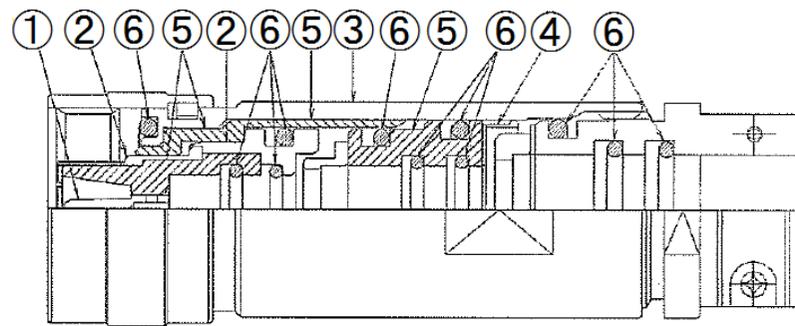
高浜4号炉の三重同軸コネクタ接続－1の構造図を図2.1-3に示す。

#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉で使用されている三重同軸コネクタ接続－1の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。



ジャック



プラグ

No.	部位
①	ピンコンタクト
②	1SコンタクトP
③	プラグボディ
④	割りリング
⑤	絶縁物
⑥	Oリング
⑦	ソケットコンタクト
⑧	1SコンタクトJ
⑨	ジャックボディ

図2.1-3 高浜4号炉 三重同軸コネクタ接続-1の構造図

表2.1-5 高浜4号炉 三重同軸コネクタ接続-1 主要部位の使用材料

部位	材料
ピンコンタクト	銅合金 (金メッキ)
1SコンタクトP	銅合金 (金メッキ)
プラグボディ	銅合金 (ニッケルメッキ)
割りリング	銅合金 (ニッケルメッキ)
絶縁物	架橋ポリスチレン
Oリング	エチレンプロピレンゴム
ソケットコンタクト	銅合金 (金メッキ)
1SコンタクトJ	銅合金 (金メッキ)
ジャックボディ	銅合金 (ニッケルメッキ)

表2.1-6 高浜4号炉 三重同軸コネクタ接続-1の使用条件\*1

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時
設置場所	原子炉格納容器内		
周囲温度	約44℃*2	約125℃ (最高温度)	約138℃ (最高温度)
圧力	約0.0098MPa [gage] 以下	約0.25MPa [gage] (最高圧力)	約0.35MPa [gage] (最高圧力)
放射線	0.0013Gy/h*3	675kGy (最大集積線量)	500kGy (最大集積線量)

\*1：環境条件が厳しい原子炉格納容器内三重同軸コネクタ接続-1の使用条件を代表として記載。

\*2：通常運転時の原子炉格納容器内三重同軸コネクタ接続-1周囲の平均温度の最大実測値。

\*3：通常運転時の原子炉格納容器内三重同軸コネクタ接続-1周囲の平均線量率の最大実測値。

#### 2.1.4 高圧コネクタ接続

##### (1) 構造

高浜4号炉に使用している高圧コネクタ接続は、ピン端子をソケットに嵌合させることにより接続部分が固定される構造となっている。

また、コンタクト部は、絶縁層などの絶縁物により外部との絶縁を保っている。

高浜4号炉の高圧コネクタ接続の構造図を図2.1-4に示す。

##### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉で使用されている高圧コネクタ接続の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。

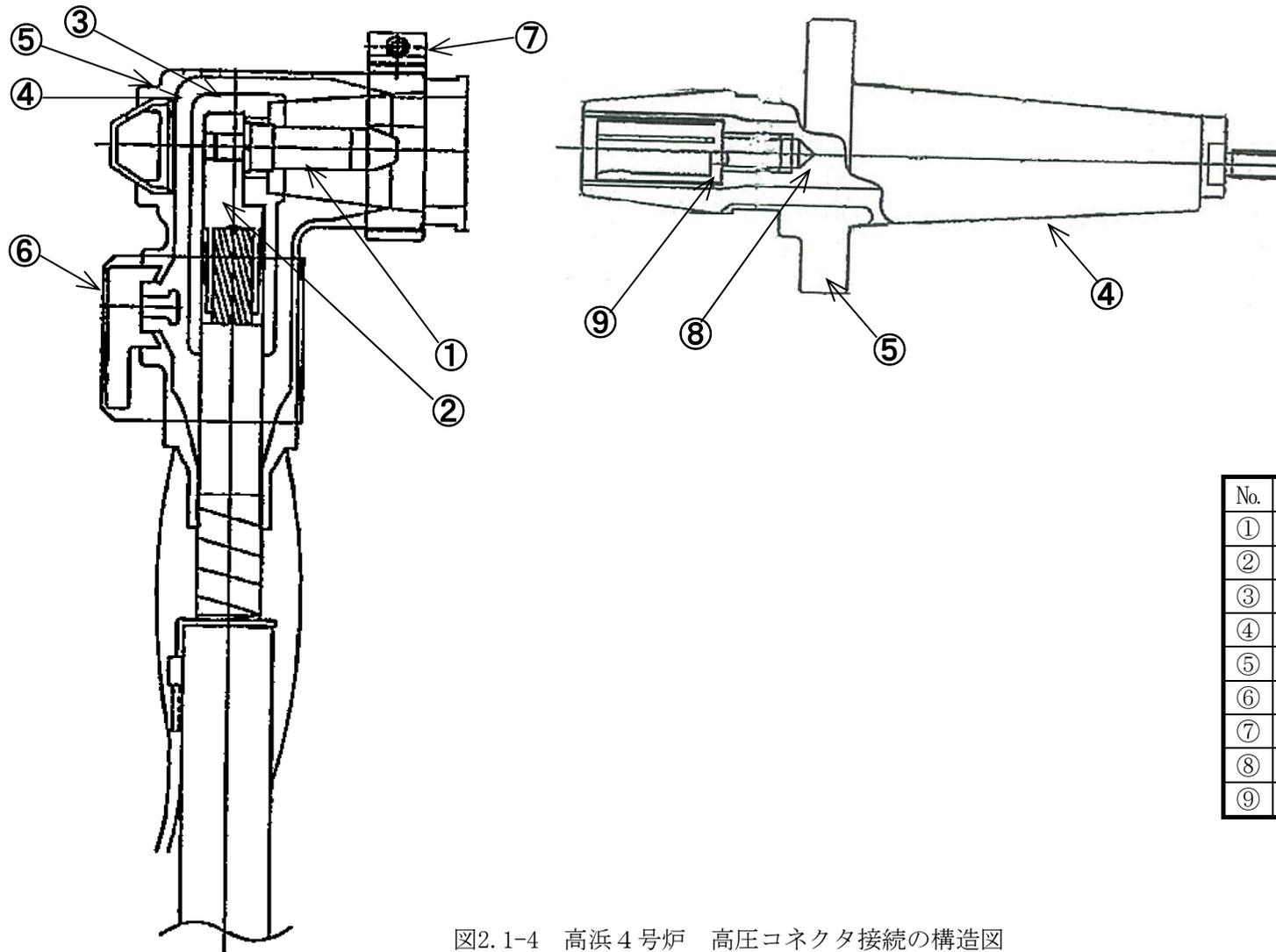


図2.1-4 高浜4号炉 高圧コネクタ接続の構造図

表2.1-7 高浜4号炉 高圧コネクタ接続 主要部位の使用材料

部位	材料
ピン端子	銅（銀メッキ）
圧縮端子	銅（銀メッキ）
内部半導電層	エチレンプロピレンゴム
絶縁層	エチレンプロピレンゴム
外部半導電層	エチレンプロピレンゴム
熱収縮チューブ	エチレンプロピレンゴム
コネクタガイド	PVC
内部導体	銅
ソケット	銅（銀メッキ）

表2.1-8 高浜4号炉 高圧コネクタ接続の使用条件

	原子炉格納容器外
周囲温度	約40℃*1
放射線	$3.4 \times 10^{-3} \text{Gy/h}^{*2}$

\*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

\*2：通常運転時の管理区域内の最大実測値

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

ケーブル接続部の主な機能である電力や計測制御信号の伝達機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 通電・絶縁機能の維持
- ② 機器の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

ケーブル接続部個々について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験等を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

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

#### (1) 絶縁物等の絶縁低下 [共通]

ケーブル接続部の熱収縮チューブ（直ジョイント）、絶縁物（三重同軸コネクタ接続-1）、内部半導電層、絶縁層、外部半導電層、熱収縮チューブおよびコネクタガイド（高圧コネクタ接続）は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

また、ケーブル接続部のOリング（気密端子箱接続および三重同軸コネクタ接続-1）およびLCモールド（気密端子箱接続）は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、気密性の低下を起こすことにより湿気が接続部内部に侵入する可能性がある。湿気が侵入することにより、接続部の絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

#### (1) 端子台の絶縁低下 [気密端子箱接続]

端子台は無機物の磁器であり、経年劣化の可能性はない。

なお、長期使用においては表面の汚損による絶縁低下が想定される。

しかしながら、端子台は気密された接続箱内に設置され、塵埃の付着により表面が汚損する可能性はない。

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

なお、絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

#### (2) ボックスコネクタの腐食（全面腐食） [気密端子箱接続]

ボックスコネクタは銅合金であり、腐食が想定される。

しかしながら、巡視点検等で目視により状態を確認し、腐食が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

(3) ピンコンタクト等の腐食（全面腐食）〔三重同軸コネクタ接続－1、高圧コネクタ接続〕

ピンコンタクト、1SコンタクトP、プラグボディ、割りリング、ソケットコンタクト、1SコンタクトJ、ジャックボディ（三重同軸コネクタ接続－1）、ピン端子、圧縮端子およびソケット（高圧コネクタ接続）は銅または銅合金であり、腐食が想定される。

しかしながら、ニッケルメッキ、金メッキまたは銀メッキを施すことにより腐食を防止しており、系統機器点検時の目視確認または抵抗測定により、機器の健全性を維持している。

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

(4) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔気密端子箱接続〕

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

(5) 端子等の腐食（全面腐食）〔気密端子箱接続、直ジョイント〕

端子、端子台（気密端子箱接続）および隔壁付スリーブ（直ジョイント）は銅または銅合金であり、腐食が想定される。

しかしながら、端子および端子台はニッケルメッキまたは錫メッキを施すことにより腐食を防止しており、さらに密封された構造であり、腐食が発生する可能性はないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

また、隔壁付スリーブは構造上端子部が熱収縮チューブにて密封されており、腐食が発生する可能性はないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

表2.2-1(1/4) 高浜4号炉 気密端子箱接続に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考
				絶縁低下	導通不良	減肉		割れ	その他	
						摩耗	腐食			
通電・絶縁機能の維持	端子		銅（錫メッキ）				▲			
	端子台		磁器、銅合金（ニッケルメッキ）	△			▲			
	端子箱		ステンレス鋼							
	蓋板		ステンレス鋼							
	Oリング		エチレンプロピレンゴム	○						
	LCモールド		エチレンプロピレンゴム、銅	○						
	押え金具		ステンレス鋼							
	ボックスコネクタ		銅合金				△			
機器の支持	基礎ボルト		炭素鋼				△			

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-1(2/4) 高浜4号炉 直ジョイントに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象					備考	
				絶縁低下	導通不良	減肉		割れ		その他
						摩耗	腐食			
通電・絶縁機能の維持	隔壁付スリーブ		銅（錫メッキ）				▲			
	熱収縮チューブ		難燃架橋ポリエチレン、シリコーンゴム	○						

○：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（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(3/4) 高浜4号炉 三重同軸コネクタ接続-1に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考
				絶縁低下	導通不良	減肉		割れ	その他	
						摩耗	腐食			
通電・絶縁機能の維持	ピンコンタクト		銅合金 (金メッキ)				△			
	ISコンタクトP		銅合金 (金メッキ)				△			
	プラグボディ		銅合金 (ニッケルメッキ)				△			
	割りリング		銅合金 (ニッケルメッキ)				△			
	絶縁物		架橋ポリスチレン	○						
	Oリング		エチレンプロピレンゴム	○						
	ソケットコンタクト		銅合金 (金メッキ)				△			
	ISコンタクトJ		銅合金 (金メッキ)				△			
	ジャックボディ		銅合金 (ニッケルメッキ)				△			

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/4) 高浜4号炉 高圧コネクタ接続に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考
				絶縁低下	導通不良	減肉		割れ	その他	
						摩耗	腐食			
通電・絶縁機能の維持	ピン端子		銅（銀メッキ）				△			
	圧縮端子		銅（銀メッキ）				△			
	内部半導電層		エチレンプロピレンゴム	○						
	絶縁層		エチレンプロピレンゴム	○						
	外部半導電層		エチレンプロピレンゴム	○						
	熱収縮チューブ		エチレンプロピレンゴム	○						
	コネクタガイド		PVC	○						
	内部導体		銅							
	ソケット		銅（銀メッキ）				△			

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

## 2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

### 2.3.1 絶縁物等の絶縁低下 [共通]

#### a. 事象の説明

ケーブル接続部の熱収縮チューブ（直ジョイント）、絶縁物（三重同軸コネクタ接続-1）、内部半導電層、絶縁層、外部半導電層、熱収縮チューブおよびコネクタガイド（高圧コネクタ接続）は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

また、ケーブル接続部のOリング（気密端子箱接続および三重同軸コネクタ接続-1）およびLCモールド（気密端子箱接続）は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、気密性の低下を起こすことにより湿気が接続部内部に侵入する可能性がある。湿気が侵入することにより、接続部の絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

設計基準事故雰囲気または重大事故等時雰囲気で機能要求がある気密端子箱接続、直ジョイントおよび三重同軸コネクタ-1接続は、IEEE Std. 323-1974「IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations」（以下「IEEE Std. 323-1974」という。）およびIEEE Std. 383-1974「IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations」（以下「IEEE Std. 383-1974」という。）に準拠して、実機同等品による長期健全性試験を実施しており、この結果に基づき健全性評価を行った。

IEEE Std. 323-1974およびIEEE Std. 383-1974に基づく試験手順および判定方法を図2.3-1に示す。

ケーブル接続部の長期健全性試験条件ならびに長期健全性試験結果を表2.3-1～表2.3-6に示す。

試験条件は、高浜4号炉の実機環境に基づいて60年間の運転期間および設計基準事故、または60年間の運転期間および重大事故等時を想定した劣化条件を包絡している。

劣化試験後に、耐電圧試験により絶縁機能が維持されていることを確認しており、高浜4号炉で使用しているケーブル接続部は、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。

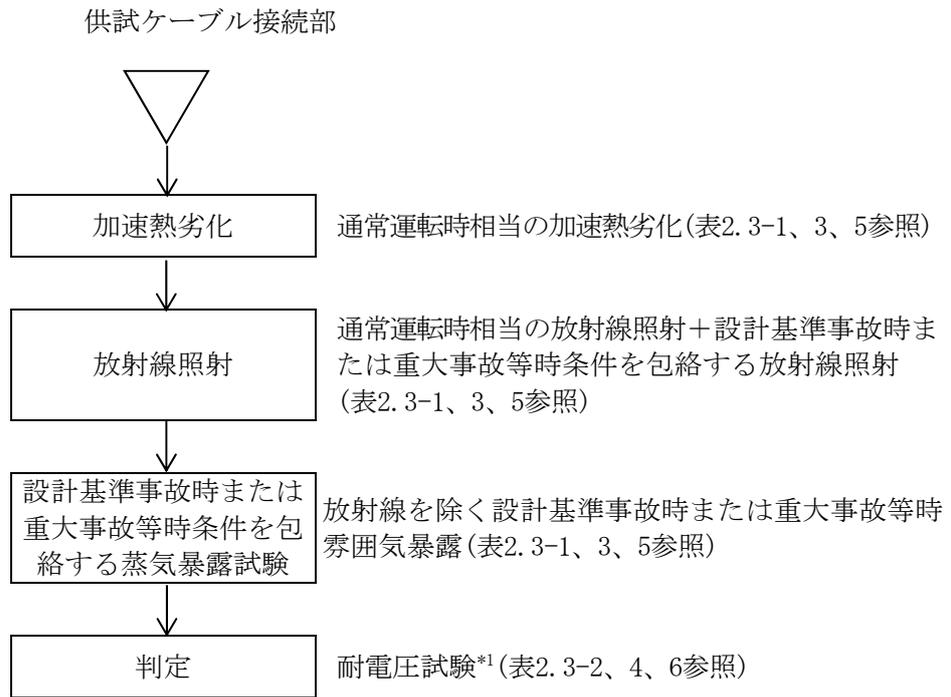


図2.3-1 ケーブル接続部の長期健全性試験手順および判定方法

\*1 耐電圧試験：規定電圧を規定時間印加し、絶縁破壊を生じるか否かを調べる。

表2.3-1 気密端子箱接続の長期健全性試験条件\*1

		試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件、設計基準事故時または重大事故等時の環境条件
通常運転時相当	温度	121℃－7日	95℃－7日 (=44℃*2－60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	290kGy*3
事故時蒸気暴露試験	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)	設計基準事故時：675kGy 重大事故等時：500kGy
	温度	190℃ (最高温度)	設計基準事故時：約125℃(最高温度) 重大事故等時：約138℃(最高温度)
	圧力	0.41MPa[gage] (最高圧力)	設計基準事故時：約0.25MPa[gage](最高圧力) 重大事故等時：約0.35MPa[gage](最高圧力)

\*1：環境条件が厳しい原子炉格納容器内気密端子箱接続の使用条件を代表として記載。

\*2：通常運転時の原子炉格納容器内気密端子箱接続周囲の平均温度の最大実測値。

\*3： $0.5512[\text{Gy/h}] \times 24 \times 365.25[\text{h/y}] \times 60[\text{y}] = 290\text{kGy}$

\*4：通常運転時の原子炉格納容器内気密端子箱接続周囲の平均線量率の最大実測値。

表2.3-2 気密端子箱接続の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	AC 2,000V 1分	良

[出典：メーカーデータ]

表2.3-3 直ジョイントの長期健全性試験条件\*1

		試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件、設計基準事故時または重大事故等時の環境条件
通常運転時相当	温度	121℃ - 7日	95℃ - 7日*3 (=44℃*2 - 60年) 101℃ - 7日*4 (=44℃*2 - 60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	309kGy*5
事故時蒸気暴露試験	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)	設計基準事故時 : 675kGy 重大事故等時 : 500kGy
	温度	190℃ (最高温度)	設計基準事故時 : 約125℃ (最高温度) 重大事故等時 : 約138℃ (最高温度)
	圧力	0.41MPa [gage] (最高圧力)	設計基準事故時 : 約0.25MPa [gage] (最高圧力) 重大事故等時 : 約0.35MPa [gage] (最高圧力)

\*1 : 環境条件が厳しい原子炉格納容器内直ジョイントの使用条件を代表として記載。

\*2 : 通常運転時の原子炉格納容器内直ジョイント周囲の平均温度の最大実測値。

\*3 : 熱収縮チューブ材料 (シリコンゴム) に対する試験条件

\*4 : 熱収縮チューブ材料 (難燃架橋ポリエチレン) に対する試験条件

\*5 :  $0.5860 [\text{Gy/h}] \times 24 \times 365.25 [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 309\text{kGy}$

\*6 : 通常運転時の原子炉格納容器内直ジョイント周囲の平均線量率の最大実測値。

表2.3-4 直ジョイントの長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	AC 2,600V 5分	良

[出典 : メーカーデータ]

表2.3-5 三重同軸コネクタ接続-1の長期健全性試験条件\*1

		試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件、設計基準事故時または重大事故等時の環境条件
通常運転時相当	温度	121℃-7日	95℃-7日*3(=44℃*2-60年) 64℃-7日*4(=44℃*2-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	0.7kGy*5
事故時蒸気暴露試験	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)	設計基準事故時：675kGy 重大事故等時：500kGy
	温度	190℃ (最高温度)	設計基準事故時：約125℃(最高温度) 重大事故等時：約138℃(最高温度)
	圧力	0.41MPa[gage] (最高圧力)	設計基準事故時：約0.25MPa[gage](最高圧力) 重大事故等時：約0.35MPa[gage](最高圧力)

- \*1：環境条件が厳しい原子炉格納容器内三重同軸コネクタ接続-1の使用条件を代表として記載。
- \*2：通常運転時の原子炉格納容器内三重同軸コネクタ接続-1周囲の平均温度の最大実測値。
- \*3：Oリング(エチレンプロピレンゴム)の気密材料に対する試験条件
- \*4：絶縁物(架橋ポリスチレン)に対する試験条件
- \*5： $0.0013[\text{Gy/h}] \times 24 \times 365.25[\text{h/y}] \times 60[\text{y}] = 0.7\text{kGy}$
- \*6：通常運転時の原子炉格納容器内三重同軸コネクタ接続-1周囲の平均線量率の最大実測値。

表2.3-6 三重同軸コネクタ接続-1の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	DC 3,000V 1分	良

[出典：メーカーデータ]

なお、高圧コネクタ接続については事故時雰囲気内で機能要求がないが、長期健全性試験を実施していないため、絶縁低下の可能性は否定できない。

② 現状保全

絶縁物等の絶縁低下に対しては、制御・計装用ケーブル接続部については、定期的に系統機器の動作に異常のないことを確認し、絶縁低下による機能低下のないことを確認している。

電力用ケーブル接続部については、定期的に絶縁抵抗測定を行い、管理値以上であることの確認を行っている。

③ 総合評価

高圧コネクタ接続については絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

その他のケーブル接続部については、健全性評価結果から判断して、絶縁物等の絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

また、絶縁低下は系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

高圧コネクタ接続については定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

その他のケーブル接続部の絶縁低下については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

### 3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表となっていないケーブル接続部への展開について検討した。

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

- ① 一般端子接続
- ② 端子台接続
- ③ 三重同軸コネクタ接続－2
- ④ 複合同軸コネクタ接続

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

##### 3.1.1 絶縁物等の絶縁低下 [共通]

絶縁物等は事故時雰囲気内で機能要求がないが、代表機器と同じ有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

絶縁物等の絶縁低下は系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、一般端子接続等の絶縁低下については、定期的に系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定を実施していく。

### 3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### 3.2.1 端子等の腐食（全面腐食）〔共通〕

ケーブル接続部の端子等は銅または銅合金であり、腐食が想定される。

しかしながら、全て錫メッキ、ニッケルメッキ、銀メッキまたは金メッキを施すことにより腐食を防止しており、系統機器点検時の目視確認または抵抗測定により、機器の健全性を維持している。

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

# 高浜発電所 4 号炉

## 電気設備の技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

関西電力株式会社

高浜4号炉の電気設備のうち、評価対象機器である安全重要度分類審査指針におけるクラス1、2の機器、高温・高圧の環境下にあるクラス3の機器および常設重大事故等対処設備に属する機器を電圧区分および設置場所等でグループ化し、同一グループ内の複数の機器の存在を考慮して、重要度、仕様、使用条件等の観点から代表機器を選定した。

これらの一覧表を表1に、機能を表2に示す。

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

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

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

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

本評価書では電気設備の型式等を基に、以下の機器に分類している。

- 1 メタルクラッド開閉装置（メタクラ）
- 2 動力変圧器
- 3 パワーセンタ
- 4 コントロールセンタ

表 1 (1/4) 高浜 4 号炉 主要な電気設備 メタクラ

分離基準	機器名称 (群数)	仕様	選定基準							代表機器 の選定	
			重要度*1	使用条件			内蔵遮断器			代表 機器	選定 理由
				運転 状態	定格使用 電圧(V)	周囲温度 (°C)	投入 方式	定格電流 (A)(最大)	遮断電流 (kA)		
高圧	メタクラ (安全系) (2)	高圧閉鎖形 母線定格電流 2,000A	MS-1 重*2	連続	6,900	約 25	ばね	2,000 1,200	44	◎	定格 電流
	空冷式非常用発電装置 (遮断器盤) (2)	高圧閉鎖形 母線定格電流 400A	重*2	一時	6,900	約 40	ばね	400	8		
	空冷式非常用発電装置中継・ 接続盤 (1)	屋外用壁掛盤 母線定格電流 400A	重*2	一時	6,900	約 40	—	—	—		
	号機間融通用高圧ケーブル コネクタ盤 (1)	屋内用壁掛盤 母線定格電流 400A	重*2	一時	6,600	約 40	—	—	—		
	号機間融通用高圧ケーブル 接続盤 (1)	屋内用壁掛盤 母線定格電流 400A	重*2	一時	6,600	約 40	—	—	—		
	可搬式代替電源用接続盤 - 1、2 (1)	屋内用壁掛盤 母線定格電流 400A	重*2	一時	6,900	約 40	—	—	—		
	代替所内電気設備高圧ケーブル 分岐盤 (1)	屋内用壁掛盤 母線定格電流 400A	重*2	一時	6,900	約 40	—	—	—		
	代替所内電気設備高圧ケーブル コネクタ接続盤 (1)	屋内用壁掛盤 母線定格電流 400A	重*2	一時	6,900	約 40	—	—	—		
	代替所内電気設備高圧ケーブル 接続盤 (1)	屋内用壁掛盤 母線定格電流 400A	重*2	一時	6,900	約 40	—	—	—		

\*1: 機能は最上位の機能を示す。

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

表 1 (2/4) 高浜 4 号炉 主要な電気設備 動力変圧器

分離基準		機器名称 (台数)	仕様 容量 (kVA)	選定基準			代表機器の選定		
電圧 区分	設置 場所			重要度*1	使用条件			代表 機器	選定 理由
					運転状態	定格使用 電圧 (V)	周囲温度 (°C)		
高圧	屋内	動力変圧器 (安全系) (2)	2,300	MS-1、重*2	連続	6,900	約 25	◎	容量
		代替所内電気設備変圧器 (1)	300	重*2	一時	6,900	約 40		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

表 1 (3/4) 高浜 4 号炉 主要な電気設備 パワーセンタ

分離基準		機器名称 (群数)	仕様	選定基準			内蔵遮断器			
電圧 区分	設置 場所			重要度*1	使用条件			投入方式	定格電流 (A) (最大)	遮断電流 (kA)
					運転状態	定格使用 電圧 (V)	周囲温度 (°C)			
低圧	屋内	パワーセンタ (安全系) (2)	気中遮断器内蔵 低圧閉鎖形 母線定格電流 3,000A	MS-1、 重*2	連続	460	約 25	ばね	3,000	65
								ばね	1,600	50

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

表 1 (4/4) 高浜 4 号炉 主要な電気設備 コントロールセンタ

分離基準		機器名称 (群数)	仕様	選定基準				代表機器の選定	
電圧 区分	設置 場所			重要度*1	使用条件			代表 機器	選定理由
					運転 状態	定格使用電圧 (V)	周囲温度 (℃)		
低圧	屋内	原子炉コントロールセンタ (安全系) (4)	低圧閉鎖形 定格電流 800A	MS-1 重*2	連続	460	約 25	◎	定格電流
		ディーゼル発電機 コントロールセンタ (2)	低圧閉鎖形 定格電流 600A	MS-1	連続	460	約 40		
		後備ヒータ分電盤 (4)	低圧閉鎖形 定格電流 600A	MS-2	連続	460	約 25		
		可搬式整流器用分電盤 (1)	低圧閉鎖形 定格電流 250A	重*2	一時	460	約 25		
		代替所内電気設備分電盤 (1)	低圧閉鎖形 定格電流 600A	重*2	一時	460	約 25		
		緊急時対策所電源車切替盤 (1)	低圧閉鎖形 定格電流 800A	重*2	一時	460	約 40		
		緊急時対策所コントロールセンタ (1)	低圧閉鎖形 定格電流 600A	重*2	一時	460	約 40		
		緊急時対策所 100V 主分電盤 (1)	低圧閉鎖形 定格電流 600A	重*2	一時	460	約 40		
		A・C 計器用電源用代替所内電気設備 切替盤 (1)	低圧閉鎖形 定格電流 50A	重*2	一時	460	約 25		
		B・D 計器用電源用代替所内電気設備 切替盤 (1)	低圧閉鎖形 定格電流 50A	重*2	一時	460	約 25		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

表2 高浜4号炉 電気設備機器の機能

機器名	機能
メタクラ	発電所内高圧電源系統を構成する装置であり、高圧機器および発電所内低圧電源系統への電源供給と保護を行う。
動力変圧器	メタクラから供給される電力の電圧を1/15に降圧してパワーセンタに供給する機器。
パワーセンタ	発電所内低圧電源系統を構成する装置であり、低圧機器（加圧器後備ヒータ等）およびコントロールセンタへの電源供給と保護を行う。
コントロールセンタ	発電所内低圧電源系統を構成する装置であり、低圧機器（弁電動装置等）への電源の供給と保護を行う。

# 1 メタルクラッド開閉装置 (メタクラ)

[対象機器]

- ① メタクラ (安全系)
- ② 空冷式非常用発電装置 (遮断器盤)
- ③ 空冷式非常用発電装置中継・接続盤
- ④ 号機間融通用高圧ケーブルコネクタ盤
- ⑤ 号機間融通用高圧ケーブル接続盤
- ⑥ 可搬式代替電源用接続盤－1、2
- ⑦ 代替所内電気設備高圧ケーブル分岐盤
- ⑧ 代替所内電気設備高圧ケーブルコネクタ接続盤
- ⑨ 代替所内電気設備高圧ケーブル接続盤

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	3
2.1 構造、材料および使用条件 .....	3
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	7
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価 .....	14
3. 代表機器以外への展開 .....	21
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象 .....	21
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 .....	23

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されているメタクラの主な仕様を表1-1に示す。

これらのメタクラを、電圧区分の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すメタクラを電圧区分で分類すると1つのグループにまとめられる。

### 1.2 代表機器の選定

このグループのメタクラの中で、定格電流の大きいメタクラ（安全系）を代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 メタクラの主な仕様

分離基準	機器名称 (群数)	仕様	選定基準							代表機器の選定	
			重要度*1	使用条件			内蔵遮断器			代表機器	選定理由
				運転状態	定格使用電圧(V)	周囲温度(°C)	投入方式	定格電流(A)(最大)	遮断電流(kA)		
高圧	メタクラ(安全系)(2)	高圧閉鎖形 母線定格電流2,000A	MS-1、 重*2	連続	6,900	約25	ばね	2,000 1,200	44	◎	定格電流
	空冷式非常用発電装置 (遮断器盤)(2)	高圧閉鎖形 母線定格電流400A	重*2	一時	6,900	約40	ばね	400	8		
	空冷式非常用発電装置中継・ 接続盤(1)	屋外用壁掛盤 母線定格電流400A	重*2	一時	6,900	約40	—	—	—		
	号機間融通用高圧ケーブル コネクタ盤(1)	屋内用壁掛盤 母線定格電流400A	重*2	一時	6,600	約40	—	—	—		
	号機間融通用高圧ケーブル接続盤 (1)	屋内用壁掛盤 母線定格電流400A	重*2	一時	6,600	約40	—	—	—		
	可搬式代替電源用接続盤-1、2 (1)	屋内用壁掛盤 母線定格電流400A	重*2	一時	6,900	約40	—	—	—		
	代替所内電気設備高圧ケーブル分 岐盤(1)	屋内用壁掛盤 母線定格電流400A	重*2	一時	6,900	約40	—	—	—		
	代替所内電気設備高圧ケーブルコ ネクタ接続盤(1)	屋内用壁掛盤 母線定格電流400A	重*2	一時	6,900	約40	—	—	—		
	代替所内電気設備高圧ケーブル接 続盤(1)	屋内用壁掛盤 母線定格電流400A	重*2	一時	6,900	約40	—	—	—		

\*1: 機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下のメタクラについて技術評価を実施する。

### ① メタクラ（安全系）

#### 2.1 構造、材料および使用条件

##### 2.1.1 メタクラ（安全系）

###### (1) 構造

高浜4号炉のメタクラ（安全系）は、定格使用電圧6,900V、定格電流2,000Aの高圧閉鎖形であり、2群設置されている。

ガス遮断器を内蔵しており、回路の保護・制御のために計器用変流器、計器用変圧器等を収納している。

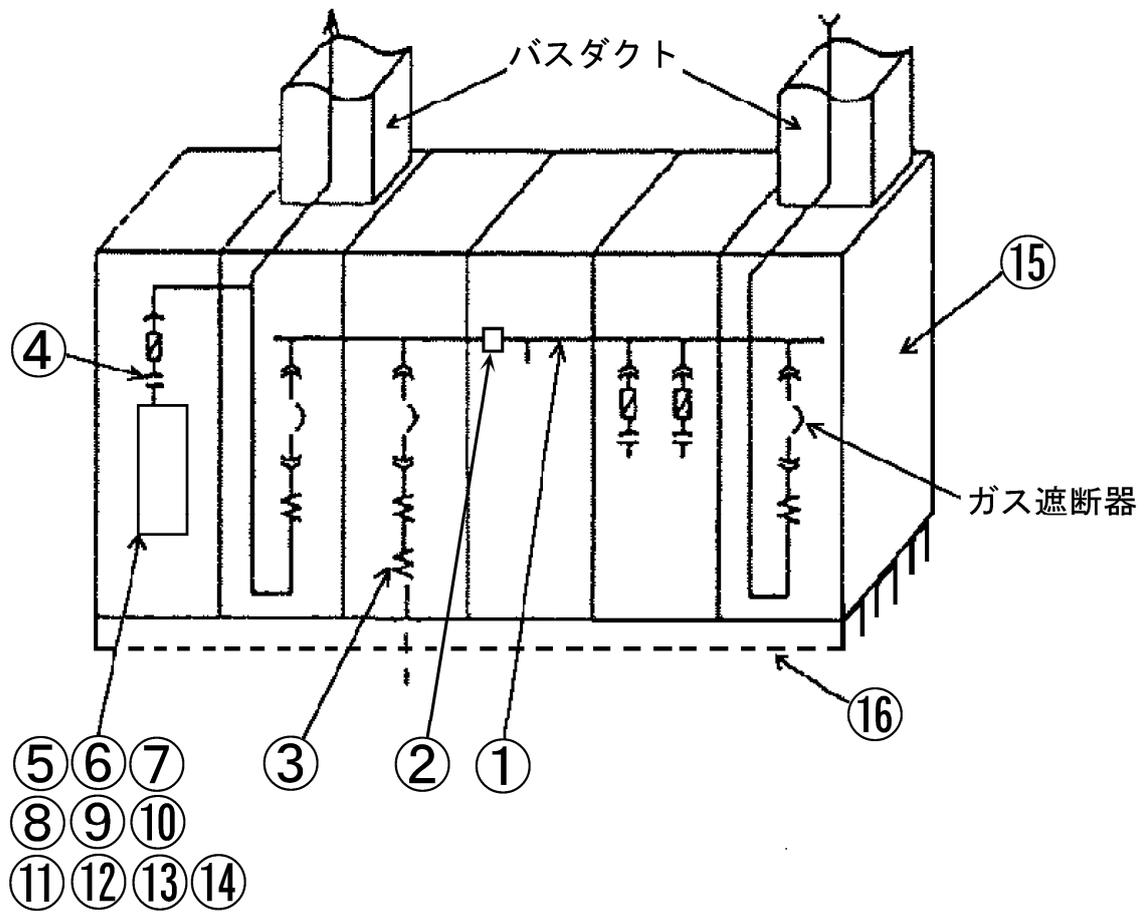
遮断器の投入は、投入ばねによって行う構造となっている。また、遮断器の開放は、投入時に蓄勢された引外しばねによって行う構造となっている。

電流の遮断は、接触子の開放により生じるアークに圧縮したSF<sub>6</sub>ガスを吹き付けることにより行う。

高浜4号炉のメタクラ（安全系）構成図を図2.1-1に、ガス遮断器構造図を図2.1-2に、ガス遮断器操作機構構造図を図2.1-3に示す。

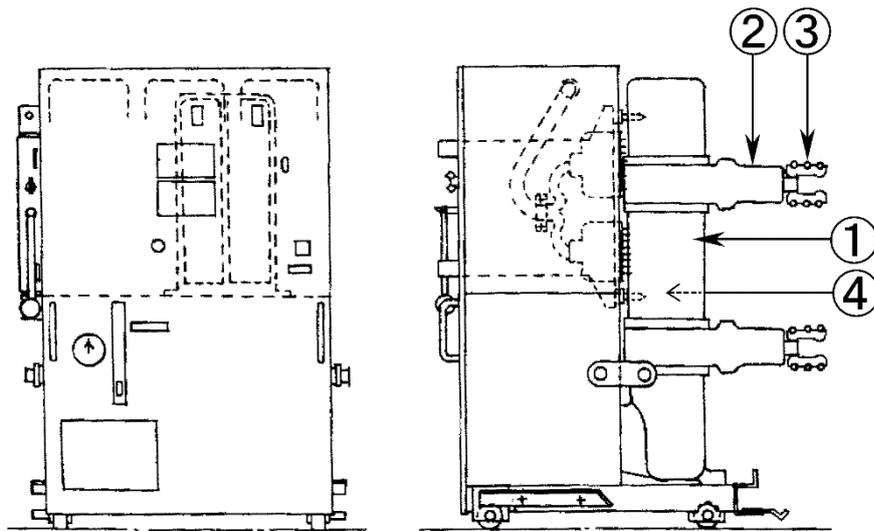
###### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉のメタクラ（安全系）の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



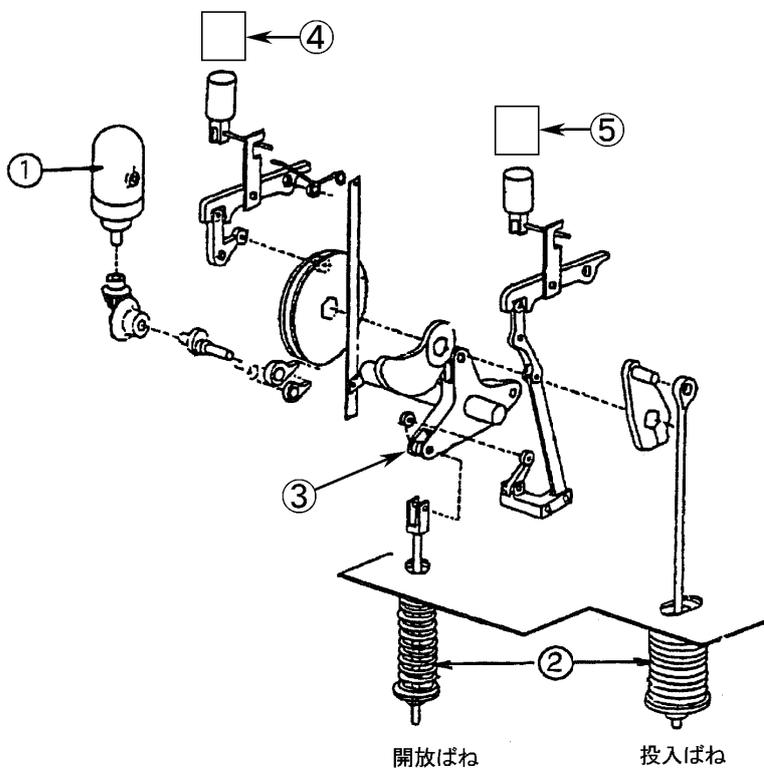
No.	部位	No.	部位
①	主回路導体	⑨	補助リレー
②	支持碍子	⑩	タイマ
③	計器用変流器	⑪	ヒューズ
④	計器用変圧器	⑫	指示計
⑤	保護リレー	⑬	表示灯
⑥	操作スイッチ	⑭	ロックアウトリレー
⑦	ノーヒューズブレーカ	⑮	筐体
⑧	コンタクタ	⑯	埋込金物

図2.1-1 高圧炉 4号炉 メタクラ (安全系) 構成図



No.	部位
①	消弧室
②	ブッシング
③	1次ジャンクション
④	接触子

図2.1-2 高浜4号炉 メタクラ（安全系） ガス遮断器構造図



No.	部位
①	ばね蓄勢用モータ
②	ばね
③	リンク機構
④	投入コイル
⑤	引外しコイル

図2.1-3 高浜4号炉 メタクラ（安全系） ガス遮断器操作機構構造図

表2.1-1 高浜4号炉 メタクラ（安全系）主要部位の使用材料

部位		材料
遮断器	リンク機構	低合金鋼
	消弧室	アルミニウム合金
	ブッシング	エポキシ樹脂（B種絶縁）
	1次ジャンクション	銅
	接触子	銀、銀タングステン
	ばね	ばね鋼、ピアノ線
	投入コイル	銅、ポリエステル（A種絶縁）
	引外しコイル	銅、ポリエステル（A種絶縁）
	ばね蓄勢用モータ	銅、ポリアミドイミド（H種絶縁）
盤構成部品	主回路導体	アルミニウム合金、銅
	支持碍子	磁器
	計器用変流器	銅、ブチルゴム（A種絶縁）、 ポリオレフィン系液状ゴム
	計器用変圧器	銅、エポキシ樹脂（A種絶縁）
	保護リレー（静止形）	消耗品・定期取替品
	操作スイッチ	銅、銀他
	ノーヒューズブレーカ	消耗品・定期取替品
	コンタクタ	消耗品・定期取替品
	補助リレー	消耗品・定期取替品
	タイマ	消耗品・定期取替品
	ヒューズ	消耗品・定期取替品
	指示計	消耗品・定期取替品
	表示灯	消耗品・定期取替品
	ロックアウトリレー	消耗品・定期取替品
支持組立品	筐体	炭素鋼
	埋込金物	炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 メタクラ（安全系）の使用条件

周囲温度	約25℃*1
短時間電流強度	44kA 2秒
主回路温度上昇値（最大）	65℃
定格電圧	6,900V

\*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

メタクラ（安全系）の機能である給電機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 遮断機能の維持
- ② 通電・絶縁機能の維持
- ③ 機器の保護・監視機能の維持
- ④ 機器の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

メタクラ（安全系）について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1のとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

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

#### (1) ばね蓄勢用モータの絶縁低下

ばね蓄勢用モータの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

#### (2) 計器用変流器および計器用変圧器の絶縁低下

計器用変流器および計器用変圧器の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

#### (1) リンク機構の固着

リンク機構は、長期使用に伴いグリスが固化し、動作特性の低下が想定される。

しかしながら、注油、各部の目視確認、動作試験を実施することで、機器の健全性を維持している。

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

#### (2) 消弧室の汚損

消弧室は、遮断器の電流遮断動作に伴う消弧室でのアーク消弧により汚損した場合、消弧性能の低下が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

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

(3) ブッシングの絶縁低下

ブッシングは有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、ブッシングは屋内の筐体に内蔵しているため、塵埃が付着しにくい環境にある。

また、主回路導体の通電時の最大温度90℃に対して、ブッシングの耐熱温度は130℃と十分余裕を持った耐熱性を有していることから、絶縁低下の可能性は小さい。

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

なお、機器点検時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(4) 1次ジャンクションの摩耗

1次ジャンクションは、遮断器の盤からの出し入れに伴う摩耗が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(5) 接触子の摩耗

接触子は、遮断器の開閉動作に伴う電流開閉により、摩耗が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認および寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(6) ばねの変形（応力緩和）

投入ばねは開放状態にて、また引外しばねは投入状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

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

なお、機器点検時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 投入コイルおよび引外しコイルの絶縁低下

投入コイルおよび引外しコイルの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、投入コイルおよび引外しコイルは屋内の筐体に内蔵しているため、塵埃、湿分等が付着しにくい環境にある。

また、投入コイルおよび引外しコイルは連続運転ではなく、作動時間も1秒以下と小さいことから、コイルの発熱による温度上昇は小さいと考えられ、使用温度に比べて、十分余裕のある絶縁種（A種：許容最高温度105℃）を選択して使用していることから、絶縁低下の可能性は小さい。

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

なお、機器点検時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(8) 主回路導体の腐食（全面腐食）

主回路導体は銅およびアルミニウム合金であり、腐食が想定される。

しかしながら、エポキシ樹脂により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(9) 支持碍子の絶縁低下

支持碍子は無機物の磁器であり、経年劣化の可能性はない。

なお、長期の使用においては表面の汚損による絶縁低下が想定される。

しかしながら、支持碍子は筐体に内蔵しているため、塵埃が付着しにくい環境にあり、これまでに有意な汚損は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(10) 操作スイッチの導通不良

操作スイッチは、浮遊塵埃の接点部分への付着による導通不良が想定される。

しかしながら、接点部分は盤内に収納されており、塵埃の付着による導通不良が発生する可能性は小さい。

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

なお、機器点検時の動作確認により、機器の健全性を確認している。

(11) 筐体の腐食（全面腐食）

筐体は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

(12) 埋込金物（大気接触部）の腐食（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

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

(13) 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

表示灯は動作確認の結果に基づき取替えている消耗品、保護リレー、指示計、ロックアウトリレー、補助リレー、ノーヒューズブレーカ、タイマ、ヒューズおよびコンタクタについては定期取替品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 高浜4号炉 メタクラ（安全系）の想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
遮断機能の維持 通電・絶縁機能の維持	遮断器		低合金鋼								△*1	*1:固着 *2:汚損 *3:変形（応力緩和） *4:大気接触部の腐食 *5:コンクリート埋設部の腐食
			アルミニウム合金								△*2	
			エポキシ樹脂					△				
			銅	△								
			銀、銀タングステン	△								
			ばね鋼、ピアノ線								△*3	
			銅、ポリエステル					△				
			銅、ポリエステル					△				
			銅、ポリアミドイミド					○				
			アルミニウム合金、銅			△						
	磁器					△						
機器の保護 ・監視機能の維持			銅、ブチルゴム、ポリオレフィン系液状ゴム					○				
			銅、エポキシ樹脂					○				
		◎	—									
			銅、銀他						△			
		◎	—									
		◎	—									
		◎	—									
		◎	—									
		◎	—									
		◎	—									
機器の支持			炭素鋼		△							
			炭素鋼		△*4 ▲*5							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

## 2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

### 2.3.1 ばね蓄勢用モータの絶縁低下

#### a. 事象の説明

ばね蓄勢用モータの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下が生じる可能性がある。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

ばね蓄勢用モータは密閉構造のため、塵埃および湿分が付着しにくい環境にある。また、モータは連続運転ではなく遮断器投入後に作動するもので、作動時間も数秒と短いことから、モータの発熱による温度上昇は小さいと考えられ、使用温度に比べて十分余裕のある絶縁種(H種:許容最高温度180℃)を使用していることから、絶縁低下の発生の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下が生じる可能性は否定できない。

##### ② 現状保全

ばね蓄勢用モータの絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることの確認を行っている。

##### ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、ばね蓄勢用モータの絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は、絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

#### c. 高経年化への対応

ばね蓄勢用モータの絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

## 2.3.2 計器用変流器および計器用変圧器の絶縁低下

### a. 事象の説明

計器用変流器および計器用変圧器は、熱的、電氣的、環境的要因で経年的変化が進行し、絶縁低下を起こす可能性がある。

### b. 技術評価

#### ① 健全性評価

計器用変流器および計器用変圧器の絶縁低下については、絶縁物内の微小欠陥における部分放電の長期継続により絶縁物の劣化の形で進行し、最終的に絶縁破壊に至ることから、電気特性試験における部分放電消滅電圧および部分放電電荷量の測定結果を、「電気学会 電気規格調査会標準規格 計器用変成器（保護継電器用）（JEC-1201-2007）」、「日本産業規格 計器用変成器-（標準用および一般計測用）第1部：変流器（JIS C 1731-1:1998）」および「日本産業規格 計器用変成器-（標準用および一般計測用）第2部：計器用変圧器（JIS C 1731-2:1998）」に基づく基準値と比較することにより、絶縁性能状態を把握する。

計器用変流器および計器用変圧器の絶縁低下に関する健全性評価として、2001年に電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」を実施した。

図2.3-1に示すように、60年相当の課電劣化試験<sup>\*1</sup>および熱サイクル試験<sup>\*2</sup>による健全性調査の結果、部分放電消滅電圧が数台については劣化傾向を示したものの劣化の程度は緩やかであり、かつ基準値以上であること、また、部分放電電荷量は測定限界値以下であり増加傾向は認められないことから、絶縁性能に問題のないことを確認している。

\*1：課電電圧の上昇および下降の繰返しによる絶縁劣化を、メーカー独自の寿命評価手法による試験電圧および試験周波数により加速劣化させる試験

\*2：0℃～80℃～0℃で通年（1年間）の温度上昇および下降による熱応力の機械的ストレスを模擬した試験

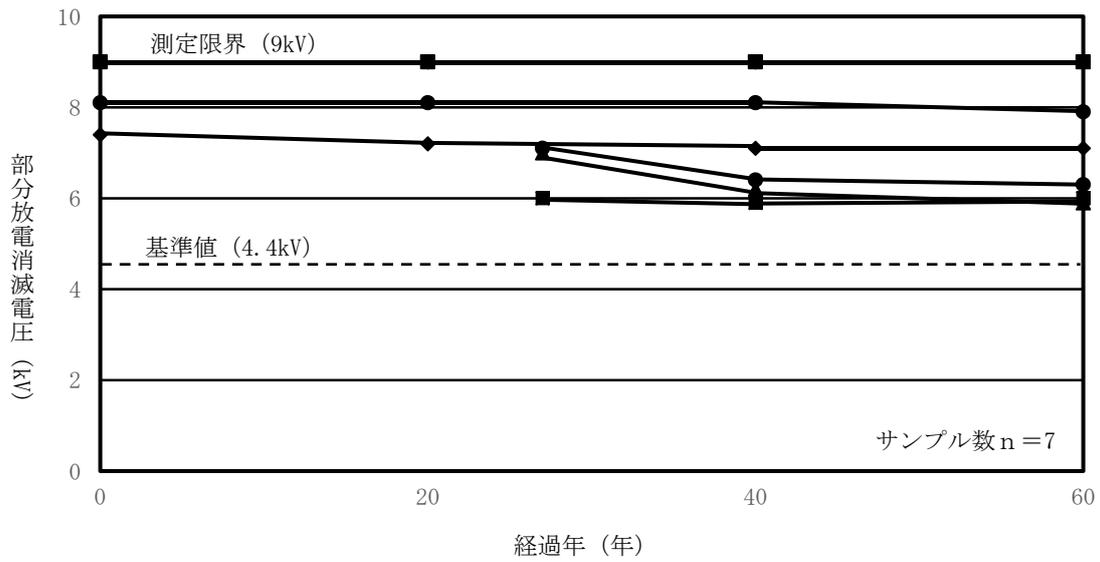


図2.3-1a 計器用変圧器の部分放電特性（課電劣化試験による部分放電消滅電圧）  
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

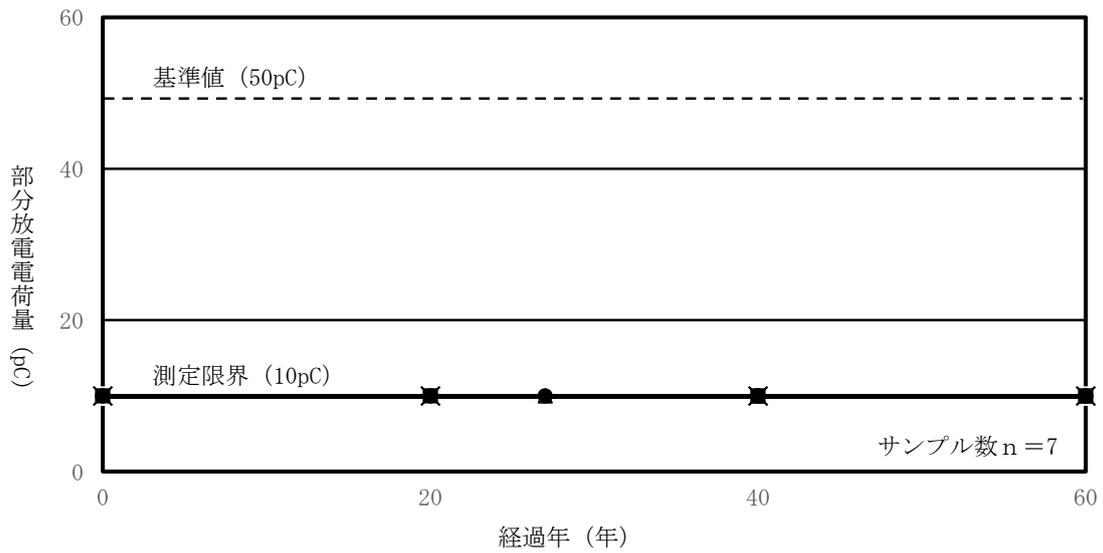


図2.3-1b 計器用変圧器の部分放電特性（課電劣化試験による部分放電電荷量）  
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

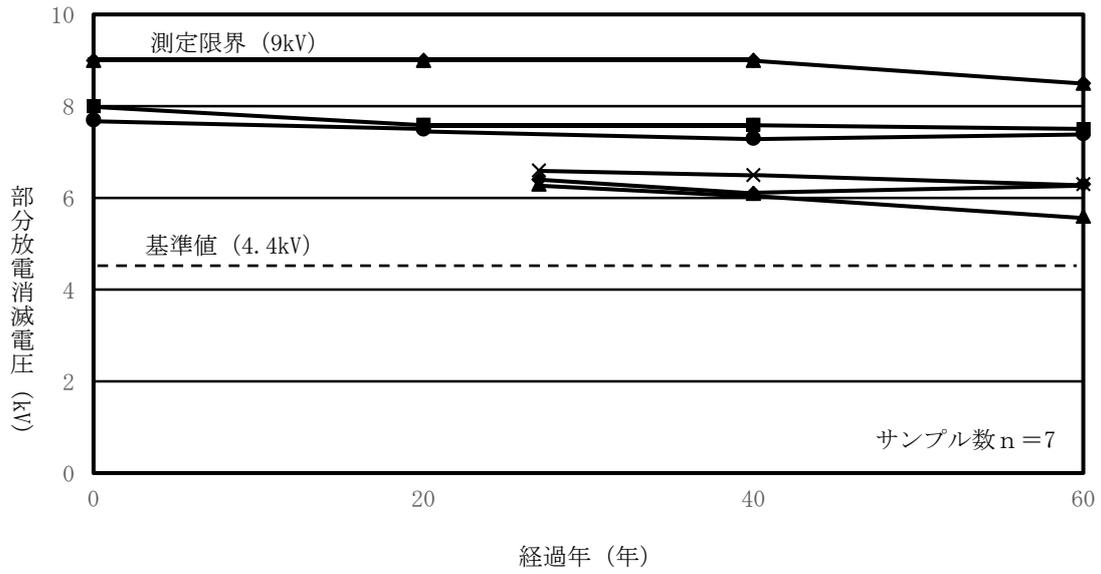


図2.3-1c 計器用変圧器の部分放電特性（熱サイクル試験による部分放電消滅電圧）  
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

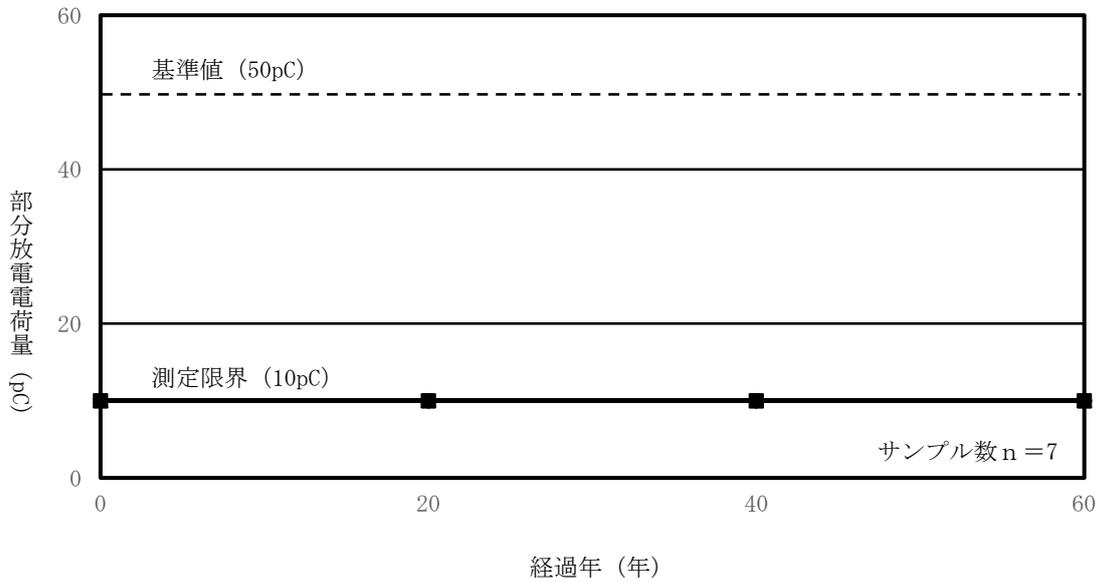


図2.3-1d 計器用変圧器の部分放電特性（熱サイクル試験による部分放電電荷量）  
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

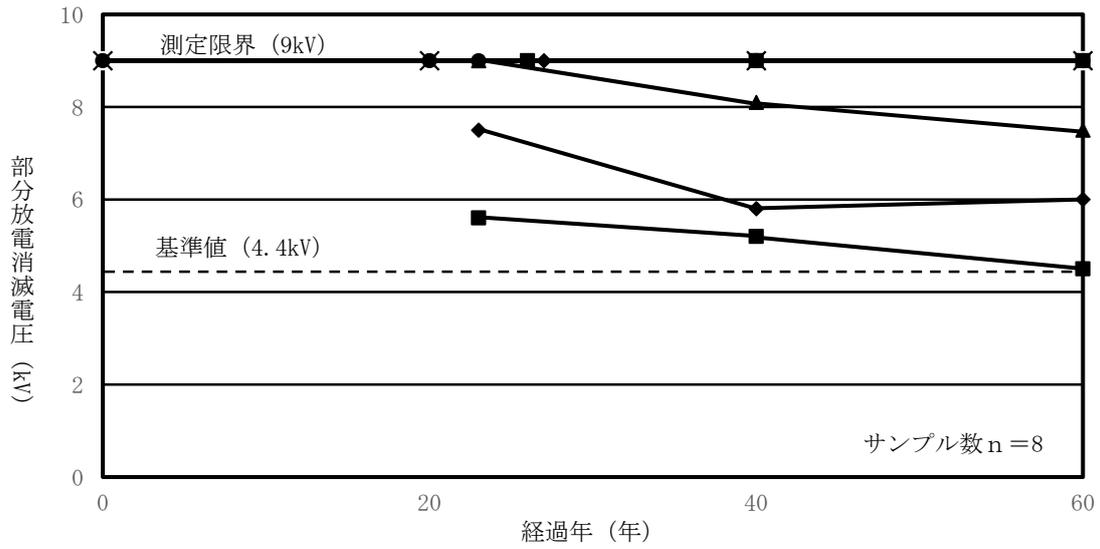


図2.3-1e 計器用変流器の部分放電特性（課電劣化試験による部分放電消滅電圧）  
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

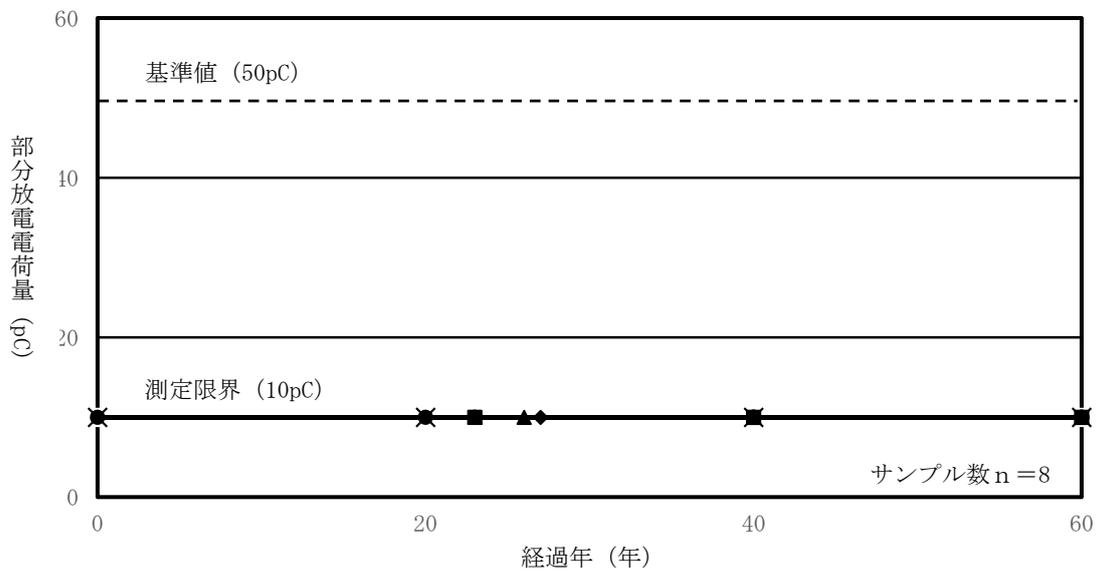


図2.3-1f 計器用変流器の部分放電特性（課電劣化試験による部分放電電荷量）  
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

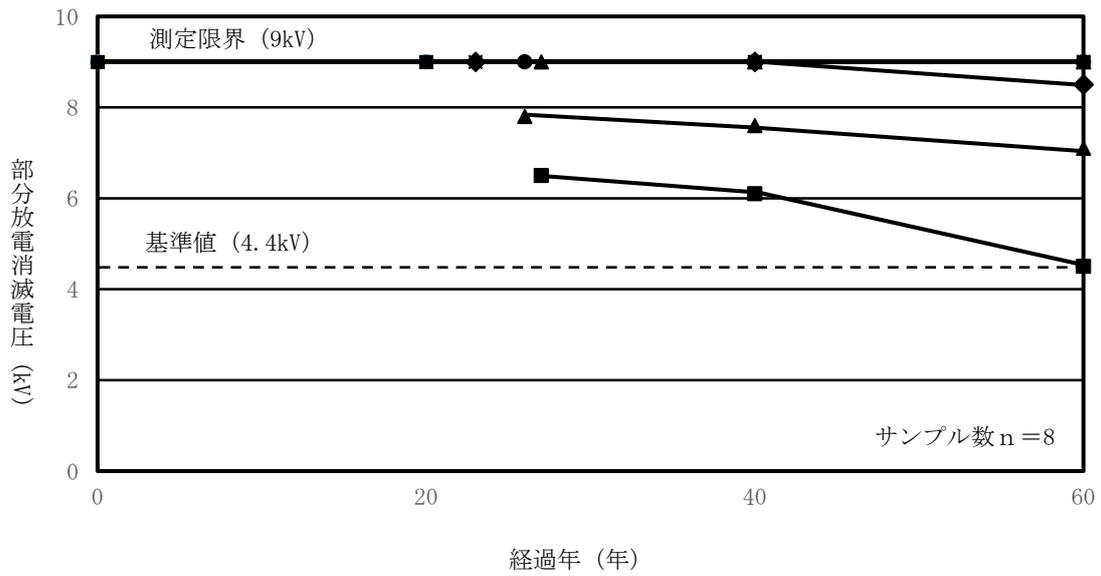


図2.3-1g 計器用変流器の部分放電特性（熱サイクル試験による部分放電消滅電圧）  
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

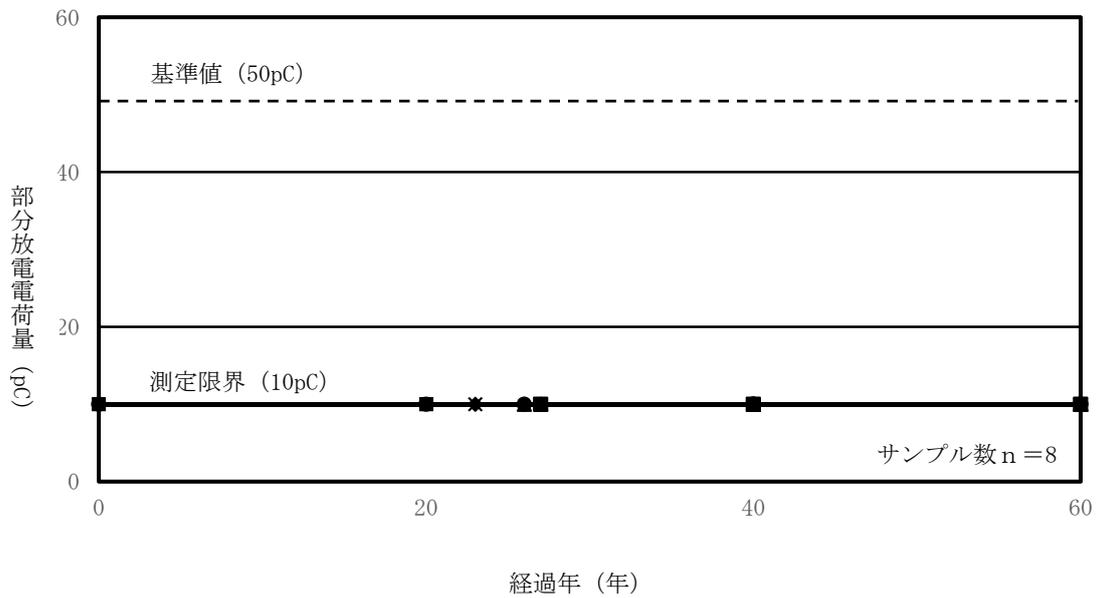


図2.3-1h 計器用変流器の部分放電特性（熱サイクル試験による部分放電電荷量）  
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」]

② 現状保全

計器用変流器および計器用変圧器の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることを確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、計器用変流器および計器用変圧器の絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

また、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

計器用変流器および計器用変圧器の絶縁低下については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

### 3. 代表機器以外への展開

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

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

- ① 空冷式非常用発電装置（遮断器盤）
- ② 空冷式非常用発電装置中継・接続盤
- ③ 号機間融通用高圧ケーブルコネクタ盤
- ④ 号機間融通用高圧ケーブル接続盤
- ⑤ 可搬式代替電源用接続盤－1、2
- ⑥ 代替所内電気設備高圧ケーブル分岐盤
- ⑦ 代替所内電気設備高圧ケーブルコネクタ接続盤
- ⑧ 代替所内電気設備高圧ケーブル接続盤

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

##### 3.1.1 ばね蓄勢用モータの絶縁低下 [空冷式非常用発電装置（遮断器盤）]

ばね蓄勢用モータの使用環境等は代表機器と同様であり、モータは連続運転ではなく遮断器投入後に作動するもので、作動時間も数秒と短いことから、モータの発熱による温度上昇は小さいと考えられ、使用温度に比べて十分余裕のある絶縁種（E種：許容最高温度120℃）を使用していることから、絶縁低下の発生の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下が生じる可能性は否定できない。

しかしながら、ばね蓄勢用モータの絶縁低下については、絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、ばね蓄勢用モータの絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

### 3.1.2 計器用変流器および計器用変圧器の絶縁低下〔空冷式非常用発電装置（遮断器盤）〕

計器用変流器および計器用変圧器の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁低下を起こす可能性がある。

しかしながら、代表機器の評価と同様の研究結果より絶縁性能に問題のないことを確認している。

計器用変流器および計器用変圧器の絶縁低下については、定期的な絶縁抵抗測定により検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、計器用変流器および計器用変圧器の絶縁低下については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

### 3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### 3.2.1 リンク機構の固着〔空冷式非常用発電装置（遮断器盤）〕

リンク機構は、長期使用に伴いグリスが固化し、動作特性の低下が想定される。

しかしながら、注油、各部の目視確認、動作試験を実施することで、機器の健全性を維持している。

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

#### 3.2.2 絶縁フレームの絶縁低下〔空冷式非常用発電装置（遮断器盤）〕

絶縁フレームの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、絶縁フレームは筐体に内蔵しているため、塵埃、湿分等が付着しにくい環境にある。

また、絶縁フレームは絶縁性の高いポリエステルで形成されており、絶縁フレームの耐熱温度130℃に対して、主回路導体の通電時の最大温度は105℃であることから絶縁低下の可能性は小さい。

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

なお、機器点検時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

#### 3.2.3 1次コンタクトの摩耗〔空冷式非常用発電装置（遮断器盤）〕

1次コンタクトは、盤からの引き出しに伴う摩耗が想定される。

しかしながら、構造が同様の代表機器でこれまでに有意な摩耗は認められておらず、空冷式非常用発電装置（遮断器盤）についても、今後これらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

#### 3.2.4 ばねの変形（応力緩和）〔空冷式非常用発電装置（遮断器盤）〕

投入ばねは開放状態にて、また開放ばねは投入状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

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

なお、機器点検時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

#### 3.2.5 投入コイルおよび引外しコイルの絶縁低下〔空冷式非常用発電装置（遮断器盤）〕

投入コイルおよび引外しコイルの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、投入コイルおよび引外しコイルは筐体に内蔵しているため、塵埃、湿分等が付着しにくい環境にある。

また、投入コイルおよび引外しコイルは連続運転ではなく、作動時間も1秒以下と小さいことから、コイルの発熱による温度上昇は小さいと考えられ、使用温度に比べて、十分余裕のある絶縁種（E種：許容最高温度120℃）を選択して使用していることから、絶縁低下の可能性は小さい。

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

なお、機器点検時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

#### 3.2.6 主回路導体の腐食（全面腐食）〔空冷式非常用発電装置（遮断器盤）〕

主回路導体は銅であり、腐食が想定される。

しかしながら、銀メッキにより腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.7 支持碍子の絶縁低下 [空冷式非常用発電装置 (遮断器盤)]

支持碍子は有機物であり、長期使用においては熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、支持碍子は主回路の最高温度に耐えうるものであり、また筐体等に内蔵しているため、塵埃、湿分等が付着しにくい環境にある。

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

なお、機器点検時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.8 操作スイッチの導通不良 [空冷式非常用発電装置 (遮断器盤)]

操作スイッチは、浮遊塵埃の接点部分への付着による導通不良が想定される。

しかしながら、接点部分は盤内に収納されており、塵埃の付着による導通不良が発生する可能性は小さい。

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

なお、機器点検時の動作確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.9 筐体およびチャンネルベースの腐食 (全面腐食) [共通]

筐体およびチャンネルベースは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

### 3.2.10 取付ボルトの腐食 (全面腐食) [共通]

取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、メッキにより腐食を防止しており、メッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

3.2.11 基礎ボルトの腐食（全面腐食）および樹脂の劣化〔基礎ボルトを含む機器共通〕

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

また、ケミカルアンカには樹脂を使用しており、劣化が想定される。

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

## 2 動力変圧器

[対象機器]

- ① 動力変圧器（安全系）
- ② 代替所内電気設備変圧器

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	3
2.1 構造、材料および使用条件 .....	3
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	6
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価 .....	10
3. 代表機器以外への展開 .....	11
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象 .....	11
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 .....	12

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜 4 号炉で使用されている動力変圧器の主な仕様を表1-1に示す。

これらの動力変圧器を、電圧区分および設置場所の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す動力変圧器を電圧区分および設置場所で分類すると 1 つのグループにまとめられる。

### 1.2 代表機器の選定

このグループの動力変圧器の中で、容量の大きい動力変圧器（安全系）を代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 動力変圧器の主な仕様

分離基準		機器名称 (台数)	仕様 容量 (kVA)	選定基準				代表機器の選定	
電圧 区分	設置 場所			重要度*1	使用条件			代表機器	選定理由
					運転状態	定格 使用電圧 (V)	周囲 温度 (°C)		
高圧	屋内	動力変圧器 (安全系) (2)	2,300	MS-1、重*2	連続	6,900	約25	◎	容量
		代替所内電気設備変圧器 (1)	300	重*2	一時	6,900	約40		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の動力変圧器について技術評価を実施する。

### ① 動力変圧器（安全系）

#### 2.1 構造、材料および使用条件

##### 2.1.1 動力変圧器（安全系）

###### (1) 構造

高浜4号炉の動力変圧器（安全系）は、容量2,300kVA、高圧側電圧6,600V、低圧側電圧460Vの三相乾式変圧器であり、2台設置されている。

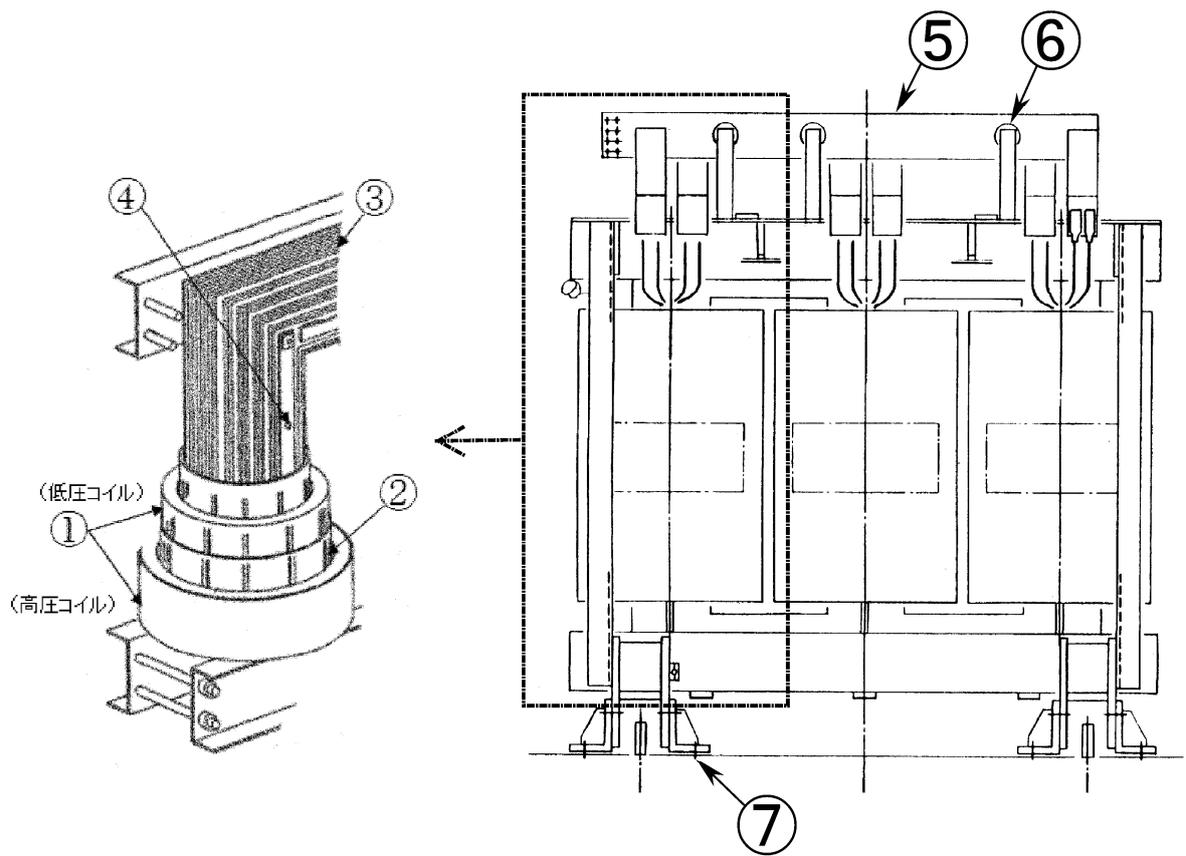
変圧器本体は電流回路となる巻線と磁気回路となる鉄心および巻線の絶縁を保持する絶縁物から構成され、電磁誘導の原理に基づき電圧変成を行っている。

なお、巻線で発生する熱は、空気の自然対流により冷却される構造となっている。

高浜4号炉の動力変圧器（安全系）の構造図を図2.1-1に示す。

###### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の動力変圧器（安全系）の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	コイル
②	垂直ダクト
③	鉄心
④	鉄心締付ボルト
⑤	接続銅板
⑥	銅板支持碍子
⑦	取付ボルト

図2.1-1 高浜4号炉 動力変圧器(安全系)構造図

表2.1-1 高浜4号炉 動力変圧器（安全系）主要部位の使用材料

部位		材料
巻線構成成品	コイル	銅、ポリアミド紙（H種絶縁）
	垂直ダクト	ポリエステルガラス
鉄心構成成品	鉄心	珪素鋼板
	鉄心締付ボルト	炭素鋼
配線構成成品	接続銅板	銅
支持組立品	銅板支持碍子	磁器
	取付ボルト	炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 動力変圧器（安全系）の使用条件

容量	2,300kVA
周囲温度	約25°C*1
高圧側電圧	6,600V
低圧側電圧	460V

\*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

動力変圧器（安全系）の機能である電圧変成機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 磁気回路の維持
- ② 通電・絶縁機能の維持
- ③ 機器の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

動力変圧器（安全系）について機能達成に必要な項目を考慮して、主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1のとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

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

#### (1) コイルの絶縁低下

コイルの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) 垂直ダクトの絶縁低下

コイル内に使用している垂直ダクトは有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、動力変圧器は空調された屋内に設置されていることから表面の汚損や水分の付着による絶縁低下の可能性は小さい。

また、使用時の温度160℃に対して、垂直ダクトの耐熱温度は200℃と十分余裕を持った耐熱性を有していることから、絶縁低下の可能性は小さいと考える。

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

なお、機器点検時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

#### (2) 鉄心の緩み

鉄心は珪素鋼板の薄板を積層し締付け、組み立てられているが、運転中の振動・温度変化等により締付圧力が低下し、鉄心の緩みが想定される。

しかしながら、締付ボルトには回り止めが施されており、機器点検時の目視確認で緩みは認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(3) 接続銅板の腐食（全面腐食）

接続銅板は銅であり、腐食が想定される。

しかしながら、塗装により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(4) 銅板支持碍子の絶縁低下

銅板支持碍子は無機物の磁器であり、経年劣化の可能性はない。

なお、長期の使用においては表面の汚損による絶縁低下が想定される。

しかしながら、動力変圧器は空調された屋内に設置されていることから表面の汚損や水分の付着による絶縁低下の可能性は小さい。

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

なお、機器点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(5) 鉄心締付ボルトの腐食（全面腐食）

鉄心締付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部はメッキにより腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器点検時に代表として鉄心上部の枠締付ボルトを目視確認することにより、機器の健全性を確認している。

(6) 取付ボルトの腐食（全面腐食）

取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は亜鉛メッキにより腐食を防止しており、メッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、機器点検時の目視確認によりメッキ面の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

表2.2-1 高浜4号炉 動力変圧器（安全系）の想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
磁気回路の維持 通電・絶縁機能の維持	コイル		銅、 ポリアミド紙					○				*1:緩み
	垂直ダクト		ポリエステル ガラス					△				
	鉄心		珪素鋼板								△*1	
	接続銅板		銅		△							
	銅板支持碍子		磁器					△				
機器の支持	鉄心締付ボルト		炭素鋼		△							
	取付ボルト		炭素鋼		△							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

## 2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

### 2.3.1 コイルの絶縁低下

#### a. 事象の説明

コイルの絶縁物は、変圧器を運転している時には、コイルの発熱により温度が高くなるため、長期間の使用により熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起す可能性がある。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

高浜4号炉の動力変圧器（安全系）コイルのポリアミド紙平角銅線は、吸湿すると加水分解による強度低下が想定されるが、動力変圧器（安全系）は空調された室内に設置されており、吸湿が発生しがたい環境にある。

また、動力変圧器の絶縁性能の長期特性は、約27年間原子力発電所で使用された実機変圧器を用いた試験で確認されている。

試験では、撤去した変圧器に60年相当の熱劣化を加えた後、「電気学会 電気規格調査会標準規格 変圧器(JEC-2200-1995)」に定められている初期耐電圧試験を実施し、絶縁性能に問題のないことが確認された（出典：電力中央研究所報告「原子力発電所における動力変圧器の長期健全性評価研究」2006年6月）。

高浜4号炉の動力変圧器（安全系）コイルのポリアミド紙平角銅線は、試験で用いた変圧器コイルの2重ガラス平角銅線に比べ熱劣化特性で優れていることから、急激な絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下の可能性は否定できない。

##### ② 現状保全

コイルの絶縁低下に対しては、定期的に絶縁抵抗測定を実施している。

##### ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、コイルの絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

#### c. 高経年化への対応

コイルの絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

### 3. 代表機器以外への展開

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

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

#### ① 代替所内電気設備変圧器

### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

#### 3.1.1 コイルの絶縁低下

コイルの絶縁物は、変圧器を運転している時には、コイルの発熱により温度が高くなるため、長期間の使用により熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

しかしながら、代表機器と同様に、コイルの絶縁物は熱劣化特性の優れた絶縁物（F種：許容最高温度155℃）であり、急激な絶縁低下の可能性は小さいと考える。

コイルの絶縁低下に対しては、絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、コイルの絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

### 3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### 3.2.1 鉄心の緩み

鉄心は珪素鋼板の薄板を積層し締付け、組み立てられているが、運転中の振動・温度変化等により締付圧力が低下し、鉄心の緩みが想定される。

しかしながら、締付ボルトには回り止めが施されており、機器点検時の目視確認で緩みは認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

#### 3.2.2 鉄心締付ボルトの腐食（全面腐食）

鉄心締付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部はメッキにより腐食を防止しており、構造が同様の代表機器において、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器点検時に代表として鉄心上部の枠締付ボルトを目視確認することにより、機器の健全性を確認している。

#### 3.2.3 取付ボルトの腐食（全面腐食）

取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、亜鉛メッキにより腐食を防止しており、メッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視によりメッキ面の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修を実施することとしている。

したがって、今後も有意な腐食が発生する可能性は小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

#### 3.2.4 基礎ボルトの腐食（全面腐食）および樹脂の劣化

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

また、ケミカルアンカには樹脂を使用しており、劣化が想定される。

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

## 3 パワーセンタ

[対象機器]

- ① パワーセンタ (安全系)

## 目次

1. 技術評価対象機器	1
2. パワーセンタ（安全系）の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	7
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	15

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されているパワーセンタの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 パワーセンタの主な仕様

機器名称 (群数)	仕様	重要度*1	使用条件			内蔵遮断器		
			運転 状態	定格 使用 電圧 (V)	周囲 温度 (°C)	投入 方式	定格 電流 (A) (最大)	遮断 電流 (kA)
パワーセンタ (安全系) (2)	気中遮断器内蔵 低圧閉鎖形 母線定格電流3,000A	MS-1、 重*2	連続	460	約25	ばね	3,000	65
						ばね	1,600	50

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. パワーセンタ（安全系）の技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 パワーセンタ（安全系）

##### (1) 構造

高浜4号炉のパワーセンタ（安全系）は、定格使用電圧460V、定格電流3,000Aの低圧閉鎖形で、2群設置されている。

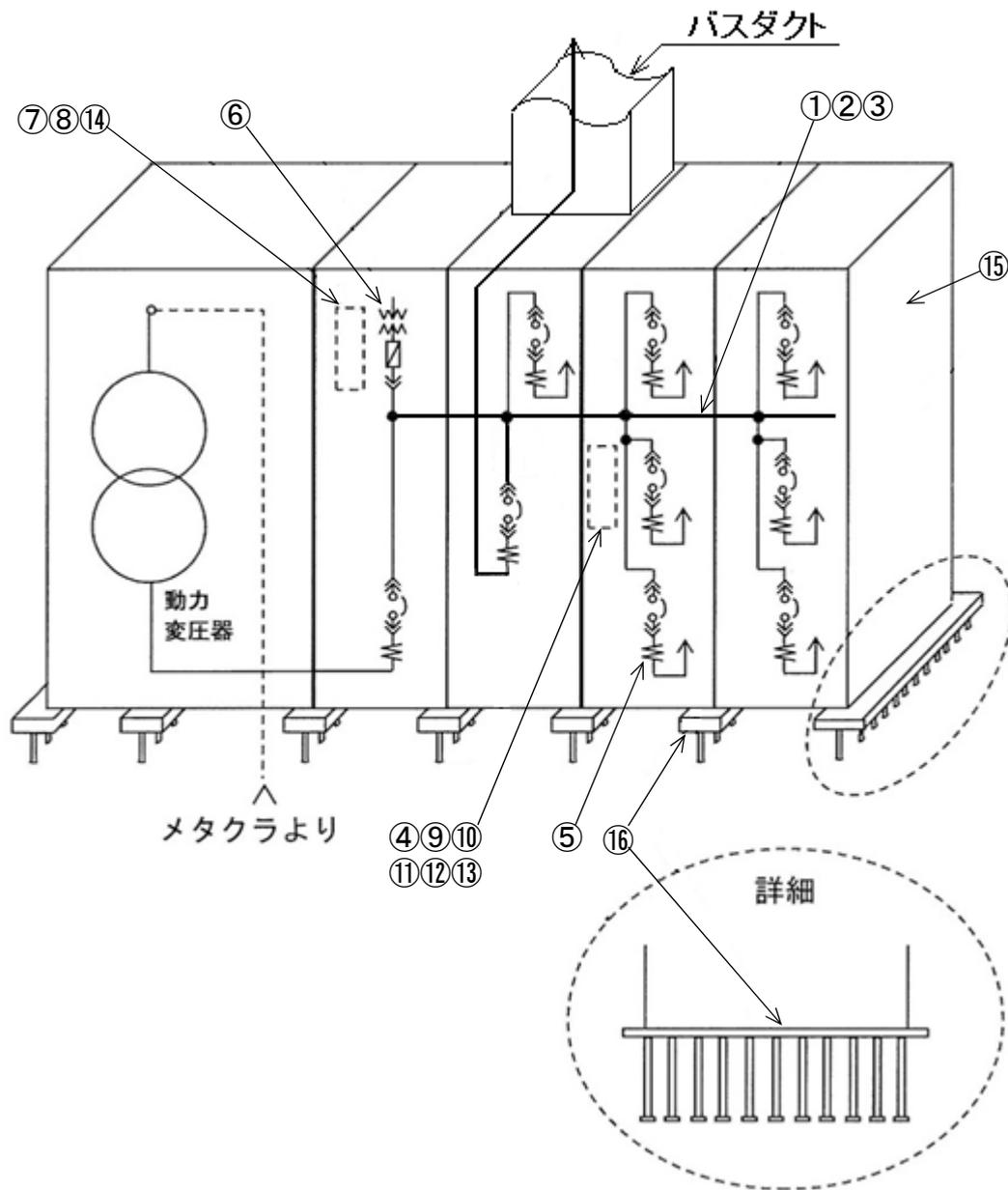
パワーセンタ（安全系）は、気中遮断器を内蔵しており、電源回路の保護、制御のために計器用変流器、計器用変圧器等を収納している。

遮断器の投入は投入ばねによって行い、開放は投入時に蓄勢された開放ばねによって行う。

高浜4号炉のパワーセンタ（安全系）構成図を図2.1-1に、バスダクト構造図を図2.1-2に、気中遮断器構造図を図2.1-3に、気中遮断器操作機構構造図を図2.1-4に示す。

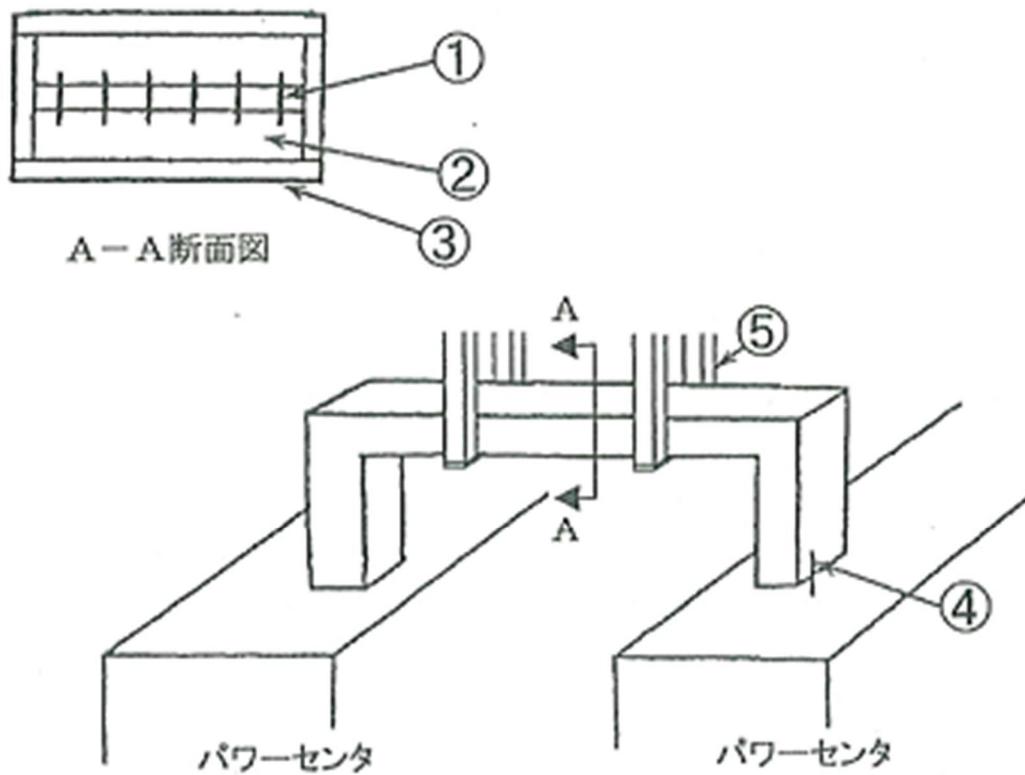
##### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉のパワーセンタ（安全系）の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



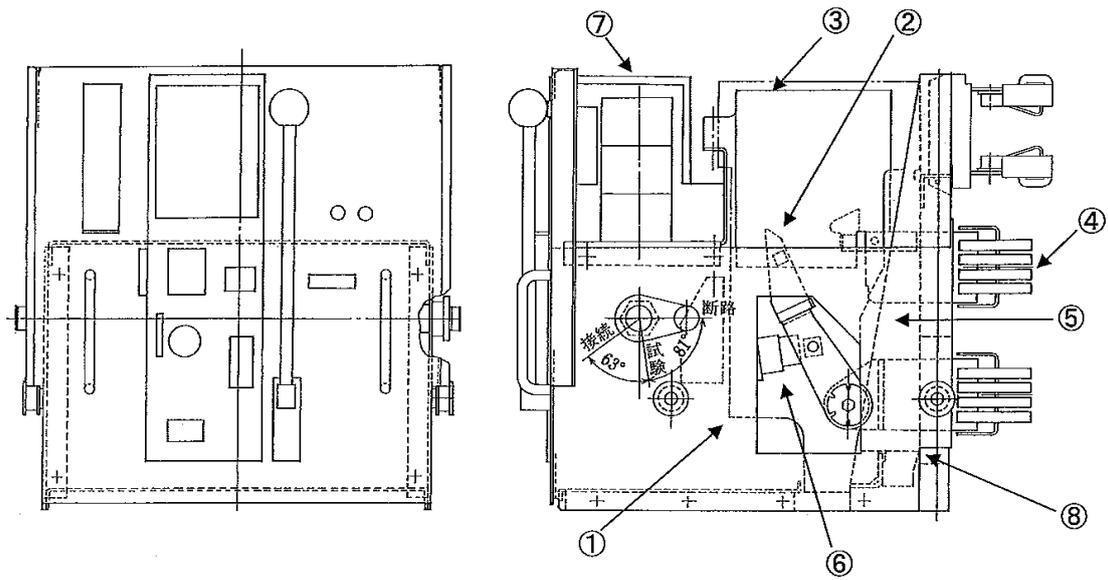
No.	部位	No.	部位
①	主回路導体	⑨	補助リレー
②	絶縁支持板	⑩	表示灯
③	支持碍子	⑪	ノーヒューズブレーカ
④	操作スイッチ	⑫	タイマ
⑤	計器用変流器	⑬	ヒューズ
⑥	計器用変圧器	⑭	指示計
⑦	保護リレー	⑮	筐体
⑧	ロックアウトリレー	⑯	埋込金物

図2.1-1 高浜4号炉 パワーセンタ (安全系) 構成図



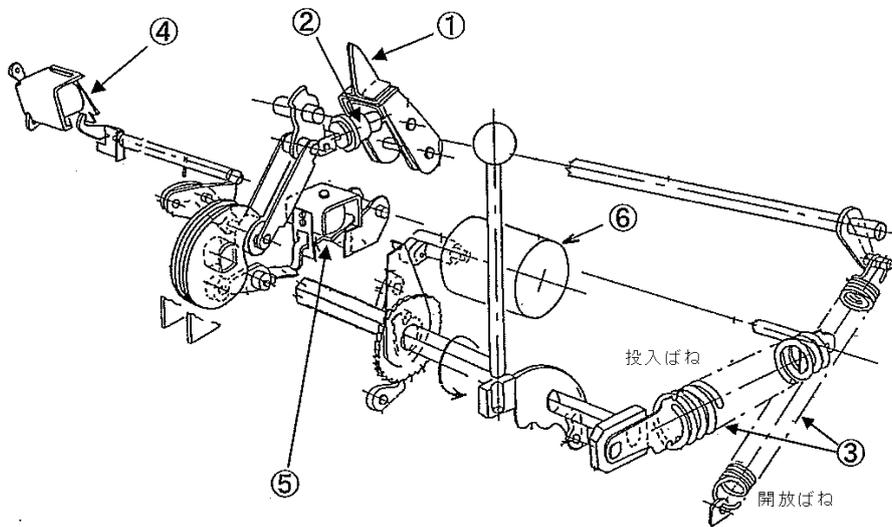
No.	部位
①	母線導体
②	絶縁支持板
③	外被
④	取付ボルト
⑤	支持具

図 2.1-2 高浜 4 号炉 パワーセンタ (安全系) バスダクト構造図



No.	部位	No.	部位
①	リンク機構	⑤	絶縁ベース
②	接触子	⑥	絶縁リンク
③	消弧室	⑦	保護リレー
④	1次ジャンクション	⑧	計器用変流器

図2.1-3 高浜4号炉 パワーセンタ（安全系） 気中遮断器構造図



No.	部位	No.	部位
①	接触子	④	引外しコイル
②	絶縁リンク	⑤	投入コイル
③	ばね	⑥	ばね蓄勢用モータ

図2.1-4 高浜4号炉 パワーセンタ（安全系） 気中遮断器操作機構構造図

表2.1-1 高浜4号炉 パワーセンタ（安全系）主要部位の使用材料

	部位	材料
遮断器	リンク機構	炭素鋼
	接触子	銀タングステン、銅
	消弧室	炭素鋼
	1次ジャンクション	銅
	絶縁ベース	ポリエステル樹脂
	絶縁リンク	ジアリルフタレート樹脂
	保護リレー（静止形）	消耗品・定期取替品
	計器用変流器	銅、エポキシ樹脂（B種絶縁）
	ばね	ばね用オイルテンパー線、ピアノ線
	引外しコイル	銅、ホルマール樹脂（A種絶縁）
	投入コイル	銅、ホルマール樹脂（A種絶縁）
	ばね蓄勢用モータ	銅、ポリアミドイミド（H種絶縁）
バスダクト	母線導体	アルミニウム合金
	絶縁支持板	フェノール樹脂
	外被	炭素鋼
盤構成部品	主回路導体	アルミニウム合金
	絶縁支持板	フェノール樹脂
	支持碍子	エポキシ樹脂
	操作スイッチ	銅、銀他
	計器用変流器	銅、エポキシ樹脂（A種絶縁）
	計器用変圧器	銅、エポキシ樹脂およびクラフト紙（A種絶縁）
	保護リレー（静止形）	消耗品・定期取替品
	ロックアウトリレー	消耗品・定期取替品
	補助リレー	消耗品・定期取替品
	表示灯	消耗品・定期取替品
	ノーヒューズブレーカ	消耗品・定期取替品
	タイマ	消耗品・定期取替品
	ヒューズ	消耗品・定期取替品
	指示計	消耗品・定期取替品
支持組立品	筐体	炭素鋼
	支持具	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼
	埋込金物	炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 パワーセンタ（安全系）の使用条件

周囲温度	約25℃*1
短時間電流強度	42kA 1秒
	65kA 1秒
主回路温度上昇値（最大）	65℃
定格使用電圧	460V

\*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

パワーセンタ（安全系）の機能である給電機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 遮断機能の維持
- ② 通電・絶縁機能の維持
- ③ 機器の保護・監視機能の維持
- ④ 機器の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

パワーセンタ（安全系）について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1のとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

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

#### (1) ばね蓄勢用モータの絶縁低下

遮断器のばね蓄勢用モータの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

#### (2) 計器用変圧器の絶縁低下

計器用変圧器の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

#### (1) リンク機構の固着

遮断器のリンク機構は、長期使用に伴いグリスが固化し、動作特性の低下が想定される。

しかしながら、注油、各部の目視確認、動作試験を実施することで、機器の健全性を維持している。

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

#### (2) 接触子の摩耗

遮断器の接触子は、遮断器の開閉動作に伴う電流開閉により、摩耗が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認および寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(3) 消弧室の汚損

遮断器の消弧室は、遮断器の電流遮断動作に伴う消弧室でのアーク消弧により汚損した場合、消弧性能の低下が想定される。

しかしながら、機器点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(4) 1次ジャンクションの摩耗

遮断器の1次ジャンクションは、遮断器の盤からの出し入れに伴う摩耗が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(5) 絶縁ベース、絶縁リンク、絶縁支持板および支持碍子の絶縁低下

絶縁ベース、絶縁リンク、絶縁支持板および支持碍子は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、絶縁リンク等は屋内のダクトおよび筐体に内蔵しているため、塵埃、湿分等が付着しにくい環境にある。

また、主回路導体の通電時の最大温度90℃に対して、絶縁リンクの耐熱温度は180℃、絶縁ベースの耐熱温度は200℃、絶縁支持板の耐熱温度は130℃、支持碍子の耐熱温度は120℃と十分余裕を持った耐熱性を有していることから、絶縁低下の可能性は小さいと考える。

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

なお、機器点検時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(6) ばねの変形（応力緩和）

遮断器のばねは投入状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

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

なお、機器点検時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 引外しコイルおよび投入コイルの絶縁低下

遮断器の引外しコイルおよび投入コイルの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、引外しコイルおよび投入コイルは屋内の筐体に内蔵しているため、塵埃、湿分等が付着しにくい環境にある。

また、引外しコイルおよび投入コイルは連続運転ではなく、作動時間も1秒以下と小さいことから、コイルの発熱による温度上昇は小さいと考えられ、使用温度に比べて、十分余裕のある絶縁種（A種：許容最高温度105℃）を選択して使用していることから、絶縁低下の可能性は小さい。

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

なお、機器点検時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(8) 主回路導体の腐食（全面腐食）

主回路導体はアルミニウム合金であり、腐食が想定される。

しかしながら、エポキシ樹脂により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(9) 母線導体の腐食（全面腐食）

母線導体はアルミニウム合金であり、腐食が想定される。

しかしながら、塗装により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(10) 操作スイッチの導通不良

操作スイッチは、浮遊塵埃の接点部分への付着による導通不良が想定される。

しかしながら、接点部分は盤内に収納されており、塵埃の付着による導通不良が発生する可能性は小さい。

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

なお、機器点検時の動作確認により、機器の健全性を確認している。

(11) 筐体および外被の腐食（全面腐食）

筐体および外被は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

(12) 支持具および取付ボルトの腐食（全面腐食）

支持具および取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、亜鉛メッキにより腐食を防止しており、メッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

(13) 埋込金物（大気接触部）の腐食（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

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

(14) 計器用変流器の絶縁低下

一次コイルと二次コイルがモールドされている形式の計器用変流器の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、一次コイルのない貫通型計器用変流器であり、二次コイルに係る電圧は低く、また、通電電流による熱的影響も小さい。

また、空調された屋内に設置されており、コイル全体がモールドされていることから塵埃による影響もごく僅かであり、絶縁低下の可能性は小さい。

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

(15) 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

表示灯は動作確認の結果に基づき取替える消耗品、保護リレー、ロックアウトリレー、補助リレー、ノーヒューズブレーカ、タイマ、ヒューズおよび指示計は定期取替品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 (1/2) 高浜4号炉 パワーセンタ (安全系) の想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性		その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
遮断機能の維持 通電・絶縁機能の維持	リンク機構		炭素鋼								△*1	*1：固着 *2：汚損 *3：変形 (応力緩和)
	接触子		銀タングステン、銅	△								
	消弧室		炭素鋼								△*2	
	1次ジャンクション		銅	△								
	絶縁ベース		ポリエステル樹脂					△				
	絶縁リンク		ジアリルフタレート樹脂					△				
	保護リレー (静止形)	◎	—									
	計器用変流器		銅、エポキシ樹脂					▲				
	ばね		ばね用オイルテンパー線、ピアノ線								△*3	
	引外しコイル		銅、ホルマール樹脂					△				
	投入コイル		銅、ホルマール樹脂					△				
	ばね蓄勢用モータ		銅、ポリアミドイミド					○				
	主回路導体		アルミニウム合金		△							
	絶縁支持板 (盤構成)		フェノール樹脂					△				
	支持碍子		エポキシ樹脂					△				
	母線導体		アルミニウム合金		△							
絶縁支持板 (バスダクト)		フェノール樹脂					△					
外被		炭素鋼		△								

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 (日常劣化管理事象)

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

表2.2-1 (2/2) 高浜4号炉 パワーセンタ（安全系）の想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
機器の保護・監視機能の維持	操作スイッチ		銅、銀他							△		*4:大気接触部の腐食 *5:コンクリート埋設部の腐食
	計器用変流器		銅、エポキシ樹脂					▲				
	計器用変圧器		銅、エポキシ樹脂、クラフト紙					○				
	保護リレー（静止形）	◎	－									
	ロックアウトリレー	◎	－									
	補助リレー	◎	－									
	表示灯	◎	－									
	ノーヒューズブレーカ	◎	－									
	タイマ	◎	－									
	ヒューズ	◎	－									
	指示計	◎	－									
機器の支持	筐体		炭素鋼		△							
	支持具		炭素鋼		△							
	取付ボルト		炭素鋼		△							
	埋込金物		炭素鋼		△ <sup>*4</sup> ▲ <sup>*5</sup>							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

## 2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

### 2.3.1 ばね蓄勢用モータの絶縁低下

#### a. 事象の説明

ばね蓄勢用モータの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下が生じる可能性がある。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

ばね蓄勢用モータは密閉構造のため、塵埃および湿分が付着しにくい環境にある。

また、モータは連続運転ではなく遮断器投入後に作動するもので、作動時間も数秒と短いことから、モータの発熱による温度上昇は小さいと考えられ、使用温度に比べて十分余裕のある絶縁種（H種：許容最高温度180℃）を使用していることから、絶縁低下の発生の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下が生じる可能性は否定できない。

##### ② 現状保全

ばね蓄勢用モータの絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることの確認を行っている。

##### ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、ばね蓄勢用モータの絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

#### c. 高経年化への対応

ばね蓄勢用モータの絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

## 2.3.2 計器用変圧器の絶縁低下

### a. 事象の説明

計器用変圧器の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁低下を起こす可能性がある。

### b. 技術評価

#### ① 健全性評価

パワーセンタの計器用変圧器のサンプリングデータ等はないが、メタクラの計器用変流器の研究結果（詳細は「電気設備の技術評価書 メタクラ計器用変流器および計器用変圧器の絶縁低下」参照）より絶縁性能に問題のないことを確認している。

したがって、パワーセンタの計器用変圧器については、短期間での急激な絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると、絶縁低下の可能性は否定できない。

#### ② 現状保全

計器用変圧器の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることを確認している。

#### ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、計器用変圧器の絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

### c. 高経年化への対応

計器用変圧器の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

## 4 コントロールセンタ

### [対象機器]

- ① 原子炉コントロールセンタ（安全系）
- ② ディーゼル発電機コントロールセンタ
- ③ 後備ヒータ分電盤
- ④ 可搬式整流器用分電盤
- ⑤ 代替所内電気設備分電盤
- ⑥ 緊急時対策所電源車切替盤
- ⑦ 緊急時対策所コントロールセンタ
- ⑧ 緊急時対策所100V主分電盤
- ⑨ A・C計器用電源用代替所内電気設備切換盤
- ⑩ B・D計器用電源用代替所内電気設備切換盤

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	3
2.1 構造、材料および使用条件 .....	3
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	6
3. 代表機器以外への展開 .....	11
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 .....	11

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜 4 号炉で使用されているコントロールセンタの主な仕様を表1-1に示す。

これらのコントロールセンタを、電圧区分および設置場所の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すコントロールセンタを電圧区分および設置場所で分類すると 1 つのグループにまとめられる。

### 1.2 代表機器の選定

このグループのコントロールセンタの中で、定格電流の大きい原子炉コントロールセンタ（安全系）を代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 コントロールセンタの主な仕様

分離基準		機器名称 (群数)	仕様	選定基準			代表機器の選定		
電圧 区分	設置 場所			重要度*1	使用条件			代表 機器	選定理由
					運転 状態	定格使用電圧 (V)	周囲温度 (℃)		
低圧	屋内	原子炉コントロールセンタ (安全系) (4)	低圧閉鎖形 定格電流800A	MS-1 重*2	連続	460	約25	◎	定格電流
		ディーゼル発電機 コントロールセンタ (2)	低圧閉鎖形 定格電流600A	MS-1	連続	460	約40		
		後備ヒータ分電盤 (4)	低圧閉鎖形 定格電流600A	MS-2	連続	460	約25		
		可搬式整流器用分電盤 (1)	低圧閉鎖形 定格電流250A	重*2	一時	460	約25		
		代替所内電気設備分電盤 (1)	低圧閉鎖形 定格電流600A	重*2	一時	460	約25		
		緊急時対策所電源車切替盤 (1)	低圧閉鎖形 定格電流800A	重*2	一時	460	約40		
		緊急時対策所コントロールセンタ (1)	低圧閉鎖形 定格電流600A	重*2	一時	460	約40		
		緊急時対策所100V主分電盤 (1)	低圧閉鎖形 定格電流600A	重*2	一時	460	約40		
		A・C計器用電源用代替所内電気 設備切替盤 (1)	低圧閉鎖形 定格電流50A	重*2	一時	460	約25		
		B・D計器用電源用代替所内電気 設備切替盤 (1)	低圧閉鎖形 定格電流50A	重*2	一時	460	約25		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下のコントロールセンタについて技術評価を実施する。

### ① 原子炉コントロールセンタ（安全系）

#### 2.1 構造、材料および使用条件

##### 2.1.1 原子炉コントロールセンタ（安全系）

###### (1) 構造

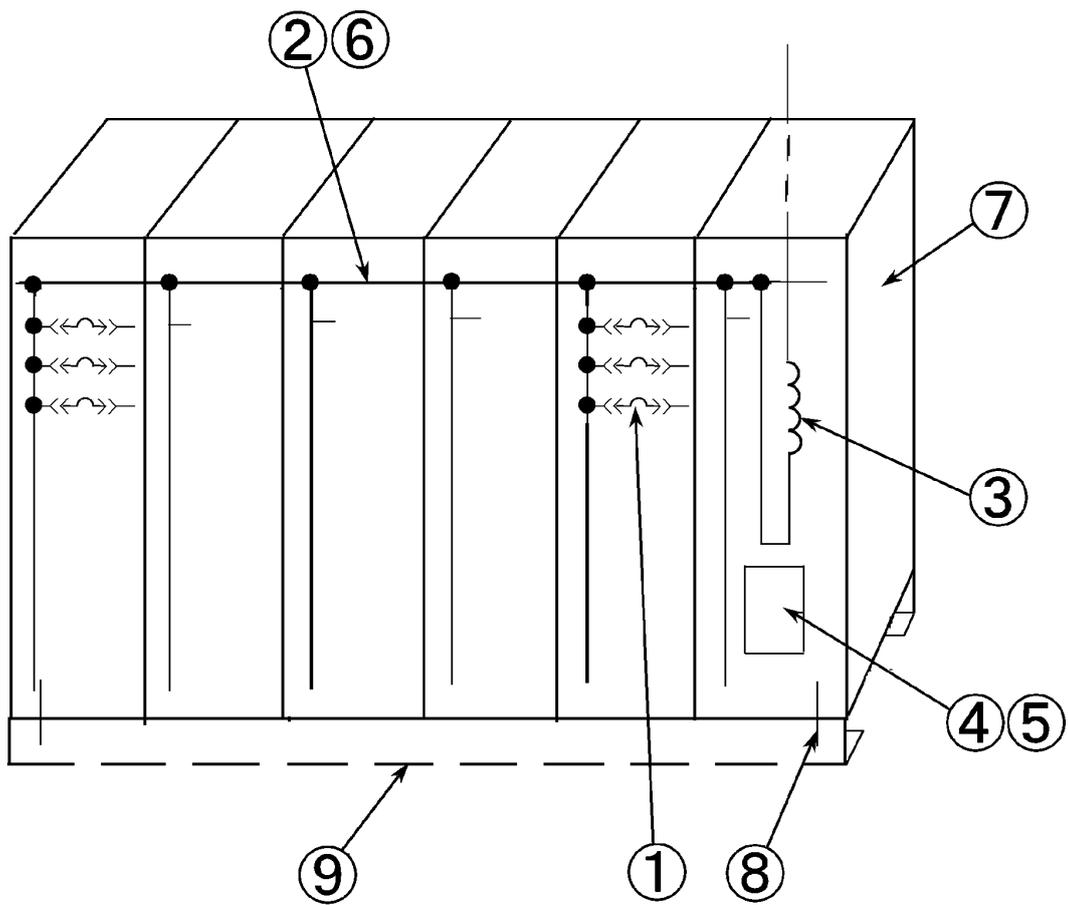
高浜4号炉の原子炉コントロールセンタ（安全系）は、定格使用電圧460V、定格電流800Aの低圧閉鎖形であり、4群設置されている。

原子炉コントロールセンタ（安全系）は、電源を開閉する装置（ユニット）、限流リアクトル等で構成されている。

高浜4号炉の原子炉コントロールセンタ（安全系）構成図を図2.1-1に示す。

###### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の原子炉コントロールセンタ（安全系）の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	開閉装置
②	主回路導体
③	限流リアクトル
④	表示灯
⑤	タイマ
⑥	母線支え
⑦	筐体
⑧	取付ボルト
⑨	埋込金物

図2.1-1 高浜4号炉 原子炉コントロールセンタ（安全系）構成図

表2.1-1 高浜4号炉 原子炉コントロールセンタ（安全系）主要部位の使用材料

部位		材料
盤内構成部品	開閉装置（ノーヒューズブレーカ、サーマルリレー、電磁接触器、ヒューズ、補助リレー、制御用変圧器）	消耗品・定期取替品
	主回路導体	銅（錫メッキ）
	限流リアクトル	アルミニウム、ガラステープ、ガラスエポキシ積層板
	表示灯	消耗品・定期取替品
	タイマ	消耗品・定期取替品
	母線支え	不飽和ポリエステル樹脂
支持組立品	筐体	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼
	埋込金物	炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 原子炉コントロールセンタ（安全系）の使用条件

周囲温度	約25℃*1
短時間電流強度	20kA 1秒
主回路温度上昇値（最大）	65℃
定格使用電圧	460V

\*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

原子炉コントロールセンタ（安全系）の機能である給電機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 遮断機能の維持
- ② 通電・絶縁機能の維持
- ③ 機器の保護・監視機能の維持
- ④ 機器の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

原子炉コントロールセンタ（安全系）について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1のとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

#### (1) 主回路導体の腐食（全面腐食）

主回路導体は銅であり、腐食が想定される。

しかしながら、錫メッキにより腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

#### (2) 限流リアクトルの腐食（全面腐食）

限流リアクトルはアルミニウムを使用しており、腐食が想定される。

しかしながら、ガラステープを巻いて絶縁し、ワニス処理により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(3) 限流リアクトルの絶縁低下

限流リアクトルは熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、限流リアクトルは筐体内に設置されているため、塵埃が付着しにくい環境にある。

また、限流リアクトルは通常運転時の温度（約100℃）に対して、十分な耐熱温度（155℃）を有していることから、絶縁低下の可能性は小さい。

さらに、限流リアクトルはガラステープで絶縁したアルミニウム導体を連続円板状に巻いたもので、各円板状コイルは樹脂製スペーサで分離し、コイルを両端からガラスエポキシ積層板から成る絶縁円板で挟むとともに、筐体等とは十分な離隔距離を有している。

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

なお、機器点検時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(4) 母線支えの絶縁低下

主回路導体を支持する母線支えは有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、母線支えは屋内の筐体に内蔵しているため、塵埃、湿分等が付着しにくい環境にある。

また、主回路導体の通電時の最大温度105℃に対して、母線支えの耐熱温度は130℃と十分余裕を持った耐熱性を有していることから、絶縁低下の可能性は小さい。

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

なお、機器点検時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(5) 筐体の腐食（全面腐食）

筐体は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

(6) 取付ボルトの腐食（全面腐食）

取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は亜鉛メッキにより腐食を防止しており、メッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

(7) 埋込金物（大気接触部）の腐食（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

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

(8) 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

表示灯は動作確認の結果に基づき取替える消耗品、開閉装置およびタイマは定期取替品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 高浜4号炉 原子炉コントロールセンタ（安全系）の想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性		その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
遮断機能の維持 通電・絶縁機能の維持	開閉装置（ノーヒューズブレーカ、サーマルリレー、電磁接触器、ヒューズ、補助リレー、制御用変圧器）	◎	—									*1: 大気接触部の腐食 *2: コンクリート埋設部の腐食
	主回路導体		銅（錫メッキ）		△							
機器の保護・監視機能の維持	限流リアクトル		アルミニウム、ガラステープ、ガラスエポキシ積層板		△			△				
	表示灯	◎	—									
	タイマ	◎	—									
機器の支持	母線支え		不飽和ポリエステル樹脂					△				
	筐体		炭素鋼		△							
	取付ボルト		炭素鋼		△							
	埋込金物		炭素鋼		△ <sup>*1</sup> ▲ <sup>*2</sup>							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

### 3. 代表機器以外への展開

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

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

- ① ディーゼル発電機コントロールセンタ
- ② 後備ヒータ分電盤
- ③ 可搬式整流器用分電盤
- ④ 代替所内電気設備分電盤
- ⑤ 緊急時対策所電源車切替盤
- ⑥ 緊急時対策所コントロールセンタ
- ⑦ 緊急時対策所100V主分電盤
- ⑧ A・C計器用電源用代替所内電気設備切換盤
- ⑨ B・D計器用電源用代替所内電気設備切換盤

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

##### 3.1.1 主回路導体の腐食（全面腐食）[共通]

主回路導体は銅であり、腐食が想定される。

しかしながら、錫メッキにより腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

##### 3.1.2 母線支えの絶縁低下[共通]

これらの母線支えの耐熱温度や使用環境等は代表機器と同様であることから、絶縁低下の可能性は小さい。

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

なお、機器の動作確認または絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.3 筐体およびチャンネルベースの腐食（全面腐食）[共通]

筐体およびチャンネルベースは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

### 3.1.4 取付ボルトの腐食（全面腐食）[共通]

取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は亜鉛メッキにより腐食を防止しており、メッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

### 3.1.5 埋込金物（大気接触部）の腐食（全面腐食）[ディーゼル発電機コントロールセンタ、後備ヒータ分電盤、緊急時対策所電源車切替盤、緊急時対策所コントロールセンタ、緊急時対策所100V主分電盤]

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

### 3.1.6 基礎ボルトの腐食（全面腐食）および樹脂の劣化[基礎ボルトを含む機器共通]

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

また、ケミカルアンカには樹脂を使用しており、劣化が想定される。

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

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

3.1.7 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）[ディーゼル発電機コントロールセンタ、後備ヒータ分電盤、緊急時対策所電源車切替盤、緊急時対策所コントロールセンタ、緊急時対策所100V主分電盤]

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

# 高浜発電所 4 号炉

## タービン設備の技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

関西電力株式会社

高浜4号炉のタービン設備のうち、評価対象機器である安全重要度分類審査指針におけるクラス1、2の機器、高温・高圧の環境下にあるクラス3の機器および常設重大事故等対処設備に属する機器を選定した。本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考ええる。

これらの一覧表を表1に、機能を表2に示す。

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

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

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

本評価書ではタービンおよび付属機器の型式等を基に、以下の6つに分類している。

- 1 高圧タービン
- 2 低圧タービン
- 3 主油ポンプ
- 4 タービン調速装置
- 5 タービン動補助給水ポンプ蒸気タービン
- 6 タービン動主給水ポンプ蒸気タービン

なお、タービン潤滑・制御油系統配管は「配管の技術評価書」にて、タービンの主要弁および一般弁は「弁の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

表1 高浜4号炉 主要なタービンおよび付属機器

型式	機器名称 (台数)	重要度*1	
タービン	高压タービン(1)	高*2	
	低压タービン(3)	高*2	
	付属機器	主油ポンプ(1)	高*2
		タービン調速装置(1)	高*2
	タービン動補助給水ポンプ蒸気タービン(1)	MS-1、重*3	
	タービン動主給水ポンプ蒸気タービン(2)	高*2	

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

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

表2 高浜4号炉 主要なタービンおよび付属機器の機能

機器名称	機能
高压タービン	発電を行うため発電機を駆動する。
低压タービン	
主油ポンプ	タービン運転中に必要な潤滑油および制御油をタービン潤滑油・制御油系統へ供給する。
タービン調速装置	タービンの回転速度を制御するとともにタービンに異常が発生した場合に安全にタービンを停止する。
タービン動補助給水ポンプ 蒸気タービン	事故時等の炉心停止後初期の炉心崩壊熱を除去するため、補助給水を蒸気発生器2次側へ供給する補助給水ポンプを駆動する。
タービン動主給水ポンプ 蒸気タービン	主蒸気によってタービンを回転し、タービン動主給水ポンプを駆動する。

# 1 高圧タービン

[対象機器]

- ① 高圧タービン

## 目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 高圧タービンの技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	8

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されている高圧タービンの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 高圧タービンの主な仕様

機器名称 (台数)	仕様 (出力(kW)× 定格回転数 (rpm))	重要度*1	使用条件			
			運転状態	最高 使用圧力*3 (MPa[gage])	最高 使用温度*3 (°C)	湿り度*3 (%)
高圧タービン (1)	870,000*4 ×1,800	高*2	連続	約7.5	約291	約0.4

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

\*3：主蒸気管の蒸気条件。

\*4：低圧タービンとの合計出力を示す。

## 2. 高圧タービンの技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### (1) 構造

高浜4号炉の高圧タービンは複流型タービンであり、1台設置されている。

蒸気はノズル室に接続されている4本の主蒸気入口管より高圧タービンに流入し、ノズル室の中央で二つに分かれ、車室より排気される。

車室は炭素鋼鋳鋼製であり、水平継手面にて上下分割され、ボルトにより締め付けられている。また、ノズル室は炭素鋼鋳鋼製であり、車室に溶接されている。

静翼はステンレス鋼製であり、水平部で車室に支持されている翼環に固定されている。炭素鋼鋳鋼を使用している翼環の内径面は流れ加速型腐食を防止するため、ステンレス鋼の肉盛りがなされている。

また、翼環は上下のラジアルピンによってガイドされている。

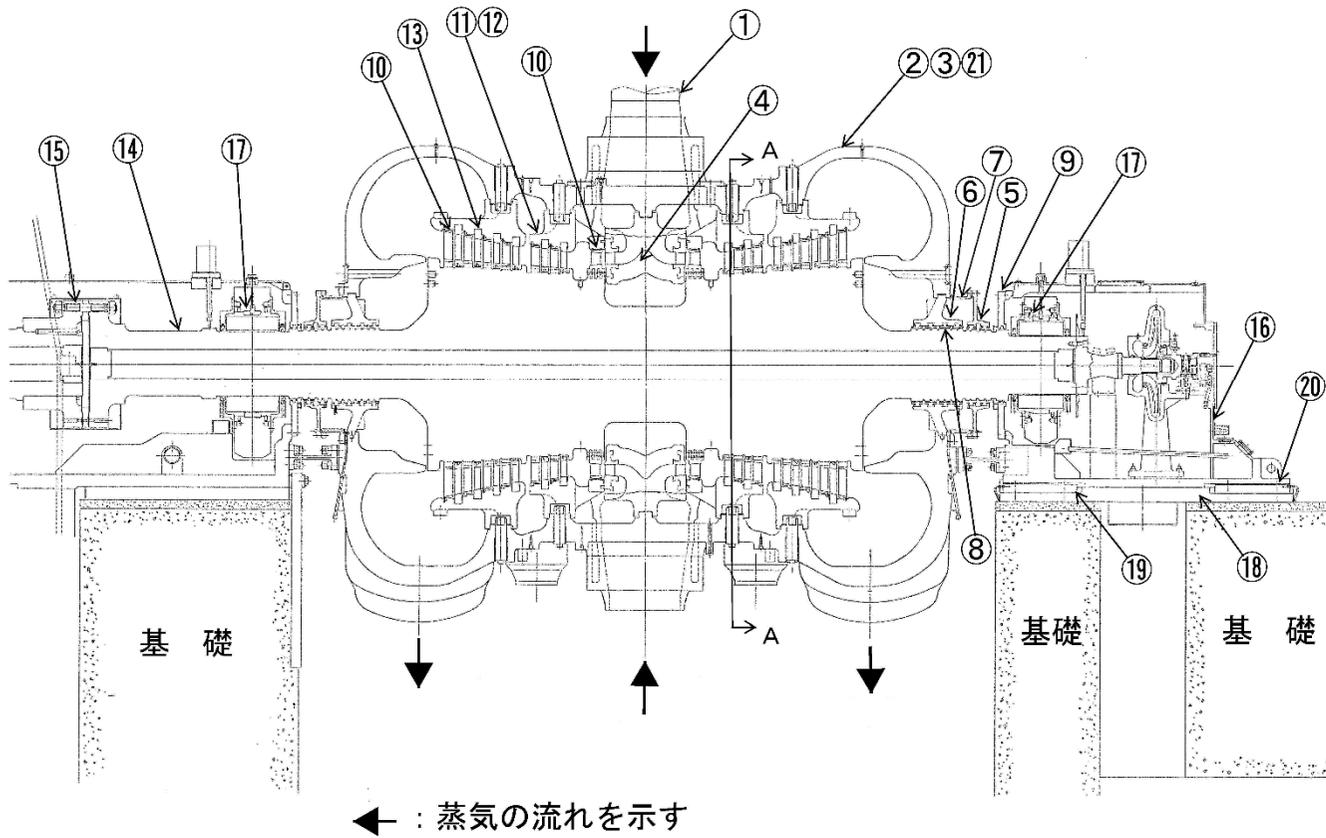
車軸には低合金鋼を使用しており、2個のジャーナル軸受により支えられている。

車室両端面の車軸貫通部にはアウターグランドおよびインナーグランド本体が設けられており、多数のシールストリップを装備したグランドシールリングにより蒸気流出を防いでいる。

高浜4号炉の高圧タービンの構造図を図2.1-1～図2.1-4に示す。

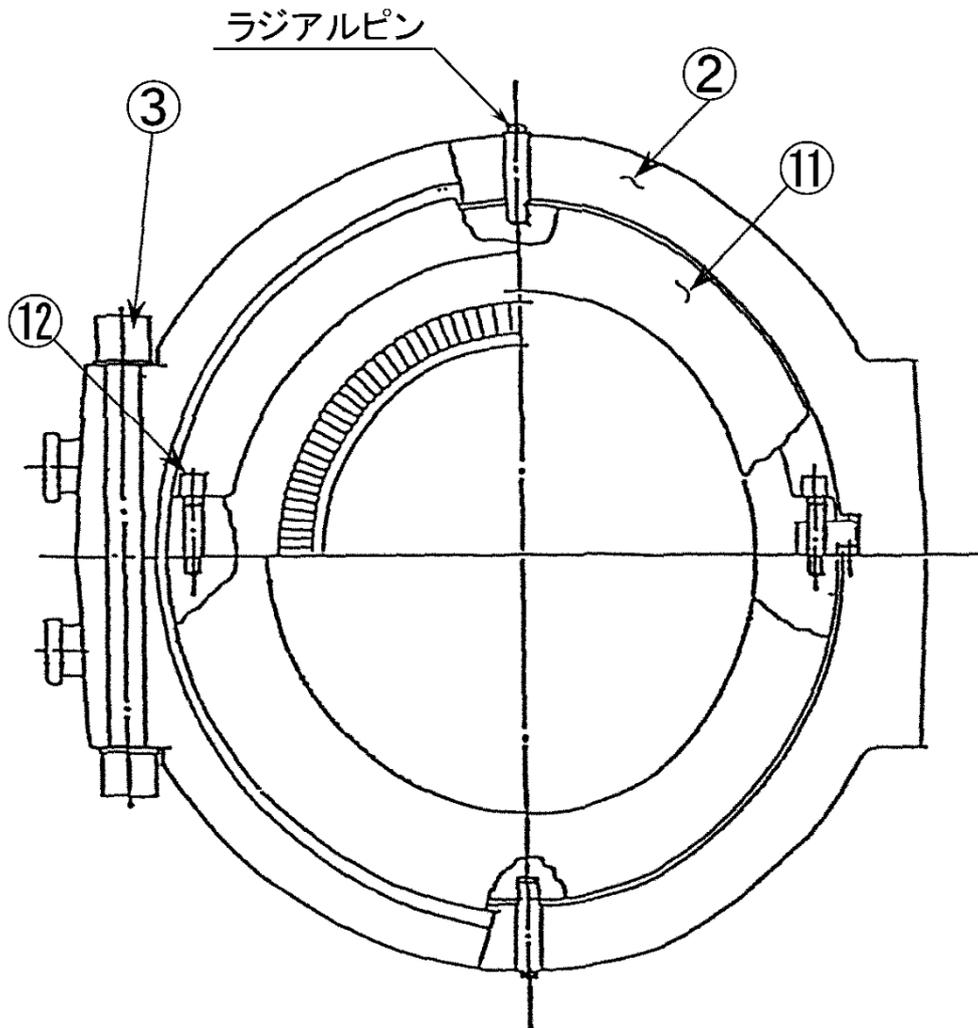
#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の高圧タービンの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



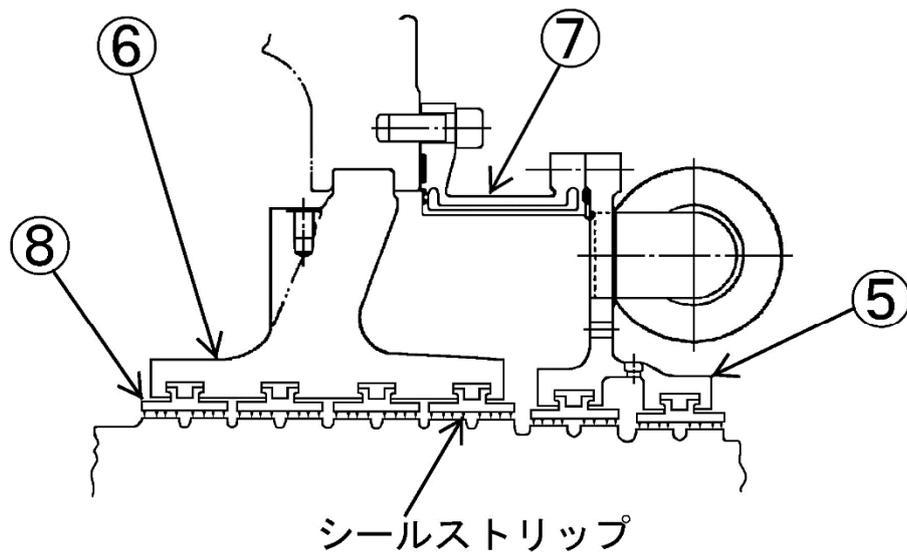
No.	部位
①	主蒸気入口管
②	車室
③	車室ボルト
④	ノズル室
⑤	アウターグランド本体
⑥	インナーグランド本体
⑦	グランドダイヤフラムリング
⑧	グランドシールリング
⑨	油止輪
⑩	動翼
⑪	翼環
⑫	翼環ボルト
⑬	静翼
⑭	車軸
⑮	カップリングボルト
⑯	軸受台
⑰	ジャーナル軸受 (すべり)
⑱	台板
⑲	キー
⑳	基礎ボルト
㉑	車室支えボルト

図2.1-1 高浜4号炉 高圧タービン構造図



No.	部位
②	車室
③	車室ボルト
⑪	翼環
⑫	翼環ボルト

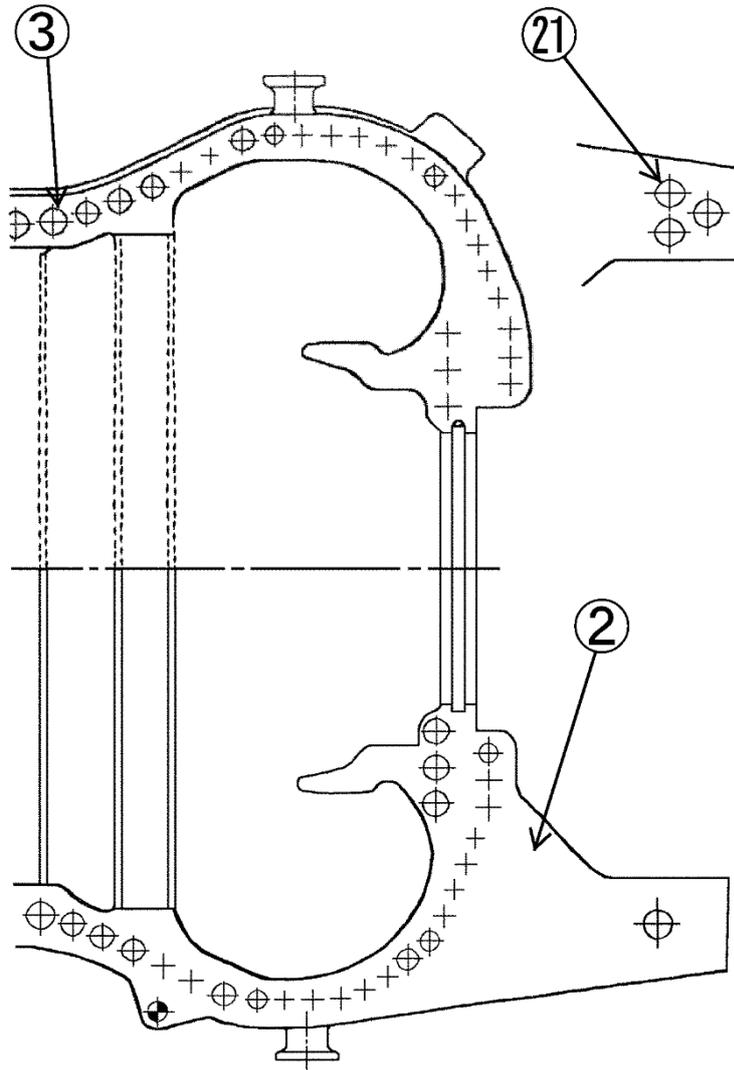
図2.1-2 高浜4号炉 高圧タービン車室、翼環構造図 (図2.1-1 A-A断面図)



高圧タービン車軸

No.	部位
⑤	アウターグランド本体
⑥	インナーグランド本体
⑦	グランドダイヤフラムリング
⑧	グランドシールリング

図2.1-3 高浜4号炉 高圧タービン  
アウターグランドおよびインナーグランド本体構造図



No.	部位
②	車室
③	車室ボルト
②①	車室支えボルト

図2.1-4 高浜4号炉 高圧タービン  
車室、車室ボルト、車室支えボルト構造図

表2.1-1 高浜4号炉 高圧タービン主要部位の使用材料

部位	材料
主蒸気入口管	炭素鋼
車室	炭素鋼鋳鋼
車室ボルト	低合金鋼
ノズル室	炭素鋼鋳鋼
アウターグラウンド本体	炭素鋼鋳鋼
インナーグラウンド本体	ステンレス鋼鋳鋼
グラウンドダイヤフラムリング	炭素鋼
グラウンドシールリング	消耗品・定期取替品
油止輪	炭素鋼
動翼	ステンレス鋼
翼環	炭素鋼鋳鋼 (ステンレス鋼肉盛)
翼環ボルト	低合金鋼
静翼	ステンレス鋼
車軸	低合金鋼
カップリングボルト	低合金鋼
軸受台	炭素鋼
ジャーナル軸受 (すべり)	炭素鋼+ホワイトメタル
台板	炭素鋼
キー	低合金鋼
基礎ボルト	炭素鋼
車室支えボルト	低合金鋼

表2.1-2 高浜4号炉 高圧タービンの使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa [gage]
最高使用温度	約291℃
定格回転数	1,800rpm
内部流体	湿り蒸気

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

高圧タービンの機能である発電機駆動機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 発電機駆動力の確保
- ③ 機器の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) 主蒸気入口管および車室の外表面からの腐食（全面腐食）

主蒸気入口管および車室は炭素鋼または炭素鋼鋳鋼であり、外表面からの腐食が想定される。

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

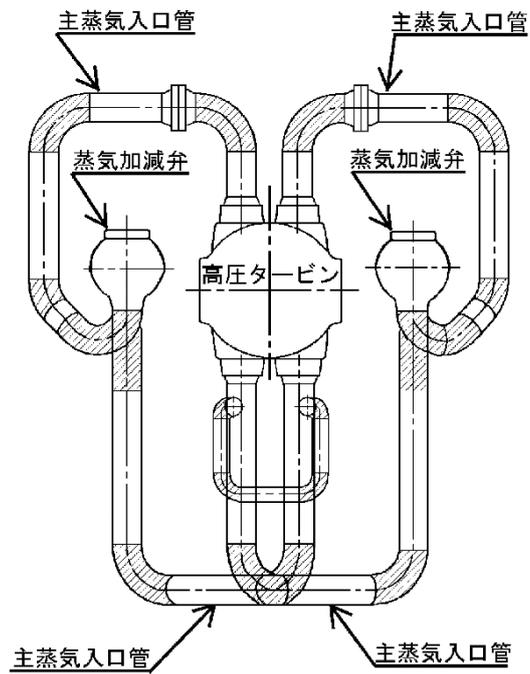
また、巡視点検や定検時等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

#### (2) 主蒸気入口管、車室およびノズル室の腐食（流れ加速型腐食）

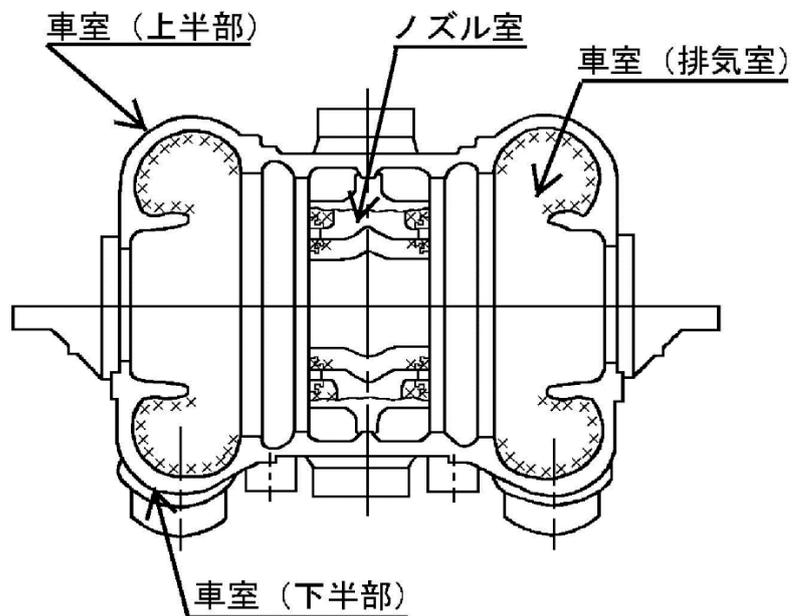
主蒸気入口管、車室およびノズル室は、炭素鋼または炭素鋼鋳鋼であり、湿り蒸気流に常時さらされているため、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

主蒸気入口管、車室およびノズル室の流れ加速型腐食発生想定部位をそれぞれ図2.2-1および図2.2-2に示す。



//// : 流れ加速型腐食発生想定部位

図2.2-1 高浜4号炉 高圧タービン  
主蒸気入口管の流れ加速型腐食発生想定部位 (概念図)



XXXX : 流れ加速型腐食発生想定部位

図2.2-2 高浜4号炉 高圧タービン  
車室、ノズル室の流れ加速型腐食発生想定部位 (概念図)

主蒸気入口管等については、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

流れ加速型腐食による減肉の進行程度は物理的因子である流速、湿り度、渦流の発生の有無等、また、化学的因子である水質、温度等により影響されるが、それらの諸条件は機器単位で異なっていると考えられ、一律に流れ加速型腐食について正確に定量的な予測を行うことは困難である。

しかしながら、主蒸気入口管の流れ加速型腐食については「2次系配管肉厚の管理指針」に基づき、超音波探傷検査による肉厚測定を実施し、肉厚測定結果に基づく余寿命評価から次回測定または取替時期を設定している。

また、ノズル室の外面および車室については分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

### (3) 主蒸気入口管および車室の疲労割れ

主蒸気入口管および車室は、起動・停止および負荷変化時に発生する熱応力により、疲労割れが想定される。

しかしながら、有意な応力変動を受けない構造となっており、疲労割れが発生しがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### (4) 車室の変形

車室は大型鋳物でかつ構造が複雑であり、わずかなひずみが想定される。

しかしながら、分解点検時に水平継手面の隙間計測や当り状況の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(5) 車室ボルトの腐食（全面腐食）

車室ボルトは低合金鋼であり、フランジ面からの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) アウターグラウンド本体およびグラウンドダイヤフラムリングの外側からの腐食（全面腐食）

アウターグラウンドおよびグラウンドダイヤフラムリングは炭素鋼鋳鋼または炭素鋼であり、外側からの腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(7) アウターグラウンド本体およびグラウンドダイヤフラムリングの内側からの腐食（流れ加速型腐食）

アウターグラウンド本体およびグラウンドダイヤフラムリングはそれぞれ炭素鋼鋳鋼および炭素鋼であり、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(8) 油止輪、軸受台および台板等の腐食（全面腐食）

油止輪、軸受台および台板は炭素鋼、カップリングボルトは低合金鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、内面およびカップリングボルトについては潤滑油雰囲気で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(9) 動翼の高サイクル疲労割れ

タービン運転時に固有振動数の低い動翼群が運転中に共振に近い状態になった場合、動翼の応力集中部に高サイクル疲労割れが想定される。

1981年11月に美浜1号炉の低圧タービン第6段動翼において、高サイクル疲労割れが発生している。

しかしながら、高圧タービン動翼では流体力と共振した場合でも十分な安全率を有する設計としており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

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

なお、分解点検時の応力集中部に対する目視確認により、機器の健全性を確認している。

(10) 翼環の腐食（流れ加速型腐食）

翼環は炭素鋼鋳鋼で翼環内径面にステンレス鋼を肉盛りした構造であるが、湿り蒸気流で使用されているため、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(11) 翼環ボルトの腐食（全面腐食）

翼環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、タービン内部であり酸素濃度が低いことから、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(12) 翼環ボルトの応力腐食割れ

翼環ボルトは低合金鋼であり、応力集中部であるねじ部を有しており、湿り蒸気雰囲気で使用されているため、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、締付管理により過大な応力とならないよう管理していることから、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

また、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(13) 車軸の摩耗

車軸を支持するジャーナル軸受はすべり軸受を使用しており、車軸の摩耗が想定される。

しかしながら、強制潤滑により車軸と軸受間に潤滑油の供給を行っているため、軸受との直接接触による摩耗が発生しがたい環境であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

さらに、潤滑油とともに流入する異物についても、ストレーナや油清浄器により油の浄化を実施している。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(14) 車軸の腐食（流れ加速型腐食）

車軸は湿り蒸気雰囲気で使用しており、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、車軸は低合金鋼であり、炭素鋼に比べ優れた耐食性を有しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(15) 車軸の高サイクル疲労割れ

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

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

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

なお、分解点検時の応力集中部に対する目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(16) 車軸の応力腐食割れ

車軸は低合金鋼であり、比較的発生応力の高い翼溝部を有しており、湿り蒸気雰囲気で使用されているため、応力腐食割れが想定される。

1984年2月に、伊方1号炉の低圧タービンにおいて、片側5枚ある円板のうち上流側から2番目の第2円板翼溝部に、応力腐食割れと考えられる割れが認められた。

しかしながら、車軸には応力腐食割れに対する感受性の低い降伏応力約620MPa級の材料を使用しており、降伏応力（0.2%耐力）と応力腐食割れの発生の関係、また、一定の低ひずみ速度で荷重を加えた場合の破面観察結果からも、降伏応力約620MPa級の材料では粒界割れの破面は存在せず、応力腐食割れに対する感受性は認められなかった。

さらに、分解点検時の応力集中部に対する目視確認や磁粉探傷検査により、機器の健全性を維持している。

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

(17) ジャーナル軸受ホワイトメタルの摩耗、はく離

ジャーナル軸受のホワイトメタルは、長時間の使用による摩耗、はく離が想定される。

しかしながら、摩耗に対しては分解点検時の目視確認および車軸と軸受内面の隙間測定や軸受表面の当り幅の確認により、はく離についても分解点検時の目視確認およびホワイトメタル部の浸透探傷検査や超音波探傷検査により、機器の健全性を維持している。

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

(18) キーの摩耗

軸受台は起動・停止による温度変化により台板上をスライドするため、台板に固定されたキーの摩耗が想定される。

しかしながら、キーは低合金鋼であり、炭素鋼に比べ耐摩耗性が優れており、かつ軸受台とキーの接触面は潤滑剤が注入されており、摩耗が発生しがたい環境である。

さらに、起動・停止回数の多い火力発電所のタービンにおいても同様の構造、材料を採用しこれまで問題なく運転されており、十分な使用実績を有している。

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

なお、巡視点検等の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(19) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

(20) 車室支えボルトの腐食（全面腐食）

車室支えボルトは低合金鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検や巡視点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

#### 2.2.4 消耗品および定期取替品

グランドシールリングは、分解点検時の目視確認や隙間計測の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 高浜4号炉 高圧タービンに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	主蒸気入口管		炭素鋼		△(外面) △(内面)*1	△					*1：流れ加速型腐食 *2：変形 *3：内外面 *4：高サイクル疲労割れ *5：はく離
	車室		炭素鋼鋳鋼		△(外面) △(内面)*1	△				△*2	
	車室ボルト		低合金鋼		△						
	ノズル室		炭素鋼鋳鋼		△*1						
	アウターグラウンド本体		炭素鋼鋳鋼		△(外面) △(内面)*1						
	インナーグラウンド本体		ステンレス鋼鋳鋼								
	グラウンドダイヤフラムリング		炭素鋼		△(外面) △(内面)*1						
	グラウンドシールリング	◎	—								
	油止輪		炭素鋼		△*3						
発電機駆動力の確保	動翼		ステンレス鋼			△*4					
	翼環		炭素鋼鋳鋼 (ステンレス鋼肉盛)		△*1						
	翼環ボルト		低合金鋼		△		△				
	静翼		ステンレス鋼								
	車軸		低合金鋼	△	△*1	△*4	△				
	カップリングボルト		低合金鋼		△						
	軸受台		炭素鋼		△*3						
	ジャーナル軸受(すべり)		炭素鋼+ ホワイトメタル	△						△*5	
機器の支持	台板		炭素鋼		△						
	キー		低合金鋼	△							
	基礎ボルト		炭素鋼		△						
	車室支えボルト		低合金鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

## 2 低圧タービン

[対象機器]

- ① 低圧タービン

## 目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 低圧タービンの技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	7

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されている低圧タービンの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 低圧タービンの主な仕様

機器名称 (台数)	仕様 (出力(kW)× 定格回転数 (rpm))	重要度*1	使用条件			
			運転状態	最高 使用圧力*3 (MPa[gage])	最高 使用温度*3 (℃)	湿り度*3 (%)
低圧タービン (3)	870,000*4 ×1,800	高*2	連続	約1.4	約291	0

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

\*3：高温再熱蒸気管の蒸気条件。

\*4：高圧タービンとの合計出力を示す。

## 2. 低圧タービンの技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### (1) 構造

高浜4号炉の低圧タービンは、複流型タービンであり、3台設置されている。

蒸気は高圧タービン排気より湿分分離加熱器を経て車室中央部に流入する。流入した蒸気は中央で2つに分かれ、動翼、静翼を通過後両端の排気口から下方にある復水器に至る。

車室は外部車室、内部車室および翼環で構成され、炭素鋼および炭素鋼鋳鋼が使用されており、それぞれ水平継手面にて上下分割され、ボルトにより締め付けられている。静翼はステンレス鋼およびステンレス鋼鋳鋼製であり、上流段静翼は水平部で車室に支持されている翼環に固定されており、下流段静翼は内部車室に直接固定されている。

車軸には低合金鋼を使用しており、2個のジャーナル軸受により支えられている。

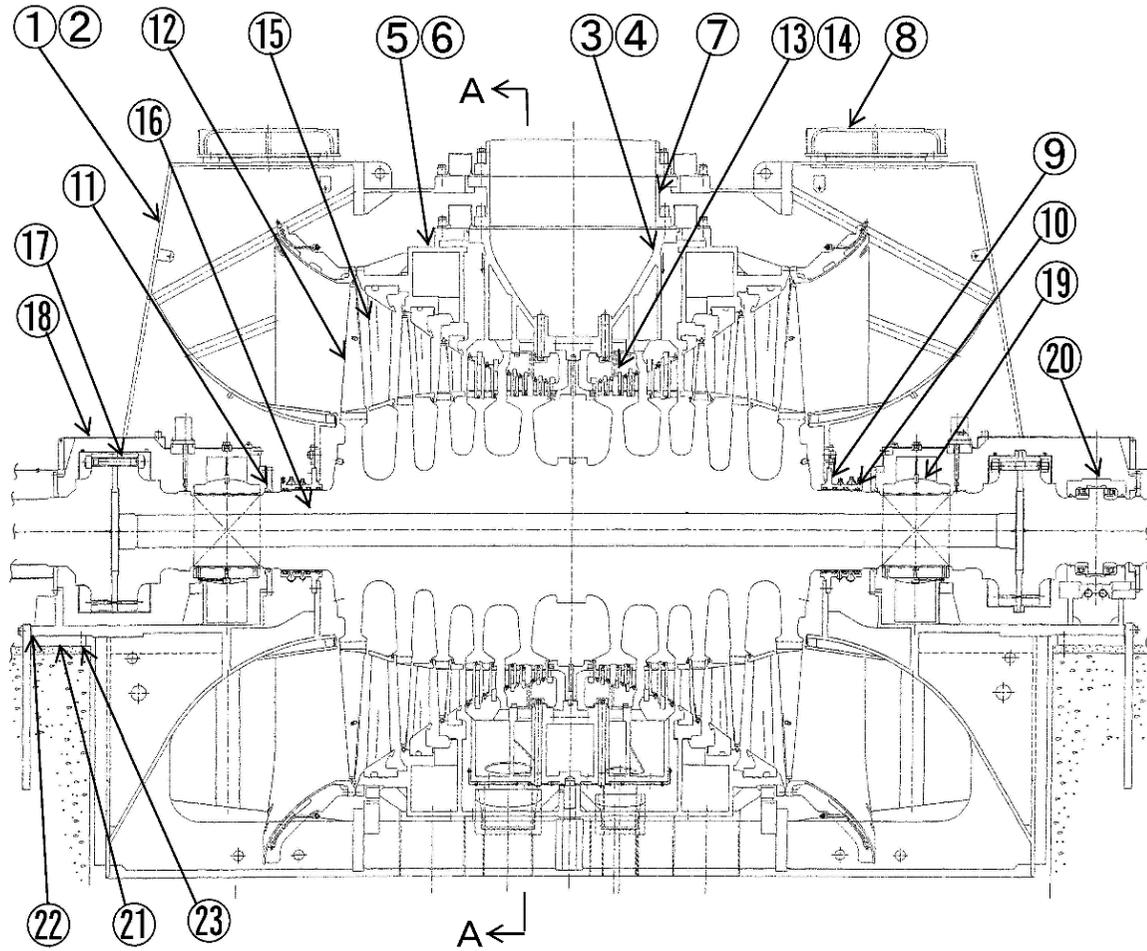
また、第1低圧タービンと第2低圧タービンとの間にスラスト軸受を設置している。

車室両端面の車軸貫通部にはグランドが設けられており、多数のグランドシールリングにより大気流入を防止している。

高浜4号炉の低圧タービンの構造図を図2.1-1～図2.1-3に示す。

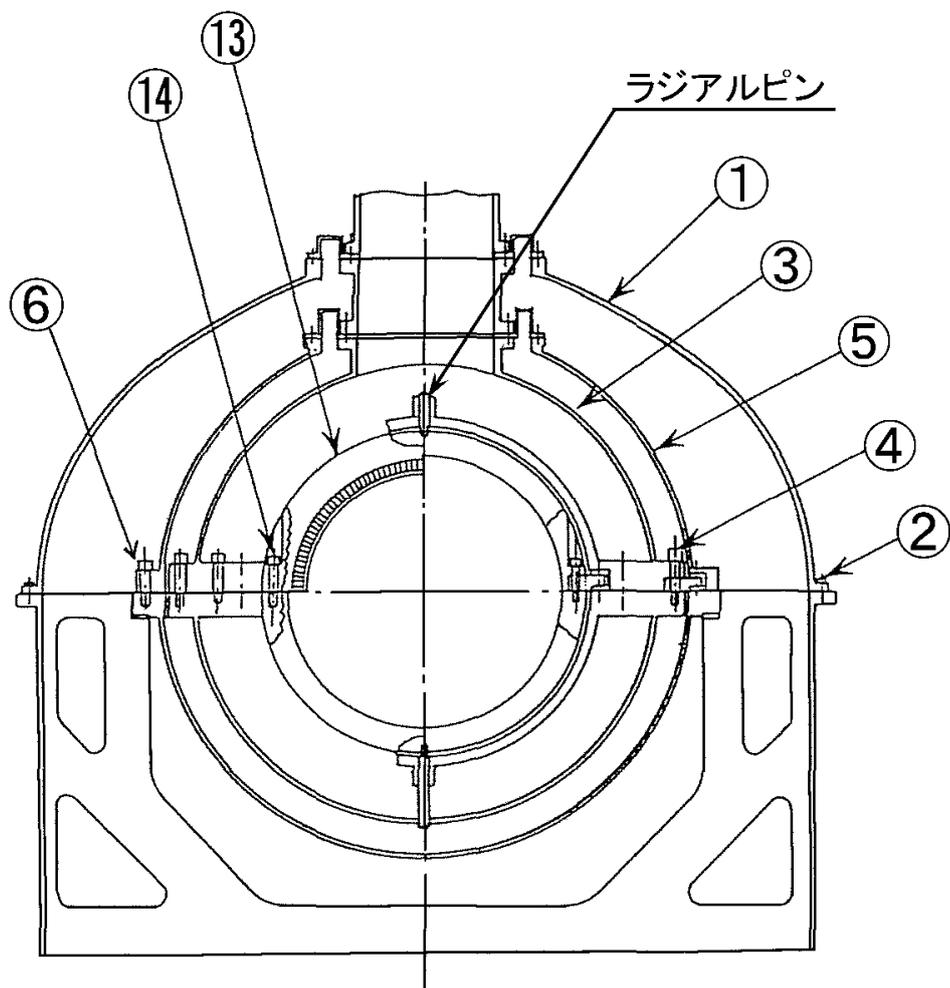
#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の低圧タービンの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



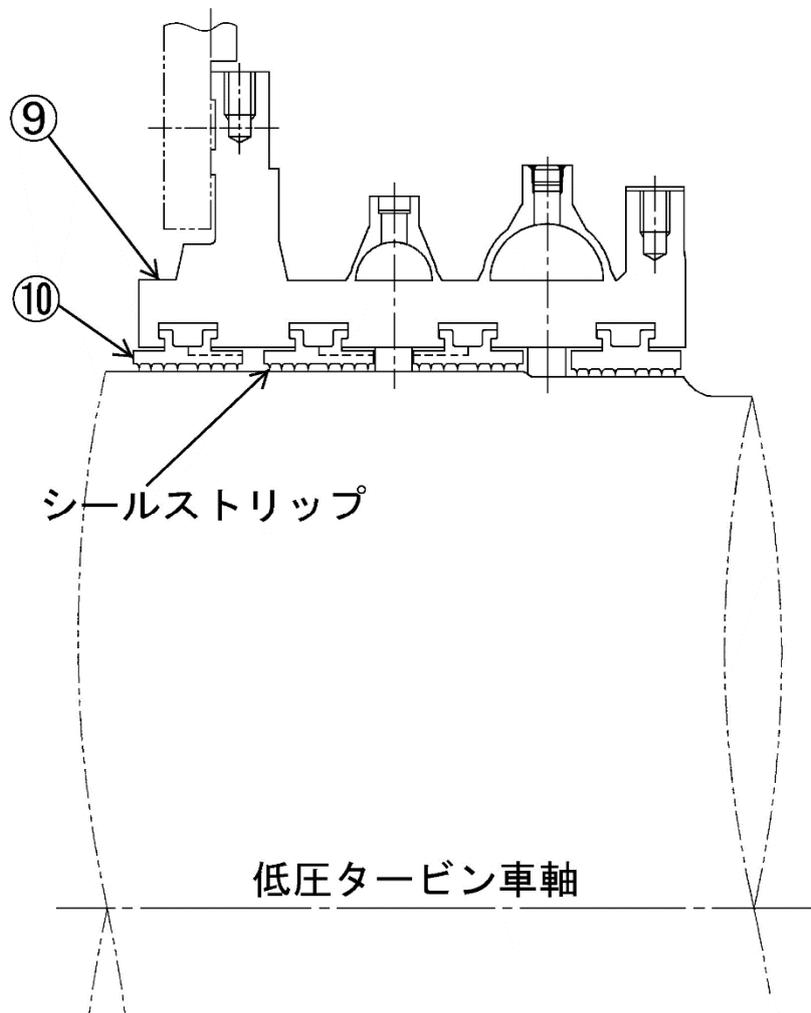
No.	部位
①	外部車室
②	外部車室ボルト
③	第1内部車室
④	第1内部車室ボルト
⑤	第2内部車室
⑥	第2内部車室ボルト
⑦	クロスオーバパイプアダプタ
⑧	大気放出板
⑨	グランド本体
⑩	グランドシールリング
⑪	油止輪
⑫	動翼
⑬	翼環
⑭	翼環ボルト
⑮	静翼
⑯	車軸
⑰	カップリングボルト
⑱	軸受箱
⑲	ジャーナル軸受 (すべり)
⑳	スラスト軸受 (すべり)
㉑	台板
㉒	キー
㉓	基礎ボルト

図2.1-1 高浜4号炉 低圧タービン構造図



No.	部位
①	外部車室
②	外部車室ボルト
③	第1内部車室
④	第1内部車室ボルト
⑤	第2内部車室
⑥	第2内部車室ボルト
⑬	翼環
⑭	翼環ボルト

図2.1-2 高浜4号炉 低圧タービン 車室、翼環構造図 (図2.1-1 A-A断面図)



No.	部位
⑨	グランド本体
⑩	グランドシールリング

図2.1-3 高浜4号炉 低圧タービン グランド本体構造図

表2.1-1 高浜4号炉 低圧タービン主要部位の使用材料

部位		材料
外部車室		炭素鋼
外部車室ボルト		低合金鋼
第1内部車室		炭素鋼
第1内部車室ボルト		低合金鋼
第2内部車室		炭素鋼
第2内部車室ボルト		低合金鋼
クロスオーバパイプアダプタ		炭素鋼
大気放出板		消耗品・定期取替品
グラント本体		炭素鋼
グラントシールリング		消耗品・定期取替品
油止輪		炭素鋼
動翼	1～6段翼	ステンレス鋼
	7～9段翼	ステンレス鋼+ステライト
翼環		炭素鋼鋳鋼
翼環ボルト		低合金鋼
静翼	1～8段翼	ステンレス鋼
	9段翼	ステンレス鋼鋳鋼
	翼根リング	炭素鋼
車軸		低合金鋼
カップリングボルト		低合金鋼
軸受箱		炭素鋼
ジャーナル軸受(すべり)		炭素鋼鋳鋼+ホワイトメタル
スラスト軸受(すべり)		炭素鋼+ホワイトメタル
台板		炭素鋼
キー		低合金鋼
基礎ボルト		炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 低圧タービンの使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa[gage]
最高使用温度	約291℃
定格回転数	1,800rpm
内部流体	過熱蒸気～湿り蒸気

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

低圧タービンの機能である発電機駆動機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 発電機駆動力の確保
- ③ 機器の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) 外部車室およびグランド本体の外表面からの腐食（全面腐食）

外部車室およびグランド本体は炭素鋼であり、外表面からの腐食が想定される。

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

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

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

#### (2) 外部車室およびグランド本体の腐食（流れ加速型腐食）

外部車室内面は湿り蒸気流に常時さらされており、グランド本体は湿り蒸気雰囲気で使用しているため、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(3) 外部車室ボルトの腐食（全面腐食）

外部車室ボルトは低合金鋼であり、フランジ面からの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

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

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

なお、分解点検の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(4) 第1内部車室および第2内部車室の腐食（流れ加速型腐食）

第1内部車室および第2内部車室は炭素鋼であり、湿り蒸気流に常時さらされているため、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(5) 第1内部車室および第2内部車室の疲労割れ

第1内部車室および第2内部車室は、起動・停止および負荷変化時に発生する入口側と出口側の蒸気温度差の変化による熱応力により、疲労割れが想定される。

しかしながら、有意な応力変動を受けない構造となっており、疲労割れが発生しがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 第1内部車室および第2内部車室の変形

第1内部車室および第2内部車室は温度差によるひずみが想定される。

しかしながら、これまでに有意な変形は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時に水平継手面の隙間計測や目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 第1内部車室ボルト、第2内部車室ボルトおよび翼環ボルトの腐食（全面腐食）

第1内部車室ボルト、第2内部車室ボルトおよび翼環ボルトは低合金鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、低圧タービン内部にあり、酸素濃度が低いことから腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(8) クロスオーバパイプアダプタの腐食（全面腐食）

クロスオーバパイプアダプタは炭素鋼であり、蒸気による腐食が想定される。

しかしながら、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(9) 油止輪、軸受箱および台板等の腐食（全面腐食）

油止輪、軸受箱および台板は炭素鋼、カップリングボルトは低合金鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、内面およびカップリングボルトについては潤滑油雰囲気で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(10) 動翼の腐食（エロージョン）

最終段動翼群は流入する湿り蒸気流に常時さらされているため、蒸気中に含まれた水滴によるエロージョンの発生が考えられ、減肉の進行によりステライトがはく離することが想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認や浸透探傷検査、打音検査により、機器の健全性を維持している。

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

(11) 動翼の高サイクル疲労割れ

タービン運転時に固有振動数の低い動翼群が運転中に共振に近い状態になった場合、動翼の応力集中部に高サイクル疲労割れが想定される。

1981年11月に美浜1号炉の低圧タービン第6段動翼において、高サイクル疲労割れが発生している。

しかしながら、低圧タービン動翼では流体力と共振した場合でも十分な安全率を有する設計としており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

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

なお、分解点検時の応力集中部に対する目視確認により、機器の健全性を確認している。

(12) 翼環の腐食（流れ加速型腐食）

翼環は蒸気に常時さらされており、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、使用環境が乾き蒸気もしくは湿り度の小さい蒸気雰囲気中で減肉が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(13) 翼環ボルトの応力腐食割れ

翼環ボルトは低合金鋼であり、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、上流段は使用環境が乾き蒸気雰囲気であり、下流段は湿り蒸気雰囲気となるが温度が低く、応力腐食割れが発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(14) 静翼（翼根リング）の腐食（流れ加速型腐食）

静翼の翼根リングは炭素鋼であり、翼根リング入口部が湿り蒸气流に常時さらされているため、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(15) 車軸の摩耗

車軸を支持する軸受は、すべり軸受を使用しており、車軸の摩耗が想定される。

しかしながら、強制潤滑により車軸と軸受間に潤滑油の供給を行っているため、軸受との直接接触による摩耗が発生しがたい環境であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

さらに、潤滑油とともに流入する異物についても、ストレーナや油清浄器により油の浄化を実施している。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(16) 車軸の腐食（流れ加速型腐食）

車軸は湿り蒸気雰囲気で使用しており、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、車軸は低合金鋼であり、炭素鋼に比べ優れた耐食性を有しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(17) 車軸の高サイクル疲労割れ

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

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

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

なお、分解点検時の応力集中部に対する目視確認や磁粉探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(18) 車軸の応力腐食割れ

車軸は低合金鋼であり、比較的発生応力の高い翼溝部を有しており、湿り蒸気雰囲気で使用されているため、応力腐食割れが想定される。

1984年2月に、伊方1号炉の低圧タービンにおいて、片側5枚ある円板のうち上流側から2番目の第2円板翼溝部に、応力腐食割れと考えられる割れが認められた。

しかしながら、車軸には応力腐食割れに対する感受性のない降伏応力約590MPa級の材料を使用しており、降伏応力（0.2%耐力）と応力腐食割れの発生の関係、また、一定の低ひずみ速度で荷重を加えた場合の破面観察結果からも、降伏応力約620MPa級の材料では粒界割れの破面は存在せず、応力腐食割れに対する感受性は認められなかった。

さらに、分解点検時の応力集中部に対する目視確認や磁粉探傷検査により、機器の健全性を維持している。

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

(19) ジャーナル軸受およびスラスト軸受のホワイトメタルの摩耗、はく離

ジャーナル軸受およびスラスト軸受のホワイトメタルは、長時間の使用による摩耗、はく離が想定される。

しかしながら、摩耗に対しては分解点検時の目視確認および車軸と軸受内面の隙間測定や軸受表面の当り幅の確認により、はく離についても分解点検時の目視確認およびホワイトメタル部の浸透探傷検査や超音波探傷検査により、機器の健全性を維持している。

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

(20) キーの摩耗

軸受箱は起動・停止による温度変化により台板上をスライドするため、台板に固定されたキーの摩耗が想定される。

しかしながら、キーは低合金鋼であり、炭素鋼に比べ耐摩耗性が優れており、かつ運転時の軸受箱の熱移動が小さく、摩耗が発生しがたい環境である。

さらに、起動・停止回数の多い火力発電所のタービンにおいても同様の構造、材料を採用しこれまで問題なく運転されており、十分な使用実績を有している。

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

なお、巡視点検等の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(21) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

2.2.4 消耗品および定期取替品

グランドシールリングは、分解点検時の目視確認および隙間計測結果に基づき取替える消耗品であり、大気放出板は分解点検時の目視確認の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 高浜4号炉 低圧タービンに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考		
				減肉		割れ		材質変化			その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化			
バウンダリの維持	外部車室		炭素鋼		△(外面) △(内面)*1						*1：流れ加速型腐食 *2：変形 *3：内外面 *4：高サイクル疲労割れ *5：はく離 *6：エロージョン	
	外部車室ボルト		低合金鋼		△							
	第1内部車室		炭素鋼		△*1	△				△*2		
	第1内部車室ボルト		低合金鋼		△							
	第2内部車室		炭素鋼		△*1	△				△*2		
	第2内部車室ボルト		低合金鋼		△							
	クロスオーバーパイプアダプタ		炭素鋼		△							
	大気放出板	◎	—									
	グラウンド本体		炭素鋼		△(外面) △(内面)*1							
	グラウンドシールリング	◎	—									
油止輪		炭素鋼		△*3								
発電機駆動力の確保	動翼		ステンレス鋼＋ステライト		△*6	△*4						
	翼環		炭素鋼鋳鋼		△*1							
	翼環ボルト		低合金鋼		△		△					
	静翼	翼		ステンレス鋼、ステンレス鋼鋳鋼								
		翼根リング		炭素鋼		△*1						
	車軸		低合金鋼	△	△*1	△*4	△					
	カップリングボルト		低合金鋼		△							
	軸受箱		炭素鋼		△*3							
	ジャーナル軸受(すべり)		炭素鋼鋳鋼＋ホワイトメタル	△						△*5		
スラスト軸受(すべり)		炭素鋼＋ホワイトメタル	△						△*5			
機器の支持	台板		炭素鋼		△							
	キー		低合金鋼	△								
	基礎ボルト		炭素鋼		△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

## 3 主油ポンプ

[対象機器]

- ① 主油ポンプ

## 目次

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

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されている主油ポンプの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 主油ポンプの主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件		
		運転状態	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (℃)
主油ポンプ (1)	高*2	連続	約2.2	約80

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. 主油ポンプの技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### (1) 構造

高浜4号炉の主油ポンプは、横置単段うず巻式ポンプであり、1台設置されている。

主油ポンプは、主油タンクより吸込んだ油を送油する。

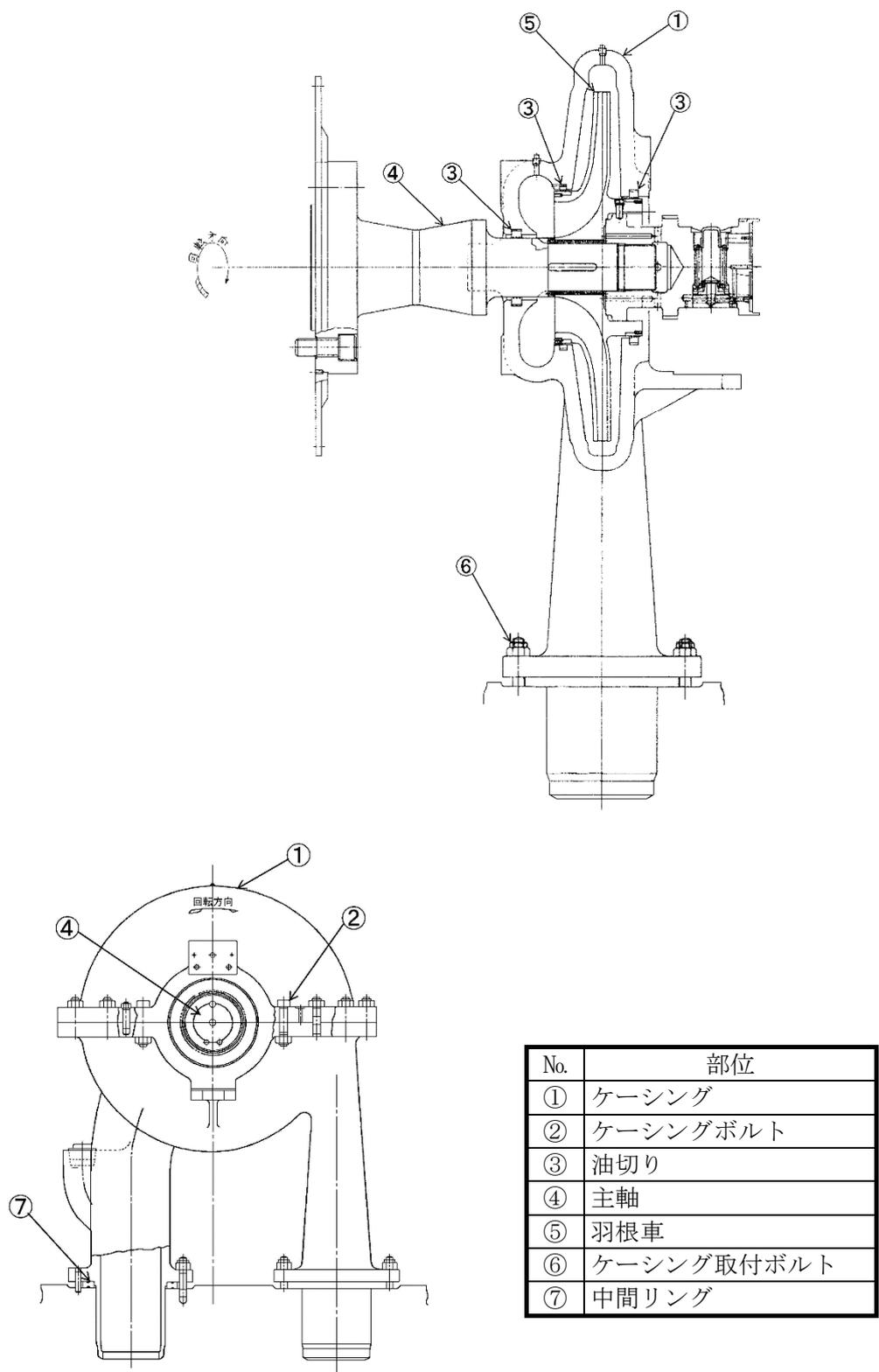
また、主軸には低合金鋼、羽根車には銅合金鋳鋼、ケーシングには炭素鋼鋳鋼をそれぞれ使用している。

主軸は高圧タービン軸に取付けられており、これに羽根車が取付けられている。ケーシングは高圧タービン軸受台に取付けられている。

高浜4号炉の主油ポンプの構造図を図2.1-1に示す。

#### (2) 材料および使用条件

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



No.	部位
①	ケーシング
②	ケーシングボルト
③	油切り
④	主軸
⑤	羽根車
⑥	ケーシング取付ボルト
⑦	中間リング

図2.1-1 高浜4号炉 主油ポンプ構造図

表2.1-1 高浜4号炉 主油ポンプ主要部位の使用材料

部位	材料
ケーシング	炭素鋼鋳鋼
ケーシングボルト	低合金鋼
油切り	消耗品・定期取替品
主軸	低合金鋼
羽根車	銅合金鋳鋼
ケーシング取付ボルト	低合金鋼
中間リング	炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 主油ポンプの使用条件

最高使用圧力	約2.2MPa[gage]
最高使用温度	約80℃
内部流体	油

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

主油ポンプの機能である送油機能を維持するためには、次の項目が必要である。

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

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 主軸およびケーシング等の腐食（全面腐食）

主軸、ケーシング、ケーシングボルト、ケーシング取付ボルトおよび中間リングは低合金鋼、炭素鋼鋳鋼および炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、主油ポンプは軸受台内に設置されており、内外面ともに油または油雰囲気で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(2) 主軸の高サイクル疲労割れ

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

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

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

なお、分解点検時の応力集中部に対する目視確認や磁粉探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(3) 羽根車の腐食（キャビテーション）

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

#### 2.2.4 消耗品および定期取替品

油切りは、分解点検時の目視確認および寸法計測の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 高浜4号炉 主油ポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
ポンプの容量一揚程確保	主軸		低合金鋼		△	△*1					*1：高サイクル疲労割れ *2：キャビテーション
	羽根車		銅合金鋳物		△*2						
バウンダリの維持	ケーシング		炭素鋼鋳鋼		△						
	ケーシングボルト		低合金鋼		△						
	油切り	◎	—								
機器の支持	ケーシング取付ボルト		低合金鋼		△						
	中間リング		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

## 4 タービン調速装置

[対象機器]

- ① タービン調速装置

## 目次

1. 技術評価対象機器	1
2. タービン調速装置の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	8

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されているタービン調速装置の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 タービン調速装置の主な仕様

機器名称(台数)	重要度 <sup>*1</sup>	使用条件		
		運転状態	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
タービン調速装置(1)	高 <sup>*2</sup>	連続	約16.2	約75

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. タービン調速装置の技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### (1) 構造

高浜4号炉のタービン調速装置は、電気油圧式であり、EHガバナと称し、タービン軸から電気信号として検出した回転数により、各弁作動用のアクチュエータの開度を調整するための高圧油を供給する。

高浜4号炉のタービン調速装置の構造図を図2.1-1～図2.1-4に示す。

#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉のタービン調速装置の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

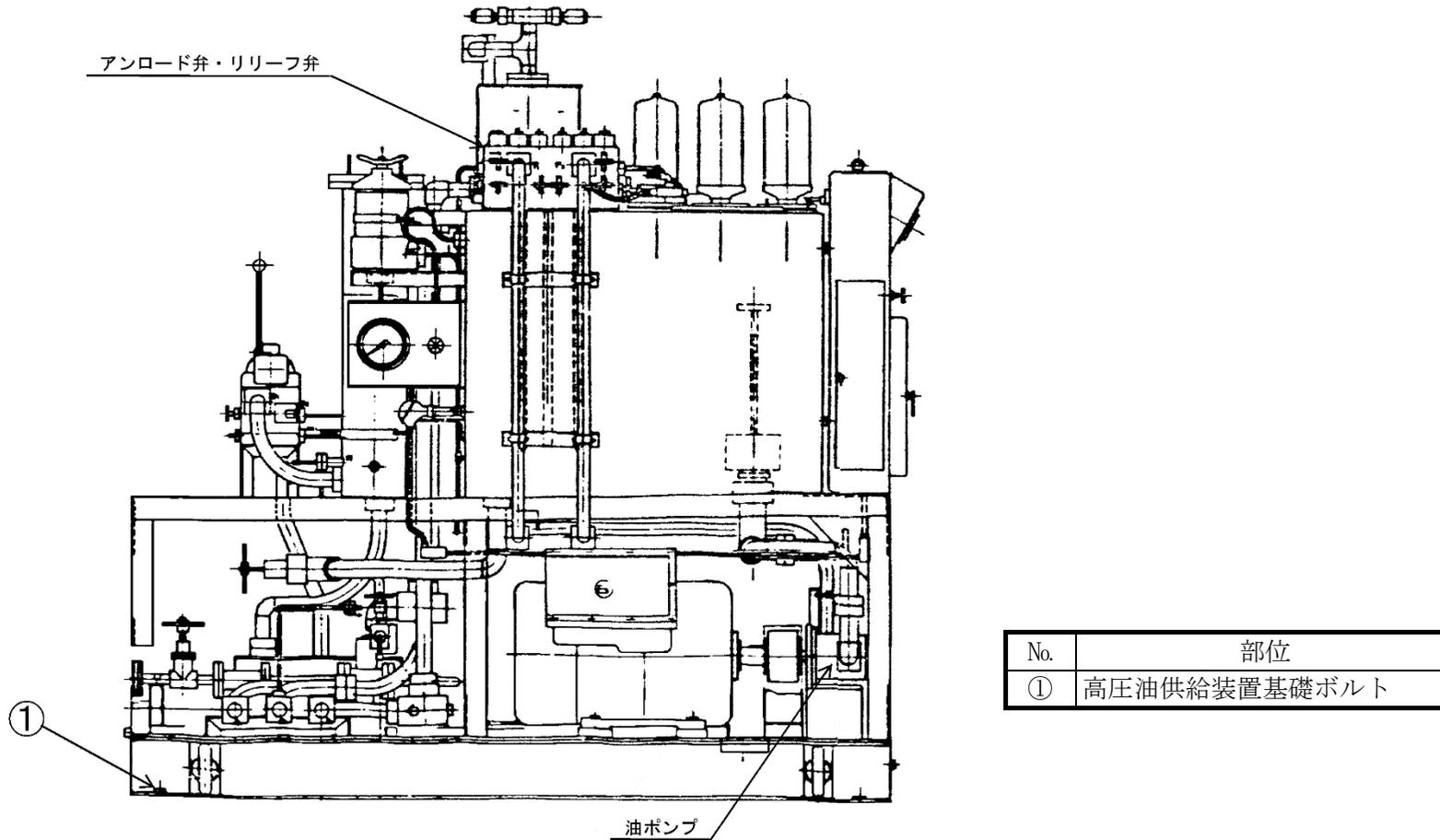
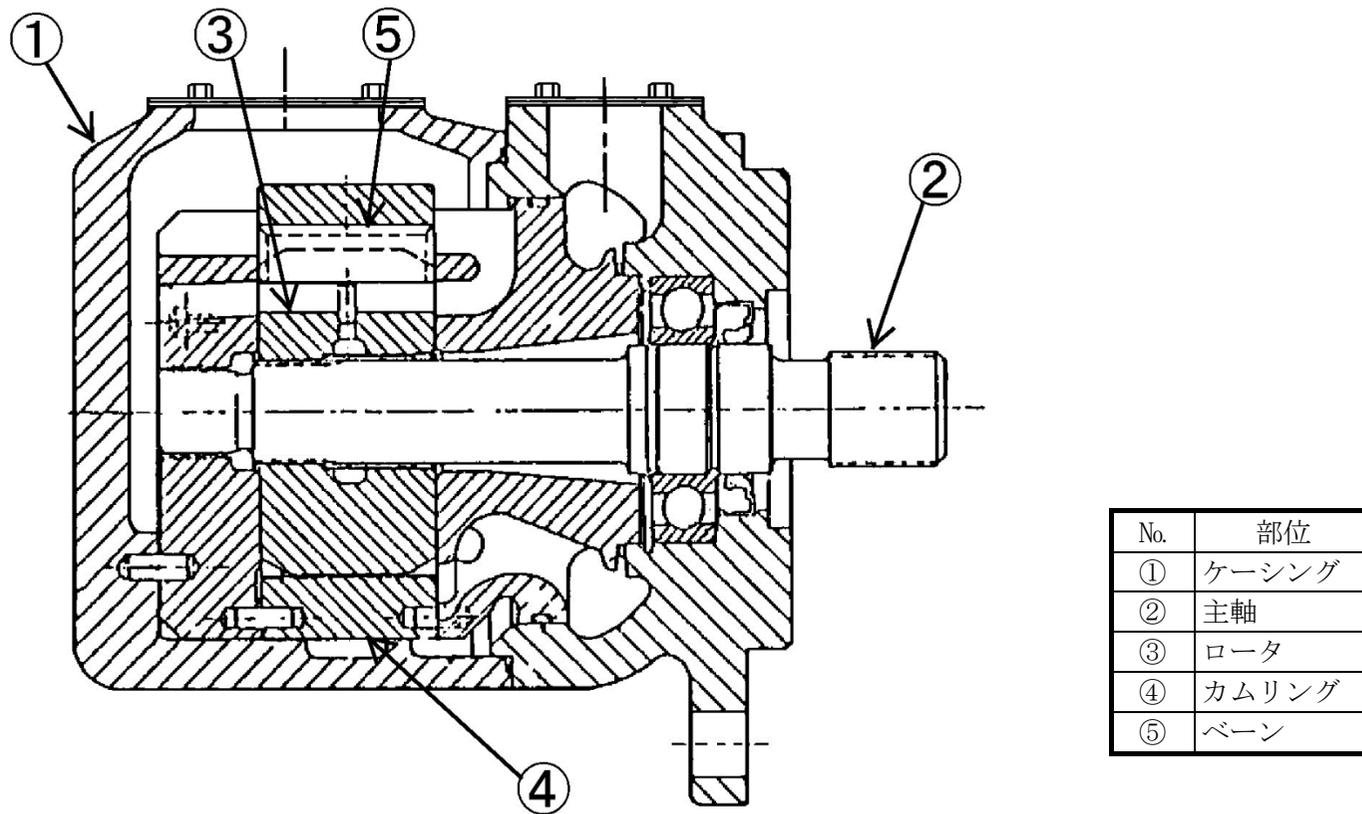


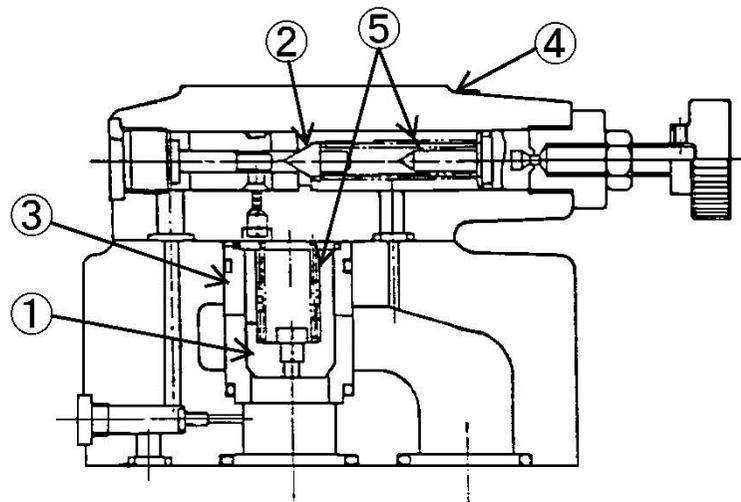
図2.1-1 高浜4号炉 タービン調速装置 EHガバナ高圧油供給装置構造図



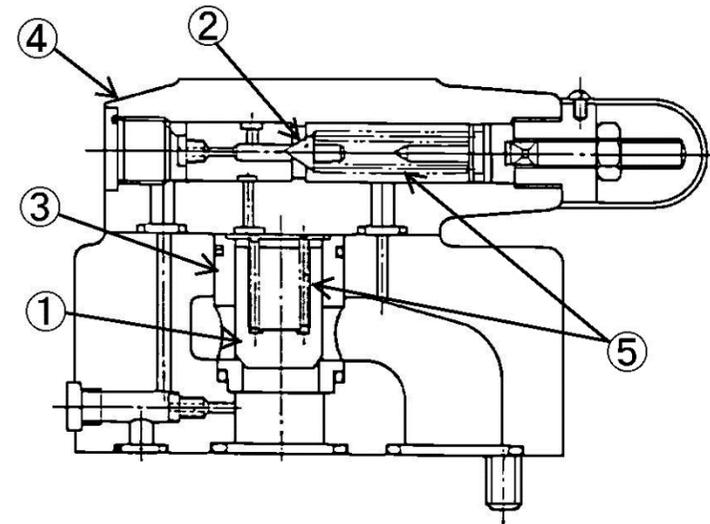
No.	部位
①	ケーシング
②	主軸
③	ロータ
④	カムリング
⑤	ベーン

図2.1-2 高浜4号炉 タービン調速装置 EHガバナ高圧油供給装置 油ポンプ構造図

No.	部位
①	プランジャ
②	ポペット
③	ブッシュ
④	ケーシング
⑤	ばね

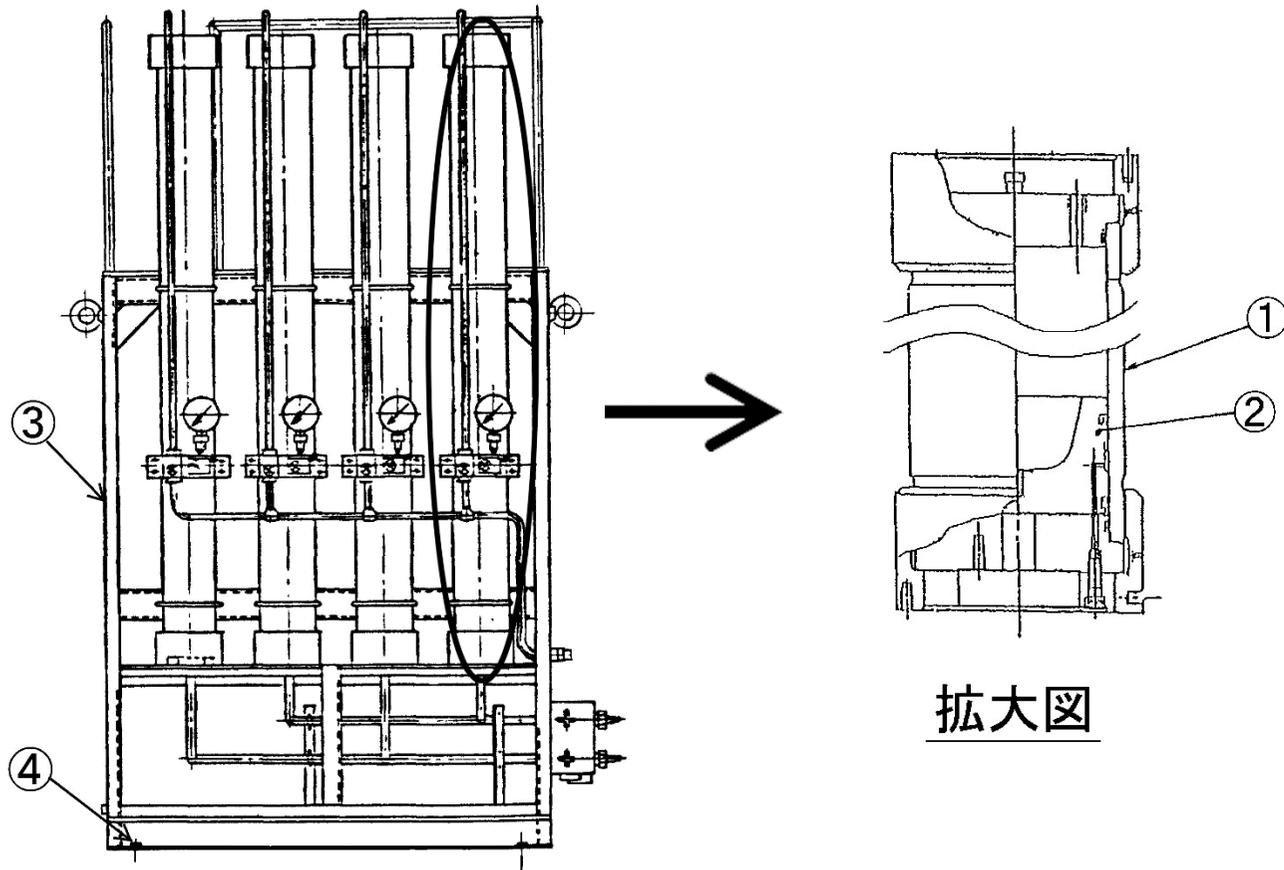


アンロード弁



リリース弁

図2.1-3 高浜4号炉 タービン調速装置 EHガバナ高圧油供給装置 アンロード弁、リリース弁構造図



拡大図

No.	部位
①	チューブ
②	ピストン
③	スタンド
④	基礎ボルト

図2.1-4 高浜4号炉 タービン調速装置 EHガバナ高圧油供給装置 アキュームレータ構造図

表2.1-1 高浜4号炉 タービン調速装置主要部位の使用材料

部位		材料
高圧油供給装置 油ポンプ	ケーシング	鋳鉄
	主軸	低合金鋼
	ロータ	低合金鋼
	カムリング	消耗品・定期取替品
	ペーン	消耗品・定期取替品
高圧油供給装置 アンロード弁、 リリース弁	プランジャ	低合金鋼
	ポペット	低合金鋼
	ブッシュ	低合金鋼
	ケーシング	鋳鉄
	ばね	ばね鋼、ピアノ線
高圧油供給装置	基礎ボルト	炭素鋼
高圧油供給装置 アキュムレータ	チューブ	炭素鋼
	ピストン	アルミニウム合金鋳物
	スタンド	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 タービン調速装置の使用条件

最高使用圧力	約16.2MPa[gage]
最高使用温度	約75℃
内部流体	油

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

タービン調速装置の機能である保護機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 制御機能の維持
- ② 機器の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### (1) 油ポンプケーシング等の腐食（全面腐食）

油ポンプのケーシング、アンロード弁およびリリーフ弁のケーシングは鋳鉄、アキュームレータチューブは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(2) 油ポンプ主軸およびロータ等の腐食（全面腐食）

油ポンプの主軸、ロータ、アンロード弁およびリリーフ弁のプランジャ、ポペット、ブッシュは低合金鋼であり、腐食が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(3) アンロード弁およびリリーフ弁のプランジャ、ポペットおよびブッシュの摩耗

アンロード弁およびリリーフ弁の開閉により摺動面、シート面で摩耗が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(4) アキュームレータチューブおよびピストンの摩耗

アキュームレータのチューブには硬質クロムメッキを施し、ピストンには耐摩耗性に優れた材料を使用し、摺動部に潤滑油を注入することで摩耗を防止しているが、ピストンの動作により摺動部で摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(5) アンロード弁およびリリーフ弁のばねの変形（応力緩和）

アンロード弁およびリリーフ弁のばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) アキュームレータスタンドの腐食（全面腐食）

アキュームレータのスタンドは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

(7) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

2.2.4 消耗品および定期取替品

油ポンプのカムリングおよびベーンは、分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 高浜4号炉 タービン調速装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位		消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
					減肉		割れ		材質変化			その他
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
制御機能の維持	高圧油供給装置 油ポンプ	ケーシング		铸铁		△*1					*1：内外面 *2：変形 (応力緩和)	
		主軸		低合金鋼		△						
		ロータ		低合金鋼		△						
		カムリング	◎	—								
		ベーン	◎	—								
	高圧油供給装置 アンロード弁、 リリース弁	プランジャ		低合金鋼	△	△						
		ポペット		低合金鋼	△	△						
		ブッシュ		低合金鋼	△	△						
		ケーシング		铸铁		△*1						
		ばね		ばね鋼、 ピアノ線						△*2		
	高圧油供給装置 アキュムレータ	チューブ		炭素鋼	△	△*1						
		ピストン		アルミニウム 合金鋳物	△							
機器の支持	高圧油供給装置	基礎ボルト		炭素鋼		△						
	高圧油供給装置 アキュムレータ	スタンド		炭素鋼		△						
		基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

## 5 タービン動補助給水ポンプ 蒸気タービン

[対象機器]

- ① タービン動補助給水ポンプ蒸気タービン

## 目次

1. 技術評価対象機器	1
2. タービン動補助給水ポンプ蒸気タービンの技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	9

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されているタービン動補助給水ポンプ蒸気タービンの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 タービン動補助給水ポンプ蒸気タービンの主な仕様

機器名称 (台数)	仕様 (出力(kW)× 定格回転数 (rpm))	重要度*1	使用条件			
			運転状態	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)	湿り度*2 (%)
タービン動 補助給水ポンプ 蒸気タービン (1)	約810× 約5,502	MS-1、重*3	一時	約7.5	約291	約0.4

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：駆動蒸気管の蒸気条件。

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

## 2. タービン動補助給水ポンプ蒸気タービンの技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### (1) 構造

高浜4号炉のタービン動補助給水ポンプ蒸気タービンは、1台設置されており、円板には低合金鋼、動翼にはステンレス鋼を使用している。

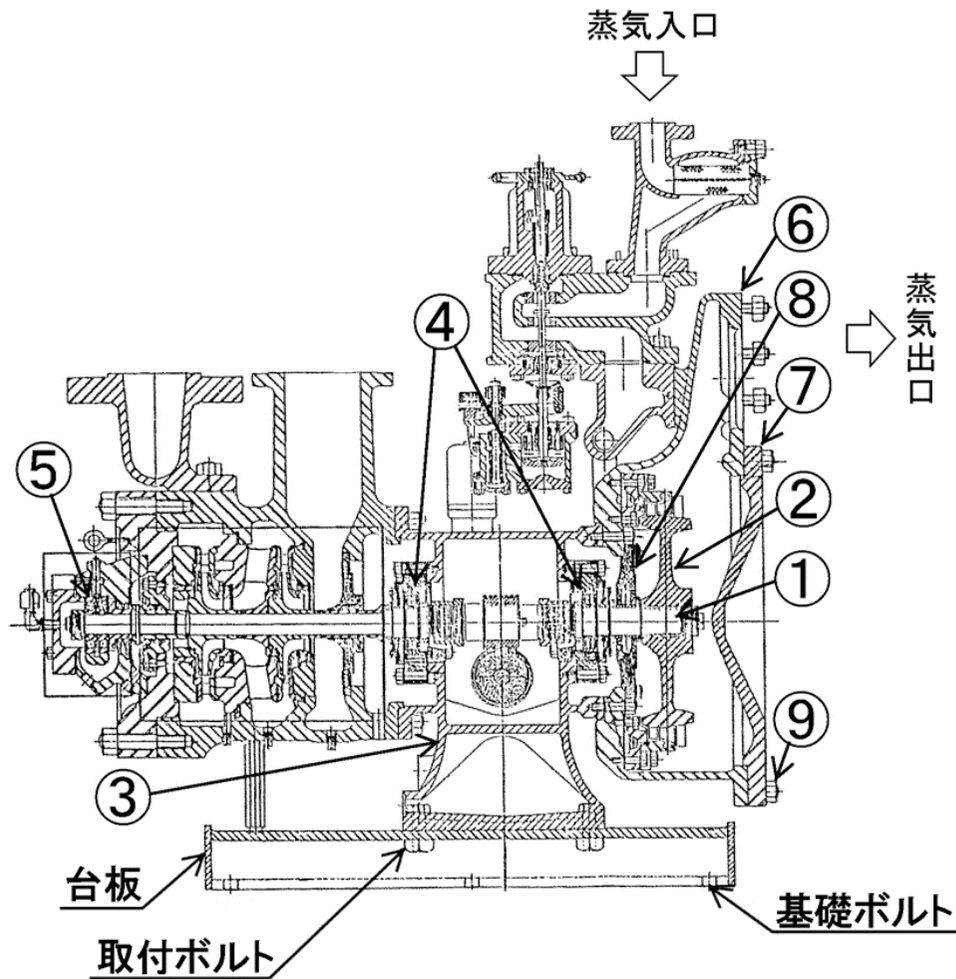
また、ガバナ弁、オイルリレー、オーバースピードガバナおよび圧力調整器で構成されるガバナ調速機構が、ポンプ吐出圧を一定に保つために設置されており、このガバナ調速機構に作動油圧を供給するためにタービンケーシングとポンプケーシングの間に油圧ユニットを設置している。

油圧ユニットには、ガバナ調速機構を駆動する油圧を供給するため、主油ポンプが設置されており、主油ポンプは歯車を介して伝達される主軸の回転力により駆動する。

高浜4号炉のタービン動補助給水ポンプ蒸気タービンの構造図を図2.1-1～図2.1-4に示す。

#### (2) 材料および使用条件

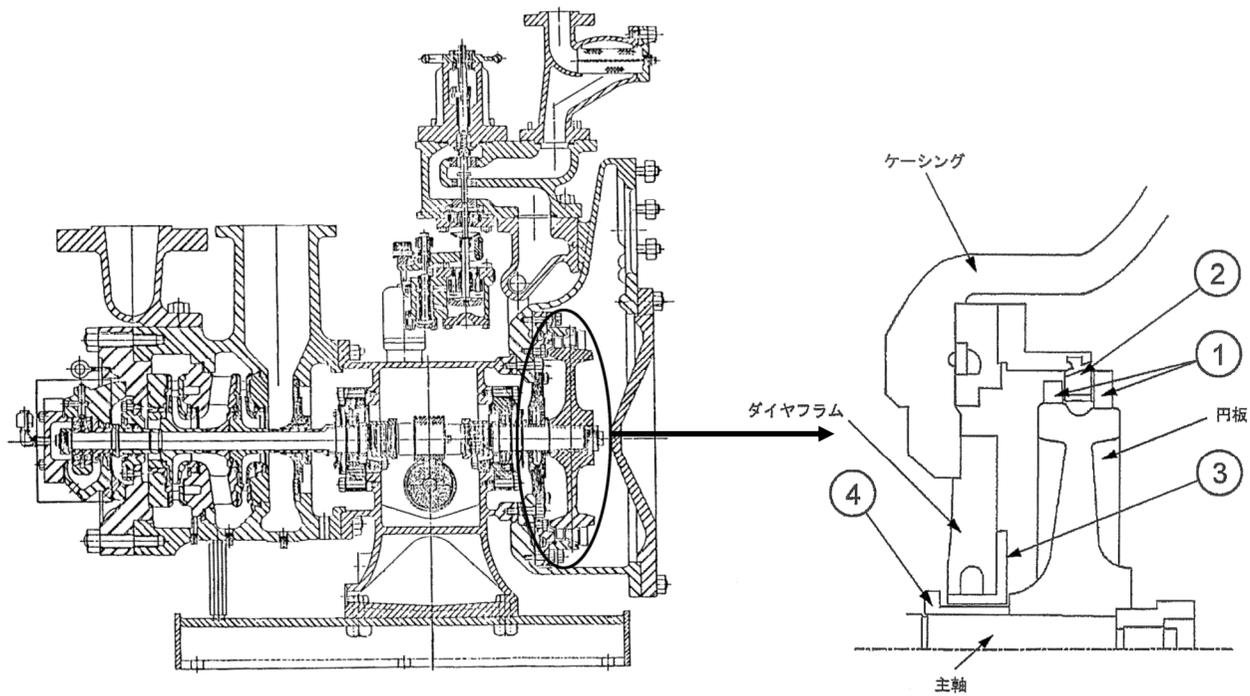
高浜4号炉のタービン動補助給水ポンプ蒸気タービンの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	主軸
②	円板
③	油圧ユニットケーシング
④	ローラ軸受 (ころがり)
⑤	スラスト軸受 (ころがり)
⑥	ケーシング
⑦	ケーシングカバー
⑧	ダイヤフラム
⑨	ケーシングボルト

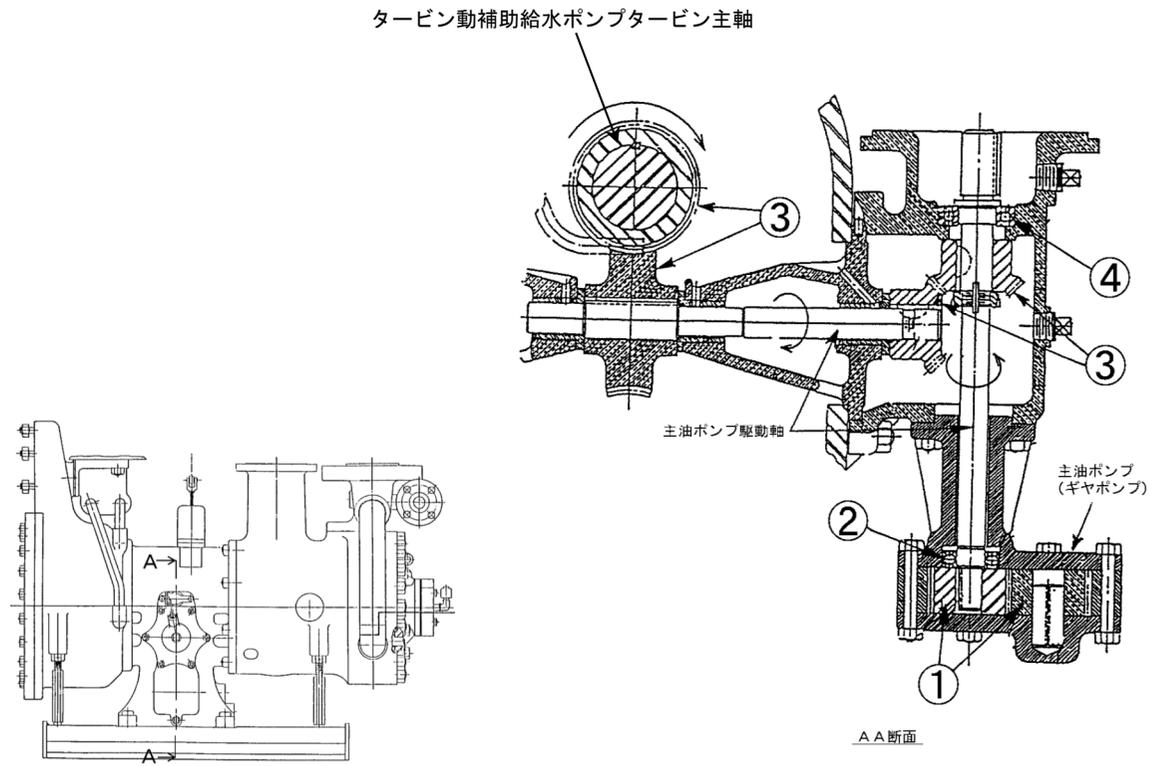
台板、取付ボルト、基礎ボルト  
についてはポンプ側で評価実施

図2.1-1 高浜4号炉 タービン動補助給水ポンプ蒸気タービン 構造図



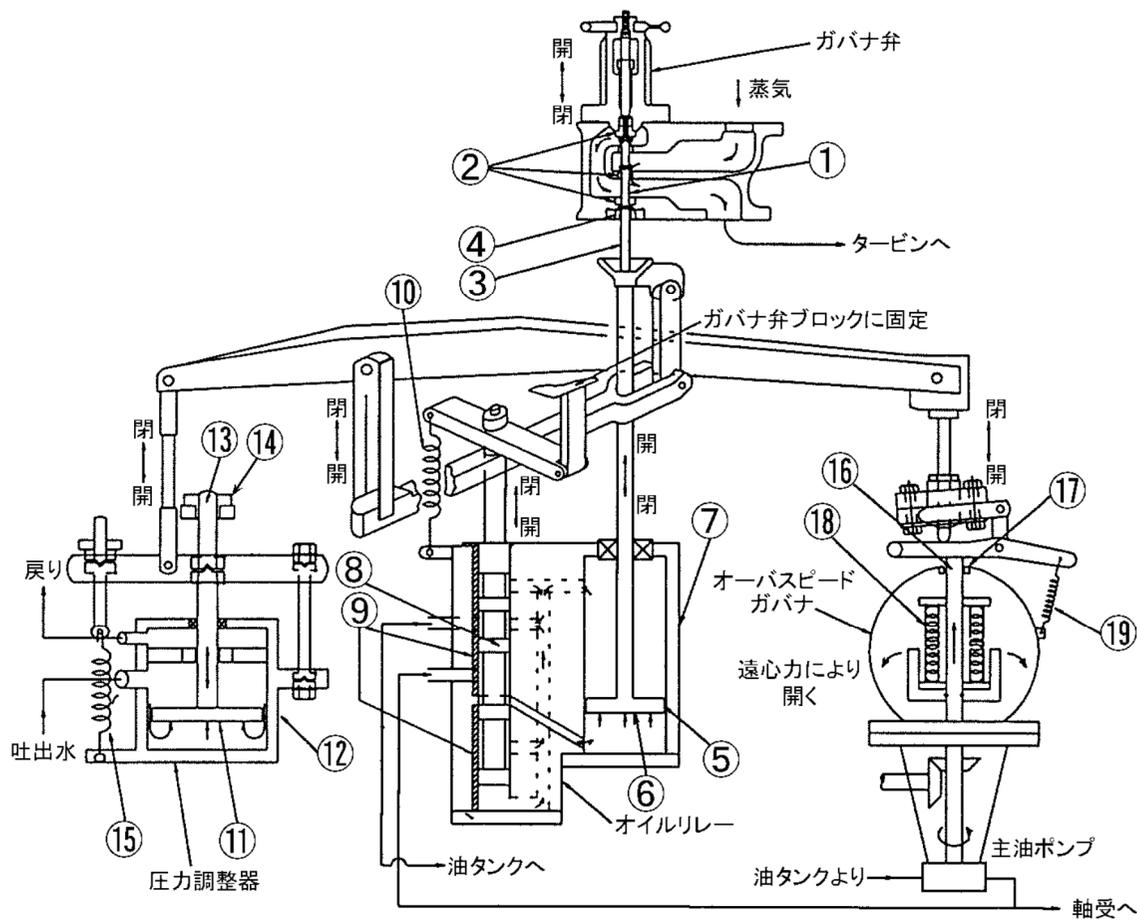
No.	部位
①	動翼
②	静翼
③	タービングランド
④	タービンロータスリーブ

図2.1-2 高浜4号炉 タービン動補助給水ポンプ蒸気タービン 軸シール部および翼部 構造図



No.	部位	
①	油圧ユニット	主油ポンプ歯車
②		主油ポンプ軸受 (ころがり)
③		駆動用歯車
④		駆動軸軸受 (ころがり)

図2.1-3 高浜4号炉 タービン動補助給水ポンプ蒸気タービン 油圧ユニット 主油ポンプ 構造図



No.	部位		
①	ガバナ弁	弁棒	
②		ガイド、シート	
③	オイルリレー	スピンドル	
④		ブッシュ	
⑤		ピストンリング	
⑥		ピストン	
⑦		シリンダ	
⑧		パイロットスピンドル	
⑨		パイロットブッシュ	
⑩		スプリング	
⑪		圧力調整器	ピストン
⑫			シリンダ
⑬	スピンドル		
⑭	ガイド		
⑮	スプリング		
⑯	オーバースピード	スピンドル	
⑰	ガバナ	ブッシュ	
⑱	ガバナスプリング		
⑲	トリップラッチスプリング		

図2.1-4 高浜4号炉 タービン動補助給水ポンプ蒸気タービン ガバナ调速機構 構造図 (概念図)

表2.1-1(1/2) 高浜4号炉 タービン動補助給水ポンプ蒸気タービン  
主要部位の使用材料

部位		材料
主軸		低合金鋼
円板		低合金鋼
ローラ軸受（ころがり）		消耗品・定期取替品
スラスト軸受（ころがり）		消耗品・定期取替品
ケーシング		低合金鋼鑄鋼
ケーシングカバー		炭素鋼
ダイヤフラム		炭素鋼鑄鋼
ケーシングボルト		低合金鋼
動翼		ステンレス鋼
静翼		ステンレス鋼
タービンブランド		消耗品・定期取替品
タービンロータスリーブ		消耗品・定期取替品
油圧ユニット	ケーシング	炭素鋼鑄鋼
	主油ポンプ歯車	炭素鋼、銅合金
	主油ポンプ軸受（ころがり）	消耗品・定期取替品
	駆動用歯車	炭素鋼、銅合金、低合金鋼
	駆動軸軸受（ころがり）	消耗品・定期取替品
ガバナ弁	弁棒	ステンレス鋼
	ガイド、シート	ステンレス鋼

表2.1-1(2/2) 高浜4号炉 タービン動補助給水ポンプ蒸気タービン  
主要部位の使用材料

部位		材料
オイルリレー	スピンドル	ステンレス鋼
	ブッシュ	銅合金
	ピストンリング	鋳鉄
	ピストン	鋳鉄
	シリンダ	鋳鉄
	パイロットスピンドル	ステンレス鋼
	パイロットブッシュ	銅合金
	スプリング	ステンレス鋼
圧力調整器	ピストン	銅合金
	シリンダ	銅合金
	スピンドル	ステンレス鋼
	ガイド	銅合金、ステンレス鋼
	スプリング	炭素鋼+亜鉛メッキ
オーバースピード ガバナ	スピンドル	ステンレス鋼
	ブッシュ	銅合金
ガバナスプリング		炭素鋼+亜鉛メッキ
トリップラッチスプリング		ステンレス鋼

表2.1-2 高浜4号炉 タービン動補助給水ポンプ蒸気タービンの使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa[gage]
最高使用温度	約291℃
定格流量	約520m <sup>3</sup> /h
内部流体	湿り蒸気

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

タービン動補助給水ポンプ蒸気タービンの機能であるポンプ駆動機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① ポンプ駆動力の確保
- ② バウンダリの維持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 主軸の摩耗

タービン動補助給水ポンプ蒸気タービン（以下、本機器という）のころがり軸受部は、軸受と主軸の接触面で摩耗が想定される。

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

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

さらに、本機器の運転時間は短く、主軸の摩耗が発生しがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(2) 主軸の高サイクル疲労割れ

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

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

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

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

(3) 円板の応力腐食割れ

円板は低合金鋼であり、湿り蒸気雰囲気での腐食環境下で使用されているため、円板の応力腐食割れが想定される。

しかしながら、円板と主軸は中心穴のテーパ形状による嵌め合いにより結合されており、キー溝部に過大な応力が発生しない構造である。

さらに、本機器の運転時間は短く、応力腐食割れが発生しがたい。

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

なお、分解点検時に円板への主軸取付け状況および応力集中部に対する目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(4) ケーシングおよびケーシングカバー等の腐食（全面腐食）

ケーシング、ケーシングカバー、油圧ユニットのケーシングおよびダイヤフラムは低合金鋼、炭素鋼または炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、内面についてはケーシング、ケーシングカバーおよびダイヤフラムの内部流体が湿り蒸気雰囲気であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

油圧ユニットケーシングの内部流体が油で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(5) 油圧ユニット主油ポンプ歯車および駆動用歯車の摩耗

油圧ユニットの主油ポンプは駆動歯車を介して主軸の回転力により駆動される歯車ポンプであり、歯車は摩擦による摩耗が想定される。

駆動歯車は主油ポンプおよび主軸に直結された歯車を介して駆動される直径の異なる歯車を組合わせており、歯車の歯面は接触により動力が伝達されるため、面圧条件により摩耗が想定される。

しかしながら、本機器の運転時間は短く、歯車には潤滑油を供給し摩耗を防止しており、摩耗が発生しがたい環境である。

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

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(6) ガバナ調速機構の摩耗

ガバナ調速機構を構成するガバナ弁、オイルリレー、オーバースピードガバナおよび圧力調整器の摺動部に摩耗が想定される。

しかしながら、本機器の運転時間は短く、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測およびガバナ調速機構の作動確認により、機器の健全性を確認している。

(7) ガバナ調速機構ばねの変形（応力緩和）

オイルリレースプリング、圧力調整器スプリング、ガバナスプリングおよびトリップラッチスプリングのばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

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

なお、ガバナ調速機構の作動確認により、機器の健全性を確認している。

(8) ケーシングおよびケーシングカバー等の疲労割れ

ケーシング、ケーシングカバーおよびダイヤフラムにはタービン起動時に発生する内部流体の温度、圧力の変化により材料に疲労が蓄積することから、疲労割れが想定される。

しかしながら、本機器の定期運転も考慮した起動発停回数は限られているため、疲労割れが発生しがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(9) ケーシングボルトの腐食（全面腐食）

ケーシングボルトは低合金鋼であり、フランジ面からの漏えいにより内部流体によるボルトの腐食が想定される。

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

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

なお、巡視点検等の目視確認や分解点検時の超音波探傷検査により、機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ローラ軸受（ころがり）、スラスト軸受（ころがり）、油圧ユニット主油ポンプ軸受（ころがり）および油圧ユニット駆動軸軸受（ころがり）は分解点検時に取替える消耗品であり、タービングランドおよびタービンロータスリーブは分解点検時の目視確認や寸法計測の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/3) 高浜4号炉 タービン動補助給水ポンプ蒸気タービンに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位		消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考		
					減肉		割れ		材質変化			その他	
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化			
ポンプ駆動力の確保	主軸			低合金鋼	△		△*1				*1：高サイクル疲労割れ		
	円板			低合金鋼				△					
	ローラ軸受（ころがり）		◎	—									
	スラスト軸受（ころがり）		◎	—									
	動翼			ステンレス鋼									
	静翼			ステンレス鋼									
	油圧ユニット	ケーシング			炭素鋼鋳鋼		△						
		主油ポンプ歯車			炭素鋼、銅合金	△							
		主油ポンプ軸受（ころがり）		◎	—								
		駆動用歯車			炭素鋼、銅合金、低合金鋼	△							
		駆動軸軸受（ころがり）		◎	—								
ガバナ弁	弁棒			ステンレス鋼	△								
	ガイド、シート			ステンレス鋼	△								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/3) 高浜4号炉 タービン動補助給水ポンプ蒸気タービンに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		材質変化		その他		
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化			
ポンプ駆動力の確保	オイルリレー		ステンレス鋼	△							*1：変形(応力緩和)	
			銅合金	△								
			鋳鉄	△								
			鋳鉄	△								
			鋳鉄	△								
			ステンレス鋼	△								
			銅合金	△								
			ステンレス鋼							△*1		
	圧力調整器			銅合金	△							
				銅合金	△							
				ステンレス鋼	△							
				銅合金、ステンレス鋼	△							
			炭素鋼＋亜鉛メッキ							△*1		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/3) 高浜4号炉 タービン動補助給水ポンプ蒸気タービンに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位		消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
					減肉		割れ		材質変化			その他
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
ポンプ駆動力の確保	オーバースピードガバナ	スピンドル		ステンレス鋼	△						*1：変形(応力緩和)	
		ブッシュ		銅合金	△							
	ガバナスプリング			炭素鋼+亜鉛メッキ						△*1		
	トリップラッチスプリング			ステンレス鋼						△*1		
バウンダリの維持	ケーシング			低合金鋼鋳鋼		△	△					
	ケーシングカバー			炭素鋼		△	△					
	ダイヤフラム			炭素鋼鋳鋼		△	△					
	ケーシングボルト			低合金鋼		△						
	タービングランド		◎	—								
	タービンロータスリーブ		◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

## 6 タービン動主給水ポンプ蒸気タービン

[対象機器]

- ① タービン動主給水ポンプ蒸気タービン

## 目次

1. 技術評価対象機器	1
2. タービン動主給水ポンプ蒸気タービンの技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	5

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されているタービン動主給水ポンプ蒸気タービンの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 タービン動主給水ポンプ蒸気タービンの主な仕様

機器名称 (台数)	仕様 (出力(kW)× 定格回転数 (rpm))	重要度*1	使用条件			
			運転 状態	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)	湿り度*3 (%)
タービン動 主給水ポンプ 蒸気タービン (2)	約7,400 ×約4,800	高*2	連続	約7.5	約291	約0.4

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

\*3：主蒸気管の蒸気条件。

## 2. タービン動主給水ポンプ蒸気タービンの技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### (1) 構造

高浜4号炉のタービン動主給水ポンプ蒸気タービンは単流型タービンであり、2台設置されている。蒸気は、ノズル室よりタービン動主給水ポンプ蒸気タービンに流入し、各段を経て車室上半部にある排気口から復水器に至る。

なお、上流側は通常運転中は乾き蒸気雰囲気である。

車軸には低合金鋼を使用しており、2個の軸受により支えられている。

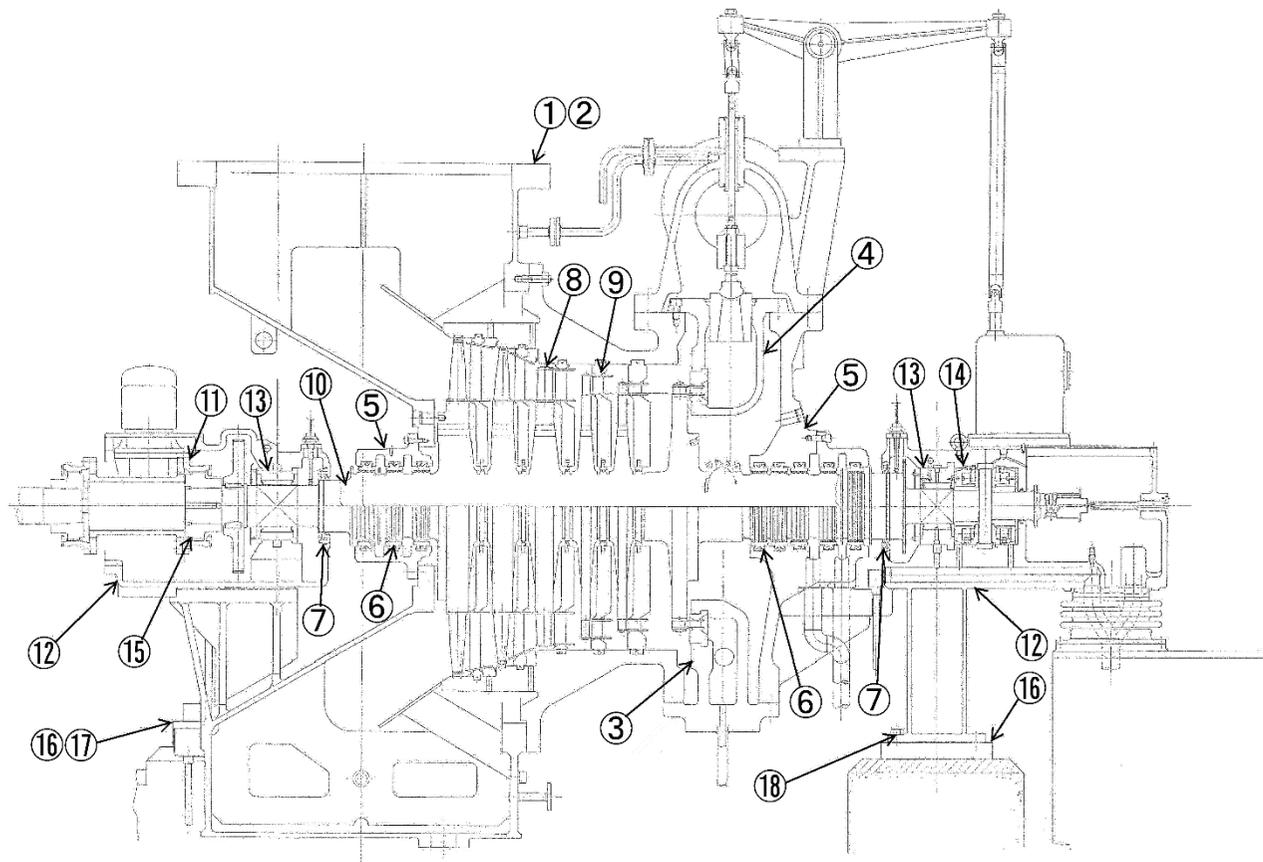
また、車軸端部にスラスト軸受を設置している。

車室両端面の車軸貫通部にはグランドが設けられており、グランドシールリングにより蒸気流出および大気流入を防止している。

高浜4号炉のタービン動主給水ポンプ蒸気タービンの構造図を図2.1-1に示す。

#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉のタービン動主給水ポンプ蒸気タービンの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	車室
②	車室ボルト
③	高压ノズル室
④	低压ノズル室
⑤	グランド本体
⑥	グランドシールリング
⑦	オイルシールリング
⑧	動翼
⑨	仕切板 (ノズル含む)
⑩	車軸
⑪	カップリングボルト
⑫	軸受台
⑬	ジャーナル軸受 (すべり)
⑭	スラスト軸受 (すべり)
⑮	ギアカップリング
⑯	台板
⑰	キー
⑱	基礎ボルト

図2. 1-1 高浜4号炉 タービン動主給水ポンプ蒸気タービン構造図

表2.1-1 高浜4号炉 タービン動主給水ポンプ蒸気タービン主要部位の使用材料

部位		材料
車室		ステンレス鋼、炭素鋼
車室ボルト		低合金鋼、炭素鋼
高圧ノズル室		ステンレス鋼
低圧ノズル室		炭素鋼
グラウンド本体		炭素鋼
グラウンドシールリング		消耗品・定期取替品
オイルシールリング		消耗品・定期取替品
動翼	第1～4段	ステンレス鋼
	第5、6段	ステンレス鋼+ステライト
仕切板 (ノズル含む)	第1段	ステンレス鋼、炭素鋼
	第2～6段	ステンレス鋼
車軸		低合金鋼
カップリングボルト		低合金鋼
軸受台		炭素鋼、炭素鋼
ジャーナル軸受 (すべり)		炭素鋼+ホワイトメタル
スラスト軸受 (すべり)		炭素鋼+ホワイトメタル
ギアカップリング		低合金鋼
台板		炭素鋼
キー		炭素鋼
基礎ボルト		炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 タービン動主給水ポンプ蒸気タービンの使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa[gage]
最高使用温度	約291℃
定格回転数	約4,800rpm
内部流体	湿り蒸気～乾き蒸気

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

タービン動主給水ポンプ蒸気タービンの機能であるポンプ駆動機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① ポンプ駆動力の確保
- ② バウンダリの維持
- ③ 機器の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 車室およびグランド本体の外表面からの腐食（全面腐食）

炭素鋼または炭素鋼鋳鋼部分の車室およびグランド本体は、外表面からの腐食が想定される。

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

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

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

(2) 車室、グランド本体および低圧ノズル室の腐食（流れ加速型腐食）

炭素鋼または炭素鋼鋳鋼部分の車室およびグランド本体は、湿り蒸気流に常時さらされているため、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

一方、低圧ノズル室は、乾き蒸気雰囲気の中で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(3) 車室の疲労割れ

車室は、起動・停止および負荷変化時に発生する熱応力により、疲労割れが想定される。

しかしながら、有意な応力変動を受けない構造となっており、疲労割れが発生しがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(4) 車室の変形

車室はステンレス鋼鋳鋼および炭素鋼を用いており、素材製作時の熱処理段階で寸法安定化が図られているが、車室は大型鋳物でかつ構造が複雑であり、わずかなひずみを発生することが想定される。

しかしながら、分解点検時に水平継手面の間隙計測や当り状況の確認により、機器の健全性を維持している。

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

(5) 車室ボルトの腐食（全面腐食）

車室ボルトは、低合金鋼および炭素鋼であり、フランジ面からの内部流体の漏えいや大気の流入により、腐食が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 動翼の腐食（エロージョン）

動翼第5、6段は湿り蒸気雰囲気で使用されるため、蒸気中の水滴による衝撃で、翼入口先端部がエロージョンにより減肉が想定される。

動翼第5、6段に流入する蒸気の湿り度が大きく、かつ周方向速度も大きいため、動翼先端部の減肉が大きくなることが考えられ、減肉の進行によりステライトのはく離が想定される。

しかしながら、エロージョンについては、分解点検時の目視確認により、ステライト板ろう付部に対しては目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を維持している。

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

(7) 動翼の高サイクル疲労割れ

タービン運転時に固有振動数の低い動翼群が運転中に共振に近い状態になった場合、動翼の応力集中部に高サイクル疲労割れが想定される。

1981年11月に美浜1号炉の低圧タービン第6段動翼において、高サイクル疲労割れが発生している。

しかしながら、動翼設計時に流体力と共振した場合でも十分な安全率を有する設計としており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

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

なお、分解点検時の応力集中部に対する目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(8) 仕切板（ノズルを含む）の腐食（全面腐食）

第1段仕切板（ノズルを含む）は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、第1段仕切板は、乾き蒸気雰囲気中で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(9) 車軸の摩耗

車軸を支持する軸受は、すべり軸受を使用しており、車軸の摩耗が想定される。

しかしながら、強制潤滑により車軸と軸受間に潤滑油の供給を行っているため、軸受との直接接触による摩耗が発生しがたい環境であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

さらに、潤滑油とともに流入する異物についても、ストレーナや油清浄器により油の浄化を実施している。

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

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(10) 車軸の腐食（流れ加速型腐食）

車軸は湿り蒸気雰囲気で使用しており、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、車軸は低合金鋼であり、炭素鋼に比べ優れた耐食性を有しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(11) 車軸の高サイクル疲労割れ

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

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

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

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

(12) 車軸の応力腐食割れ

車軸は低合金鋼であり、比較的発生応力の高い翼溝部を有しており、湿り蒸気雰囲気で使用されているため、応力腐食割れが想定される。

1984年2月に、伊方1号炉の低圧タービンにおいて、片側5枚ある円板のうち上流側から2番目の第2円板翼溝部に、応力腐食割れと考えられる割れが認められた。

しかしながら、車軸には応力腐食割れに対する感受性の低い降伏応力約690MPa級の材料を使用しており、降伏応力（0.2%耐力）と応力腐食割れ発生との関係、また、一定のひずみ速度で荷重を加えた場合の破面観察結果からも、降伏応力約690MPa級の材料では粒界割れ破面はごくわずかであり、応力腐食割れに対する感受性は低い。

さらに、分解点検時の応力集中部に対する目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を維持している。

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

(13) 軸受台、カップリングボルトおよび台板の腐食（全面腐食）

軸受台、カップリングボルトおよび台板は、炭素鋼・炭素鋼または低合金鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、軸受台内面およびカップリングボルトについては、潤滑油雰囲気での腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(14) ジャーナル軸受およびスラスト軸受ホワイトメタルの摩耗、はく離

ジャーナル軸受およびスラスト軸受のホワイトメタルは、長時間の使用による摩耗、はく離が想定される。

しかしながら、摩耗に対しては分解点検時の目視確認および車軸と軸受内面の隙間測定や軸受表面の当り幅の確認により、はく離についても分解点検時の目視確認およびホワイトメタル部の浸透探傷検査により、機器の健全性を維持している。

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

(15) ギアカップリングの摩耗

ギアカップリングは、歯面によりトルクを伝達するため摩耗が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(16) キーの摩耗

軸受台が起動・停止による温度変化により台板上をスライドするため、台板に固定されたキーの摩耗が想定される。

しかしながら、小型のタービンであることから、運転時の熱移動量は小さく、摩耗が発生しがたい環境である。

さらに、起動・停止回数の多い火力発電所のタービンにおいても同様の構造、材料を採用しこれまで問題なく運転されており、十分な使用実績を有している。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(17) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

#### 2.2.4 消耗品および定期取替品

グランドシールリングおよびオイルシールリングは、分解点検時の目視確認や寸法計測の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 高浜4号炉 タービン動主給水ポンプ蒸気タービンに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	車室		ステンレス鋼鋳鋼			△				△*2	*1：流れ加速型腐食 *2：変形 *3：高サイクル疲労割れ *4：はく離 *5：エロージョン *6：内外面
			炭素鋼		△(外面) △(内面)*1	△				△*2	
	車室ボルト		低合金鋼、炭素鋼		△						
	高圧ノズル室		ステンレス鋼鋳鋼								
	低圧ノズル室		炭素鋼鋳鋼		△*1						
	グラウンド本体		炭素鋼鋳鋼		△(外面) △(内面)*1						
	グラウンドシールリング	◎	—								
	オイルシールリング	◎	—								
ポンプ駆動力の確保	動翼	第1～4段	ステンレス鋼			△*3					
		第5、6段	ステンレス鋼+ステライト		△*5	△*3					
	仕切板(ノズルを含む)	第1段	ステンレス鋼								
		第2～6段	炭素鋼		△						
	車軸		低合金鋼	△	△*1	△*3	△				
	カップリングボルト		低合金鋼		△						
	軸受台		炭素鋼鋳鋼、炭素鋼		△*6						
	ジャーナル軸受(すべり)		炭素鋼+ホワイトメタル	△					△*4		
	スラスト軸受(すべり)		炭素鋼+ホワイトメタル	△					△*4		
	ギアカップリング		低合金鋼	△							
	機器の支持	台板		炭素鋼		△					
キー			炭素鋼	△							
基礎ボルト			炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

# 高浜発電所4号炉

## コンクリート構造物および鉄骨構造物の技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

関西電力株式会社

本評価書は、高浜4号炉における主要なコンクリート構造物および鉄骨構造物の高経年化に関する技術評価についてまとめたものである。

高浜4号炉におけるコンクリート構造物および鉄骨構造物のうち、安全上重要な構造物（安全重要度分類審査指針におけるクラス1、2に該当する構造物、該当する機器を支持する構造物）、高温・高圧の環境下にある機器を支持する構造物（安全重要度分類審査指針におけるクラス3に該当する機器のうち高温・高圧の環境下にある機器を支持する構造物）、浸水防護施設に属する構造物ならびに常設重大事故等対処設備および常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物を対象構造物として選定した。なお、選定した対象構造物には、火災防護設備に属する構造物を含む。

コンクリート構造物および鉄骨構造物に対して、安全上および運転継続上要求される機能としては、支持機能、放射線の遮蔽機能（一部のコンクリート構造物が対象）および耐火機能（一部のコンクリート構造物が対象）があげられる。

本評価書においては、これらの機能に影響する経年劣化事象を抽出し、その事象に影響を及ぼす各経年劣化要因に対して、代表構造物のうち、使用環境、使用条件、重要度により評価対象とする構造物を選定し、技術評価を実施している。本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考えている。

コンクリート構造物および鉄骨構造物

## 目 次

1. 対象構造物および代表構造物	1
1.1 対象構造物のグループ化	2
1.2 代表構造物の選定	2
2. 代表構造物の技術評価	9
2.1 構造、材料、使用条件	9
2.2 高経年化対策上着目すべき構造物・経年劣化事象の抽出	15
2.3 高経年化対策上着目すべき構造物・経年劣化事象の技術評価	23
3. グループ内全構造物への展開	40

## 1. 対象構造物および代表構造物

高浜4号炉におけるコンクリート構造物および鉄骨構造物のうち、安全上重要な構造物、高温・高圧の環境下にある機器を支持する構造物および浸水防護施設に属する構造物ならびに常設重大事故等対処設備および常設重大事故等対処設備を支持する構造物を対象構造物とする。なお、対象構造物には火災防護設備に属する構造物を含む。安全上重要な構造物は、発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針（平成2年8月30日原子力安全委員会決定、以下「重要度指針」という）におけるPS-1、2（異常発生防止系ークラス1、2）およびMS-1、2（異常影響緩和系ークラス1、2）に該当する構造物、または該当する機器を支持する構造物である。高温・高圧の環境下にある機器を支持する構造物は、「重要度指針」におけるPS-3（異常発生防止系ークラス3）およびMS-3（異常影響緩和系ークラス3）に該当する機器のうち高温・高圧の環境下にある機器を支持する構造物である。

表1-1に対象構造物の選定を示す。対象構造物は以下のとおりとなる。

- ① 外部遮蔽壁
- ② 外部遮蔽壁（3号炉）
- ③ 内部コンクリート
- ④ 原子炉格納施設基礎
- ⑤ 原子炉補助建屋
- ⑥ 原子炉補助建屋（1・2号炉）
- ⑦ 原子炉補助建屋（3号炉）
- ⑧ 取水構造物（浸水防止蓋含む）
- ⑨ 取水構造物（1・2号炉）
- ⑩ タービン建屋
- ⑪ 緊急時対策所建屋
- ⑫ 非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎（配管トレンチ含む）
- ⑬ 復水タンク基礎
- ⑭ 防潮ゲート（道路部、水路部）
- ⑮ 放水口側防潮堤（防潮扉含む）
- ⑯ 屋外排水路逆流防止設備
- ⑰ 放水ピット止水板

これらの対象構造物を以下のとおり、グループ化し、代表構造物を選定した。

### 1.1 対象構造物のグループ化

対象構造物は、材料特性によりコンクリート構造物と鉄骨構造物の2つのグループに分類される。

### 1.2 代表構造物の選定

表 1-2 に示すとおり、使用条件などにより、以下を代表構造物として選定した。

#### (1) コンクリート構造物

- ① 外部遮蔽壁
- ② 外部遮蔽壁（3号炉）
- ③ 内部コンクリート
- ④ 原子炉格納施設基礎
- ⑤ 原子炉補助建屋
- ⑥ 原子炉補助建屋（1・2号炉）
- ⑦ 原子炉補助建屋（3号炉）
- ⑧ 取水構造物
- ⑨ 取水構造物（1・2号炉）
- ⑩ タービン建屋

#### (2) 鉄骨構造物

- ① 内部コンクリート（鉄骨部）
- ② 原子炉補助建屋（鉄骨部）
- ③ 原子炉補助建屋（1・2号炉）（鉄骨部）
- ④ 原子炉補助建屋（3号炉）（鉄骨部）
- ⑤ タービン建屋（鉄骨部）

表 1-1 対象構造物の選定 (1/4)

安全重要度分類審査指針などに定める要求機能	分類など	主要設備	対象構造物
原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	PS-1	原子炉容器 蒸気発生器 1次冷却材ポンプ 加圧器	内部コンクリート 内部コンクリート 内部コンクリート 内部コンクリート
過剰反応度の印加防止機能	PS-1	制御棒駆動装置圧力ハウジング	内部コンクリート
炉心形状の維持機能	PS-1	炉心そう	内部コンクリート
原子炉の緊急停止機能	MS-1	制御棒 制御棒クラスタ案内管 制御棒駆動装置	内部コンクリート 内部コンクリート 内部コンクリート
未臨界維持機能	MS-1	制御棒 ほう酸注入系	内部コンクリート 内部コンクリート、原子炉補助建屋
原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	MS-1	加圧器安全弁	内部コンクリート
原子炉停止後の除熱機能	MS-1	余熱除去系 補助給水系 主蒸気系 主給水系	内部コンクリート、原子炉補助建屋 内部コンクリート、原子炉補助建屋、復水タンク基礎 内部コンクリート、原子炉補助建屋 内部コンクリート、原子炉補助建屋
炉心冷却機能	MS-1	低圧注入系 高圧注入系 蓄圧注入系	内部コンクリート、原子炉補助建屋 内部コンクリート、原子炉補助建屋 内部コンクリート
放射性物質の閉じ込め機能 放射線の遮蔽および放出低減機能	MS-1	原子炉格納容器 格納容器スプレイ系 アニュラス空気再循環設備 安全補機室空気浄化系 アニュラス 遮蔽設備	原子炉格納施設基礎 原子炉補助建屋 原子炉補助建屋 原子炉補助建屋 外部遮蔽壁、原子炉格納施設基礎 外部遮蔽壁、原子炉補助建屋（3号炉）
工学的安全施設および原子炉停止系への作動信号の発生機能	MS-1	安全保護系	原子炉補助建屋
安全上特に重要な関連機能	MS-1	非常用所内電源系  中央制御室、同遮蔽、同換気空調系 原子炉補機冷却水系 原子炉補機冷却海水系 直流電源系、計測制御電気系 制御用圧縮空気設備	原子炉補助建屋、非常用ディーゼル発電用燃料油タンク貯油槽基礎（配管トレンチ含む） 原子炉補助建屋、原子炉補助建屋（3号炉） 原子炉補助建屋 原子炉補助建屋、取水構造物 原子炉補助建屋 原子炉補助建屋

表 1-1 対象構造物の選定 (2/4)

安全重要度分類審査指針などに定める要求機能	分類など	主要設備	対象構造物
原子炉冷却材を内蔵する機能	PS-2	化学体積制御系	内部コンクリート、原子炉補助建屋
原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能	PS-2	放射性気体廃棄物処理系 使用済燃料ピット	原子炉補助建屋 原子炉補助建屋、原子炉補助建屋（3号炉）
燃料を安全に取り扱う機能	PS-2	燃料取替クレーン 燃料移送装置 使用済燃料ピットクレーン	内部コンクリート 内部コンクリート、原子炉補助建屋 原子炉補助建屋、原子炉補助建屋（3号炉）
安全弁および逃がし弁の吹き止まり機能	PS-2	加圧器安全弁 加圧器逃がし弁	内部コンクリート 内部コンクリート
燃料プール水の補給機能	MS-2	燃料取替用水タンク 燃料取替用水ポンプ	原子炉補助建屋 原子炉補助建屋
放射性物質放出の防止機能	MS-2	アニュラス空気浄化系 排気筒	原子炉補助建屋 外部遮蔽壁
事故時のプラント状態の把握機能	MS-2	事故時監視計器	内部コンクリート、原子炉補助建屋
異常状態の緩和機能	MS-2	加圧器逃がし弁 加圧器後備ヒータ 加圧器逃がし元弁	内部コンクリート 内部コンクリート 内部コンクリート
制御室外からの安全停止機能	MS-2	制御室外原子炉停止装置	原子炉補助建屋
重要度クラス3の内、最高使用温度が95℃を超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の機器に要求される機能	高*1	高圧タービン、低圧タービン、湿分分離加熱器、 高圧給水ヒータ、脱気器 アスファルト固化設備 溶離廃液濃縮装置 雑固体焼却設備	タービン建屋 原子炉補助建屋（3号炉） 原子炉補助建屋（1・2号炉） 原子炉補助建屋（1・2号炉）
浸水防護施設	設*2	取水路防潮ゲート 放水口側防潮堤（防潮扉含む） 屋外排水路逆流防止設備 放水ピット止水板 浸水防止蓋 潮位 津波監視カメラ 衛星電話	防潮ゲート（道路部、水路部） 放水口側防潮堤（防潮扉含む） 屋外排水路逆流防止設備 放水ピット止水板 取水構造物（浸水防止蓋） 取水構造物、取水構造物（1・2号炉） 外部遮蔽壁（3号炉）、原子炉補助建屋 原子炉補助建屋（1・2号炉）、原子炉補助建屋（3号炉）

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

\*2：設計基準対象施設として評価対象とした機器および構造物であることを示す。

表 1-1 対象構造物の選定 (3/4)

安全重要度分類審査指針などに定める要求機能	分類など	主要設備	対象構造物
常設重大事故等対処設備	重*3	恒設代替低圧注水ポンプ 燃料取替用水タンク補給用移送ポンプ Aガスサンプル冷却器 恒設代替低圧注水ポンプモータ 燃料取替用水タンク補給用移送ポンプモータ 原子炉補機冷却水系統設備 号機間融通用高圧ケーブルコネクタ盤 代替所内電気設備高圧ケーブルコネクタ接続盤 代替所内電気設備用変圧器 海水取水トンネル 格納容器スプレイ流量 使用済燃料ピット水位 使用済燃料ピット温度 恒設代替低圧注水ポンプ出口流量 原子炉下部キャビティ水位 原子炉格納容器水位 静的触媒式水素再結合装置温度 原子炉格納容器水素燃焼装置温度 原子炉水位 A T W S 緩和設備 使用済燃料ピット監視カメラ 格納容器再循環ユニット 格納容器再循環ユニットダクト Aガスサンプリング圧縮装置 (A湿分分離器含む) 静的触媒式水素再結合装置 原子炉格納容器水素燃焼装置	原子炉補助建屋 原子炉補助建屋 原子炉補助建屋 原子炉補助建屋 原子炉補助建屋 内部コンクリート、原子炉補助建屋 原子炉補助建屋 原子炉補助建屋 原子炉補助建屋 取水構造物 原子炉補助建屋 原子炉補助建屋 原子炉補助建屋 原子炉補助建屋 内部コンクリート 内部コンクリート 内部コンクリート 内部コンクリート 内部コンクリート 原子炉補助建屋 原子炉補助建屋 内部コンクリート 内部コンクリート 原子炉補助建屋 内部コンクリート 内部コンクリート

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

表 1-1 対象構造物の選定 (4/4)

安全重要度分類審査指針などに定める要求機能	分類など	主要設備	対象構造物
常設重大事故等対処設備	重*3	衛星電話（固定） 安全パラメータ表示システム（SPDS） 統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備（TV 会議システム、IP 電話、IP-FAX） SPDS 表示装置 緊急時衛星通報システム 緊急時対策所遮蔽 恒設ダクト（緊急時対策所建屋接続口～緊急時対策所内） 流量調整ユニット（空気供給装置用） 恒設配管（空気供給装置用） 緊急時対策所電源車切替盤 緊急時対策所コントロールセンタ 緊急時対策所 200V 分電盤 緊急時対策所 100V 主分電盤	原子炉補助建屋（3号炉）、原子炉補助建屋（1・2号炉）、緊急時対策所建屋 外部遮蔽壁、外部遮蔽壁（3号炉）、原子炉補助建屋、原子炉補助建屋（1・2号炉）、緊急時対策所建屋 原子炉補助建屋（3号炉）、緊急時対策所建屋 原子炉補助建屋（3号炉）、緊急時対策所建屋 緊急時対策所建屋 緊急時対策所建屋 緊急時対策所建屋 緊急時対策所建屋 緊急時対策所建屋 緊急時対策所建屋 緊急時対策所建屋 緊急時対策所建屋

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

表 1-2 代表構造物の選定 (1/2)

(a) コンクリート構造物

対象構造物 (コンクリート構造物)	重要度分類等	使用条件								選定	選定理由
		運転開始後 経過年数*1	高温部の 有無	放射線の 有無	振動の 有無	設置環境		供給 塩化物量	耐火要求 の有無		
						屋 内	屋 外				
① 外部遮蔽壁	クラス1設備支持	3 7	◇	◇	—	一部 仕上げ無し	仕上げ有り	◇	—	◎	屋内で仕上げ無し
② 外部遮蔽壁 (3号炉)	常設重大事故等 対処設備	3 7	◇	◇	—	一部 仕上げ無し	仕上げ有り	◇	—	◎	屋内で仕上げ無し
③ 内部コンクリート	クラス1設備支持	3 7	○ (1次遮蔽壁)	○ (1次遮蔽壁)	—	一部 仕上げ無し	/	—	—	◎	高温部、放射線の影響、 屋内で仕上げ無し
④ 原子炉格納施設基礎	クラス1設備支持	3 7	—	◇	—	一部 仕上げ無し	埋設*2	◇	/	◎	代表構造物を支持する構 造物 屋内で仕上げ無し
⑤ 原子炉補助建屋	クラス1設備支持	3 7	◇	◇	○ (非常用ディーゼル 発電機基礎)	一部 仕上げ無し	仕上げ有り	◇	—	◎	振動の影響、 屋内で仕上げ無し
⑥ 原子炉補助建屋 (1・2号炉)	クラス3設備支持	4 7	◇	◇	—	一部 仕上げ無し	仕上げ有り	◇	—	◎	屋内で仕上げ無し 運転開始後経過年数
⑦ 原子炉補助建屋 (3号炉)	クラス1設備支持	3 7	◇	◇	—	一部 仕上げ無し	仕上げ有り	◇	—	◎	屋内で仕上げ無し
⑧ 取水構造物	クラス1設備支持	3 7	—	—	—	/	仕上げ無し	○ (海水と接触)	—	◎	屋外で仕上げ無し、 供給塩化物量の影響 運転開始後経過年数
⑨ 取水構造物 (1・2号炉)	浸水防護施設支持	4 7	—	—	—	/	仕上げ無し	○ (海水と接触)	—	◎	屋外で仕上げ無し、 供給塩化物量の影響 運転開始後経過年数
⑩ タービン建屋	クラス3設備支持	3 7	—	—	○ (タービン架台)	一部 仕上げ無し	埋設*2	◇	/	◎	振動の影響、 屋内で仕上げ無し
⑪ 緊急時対策所建屋	常設重大事故等 対処設備支持	3	—	—	—	一部 仕上げ無し	仕上げ有り	◇	—		
⑫ 非常用ディーゼル発電用燃料油貯 油槽基礎 (配管トレンチ含む)	クラス1設備支持	3 7	—	—	—	/	仕上げ無し	◇	—		
⑬ 復水タンク基礎	クラス1設備支持	3 7	—	—	—	/	仕上げ無し	◇	/		
⑭ 防潮ゲート (道路部、水路部)	浸水防護施設	6	—	—	—	/	仕上げ無し	○ (海水と接触)	/		
⑮ 放水口側防潮堤 (防潮扉含む)	浸水防護施設	6	—	—	—	/	仕上げ無し	◇	/		

\*1: 運転開始後経過年数は、2022年10月時点の年数としている。

\*2: 環境条件の区分として、土中は一般の環境として区分されることから、他の屋外で仕上げがない構造物で代表させる。

【凡例】

○: 影響大

◇: 影響小

—: 影響極小、または無し

表 1-2 代表構造物の選定 (2/2)  
(b) 鉄骨構造物

対象構造物 (鉄骨構造物)	重要度分類等	使用条件				選定	選定理由
		運転開始後 経過年数*1	設置環境		使用材料		
			屋 内	屋 外			
① 内部コンクリート (鉄骨部)	クラス1 設備支持	3 7	仕上げ有り		炭素鋼	◎	使用材料、運転開始後経過年数
② 原子炉補助建屋 (鉄骨部)	クラス2 設備支持	3 7	仕上げ有り		炭素鋼	◎	使用材料、運転開始後経過年数
③ 原子炉補助建屋 (1・2号炉) (鉄骨部)	クラス3 設備支持	4 7	仕上げ有り		炭素鋼	◎	使用材料、運転開始後経過年数
④ 原子炉補助建屋 (3号炉) (鉄骨部)	クラス2 設備支持	3 7	仕上げ有り		炭素鋼	◎	使用材料、運転開始後経過年数
⑤ タービン建屋 (鉄骨部)	クラス3 設備支持	3 7	仕上げ有り		炭素鋼	◎	使用材料、運転開始後経過年数
⑥ 取水構造物 (浸水防止蓋)	浸水防護施設	6		仕上げ有り	ステンレス鋼		
⑦ 防潮ゲート (水路部)	浸水防護施設	6		仕上げ有り	炭素鋼		
⑧ 放水口側防潮堤 (防潮扉含む)	浸水防護施設	6		仕上げ有り	炭素鋼 アルミ合金		
⑨ 屋外排水路逆流防止設備	浸水防護施設	6		仕上げ有り	ステンレス鋼		
⑩ 放水ピット止水板	浸水防護施設	6		仕上げ有り	炭素鋼		

\*1: 運転開始後経過年数は、2022年10月時点の年数としている。

## 2. 代表構造物の技術評価

本章では、「1.2 代表構造物の選定」で選定した代表構造物について技術評価を実施する。

### 2.1 構造、材料、使用条件

コンクリート構造物は、必要な強度を確保するために、圧縮力には強いが引張力に弱いコンクリートを、引張力に強い鉄筋で補強した構造物である。また、鉄筋を強アルカリ性であるコンクリートで包むことにより、鉄筋の腐食を防止することができる。コンクリートは、セメントに骨材（粗骨材、細骨材）、水および混和材料を混合したものである。

コンクリートの設計基準強度は、外部遮蔽壁、外部遮蔽壁（3号炉）、内部コンクリート、原子炉格納施設基礎、原子炉補助建屋および原子炉補助建屋（3号炉）が24.5 N/mm<sup>2</sup>（250 kgf/cm<sup>2</sup>）、原子炉補助建屋（1・2号炉）が17.7 N/mm<sup>2</sup>（180 kgf/cm<sup>2</sup>）、タービン建屋（タービン架台）が20.6 N/mm<sup>2</sup>（210 kgf/cm<sup>2</sup>）、取水構造物および取水構造物（1・2号炉）が23.5 N/mm<sup>2</sup>（240 kgf/cm<sup>2</sup>）である。

鉄骨構造物は、構造用鋼材を溶接またはボルトにて接合した構造物であり、柱脚部はコンクリート基礎にアンカーボルトなどで固定されている。鉄骨部は、施工時に適切な防錆塗装などが施されている。

高浜4号炉のプラント配置図と代表構造物の概要をそれぞれ図2.1-1および図2.1-2に示す。

高浜4号炉のコンクリート構造物および鉄骨構造物の主な使用材料を、表2.1-1に示す。また、使用条件については、表1-2に示したとおりである。

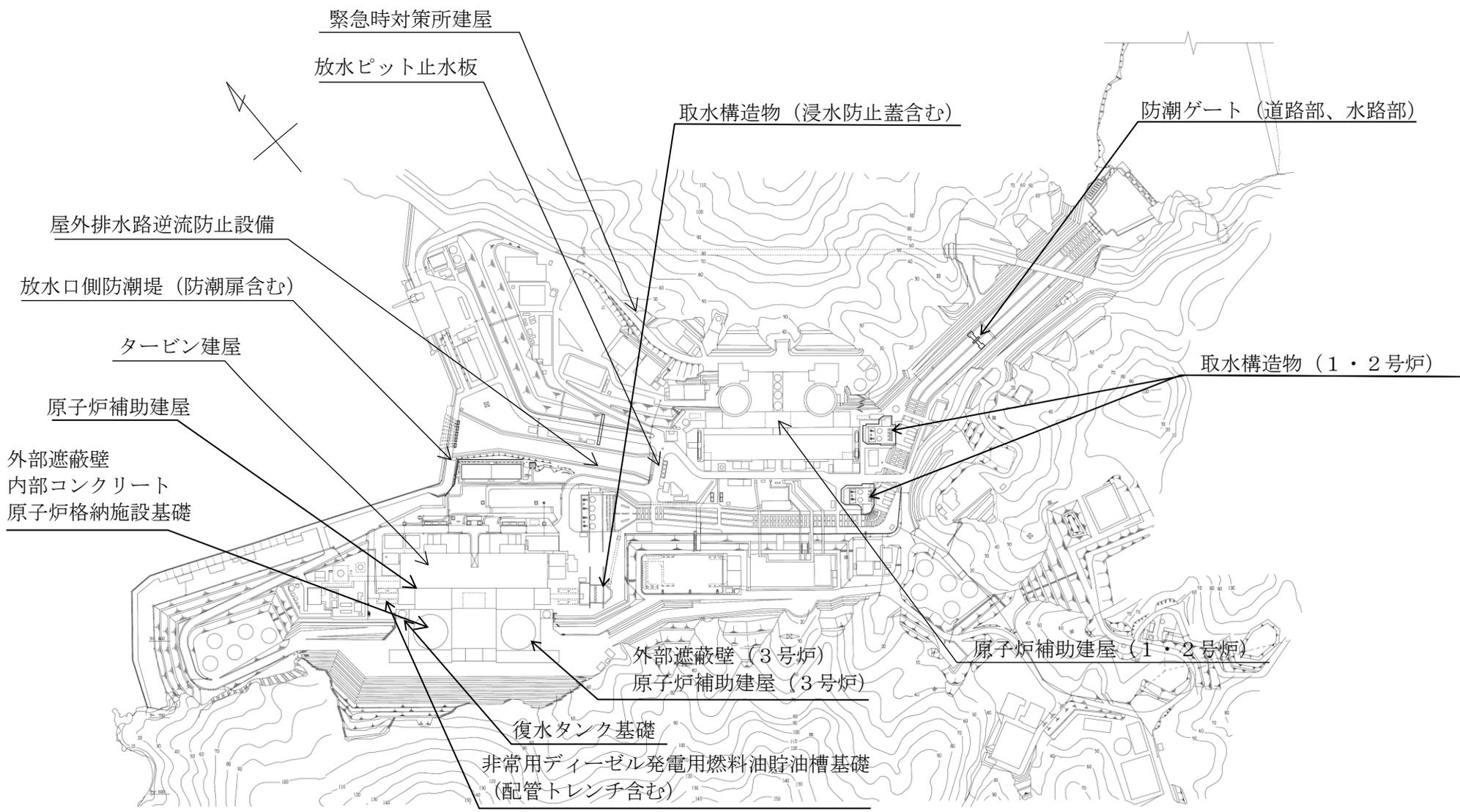
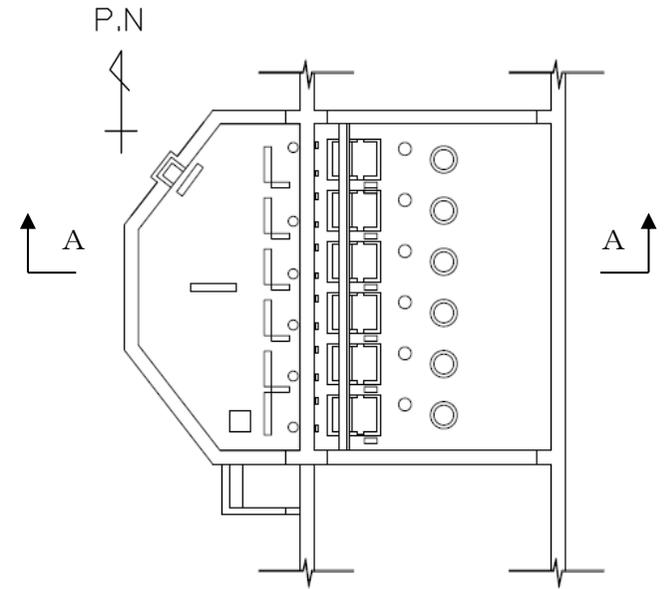
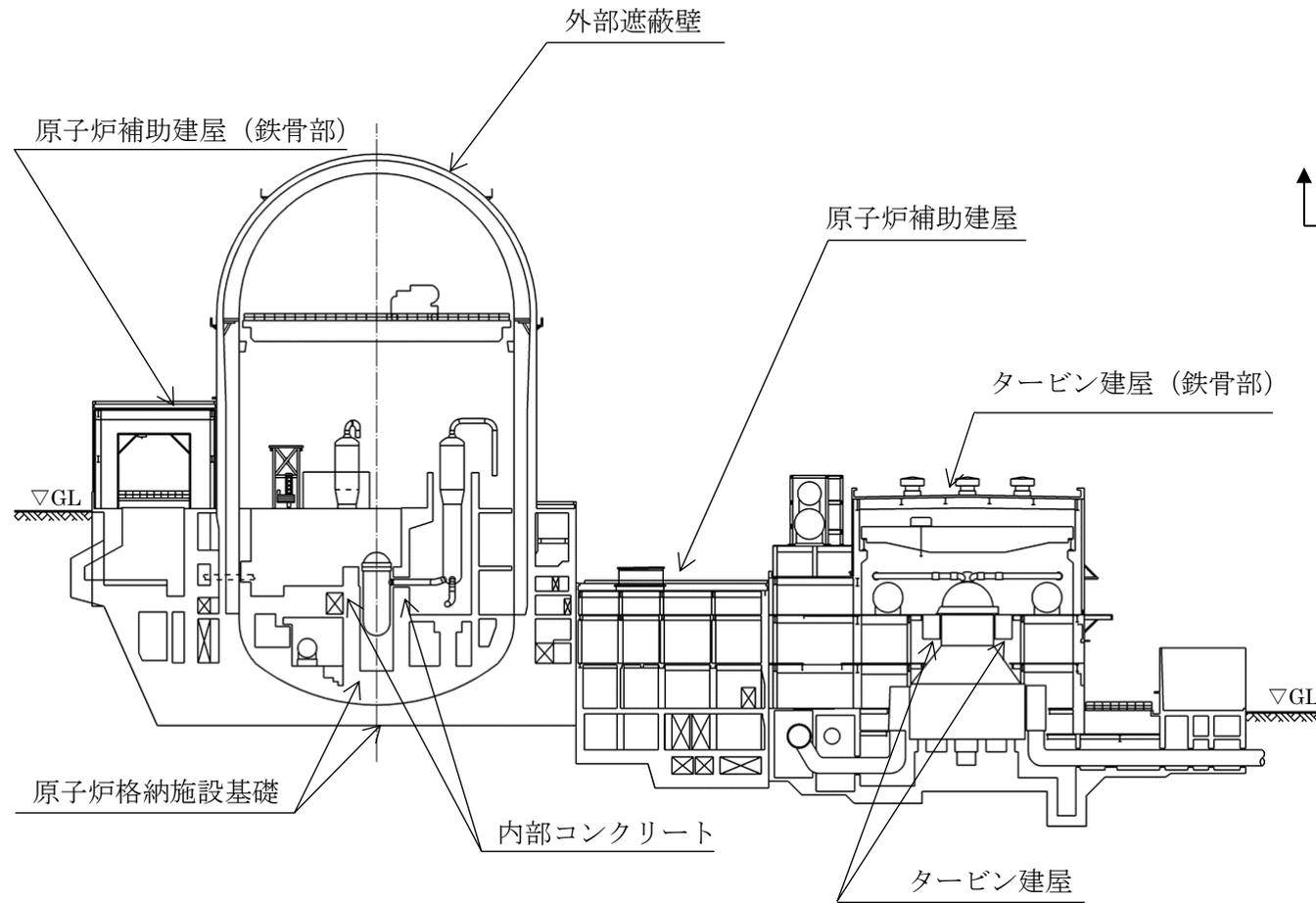
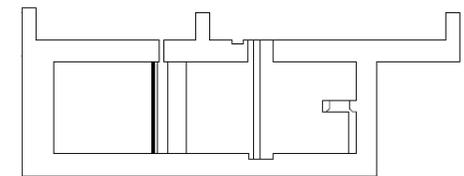


図 2.1-1 高浜4号炉 プラント配置図



取水構造物 平面図



取水構造物 A-A断面図

図 2.1-2 高浜 4 号炉 代表構造物の概要 (1/3)

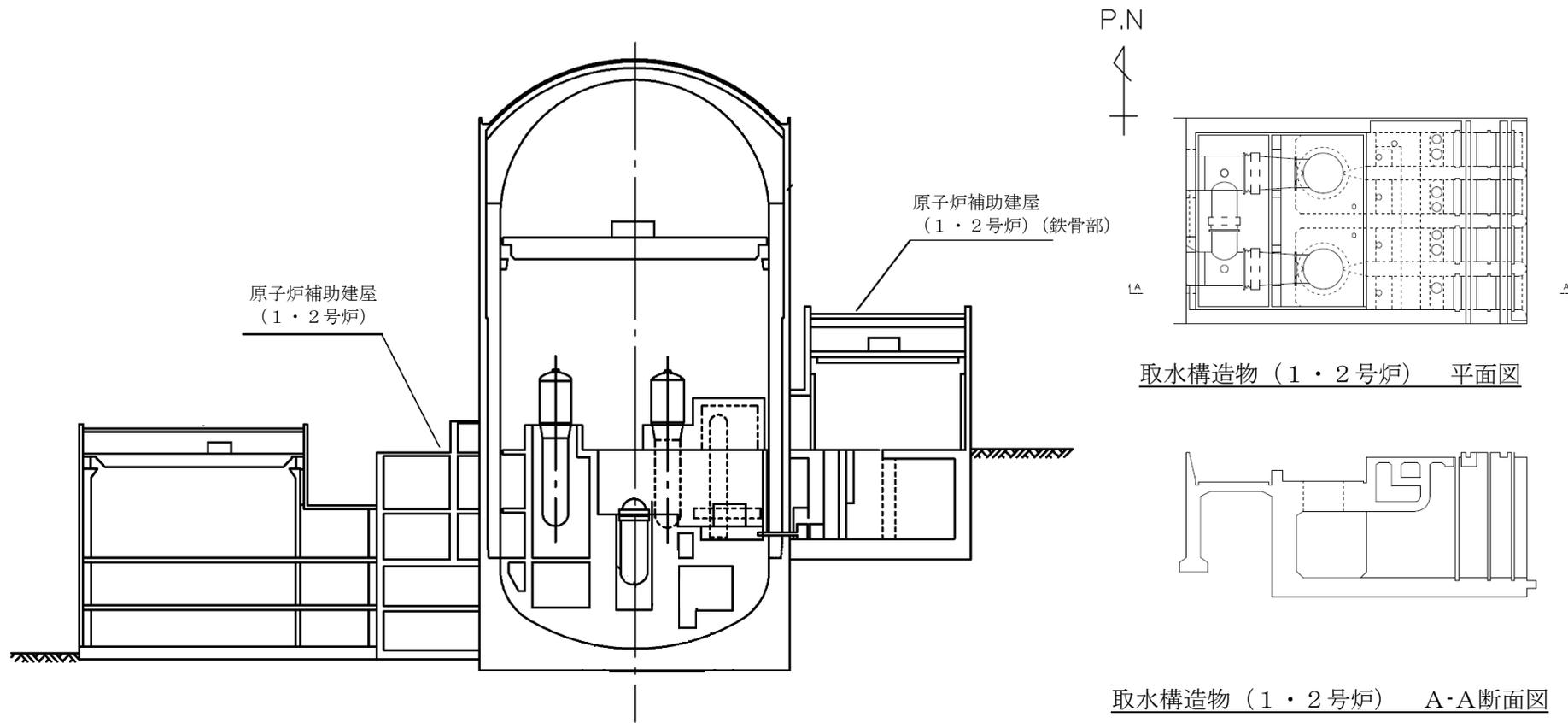


図 2.1-2 高浜 4 号炉 代表構造物の概要 (2/3)

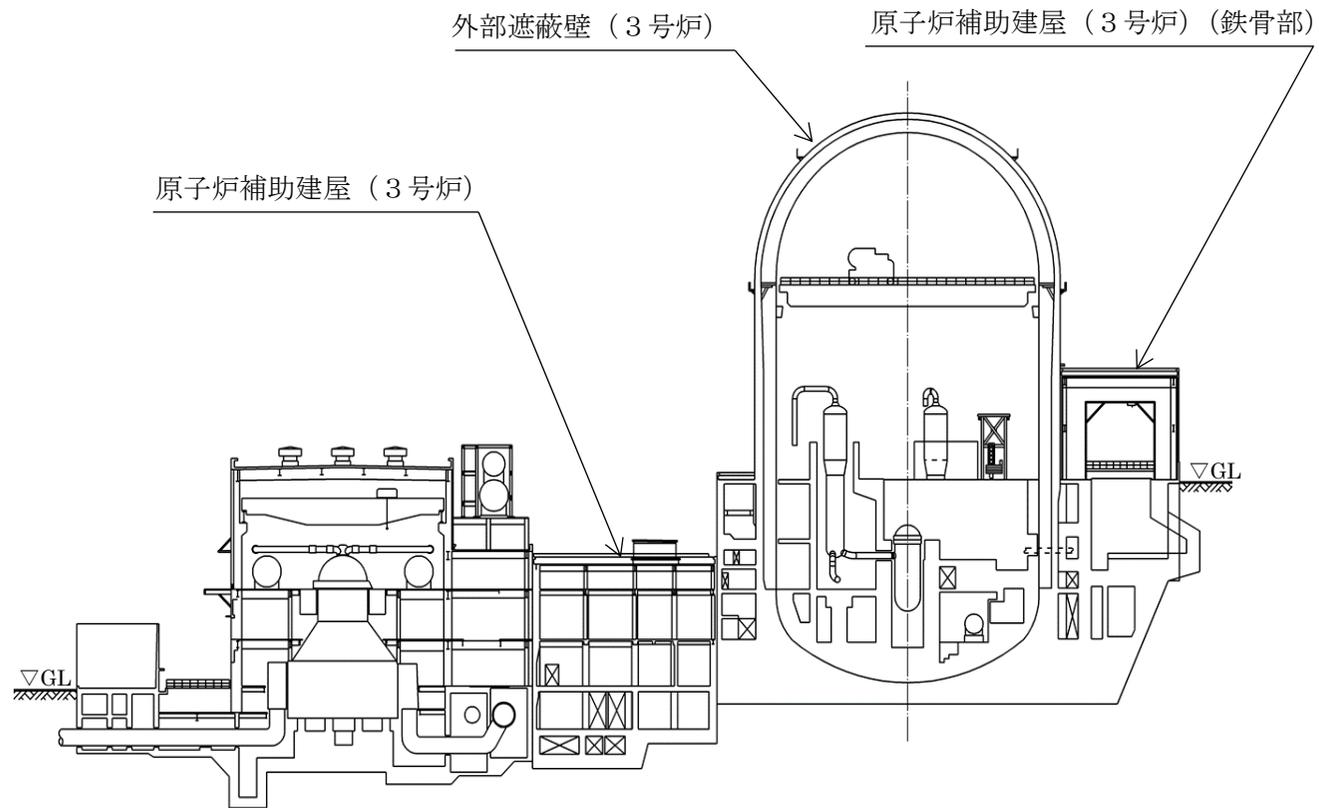


図 2.1-2 高浜 4号炉 代表構造物の概要 (3/3)

表 2.1-1 高浜 4 号炉 コンクリート構造物および鉄骨構造物の主な使用材料

		材 料	
コンクリート 構造物	骨材	粗骨材	砕石（小浜市堅海産、舞鶴市漆原産、舞鶴市余部産）
		細骨材	山砂（三国町産）、川砂（百瀬川産）、砕砂（小浜市堅海産、舞鶴市漆原産）の混合砂および山砂（竹野郡網野町産）
		セメント	中庸熟ポルトランドセメント
		混和材料	混和材（フライアッシュ） 混和剤（A E 減水剤、流動化剤）
		鉄筋	異形棒鋼（SD35）
		塗装材	（外部）建築用塗膜防水材（外壁用） （内部）エポキシ樹脂塗料
鉄骨 構造物		鉄骨	炭素鋼、ステンレス鋼、アルミ合金
		塗装材	エポキシ樹脂塗料、合成樹脂調合ペイント

## 2.2 高経年化対策上着目すべき構造物・経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 安全機能達成に必要な項目

評価対象のコンクリート構造物および鉄骨構造物に要求される機能は、支持機能と、一部のコンクリート構造物における放射線の遮蔽機能および耐火機能である。したがって、次の4つの項目が必要であり、高経年化対策上も重要と判断される。

- ① コンクリート強度の維持
- ② コンクリート遮蔽能力の維持
- ③ コンクリート耐火能力の維持
- ④ 鉄骨強度の維持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき構造物・経年劣化事象

「2.2.1 安全機能達成に必要な項目」であげたそれぞれの機能に影響を及ぼすことが否定できない経年劣化事象として、コンクリートの強度低下、コンクリートの遮蔽能力低下、コンクリートの耐火能力低下および鉄骨の強度低下が考えられる。

設計上および一般構造物での事例などから各事象に影響を及ぼす要因を抽出し、さらに、抽出した各要因に対して、代表構造物の使用環境、使用条件、重要度などから、評価対象とする構造物を選定した。高浜4号炉のコンクリート構造物および鉄骨構造物に想定される経年劣化事象と評価対象とする構造物を表2.2-1に示す。

想定される経年劣化事象と、各事象に影響を及ぼす要因のうち高経年化対策上着目すべきもの（表2.2-1で○となっているもの）を以下に示す。なお、評価対象とする構造物は〔 〕で示す。

#### (1) コンクリートの強度低下

##### a. 熱による強度低下〔内部コンクリート（1次遮蔽壁）〕

コンクリートが熱を受けると、温度条件によってはコンクリート中の水分の逸散に伴う乾燥に起因する微細なひび割れ、あるいは水分の移動に起因する空隙の拡大などにより強度が低下する可能性があるため、経年劣化に対する評価が必要である。

コンクリート構造物のうち、運転時に最も高温状態となる内部コンクリート（1次遮蔽壁）を評価対象とした。

b. 放射線照射による強度低下 [内部コンクリート (1次遮蔽壁)]

コンクリートは、中性子照射やガンマ線照射に起因する内部発熱によるコンクリート中の水分の逸散などにより、強度が低下する可能性があるため、経年劣化に対する評価が必要である。

コンクリート構造物のうち、中性子照射量およびガンマ線照射量の最も大きい内部コンクリート (1次遮蔽壁) を評価対象とした。

c. 中性化による強度低下 [内部コンクリート、タービン建屋 (タービン架台)、取水構造物 (気中帯)、原子炉補助建屋 (1・2号炉) (基礎マット) および取水構造物 (1・2号炉) (気中帯)]

コンクリートは空気中の二酸化炭素の作用を受けると、徐々にそのアルカリ性を失い中性化する。

中性化がコンクリートの内部に進行しアルカリ性が失われると鉄筋周囲に生成されていた不動態被膜も失われ、鉄筋はコンクリート中の水分、酸素の作用により腐食し始める。さらに、鉄筋の腐食が進行すると酸化生成物による体積膨張からコンクリートにひび割れや剥離が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性があるため、経年劣化に対する評価が必要である。

中性化の進行度合いに影響を及ぼす要因としては、塗装などのコンクリート表面仕上げの有無、二酸化炭素濃度、温度および相対湿度があげられる。

仕上げの有無については、仕上げ材が二酸化炭素侵入の遮断または抵抗体となることから、仕上げが施されていない部位の方が影響度が大きい。本評価対象のうち屋内については、中央制御室など、社員が常駐する部位には運転開始時点より仕上げが施されている。また、屋外については、運転開始後2年経過した時点 (1987年) で外部遮蔽壁等に塗装を施している。

二酸化炭素濃度については、高濃度である方が中性化に及ぼす影響度が大きい。気象庁の観測資料によると、大気中の二酸化炭素濃度は、徐々に上昇傾向が見られるものの、2020年から2021年に原子炉建屋などの屋内にて計測した結果、二酸化炭素濃度は平均で約430ppmであった。

温度については、高温であるほど中性化に及ぼす影響度が大きくなる傾向があるとされている。

相対湿度については、低湿度であるほど中性化に及ぼす影響度が大きくなる傾向があるとされている。

運転開始経過年数、仕上げが施されている状況、2020年から2021年の高浜4号炉における環境測定結果などから推定した、供用期間中の二酸化炭素濃度、温度、相対湿度の平均値に基づく中性化に及ぼす影響度の確認結果お

よび特別点検の結果を踏まえ、内部コンクリート、タービン建屋（タービン架台）および取水構造物（気中帯）を評価対象とした。

以上に加えて、運転開始後の経過年が大きい原子炉補助建屋（1・2号炉）および取水構造物（1・2号炉）については、高浜1・2号炉における特別点検の結果を踏まえ、基礎マットおよび気中帯をそれぞれ評価対象として選定した。

d. 塩分浸透による強度低下〔取水構造物および取水構造物（1・2号炉）〕

コンクリート中に塩化物イオンが浸透して鉄筋位置まで達すると、鉄筋表面の不動態被膜が失われるため、鉄筋はコンクリート中の水分、酸素の作用により腐食し始める。腐食が進行すると酸化生成物による体積膨張からコンクリートにひび割れや剥離が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性があるため、経年劣化に対する評価が必要である。

コンクリート構造物のうち、運転開始後経過年数、飛来塩分および海水とその飛沫の影響により厳しい塩分浸透環境下にある状況および特別点検の結果を踏まえ、取水構造物および取水構造物（1・2号炉）を評価対象とした。

e. 機械振動による強度低下〔原子炉補助建屋（非常用ディーゼル発電機基礎）およびタービン建屋（タービン架台）〕

機械振動により、コンクリート構造物が長期間にわたって繰返し荷重を受けると、ひび割れの発生、ひいては損傷に至る可能性があるため、経年劣化に対する評価が必要である。

コンクリート構造物のうち、比較的大きな振動を受ける部位として、原子炉補助建屋（非常用ディーゼル発電機基礎）およびタービン建屋（タービン架台）を評価対象とした。

(2) コンクリートの遮蔽能力低下

a. 熱による遮蔽能力低下〔内部コンクリート（1次遮蔽壁）〕

コンクリートは、周辺環境からの伝達熱および放射線照射に起因する内部発熱により、コンクリート中の水分が逸散し、放射線に対する遮蔽能力が低下する可能性があるため、経年劣化に対する評価が必要である。

コンクリート構造物のうち、運転時に最も高温状態となる内部コンクリート（1次遮蔽壁）を評価対象とした。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

経年劣化事象と、各事象に影響を及ぼす要因のうち、

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

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（表 2.2-1 で△または▲となっているもの）と判断し、以下に示す。

#### (1) コンクリートの強度低下

##### a. アルカリ骨材反応による強度低下

コンクリート中の反応性シリカを含む骨材と、セメントなどに含まれるアルカリ（ナトリウムイオンやカリウムイオン）が、水の存在下で反応してアルカリ珪酸塩を生成し、この膨張作用によりコンクリートにひび割れが生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。

使用している骨材（粗骨材、細骨材）については、1985年にモルタルバー法（ASTM C227）による反応性試験を実施し、反応性骨材ではないことを確認している。モルタルバー法による反応性試験の結果は、膨張率が材令6ヶ月で0.1%未満の場合は無害とする判定基準に対して最も高い骨材でも0.078%であった。また、定期的を目視確認を実施しており、アルカリ骨材反応に起因すると判断されるひび割れなどは認められていない。

これに加え、特別点検による実体顕微鏡を用いた観察において、コンクリート構造物の健全性に影響を与えるような反応性がないことを確認した。

以上から、コンクリートのアルカリ骨材反応による強度低下については、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

##### b. 凍結融解による強度低下

コンクリート中の水分が凍結し、それが気温の上昇や日射を受けることなどにより融解する凍結融解を繰り返すことでコンクリートにひび割れが生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。

日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事（2018）」に示される凍害危険度の分布図によると高浜4号炉の周辺地域は凍害危険度が設定されておらず、凍害の予想程度が「ごく軽微」

とされる凍害危険度 1 よりさらに危険度が低い。また、定期的に見視確認を実施しており、凍結融解に起因すると判断されるひび割れなどは認められていない。

以上から、凍結融解による強度低下は、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

(2) コンクリートの耐火能力低下

a. 火災時の熱などによる耐火能力低下

コンクリート構造物は、断面厚により耐火能力を確保する設計であるが、火災時の熱により剥落が生じ、部分的な断面厚の減少に伴う耐火能力の低下によりコンクリートの健全性が損なわれる可能性がある。

しかしながら、コンクリート構造物は通常の使用環境において、コンクリート構造物の断面厚が減少することはなく、また、定期的に見視確認を実施しており、火災時などの熱に起因すると判断される断面厚の減少は認められていない。

以上から、コンクリートの耐火能力は、高経年化対策上着目すべき劣化事象ではないと判断した。

(3) 鉄骨の強度低下

a. 腐食による強度低下

鉄は一般に大気中の酸素、水分と化学反応を起こして腐食する。また、海塩粒子などにより、腐食が促進される。腐食が進行すると鉄骨の断面欠損に至り、鉄骨の強度低下につながる可能性がある。

しかしながら、定期的に見視確認を実施しており、強度に支障をきたす可能性のあるような鋼材の腐食は認められておらず、また、強度に支障をきたす可能性のあるような鋼材の腐食に影響する塗膜の劣化などが見られた場合には、その部分の塗替えなどを行うこととしている。

以上から、腐食による強度低下は、高経年化対策上着目すべき劣化事象ではないと判断した。

b. 風などによる疲労に起因する強度低下

繰返し荷重が継続的に鉄骨構造物にかかることにより、疲労による損傷が蓄積され、鉄骨の強度低下につながる可能性がある。

煙突などの形状の構造物は、比較的アスペクト比（高さの幅に対する比）が大きく、風の直交方向に振動が発生する恐れがある（日本建築学会「原子力施

設における建築物の維持管理指針・同解説（2015）」）。日本建築学会「建築物荷重指針・同解説（2015）」において、アスペクト比が4以上の構造物は風による振動の検討が必要とされているが、鉄骨構造物にアスペクト比が4以上の構造物はない。したがって、風などによる疲労に起因する強度低下は高経年化対策上着目すべき劣化事象ではないと判断した。

#### 2.2.4 消耗品および定期取替品

取水構造物（浸水防止蓋）のパッキン等については定期取替品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表 2.2-1 高浜 4 号炉 コンクリート構造物および鉄骨構造物に想定される経年劣化事象と評価対象とする構造物

構造種別		コンクリート構造物								鉄骨構造物	
		強度低下							遮蔽能力低下	耐火能力低下	強度低下
経年劣化事象		熱	放射線照射	中性化	塩分浸透	機械振動	アルカリ骨材反応	凍結融解	熱		腐食
要 因		熱	放射線照射	中性化	塩分浸透	機械振動	アルカリ骨材反応	凍結融解	熱	腐食	風などによる疲労
代 表 構 造 物	外部遮蔽壁						△	△		△	
	外部遮蔽壁 (3号炉)						△	△		△	
	内部コンクリート	1次遮蔽壁* ○	1次遮蔽壁* ○	ループ室* ○			△	△	1次遮蔽壁* ○	△	鉄骨部 △ 鉄骨部 ▲
	原子炉格納施設基礎						△	△			
	原子炉補助建屋					非常用ディーゼル 発電機基礎* ○	△	△		△	鉄骨部 △ 鉄骨部 ▲
	原子炉補助建屋 (1・2号炉)			基礎マット* ○			△	△		△	鉄骨部 △ 鉄骨部 ▲
	原子炉補助建屋 (3号炉)						△	△		△	鉄骨部 △ 鉄骨部 ▲
	取水構造物			気中帯* ○	気中帯* 干満帯* 海中帯* ○		△	△		△	
	取水構造物 (1・2号炉)			気中帯* ○	気中帯* 干満帯* 海中帯* ○		△	△		△	
	タービン建屋			タービン架台* ○		タービン架台* ○	タービン架台 △	タービン架台 △			鉄骨部 △ 鉄骨部 ▲

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表中の○に対応する代表構造物：評価対象とする構造物）

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：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）

\*：評価対象部位

## 2.3 高経年化対策上着目すべき構造物・経年劣化事象に対する技術評価

### 2.3.1 コンクリートの強度低下

#### (1) 健全性評価

「2.2 経年劣化事象の抽出」で示した、コンクリートの強度低下をもたらす可能性のある要因毎に、長期使用時の健全性評価を行う。

#### a. 熱による強度低下

##### ① 事象の説明

一般にコンクリートは、コンクリート温度が70℃程度であればコンクリートの基本特性に大きな影響を及ぼすような自由水の逸散は生じず、100℃程度以下であれば圧縮強度の低下は少ない。

一方、コンクリート温度が190℃付近まで上昇すると結晶水が解放され始め、さらに高温になると脱水現象が著しくなるため、コンクリートの特性に影響が出始めるとされている（日本機械学会「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（2014）」）。

なお、コンクリートが高温に加熱された場合、強度が上昇するケースと低下するケースが見られる。強度の上昇をもたらす要因としては、セメントペースト中の未水和セメント粒子の水和の促進があり、強度低下をもたらす要因としては、コンクリート中の水分の逸散に伴う乾燥に起因する微細なひび割れ、あるいは水分の移動に起因する空隙の拡大などが考えられる。コンクリートの強度性状は、各要因によって支配されるものと考えられる。

##### ② 技術評価

コンクリートについては、日本建築学会「原子炉建屋構造設計指針・同解説（1988）」において、局部では90℃、一般部分では65℃という温度制限値が定められている。

長尾ら（「熱影響場におけるコンクリートの劣化に関する研究」、第48回セメント技術大会講演集、1994）の実験によれば、長期加熱時のコンクリートの圧縮強度は、65℃、90℃および110℃で3.5年間加熱した場合でも、強度低下は見られず、また、サイクル加熱時のコンクリートの圧縮強度は、20～110℃で120回サイクル加熱した場合、長期加熱時と同様に、強度の大きな低下は見られなかった（図2.3-1 および図2.3-2）。これらは、熱による強度の変化は、加熱開始後、比較的短期間でほぼ収束し、コンクリート中の温度が110℃程度以下ならば、加熱時間および繰返し回数がコンクリートの強度に影響を与えないことを示していると考えられる。

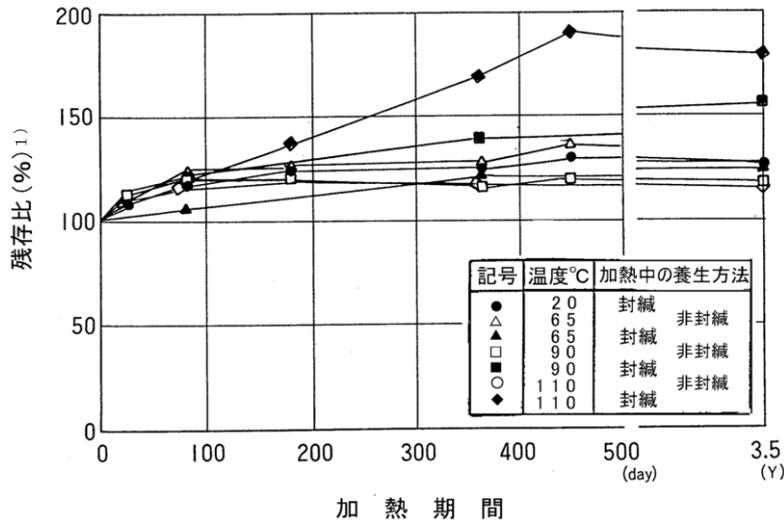
高浜4号炉のコンクリート構造物のうち、内部コンクリート（1次遮蔽壁）を評価対象とし、運転時に最も高温となる炉心領域部および原子炉容器サポート（以下、「RVサポート」という）直下部を評価点とし、ガンマ発熱を考慮した温度分布解析により評価を実施した。内部コンクリート（1次遮蔽壁）の概略図を図2.3-3に示す。

断続的運転を前提とした場合における高浜4号炉の内部コンクリートの最高温度は、温度分布解析の結果、炉心領域部で約56℃であった。

高浜4号炉において、コンクリート中の最高温度が温度制限値を下回っていることから、熱による強度への影響はなく、また、110℃を下回っていることから、長期加熱およびサイクル加熱による強度への影響はないものと考えられる。

以上から、熱による強度低下については、長期健全性評価上問題とならない。

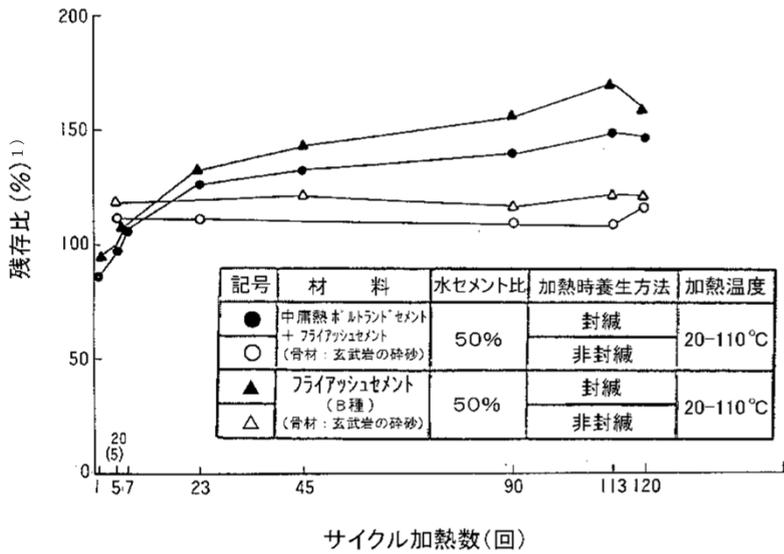
なお、強度・機能に影響を及ぼさない範囲で熱の評価点に最も近い位置から採取したコアサンプルについて、特別点検において強度試験を行った結果、平均圧縮強度（37.7N/mm<sup>2</sup>）が設計基準強度（24.5N/mm<sup>2</sup>）を上回っていることを確認している。



材料：中庸熟ポルトランドセメント  
 +フライッシュセメント  
 水セメント比：50%  
 骨材：玄武岩の砕石  
 加熱前養生方法：20°C封緘養生  
 加熱開始時期：材齢91日  
 ※65°C、90°Cおよび110°Cの  
 温度で3.5年間加熱しても  
 強度の低下はみられない。  
 なお、記号の一部誤記は修  
 正した。

1) 残存比：加熱開始直前の圧縮強度に対する加熱後の圧縮強度の比  
 (出典：長尾他、「熱影響場におけるコンクリートの劣化に関する研究」、  
 第48回セメント技術大会講演集、1994)

図 2.3-1 長期加熱後のコンクリート圧縮強度の変化



加熱前養生方法：20°C封緘養生  
 加熱開始時期：材齢91日  
 サイクル加熱条件：  
 1 サイクル4日間(96時間)  
 (20→110°C加熱：3時間)  
 (110°C定温保持：4.5時間)  
 (110→20°C冷却：3時間)  
 (20°C定温保持：4.5時間)  
 ※20～110°Cの加熱・冷却を120  
 回繰返しても強度の大きな低  
 下は見られない。

1) 残存比：加熱開始直前の圧縮強度に対する加熱後の圧縮強度の比  
 (出典：長尾他、「熱影響場におけるコンクリートの劣化に関する研究」、  
 第48回セメント技術大会講演集、1994)

図 2.3-2 サイクル加熱後のコンクリート圧縮強度の変化(20～110°C)

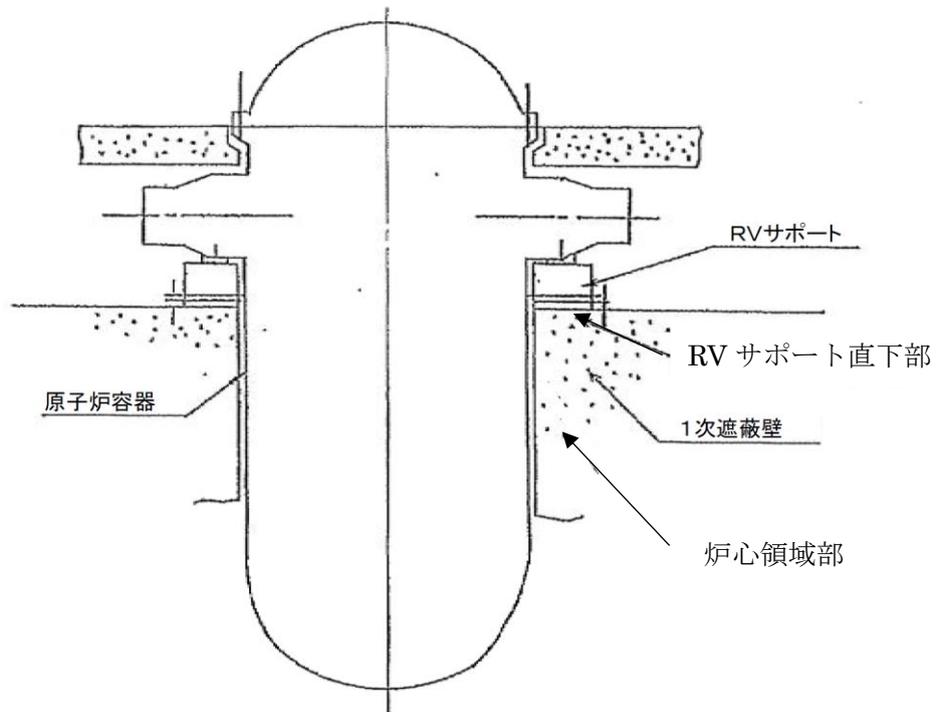


図 2.3-3 高浜 4 号炉 内部コンクリート（1次遮蔽壁）

b. 放射線照射による強度低下

① 事象の説明

コンクリートが中性子照射やガンマ線照射を受けた場合、コンクリート中の水分の逸散などにより強度が低下する可能性がある。

② 技術評価

中性子照射と強度の関係に関しては、従来 Hilsdorf 他の文献 (Hilsdorf et al. 「The Effects of Nuclear Radiation on the Mechanical Properties of Concrete (1978)」) における「中性子照射したコンクリートの圧縮強度 (fcu) と照射しないコンクリートの圧縮強度 (fcuo) の変化」を参照していた。一方で、小嶋他の試験結果を踏まえた知見 (小嶋他、NTEC-2019-1001 「中性子照射がコンクリートの強度に及ぼす影響(2019)」) によると、 $1 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ ) の中性子照射量から強度低下する可能性があることが確認されている。

また、ガンマ線照射量とコンクリートの強度との関係に関する Hilsdorf 他の文献によると、少なくとも  $2 \times 10^8 \text{ Gy}$  ( $2 \times 10^{10} \text{ rad}$ ) 程度のガンマ線照射量では有意な強度低下は見られない (図 2.3-4)。

高浜 4 号炉のコンクリート構造物のうち、中性子照射量およびガンマ線照射量の最も大きい内部コンクリート (1 次遮蔽壁) を評価対象とし、中性子照射量およびガンマ線照射量が最大となる 1 次遮蔽壁炉心側コンクリートを評価点とし、評価を実施した。

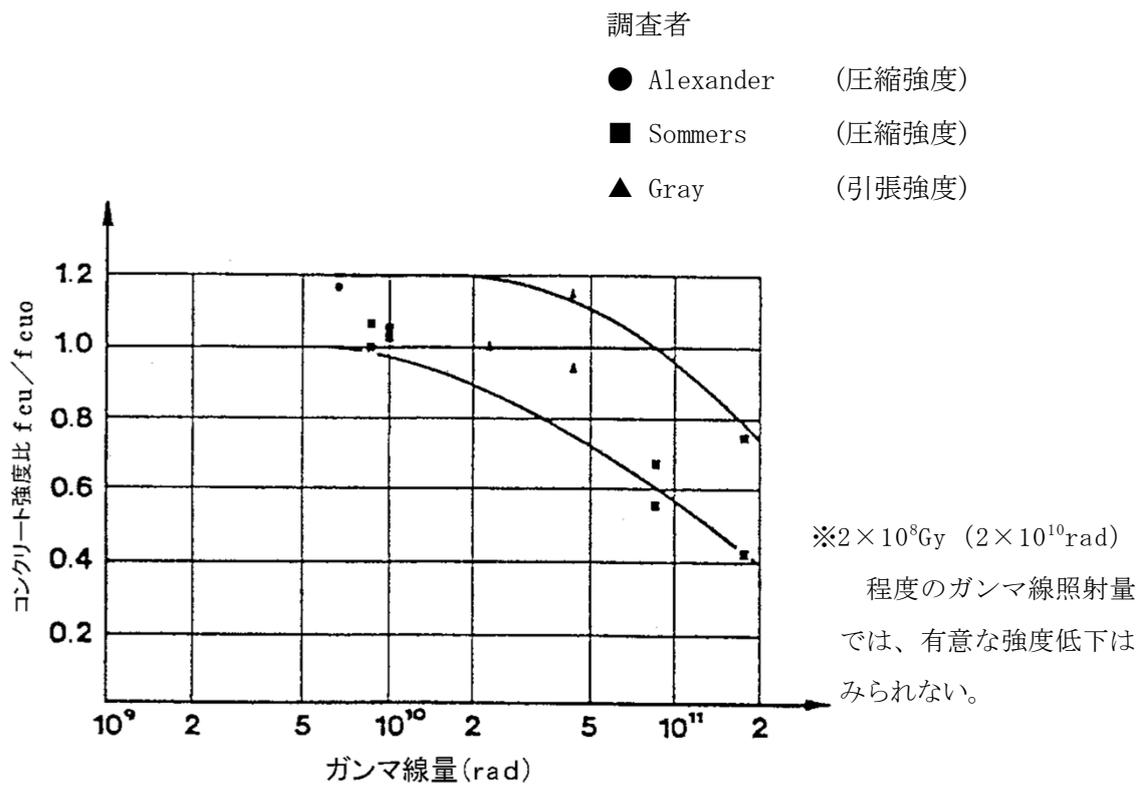
高浜 4 号炉の運転開始後 60 年経過時点で予想される中性子照射量 ( $E > 0.098 \text{ MeV}$ ) は、評価点において約  $5.62 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  となるが、照射量が  $1 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  を超えるコンクリートの範囲は、深さ方向に最大でも 12 cm 程度であり、1 次遮蔽壁の厚さ (最小壁厚約 279 cm) に比べて小さい。照射量が  $1 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$  を超える範囲を除いた構造体の耐力が地震時の鉛直荷重などの設計荷重を上回ることを、日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG 4601-1987)」に基づく内部コンクリートの最大せん断ひずみ評価に対して影響がないことを確認している。

高浜 4 号炉の運転開始後 60 年経過時点で予想されるガンマ線照射量は、1 次遮蔽壁炉心側コンクリートにおいて最大約  $1.75 \times 10^8 \text{ Gy}$  ( $1.75 \times 10^{10} \text{ rad}$ ) であり、 $2 \times 10^8 \text{ Gy}$  ( $2 \times 10^{10} \text{ rad}$ ) を下回っているこ

とから、内部コンクリート（1次遮蔽壁）の強度に影響はないものと考えられる。

以上から、放射線照射による強度低下については、長期健全性評価上問題とならない。

なお、強度・機能に影響を及ぼさない範囲で放射線照射の評価点に最も近い位置から採取したコアサンプルについて、特別点検において強度試験を行った結果、平均圧縮強度（ $37.7 \text{ N/mm}^2$ ）が設計基準強度（ $24.5 \text{ N/mm}^2$ ）を上回っていることを確認している。



(出典 : Hilsdorf、Kropp、and Koch、*「The Effects of Nuclear Radiation on the Mechanical Properties of Concrete」*、American Concrete Institute Publication SP 55-10. 1978)

図 2.3-4 ガンマ線照射したコンクリートの強度 (fcu) と照射しないコンクリートの強度 (fcu<sub>0</sub>) の変化

c. 中性化による強度低下

① 事象の説明

コンクリートは空気中の二酸化炭素の作用を受けると、徐々にそのアルカリ性を失い中性化する。

中性化がコンクリートの内部に進行し、アルカリ性が失われると鉄筋周囲に生成されていた不動態被膜も失われ、鉄筋はコンクリート中の水分、酸素の作用により腐食し始める。さらに、鉄筋の腐食が進行すると酸化生成物による体積膨張からコンクリートにひび割れや剥離が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。

② 技術評価

中性化の進展予測式としては、岸谷式（日本建築学会「高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針（案）・同解説（1991）」）、森永式（森永「鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート建築物の寿命予測に関する研究—東京大学学位論文（1986）」）および実測値に基づく $\sqrt{t}$ 式（土木学会「コンクリート標準示方書 維持管理編（2018）」）がある。

中性化の進展度合いに影響を及ぼす要因としては、塗装などのコンクリート表面仕上げの有無、二酸化炭素濃度、温度および相対湿度とされている。

これらの要因を考慮し、仕上げが施されている状況と、森永「鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート建築物の寿命予測に関する研究—東京大学学位論文（1986）」を活用して算出した環境条件の中性化に及ぼす影響度および特別点検による中性化深さの測定結果を踏まえて、原子炉補助建屋および取水構造物を評価対象とし、環境条件などにより、内部コンクリート、タービン建屋（タービン架台）および取水構造物（気中帯）を評価点として選定した。

さらに、運転開始後の経過年が大きい原子炉補助建屋（1・2号炉）および取水構造物（1・2号炉）についても評価対象とし、高浜1・2号炉における特別点検の結果を踏まえ、原子炉補助建屋（1・2号炉）（基礎マット）および取水構造物（1・2号炉）（気中帯）をそれぞれ評価対象として選定した。

これらの評価対象について、岸谷式（原子炉補助建屋（1・2号炉）（基礎マット）および取水構造物（1・2号炉）（気中帯）のみ）、森永式および実測値に基づく $\sqrt{t}$ 式を用いて、高浜4号炉運転開始後60年経過時点の中性化深さを推定し、鉄筋が腐食し始める時の中性化深さと比較することで

評価を実施した。

鉄筋が腐食し始める時の中性化深さは、一般に屋外の雨掛かりの部分では鉄筋のかぶり厚さまで達したとき、屋内の部分では鉄筋のかぶり厚さから2 cm奥まで達したときとされている（日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説（2016）」）。評価対象の設計最小かぶり厚さは、内部コンクリートが6.8 cm、タービン建屋（タービン架台）が6.5 cm、取水構造物（気中帯）および取水構造物（1・2号炉）（気中帯）が8.5 cm、原子炉補助建屋（1・2号炉）（基礎マット）が8.0 cmである。

評価対象にて測定した中性化深さの平均値ならびに岸谷式、森永式および実測値に基づく $\sqrt{t}$ 式を用いて4号炉運転開始後60年経過時点における中性化深さを評価した結果を表2.3-1に示す。

高浜4号炉運転開始後60年経過時点の中性化深さの推定値が、鉄筋が腐食し始める時の中性化深さを下回っていることから、コンクリートの強度への影響はないものと考えられる。

また、定期的に見視確認を実施しているが、鉄筋腐食に起因すると判断されるひび割れなどは認められていない。

以上から、中性化による強度低下については、長期健全性評価上問題とはならない。

表2.3-1 高浜4号炉 コンクリートの中性化深さ

	調査時点の中性化深さ			4号炉運転開始後 60年経過時点の 中性化深さ(cm) (推定式)	鉄筋が腐食 し始める時の 中性化深さ (cm)
	経過年数	実測値 (cm)	推定値 (cm) (推定式)		
タービン建屋 (タービン架台)	36年	3.9	2.4 (森永式)	5.0 <sup>*4</sup> ( $\sqrt{t}$ 式)	8.5
内部コンクリート (ループ室)	37年	0.2	2.4 (森永式)	3.0 <sup>*4</sup> (森永式)	8.8
取水構造物 (気中帯)	36年	0.5	0.6 (森永式)	0.7 <sup>*4</sup> ( $\sqrt{t}$ 式)	8.5
原子炉補助建屋 (1・2号炉) (基礎マット)	29年 <sup>*1</sup>	3.5	4.4 <sup>*3</sup> (岸谷式)	5.8 <sup>*5*6</sup> (岸谷式)	10.0
取水構造物 (1・2号炉) (気中帯)	29年 <sup>*2</sup>	0.4	2.3 <sup>*3</sup> (岸谷式)	3.0 <sup>*5*7</sup> (岸谷式)	8.5

- \*1：4号炉運転開始後の経過年数を示す。1号炉運転開始後の経過年数は40年。
- \*2：4号炉運転開始後の経過年数を示す。2号炉運転開始後の経過年数は39年。
- \*3：岸谷式および森永式による評価結果のうち最大値を記載
- \*4：森永式および実測値に基づく $\sqrt{t}$ 式による評価結果のうち最大値を記載
- \*5：岸谷式、森永式および実測値に基づく $\sqrt{t}$ 式による評価結果のうち最大値を記載
- \*6：1号炉運転開始後の経過年数は71年。
- \*7：2号炉運転開始後の経過年数は70年。

d. 塩分浸透による強度低下

① 事象の説明

コンクリート中に塩化物イオンが浸透して鉄筋位置まで達すると、鉄筋表面の不動態被膜が失われるため、鉄筋はコンクリート中の水分、酸素の作用により腐食し始める。腐食が進行すると酸化生成物による体積膨張からコンクリートにひび割れや剥離が生じ、コンクリート構造物としての健全性が損なわれる可能性がある。

② 技術評価

塩分によるコンクリート中の鉄筋への影響を評価する方法としては、鉄筋の腐食速度に着目し、鉄筋の腐食減量が、かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋の腐食減量に達するまでの期間の予測式として、森永式（森永「鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート建築物の寿命予測に関する研究—東京大学学位論文（1986）」）が提案されている。

高浜4号炉のコンクリート構造物のうち、運転開始後の経過年が大きいこと、海水とその飛沫の影響により最も厳しい塩分浸透環境下にあることや特別点検による塩化物イオン濃度の測定結果を踏まえ、取水構造物および取水構造物（1・2号炉）を評価対象とし、環境条件の異なる気中帯、干満帯および海中帯を評価点として評価を実施した。

特別点検による鉄筋位置での塩化物イオン濃度の測定結果をもとに、森永式を適用して鉄筋の腐食減量を計算した結果を表2.3-2に示す。

高浜4号炉運転開始後60年時点の鉄筋腐食減量は、かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量を下回っていることから、コンクリートの強度への影響はないものと考えられる。

また、定期的に見視確認を実施しているが、鉄筋腐食に起因すると判断されるひび割れなどは認められていない。

以上から、塩分浸透による強度低下については、長期健全性評価上問題とはならない。

表 2.3-2 高浜 4 号炉 鉄筋の腐食減量

	経過年数	鉄筋位置での 塩化物イオン 濃度および量 上段 (%) 下段 (kg/m <sup>3</sup> )	鉄筋の腐食減量 ( $\times 10^{-4}$ g/cm <sup>2</sup> )		
			調査時点	4号炉運転 開始後60 年経過時点	かぶりコン クリートに ひび割れが 発生する時 点
取水構造物 (気中帯)	36年	0.01 (0.19)	3.0	5.1	90.1
取水構造物 (干満帯)	37年	0.01 (0.27)	7.4	11.8	88.1
取水構造物 (海中帯)	37年	0.04 (1.04)	0.6	1.9	88.1
取水構造物 (1・2号炉) (気中帯)	29年* <sup>2</sup>	0.21 (5.11)	10.7	26.6* <sup>4</sup>	90.1
取水構造物 (1・2号炉) (干満帯)	29年* <sup>1</sup>	0.05 (1.23)	11.4	21.6* <sup>3</sup>	90.1
取水構造物 (1・2号炉) (海中帯)	29年* <sup>1</sup>	0.33 (7.83)	7.2	19.3* <sup>3</sup>	90.1

- \* 1 : 4号炉運転開始後の経過年数を示す。1号炉運転開始後の経過年数は40年。
- \* 2 : 4号炉運転開始後の経過年数を示す。2号炉運転開始後の経過年数は39年。
- \* 3 : 1号炉運転開始後の経過年数は71年。
- \* 4 : 2号炉運転開始後の経過年数は70年。

e. 機械振動による強度低下

① 事象の説明

機械振動により、コンクリート構造物が長期間にわたって繰返し荷重を受けると、ひび割れの発生、ひいては損傷に至る可能性がある。

② 技術評価

高浜4号炉のコンクリート構造物のうち、比較的大きな振動を受ける原子炉補助建屋（非常用ディーゼル発電機基礎）およびタービン建屋（タービン架台）を評価対象とし、局部的に影響を受ける可能性がある基礎ボルト周辺のコンクリートを評価点とした。

基礎ボルト周辺のコンクリートに作用する荷重のうち、鉛直方向については、機械の自重やナットの締め付けによる圧縮力が常時作用している。これに加えて機械振動による荷重が作用しても、通常、機械振動による荷重は機械の自重に比べて小さいことから、基礎ボルトの有意な引き抜き荷重やコンクリートへの過大な圧縮力は発生せず、コンクリートのひび割れ発生には至らないと考えられる。

また、水平方向については、基礎ボルトの機械振動による水平変位は、コンクリート内部よりもコンクリート表面部の方が大きいため、コンクリートが機械振動により受ける応力は、定着部表面部の方がコンクリート内部よりも大きくなる。したがって、コンクリートにひび割れが発生する場合には、表面から発生する可能性が高いと考えられる。このため、機械振動により機器のコンクリート基礎への定着部の支持力が失われるような場合、機械の異常振動や定着部周辺コンクリート表面に有害なひび割れが発生するものと考えられる。

定期的に見視確認を実施しているが、大きな振動を受けるタービン架台および非常用ディーゼル発電機基礎の機器支持部表面に、機械振動に起因する有害なひび割れなどは認められていない。

以上から、機械振動による強度低下については、長期健全性評価上問題とならない。

f. 強度試験結果

コンクリート構造物における、現状のコンクリート強度として、代表構造物の圧縮強度試験結果を表 2.3-3 に示す。各代表構造物において、平均圧縮強度が設計基準強度を上回っていることを確認した。

表 2.3-3 高浜 4 号炉 代表構造物のコンクリートの強度試験結果

代表構造物	実施時期	試験箇所数	平均圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )
外部遮蔽壁	2022年	3	41.1	24.5
内部コンクリート	2022年	3	37.7	24.5
原子炉格納施設基礎	2022年	3	58.0	24.5
原子炉補助建屋	2022年	12	47.4	24.5
タービン建屋	2022年	9	50.4	20.6
取水構造物	2022年	9	49.6	23.5

(2) 現状保全

コンクリートの強度低下については、定期的に屋内、屋外ともコンクリート表面のひび割れ、塗膜の劣化などの目視確認を行い、強度に支障をきたす可能性のあるような有意な欠陥がないことを確認し、必要に応じて塗装の塗替えなどの補修を実施している。

また、コンクリートの強度については、非破壊試験などを実施し、強度に急激な経年劣化が生じていないことを確認している。

(3) 総合評価

コンクリートの強度については、現状において設計基準強度を上回っており、健全性評価結果から判断して、今後、強度低下が急激に発生する可能性は極めて小さいと考えられる。

また、定期的に目視確認を実施し、強度に支障をきたす可能性のあるような有意な欠陥がないことを確認するとともに非破壊試験などを実施し、強度に急激な経年劣化が生じていないことを確認し、必要に応じて塗装の塗替えなどの補修を実施していることから、保全方法は適切であり、現状保全を継続することにより、健全性の維持は可能であると考えられる。

(4) 高経年化への対応

コンクリートの強度低下については、今後も現状の保全方法により健全性を確認していくものとし、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはない。

## 2.3.2 コンクリートの遮蔽能力低下

### (1) 健全性評価

#### a. 熱による遮蔽能力低下

##### ① 事象の説明

コンクリートは、周辺環境からの伝熱および放射線照射に起因する内部発熱により、コンクリート中の水分が逸散し、放射線に対する遮蔽能力が低下する可能性がある。

##### ② 技術評価

放射線防護の観点から、コンクリート遮蔽体の設計に適用されている「コンクリート遮蔽体設計規準」(R.G.Jaeger et al.「Engineering Compendium on Radiation Shielding(ECRS) VOL.2(1975)」)には、周辺および内部最高温度の制限値が示されており、コンクリートに対しては中性子遮蔽で88℃以下、ガンマ線遮蔽で177℃以下となっている。

コンクリート構造物のうち、内部コンクリート(1次遮蔽壁)を評価対象とし、運転時に最も高温となる炉心領域部を評価点とし、ガンマ発熱を考慮した温度分布解析により評価を実施した。

断続的運転を前提とした場合における高浜4号炉の内部コンクリートの最高温度は、温度分布解析の結果、炉心領域部での約56℃であり、制限値を下回っていることから、遮蔽能力への影響はないと考えられる。

以上から、熱による遮蔽能力低下に対しては、長期健全性評価上問題とならない。

なお、評価点近傍から採取したコアサンプルについて、特別点検として確認した乾燥単位容積質量は2.260 g/cm<sup>3</sup>であり、高浜4号炉の内部コンクリート(1次遮蔽壁)のコンクリート密度の設計値は2.2 g/cm<sup>3</sup>である。特別点検として確認した乾燥単位容積質量がコンクリート密度の設計値を上回っていることから、放射線障害を防止するために必要な遮蔽能力を有することを確認している。

(2) 現状保全

コンクリートの遮蔽能力低下については、定期的に見視確認を実施し、遮蔽能力に支障をきたす可能性のあるひび割れなどの有意な欠陥がないことを確認している。

(3) 総合評価

コンクリートの遮蔽能力については、現状において要求値を上回っており、健全性評価結果から判断して、今後遮蔽能力低下が急激に発生する可能性は極めて小さいと考えられる。また、ひび割れなどについては目視確認で検知可能であり、保全方法として適切であり、現状保全を継続することにより、健全性の維持は可能であると考えられる。

(4) 高経年化への対応

コンクリートの遮蔽能力低下については、今後も現状の保全方法により健全性を確認していくものとし、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはない。

### 3. グループ内全構造物への展開

コンクリート構造物および鉄骨構造物の技術評価については、「2.2 高経年化対策上着目すべき部位・経年劣化事象の抽出」および「2.3 高経年化対策上着目すべき構造物・経年劣化事象の技術評価」に示すとおり、代表構造物について、各経年劣化事象に影響を及ぼす要因ごとに、使用条件を考慮して実施している。コンクリート構造物および鉄骨構造物の場合、グループ内全構造物の使用条件は、代表構造物の使用条件に含まれているため、技術評価結果も代表構造物の評価結果に含まれた結果となる。

したがって、代表構造物の技術評価を行ったことで、グループ内全構造物の技術評価は実施済みである。

# 高浜発電所 4 号炉

## 計測制御設備の技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

関西電力株式会社

高浜4号炉の計測制御設備のうち、評価対象機器である安全重要度分類審査指針におけるクラス1、2の機器、高温・高圧の環境下にあるクラス3の機器および常設重大事故等対処設備に属する機器について、図1に示すとおり、目的・機能を基にプロセス計測制御設備と制御設備に分類している。

プロセス計測制御設備については、計測対象および信号伝送方式でグループ化し、同一グループ内の複数の機器の存在を考慮して、使用条件および主要構成機器の観点から代表機器を選定した。

制御設備については、機能でグループ化し、同一グループ内の複数の機器の存在を考慮して、主要構成機器および重要度の観点から代表機器を選定した。

これらの一覧表を表1および表2に、機能を表3に示す。

なお、図1において重複している部分については、指示計、自動/手動操作器および記録計はプロセス計測制御設備で、それ以外の機器は制御設備で評価をしている。

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

また、計測制御設備は、定期的な機器の点検調整、または周期的な取替により機能維持を図ることで信頼性を確保している。

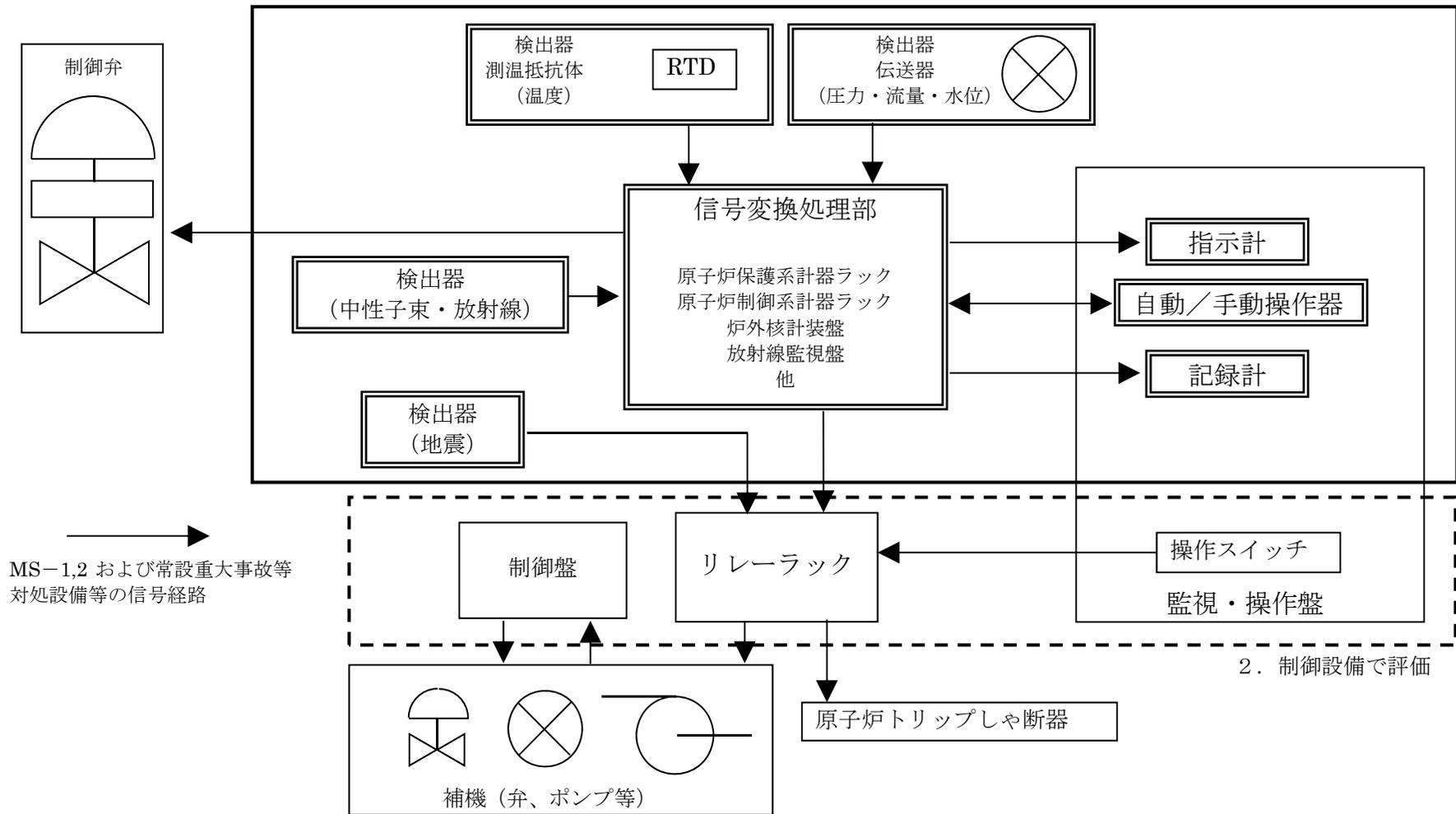
なお、本評価書における分解点検には、定期的実施する分解点検に加え、状態監視や傾向監視等の結果に基づき計画、実施する分解点検を含んでいる。

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

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

- 1 プロセス計測制御設備
- 2 制御設備

1. プロセス計測制御設備で評価



2. 制御設備で評価

図1 高浜4号炉 計測制御設備の評価区分

表1 (1/6) 高浜4号炉 主要なプロセス計測制御設備

分離基準		機器名称 (ループ数)	選定基準				代表機器の選定	
計測対象	信号伝送方式		主要構成機器	重要度*1	使用条件		代表機器	選定理由
					設置場所 (上段:検出器/下段:検出器以外)	温度 (°C)		
圧力	連続	1次冷却材圧力 (2)	伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-1、重*2	原子炉格納容器内*3,4	約36	◎	要求される環境条件が厳しいことから選定
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		加圧器圧力 (4)	伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-1	原子炉格納容器内*3	約41		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
					制御建屋	約25		
					外周建屋	約40		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
					制御建屋	約25		
					タービン建屋	約40		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		タービン第1段後圧力 (2)	伝送器、信号変換処理部、指示計	MS-1	タービン建屋	約40		
		タービン動補助給水ポンプ吐出圧力・入口蒸気差圧 (1)	伝送器 (空気式)、制御器 (空気式)	MS-1	中間建屋	約40		
					タービン建屋	約40		
		格納容器圧力 (6)	伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-1、重*2	外周建屋	約40		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		ペネトレーションエリア圧力 (2)	伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-2	外周建屋	約40		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		制御用空気ヘッダ圧力 (3)	伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-2	外周建屋	約40		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		海水ヘッダ圧力 (2)	伝送器、信号変換処理部、指示計	MS-2	屋外	約40		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		アニュラス圧力 (2)	伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計、自動/手動操作器	MS-1	外周建屋	約40		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		

\*1: 機能は最上位の機能を示す。

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

\*3: 設計基準事故 (1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失) を考慮する。

\*4: 重大事故等 (格納容器過温破損、原子炉格納容器の除熱機能喪失) を考慮する。

表1 (2/6) 高浜4号炉 主要なプロセス計測制御設備

分離基準		機器名称 (ループ数)	選定基準				代表機器の選定	
計測対象	信号伝送方式		主要構成機器	重要度*1	使用条件		代表機器	選定理由
					設置場所 (上段:検出器/下段:検出器以外)	温度 (°C)		
流量	連続	余熱除去流量 (4)	オリフィス、伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計、自動/手動操作器	MS-2、重*2	外周建屋	約40	◎	主要構成機器の種類が多いためから選定
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		高圧安全注入流量 (2)	オリフィス、伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-2、重*2	外周建屋	約40		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		高圧補助安全注入流量 (2)	オリフィス、伝送器、信号変換処理部、指示計	MS-2、重*2	外周建屋	約40		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		1次冷却材流量 (12)	伝送器、信号変換処理部、指示計	MS-1	原子炉格納容器内	約31		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		主蒸気流量 (6)	伝送器、信号変換処理部、指示計	MS-1	原子炉格納容器内*3	約44		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
主給水流量 (6)	オリフィス、伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-1	中間建屋	約40				
			1次系継電器室、中央制御室	約25				
補助給水流量 (3)	オリフィス、伝送器、信号変換処理部、指示計、自動/手動操作器、記録計	MS-2、重*2	外周建屋	約40				
			1次系継電器室、中央制御室	約25				
格納容器スプレイ流量 (2)	オリフィス、伝送器、信号変換処理部、指示計	重*2	外周建屋	約40				
			1次系継電器室、中央制御室	約25				
恒設代替低圧注水ポンプ出口流量 (1)	オリフィス、伝送器、信号変換処理部、指示計	重*2	原子炉補助建屋	約40				
			中央制御室	約25				

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

\*3：設計基準事故（1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失）を考慮する。

表1 (3/6) 高浜4号炉 主要なプロセス計測制御設備

分離基準		機器名称 (ループ数)	選定基準				代表機器の選定	
計測対象	信号伝送方式		主要構成機器	重要度*1	使用条件		代表機器	選定理由
					設置場所 (上段:検出器/下段:検出器以外)	温度(°C)		
水位	連続	加圧器水位 (4)	伝送器、信号変換処理部、指示計、自動/手動操作器	MS-1、重*2	原子炉格納容器内*3,4	約37	◎	要求される環境条件が厳しいことおよび主要構成機器の種類が多いことから選定
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		ほう酸タンク水位 (4)	伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-2、重*2	外周建屋	約40		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		格納容器再循環サンプル水位 (広域・狭域) (4)	伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-2、重*2	原子炉格納容器内*3,4	約32		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		蒸気発生器狭域水位 (12)	伝送器、信号変換処理部、指示計	MS-1、重*2	原子炉格納容器内*3,4	約36		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		蒸気発生器広域水位 (3)	伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-2、重*2	原子炉格納容器内*3,4	約36		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
復水タンク水位 (2)	伝送器、信号変換処理部、指示計	MS-2、重*2	屋外	約40				
			1次系継電器室、中央制御室	約25				
原子炉補機冷却水サージタンク水位 (2)	伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-2、重*2	原子炉補助建屋	約40				
			1次系継電器室、中央制御室	約25				
燃料取替用水タンク水位 (4)	伝送器、信号変換処理部、指示計	MS-1、重*2	燃料取扱建屋	約40				
			1次系継電器室、中央制御室	約25				

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

\*3：設計基準事故（1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失）を考慮する。

\*4：重大事故等（格納容器過温破損、原子炉格納容器の除熱機能喪失）を考慮する。

表1 (4/6) 高浜4号炉 主要なプロセス計測制御設備

分離基準		機器名称 (ループ数)	選定基準				代表機器の選定	
計測対象	信号伝送方式		主要構成機器	重要度*1	使用条件		代表機器	選定理由
					設置場所 (上段:検出器/下段:検出器以外)	温度 (°C)		
水位	連続	よう素除去薬品タンク水位 (4)	伝送器、信号変換処理部	MS-1	原子炉補助建屋	約40		
					1次系継電器室	約25		
		使用済燃料ピット水位 (2)	伝送器、信号変換処理部、指示計	重*2	燃料取扱建屋*5	約22		
					外周建屋	約40		
		原子炉下部キャビティ水位 (1)	電極式水位計、信号変換処理部	重*2	中央制御室	約25		
					原子炉格納容器内	約36		
		原子炉水位 (1)	伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	重*2	1次系継電器室	約25		
					原子炉格納容器内*3	約36		
		原子炉格納容器水位 (1)	電極式水位計、信号変換処理部	重*2	1次系継電器室、中央制御室	約25		
					原子炉格納容器内	約36		
		潮位 (4)	伝送器、信号変換処理部、指示計	設*4	1次系継電器室	約25		
					屋外	約40		
中間建屋	約40							
					中央制御室	約25		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

\*3：重大事故等（格納容器過温破損、原子炉格納容器の除熱機能喪失）を考慮する。

\*4：設計基準対象施設として評価対象とした機器および構造物であることを示す。

\*5：重大事故等（使用済燃料ピットにおける重大事故に至るおそれがある事故）を考慮する。

表1 (5/6) 高浜4号炉 主要なプロセス計測制御設備

分離基準		機器名称 (ループ数)	選定基準				代表機器の選定	
計測対象	信号伝送方式		主要構成機器	重要度*1	使用条件		代表機器	選定理由
					設置場所 (上段:検出器/下段:検出器以外)	温度 (°C)		
温度	連続	1次冷却材高温側温度 (広域) (3)	測温抵抗体、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-2、重*2	原子炉格納容器内*3,4	約343*5	◎	要求される環境条件が厳しいことおよび主要構成機器の種類が多いことから選定
		1次冷却材低温側温度 (広域) (3)	測温抵抗体、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-2、重*2	1次系継電器室、中央制御室	約25		
					原子炉格納容器内*3,4	約343*5		
		1次冷却材高温側温度 (狭域) (24)	測温抵抗体、信号変換処理部、指示計	MS-1	1次系継電器室、中央制御室	約25		
					制御建屋	約25		
		1次冷却材低温側温度 (狭域) (8)	測温抵抗体、信号変換処理部、指示計	MS-1	原子炉格納容器内*3	約343*5		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		格納容器温度 (2)	測温抵抗体、信号変換処理部、指示計	MS-2、重*2	原子炉格納容器内*3,4	約44		
1次系継電器室、中央制御室	約25							
使用済燃料ピット温度 (2)	測温抵抗体、信号変換処理部、指示計	重*2	燃料取扱建屋*6	約22				
			外周建屋	約40				
静的触媒式水素再結合装置温度 (5)	熱電対、測温抵抗体、信号変換処理部、指示計	重*2	中央制御室	約25				
			原子炉格納容器内*4	約43				
原子炉格納容器水素燃焼装置温度 (13)	熱電対、測温抵抗体、信号変換処理部、指示計	重*2	原子炉格納容器内*4	約43				
			中央制御室	約25				

\*1: 機能は最上位の機能を示す。

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

\*3: 設計基準事故 (1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失) を考慮する。

\*4: 重大事故等 (格納容器過温破損、原子炉格納容器の除熱機能喪失) を考慮する。

\*5: 最高使用温度。

\*6: 重大事故等 (使用済燃料ピットにおける重大事故に至るおそれがある事故) を考慮する。

表1 (6/6) 高浜4号炉 主要なプロセス計測制御設備

分離基準		機器名称 (ループ数)	選定基準				代表機器の選定	
計測対象	信号伝送方式		主要構成機器	重要度*1	使用条件		代表機器	選定理由
					設置場所 (上段:検出器/下段:検出器以外)	温度 (°C)		
地震	ON-OFF	保護用地震計 (水平用) (6)	地震計	MS-1	外周建屋、原子炉補助建屋	約40	◎	
		保護用地震計 (鉛直用) (3)	地震計	MS-1	原子炉補助建屋	約40		
中性子束	連続	中性子束 (出力領域) (4)	中性子束検出器、信号変換処理部、指示計	MS-1、重*2	原子炉格納容器内	約43	◎	環境条件が同じであり、ループ数が多いことから選定
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		中性子束 (中間領域) (2)	中性子束検出器、信号変換処理部、指示計	MS-1、重*2	原子炉格納容器内	約43		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
中性子束 (中性子源領域) (2)	中性子束検出器、前置増幅器、信号変換処理部、指示計	MS-1、重*2	原子炉格納容器内	約43				
			外周建屋	約40				
放射線	連続	格納容器内高レンジエリアモニタ (4)	放射線検出器、前置増幅器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-2、重*2	原子炉格納容器内*3,4	約44	◎	
					外周建屋	約40		
					中央制御室	約25		

\*1: 機能は最上位の機能を示す。

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

\*3: 設計基準事故 (1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失) を考慮する。

\*4: 重大事故等 (格納容器過温破損、原子炉格納容器の除熱機能喪失) を考慮する。

表 2 ( 1 / 3 ) 高浜 4 号炉 主要な制御設備

分離 基準	機器名称 (面数)	選定基準						代表機器の選定		
		主要構成機器						重要度*1	代表 機器	選定理由
		検出回路部	ロジック回路部	操作回路部	監視回路部	駆動回路部	電源部			
保護・シーケ ンス盤、リレ ーラック	原子炉安全保護盤 (6)	—	半導体基板、 補助リレー	操作スイッチ	—	—	NFB*2、 電源装置	MS-1	◎	重要度、主 要構成機器
	安全保護系補助リ レーラック (18)	—	補助リレー、 タイマ	操作スイッチ	—	—	NFB*2	MS-1		
	1次系補助リレー ラック (4)	—	補助リレー、 タイマ	—	—	—	NFB*2	MS-1		
	ATWS 緩和設備 (1)	—	半導体基板、補助 リレー、タイマ	—	—	—	NFB*2	重*3		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：ノーヒューズブレーカ。

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

表 2 ( 2 / 3 ) 高浜 4 号炉 主要な制御設備

分離基準	機器名称 (面数)	選定基準							代表機器の選定	
		主要構成機器						重要度*1	代表機器	選定理由
		検出回路部	ロジック回路部	操作回路部	監視回路部	駆動回路部	電源部			
監視・操作盤、通信設備	原子炉盤 (1)	—	—	操作スイッチ	表示灯、故障表示器	—	NFB*2、電源装置	MS-1、重*3	◎	重要機器の監視および操作を行う
	換気空調盤 (1)	—	—	操作スイッチ	表示灯、故障表示器	—	NFB*2、電源装置	MS-1		
	所内盤 (1)	—	—	操作スイッチ	表示灯、指示計、故障表示器	—	NFB*2、電源装置	MS-1		
	中央制御室外原子炉停止盤 (4)	—	—	操作スイッチ	表示灯	—	NFB*2	MS-2		
	使用済燃料ピット監視カメラ (1)	カメラユニット	半導体基板	—	半導体基板、表示部 (PC)	—	NFB*2、UPS*4	重*3		
	SPDS 関連設備 (1)	—	—	—	半導体基板、表示部 (PC)	—	NFB*2、UPS*4	重*3		
	統合原子力防災ネットワーク (1)	—	—	—	—	—	NFB*2、UPS*4	重*3		
	衛星電話 (25)	—	—	—	—	—	—	重*3、設*5		
	緊急時衛星通報システム (4)	—	—	—	表示部 (PC)	—	—	重*3		
	津波監視カメラ (2)	カメラユニット	半導体基板	—	半導体基板、表示部 (PC)	—	NFB*2、UPS*4	設*5		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：ノーヒューズブレーカ。

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

\*4：無停電電源装置。

\*5：設計基準対象施設として評価対象とした機器および構造物であることを示す。

表 2 ( 3 / 3 ) 高浜 4 号炉 主要な制御設備

分離基準	機器名称 (面数)	選定基準							代表機器の選定	
		主要構成機器						重要度*1	代表機器	選定理由
		検出回路部	ロジック回路部	操作回路部	監視回路部	駆動回路部	電源部			
制御盤	ディーゼル発電機制御盤 (12)	励磁装置、保護リレー (静止形)、計器用変流器、電磁ピックアップ	電圧調整装置、スピードリレー、電圧設定器、補助リレー、タイマ、ヒューズ	操作スイッチ、ロックアウトリレー	表示灯、指示計、故障表示器	電磁接触器、シリコン整流器	NFB*2	MS-1、重*3	◎	重要度、主要構成機器
	制御用空気圧縮機盤 (4)	—	補助リレー、タイマ	操作スイッチ	表示灯	—	NFB*2、変圧器	MS-1		
	空調用冷凍機制御盤 (2)	—	補助リレー、タイマ	操作スイッチ	表示灯	—	NFB*2	MS-1		
	タービン動補助給水ポンプ盤 (6)	—	補助リレー、タイマ	—	—	電磁接触器	NFB*2	MS-1		
	1次冷却材ポンプ母線計測盤 (3)	保護リレー (静止形)、計器用変圧器	補助リレー	—	表示灯	—	NFB*2	MS-1		
	空冷式非常用発電装置制御盤 (2)	励磁装置、計器用変圧器	補助リレー、速度制御装置、ヒューズ、自動電圧調整器	操作スイッチ	表示灯、指示計、故障表示器	—	NFB*2	重*3		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：ノーヒューズブレーカ。

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

表3 高浜4号炉 主要な計測制御設備の機能

設備区分		機能概要
プロセス計測制御設備		プロセス値（圧力・流量・水位等）を検出器で電気信号に変換し、信号変換処理部にて信号変換処理・演算処理を行い、指示計・記録計・自動／手動操作器に伝達する。指示計・記録計は、制御設備の監視・操作盤に取り付けられており、信号変換処理部から伝達されてきた電気信号を工学値に変換し、指示または記録する。自動／手動操作器は、制御設備の監視・操作盤に取り付けられており、入力値と設定値との差に応じた電気信号を出力する。
制御設備	リレーラック	プロセス計測制御設備からの信号および外部操作信号を受け、補助リレー、タイマにより原子炉の保護／制御ロジックを構成し、原子炉トリップ、安全保護系、工学的安全施設等へ信号を伝達する。
	監視・操作盤	プロセス計測制御設備の一部である指示計・記録計・自動／手動操作器により、状態監視および操作を行うとともに、操作スイッチによる補機操作および故障表示器・表示灯による状態監視を行う。
	制御盤	中央制御室・継電器室以外に設置されている制御設備であり操作スイッチ・保護継電器・補助リレー等による補機の保護／制御および故障表示器・表示灯による補機の状態監視を行う。

# 1 プロセス計測制御設備

[計測対象]

- ① 圧力
- ② 流量
- ③ 水位
- ④ 温度
- ⑤ 地震
- ⑥ 中性子束
- ⑦ 放射線

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	9
2.1 構造、材料および使用条件 .....	9
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	35
3. 代表機器以外への展開 .....	47
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 .....	49

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されているプロセス計測制御設備の主な仕様を表1-1に示す。

これらのプロセス計測制御設備を計測対象および信号伝送方式の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すプロセス計測制御設備について、計測対象および信号伝送方式を分離基準として考えると、合計7つのグループに分類される。

### 1.2 代表機器の選定

#### (1) 計測対象：圧力、信号伝送方式：連続

このグループには、1次冷却材圧力、加圧器圧力、主蒸気圧力等が属するが、要求される環境条件が厳しい1次冷却材圧力を代表機器とする。

#### (2) 計測対象：流量、信号伝送方式：連続

このグループには、余熱除去流量、1次冷却材流量、主蒸気流量、主給水流量等が属するが、主要構成機器の種類が多い余熱除去流量を代表機器とする。

#### (3) 計測対象：水位、信号伝送方式：連続

このグループには、加圧器水位、ほう酸タンク水位、格納容器再循環サンプル水位等が属するが、要求される環境条件が厳しく、主要構成機器の種類が多い加圧器水位を代表機器とする。

#### (4) 計測対象：温度、信号伝送方式：連続

このグループには、1次冷却材高温側温度（広域）・（狭域）、1次冷却材低温側温度（広域）・（狭域）等が属するが、要求される環境条件が厳しく、主要構成機器の種類が多い1次冷却材高温側温度（広域）を代表機器とする。

#### (5) 計測対象：地震、信号伝送方式：ON-OFF

このグループには、保護用地震計（水平用）・（鉛直用）が属するが、主要構成機器および環境条件が同じであるため、保護用地震計（水平用）を代表機器とする。

(6) 計測対象：中性子束、信号伝送方式：連続

このグループには、中性子束（出力領域）、中性子束（中間領域）および中性子束（中性子源領域）が属するが、環境条件が同じであり、ループ数が多い中性子束（出力領域）を代表機器とする。

(7) 計測対象：放射線、信号伝送方式：連続

このグループには、格納容器内高レンジエリアモニタのみが属するため、格納容器内高レンジエリアモニタを代表機器とする。

表1-1(1/6) 高浜4号炉 プロセス計測制御設備の主な仕様

分離基準		機器名称 (ループ数)	選定基準				代表機器の選定	
計測対象	信号伝送方式		主要構成機器	重要度*1	使用条件		代表機器	選定理由
		設置場所 (上段:検出器/下段:検出器以外)			温度 (°C)			
圧力	連続	1次冷却材圧力 (2)	伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-1、重*2	原子炉格納容器内*3,4	約36	◎	要求される環境条件が厳しいことから選定
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		加圧器圧力 (4)	伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-1	原子炉格納容器内*3	約41		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
					制御建屋	約25		
					外周建屋	約40		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
					制御建屋	約25		
					タービン建屋	約40		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		タービン第1段後圧力 (2)	伝送器、信号変換処理部、指示計	MS-1	中間建屋	約40		
		タービン動補助給水ポンプ吐出圧力・入口蒸気差圧 (1)	伝送器 (空気式)、制御器 (空気式)	MS-1	タービン建屋	約40		
		格納容器圧力 (6)	伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-1、重*2	外周建屋	約40		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		ペネトレーションエリア圧力 (2)	伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-2	外周建屋	約40		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		制御用空気ヘッダ圧力 (3)	伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-2	外周建屋	約40		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		海水ヘッダ圧力 (2)	伝送器、信号変換処理部、指示計	MS-2	屋外	約40		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		アニュラス圧力 (2)	伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計、自動/手動操作器	MS-1	外周建屋	約40		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		

\*1: 機能は最上位の機能を示す。

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

\*3: 設計基準事故 (1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失) を考慮する。

\*4: 重大事故等 (格納容器過温破損、原子炉格納容器の除熱機能喪失) を考慮する。

表1-1(2/6) 高浜4号炉 プロセス計測制御設備の主な仕様

分離基準		機器名称 (ループ数)	選定基準				代表機器の選定	
計測対象	信号伝送方式		主要構成機器	重要度*1	使用条件		代表機器	選定理由
					設置場所(上段:検出器/下段:検出器以外)	温度(°C)		
流量	連続	余熱除去流量 (4)	オリフィス、伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計、自動/手動操作器	MS-2、重*2	外周建屋	約40	◎	主要構成機器の種類が多いため選定
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		高圧安全注入流量 (2)	オリフィス、伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-2、重*2	外周建屋	約40		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		高圧補助安全注入流量 (2)	オリフィス、伝送器、信号変換処理部、指示計	MS-2、重*2	外周建屋	約40		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		1次冷却材流量 (12)	伝送器、信号変換処理部、指示計	MS-1	原子炉格納容器内	約31		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		主蒸気流量 (6)	伝送器、信号変換処理部、指示計	MS-1	原子炉格納容器内*3	約44		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
主給水流量 (6)	オリフィス、伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-1	中間建屋	約40				
			1次系継電器室、中央制御室	約25				
補助給水流量 (3)	オリフィス、伝送器、信号変換処理部、指示計、自動/手動操作器、記録計	MS-2、重*2	外周建屋	約40				
			1次系継電器室、中央制御室	約25				
格納容器スプレイ流量 (2)	オリフィス、伝送器、信号変換処理部、指示計	重*2	外周建屋	約40				
			1次系継電器室、中央制御室	約25				
恒設代替低圧注水ポンプ出口流量 (1)	オリフィス、伝送器、信号変換処理部、指示計	重*2	原子炉補助建屋	約40				
			中央制御室	約25				

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

\*3：設計基準事故（1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失）を考慮する。

表1-1(3/6) 高浜4号炉 プロセス計測制御設備の主な仕様

分離基準		機器名称 (ループ数)	選定基準				代表機器の選定	
計測対象	信号伝送方式		主要構成機器	重要度*1	使用条件		代表機器	選定理由
					設置場所(上段:検出器/下段:検出器以外)	温度(°C)		
水位	連続	加圧器水位 (4)	伝送器、信号変換処理部、指示計、自動/手動操作器	MS-1、重*2	原子炉格納容器内*3,4	約37	◎	要求される環境条件が厳しいことおよび主要構成機器の種類が多いことから選定
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		ほう酸タンク水位 (4)	伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-2、重*2	外周建屋	約40		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		格納容器再循環サンプル水位(広域・狭域) (4)	伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-2、重*2	原子炉格納容器内*3,4	約32		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		蒸気発生器狭域水位 (12)	伝送器、信号変換処理部、指示計	MS-1、重*2	原子炉格納容器内*3,4	約36		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		蒸気発生器広域水位 (3)	伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-2、重*2	原子炉格納容器内*3,4	約36		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
復水タンク水位 (2)	伝送器、信号変換処理部、指示計	MS-2、重*2	屋外	約40				
			1次系継電器室、中央制御室	約25				
原子炉補機冷却水サージタンク水位 (2)	伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-2、重*2	原子炉補助建屋	約40				
			1次系継電器室、中央制御室	約25				
燃料取替用水タンク水位 (4)	伝送器、信号変換処理部、指示計	MS-1、重*2	燃料取扱建屋	約40				
			1次系継電器室、中央制御室	約25				

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

\*3：設計基準事故（1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失）を考慮する。

\*4：重大事故等（格納容器過温破損、原子炉格納容器の除熱機能喪失）を考慮する。

表1-1(4/6) 高浜4号炉 プロセス計測制御設備の主な仕様

分離基準		機器名称 (ループ数)	選定基準				代表機器の選定	
計測対象	信号伝送方式		主要構成機器	重要度*1	使用条件		代表機器	選定理由
					設置場所 (上段:検出器/下段:検出器以外)	温度 (°C)		
水位	連続	よう素除去薬品タンク水位 (4)	伝送器、信号変換処理部	MS-1	原子炉補助建屋	約40		
					1次系継電器室	約25		
		使用済燃料ピット水位 (2)	伝送器、信号変換処理部、指示計	重*2	燃料取扱建屋*5	約22		
					外周建屋	約40		
		原子炉下部キャビティ水位 (1)	電極式水位計、信号変換処理部	重*2	原子炉格納容器内	約36		
					1次系継電器室	約25		
		原子炉水位 (1)	伝送器、信号変換処理部、指示計、記録計	重*2	原子炉格納容器内*3	約36		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		原子炉格納容器水位 (1)	電極式水位計、信号変換処理部	重*2	原子炉格納容器内	約36		
					1次系継電器室	約25		
潮位 (4)	伝送器、信号変換処理部、指示計	設*4	屋外	約40				
			中間建屋	約40				
			中央制御室	約25				

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

\*3：重大事故等（格納容器過温破損、原子炉格納容器の除熱機能喪失）を考慮する。

\*4：設計基準対象施設として評価対象とした機器および構造物であることを示す。

\*5：重大事故等（使用済燃料ピットにおける重大事故に至るおそれがある事故）を考慮する。

表1-1 (5/6) 高浜4号炉 プロセス計測制御設備の主な仕様

分離基準		機器名称 (ループ数)	選定基準				代表機器の選定	
計測対象	信号伝送方式		主要構成機器	重要度*1	使用条件		代表機器	選定理由
					設置場所 (上段:検出器/下段:検出器以外)	温度 (°C)		
温度	連続	1次冷却材高温側温度 (広域) (3)	測温抵抗体、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-2、重*2	原子炉格納容器内*3,4 1次系継電器室、中央制御室	約343*5 約25	◎	要求される環境条件が厳しいことおよび主要構成機器の種類が多いことから選定
		1次冷却材低温側温度 (広域) (3)	測温抵抗体、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-2、重*2	原子炉格納容器内*3,4 1次系継電器室、中央制御室 制御建屋	約343*5 約25 約25		
		1次冷却材高温側温度 (狭域) (24)	測温抵抗体、信号変換処理部、指示計	MS-1	原子炉格納容器内*3 1次系継電器室、中央制御室	約343*5 約25		
		1次冷却材低温側温度 (狭域) (8)	測温抵抗体、信号変換処理部、指示計	MS-1	原子炉格納容器内*3 1次系継電器室、中央制御室	約343*5 約25		
		格納容器温度 (2)	測温抵抗体、信号変換処理部、指示計	MS-2、重*2	原子炉格納容器内*3,4 1次系継電器室、中央制御室	約44 約25		
		使用済燃料ピット温度 (2)	測温抵抗体、信号変換処理部、指示計	重*2	燃料取扱建屋*6 外周建屋 中央制御室	約22 約40 約25		
		静的触媒式水素再結合装置温度 (5)	熱電対、測温抵抗体、信号変換処理部、指示計	重*2	原子炉格納容器内*4 中央制御室	約43 約25		
		原子炉格納容器水素燃焼装置温度 (13)	熱電対、測温抵抗体、信号変換処理部、指示計	重*2	原子炉格納容器内*4 中央制御室	約43 約25		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

\*3：設計基準事故（1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失）を考慮する。

\*4：重大事故等（格納容器過温破損、原子炉格納容器の除熱機能喪失）を考慮する。

\*5：最高使用温度。

\*6：重大事故等（使用済燃料ピットにおける重大事故に至るおそれがある事故）を考慮する。

表1-1(6/6) 高浜4号炉 プロセス計測制御設備の主な仕様

分離基準		機器名称 (ループ数)	選定基準				代表機器の選定	
計測対象	信号伝送方式		主要構成機器	重要度*1	使用条件		代表機器	選定理由
					設置場所 (上段:検出器/下段:検出器以外)	温度(°C)		
地震	ON-OFF	保護用地震計 (水平用) (6)	地震計	MS-1	外周建屋、原子炉補助建屋	約40	◎	
		保護用地震計 (鉛直用) (3)	地震計	MS-1	原子炉補助建屋	約40		
中性子束	連続	中性子束 (出力領域) (4)	中性子束検出器、信号変換処理部、指示計	MS-1、重*2	原子炉格納容器内	約43	◎	環境条件が同じであり、ループ数が多いことから選定
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		中性子束 (中間領域) (2)	中性子束検出器、信号変換処理部、指示計	MS-1、重*2	原子炉格納容器内	約43		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
		中性子束 (中性子源領域) (2)	中性子束検出器、前置増幅器、信号変換処理部、指示計	MS-1、重*2	原子炉格納容器内	約43		
					外周建屋	約40		
					1次系継電器室、中央制御室	約25		
放射線	連続	格納容器内高レンジエリアモニタ (4)	放射線検出器、前置増幅器、信号変換処理部、指示計、記録計	MS-2、重*2	原子炉格納容器内*3,4	約44	◎	
					外周建屋	約40		
					中央制御室	約25		

\*1: 機能は最上位の機能を示す。

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

\*3: 設計基準事故 (1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失) を考慮する。

\*4: 重大事故等 (格納容器過温破損、原子炉格納容器の除熱機能喪失) を考慮する。

## 2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の7機器のプロセス計測制御設備について技術評価を実施する。

- ① 1次冷却材圧力
- ② 余熱除去流量
- ③ 加圧器水位
- ④ 1次冷却材高温側温度（広域）
- ⑤ 保護用地震計（水平用）
- ⑥ 中性子束（出力領域）
- ⑦ 格納容器内高レンジエリアモニタ

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 1次冷却材圧力計測制御装置

##### (1) 構造

高浜4号炉の1次冷却材圧力計測制御装置は計装配管、計器弁、伝送器、信号変換処理部、電源装置、指示計、記録計および支持構造物で構成されている。

##### a. 計装配管（計装用取出配管および計器元弁含む）

計装配管は、1次冷却材の圧力を伝送器へ導く機能を有する。

計器元弁は、伝送器の校正、補修時に系統側との隔離機能を有する。

##### b. 計器弁

計器弁は、伝送器の校正、補修時に系統側との隔離機能を有する。

##### c. 伝送器

伝送器は、1次冷却材の圧力をその計測範囲に応じた電気信号に変換し、伝送する機能を有する。

##### d. 信号変換処理部

信号変換処理部（原子炉保護系計器ラックおよび原子炉制御系計器ラック）は、伝送器への電源供給や伝送器からの電気信号の受信、他の設備への信号発信、信号の変換、演算等の機能を有するカード計器の集合である。

##### e. 電源装置

電源装置（原子炉保護系計器ラックおよび原子炉制御系計器ラック）は、信号変換処理部への電源供給の機能を有する。

f. 指示計

指示計は、信号変換処理部（原子炉保護系計器ラック）から出力された電気信号を圧力値に変換し、指示する機能を有する。

g. 記録計

記録計は、信号変換処理部（原子炉制御系計器ラック）から出力された電気信号を圧力値に変換し、記録する機能を有する。

h. 支持構造物

筐体は基礎ボルトおよび埋込金物で据付けられている。

スタンションは伝送器を支持しており、埋込金物で据付けられている。

パイプハンガークランプは計装配管をサポート台に固定しており、サポート台はサポートに溶接されている。また、サポートはベースプレートに溶接されており、ベースプレートは基礎ボルトで据付けられている。

高浜4号炉の1次冷却材圧力計測制御装置の主要機器構成図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の1次冷却材圧力計測制御装置の主要機器の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

No.	部位
①	計装用取出配管
②	計器元弁
③	計装配管
④	計器弁
⑤	伝送器
⑥	信号変換処理部
⑦	電源装置
⑧	指示計
⑨	記録計
⑩	ベースプレート
⑪	サポート
⑫	サポート台
⑬	パイプハンガー
⑭	ライナー
⑮	パイプハンガークランプ
⑯	スタンション
⑰	筐体
⑱	取付ボルト
⑲	基礎ボルト
⑳	埋込金物

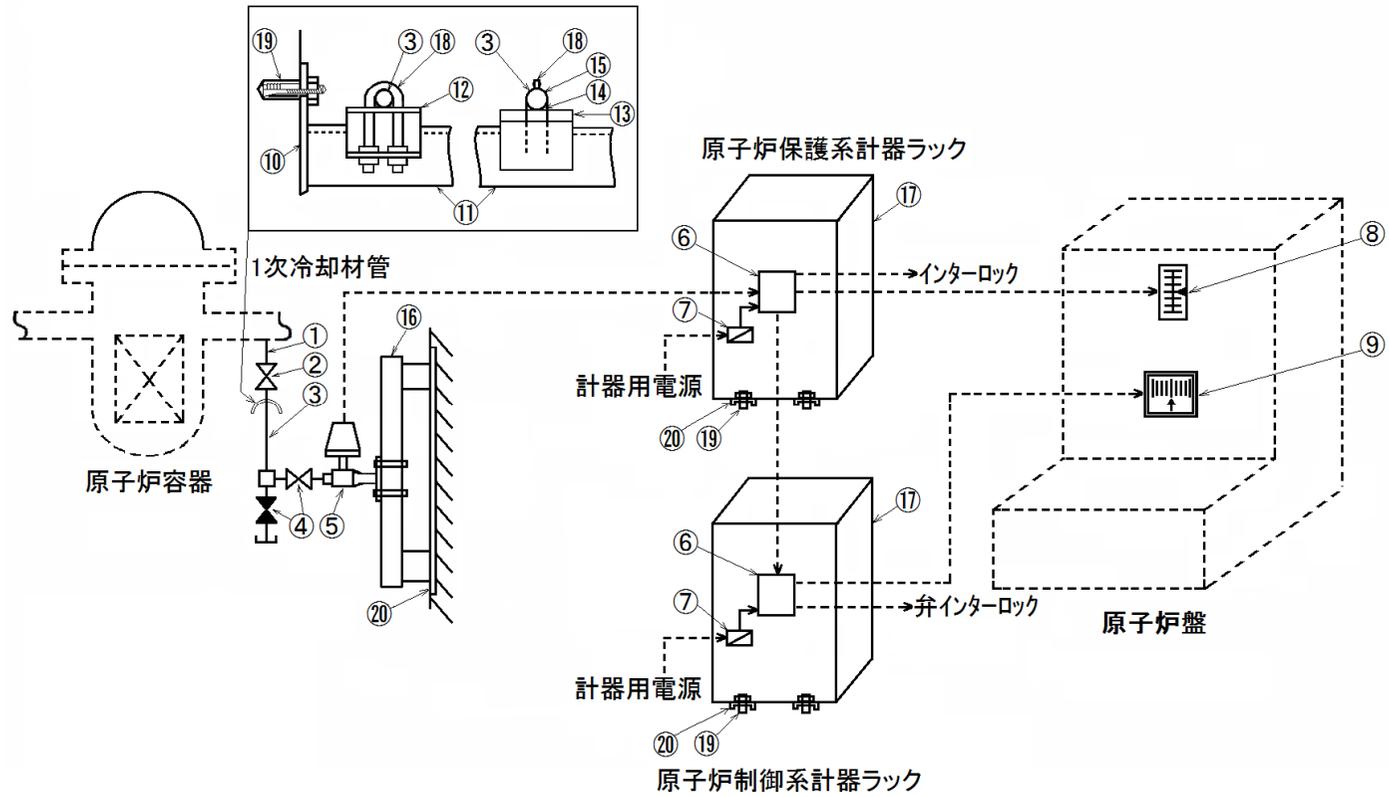


図2.1-1 高浜4号炉 1次冷却材圧力計測制御装置主要機器構成図

表2.1-1 高浜4号炉 1次冷却材圧力計測制御装置の主要機器の使用材料

部位		材料	
プロセス値の 伝達機能構成品	計装用取出配管	ステンレス鋼	
	計器元弁	ステンレス鋼	
	計装配管	ステンレス鋼	
	計器弁	ステンレス鋼	
プロセス値の 検出機能構成品	伝送器	消耗品・定期取替品	
電源供給・信号変 換・演算・制御機 能構成品	原子炉保護系計器ラック	信号変換処理部	半導体
	原子炉制御系計器ラック	ヒューズ	消耗品・定期取替品
		電源装置	消耗品・定期取替品
工学値への変換 機能構成品	指示計	炭素鋼、プラスチック	
	記録計	半導体	
		ヒューズ	消耗品・定期取替品
機器の支持機能 構成品	ライナー	ステンレス鋼	
	パイプハンガークランプ他	ステンレス鋼、炭素鋼	
	スタンション	炭素鋼	
	筐体	炭素鋼	
	取付ボルト	炭素鋼	
	基礎ボルト	炭素鋼	
	埋込金物	炭素鋼	

表2.1-2 高浜4号炉 1次冷却材圧力計測制御装置の主要機器の使用条件

	伝送器			信号変換処理部、 電源装置、 指示計、記録計
	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時	
設置場所	原子炉 格納容器内	原子炉 格納容器内	原子炉 格納容器内	1次系継電器室、 中央制御室
周囲温度	約36℃*1	約125℃ (最高温度)	約138℃ (最高温度)	約25℃*2
圧力	約0.0098MPa [gage]以下	約0.25MPa [gage] (最高圧力)	約0.35MPa [gage] (最高圧力)	—
放射線	1.1mGy/h*3	675kGy (最大集積線量)	500kGy (最大集積線量)	—

\*1：通常運転時の伝送器周囲の平均温度の最大実測値。

\*2：原子炉格納容器外の設計平均温度。

\*3：通常運転時の伝送器周囲の平均線量率の最大実測値。

## 2.1.2 余熱除去流量計測制御装置

### (1) 構造

高浜4号炉の余熱除去流量計測制御装置は、オリフィス、計装配管、計器弁、伝送器、信号変換処理部、電源装置、指示計、記録計、自動／手動操作器および支持構造物で構成されている。

#### a. 計装配管（計装用取出配管および計器元弁含む）

計装配管は、余熱除去系統の圧力を伝送器へ導く機能を有する。

計器元弁は、伝送器の校正、補修時に系統側との隔離機能を有する。

#### b. 計器弁

計器弁は、伝送器の校正、補修時に系統側との隔離機能を有する。

#### c. オリフィス

オリフィスは、配管内に取付けられた流量絞り機構であり、管中にオリフィスを入れると、上流側では高圧、下流側では低圧となる。この差圧の平方根が流速に比例することを利用して流量を計測する。

#### d. 伝送器

伝送器は、オリフィスの上流と下流の流体の差圧をその計測範囲に応じた電気信号に変換し、伝送する機能を有する。

#### e. 信号変換処理部

信号変換処理部（原子炉保護系計器ラックおよび原子炉制御系計器ラック）は、伝送器への電源供給や伝送器からの電気信号の受信、他の設備への信号発信、信号の変換、演算等の機能を有するカード計器の集合である。

#### f. 電源装置

電源装置（原子炉保護系計器ラックおよび原子炉制御系計器ラック）は、信号変換処理部への電源供給の機能を有する。

#### g. 指示計

指示計は、信号変換処理部（原子炉保護系計器ラック）から出力された電気信号を流量値に変換し、指示する機能を有する。

#### h. 記録計

記録計は、信号変換処理部（原子炉制御系計器ラック）から出力された電気信号を流量値に変換し、記録する機能を有する。

#### i. 自動／手動操作器

自動／手動操作器は、信号変換処理部（原子炉制御系計器ラック）から出力された電気信号を流量値に変換し、指示する機能を有する。

また、自動制御時は、入力値（プロセス値）と設定値との差に応じた電気信号を出力し、手動制御時には目標とする値の電気信号を出力する機能を有する。

j. 支持構造物

筐体は基礎ボルトおよび埋込金物で据付けられている。

スタンションは伝送器を支持しており、埋込金物で据付けられている。

パイプハンガークランプは計装配管をサポート台に固定しており、サポート台はサポートに溶接されている。また、サポートはベースプレートに溶接されており、ベースプレートは基礎ボルトで据付けられている。

高浜4号炉の余熱除去流量計測制御装置の主要機器構成図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜4号炉の余熱除去流量計測制御装置の主要機器の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。

No.	部位
①	オリフィス
②	計装用取出配管
③	計器元弁
④	計装配管
⑤	計器弁
⑥	伝送器
⑦	信号変換処理部
⑧	電源装置
⑨	指示計
⑩	記録計
⑪	自動/手動操作器
⑫	ベースプレート
⑬	サポート
⑭	サポート台
⑮	パイプハンガー
⑯	ライナー
⑰	パイプハンガークランプ
⑱	スタンション
⑲	筐体
⑳	取付ボルト
㉑	基礎ボルト
㉒	埋込金物

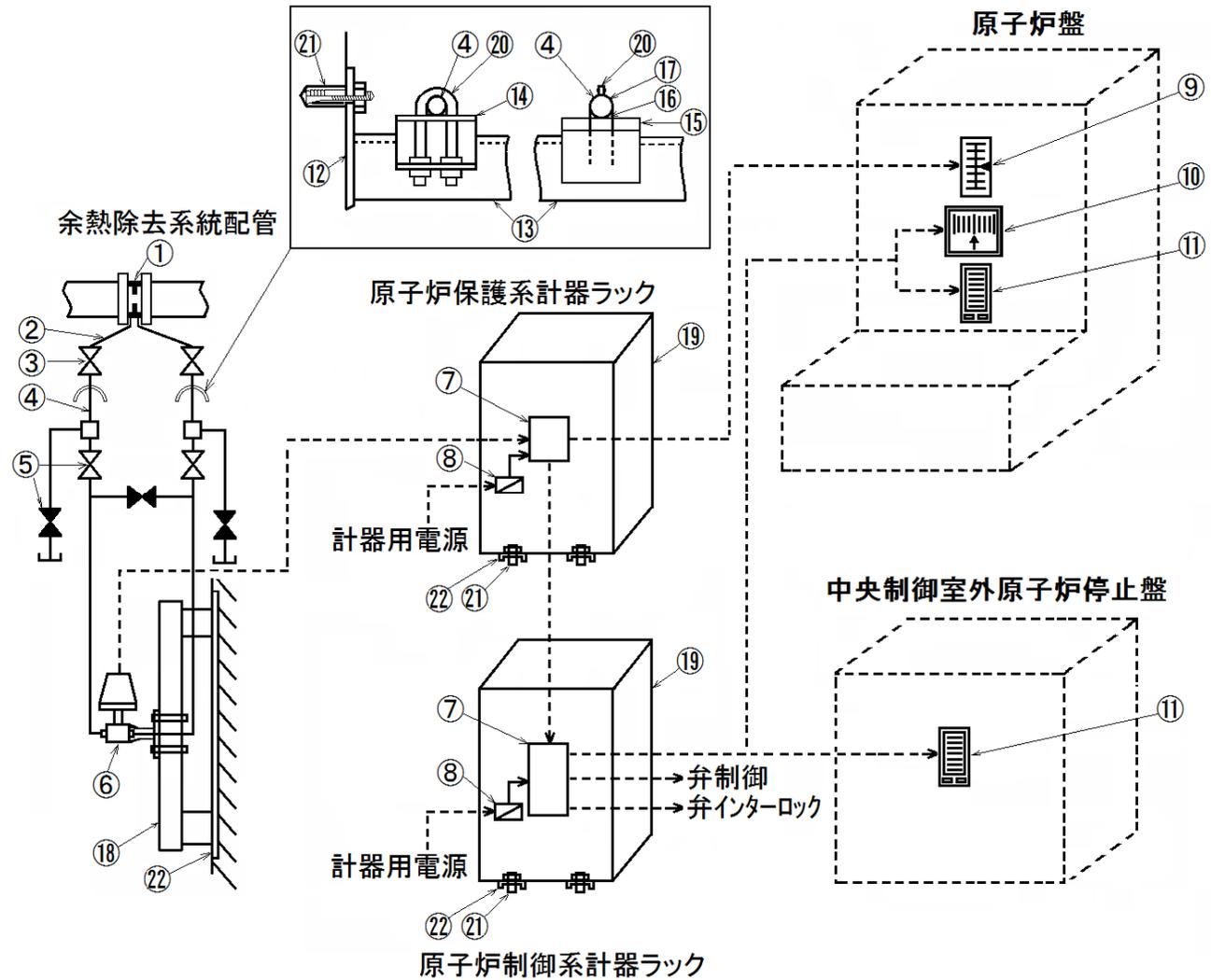


図2.1-2 高浜4号炉 余熱除去流量計測制御装置主要機器構成図

表2.1-3 高浜4号炉 余熱除去流量計測制御装置の主要機器の使用材料

部位		材料	
プロセス値の 伝達機能構成品	オリフィス	ステンレス鋼	
	計装用取出配管	ステンレス鋼	
	計器元弁	ステンレス鋼	
	計装配管	ステンレス鋼	
	計器弁	ステンレス鋼	
プロセス値の 検出機能構成品	伝送器	アルミニウム合金鋳物、 ステンレス鋼、半導体	
電源供給・信号 変換・演算・制 御機能構成品	原子炉保護系計器ラック 原子炉制御系計器ラック	信号変換処理部	半導体
		ヒューズ	消耗品・定期取替品
		電源装置	消耗品・定期取替品
	自動／手動操作器	半導体	
工学値への変換 機能構成品	指示計	炭素鋼、プラスチック	
	記録計	半導体	
		ヒューズ	消耗品・定期取替品
機器の支持機能 構成品	ライナー	ステンレス鋼	
	パイプハンガークランプ他	ステンレス鋼、炭素鋼	
	スタンション	炭素鋼	
	筐体	炭素鋼	
	取付ボルト	炭素鋼	
	基礎ボルト	炭素鋼	
	埋込金物	炭素鋼	

表2.1-4 高浜4号炉 余熱除去流量計測制御装置の主要機器の使用条件

	伝送器	信号変換処理部、 電源装置、指示計、記録計、 自動／手動操作器
設置場所	外周建屋	1次系継電器室、 中央制御室、制御建屋
周囲温度	約40℃*1	約25℃*1

\*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

### 2.1.3 加圧器水位計測制御装置

#### (1) 構造

高浜4号炉の加圧器水位計測制御装置は計装配管、計器弁、伝送器、信号変換処理部、電源装置、指示計、自動／手動操作器および支持構造物で構成されている。

##### a. 計装配管（計器元弁含む）

計装配管は、加圧器の圧力を伝送器へ導く機能を有する。

計器元弁は、伝送器の校正、補修時に系統側との隔離機能を有する。

##### b. 計器弁

計器弁は、伝送器の校正、補修時に系統側との隔離機能を有する。

##### c. 伝送器

伝送器は、加圧器の液相部と気相部との差圧をその計測範囲に応じた電気信号に変換し、伝送する機能を有する。

##### d. 信号変換処理部

信号変換処理部（原子炉保護系計器ラックおよび原子炉制御系計器ラック）は、伝送器への電源供給や検出器からの電気信号の受信、他の設備への信号発信、信号の変換、演算等の機能を有するカード計器の集合である。

##### e. 電源装置

電源装置（原子炉保護系計器ラックおよび原子炉制御系計器ラック）は、信号変換処理部への電源供給の機能を有する。

##### f. 自動／手動操作器

自動／手動操作器は、信号変換処理部（原子炉制御系計器ラック）から出力された電気信号を水位値に変換し、指示する機能を有する。

また、自動制御時は、入力値（プロセス値）と設定値との差に応じた電気信号を出力し、手動制御時には目標とする値の電気信号を出力する機能を有する。

##### g. 指示計

指示計は、信号変換処理部（原子炉保護系計器ラック）から出力された電気信号を水位値に変換し、指示する機能を有する。

##### h. 支持構造物

筐体は基礎ボルトおよび埋込金物で据付けられている。

スタクションは伝送器を支持しており、埋込金物で据付けられている。

パイプハンガークランプは計装配管をサポート台に固定しており、サポート台はサポートに溶接されている。また、サポートはベースプレートに溶接されており、ベースプレートは基礎ボルトで据付けられている。

高浜 4 号炉の加圧器水位計測制御装置の主要機器構成図を図2. 1-3に示す。

(2) 材料および使用条件

高浜 4 号炉の加圧器水位計測制御装置の主要機器の使用材料および使用条件を表2. 1-5および表2. 1-6に示す。

No.	部位
①	計器元弁
②	計装配管
③	計器弁
④	伝送器
⑤	信号変換処理部
⑥	電源装置
⑦	自動/手動操作器
⑧	指示計
⑨	ベースプレート
⑩	サポート
⑪	サポート台
⑫	パイプハンガー
⑬	ライナー
⑭	パイプハンガークランプ
⑮	スタンション
⑯	管体
⑰	取付ボルト
⑱	基礎ボルト
⑲	埋込金物

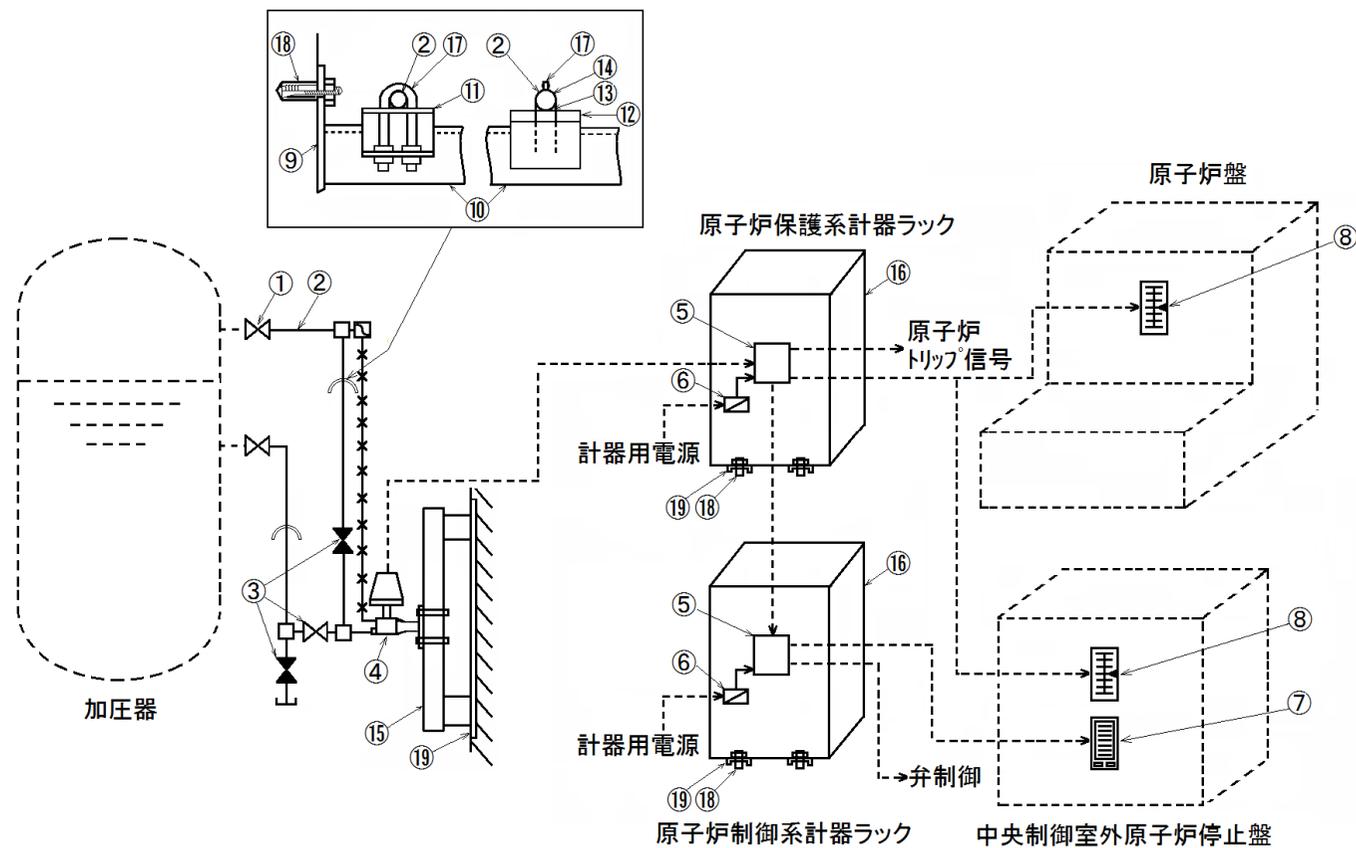


図2.1-3 高浜4号炉 加圧器水位計測制御装置主要機器構成図

表2.1-5 高浜4号炉 加圧器水位計測制御装置の主要機器の使用材料

部位		材料	
プロセス値の 伝達機能構成品	計器元弁	ステンレス鋼	
	計装配管	ステンレス鋼	
	計器弁	ステンレス鋼	
プロセス値の 検出機能構成品	伝送器	消耗品・定期取替品	
電源供給・信号変 換・演算・制御機 能構成品	原子炉保護系計器ラック 原子炉制御系計器ラック	信号変換処理部	半導体
		ヒューズ	消耗品・定期取替品
		電源装置	消耗品・定期取替品
	自動／手動操作器	半導体	
工学値への変換 機能構成品	指示計	炭素鋼、プラスチック	
機器の支持機能 構成品	ライナー	ステンレス鋼	
	パイプハンガークランプ他	ステンレス鋼、炭素鋼	
	スタンション	炭素鋼	
	筐体	炭素鋼	
	取付ボルト	炭素鋼	
	基礎ボルト	炭素鋼	
	埋込金物	炭素鋼	

表2.1-6 高浜4号炉 加圧器水位計測制御装置の主要機器の使用条件

	伝送器			信号変換処理部、 電源装置、 自動/手動操作器、 指示計
	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時	
設置場所	原子炉 格納容器内	原子炉 格納容器内	原子炉 格納容器内	1次系継電器室、 中央制御室、 制御建屋
周囲温度	約37℃*1	約125℃ (最高温度)	約138℃ (最高温度)	約25℃*2
圧力	約0.0098MPa [gage]以下	約0.25MPa [gage] (最高圧力)	約0.35MPa [gage] (最高圧力)	—
放射線	1.1mGy/h*3	675kGy (最大集積線量)	500kGy (最大集積線量)	—

\*1：通常運転時の伝送器周囲の平均温度の最大実測値。

\*2：原子炉格納容器外の設計平均温度。

\*3：通常運転時の伝送器周囲の平均線量率の最大実測値。

#### 2.1.4 1次冷却材高温側温度（広域）計測制御装置

##### (1) 構造

高浜4号炉の1次冷却材高温側温度（広域）計測制御装置は測温抵抗体、信号変換処理部、電源装置、指示計、記録計および支持構造物で構成されている。

##### a. 測温抵抗体

測温抵抗体は、1次冷却材の温度を抵抗値に変換し、伝送する機能を有する。

##### b. 信号変換処理部

信号変換処理部（原子炉保護系計器ラックおよび原子炉制御系計器ラック）は、測温抵抗体への電源供給や測温抵抗体からの電気信号の受信、他の設備への信号発信、信号の変換、演算等の機能を有するカード計器の集合である。

##### c. 電源装置

電源装置（原子炉保護系計器ラックおよび原子炉制御系計器ラック）は、信号変換処理部への電源供給の機能を有する。

##### d. 指示計

指示計は、信号変換処理部（原子炉保護系計器ラック）から出力された電気信号を温度値に変換し、指示する機能を有する。

##### e. 記録計

記録計は、信号変換処理部（原子炉保護系計器ラック）から出力された電気信号を温度値に変換し、記録する機能を有する。

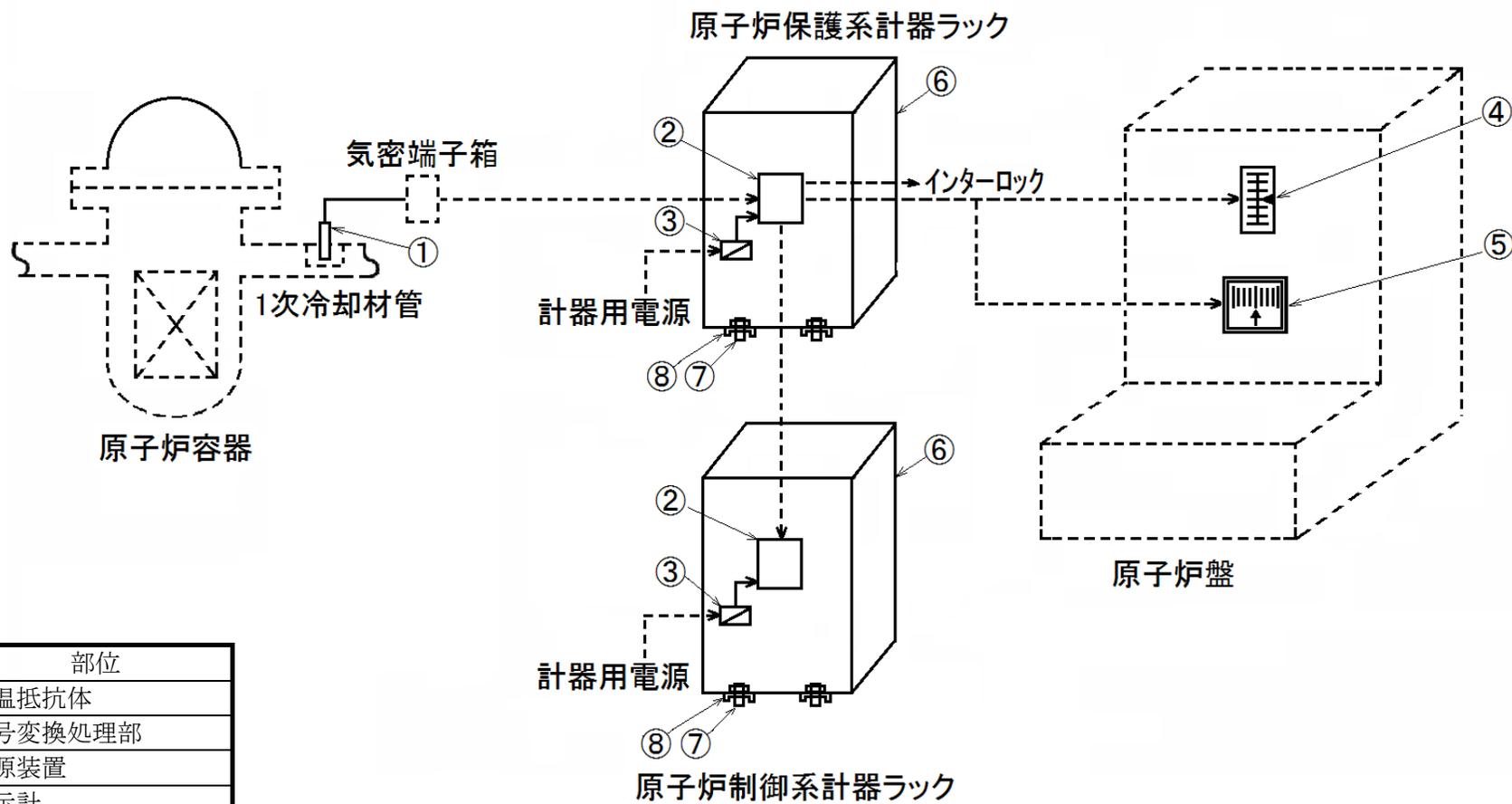
##### f. 支持構造物

筐体は基礎ボルトおよび埋込金物で据付けられている。

高浜4号炉の1次冷却材高温側温度（広域）計測制御装置の主要機器構成図を図2.1-4に示す。

##### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の1次冷却材高温側温度（広域）計測制御装置の主要機器の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。



No.	部位
①	測温抵抗体
②	信号変換処理部
③	電源装置
④	指示計
⑤	記録計
⑥	筐体
⑦	基礎ボルト
⑧	埋込金物

図2.1-4 高浜4号炉 1次冷却材高温側温度(広域)計測制御装置主要機器構成図

表 2.1-7 高浜 4 号炉 1 次冷却材高温側温度（広域）計測制御装置の主要機器の使用材料

部位		材料	
プロセス値の 検出機能構成品	測温抵抗体	消耗品・定期取替品	
電源供給・信号変換・演算・制御機能構成品	原子炉保護系計器ラック 原子炉制御系計器ラック	信号変換処理部	半導体
		ヒューズ	消耗品・定期取替品
		電源装置	消耗品・定期取替品
工学値への変換機能構成品	指示計	炭素鋼、プラスチック	
	記録計		半導体
		ヒューズ	消耗品・定期取替品
機器の支持機能構成品	筐体	炭素鋼	
	基礎ボルト	炭素鋼	
	埋込金物	炭素鋼	

表 2.1-8 高浜 4 号炉 1 次冷却材高温側温度（広域）計測制御装置の主要機器の使用条件

	測温抵抗体			信号変換処理部、 電源装置、 指示計、記録計
	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時	
設置場所	原子炉格納容器内 (ループ室内)	原子炉 格納容器内	原子炉 格納容器内	1 次系継電器室、 中央制御室
周囲温度	約343℃ (最高使用温度)	約125℃ (最高温度)	約138℃ (最高温度)	約25℃*1
圧力	約0.0098MPa [gage]以下	約0.25MPa [gage] (最高圧力)	約0.35MPa [gage] (最高圧力)	—
放射線	586.0mGy/h*2	675kGy (最大集積線量)	500kGy (最大集積線量)	—

\*1：原子炉格納容器外の設計平均温度。

\*2：通常運転時の測温抵抗体周囲の平均線量率の最大実測値。

## 2.1.5 保護用地震計（水平用）

### (1) 構造

高浜4号炉の保護用地震計（水平用）は、加速度検出器、信号変換処理部、出力部が一体となった保護用地震計（水平用）および支持構造物から構成されている。

#### a. 保護用地震計（水平用）

保護用地震計（水平用）の動作機構としては、地震振動により検出部の加速度検出器内部にある磁石で作りだされている磁界中をコイルが横切ることによって発生する起電力によって振動を検出する。

また、検出器出力により信号変換処理部を通じて出力部から原子炉トリップ信号を発信する。

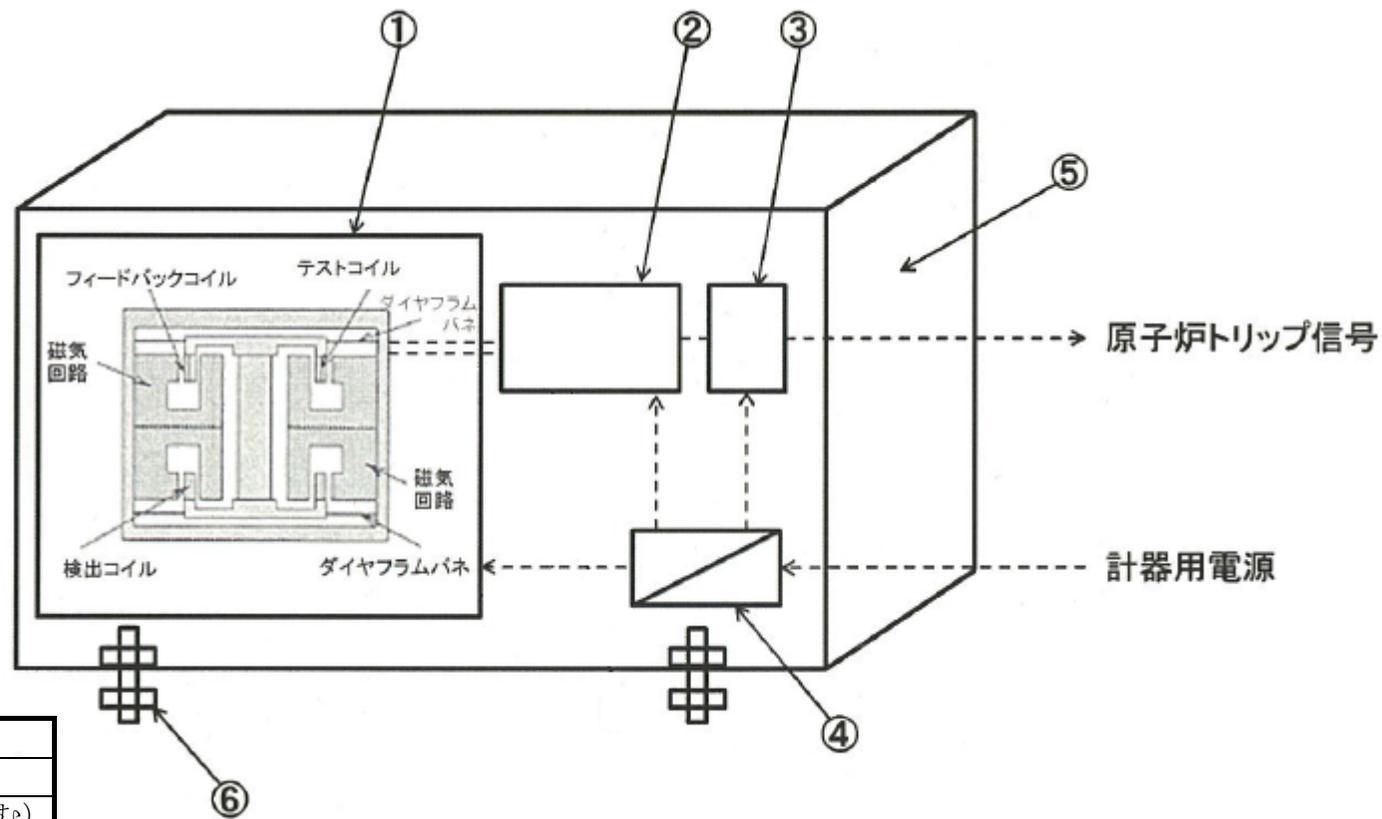
#### b. 支持構造物

筐体は基礎ボルトで据付けられている。

高浜4号炉の保護用地震計（水平用）の主要機器構成図を図2.1-5に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の保護用地震計（水平用）の主要機器の使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。



No.	部位
①	加速度検出器
②	信号変換処理部 (サーボアンプ含む)
③	出力部
④	電源装置 (電解コンデンサ含む)
⑤	筐体
⑥	基礎ボルト

図2.1-5 高浜4号炉 保護用地震計 (水平用) 主要機器構成図

表2.1-9 高浜4号炉 保護用地震計（水平用）の主要機器の使用材料

部位		材料	
プロセス値の 検出機能構成品	加速度検出器	コイル	銅
		磁石	サマリウムコバルト合金
		ダイヤフラムバネ	ばね用ベリリウム鋼
		端子	銅
信号変換機能 構成品	信号変換処理部		半導体
		電解コンデンサ	消耗品・定期取替品
	出力部	コイル	銅
		接点	銅
	電源装置		半導体
		電解コンデンサ	消耗品・定期取替品
ヒューズ		消耗品・定期取替品	
機器の支持機能 構成品	筐体	炭素鋼	
	基礎ボルト	炭素鋼	

表2.1-10 高浜4号炉 保護用地震計（水平用）の主要機器の使用条件

設置場所	外周建屋、原子炉補助建屋
周囲温度	約40℃*1

\*1：原子炉格納容器外の設計平均温度。

## 2.1.6 中性子束（出力領域）計測制御装置

### (1) 構造

高浜4号炉の中性子束（出力領域）計測制御装置は、中性子束検出器、信号変換処理部、電源装置、指示計および支持構造物で構成されている。

#### a. 中性子束検出器

中性子束検出器は、検出器に入射した中性子束を中性子束レベルに応じた電気信号に変換する機能を有する。

#### b. 信号変換処理部

信号変換処理部（炉外核計装盤、原子炉保護系計器ラックおよび原子炉制御系計器ラック）は、中性子束検出器への電源供給や中性子束検出器からの電気信号の受信、他の設備への信号発信、信号の変換、演算等の機能を有するカード計器の集合である。

#### c. 電源装置

電源装置（炉外核計装盤、原子炉保護系計器ラックおよび原子炉制御系計器ラック）は、信号変換処理部への電源供給の機能を有する。

#### d. 指示計

指示計は、信号変換処理部（炉外核計装盤）で原子炉出力に比例した中性子束レベル値に変換され出力された電気信号を指示する機能を有する。

#### e. 支持構造物

筐体は基礎ボルトおよび埋込金物で据付けられている。

高浜4号炉の中性子束（出力領域）計測制御装置の主要機器構成図を図2.1-6に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の中性子束（出力領域）計測制御装置の主要機器の使用材料および使用条件を表2.1-11および表2.1-12に示す。

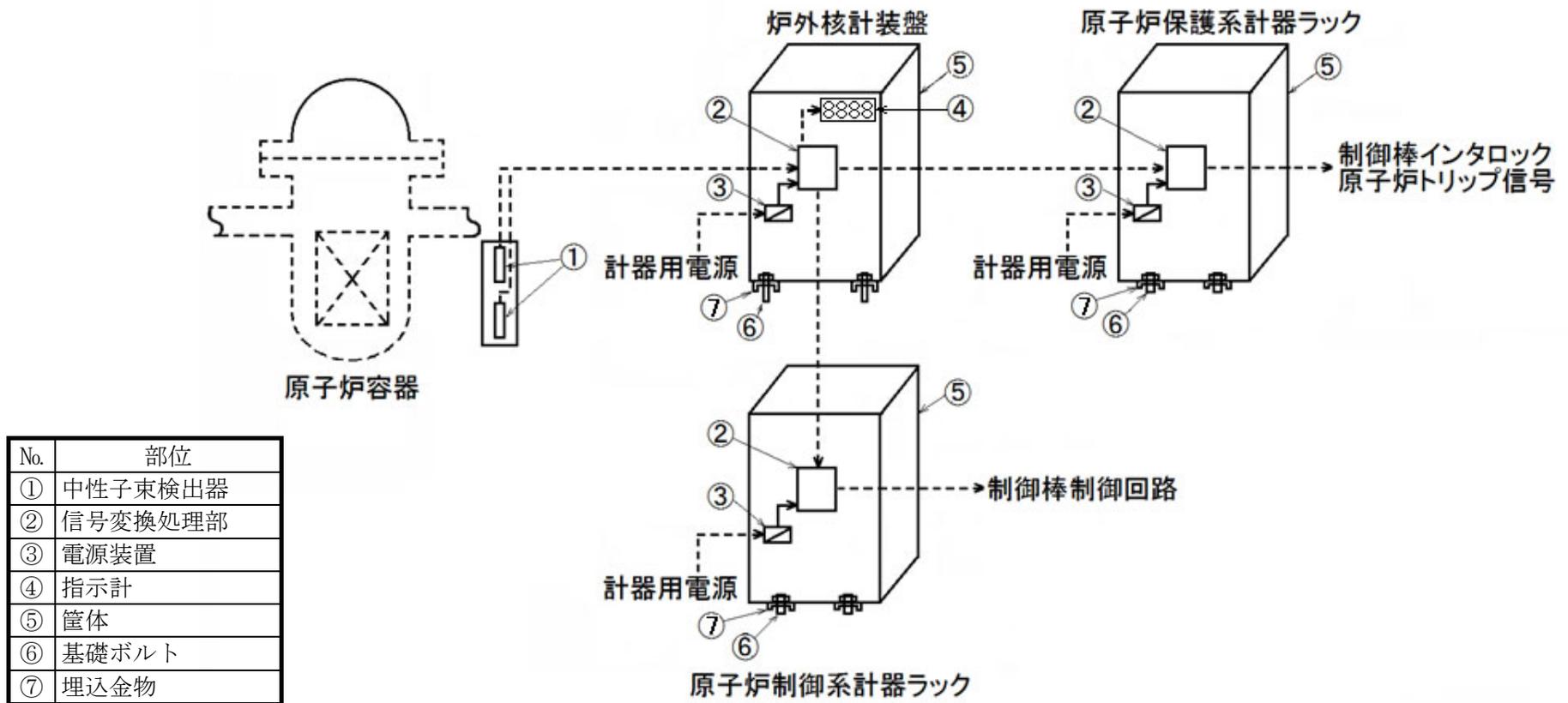


図2.1-6 高浜4号炉 中性子束（出力領域）計測制御装置主要機器構成図

表2.1-11 高浜4号炉 中性子束（出力領域）計測制御装置の主要機器の使用材料

部位		材料	
プロセス値の 検出機能構成品	中性子束検出器	電離箱	消耗品・定期取替品
信号変換機能構 成品	原子炉保護系計器ラック 原子炉制御系計器ラック 炉外核計装盤	信号変換処理部	半導体
		ヒューズ	消耗品・定期取替品
		電源装置	消耗品・定期取替品
工学値への 変換機能構成品	指示計		炭素鋼、プラスチック
機器の支持機能 構成品	筐体		炭素鋼
	基礎ボルト		炭素鋼
	埋込金物		炭素鋼

表2.1-12 高浜4号炉 中性子束（出力領域）計測制御装置の主要機器の使用条件

	中性子束検出器	信号変換処理部、 指示計、電源装置
設置場所	原子炉格納容器内 (N I S キャビティ)	1次系継電器室、中央制御室
周囲温度	約43℃*1	約25℃*2
圧力	約0.0098MPa [gage]以下	—
放射線	169.6mGy/h*3	—

\*1：通常運転時の検出器周囲の平均温度の最大実測値。

\*2：原子炉格納容器外の設計平均温度。

\*3：通常運転時の検出器周囲の平均線量率の最大実測値。

## 2.1.7 格納容器内高レンジエリアモニタ

### (1) 構造

高浜4号炉の格納容器内高レンジエリアモニタは、放射線検出器、前置増幅器、信号変換処理部、電源装置、指示計、記録計および支持構造物で構成されている。

#### a. 放射線検出器

放射線検出器は、検出器に入射した放射線を放射線レベルに応じた電気信号に変換する機能を有する。

#### b. 前置増幅器

前置増幅器（前置増幅器現地盤）は、放射線検出器にて変換された電気信号を信号変換処理部（放射線監視盤）へ伝送するために、信号を増幅する機能を有する。

#### c. 信号変換処理部

信号変換処理部（放射線監視盤）は、放射線検出器への電源供給や前置増幅器（前置増幅器現地盤）からの電気信号の受信、指示計および記録計への信号発信、信号の変換、演算等の機能を有するカード計器の集合である。

#### d. 電源装置

電源装置（放射線監視盤）は、信号変換処理部への電源供給の機能を有する。

#### e. 指示計

指示計は、信号変換処理部（放射線監視盤）から出力された電気信号を放射線レベル値に変換し、指示する機能を有する。

#### f. 記録計

記録計は、信号変換処理部（放射線監視盤）から出力された電気信号を放射線レベル値に変換し、記録する機能を有する。

#### g. 支持構造物

放射線監視盤の筐体は基礎ボルトおよび埋込金物で据付けられている。

また、前置増幅器現地盤の筐体は基礎金物に取付ボルトで据付けられており、基礎金物は基礎ボルトで据付けられている。

高浜4号炉の格納容器内高レンジエリアモニタの主要機器構成図を図2.1-7に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の格納容器内高レンジエリアモニタの主要機器の使用材料および使用条件を表2.1-13および表2.1-14に示す。

No.	部位
①	放射線検出器
②	前置増幅器
③	信号変換処理部
④	電源装置
⑤	指示計
⑥	記録計
⑦	筐体
⑧	基礎金物
⑨	取付ボルト
⑩	基礎ボルト
⑪	埋込金物

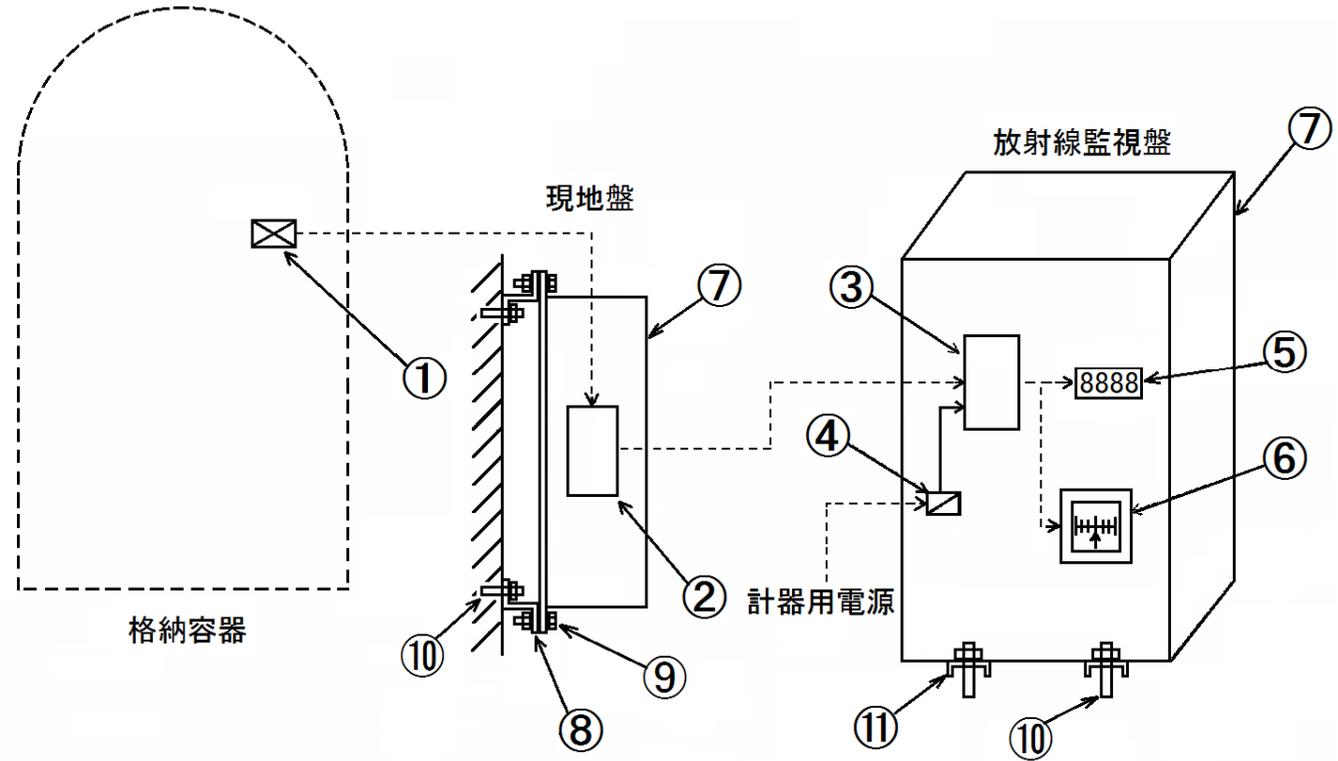


図2.1-7 高浜4号炉 格納容器内高レンジエリアモニタ主要機器構成図

表2.1-13 高浜4号炉 格納容器内高レンジエリアモニタの主要機器の使用材料

部位		材料	
プロセス値の 検出機能構成品	放射線検出器	電離箱	消耗品・定期取替品
信号変換機能 構成品	前置増幅器		半導体
	放射線監視盤	信号変換処理部	半導体
		ヒューズ	消耗品・定期取替品
		電源装置	消耗品・定期取替品
工学値への 変換機能構成品	指示計		半導体、プラスチック
	記録計		半導体
	ヒューズ		消耗品・定期取替品
機器の支持機能 構成品	筐体		炭素鋼
	基礎金物		炭素鋼
	取付ボルト		炭素鋼
	基礎ボルト		炭素鋼
	埋込金物		炭素鋼

表2.1-14 高浜4号炉 格納容器内高レンジエリアモニタの主要機器の使用条件

	放射線検出器			前置増幅器	信号変換 処理部、 電源装置、 指示計、 記録計
	通常運転時	設計基準 事故時	重大 事故等時		
設置場所	原子炉 格納容器内	原子炉 格納容器内	原子炉 格納容器内	外周建屋	中央制御室
周囲温度	約44℃*1	約125℃ (最高温度)	約138℃ (最高温度)	約40℃*2	約25℃*2
圧力	約0.0098MPa [gage] 以下	約0.25MPa [gage] (最高圧力)	約0.35MPa [gage] (最高圧力)	—	—
放射線	1.3mGy/h*3	675kGy (最大 集積線量)	500kGy (最大 集積線量)	—	—

\*1：通常運転時の検出器周囲の平均温度の最大実測値。

\*2：原子炉格納容器外の設計平均温度。

\*3：通常運転時の検出器周囲の平均線量率の最大実測値。

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

プロセス計測制御設備の機能を維持するためには、次の5つの項目が必要である。

- ① プロセス値の伝達機能の維持
- ② プロセス値の検出機能の維持
- ③ 電源供給・信号変換・演算・制御機能の維持
- ④ 工学値への変換機能の維持
- ⑤ 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

プロセス計測制御設備個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験を考慮し、代表機器ごとに表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

(1) 1次冷却材系統に接する計装配管等の応力腐食割れ〔1次冷却材圧力、加圧器水位〕

1996年5月、米国セコイヤ(Sequoyah)発電所2号炉で、1次系水質環境下においても局所的に溶存酸素濃度が高くなる等の理由で内面からの応力腐食割れによる漏えいが発生していることから、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、当該部位については、SUS304系より耐応力腐食割れ性の優れているSUS316系を使用している。

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

なお、機器点検時の目視確認および浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(2) 伝送器〔余熱除去流量〕、信号変換処理部〔共通〕、加速度検出器、出力部、電源装置〔保護用地震計（水平用）〕、指示計〔保護用地震計（水平用）を除いて共通〕、記録計〔1次冷却材圧力、余熱除去流量、1次冷却材高温側温度（広域）、格納容器内高レンジエリアモニタ〕、自動／手動操作器〔余熱除去流量、加圧器水位〕および前置増幅器〔格納容器内高レンジエリアモニタ〕の特性変化

伝送器、信号変換処理部、加速度検出器、出力部、電源装置、指示計、記録計、自動／手動操作器および前置増幅器は長期間の使用に伴い、検出特性および信号伝達特性が変化し、長期間校正を実施しない場合、実際のプロセス値に対し、測定値および制御値の誤差が大きくなることや、マイグレーションが想定される。

しかしながら、信号処理・変換を行う電気回路部は定格値（定格電力・電圧・電流値）に対して回路上は十分低い範囲で使用する設計としており、屋内に設置されていることから環境変化の程度は小さく、短期間で入出力特性が変化する可能性は小さいと考える。

また、製造段階で製作不良に基づく回路電流集中を取り除くスクリーニング等を実施していることから、マイグレーションが発生する可能性は小さいと考える。

さらに、機器点検時の実圧または模擬信号での校正試験・調整により、機器の健全性を維持している。

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

- (3) パイプハンガークランプ他、スタンション [1次冷却材圧力、余熱除去流量、加圧器水位]、筐体 [共通]、取付ボルト [1次冷却材圧力、余熱除去流量、加圧器水位、格納容器内高レンジエリアモニタ] および基礎金物 [格納容器内高レンジエリアモニタ] の腐食 (全面腐食)

パイプハンガークランプ他、スタンション、筐体、取付ボルトおよび基礎金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装または亜鉛メッキにより腐食を防止しており、塗膜またはメッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

- (4) 埋込金物 (大気接触部) の腐食 (全面腐食) [保護用地震計 (水平用) を除いて共通]

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

- (5) 計装用取出配管、計器元弁、計装配管および計器弁の外面からの応力腐食割れ  
[余熱除去流量]

余熱除去流量の計装用取出配管等はステンレス鋼であり、外表面に大気中の海塩粒子等の塩分が付着した場合、塩化物イオンによる応力腐食割れが想定される。

しかしながら、周辺環境における塩分付着量を測定し、応力腐食割れに対して問題のないことを確認している。

また、余熱除去流量の計装用取出配管等は屋内に設置されており、屋外に設置されている配管等と比較して環境条件は穏やかであり、大気中の海塩粒子が外表面に直接付着する可能性は小さい。

さらに、巡視点検時等の目視確認により機器の健全性を維持している。

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

- (6) 基礎ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

基礎ボルトは炭素鋼であり腐食が想定される。

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

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

- (7) オリフィスの腐食（流れ加速型腐食） [余熱除去流量]

オリフィスは絞り機構であり、配管部と比較して流速が速くなることから流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、余熱除去流量のオリフィスはステンレス鋼であり、流速を低く設計していることから、流れ加速型腐食が発生する可能性はないと考える。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(8) オリフィスの応力腐食割れ [余熱除去流量]

オリフィスはステンレス鋼であり、応力腐食割れが想定される。

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

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

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(9) 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食） [保護用地震計（水平用）を除いて共通]

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

#### 2.2.4 消耗品および定期取替品

ヒューズ、電解コンデンサ、電源装置（保護用地震計（水平用）を除く）、中性子束検出器、放射線検出器、伝送器（1次冷却材圧力および加圧器水位）および測温抵抗体については定期取替品である。いずれも、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

なお、記録計のヒューズについては、容易に修復が可能であることから、事後保全としている。

表2.2-1(1/7) 高浜4号炉 1次冷却材圧力計測制御装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性		その他
				摩耗	腐食	疲労 割れ	応力腐 食割れ	絶縁 低下	導通 不良	特性 変化		
プロセス値の伝達 機能の維持	計装用取出配管、計器元弁、 計装配管、計器弁		ステンレス鋼				△*1					*1:内面からの 応力腐食割 れ *2:大気接触部 の腐食 *3:コンクリ ート埋設部の 腐食
プロセス値の検出 機能の維持	伝送器	◎	—									
電源供給・信号変 換・演算・制御機能 の維持	信号変換処理部		半導体							△		
	ヒューズ	◎	—									
	電源装置	◎	—									
工学値への変換機 能の維持	指示計		炭素鋼、 プラスチック							△		
	記録計		半導体							△		
	ヒューズ	◎	—									
機器の支持	ライナー		ステンレス鋼									
	パイプハンガークランプ他		ステンレス鋼、 炭素鋼		△							
	スタンション		炭素鋼		△							
	筐体		炭素鋼		△							
	取付ボルト		炭素鋼		△							
	基礎ボルト		炭素鋼		△							
	埋込金物		炭素鋼		△*2 ▲*3							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-1(2/7) 高浜4号炉 余熱除去流量計測制御装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性		その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
プロセス値の伝達機能の維持	オリフィス 注)		ステンレス鋼		▲*2		▲				*1:外面からの応力腐食割れ	
	計装用取出配管、計器元弁、計装配管、計器弁		ステンレス鋼				△*1					
プロセス値の検出機能の維持	伝送器		アルミニウム合金鋳物、ステンレス鋼、半導体							△	*2:流れ加速型腐食	
電源供給・信号変換・演算・制御機能の維持	信号変換処理部		半導体							△	*3:大気接触部の腐食	
	ヒューズ	◎	—								*4:コンクリート埋設部の腐食	
	電源装置	◎	—									
工学値への変換機能の維持	自動/手動操作器		半導体							△		
	指示計		炭素鋼、プラスチック							△		
	記録計		半導体							△		
機器の支持	ヒューズ	◎	—									
	ライナー		ステンレス鋼									
	パイプハンガークランプ他		ステンレス鋼、炭素鋼		△							
	スタンション		炭素鋼		△							
	筐体		炭素鋼		△							
	取付ボルト		炭素鋼		△							
	基礎ボルト		炭素鋼		△							
埋込金物		炭素鋼		△*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）

▲：高経年化対策上着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）

注) オリフィスはプロセス値の伝達機能に加えて、バウンダリ機能をあわせもっており、両者を含めた評価とする。

表2.2-1(3/7) 高浜4号炉 加圧器水位計測制御装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性		その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
プロセス値の伝達機能の維持	計器元弁、計装配管、計器弁		ステンレス鋼				△*1					*1:内面からの応力腐食割れ *2:大気接触部の腐食 *3:コンクリート埋設部の腐食
プロセス値の検出機能の維持	伝送器	◎	—									
電源供給・信号変換・演算・制御機能の維持	信号変換処理部		半導体							△		
	ヒューズ	◎	—									
	電源装置	◎	—									
	自動/手動操作器		半導体							△		
工学値への変換機能の維持	指示計		炭素鋼、プラスチック							△		
機器の支持	ライナー		ステンレス鋼									
	パイプハンガークランプ他		ステンレス鋼、炭素鋼		△							
	スタンション		炭素鋼		△							
	筐体		炭素鋼		△							
	取付ボルト		炭素鋼		△							
	基礎ボルト		炭素鋼		△							
	埋込金物		炭素鋼		△*2 ▲*3							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-1(4/7) 高浜4号炉 1次冷却材高温側温度(広域)計測制御装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
プロセス値の検出機能の維持	測温抵抗体	◎	—									*1:大気接触部の腐食 *2:コンクリート埋設部の腐食
電源供給・信号変換・演算・制御機能の維持	信号変換処理部		半導体								△	
	ヒューズ	◎	—									
	電源装置	◎	—									
工学値への変換機能の維持	指示計		炭素鋼、プラスチック								△	
	記録計		半導体								△	
	ヒューズ	◎	—									
機器の支持	筐体		炭素鋼		△							
	基礎ボルト		炭素鋼		△							
	埋込金物		炭素鋼		△ <sup>*1</sup> ▲ <sup>*2</sup>							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-1(5/7) 高浜4号炉 保護用地震計（水平用）に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性		その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
プロセス値の検出機能の維持	加速度検出器		銅、サマリウムコバルト合金、ばね用ベリリウム鋼								△	
電源供給・信号変換・演算・制御機能の維持	信号変換処理部		半導体								△	
	電解コンデンサ	◎	—									
	出力部		銅								△	
	電源装置		半導体								△	
	電解コンデンサ ヒューズ	◎ ◎	— —									
機器の支持	筐体		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(6/7) 高浜4号炉 中性子束（出力領域）計測制御装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
プロセス値の検出機能の維持	中性子束検出器	◎	—									*1: 大気接触部の腐食 *2: コンクリート埋設部の腐食
信号変換機能の維持	信号変換処理部		半導体							△		
	ヒューズ	◎	—									
	電源装置	◎	—									
工学値への変換機能の維持	指示計		炭素鋼、プラスチック							△		
機器の支持	筐体		炭素鋼		△							
	基礎ボルト		炭素鋼		△							
	埋込金物		炭素鋼		△ <sup>*1</sup> ▲ <sup>*2</sup>							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-1(7/7) 高浜4号炉 格納容器内高レンジエリアモニタに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他		
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化			
プロセス値の検出機能の維持	放射線検出器	◎	—										*1: 大気接触部の腐食 *2: コンクリート埋設部の腐食
信号変換機能の維持	前置増幅器		半導体								△		
	信号変換処理部		半導体								△		
	ヒューズ	◎	—										
	電源装置	◎	—										
工学値への変換機能の維持	指示計		炭素鋼、プラスチック								△		
	記録計		半導体								△		
	ヒューズ	◎	—										
機器の支持	筐体		炭素鋼		△								
	基礎金物		炭素鋼		△								
	取付ボルト		炭素鋼		△								
	基礎ボルト		炭素鋼		△								
	埋込金物		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）

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

### 3. 代表機器以外への展開

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

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

#### [圧力]

- ① 加圧器圧力
- ② 主蒸気圧力
- ③ タービン第1段後圧力
- ④ タービン動補助給水ポンプ吐出圧力・入口蒸気差圧
- ⑤ 格納容器圧力
- ⑥ ペネトレーションエリア圧力
- ⑦ 制御用空気ヘッド圧力
- ⑧ 海水ヘッド圧力
- ⑨ アニュラス圧力

#### [流量]

- ① 高圧安全注入流量
- ② 高圧補助安全注入流量
- ③ 1次冷却材流量
- ④ 主蒸気流量
- ⑤ 主給水流量
- ⑥ 補助給水流量
- ⑦ 格納容器スプレイ流量
- ⑧ 恒設代替低圧注水ポンプ出口流量

#### [水位]

- ① ほう酸タンク水位
- ② 格納容器再循環サンプ水位（広域・狭域）
- ③ 蒸気発生器狭域水位
- ④ 蒸気発生器広域水位
- ⑤ 復水タンク水位
- ⑥ 原子炉補機冷却水サージタンク水位

- ⑦ 燃料取替用水タンク水位
- ⑧ よう素除去薬品タンク水位
- ⑨ 使用済燃料ピット水位
- ⑩ 原子炉下部キャビティ水位
- ⑪ 原子炉水位
- ⑫ 原子炉格納容器水位
- ⑬ 潮位

[温度]

- ① 1次冷却材低温側温度（広域）
- ② 1次冷却材高温側温度（狭域）
- ③ 1次冷却材低温側温度（狭域）
- ④ 格納容器温度
- ⑤ 使用済燃料ピット温度
- ⑥ 静的触媒式水素再結合装置温度
- ⑦ 原子炉格納容器水素燃焼装置温度

[地震]

- ① 保護用地震計（鉛直用）

[中性子束]

- ① 中性子束（中間領域）
- ② 中性子束（中性子源領域）

### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

#### 3.1.1 1次冷却材系統に接する計装配管等の応力腐食割れ〔加圧器圧力、1次冷却材流量、原子炉水位〕

1996年5月、米国セコイヤ(Sequoyah)発電所2号炉で、1次系水質環境下においても局所的に溶存酸素濃度が高くなる等の理由で内面からの応力腐食割れによる漏えいが発生していることから、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、当該部位については、SUS304系より耐応力腐食割れ性の優れているSUS316系を使用している。

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

なお、機器点検時の目視確認および浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

#### 3.1.2 伝送器等の特性変化〔共通〕

伝送器（加圧器圧力、主蒸気流量、格納容器再循環サンプ水位（広域・狭域）、蒸気発生器広域水位、蒸気発生器狭域水位、使用済燃料ピット水位および原子炉水位を除く）、加速度検出器、出力部、前置増幅器、信号変換処理部、電源装置（保護用地震計（鉛直用））、指示計、記録計および自動／手動操作器は、長期間の使用に伴い、検出特性および信号伝達特性が変化し、長期間校正を実施しない場合、実際のプロセス値に対し、測定値および制御値の誤差が大きくなることや、マイグレーションが想定される。

しかしながら、信号処理・変換を行う電気回路部は定格値（定格電力・電圧・電流値）に対して回路上は十分低い範囲で使用する設計としており、屋内または筐体内に設置されていることから環境変化の程度は小さく、短期間で入出力特性が変化する可能性は小さいと考える。

また、製造段階で製作不良に基づく回路電流集中を取り除くスクリーニング等を実施していることから、マイグレーションが発生する可能性は小さいと考える。

さらに、機器点検時の実圧または模擬信号での校正試験・調整により、機器の健全性を維持している。

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

- 3.1.3 パイプハンガークランプ他、スタンション、筐体、チャンネルベース、取付ボルト、基礎架台の腐食（全面腐食） [パイプハンガークランプ他、スタンション、筐体、チャンネルベース、取付ボルトまたは基礎架台を含む機器共通]

パイプハンガークランプ他、スタンション、筐体、チャンネルベース、取付ボルトおよび基礎架台は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装または亜鉛メッキにより腐食を防止しており、塗膜またはメッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

- 3.1.4 計装用取出配管（炭素鋼）の内面からの腐食（全面腐食） [海水ヘッダ圧力]  
海水供給母管圧力の計装用取出配管（炭素鋼）の内面は海水が接するため、内面からの腐食が想定される。

しかしながら、内面にライニングを施工しており、ライニングが健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、系統の弁分解点検時等に目視確認を実施し、ライニングの健全性を確認することにより、機器の健全性を維持している。

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

- 3.1.5 計装用取出配管および計器元弁（炭素鋼、銅合金鋳物）の外側からの腐食（全面腐食） [タービン第1段圧力、タービン動補助給水ポンプ吐出圧力・入口蒸気差圧、制御用空気ヘッダ圧力、海水ヘッダ圧力]

炭素鋼または銅合金鋳物の計装用取出配管および計器元弁は、外側からの腐食が想定される。

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

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

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

3.1.6 埋込金物（大気接触部）の腐食（全面腐食）〔埋込金物を含む機器共通〕

炭素鋼の埋込金物については、腐食が想定される。

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

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

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

3.1.7 計装用取出配管、計器元弁、計装配管および計器弁の外面からの応力腐食割れ

〔計装用取出配管、計器元弁、計装配管および計器弁がステンレス鋼の伝送器（原子炉格納容器内を除く屋内設置分）〕

伝送器の計装用取出配管等はステンレス鋼であり、原子炉格納容器内設置分を除いて、外表面に大気中の海塩粒子等の塩分が付着した場合、塩化物イオンによる応力腐食割れが想定される。

しかしながら、周辺環境における塩分付着量を測定し、応力腐食割れに対して問題のないことを確認している。

また、屋内に設置されている計装用取出配管等については、屋外に設置されている配管等と比較して環境条件は穏やかであり、大気中の海塩粒子が外表面に直接付着する可能性は小さい。

さらに、巡視点検時等の目視確認により機器の健全性を維持している。

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

3.1.8 基礎ボルトの腐食（全面腐食）および樹脂の劣化〔基礎ボルトを含む機器共通〕

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

また、ケミカルアンカには樹脂を使用しており、劣化が想定される。

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

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

3.1.9 オリフィスの腐食（流れ加速型腐食）〔高圧安全注入流量、高圧補助安全注入流量、主給水流量、補助給水流量、格納容器スプレイ積算流量、恒設代替低圧注水ポンプ出口流量〕

オリフィスは絞り機構であり、配管部と比較して流速が速くなることから流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、高圧安全注入流量、高圧補助安全注入流量、補助給水流量、格納容器スプレイ積算流量および恒設代替低圧注水ポンプ出口流量のオリフィスについては、通常運転中通水されておらず、流れ加速型腐食が発生する可能性はないと考える。

また、主給水流量のオリフィスはステンレス鋼であり、流速を低く設計していることから、流れ加速型腐食が発生する可能性はないと考える。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.10 オリフィスの応力腐食割れ〔高圧安全注入流量、高圧補助安全注入流量〕

高圧安全注入流量および高圧補助安全注入流量のオリフィスはステンレス鋼であり、1次冷却材環境下において応力腐食割れが想定される。

しかしながら、通常運転中、オリフィスが設置されている配管中の流体温度は、周囲温度と同等と低いことから応力腐食割れの発生の可能性はなく、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.11 電極式水位計の絶縁低下〔原子炉格納容器水位、原子炉下部キャビティ水位〕

電極式水位計の絶縁物は、酸化マグネシウム等を使用しており、熱によりNi線の成分が拡散し、酸化マグネシウムの純度が低下することや湿分の浸入により絶縁低下を起こす可能性がある。

しかしながら、電極式水位計は発熱体でなく、通常使用する環境条件では拡散が急激に進行することはない。

また、電極式水位計は酸化マグネシウムの吸湿防止のため、セラミック端子、接続スリーブ等の接続部をシールしており、外部の湿気がシース内部に浸入しない構造としていることから、絶縁低下の可能性はなく、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.12 計装用取出配管、計器元弁、計装配管および計器弁（炭素鋼または銅合金铸件）の内面からの腐食（全面腐食）〔制御用空気ヘッド圧力、海水ヘッド圧力〕  
制御用空気ヘッド圧力の計装用取出配管等は炭素鋼であり、内面からの腐食が想定される。

しかしながら、内部流体が制御用空気であり、腐食が発生しがたい環境にある。したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

また、海水ヘッド圧力の計装用取出配管等は銅合金铸件であり、内面からの腐食が想定される。

しかしながら、計装用取出配管等に使用している銅合金铸件は耐食性がよく、腐食が発生しがたい環境にある。

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

3.1.13 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）〔埋込金物を含む機器共通〕

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

## 2 制御設備

[対象分類]

- ① 保護・シーケンス盤、リレーラック
- ② 監視・操作盤、通信設備
- ③ 制御盤

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	5
2.1 構造、材料および使用条件 .....	5
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	14
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価 .....	22
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 .....	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. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されている制御設備の主な仕様を表1-1に示す。

これらの制御設備を機能の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す制御設備について、機能を分離基準として考えると、合計3つのグループに分類される。

### 1.2 代表機器の選定

制御設備は、検出回路、ロジック回路等の機器の組合せにより構成されている。

使用されている各構成機器は、設備の持つ機能に依存せず、構造、材料、使用条件等が同等であることから、経年劣化に対する健全性評価は、構成機器単位で実施する。

そのため、主要な構成機器の組合せを考慮し、各構成機器が評価されるように代表機器を選定した。

#### (1) 保護・シーケンス盤、リレーラック

このグループには、原子炉安全保護盤、安全保護系補助リレーラック、1次系補助リレーラックおよびATWS緩和設備が属するが、重要度および主要構成機器の観点から、原子炉安全保護盤を代表機器とする。

#### (2) 監視・操作盤、通信設備

このグループには、原子炉盤、換気空調盤、所内盤等が属するが、重要な機器の監視および操作を行う原子炉盤を代表機器とする。

#### (3) 制御盤

このグループには、ディーゼル発電機制御盤、制御用空気圧縮機盤、空調用冷凍機制御盤等が属するが、重要度および主要構成機器の観点から、ディーゼル発電機制御盤を代表機器とする。

表1-1 (1/3) 高浜4号炉 制御設備の主な仕様

分離 基準	機器名称 (面数)	選定基準							代表機器の選定	
		主要構成機器						重要度*1	代表 機器	選定理由
		検出回路部	ロジック回路部	操作回路部	監視回路部	駆動回路部	電源部			
保護・シーケ ンス盤、リレ ーラック	原子炉安全保護盤 (6)	—	半導体基板、 補助リレー	操作スイッチ	—	—	NFB*2、 電源装置	MS-1	◎	重要度、主 要構成機器
	安全保護系補助リ レーラック (18)	—	補助リレー、 タイマ	操作スイッチ	—	—	NFB*2	MS-1		
	1次系補助リレー ラック (4)	—	補助リレー、 タイマ	—	—	—	NFB*2	MS-1		
	ATWS緩和設備(1)	—	半導体基板、補助 リレー、タイマ	—	—	—	NFB*2	重*3		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：ノーヒューズブレーカ。

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

表1-1 (2/3) 高浜4号炉 制御設備の主な仕様

分離基準	機器名称 (面数)	選定基準							代表機器の選定	
		主要構成機器						重要度*1	代表機器	選定理由
		検出回路部	ロジック回路部	操作回路部	監視回路部	駆動回路部	電源部			
監視・操作盤、通信設備	原子炉盤 (1)	—	—	操作スイッチ	表示灯、故障表示器	—	NFB*2、電源装置	MS-1、重*3	◎	重要機器の監視および操作を行う
	換気空調盤 (1)	—	—	操作スイッチ	表示灯、故障表示器	—	NFB*2、電源装置	MS-1		
	所内盤 (1)	—	—	操作スイッチ	表示灯、指示計、故障表示器	—	NFB*2、電源装置	MS-1		
	中央制御室外原子炉停止盤 (4)	—	—	操作スイッチ	表示灯	—	NFB*2	MS-2		
	使用済燃料ピット監視カメラ (1)	カメラユニット	半導体基板	—	半導体基板、表示部 (PC)	—	NFB*2、UPS*4	重*3		
	SPDS関連設備 (1)	—	—	—	半導体基板、表示部 (PC)	—	NFB*2、UPS*4	重*3		
	統合原子力防災ネットワーク (1)	—	—	—	—	—	NFB*2、UPS*4	重*3		
	衛星電話 (25)	—	—	—	—	—	—	重*3、設*5		
	緊急時衛星通報システム (4)	—	—	—	表示部 (PC)	—	—	重*3		
	津波監視カメラ (2)	カメラユニット	半導体基板	—	半導体基板、表示部 (PC)	—	NFB*2、UPS*4	設*5		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：ノーヒューズブレーカ。

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

\*4：無停電電源装置。

\*5：設計基準対象施設として評価対象とした機器および構造物であることを示す。

表1-1 (3/3) 高浜4号炉 制御設備の主な仕様

分離基準	機器名称 (面数)	選定基準							代表機器の選定	
		主要構成機器						重要度*1	代表機器	選定理由
		検出回路部	ロジック回路部	操作回路部	監視回路部	駆動回路部	電源部			
制御盤	ディーゼル発電機制御盤 (12)	励磁装置、保護リレー (静止形)、計器用変流器、電磁ピックアップ	電圧調整装置、スピードリレー、電圧設定器、補助リレー、タイマ、ヒューズ	操作スイッチ、ロックアウトリレー	表示灯、指示計、故障表示器	電磁接触器、シリコン整流器	NFB*2	MS-1、重*3	◎	重要度、主要構成機器
	制御用空気圧縮機盤 (4)	—	補助リレー、タイマ	操作スイッチ	表示灯	—	NFB*2、変圧器	MS-1		
	空調用冷凍機制御盤 (2)	—	補助リレー、タイマ	操作スイッチ	表示灯	—	NFB*2	MS-1		
	タービン動補助給水ポンプ盤 (6)	—	補助リレー、タイマ	—	—	電磁接触器	NFB*2	MS-1		
	1次冷却材ポンプ母線計測盤 (3)	保護リレー (静止形)、計器用変圧器	補助リレー	—	表示灯	—	NFB*2	MS-1		
	空冷式非常用発電装置制御盤 (2)	励磁装置、計器用変圧器	補助リレー、速度制御装置、ヒューズ、自動電圧調整器	操作スイッチ	表示灯、指示計、故障表示器	—	NFB*2	重*3		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：ノーヒューズブレーカ。

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

## 2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の制御設備について技術評価を実施する。

- ① 原子炉安全保護盤
- ② 原子炉盤
- ③ ディーゼル発電機制御盤

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 原子炉安全保護盤

##### (1) 構造

高浜4号炉の原子炉安全保護盤は、A、Bトレン各3面設置されており、半導体基板等の主要構成機器および機器を支持するための筐体、基礎ボルト、埋込金物から構成されている。

原子炉安全保護盤は、原子炉保護系計器ラック等より出力された電気信号を入力とし、論理回路を構成し、原子炉を安全に停止するための原子炉トリップ信号を出力する装置である。

高浜4号炉の原子炉安全保護盤の主要機器構成図を図2.1-1に示す。

##### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の原子炉安全保護盤の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

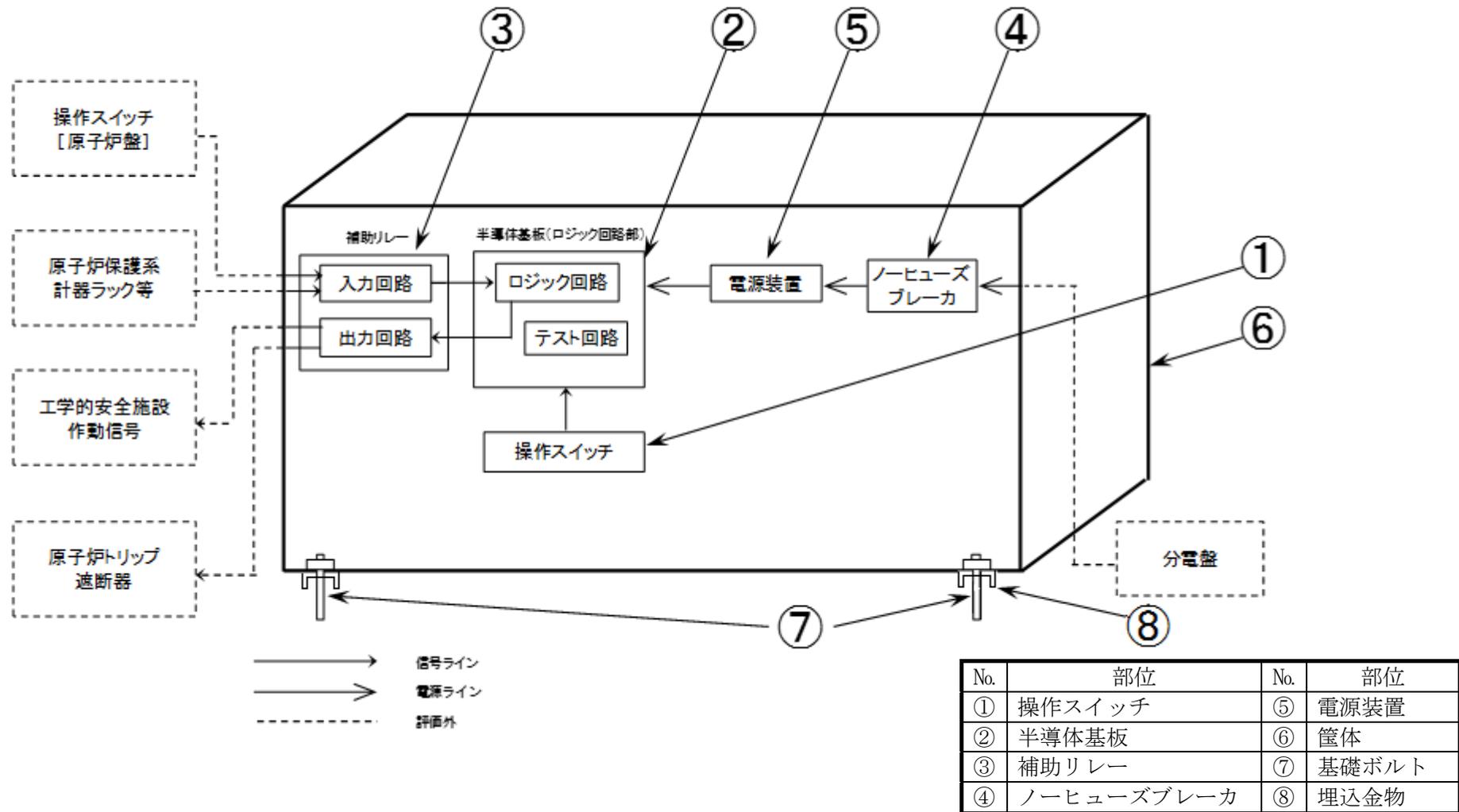


図2.1-1 高浜4号炉 原子炉安全保護盤の主要機器構成図

表2.1-1 高浜4号炉 原子炉安全保護盤主要部位の使用材料

部位		材料
主要構成機器	操作スイッチ	銅合金
	半導体基板	半導体
	補助リレー	消耗品・定期取替品
	ノーヒューズブレーカ	消耗品・定期取替品
	電源装置	消耗品・定期取替品
支持構造物	筐体	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼
	埋込金物	炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 原子炉安全保護盤の使用条件

使用温度	約25℃*1
設置場所	1次系継電器室
制御電源	AC115V

\*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

## 2.1.2 原子炉盤

### (1) 構造

高浜4号炉の原子炉盤は、操作スイッチ等の主要構成機器および機器を支持するための筐体、埋込金物から構成されている。

原子炉盤は、プロセスを監視するための指示計、記録計、表示灯および故障表示器を有しており、操作スイッチ等により制御信号を操作する装置である。

高浜4号炉の原子炉盤の主要機器構成図を図2.1-2に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の原子炉盤の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。

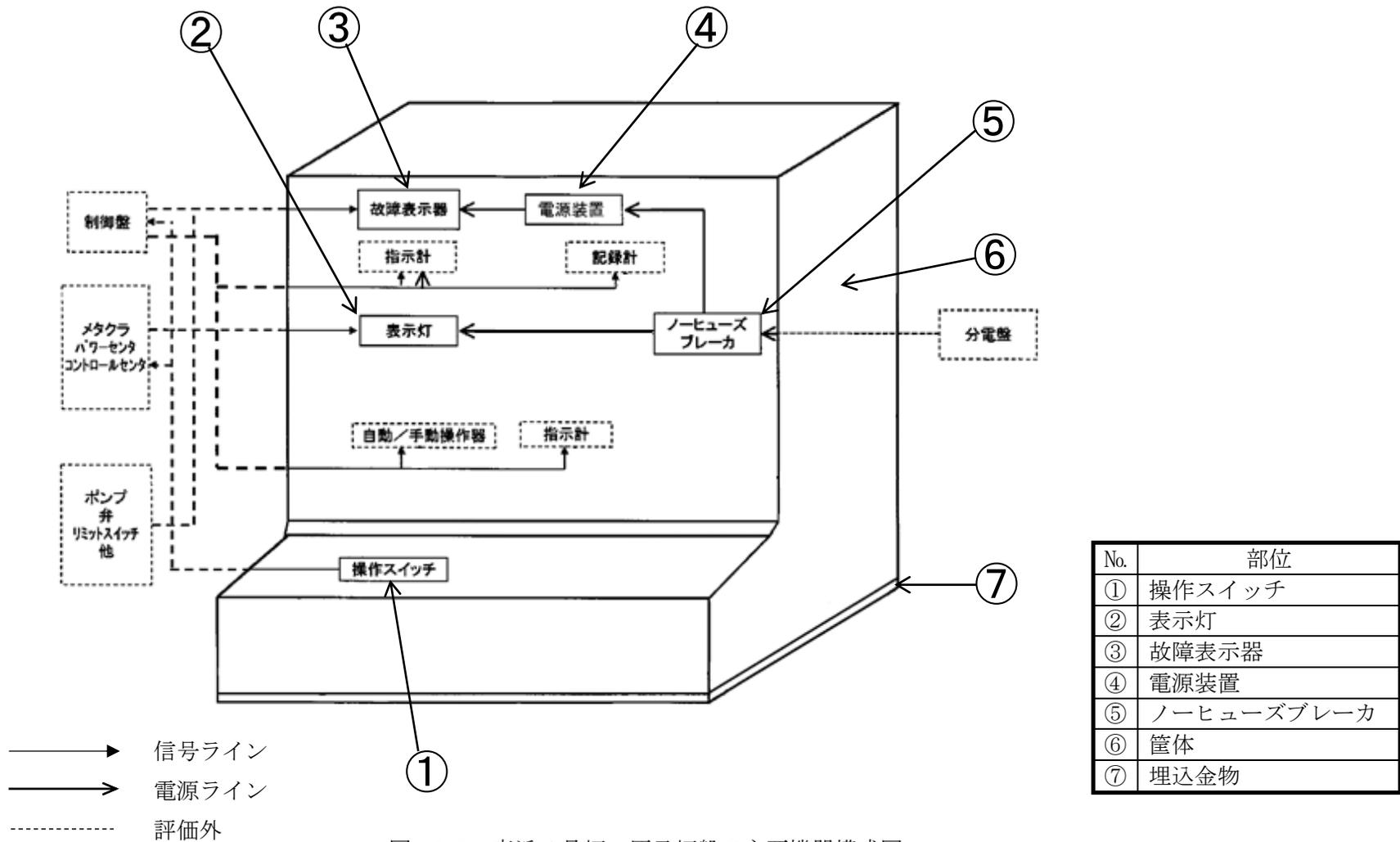


図2.1-2 高浜4号炉 原子炉盤の主要機器構成図

表2.1-3 高浜4号炉 原子炉盤主要部位の使用材料

部位		材料
主要構成機器	操作スイッチ	銅、銀他
	表示灯	消耗品・定期取替品
	故障表示器	消耗品・定期取替品
	電源装置	消耗品・定期取替品
	ノーヒューズブレーカ	消耗品・定期取替品
支持構造物	筐体	炭素鋼
	埋込金物	炭素鋼

表2.1-4 高浜4号炉 原子炉盤の使用条件

使用温度	約25℃*1
設置場所	中央制御室
制御電源	DC125V/AC115V

\*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

### 2.1.3 ディーゼル発電機制御盤

#### (1) 構造

高浜4号炉のディーゼル発電機制御盤はA、Bトレン各6面設置されており、励磁装置等の主要構成機器および機器を支持するための筐体、基礎ボルト、埋込金物から構成されている。

ディーゼル発電機制御盤は発電所安全系電源が喪失した際に自動起動し、必要な機器への安定した電源供給を制御する装置である。

高浜4号炉のディーゼル発電機制御盤の主要機器構成図を図2.1-3に示す。

#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉のディーゼル発電機制御盤の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。

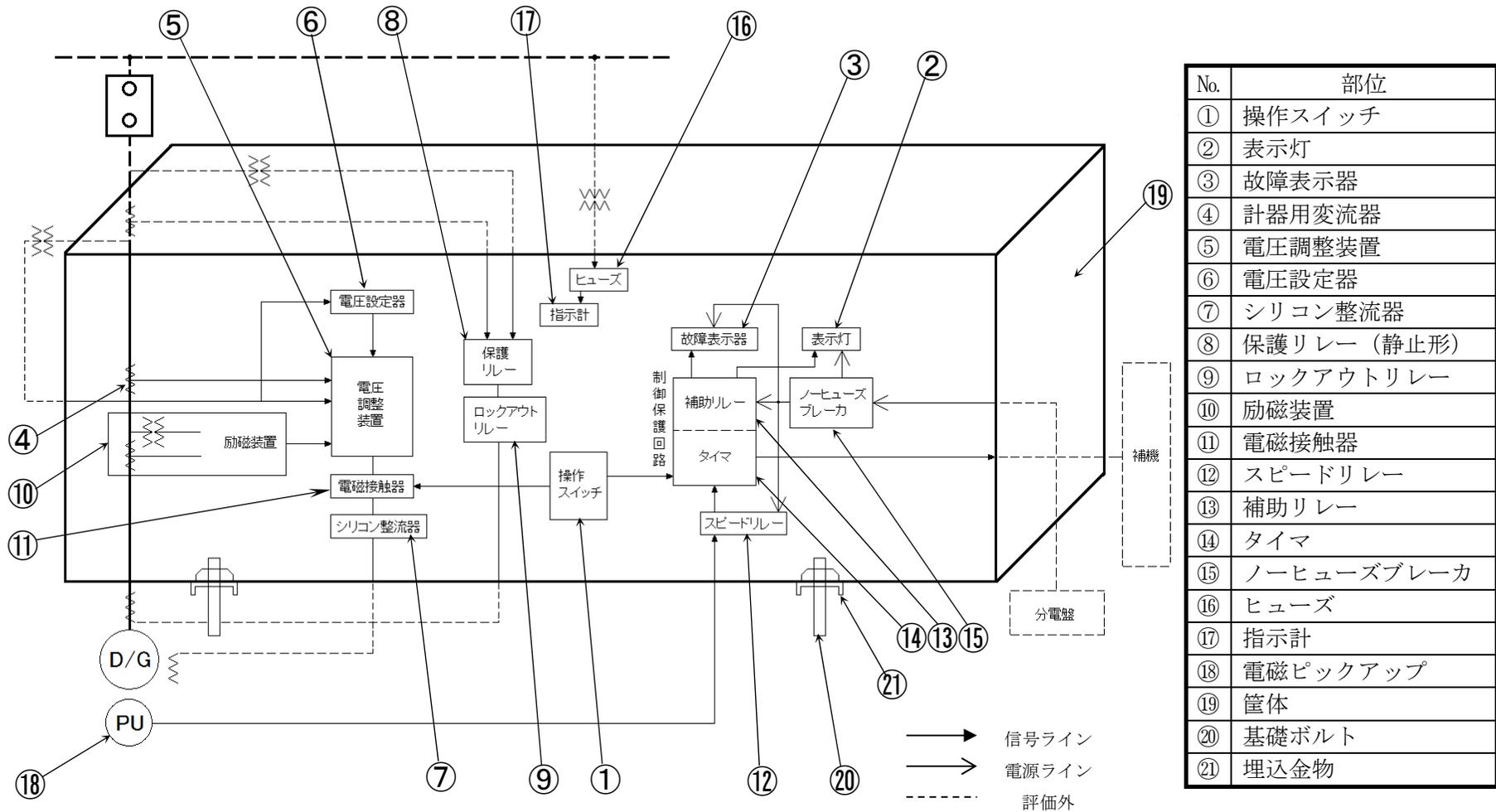


図2.1-3 高浜4号炉 ディーゼル発電機制御盤の主要機器構成図

表2.1-5 高浜4号炉 ディーゼル発電機制御盤主要部位の使用材料

	部位	材料
主要構成機器	操作スイッチ	銅、銀他
	表示灯	消耗品・定期取替品
	故障表示器	消耗品・定期取替品
	計器用変流器	銅線、ブチルゴム（A種絶縁）
	電圧調整装置	半導体、可変抵抗器、他
	電圧設定器	小型直流モータ
	シリコン整流器	半導体
	保護リレー（静止形）	消耗品・定期取替品
	ロックアウトリレー	消耗品・定期取替品
	励磁装置	銅線、珪素鋼板、アラミド紙（H種絶縁）
	電磁接触器	消耗品・定期取替品
	スピードリレー	消耗品・定期取替品
	補助リレー	消耗品・定期取替品
	タイマ	消耗品・定期取替品
	ノーヒューズブレーカ	消耗品・定期取替品
	ヒューズ	消耗品・定期取替品
	指示計	消耗品・定期取替品
電磁ピックアップ	銅線、ステンレス鋼他	
支持構造物	筐体	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼
	埋込金物	炭素鋼

表2.1-6 高浜4号炉 ディーゼル発電機制御盤の使用条件

使用温度	約40°C*1
設置場所	D/G室（D/G本体と同じ部屋）
制御電源	DC125V／AC115V

\*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

制御設備の機能である信号の検出、変換、支持機能を維持するためには、以下の項目が必要である。

- ① 機器の制御・保護・監視・操作機能の維持
- ② 機器の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

制御設備個々について、機能達成に必要な項目を考慮して、主要な構成品の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験等を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

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

#### (1) 計器用変流器の絶縁低下 [ディーゼル発電機制御盤]

計器用変流器の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

#### (2) 励磁装置の絶縁低下 [ディーゼル発電機制御盤]

励磁装置の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

#### (1) 操作スイッチの導通不良 [共通]

操作スイッチは、浮遊塵埃の接点部分への付着による導通不良が想定される。

しかしながら、接点部分は盤内に収納されており、塵埃の付着による導通不良が発生する可能性は小さい。

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

なお、機器点検時の動作確認により、機器の健全性を確認している。

#### (2) 半導体基板 [原子炉安全保護盤]、電圧調整装置 [ディーゼル発電機制御盤]の特性変化

半導体基板等は長期間の使用に伴い、入出力特性の変化やマイグレーションが想定される。

しかしながら、半導体基板等を構成している電気回路部は定格値（定格電力・電圧・電流）に対して回路上は十分低い範囲で使用する設計としており、屋内に設置されていることから環境変化の程度は小さく、短期間で入出力特性が変化する可能性は小さいと考える。

また、製造段階で製作不良に基づく回路電流集中を取り除くスクリーニング等を実施していることから、マイグレーションが発生する可能性は小さいと考える。

さらに、機器点検時の調整試験および動作試験により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目す

べき経年劣化事象ではない。

(3) 筐体の腐食（全面腐食） [共通]

筐体は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

(4) 埋込金物の腐食（大気接触部）（全面腐食） [共通]

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

(5) 電圧設定器の特性変化 [ディーゼル発電機制御盤]

電圧設定器の小型直流モータは、ブラシの摩耗に伴う接触圧の低下による出力特性の変化が想定される。

しかしながら、ディーゼル発電機の起動回数は月に2～3回程度と少なく、その動作時間も約60秒/回と短いため、ブラシの摩耗に伴う接触圧の低下により、出力特性が変化する可能性は小さい。

また、機器点検時のブラシの摩耗量測定により、機器の健全性を維持している。

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

(6) シリコン整流器の特性変化 [ディーゼル発電機制御盤]

シリコン整流器のシリコン整流素子は、長期間の使用に伴い、熱により空乏層が変化し、漏れ電流が増加することによる特性変化が想定される。

しかしながら、使用電流値と比べて一定の裕度を持つ定格の素子を使用することで、発熱を低減するとともに、放熱板で冷却することによりシリコン整流素子の温度を一定温度以下に保つように設計しており、特性が急激に変化する可能性は小さい。

また、機器点検時の抵抗測定により、機器の健全性を維持している。

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

(7) 基礎ボルトの腐食（全面腐食） [原子炉安全保護盤、ディーゼル発電機制御盤]

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

(8) 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食） [共通]

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(9) 電磁ピックアップの絶縁低下 [ディーゼル発電機制御盤]

電磁ピックアップのコイルの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、電磁ピックアップは屋内に設置されているため、塵埃、湿分等が付着しにくい環境にある。

また、ディーゼル発電機の運転時間は短いことから、コイルの発熱による温度上昇は小さく、定格運転時のコイルの最大温度90℃に対して、コイルの許容最高温度は200℃と十分余裕を持った耐熱性を有していること、さらに、定格運転時に発生する電圧は7～10V程度であり、コイルの絶縁耐力600Vに対して十分低いことから、絶縁低下の可能性は小さいと考える。

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

2.2.4 消耗品および定期取替品

表示灯および故障表示器は動作確認の結果に基づき取替える消耗品であり、補助リレー、ノーヒューズブレーカ、電源装置、保護リレー、ロックアウトリレー、電磁接触器、スピードリレー、タイマ、指示計およびヒューズは定期取替品であるため、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 (1/3) 高浜4号炉 原子炉安全保護盤に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部品	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
機器の制御・保護・監視・操作機能の維持	操作スイッチ		銅合金							△		*1: 大気接触部の腐食 *2: コンクリート埋設部の腐食
	半導体基板		半導体								△	
	補助リレー	◎	—									
	ノーヒューズブレーカ	◎	—									
	電源装置	◎	—									
機器の支持	筐体		炭素鋼		△							
	基礎ボルト		炭素鋼		△							
	埋込金物		炭素鋼		△ <sup>*1</sup> ▲ <sup>*2</sup>							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-1 (2/3) 高浜4号炉 原子炉盤に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部品	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
機器の制御・保護・監視・操作機能の維持	操作スイッチ		銅、銀他							△		*1: 大気接触部の腐食 *2: コンクリート埋設部の腐食
	表示灯	◎	—									
	故障表示器	◎	—									
	電源装置	◎	—									
	ノーヒューズブレーカ	◎										
機器の支持	筐体		炭素鋼		△							
	埋込金物		炭素鋼		△ <sup>*1</sup> ▲ <sup>*2</sup>							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-1(3/3) 高浜4号炉 ディーゼル発電機制御盤に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部品	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
機器の制御・保護・監視・操作機能の維持	操作スイッチ		銅、銀他							△		*1: 大気接触部の腐食 *2: コンクリート埋設部の腐食
	表示灯	◎	—									
	故障表示器	◎	—									
	計器用変流器		銅線、ブチルゴム					○				
	電圧調整装置		半導体、可変抵抗器、他							△		
	電圧設定器		小型直流モータ							△		
	シリコン整流器		半導体							△		
	保護リレー（静止形）	◎	—									
	ロックアウトリレー	◎	—									
	励磁装置		銅線、珪素鋼板、アラミド紙					○				
	電磁接触器	◎	—									
	スピードリレー	◎	—									
	補助リレー	◎	—									
	タイマ	◎	—									
	ノーヒューズブレーカ	◎	—									
	ヒューズ	◎	—									
	指示計	◎	—									
電磁ピックアップ		銅線、ステンレス鋼他						▲				
機器の支持	筐体		炭素鋼		△							
	基礎ボルト		炭素鋼		△							
	埋込金物		炭素鋼		△ <sup>*1</sup> ▲ <sup>*2</sup>							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

## 2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

### 2.3.1 計器用変流器の絶縁低下 [ディーゼル発電機制御盤]

#### a. 事象の説明

計器用変流器は、熱的、電氣的、環境的要因で経年的変化が進行し、絶縁低下を起こす可能性がある。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

計器用変流器の絶縁低下については、絶縁物内の微小欠陥における部分放電の長期継続により絶縁物の劣化の形で進行し、最終的に絶縁破壊に至ることから、電気特性試験における部分放電消滅電圧および部分放電電荷量の測定結果を、「電気学会 電気規格調査会標準規格 計器用変成器（保護継電器用）（JEC-1201-2007）」および「日本産業規格 計器用変成器-（標準用および一般計測用）第1部：変流器（JIS C 1731-1:1998）」に基づく基準値と比較することにより、絶縁性能状態を把握する。

計器用変流器の絶縁低下に関する健全性評価として、2001年に電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）2001年度」を実施した。

図2.3-1に示すように、新品およびサンプル品での60年相当の課電劣化試験<sup>\*1</sup>および熱サイクル試験<sup>\*2</sup>による健全性調査の結果、部分放電消滅電圧および部分放電電荷量について、劣化傾向が見られないことから、絶縁性能に問題のないことを確認している。

\*1：課電電圧の上昇および下降の繰返しによる絶縁劣化を、メーカー独自の寿命評価手法による試験電圧および試験周波数により加速劣化させる試験

\*2：0℃～80℃～0℃で通年（1年間）の温度上昇および下降による熱応力の機械的ストレスを模擬した試験

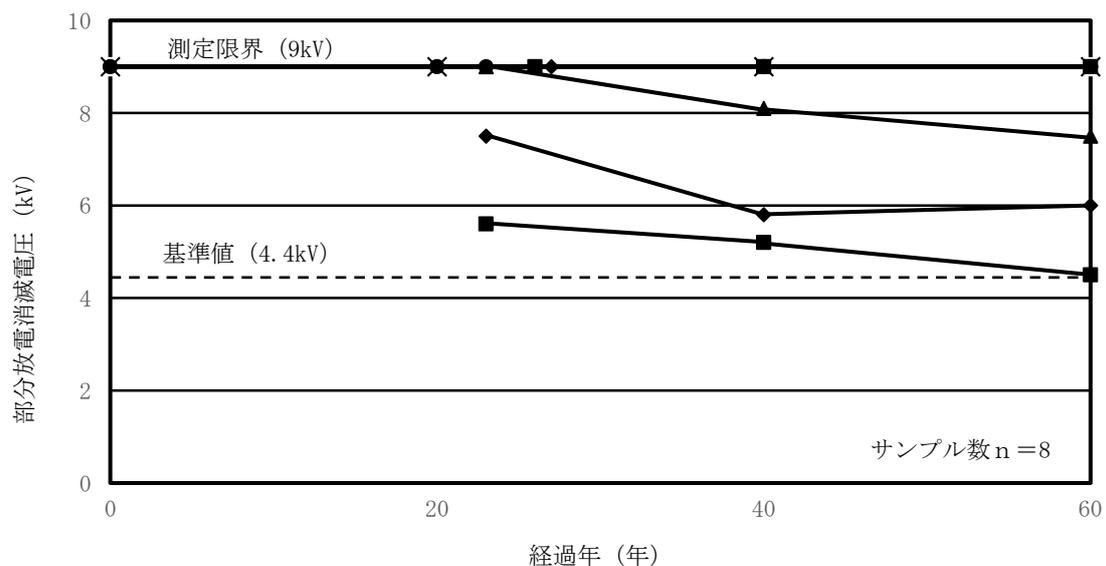


図2.3-1a 計器用変流器の部分放電特性（課電劣化試験による部分放電消滅電圧）  
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）」2001年度]

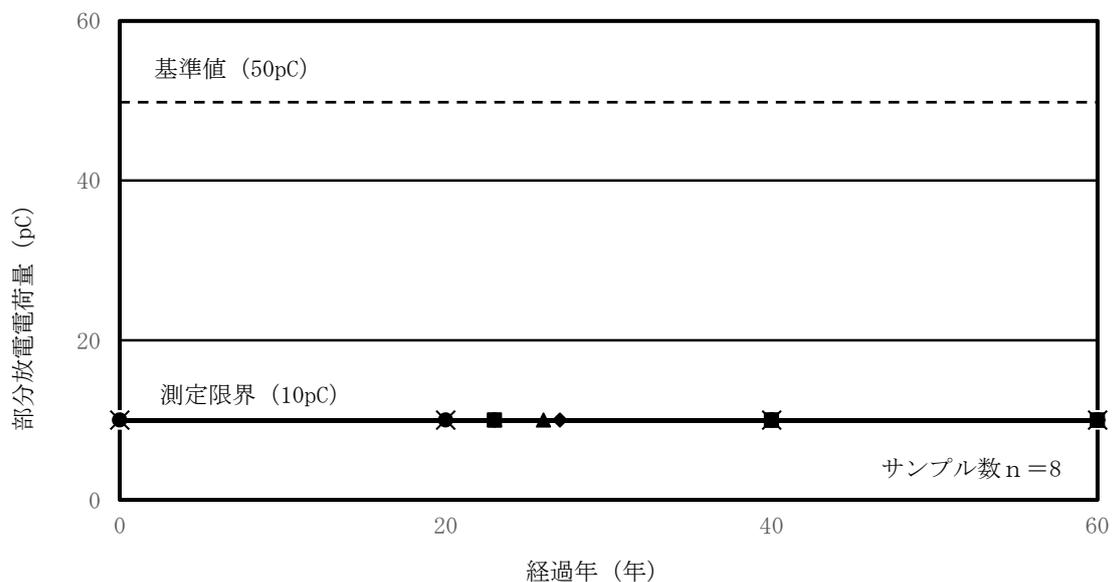


図2.3-1b 計器用変流器の部分放電特性（課電劣化試験による部分放電電荷量）  
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）」2001年度]

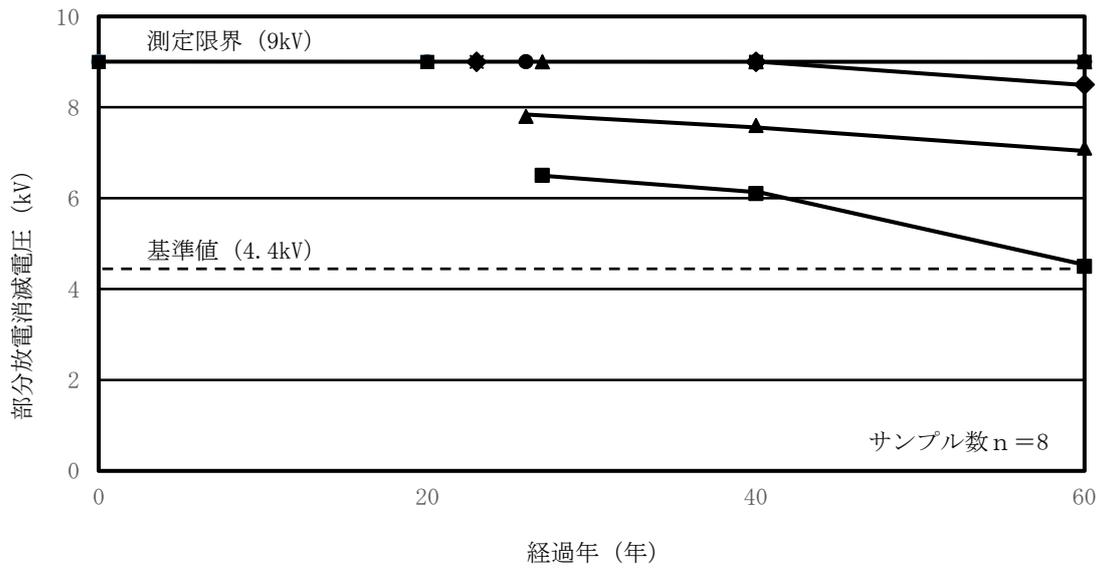


図2.3-1c 計器用変流器の部分放電特性（熱サイクル試験による部分放電消滅電圧）  
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）」2001年度]

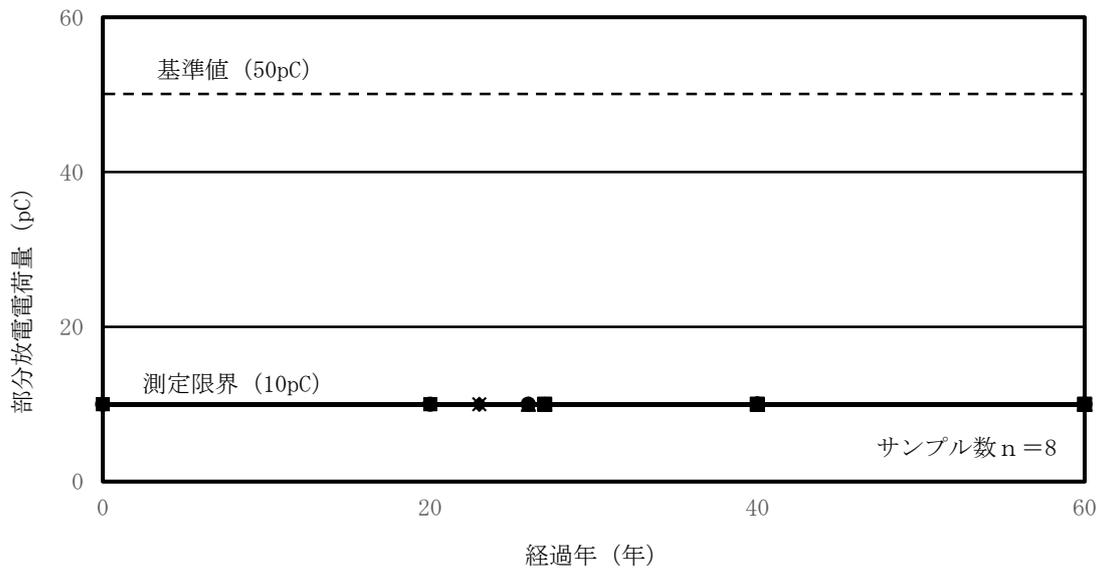


図2.3-1d 計器用変流器の部分放電特性（熱サイクル試験による部分放電電荷量）  
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価研究（STEP2）」2001年度]

② 現状保全

計器用変流器の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることを確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、計器用変流器の絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

また、計器用変流器の絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

計器用変流器の絶縁低下については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

## 2.3.2 励磁装置の絶縁低下 [ディーゼル発電機制御盤]

### a. 事象の説明

励磁装置は励磁用の変圧器であることから、通電による発熱や周囲環境条件の影響を受け、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

### b. 技術評価

#### ① 健全性評価

励磁装置の絶縁低下に対しては、励磁装置単独での絶縁に対しての精密点検が必要であり、過去に実施した精密点検の結果からは、設備の納入後20年前後より絶縁抵抗の低下を生じる可能性が考えられる。

しかしながら、励磁装置は屋内に設置された制御盤筐体内に内蔵されているため、塵埃が付着しにくい環境にあることから急激な絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると、絶縁低下の可能性は否定できない。

#### ② 現状保全

励磁装置の絶縁低下に対しては、定期的に絶縁抵抗測定を実施し、異常のないことを確認している。

また、20年経過後適切な頻度で励磁装置の絶縁抵抗測定および精密点検としてtan  $\delta$  測定および直流吸収比測定を実施し、異常のないことを確認している。

#### ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、励磁装置の絶縁低下の可能性は否定できないが、励磁装置の絶縁低下は、絶縁抵抗測定および精密点検で検知可能であり、点検手法として適切である。

### c. 高経年化への対応

励磁装置の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定ならびに適切な頻度で精密点検としてtan  $\delta$  測定および直流吸収比測定を実施していく。

### 3. 代表機器以外への展開

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

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

- ① 安全保護系補助リレーラック
- ② 1次系補助リレーラック
- ③ ATWS緩和設備
- ④ 換気空調盤
- ⑤ 所内盤
- ⑥ 中央制御室外原子炉停止盤
- ⑦ 使用済燃料ピット監視カメラ
- ⑧ SPDS関連設備
- ⑨ 統合原子力防災ネットワーク
- ⑩ 衛星電話
- ⑪ 緊急時衛星通報システム
- ⑫ 津波監視カメラ
- ⑬ 制御用空気圧縮機盤
- ⑭ 空調用冷凍機制御盤
- ⑮ タービン動補助給水ポンプ盤
- ⑯ 1次冷却材ポンプ母線計測盤
- ⑰ 空冷式非常用発電装置制御盤

### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

#### 3.1.1 変圧器〔制御用空気圧縮機盤〕、計器用変圧器〔1次冷却材ポンプ母線計測盤、空冷式非常用発電装置制御盤〕および励磁装置〔空冷式非常用発電装置制御盤〕の絶縁低下

変圧器、計器用変圧器および励磁装置の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

しかしながら、屋内に設置された制御盤筐体内に内蔵されているため、塵埃が付着しにくい環境にあることから急激な絶縁低下の可能性は小さいと考える。

また、変圧器、計器用変圧器および励磁装置の絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、変圧器、計器用変圧器および励磁装置の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

### 3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

#### 3.2.1 半導体基板 [ATWS緩和設備、使用済燃料ピット監視カメラ、SPDS関連設備、津波監視カメラ] および速度制御装置 [空冷式非常用発電装置制御盤] の特性変化 半導体基板等は長期間の使用に伴い入出力特性の変化やマイグレーションが想定される。

しかしながら、半導体基板等を構成している電気回路部は定格値（定格電力・電圧・電流）に対して回路上は十分低い範囲で使用する設計としており、屋内に設置されていることから環境変化の程度は小さく、短期間での入出力特性が変化する可能性は小さいと考える。

また、製造段階で製作不良に基づく回路電流集中を取り除くスクリーニング等を実施していることから、マイグレーションが発生する可能性は小さいと考える。

さらに、機器点検時の動作試験により、機器の健全性を維持している。

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

#### 3.2.2 筐体、チャンネルベースおよび取付ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

筐体、チャンネルベースおよび取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、筐体、チャンネルベースおよび取付ボルトは塗装または亜鉛メッキにより腐食を防止しており、塗膜またはメッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

### 3.2.3 埋込金物の腐食（大気接触部）（全面腐食）〔共通〕

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

### 3.2.4 操作スイッチの導通不良〔安全保護系補助リレーラック、換気空調盤、所内盤、中央制御室外原子炉停止盤、制御用空気圧縮機盤、空調用冷凍機制御盤、空冷式非常用発電装置制御盤〕

操作スイッチは、浮遊塵埃の接点部分への付着による導通不良が想定される。

しかしながら、接点部分は盤内に収納されており、塵埃の付着による導通不良が発生する可能性は小さい。

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

なお、機器の動作確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.5 基礎ボルトの腐食（全面腐食）および樹脂の劣化〔基礎ボルトを含む機器共通〕

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

また、ケミカルアンカには樹脂を使用しており、劣化が想定される。

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

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

### 3.2.6 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）〔共通〕

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

# 高浜発電所 4 号炉

## 空調設備の技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

関西電力株式会社

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

これらの一覧表を表1に、機能を表2に示す。

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

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

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

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

本評価書では空調設備の型式等を基に、以下の6つに分類している。

- 1 ファン
- 2 モータ
- 3 空調ユニット
- 4 冷凍機
- 5 ダクト
- 6 ダンパ

なお、弁に分類されるものについては、「弁の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

表 1 (1/9) 高浜 4 号炉 ファンの主な仕様

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準					代表機器の選定	
型式	駆動方式	設置場所		仕様 容量×静圧 (m <sup>3</sup> /min)×(Pa[gage])	重要度*1	使用条件			代表 機器	選定理由
						運転状態	回転数 (rpm)	吸気温度 (℃)		
遠心型	一体型	屋内	安全補機開閉器室空調ファン(2)	約1,270×約2,059	MS-1	連続	約885	約35	◎	重要度、静圧
			安全補機開閉器室循環ファン(2)	約1,270×約1,030	MS-1	連続	約590	約35		
			中間建屋給気ファン(2)	約1,470×約2,059	MS-2	連続	約885	約33		
			中間建屋排気ファン(2)	約1,170×約 883	MS-2	連続	約710	約40		
	カップリング 駆動	屋内	中央制御室空調ファン(4)	約 500×約1,275	MS-1、重*2	連続	約1,170	約26	◎	容量
			アニュラス空気浄化ファン(2)	約 250×約3,825	MS-1、重*2	一時	約1,770	約115		
			中央制御室非常用循環ファン(4)	約 200×約1,765	MS-1、重*2	一時	約1,730	約40		
			安全補機室空気浄化ファン(2)	約 56×約2,942	MS-1	一時	約3,450	約55		
軸流型	一体型	屋内	中央制御室循環ファン(4)	約 500×約 490	MS-1、重*2	連続	約1,760	約26	◎	重要度
			ディーゼル発電機室給気ファン(4)	約2,300×約 539	MS-2	連続	約885	約33		
			余熱除去ポンプ室冷却ファン(2)	約 90×約 294	MS-2	一時	約1,700	約55		
			配管貫通部冷却ファン(2)	約 70×約 490	MS-2	連続	約3,410	約55		
			充てん/高圧注入ポンプ室冷却ファン(2)	約 30×約 294	MS-2	連続	約3,370	約55		
			格納容器スプレイポンプ室冷却ファン(2)	約 30×約 196	MS-2	一時	約1,710	約55		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

表 1 (2/9) 高浜 4 号炉 モータの主な仕様

分離基準			機器名称 (台数)	仕様 (定格出力 × 定格回転数) (kW × rpm)	選定基準				代表機器の選定	
電圧 区分	型式	設置 場所			重要度*1	使用条件			代表 機器	選定 理由
						運転 状態	電圧 (V)	周囲温度 (°C)		
低圧	全閉	屋内	安全補機開閉器室空調ファンモータ (2)	90 × 885	MS-1	連続	440	約40	◎	重要度、 出力
			安全補機室空気浄化ファンモータ (2)	5.5 × 3,450	MS-1	一時	440	約40		
			安全補機開閉器室循環ファンモータ (2)	45 × 590	MS-1	連続	440	約40		
			アニュラス空気浄化ファンモータ (2)	37 × 1,770	MS-1、重*2	一時	440	約40		
			ディーゼル発電機室給気ファンモータ (4)	55 × 885	MS-2	連続	440	約40		
			中間建屋給気ファンモータ (2)	110 × 885	MS-2	連続	440	約40		
			中間建屋排気ファンモータ (2)	37 × 710	MS-2	連続	440	約40		
			余熱除去ポンプ室冷却ファンモータ (2)	2.2 × 1,700	MS-2	一時	440	約40		
			格納容器スプレイポンプ室冷却ファンモータ (2)	0.4 × 1,710	MS-2	一時	440	約40		
			充てん/高圧注入ポンプ室冷却ファンモータ (2)	0.55 × 3,370	MS-2	連続	440	約40		
			配管貫通部冷却ファンモータ (2)	1.5 × 3,410	MS-2	連続	440	約40		
			中央制御室循環ファンモータ (4)	11 × 1,760	MS-1、重*2	連続	440	約40		
			中央制御室空調ファンモータ (4)	22 × 1,170	MS-1、重*2	連続	440	約40		
			中央制御室非常用循環ファンモータ (4)	15 × 1,730	MS-1、重*2	一時	440	約40		
			空調用冷水ポンプモータ (2)	55 × 1,770	MS-1	連続	440	約40		
高圧	密閉		チラーユニット用圧縮機モータ (2)	326 × 3,560	MS-1	連続	6,600	約40	◎	

\*1: 機能は最上位の機能を示す。

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

表 1 (3/9) 高浜 4 号炉 空調ユニットの主な仕様

分離基準 型式	機器名称 (台数)	仕様 容量 (m <sup>3</sup> /min)	選定基準			代表機器の選定	
			重要度*1	運転状態	構成品	代表 機器	選定理由
エアハンドリング ユニット	安全補機室空気浄化フィルタユニット (1)	約 56	MS-1	一時	加熱コイル、微粒子フィルタ、チャ コールフィルタ	◎	重要度 容量
	アニュラス空気浄化フィルタユニット (2)	約 250	MS-1、重*2	一時	加熱コイル、微粒子フィルタ、チャ コールフィルタ		
	中央制御室空調ユニット (4)	約 500	MS-1、重*2	連続	冷却コイル、粗フィルタ		
	安全補機開閉器室空調ユニット (2)	約1,270	MS-1	連続	冷却コイル、粗フィルタ		
	中央制御室非常用循環フィルタユニット (2)	約 200	MS-1、重*2	一時	微粒子フィルタ、粗フィルタ、チャ コールフィルタ		
	中間建屋給気ユニット (1)	約1,470	MS-2	連続	加熱コイル		
	余熱除去ポンプ室冷却ユニット (2)	約 90	MS-2	一時	冷却コイル		
	格納容器スプレイポンプ室冷却ユニット (2)	約 30	MS-2	一時	冷却コイル		
	充てん/高圧注入ポンプ室冷却ユニット (2)	約 30	MS-2	連続	冷却コイル		
	配管貫通部冷却ユニット (2)	約 70	MS-2	連続	冷却コイル		
格納容器再循環ユニット (2) *3	約2,800	重*2	連続	冷却コイル			

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

\*3：格納容器再循環ユニットは全4台あるが、常設重大事故等対処設備に属する機器は2台である。

表 1 (4/9) 高浜 4 号炉 冷凍機の主な仕様

分離基準 型式	機器名称 (台数)	仕様 (容量)	重要度*1	使用条件		
				運転状態		
冷凍機	チラー ユニット (2)	1,088,640kcal/h (冷却能力)	MS-1	連続	本体	圧縮機、凝縮器、蒸発器、モータ*2、冷媒配管
					冷水系統	冷水膨張タンク、冷水ポンプ、モータ*2、配管

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：モータについては、本評価書のモータにて評価している。

表 1 (5/9) 高浜 4 号炉 ダクトの主な仕様

分離基準	機器名称	仕様 容量 (m <sup>3</sup> /min)	選定基準		代表機器の選定	
			重要度*1	運転状態	代表 機器	選定理由
排気筒	格納容器排気筒	約4,060	MS-1、重*2	連続	◎	重要度
	補助建屋排気筒	約4,000	MS-2	連続		
ダクト	アニュラス空気浄化系統ダクト	約500	MS-1、重*2	一時	◎	重要度、容量
	安全補機室空気浄化系統ダクト	約56	MS-1	一時		
	余熱除去ポンプ室冷却系統ダクト	約90	MS-2	一時		
	配管貫通部冷却系統ダクト	約70	MS-2	連続		
	充てん/高圧注入ポンプ室冷却系統ダクト	約30	MS-2	連続		
	格納容器スプレイポンプ室冷却系統ダクト	約30	MS-2	一時		
	中央制御室空調系統ダクト	約1,000	MS-1、重*2	連続		
	安全補機開閉器室空調系統ダクト	約2,640	MS-1	連続		
	ディーゼル発電機室換気系統ダクト	約2,300	MS-2	連続		
	中間建屋換気系統ダクト	約1,570	MS-2	連続		
	格納容器再循環ユニットダクト	約2,800	重*2	連続		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

表 1 (6/9) 高浜 4 号炉 ダンパの主な仕様

分離基準		機器名称 (台数)	選定基準	代表機器の選定	
形式	駆動方法 (作動原理)		重要度*1	代表機器	選定理由
ダンパ	空気作動	格納容器アニュラス給気止めダンパ (1)	MS-1	◎	重要度
		アニュラス換気用給気ダンパ (1)	MS-1		
		格納容器アニュラス排気止めダンパ (1)	MS-1		
		アニュラス換気用排気ダンパ (1)	MS-1		
		格納容器排気ファン出口ダンパ (2)	MS-1		
		燃料取扱室排気第 1 止めダンパ (1)	MS-1		
		燃料取扱室排気第 2 止めダンパ (1)	MS-1		
		RHR・CVスプレイポンプ室給気第 1 止めダンパ (2)	MS-1		
		RHR・CVスプレイポンプ室給気第 2 止めダンパ (2)	MS-1		
		安全補機室排気第 1 止めダンパ (1)	MS-1		
		安全補機室排気第 2 止めダンパ (1)	MS-1		
		安全補機開閉器室空調ファン出口ダンパ (2)	MS-1		
		安全補機開閉器室循環ファン入口ダンパ (2)	MS-1		
		安全補機開閉器室大気放出ダンパ (2)	MS-1		
		安全補機開閉器室循環ファン出口放管室給気系入口連絡ダンパ (2)	MS-1		
		安全補機開閉器室外気取入ダンパ (2)	MS-1		
		安全補機開閉器室循環ダンパ (2)	MS-1		
		燃料取扱室給気第 1 止めダンパ (1)	MS-2		
		燃料取扱室給気第 2 止めダンパ (1)	MS-2		
		ディーゼル発電機室給気ファン入口ダンパ (4)	MS-2		
		ディーゼル発電機室排気ダンパ (4)	MS-2		
		中間建屋給気ファン入口ダンパ (2)	MS-2		
		中間建屋給気ファン出口ダンパ (2)	MS-2		
		中間建屋排気ファン入口ダンパ (2)	MS-2		
中間建屋排気ファン出口ダンパ (2)	MS-2				

\*1：機能は最上位の機能を示す。

表 1 (7/9) 高浜 4 号炉 ダンパの主な仕様

分離基準		機器名称 (台数)	選定基準	代表機器の選定	
形式	駆動方法 (作動原理)		重要度*1	代表機器	選定理由
ダンパ	空気作動	中間建屋給気ファンバイパスダンパ (2)	MS-2		
		中間建屋給気流量調節ダンパ (2)	MS-2		
		放射線管理室排気流量制御ダンパ (1)	MS-1		
		中央制御室外気取入調整ダンパ (4)	MS-1、重*2		
		中央制御室循環ダンパ (4)	MS-1、重*2		
		中央制御室大気放出ダンパ (4)	MS-1、重*2		
		中央制御室事故時外気取入ダンパ (4)	MS-1、重*2		
		中央制御室事故時循環ダンパ (4)	MS-1、重*2		
		中央制御室外気取入ダンパ (4)	MS-1、重*2		
		中央制御室非常用循環ファン入口ダンパ (4)	MS-1、重*2		
		中央制御室非常用循環ファン出口ダンパ (4)	MS-1、重*2		
		中央制御室空調ユニット入口ダンパ (4)	MS-1、重*2		
		中央制御室空調ファン出口ダンパ (4)	MS-1、重*2		
		中央制御室循環ファン入口ダンパ (4)	MS-1、重*2		
		キッチン排気ファン出口隔離ダンパ (2)	MS-1		
		洗面所排気ファン出口隔離ダンパ (2)	MS-1		
	放射線管理室排気ファン出口ダンパ (2)	MS-1			
	手動	安全補機室空気浄化フィルタユニット入口ダンパ (1)	MS-1	◎	重要度
		安全補機室空気浄化フィルタユニット出口ダンパ (1)	MS-1		
	逆止	アニュラス浄化戻り逆止ダンパ (2)	MS-1	◎	
防火	安全補機室排気系 RHR ポンプ室防火ダンパ (2)	MS-1	◎	重要度	
	安全補機室排気系 CH/S I ポンプ室防火ダンパ (3)	MS-1			
	RHR ポンプ室冷却系給気 RHR ポンプ室防火ダンパ (4)	MS-2			
	RHR ポンプ室冷却系排気 RHR ポンプ室防火ダンパ (2)	MS-2			

\*1: 機能は最上位の機能を示す。

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

表 1 (8/9) 高浜 4 号炉 ダンパの主な仕様

分離基準		機器名称 (台数)	選定基準	代表機器の選定	
形式	駆動方法 (作動原理)		重要度*1	代表機器	選定理由
ダンパ	防火	CH/SI ポンプ室冷却系給気 ポンプ室防火ダンパ (4)	MS-2		
		CH/SI ポンプ室冷却系排気 ポンプ室防火ダンパ (4)	MS-2		
		D/G室給気系 D/G室防火ダンパ兼風量調整ダンパ (4)	MS-2		
		D/G室排気系 D/G室防火ダンパ (4)	MS-2		
		I/B給気系 CCWポンプ室第1防火ダンパ (1)	MS-2		
		I/B給気系 原子炉補機冷却水ポンプ室防火ダンパ兼風量調整ダンパ (1)	MS-2		
		I/B給気系 中央制御室外原子炉停止盤室防火ダンパ (2)	MS-2		
		I/B排気系 中央制御室外原子炉停止盤室防火ダンパ (2)	MS-2		
		SWGR室給気系 格納容器漏洩率試験室防火ダンパ(1)	MS-1		
		SWGR室排気系 格納容器漏洩率試験室防火ダンパ(1)	MS-1		
		SWGR室給気系 1次系継電器室第1防火ダンパ兼風量調整ダンパ (2)	MS-1		
		SWGR室給気系 1次系継電器室第2防火ダンパ兼風量調整ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室給気系 1次系継電器室第3防火ダンパ兼風量調整ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室給気系 1次系継電器室第4防火ダンパ兼風量調整ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室給気系 RCP母線計測盤室上部第1防火ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室給気系 RCP母線計測盤室上部第2防火ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室給気系 端子台収納室防火ダンパ (2)	MS-1		
		SWGR室給気系 SWGR室上部防火ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室給気系 SWGR室上部第2防火ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室給気系 SWGR室防火ダンパ (2)	MS-1		
SWGR室給気系 SWGR室第1防火ダンパ (1)	MS-1				
SWGR室給気系 SWGR室第2防火ダンパ (1)	MS-1				
SWGR室給気系 RCP母線計測盤室防火ダンパ (1)	MS-1				
SWGR室給気系 2次系継電器室防火ダンパ (1)	MS-1				

\*1：機能は最上位の機能を示す。

表 1 (9/9) 高浜 4 号炉 ダンパの主な仕様

分離基準		機器名称 (台数)	選定基準	代表機器の選定	
形式	駆動方法 (作動原理)		重要度*1	代表機器	選定理由
ダンパ	防火	SWGR室給気系 原子炉コントロールセンタ室防火ダンパ (2)	MS-1		
		SWGR室排気系 1次系継電器室防火ダンパ兼風量調整ダンパ (2)	MS-1		
		SWGR室排気系 SWGR室上部防火ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室排気系 端子台収納室防火ダンパ兼風量調整ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室排気系 端子台収納盤室防火ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室排気系 中央制御室通路防火ダンパ兼風量調整ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室排気系 原子炉コントロールセンタ室防火ダンパ兼風量調整ダンパ (2)	MS-1		
		SWGR室排気系 RCP母線計測盤室上部防火ダンパ (2)	MS-1		
		SWGR室排気系 RCP母線計測盤室防火ダンパ兼風量調整ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室排気系 2次系継電器室防火ダンパ (2)	MS-1		
		SWGR室排気系 SWGR室防火ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室排気系 SWGR室第1防火ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室排気系 SWGR室第2防火ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室排気系 SWGR室上部防火ダンパ兼風量調整ダンパ (1)	MS-1		
		#3中制室給気系 中制室防火ダンパ (1)	MS-1、重*2		
		#3中制室排気系 中制室防火ダンパ (1)	MS-1、重*2		
		#4中制室給気系 中制室防火ダンパ (1)	MS-1、重*2		
#4中制室排気系 中制室防火ダンパ (1)	MS-1、重*2				

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

表 2 (1/3) 高浜 4 号炉 主要な空調設備の機能

	空調設備	機能
ファン・モータ	安全補機開閉器室空調ファン	安全補機開閉器室に調整した空気を給気する装置。
	安全補機開閉器室循環ファン	安全補機開閉器室内を換気および浄化するために、安全補機開閉器室空調ユニットに給気する装置。
	中間建屋給気ファン	中間建屋に調整した空気を給気する装置。
	中間建屋排気ファン	中間建屋内を換気および浄化するために、中間建屋内の空気を排気する装置。
	中央制御室空調ファン	中央制御室内を換気および浄化するために、中央制御室に給気する装置。
	アニュラス空気浄化ファン	1次冷却材喪失事故時にアニュラス内に漏えいする放射性物質を浄化するためにアニュラスの空気を循環および排気する装置。
	中央制御室非常用循環ファン	事故時に中央制御室内に漏洩する放射性よう素を浄化し、循環する装置。
	安全補機室空気浄化ファン	事故時に安全補機室内に漏洩する放射性よう素を浄化するために安全補機室の排気する装置。
	中央制御室循環ファン	通常運転時には中央制御室の換気空調を行う中央制御室空調ユニットに給気を行い、1次冷却材喪失事故時には閉回路循環運転となる中央制御室空調装置を浄化するために、循環空気を中央制御室非常用循環フィルタユニットに給気する装置。
	ディーゼル発電機室給気ファン	ディーゼル発電機室を冷却するために、外気をディーゼル発電機室に給気する装置。
	余熱除去ポンプ室冷却ファン	余熱除去ポンプ室を冷却する装置。
	配管貫通部冷却ファン	配管貫通部を冷却する装置。
	充てん／高圧注入ポンプ室冷却ファン	充てん／高圧注入ポンプ室を冷却する装置。
格納容器スプレイポンプ室冷却ファン	格納容器スプレイポンプ室を冷却する装置。	

表 2 (2/3) 高浜 4 号炉 主要な空調設備の機能

空調設備		機能
空調 ユニット	安全補機室空気浄化フィルタユニット	安全補機室内からの排気をフィルタユニット内のフィルタにより浄化する装置。
	アニュラス空気浄化フィルタユニット	アニュラス内の排気をフィルタユニット内のフィルタにより浄化する装置。
	中央制御室空調ユニット	中央制御室内に給気する空気の浄化*1および温度の調整を行う装置。
	安全補機開閉器室空調ユニット	安全補機開閉器室に給気する空気の浄化*1および温度の調整を行う装置。
	中央制御室非常用循環フィルタユニット	非常時に中央制御室空調装置の循環空気をフィルタユニット内のフィルタにより浄化する装置。
	中間建屋給気ユニット	中間建屋に給気する空気の温度の調整を行う装置。
	余熱除去ポンプ室冷却ユニット	余熱除去ポンプ室内に給気する空気の冷却を行う装置。
	格納容器スプレイポンプ室冷却ユニット	格納容器スプレイポンプ室内に給気する空気の冷却を行う装置。
	充てん／高圧注入ポンプ室冷却ユニット	充てん／高圧注入ポンプ室内に給気する空気の冷却を行う装置。
	配管貫通部冷却ユニット	配管貫通部に給気する空気の冷却を行う装置。
	格納容器再循環ユニット	格納容器内の循環空気を冷却する装置。
冷凍機	チラーユニット	中央制御室空調ユニット等に冷水を供給する装置。

\*1：塵埃除去

表 2 (3/3) 高浜 4 号炉 主要な空調設備の機能

空調設備	機能
排気筒	事故時に、アニュラス内等の空気を屋外へ排気するための流路を構成する。
ダクト	原子炉格納容器内外および建屋内の送排気のための空気の流路を構成する。
ダンパ	ダクト内に設置され、空気の流路を構成する機器である。

# 1 ファン

## [対象機器]

- ① 安全補機開閉器室空調ファン
- ② 安全補機開閉器室循環ファン
- ③ 中間建屋給気ファン
- ④ 中間建屋排気ファン
- ⑤ 中央制御室空調ファン
- ⑥ アニュラス空気浄化ファン
- ⑦ 中央制御室非常用循環ファン
- ⑧ 安全補機室空気浄化ファン
- ⑨ 中央制御室循環ファン
- ⑩ ディーゼル発電機室給気ファン
- ⑪ 余熱除去ポンプ室冷却ファン
- ⑫ 配管貫通部冷却ファン
- ⑬ 充てん／高圧注入ポンプ室冷却ファン
- ⑭ 格納容器スプレイポンプ室冷却ファン

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料および使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	12
3. 代表機器以外への展開	19
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	19

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されているファンの主な仕様を表1-1に示す。

これらのファンを型式、駆動方式および設置場所の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すファンを型式、駆動方式および設置場所の観点から分類すると以下の3つのグループに分類される。

#### ① 遠心型一体型ファン（屋内設置）

羽根車の遠心力を利用して送風。ファンの軸とモーターが一体。

#### ② 遠心型カップリング駆動ファン（屋内設置）

羽根車の遠心力を利用して送風。ファンの軸とモーターが軸継手で接続。

#### ③ 軸流型一体型ファン（屋内設置）

羽根車の翼揚力を利用して軸方向に送風。ファンの軸とモーターが一体。

### 1.2 代表機器の選定

#### (1) 遠心型一体型ファン（屋内設置）

このグループには、安全補機開閉器室空調ファン、安全補機開閉器室循環ファン、中間建屋給気ファンおよび中間建屋排気ファンが属するが、重要度が高く静圧の大きい安全補機開閉器室空調ファンを代表機器とする。

#### (2) 遠心型カップリング駆動ファン（屋内設置）

このグループには、中央制御室空調ファン、アニュラス空気浄化ファン、中央制御室非常用循環ファンおよび安全補機室空気浄化ファンが属するが、容量が大きい中央制御室空調ファンを代表機器とする。

#### (3) 軸流型一体型ファン（屋内設置）

このグループには、中央制御室循環ファン、ディーゼル発電機室給気ファン、余熱除去ポンプ室冷却ファン、配管貫通部冷却ファン、充てん／高圧注入ポンプ室冷却ファンおよび格納容器スプレイポンプ室冷却ファンが属するが、重要度が高い中央制御室循環ファンを代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 ファンの主な仕様

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準					代表機器の選定	
型式	駆動方式	設置場所		仕様 容量×静圧 (m <sup>3</sup> /min)×(Pa[gage])	重要度*1	使用条件			代表 機器	選定理由
						運転状態	回転数 (rpm)	吸気温度 (°C)		
遠心型	一体型	屋内	安全補機開閉器室空調ファン(2)	約1,270×約2,059	MS-1	連続	約885	約35	◎	重要度、静圧
			安全補機開閉器室循環ファン(2)	約1,270×約1,030	MS-1	連続	約590	約35		
			中間建屋給気ファン(2)	約1,470×約2,059	MS-2	連続	約885	約33		
			中間建屋排気ファン(2)	約1,170×約883	MS-2	連続	約710	約40		
	カップリング 駆動	屋内	中央制御室空調ファン(4)	約500×約1,275	MS-1、重*2	連続	約1,170	約26	◎	容量
			アニュラス空気浄化ファン(2)	約250×約3,825	MS-1、重*2	一時	約1,770	約115		
			中央制御室非常用循環ファン(4)	約200×約1,765	MS-1、重*2	一時	約1,730	約40		
			安全補機室空気浄化ファン(2)	約56×約2,942	MS-1	一時	約3,450	約55		
軸流型	一体型	屋内	中央制御室循環ファン(4)	約500×約490	MS-1、重*2	連続	約1,760	約26	◎	重要度
			ディーゼル発電機室給気ファン(4)	約2,300×約539	MS-2	連続	約885	約33		
			余熱除去ポンプ室冷却ファン(2)	約90×約294	MS-2	一時	約1,700	約55		
			配管貫通部冷却ファン(2)	約70×約490	MS-2	連続	約3,410	約55		
			充てん/高圧注入ポンプ室冷却ファン(2)	約30×約294	MS-2	連続	約3,370	約55		
			格納容器スプレイポンプ室冷却ファン(2)	約30×約196	MS-2	一時	約1,710	約55		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の3種類のファンについて技術評価を実施する。

- ① 安全補機開閉器室空調ファン
- ② 中央制御室空調ファン
- ③ 中央制御室循環ファン

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 安全補機開閉器室空調ファン

##### (1) 構造

高浜4号炉の安全補機開閉器室空調ファンは、遠心型一体型ファンであり、2台設置されている。

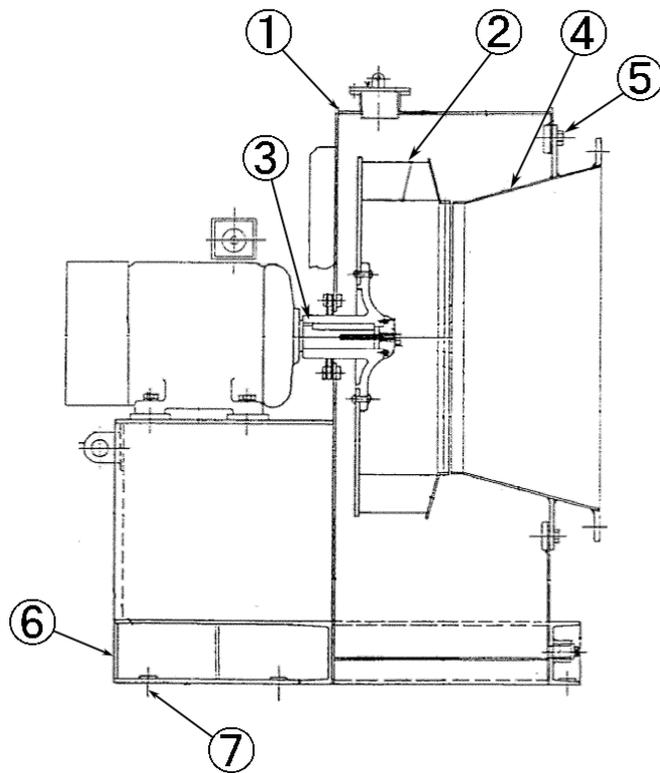
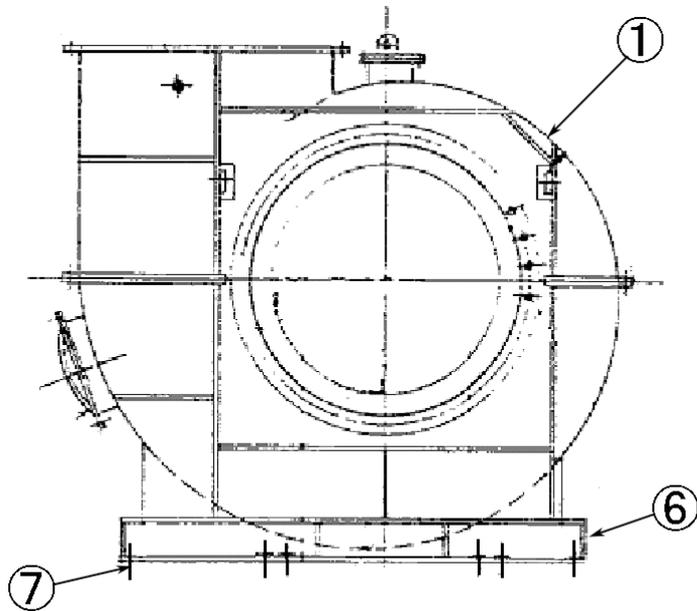
ケーシング、主軸、羽根車等には炭素鋼を使用している。

羽根車はモータの主軸に直接取付けており、モータ軸と一体で駆動し回転する。

高浜4号炉の安全補機開閉器室空調ファンの構造図を図2.1-1に示す。

##### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の安全補機開閉器室空調ファンの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	ケーシング
②	羽根車
③	主軸
④	吸込コーン
⑤	吸込コーン取付ボルト
⑥	台板
⑦	基礎ボルト

図2. 1-1 高浜4号炉 安全補機開閉器室空調ファン構造図

表2.1-1 高浜4号炉 安全補機開閉器室空調ファン主要部位の使用材料

構成機器	部位	材料
ファン本体	ケーシング	炭素鋼
	羽根車	炭素鋼
	主軸	炭素鋼
	吸込コーン	炭素鋼
	吸込コーン取付ボルト	炭素鋼
支持・固定	台板	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 安全補機開閉器室空調ファンの使用条件

容量	約1,270m <sup>3</sup> /min
静圧	約2,059Pa[gage]
回転数	885rpm
設置場所	屋内
吸気温度	約35℃

## 2.1.2 中央制御室空調ファン

### (1) 構造

高浜4号炉の中央制御室空調ファンは、遠心型カップリング駆動ファンであり、4台設置されている。

ケーシング、主軸、羽根車には炭素鋼を使用している。

羽根車はケーシング側面に設置された軸継手で接続されたモータ軸により駆動し回転する。

高浜4号炉の中央制御室空調ファンの構造図を図2.1-2に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の中央制御室空調ファンの使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。

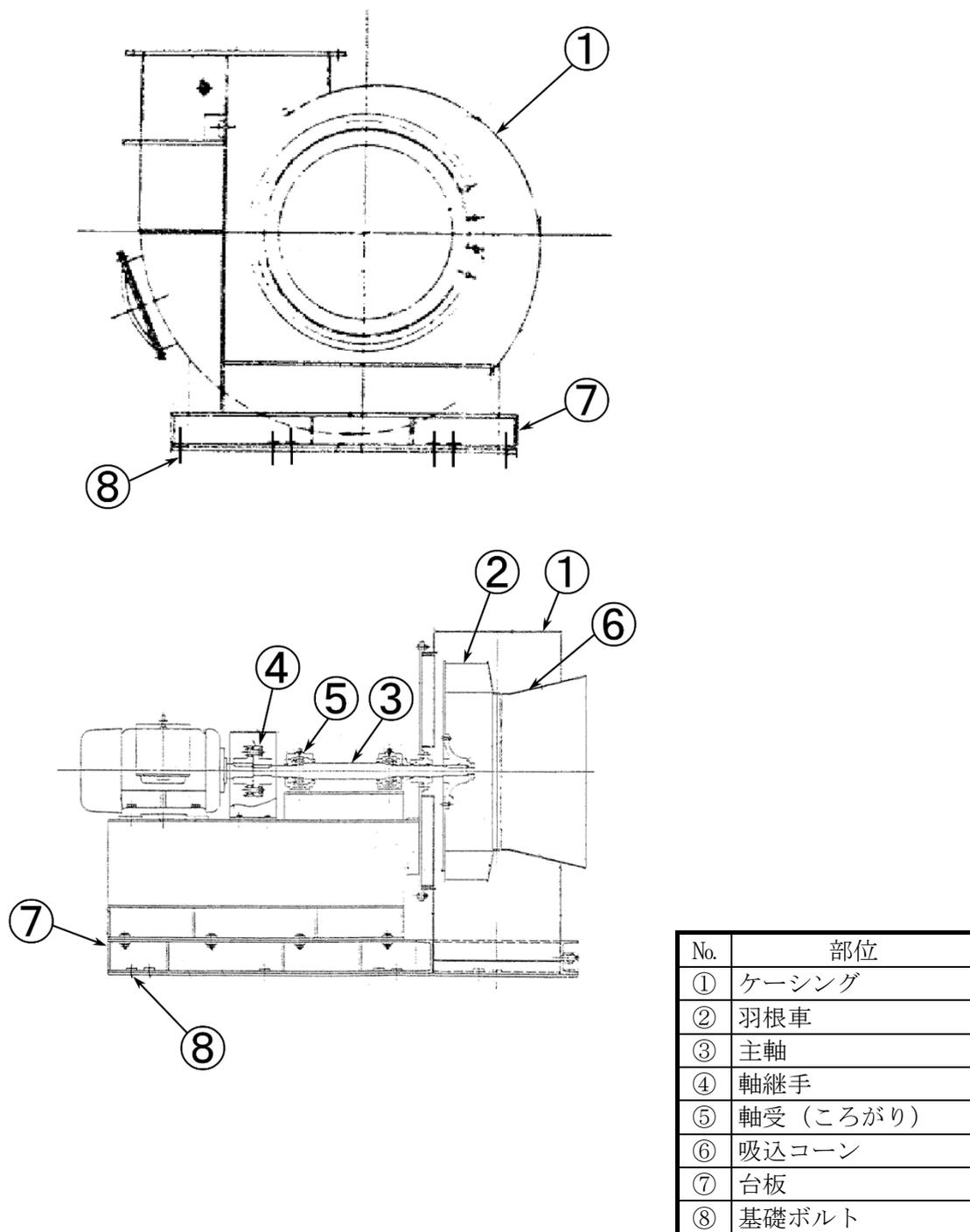


図2.1-2 高浜4号炉 中央制御室空調ファン構造図

表2.1-3 高浜4号炉 中央制御室空調ファン主要部位の使用材料

構成機器	部位	材料
ファン本体	ケーシング	炭素鋼
	羽根車	炭素鋼
	主軸	炭素鋼
	軸継手	炭素鋼
	軸受（ころがり）	消耗品・定期取替品
	吸込コーン	炭素鋼
支持・固定	台板	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-4 高浜4号炉 中央制御室空調ファンの使用条件

容量	約500m <sup>3</sup> /min
静圧	約1,275Pa[gage]
回転数	1,170rpm
設置場所	屋内
吸気温度	約26℃

### 2.1.3 中央制御室循環ファン

#### (1) 構造

高浜4号炉の中央制御室循環ファンは、軸流型一体型ファンであり、4台設置されている。

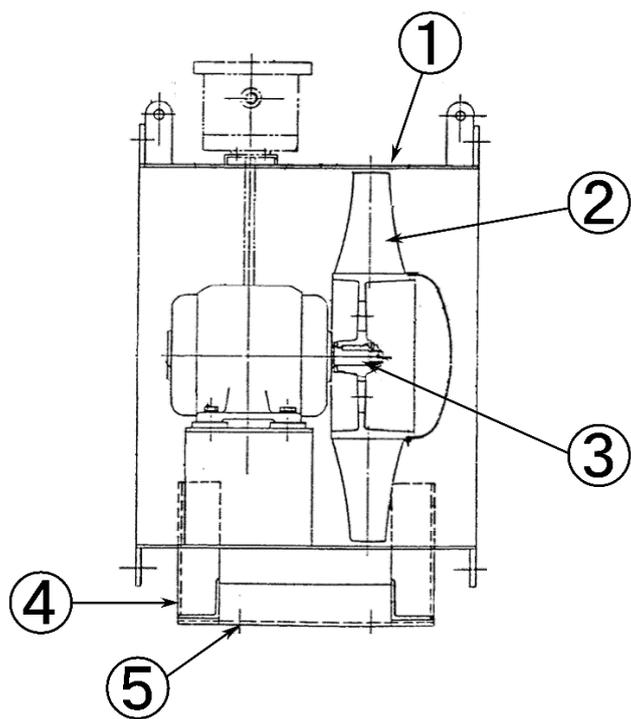
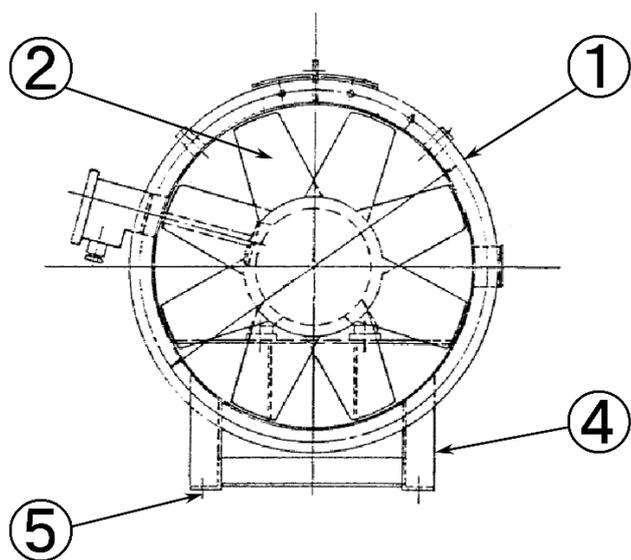
ケーシング、主軸には炭素鋼、羽根車にはアルミニウム合金鋳物を使用している。

羽根車はモータの主軸に直接取付けており、モータ軸と一体で駆動し回転する。

高浜4号炉の中央制御室循環ファンの構造図を図2.1-3に示す。

#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の中央制御室循環ファンの使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。



No.	部位
①	ケーシング
②	羽根車
③	主軸
④	架台
⑤	基礎ボルト

図2.1-3 高浜4号炉 中央制御室循環ファン構造図

表2.1-5 高浜4号炉 中央制御室循環ファン主要部位の使用材料

構成機器	部位	材料
ファン本体	ケーシング	炭素鋼
	羽根車	アルミニウム合金鋳物
	主軸	炭素鋼
支持・固定	架台	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-6 高浜4号炉 中央制御室循環ファンの使用条件

容量	約500m <sup>3</sup> /min
静圧	約490Pa[gage]
回転数	1,760rpm
設置場所	屋内
吸気温度	約26℃

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

ファンの機能である送風機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 送風機能の維持
- ② 機器の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

- (1) ケーシングの腐食（全面腐食）[共通]および吸込コーン等の腐食（全面腐食）  
[安全補機開閉器室空調ファン、中央制御室空調ファン]

ケーシング、吸込コーンおよび吸込コーン取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

- (2) 羽根車の腐食（全面腐食）[共通]

羽根車は炭素鋼またはアルミニウム合金鋳物であり、腐食が想定される。

しかしながら、塗装により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

- (3) 主軸の摩耗 [中央制御室空調ファン]

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

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

- (4) 主軸の腐食（全面腐食）[共通]および軸継手の腐食（全面腐食）[中央制御室空調ファン]

主軸および軸継手は炭素鋼であり、長期使用により腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

- (5) 主軸の高サイクル疲労割れ [共通]

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

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

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

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

- (6) 台板および架台の腐食（全面腐食）[共通]

台板および架台は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装または亜鉛メッキにより腐食を防止しており、塗膜またはメッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

- (7) 基礎ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

#### 2.2.4 消耗品および定期取替品

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

表2.2-1(1/3) 高浜4号炉 安全補機開閉器室空調ファンに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
送風機能の維持	ケーシング		炭素鋼		△						*1：高サイクル疲労割れ
	羽根車		炭素鋼		△						
	主軸		炭素鋼		△	△*1					
	吸込コーン		炭素鋼		△						
	吸込コーン取付ボルト		炭素鋼		△						
機器の支持	台板		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2. 2-1(2/3) 高浜4号炉 中央制御室空調ファンに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
送風機能の維持	ケーシング		炭素鋼		△						*1：高サイクル疲労割れ
	羽根車		炭素鋼		△						
	主軸		炭素鋼	△	△	△*1					
	軸継手		炭素鋼		△						
	軸受（ころがり）	◎	—								
	吸込コーン		炭素鋼		△						
機器の支持	台板		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/3) 高浜4号炉 中央制御室循環ファンに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
送風機能の維持	ケーシング		炭素鋼		△						*1：高サイクル疲労割れ
	羽根車		アルミニウム合金鋳物		△						
	主軸		炭素鋼		△	△*1					
機器の支持	架台		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

### 3. 代表機器以外への展開

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

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

- ① 安全補機開閉器室循環ファン
- ② 中間建屋給気ファン
- ③ 中間建屋排気ファン
- ④ アニュラス空気浄化ファン
- ⑤ 中央制御室非常用循環ファン
- ⑥ 安全補機室空気浄化ファン
- ⑦ ディーゼル発電機室給気ファン
- ⑧ 余熱除去ポンプ室冷却ファン
- ⑨ 配管貫通部冷却ファン
- ⑩ 充てん／高圧注入ポンプ室冷却ファン
- ⑪ 格納容器スプレイポンプ室冷却ファン

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

##### 3.1.1 ケーシングの腐食（全面腐食）[共通]および吸込コーン等の腐食（全面腐食）

[安全補機開閉器室循環ファン、中間建屋給気ファン、中間建屋排気ファン、アニュラス空気浄化ファン、中央制御室非常用循環ファン、安全補機室空気浄化ファン]

ケーシング、吸込コーンおよび吸込コーン取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

### 3.1.2 羽根車の腐食（全面腐食）〔共通〕

羽根車は炭素鋼またはアルミニウム合金鋳物であり、腐食が想定される。

しかしながら、塗装により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

### 3.1.3 主軸の摩耗〔アニュラス空気浄化ファン、中央制御室非常用循環ファン、安全補機室空気浄化ファン〕

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

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.4 主軸の腐食（全面腐食）〔共通〕および軸継手の腐食（全面腐食）〔アニュラス空気浄化ファン、中央制御室非常用循環ファン、安全補機室空気浄化ファン〕

主軸および軸継手は炭素鋼であり、長期使用により腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

### 3.1.5 主軸の高サイクル疲労割れ [共通]

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

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

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

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

### 3.1.6 台板および架台の腐食（全面腐食） [共通]および取付ボルト等の腐食（全面腐食） [ディーゼル発電機室給気ファン、余熱除去ポンプ室冷却ファン、配管貫通部冷却ファン、充てん/高圧注入ポンプ室冷却ファン、格納容器スプレイポンプ室冷却ファン]

台板、架台、取付ボルトおよび支持金具は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装または亜鉛メッキにより腐食を防止しており、塗膜またはメッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

### 3.1.7 基礎ボルトの腐食（全面腐食） [安全補機開閉器室循環ファン、中間建屋給気ファン、中間建屋排気ファン、アニュラス空気浄化ファン、中央制御室非常用循環ファン、安全補機室空気浄化ファン、配管貫通部冷却ファン]

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

## 2 モーター

### [対象機器]

- ① 安全補機開閉器室空調ファンモーター
- ② 安全補機室空気浄化ファンモーター
- ③ 安全補機開閉器室循環ファンモーター
- ④ アニュラス空気浄化ファンモーター
- ⑤ ディーゼル発電機室給気ファンモーター
- ⑥ 中間建屋給気ファンモーター
- ⑦ 中間建屋排気ファンモーター
- ⑧ 余熱除去ポンプ室冷却ファンモーター
- ⑨ 格納容器スプレイポンプ室冷却ファンモーター
- ⑩ 充てん／高圧注入ポンプ室冷却ファンモーター
- ⑪ 配管貫通部冷却ファンモーター
- ⑫ 中央制御室循環ファンモーター
- ⑬ 中央制御室空調ファンモーター
- ⑭ 中央制御室非常用循環ファンモーター
- ⑮ 空調用冷水ポンプモーター
- ⑯ チラーユニット用圧縮機モーター

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定 .....	1
1.1 グループ化の考え方および結果 .....	1
1.2 代表機器の選定 .....	1
2. 代表機器の技術評価 .....	3
2.1 構造、材料および使用条件 .....	3
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	9
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価 .....	15
3. 代表機器以外への展開 .....	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. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されているモータの主な仕様を表1-1に示す。

これらのモータを電圧区分、型式および設置場所の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すモータを電圧区分、型式および設置場所に分類すると2つのグループに分類される。

### 1.2 代表機器の選定

#### (1) 電圧区分：低圧、型式：全閉形（屋内設置）

このグループには、安全補機開閉器室空調ファンモータ、安全補機室空気浄化ファンモータ、安全補機開閉器室循環ファンモータ等が属するが、重要度が高く、出力が大きい安全補機開閉器室空調ファンモータを代表機器とする。

#### (2) 電圧区分：高圧、型式：密閉形（屋内設置）

このグループには、チラーユニット用圧縮機モータのみが属するため、チラーユニット用圧縮機モータを代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 モーターの主な仕様

分離基準			機器名称 (台数)	仕様 (定格 出力×定格 回転数) (kW×rpm)	選定基準			代表機器の選定		
電圧 区分	型式	設置 場所			重要度*1	使用条件			代表 機器	選定 理由
						運転 状態	電圧 (V)	周囲 温度		
低圧	全閉	屋内	安全補機開閉器室空調ファンモータ(2)	90×885	MS-1	連続	440	約40	◎	重要度、 出力
			安全補機室空気浄化ファンモータ(2)	5.5×3,450	MS-1	一時	440	約40		
			安全補機開閉器室循環ファンモータ(2)	45×590	MS-1	連続	440	約40		
			アニュラス空気浄化ファンモータ(2)	37×1,770	MS-1、重*2	一時	440	約40		
			ディーゼル発電機室給気ファンモータ(4)	55×885	MS-2	連続	440	約40		
			中間建屋給気ファンモータ(2)	110×885	MS-2	連続	440	約40		
			中間建屋排気ファンモータ(2)	37×710	MS-2	連続	440	約40		
			余熱除去ポンプ室冷却ファンモータ(2)	2.2×1,700	MS-2	一時	440	約40		
			格納容器スプレイポンプ室冷却ファンモータ(2)	0.4×1,710	MS-2	一時	440	約40		
			充てん/高圧注入ポンプ室冷却ファンモータ(2)	0.55×3,370	MS-2	連続	440	約40		
			配管貫通部冷却ファンモータ(2)	1.5×3,410	MS-2	連続	440	約40		
			中央制御室循環ファンモータ(4)	11×1,760	MS-1、重*2	連続	440	約40		
			中央制御室空調ファンモータ(4)	22×1,170	MS-1、重*2	連続	440	約40		
			中央制御室非常用循環ファンモータ(4)	15×1,730	MS-1、重*2	一時	440	約40		
			空調用冷水ポンプモータ(2)	55×1,770	MS-1	連続	440	約40		
高圧	密閉		チラーユニット用圧縮機モータ(2)	326×3,560	MS-1	連続	6,600	約40	◎	

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の2種類のモータについて技術評価を実施する。

- ① 安全補機開閉器室空調ファンモータ
- ② チラーユニット用圧縮機モータ

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 安全補機開閉器室空調ファンモータ

##### (1) 構造

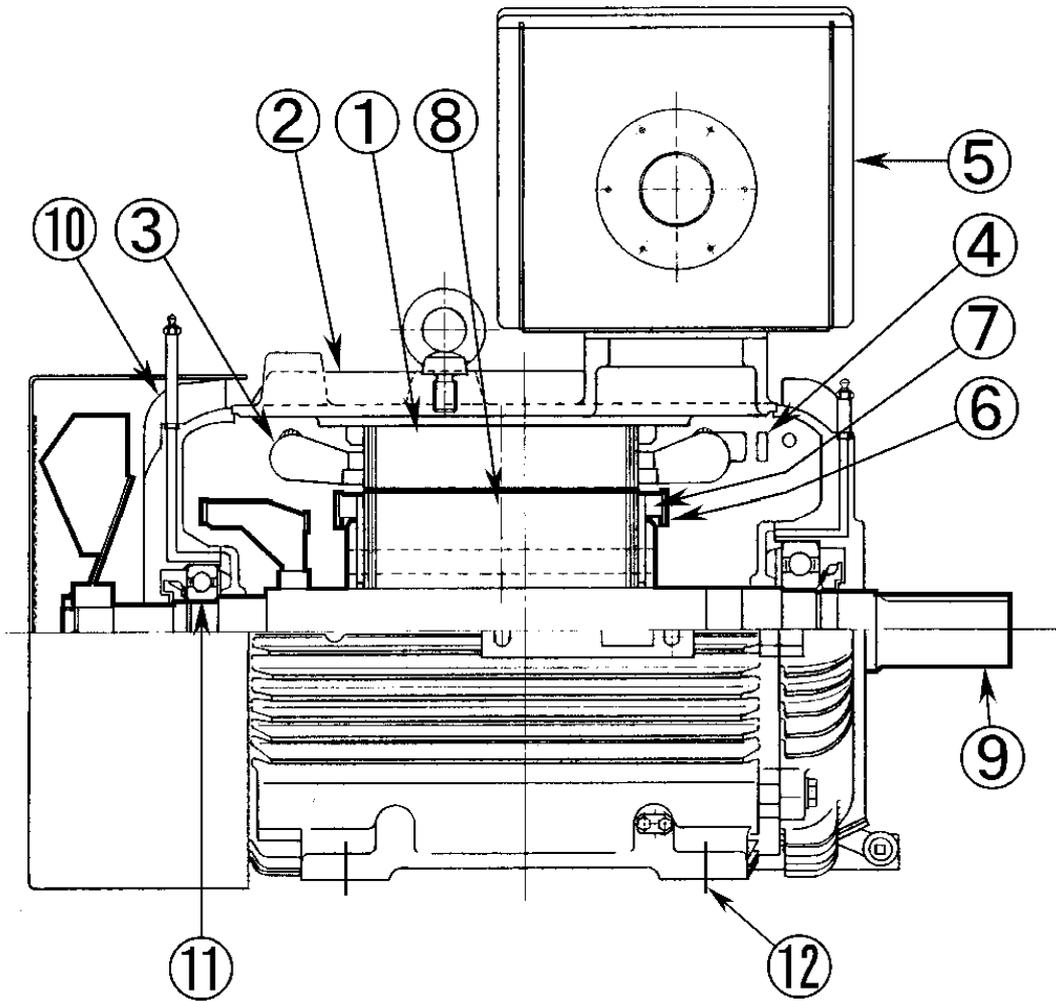
高浜4号炉の安全補機開閉器室空調ファンモータは、定格出力90kW、定格回転数885rpmの全閉屋内形三相誘導モータであり、2台設置されている。

ファンに直結されている主軸は炭素鋼が使用されており、負荷側および反負荷側軸受部には、回転体を支えるためのブラケットが取り付けられ、内側にはモータ回転子重量を支えるための軸受を備えている。

高浜4号炉の安全補機開閉器室空調ファンモータの構造図を図2.1-1に示す。

##### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の安全補機開閉器室空調ファンモータの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



注：太線が回転部を示す。

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

図2.1-1 高浜4号炉 安全補機開閉器室空調ファンモータ構造図

表2.1-1 高浜4号炉 安全補機開閉器室空調ファンモータ主要部位の使用材料

部位		材料
固定子組立品	固定子コア	珪素鋼板
	フレーム	鋳鉄
	固定子コイル	銅、マイカ、エポキシ樹脂(F種絶縁)
	口出線・接続部品	銅、シリコンゴム、マイカ、エポキシ樹脂(F種絶縁)
	端子箱	炭素鋼
回転子組立品	回転子棒・エンドリング	銅合金
	回転子コア	珪素鋼板
	主軸	炭素鋼
軸受組立品	ブラケット	鋳鉄
	軸受(ころがり)	消耗品・定期取替品
支持組立品	取付ボルト	炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 安全補機開閉器室空調ファンモータの使用条件

定格出力	90kW
周囲温度	約40℃*1
定格電圧	440V
定格回転数	885rpm

\*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

## 2.1.2 チラーユニット用圧縮機モータ

### (1) 構造

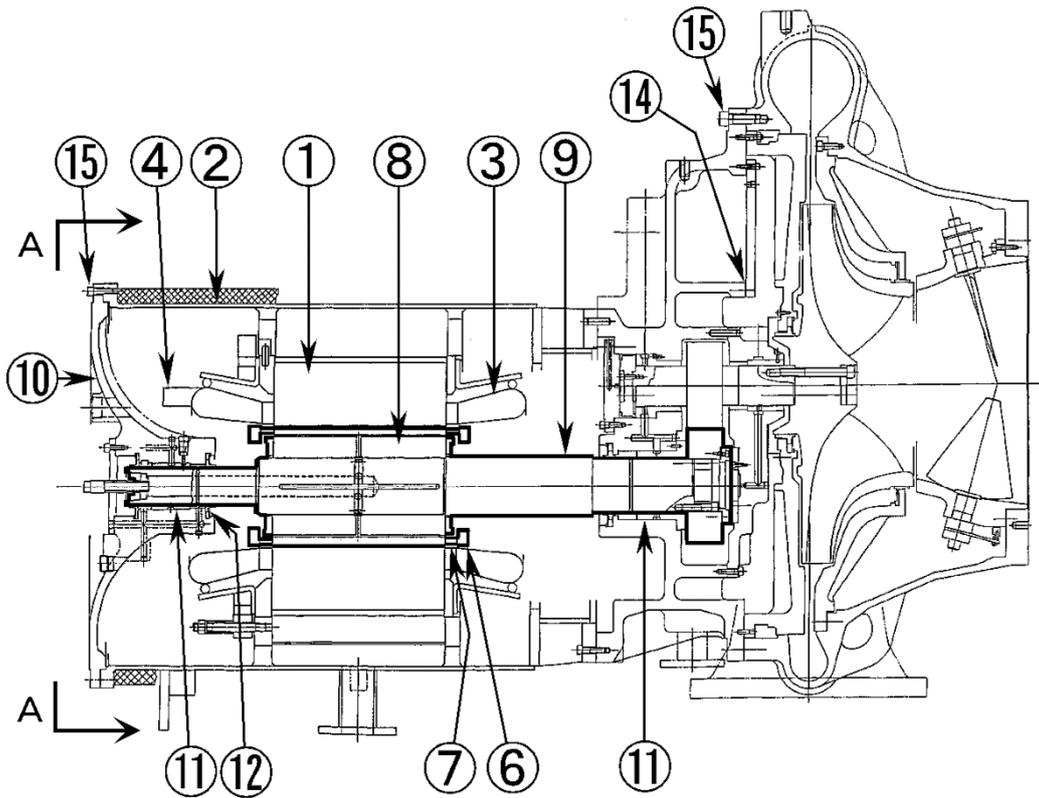
高浜4号炉のチラーユニット用圧縮機モータは、定格出力326kW、定格回転数3,560rpmの冷媒冷却密閉形三相誘導モータであり、2台設置されている。

主軸は低合金鋼が使用されており、負荷側軸受部は歯車室に、反負荷側軸受部はブラケットに軸受が取付けられており、モータ回転子重量を支えている。

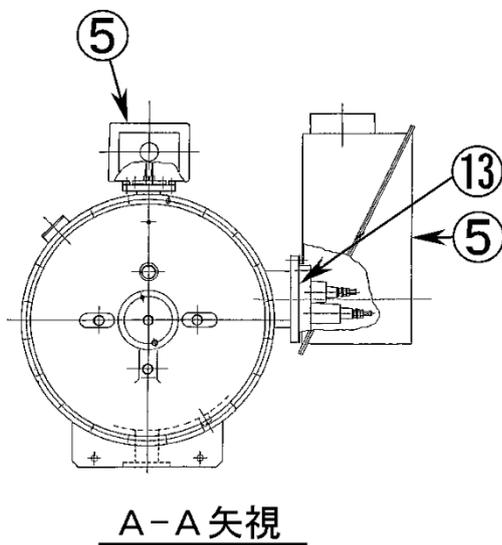
高浜4号炉のチラーユニット用圧縮機モータの構造図を図2.1-2に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉のチラーユニット用圧縮機モータの使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



注：太線が回転部を示す。



No.	部位
①	固定子コア
②	フレーム
③	固定子コイル
④	口出線・接続部品
⑤	端子箱
⑥	エンドリング
⑦	回転子棒
⑧	回転子コア
⑨	主軸
⑩	ブラケット
⑪	軸受 (すべり)
⑫	シールリング
⑬	Oリング
⑭	ガスケット
⑮	取付ボルト

図2.1-2 高浜4号炉 チラーユニット用圧縮機モータ構造図

表2.1-3 高浜4号炉 チラーユニット用圧縮機モータ主要部位の使用材料

部位		材料
固定子組立品	固定子コア	珪素鋼板
	フレーム	炭素鋼
	固定子コイル	銅、マイカ、エポキシ樹脂（B種絶縁）
	口出線・接続部品	銅、シリコーンゴム、マイカ、エポキシ樹脂（B種絶縁）
	端子箱	炭素鋼
	Oリング	消耗品・定期取替品
回転子組立品	回転子棒・エンドリング	銅合金
	回転子コア	珪素鋼板
	主軸	低合金鋼
軸受組立品	ブラケット	鋳鉄
	軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
	シールリング	消耗品・定期取替品
支持組立品	ガスケット	消耗品・定期取替品
	取付ボルト	低合金鋼

表2.1-4 高浜4号炉 チラーユニット用圧縮機モータの使用条件

定格出力	326kW
周囲温度	約40℃*1
定格電圧	6,600V
定格回転数	3,560rpm

\*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

モータの機能であるファン等の駆動機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 駆動機能の確保
- ② 機器の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

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

- (1) 低圧モータの固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下 [安全補機開閉器室空調ファンモータ]

低圧モータの固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電気的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

- (2) 高圧モータの固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下 [チラーユニット用圧縮機モータ]

高圧モータの固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電気的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

#### (1) 固定子コアおよび回転子コアの腐食（全面腐食） [共通]

固定子コアおよび回転子コアは珪素鋼板であり、腐食が想定される。

しかしながら、固定子コアおよび回転子コアはワニス処理または塗装により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

#### (2) フレーム、端子箱およびブラケットの腐食（全面腐食） [共通]

フレーム、端子箱およびブラケットは炭素鋼または鋳鉄であり、腐食が想定される。

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

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

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

(3) 回転子棒・エンドリングの疲労割れ [チラーユニット用圧縮機モータ]

回転子棒・エンドリングについては、モータの起動時に発生する電磁力による繰返し応力を受けるため、疲労割れが想定される。

しかしながら、発生応力は疲労強度より小さい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(4) 主軸の摩耗 [共通]

安全補機開閉器室空調ファンモータはころがり軸受を使用しており、軸受と主軸の接触面で摩耗が想定される。

軸受定期取替時の軸受引き抜きの際に主軸表面にわずかな線形模様が生じることもあり、主軸表面をサンドペーパーで仕上げる方策も考えられる。

この場合、主軸表面にわずかな摩耗が発生し、主軸と軸受スリーブ間で微小すき間が生じ、運転中にフレットングによる摩耗が発生する可能性がある。

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

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

なお、分解点検時の目視確認および寸法計測により、機器の健全性を確認している。

チラーユニット用圧縮機モータは、油潤滑のすべり軸受を使用しており、軸受と主軸の接触面で摺動摩耗が想定される。

しかしながら、主軸と軸受間に潤滑油が供給され膜が形成されるため、摺動摩耗が生じる可能性は小さい。

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

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

なお、分解点検時の目視確認および寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(5) 主軸の高サイクル疲労割れ [共通]

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

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

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

なお、試運転時等における振動確認および分解点検時の応力集中部に対する目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 取付ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

取付ボルトは炭素鋼または低合金鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

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

(7) 回転子棒・エンドリングの疲労割れ [安全補機開閉器室空調ファンモータ]

回転子棒・エンドリングについては、モータの起動時に発生する電磁力による繰返し応力を受けるため、疲労割れが想定される。

しかしながら、発生応力は疲労強度より小さい。

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

2.2.4 消耗品および定期取替品

軸受（ころがりおよびすべり）、Oリング、シールリングおよびガスケットは分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 (1/2) 高浜4号炉 安全補機開閉器室空調ファンモータに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
駆動機能の確保	固定子コア		珪素鋼板		△							*1：高サイクル疲労割れ
	フレーム		鋳鉄		△							
	固定子コイル		銅、マイカ、エポキシ樹脂					○				
	口出線・接続部品		銅、シリコーンゴム、マイカ、エポキシ樹脂					○				
	端子箱		炭素鋼		△							
	回転子棒・エンドリング		銅合金			▲						
	回転子コア		珪素鋼板		△							
	主軸		炭素鋼	△		△*1						
	ブラケット		鋳鉄		△							
	軸受（ころがり）	◎	—									
機器の支持	取付ボルト		炭素鋼		△							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-1 (2/2) 高浜4号炉 チラーユニット用圧縮機モータに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性		その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
駆動機能の確保	固定子コア		珪素鋼板		△							*1：高サイクル疲労割れ
	フレーム		炭素鋼		△							
	固定子コイル		銅、マイカ、エポキシ樹脂					○				
	口出線・接続部品		銅、シリコンゴム、マイカ、エポキシ樹脂					○				
	端子箱		炭素鋼		△							
	○リング	◎	—									
	回転子棒・エンドリング		銅合金			△						
	回転子コア		珪素鋼板		△							
	主軸		低合金鋼	△		△*1						
	ブラケット		鋳鉄		△							
	軸受（すべり）	◎	—									
	シールリング	◎	—									
ガスケット	◎	—										
機器の支持	取付ボルト		低合金鋼		△							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

## 2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

### 2.3.1 低圧モータの固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下 [安全補機開閉器室空調ファンモータ]

#### a. 事象の説明

低圧モータの固定子コイルは固定子コアのスロット内に納められており、各々の銅線に漏電防止のための絶縁を施している。口出線は、モータを駆動するための電力を受給するもので、固定子コイルと同様に絶縁を施している。

なお、接続部品は、固定子コイル間および口出線を接続するものであり、固定子コイルと同様に銅線に絶縁を施している。

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

絶縁低下を生ずる可能性のある部位を図2.3-1に示す。

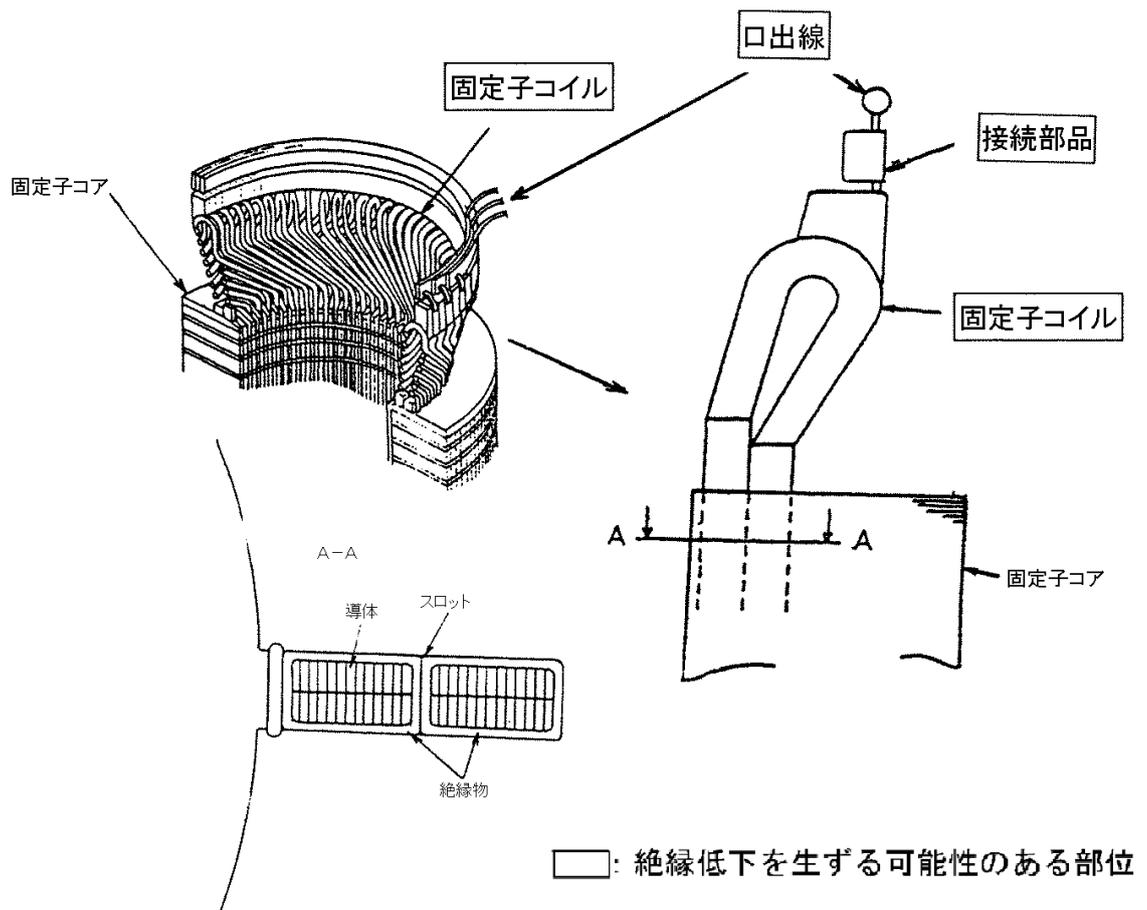


図2.3-1 高浜4号炉 安全補機開閉器室空調ファンモータ  
固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁部位

b. 技術評価

① 健全性評価

低圧モータの固定子コイルの健全性評価は、同種の一般的な低圧コイルの絶縁低下に対する評価方法を用いる。ここでは、IEEE Std. 117-1956「IEEE Standard Test Procedure for Evaluation of Systems of Insulating Materials for Random-Wound Electric Machinery」（以下、「IEEE Std. 117-1956」という。）の規格に基づき実施した評価試験結果より固定子コイルの長期健全性を評価した。

IEEE Std. 117-1956では、熱、機械、環境および電気の各劣化要因について個々に試験条件が述べられているが、モータはこれらの劣化要因が複合するため、複合劣化の試験条件で固定子コイルの長期健全性を評価する。

評価手順を図2.3-2に、試験条件を表2.3-1に、ヒートサイクル方法例を図2.3-3に示す。

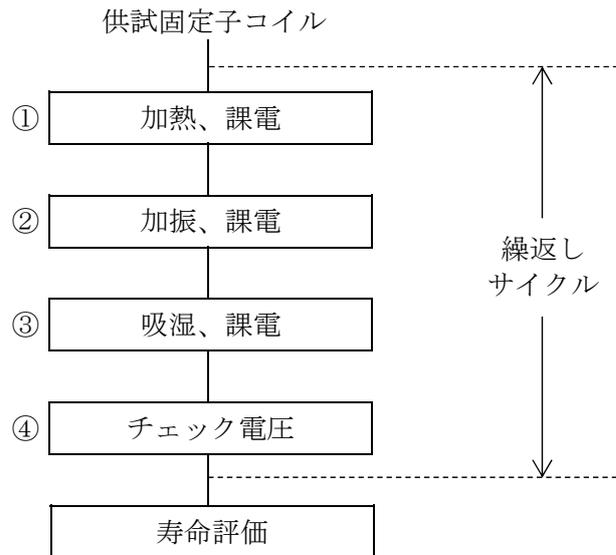


図2.3-2 固定子コイル長期健全性評価手順

図2.3-2の評価手順①、②、③、④を1サイクルとし、コイル絶縁がチェック電圧で破壊するまで繰返し、190℃および220℃での耐熱寿命を基にアレニウス則\*1が成り立つと仮定して定数A、Bを求め、耐熱寿命曲線を得る。

\*1：アレニウス則

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

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

この耐熱寿命曲線は、モータに適用している絶縁固有の特性を表す。  
 この(1)式に当該モータの運転温度\*2 tを代入して、寿命を求める。  
 この寿命で絶縁寿命を決定する。

\*2：運転温度

運転温度は、使用最高温度を用いる。

使用最高温度＝周囲温度＋コイルの温度上昇

＋測定ポイントとホットスポットとの差（マージン）

固定子コイル（F種絶縁）の絶縁寿命は、評価結果より、稼働率80%で、16年（F種絶縁）と判断する。

表2.3-1 固定子コイル長期健全性評価における試験条件

手順	試験項目	試験条件 1	試験条件 2	実機設計条件
①	温度	190℃-7日	220℃-1日	最大145℃
	電圧	440V-常時印加	440V-常時印加	440V
②	振動	1.5G-1時間	1.5G-1時間	1G以下
	電圧	440V-常時印加	440V-常時印加	440V
③	湿度	95~100%RH-2日 (at 40℃)	95~100%RH-2日 (at 40℃)	最大 100%RH (at 40℃)
	電圧	440V-常時印加	440V-常時印加	440V
④	チェック 電圧	対地間 1.5×E=660V-10分間 線間 150V-10分間	対地間 1.5×E=660V-10分間 線間 150V-10分間	——

RH: relative humidity (相对湿度)

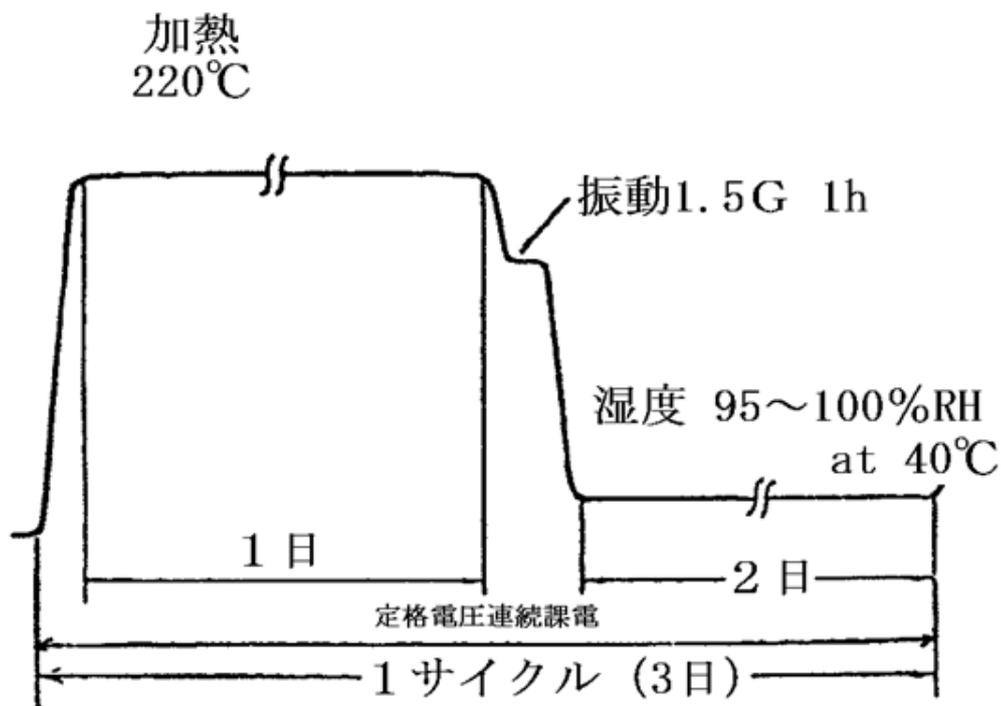


図2.3-3 ヒートサイクル方法例 (試験条件 2)

次に、440V級の経年機で、固定子コイルを更新した旧機のコイル破壊電圧の測定値を評価した結果が、機器の運転年数と絶縁破壊値の関係として、図2.3-4に示すよう求められる。

この評価からコイル破壊電圧の平均値と95%信頼下限が安全運転下限値（電気設備技術基準： $1.5E=1.5 \times 440 \text{ [V]} = 660 \text{ [V]}$ ）に低下するのが16.5～25年となるため、固定子コイルの運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、機器の運転年数で16.5年と判断する。

以上の検討結果より、固定子コイルの運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、より厳しい評価結果であるIEEE Std. 117-1956の規格に準じて実施した評価試験結果から、16年と判断する。

また、ヒートサイクル方法および旧機のコイル破壊電圧による評価で用いた供試体にはともに口出線・接続部品が含まれていることから、口出線・接続部品の運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、固定子コイルと同様、16年と判断する。

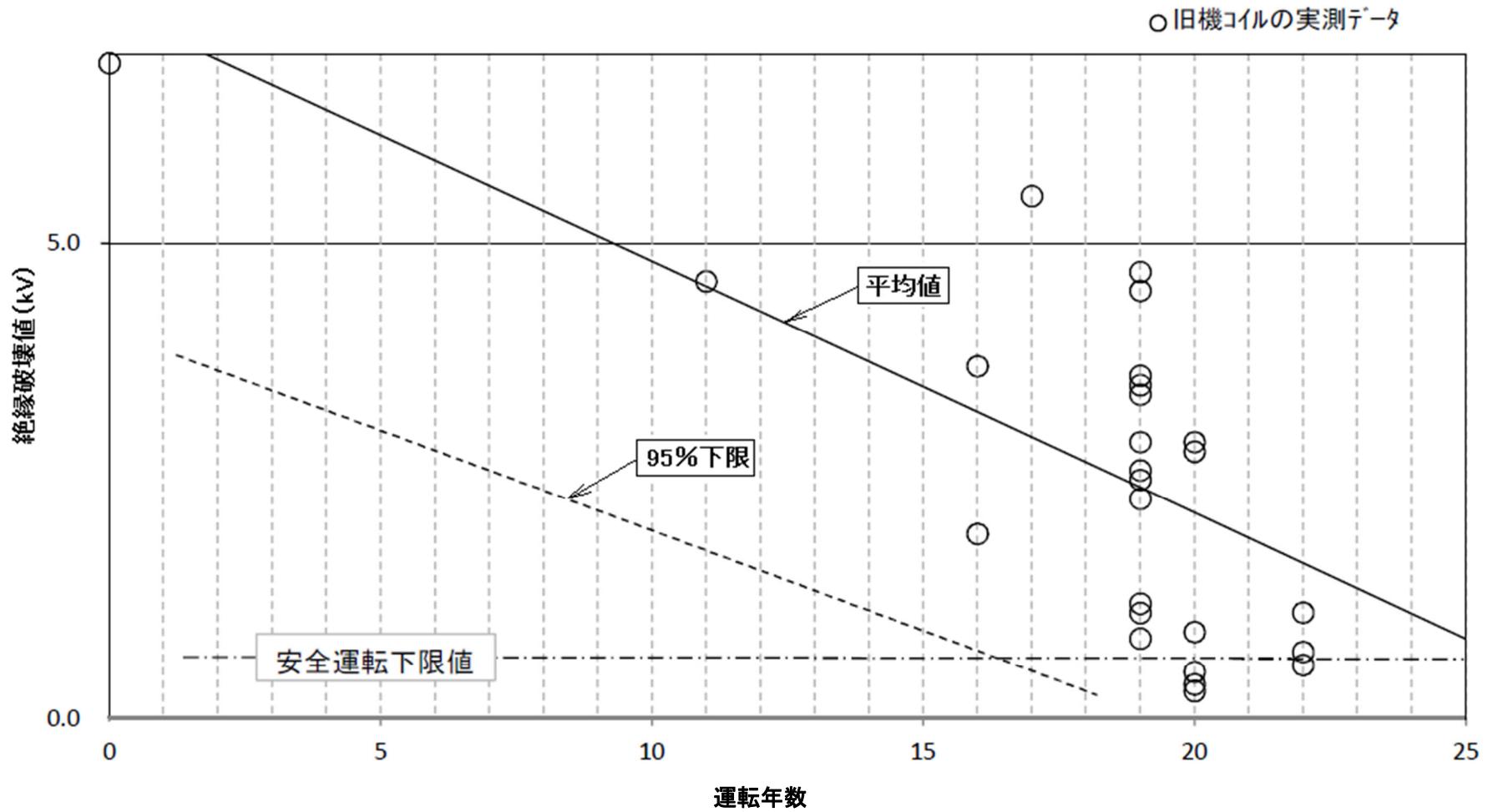


図2.3-4 機器の運転年数と絶縁破壊値の関係  
 [出典：メーカーデータ]

② 現状保全

低圧モータの固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることの確認を行っている。

また、過去の絶縁抵抗測定の結果に基づき、監視強化としての絶縁抵抗測定の実施頻度の見直しを実施するとともに、必要により洗浄、乾燥、絶縁補修もしくは取替を行うこととしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下については、16年以降において発生の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していくとともに、点検結果に基づき監視強化としての絶縁抵抗測定の実施頻度の見直しおよび必要に応じて洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を実施していく。

## 2.3.2 高圧モータの固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下 [チラーユニット用圧縮機モータ]

### a. 事象の説明

固定子コイルは固定子コアのスロット内に納められており、各々の銅線に漏電防止のための絶縁を施している。口出線は、ポンプモータを駆動するための電力を受給するもので、固定子コイルと同様に絶縁を施している。

なお、接続部品は、固定子コイル間および口出線を接続するものであり、固定子コイルと同様に銅線に絶縁を施している。

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電気的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起す可能性がある。

絶縁低下を生ずる可能性のある部位を図2.3-5に示す。

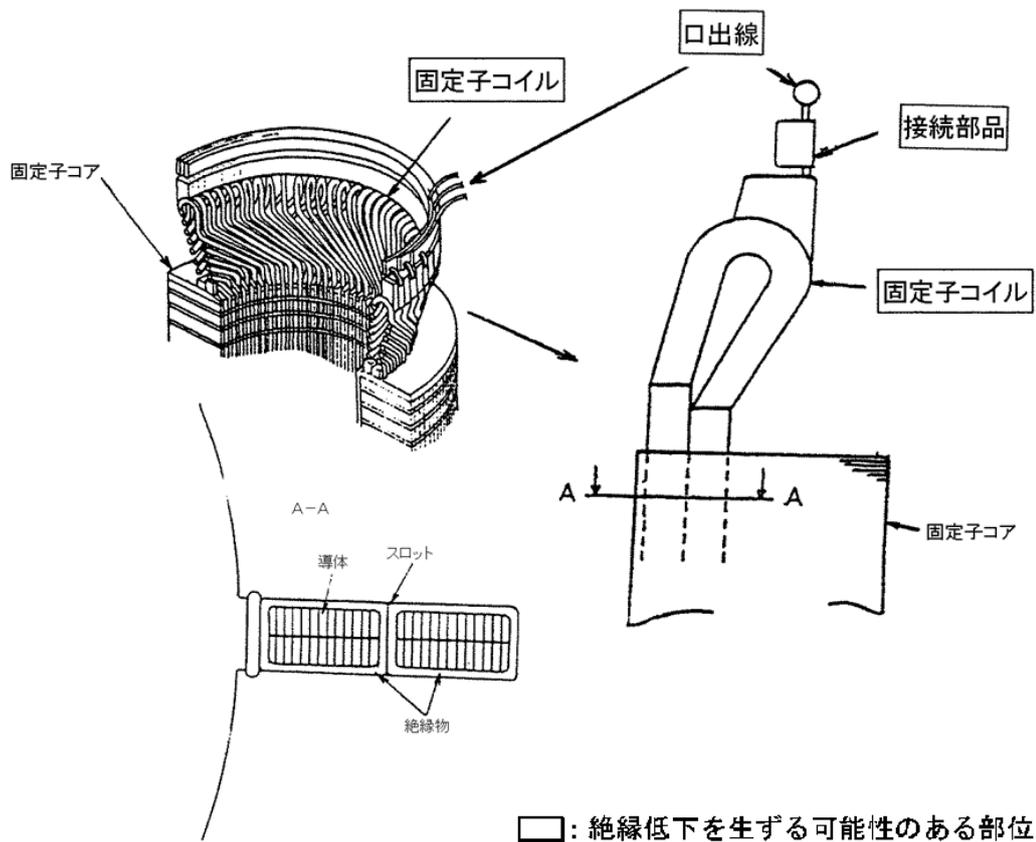


図2.3-5 高浜4号炉 チラーユニット用圧縮機モータ  
固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁部位

b. 技術評価

① 健全性評価

高圧モータの固定子コイルの健全性評価は、同種の一般的な固定子コイルの絶縁低下に対する評価方法を用いる。ここでは、IEEE Std. 275-1981「IEEE Recommended Practice for Thermal Evaluation of Insulation Systems for AC Electric Machinery Employing Form-Wound Pre-Insulated Stator Coils, Machines Rated 6900 V and Below」（以下、「IEEE Std. 275-1981」という。）の規格に基づき実施した評価試験結果および経年機の固定子コイル破壊電圧測定試験に基づき実施した評価試験により固定子コイルの長期健全性を評価した。

IEEE Std. 275-1981では、熱、機械、環境および電気の各劣化要因について個々に試験条件が述べられているが、モータはこれらの劣化要因が複合するため、複合劣化の試験条件で固定子コイルの長期健全性を評価する。

評価手順を図2.3-6に、試験条件を表2.3-2に、ヒートサイクル方法例を図2.3-7に示す。

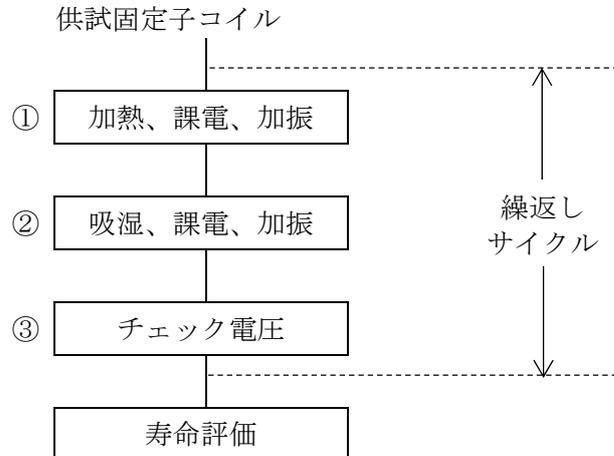


図2.3-6 固定子コイル長期健全性評価手順

図2.3-6の評価手順①（64回程度の繰返し）、②、③を1サイクルとし、コイル絶縁がチェック電圧で破壊するまで繰返し、170℃および190℃での耐熱寿命を基にアレニウス則<sup>\*1</sup>が成り立つと仮定して定数A、Bを求め、耐熱寿命曲線を得る。

\*1：アレニウス則

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

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

この耐熱寿命曲線は、モータに適用している絶縁固有の特性を表す。  
 この(1)式に当該モータの運転温度\*2 tを代入して、寿命を求める。  
 この寿命で耐用期間（管理強化の目安）を決定する。

\*2：運転温度

運転温度は、使用最高温度を用いる。

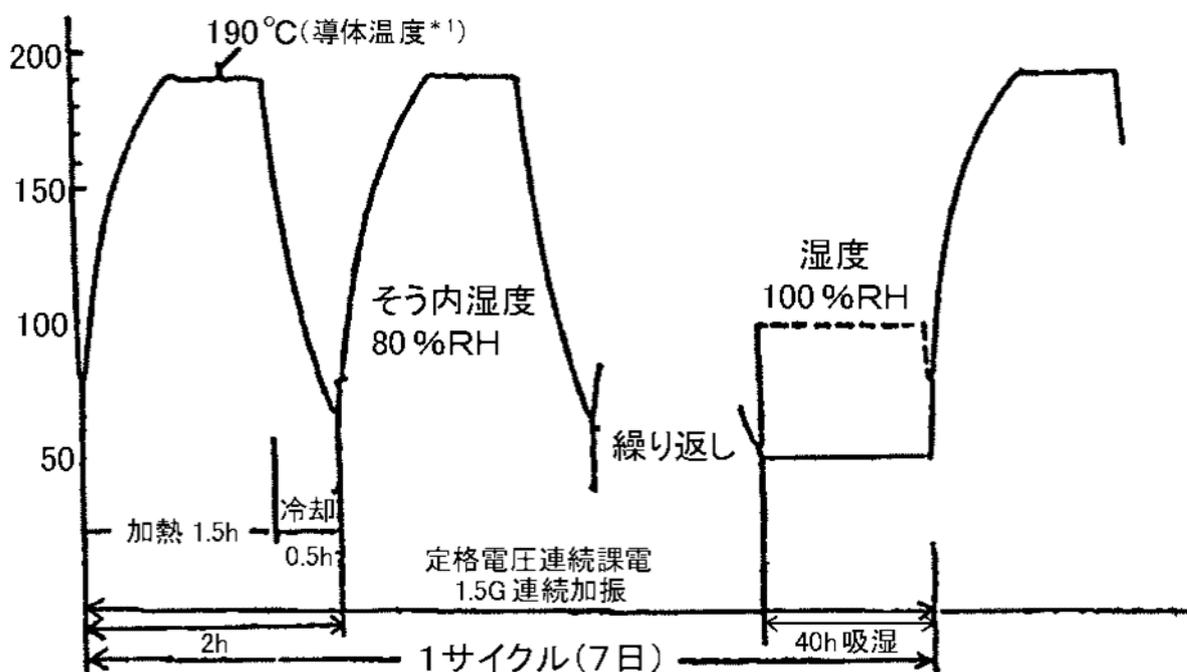
使用最高温度 = 周囲温度 + 固定子コイルの温度上昇  
 + 測定ポイントとホットスポットとの差（マージン）

IEEE Std. 275-1981の規格に基づき実施した評価試験結果より、固定子コイルの耐用期間（管理強化の目安）は、約25年（稼働率100%で、24.98年）と判断する。

表2.3-2 固定子コイル長期健全性評価における試験条件

手順	試験項目	試験条件1	試験条件2	実機設計条件
①	温度	170°C×2時間（加熱1.5h、冷却0.5h、at80%RH）	190°C×2時間（加熱1.5h、冷却0.5h、at80%RH）	最大125°C
	電圧	6.6kV－常時印加	6.6kV－常時印加	6.6kV
	振動	1.5G－常時加振	1.5G－常時加振	1G以下
②	湿度	100%RH－40時間 （at 50°C）	100%RH－40時間 （at 50°C）	最大100%RH （at 40°C）
	電圧	6.6kV－常時印加	6.6kV－常時印加	6.6kV
	振動	1.5G－常時加振	1.5G－常時加振	1G以下
③	チェック電圧	対地間 1.5×E=9.9kV-1分間 線間 150V-1分間	対地間 1.5×E=9.9kV-1分間 線間 150V-1分間	——

RH: relative humidity (相対湿度)



\*1: 絶縁体に170°C×2時間相当と同等の熱劣化を与える条件として、直流通電により導体温度を最大190°Cとして試験を実施

図2.3-7 ヒートサイクル方法例 (試験条件1)

次に、6.6kV級の経年機で、固定子コイルを更新した旧機のコイル破壊電圧の測定値を評価した結果が、運転年数\*3と絶縁破壊値の関係として、図2.3-8に示すように求められる。

(\*3: 稼働率等を考慮に入れた年数=運転時間(年)+休止時間(年) / 休止係数)

この評価からコイル破壊電圧の平均値と95%信頼下限が安全運転下限(「電気学会 電気規格調査会標準規格 回転電気機械一般(JEC-2100-1993)」:  $2E+1=2 \times 6.6 \text{ [kV]} + 1 \text{ [kV]} = 14.2 \text{ [kV]}$ )に低下するのが18.5~24年となるため、固定子コイルの耐用期間(管理強化の目安)は、運転年数で18.5年と判断する。

以上の検討結果より、固定子コイルの耐用期間(管理強化の目安)は、より厳しい評価結果である経年機の固定子コイル絶縁破壊値による評価結果を採用して機器の運転年数で18.5年と判断する。

また、口出線・接続部品の絶縁物の絶縁種別および耐熱性能は、固定子コイルの絶縁物と同等以上であり、口出線・接続部品の耐用期間(管理強化の目安)は、固定子コイルと同様の年数と判断する。

## ② 現状保全

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁診断として絶縁抵抗測定、直流吸収試験、 $\tan \delta$  試験および部分放電試験により、管理範囲に収まっていることの確認を行うとともに、傾向管理を行っている。

また、機器の運転年数に基づき（絶縁種別等により約18.5年）、直流吸収試験、 $\tan \delta$  試験、部分放電試験の周期を短縮し、点検結果に基づき取替を検討するものとしている。

## ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下については機器の運転年数で18.5年以降において発生の可能性は否定できないが、絶縁低下は、絶縁診断で検知可能であり、点検手法として適切である。

### c. 高経年化への対応

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下については、定期的に絶縁診断を実施していくとともに、機器の運転年数および絶縁診断結果に基づいた取替を実施していく。

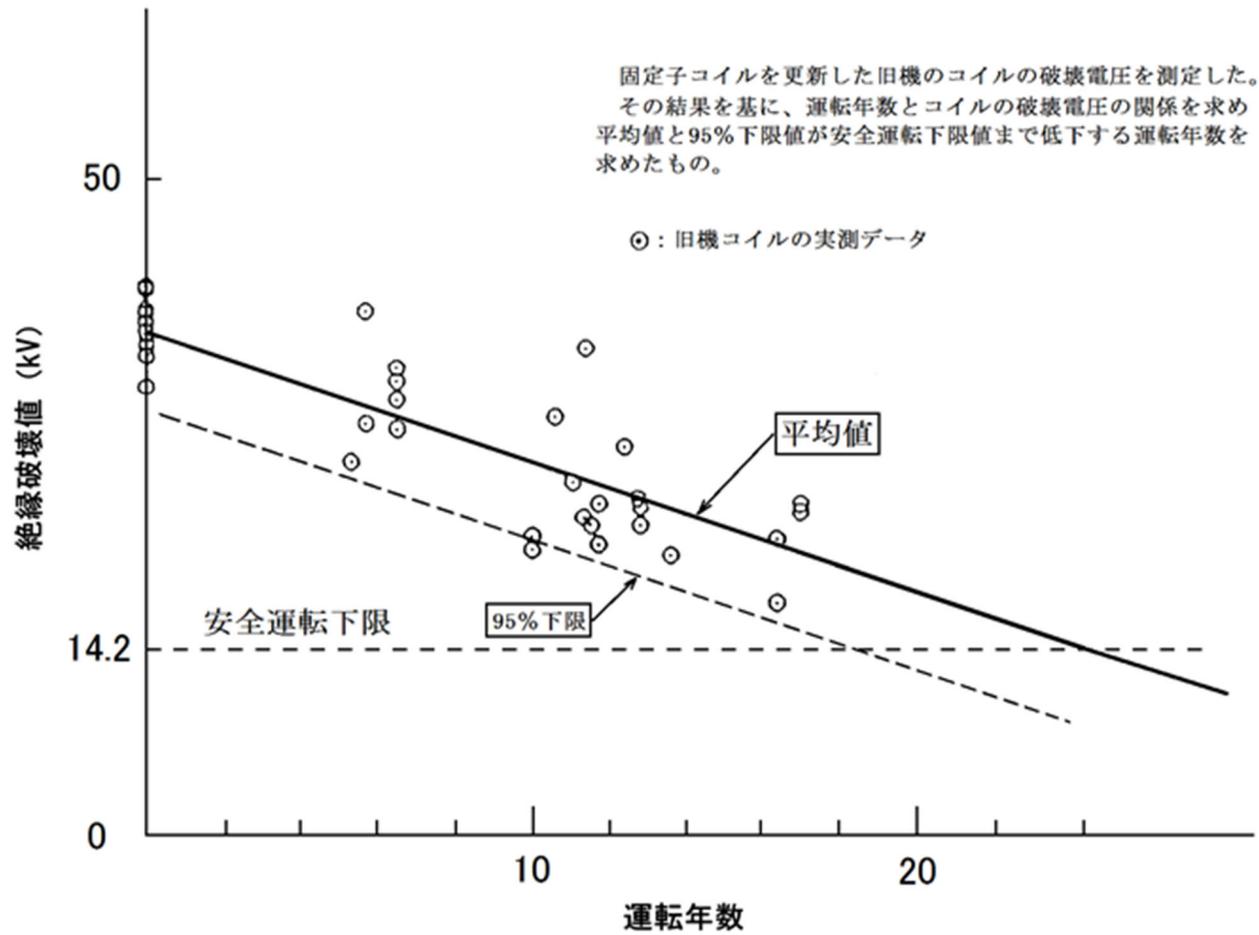


図2.3-8 機器の運転年数と絶縁破壊値の関係

[出典：関西電力・メーカー共研データ]

### 3. 代表機器以外への展開

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

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

- ① 安全補機室空気浄化ファンモータ
- ② 安全補機開閉器室循環ファンモータ
- ③ アニュラス空気浄化ファンモータ
- ④ ディーゼル発電機室給気ファンモータ
- ⑤ 中間建屋給気ファンモータ
- ⑥ 中間建屋排気ファンモータ
- ⑦ 余熱除去ポンプ室冷却ファンモータ
- ⑧ 格納容器スプレイポンプ室冷却ファンモータ
- ⑨ 充てん／高圧注入ポンプ室冷却ファンモータ
- ⑩ 配管貫通部冷却ファンモータ
- ⑪ 中央制御室循環ファンモータ
- ⑫ 中央制御室空調ファンモータ
- ⑬ 中央制御室非常用循環ファンモータ
- ⑭ 空調用冷水ポンプモータ

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

##### 3.1.1 低圧モータの固定子コイルおよび口出線〔共通〕・接続部品〔安全補機開閉器室循環ファンモータ、ディーゼル発電機室給気ファンモータ、中間建屋給気ファンモータ〕の絶縁低下

代表機器と同様、長期間の運転を考慮すると固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していくとともに、点検結果に基づき、監視強化としての絶縁抵抗測定の実施頻度の見直しおよび必要に応じて洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を実施していく。

### 3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

#### 3.2.1 固定子コアおよび回転子コアの腐食（全面腐食）〔共通〕

固定子コアおよび回転子コアは珪素鋼板であり、腐食が想定される。

しかしながら、固定子コアおよび回転子コアはワニス処理または塗装により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

#### 3.2.2 フレーム、端子箱およびブラケットの腐食（全面腐食）〔共通〕

フレーム、端子箱およびブラケットは炭素鋼または鋳鉄であり、腐食が想定される。

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

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

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

### 3.2.3 主軸の摩耗 [共通]

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

軸受定期取替時の軸受引き抜きの際に主軸表面にわずかな線形模様が生じることもあり、主軸表面をサンドペーパーで仕上げる方策も考えられる。

この場合、主軸表面にわずかな摩耗が発生し、主軸と軸受スリーブ間で微小すき間が生じ、運転中にフレットングによる摩耗が発生する可能性がある。

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

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

なお、分解点検時の目視確認および寸法計測により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.4 主軸の高サイクル疲労割れ [共通]

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

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

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

なお、試運転時等における振動確認および分解点検時の応力集中部に対する目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.5 取付ボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕

取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装または亜鉛メッキにより腐食を防止しており、塗膜またはメッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

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

### 3.2.6 回転子棒・エンドリングの疲労割れ〔共通〕

回転子棒・エンドリングについては、モータの起動時に発生する電磁力による繰返し応力を受けるため、疲労割れが想定される。

しかしながら、安全補機開閉器室循環ファンモータ、ディーゼル発電機室給気ファンモータおよび中間建屋給気ファンモータの回転子棒・エンドリングについては、発生応力は疲労強度より小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

また、上記以外のモータの回転子棒・エンドリングは、アルミ充てん式（一体形成）であり、回転子棒とスロットの間に隙間を生じることはなく、疲労割れが発生しがたい構造である。

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

## 3 空調ユニット

### [対象機器]

- ① 安全補機室空気浄化フィルタユニット
- ② アニュラス空気浄化フィルタユニット
- ③ 中央制御室空調ユニット
- ④ 安全補機開閉器室空調ユニット
- ⑤ 中央制御室非常用循環フィルタユニット
- ⑥ 中間建屋給気ユニット
- ⑦ 余熱除去ポンプ室冷却ユニット
- ⑧ 格納容器スプレイポンプ室冷却ユニット
- ⑨ 充てん／高圧注入ポンプ室冷却ユニット
- ⑩ 配管貫通部冷却ユニット
- ⑪ 格納容器再循環ユニット

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料および使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	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ではない事象	10

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されている空調ユニットの主な仕様を表1-1に示す。

これらの空調ユニットを型式の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す空調ユニットを型式の観点で分類すると、エアハンドリングユニットのみのグループに分類される。

### 1.2 代表機器の選定

#### (1) エアハンドリングユニット

このグループには、安全補機室空気浄化フィルタユニット、アニュラス空気浄化フィルタユニット、中央制御室空調ユニット、安全補機開閉器室空調ユニット、中央制御室非常用循環フィルタユニット、中間建屋給気ユニット、余熱除去ポンプ室冷却ユニット、格納容器スプレイポンプ室冷却ユニット、充てん／高圧注入ポンプ室冷却ユニット、配管貫通部冷却ユニット、格納容器再循環ユニットが属するが、重要度が高く、容量が大きい安全補機開閉器室空調ユニットを代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 空調ユニットの主な仕様

分離基準 型式	機器名称 (台数)	仕様 容量 (m <sup>3</sup> /min)	選定基準			代表機器の選定	
			重要度*1	運転状態	構成品	代表 機器	選定理由
エアハンドリング ユニット	安全補機室空気浄化フィルタユニット (1)	約 56	MS-1	一時	加熱コイル、微粒子フィルタ、チャ コールフィルタ	◎	重要度 容量
	アニュラス空気浄化フィルタユニット (2)	約 250	MS-1、重*2	一時	加熱コイル、微粒子フィルタ、チャ コールフィルタ		
	中央制御室空調ユニット (4)	約 500	MS-1、重*2	連続	冷却コイル、粗フィルタ		
	安全補機開閉器室空調ユニット (2)	約1,270	MS-1	連続	冷却コイル、粗フィルタ		
	中央制御室非常用循環フィルタユニット (2)	約 200	MS-1、重*2	一時	微粒子フィルタ、粗フィルタ、チャ コールフィルタ		
	中間建屋給気ユニット (1)	約1,470	MS-2	連続	加熱コイル		
	余熱除去ポンプ室冷却ユニット (2)	約 90	MS-2	一時	冷却コイル		
	格納容器スプレイポンプ室冷却ユニット (2)	約 30	MS-2	一時	冷却コイル		
	充てん/高圧注入ポンプ室冷却ユニット (2)	約 30	MS-2	連続	冷却コイル		
	配管貫通部冷却ユニット (2)	約 70	MS-2	連続	冷却コイル		
格納容器再循環ユニット (2) *3	約2,800	重*2	連続	冷却コイル			

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

\*3：格納容器再循環ユニットは全4台あるが、常設重大事故等対処設備に属する機器は2台である。

## 2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の空調ユニットについて技術評価を実施する。

### ① 安全補機開閉器室空調ユニット

#### 2.1 構造、材料および使用条件

##### 2.1.1 安全補機開閉器室空調ユニット

###### (1) 構造

高浜4号炉の安全補機開閉器室空調ユニットは、冷却機能を有する冷却コイル、空気浄化機能を有する粗フィルタを内蔵しており、バウンダリを形成するユニット骨組鋼材、外板等で構成されている。

高浜4号炉の安全補機開閉器室空調ユニットの構造図を図2.1-1および図2.1-2に示す。

###### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の安全補機開閉器室空調ユニット主要部位の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

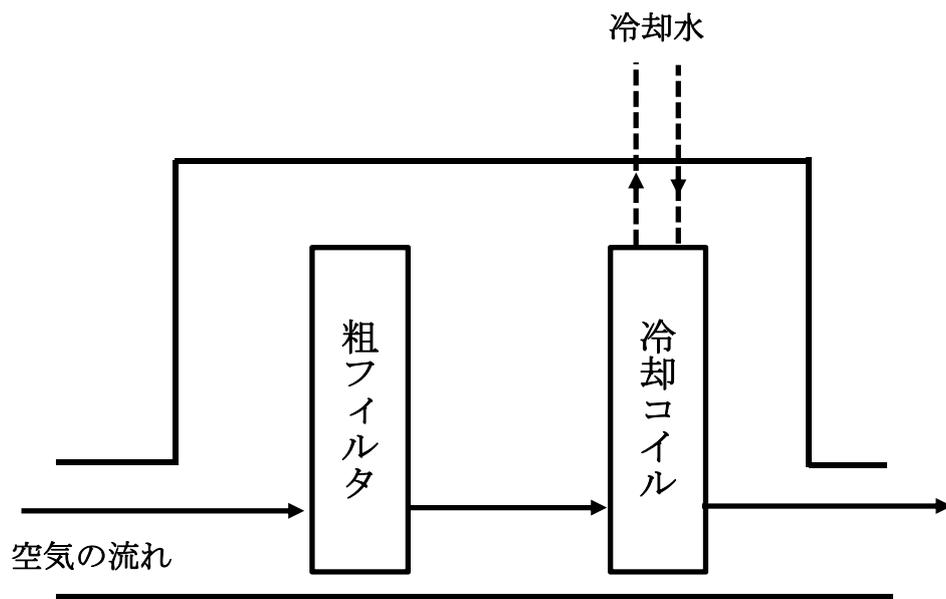
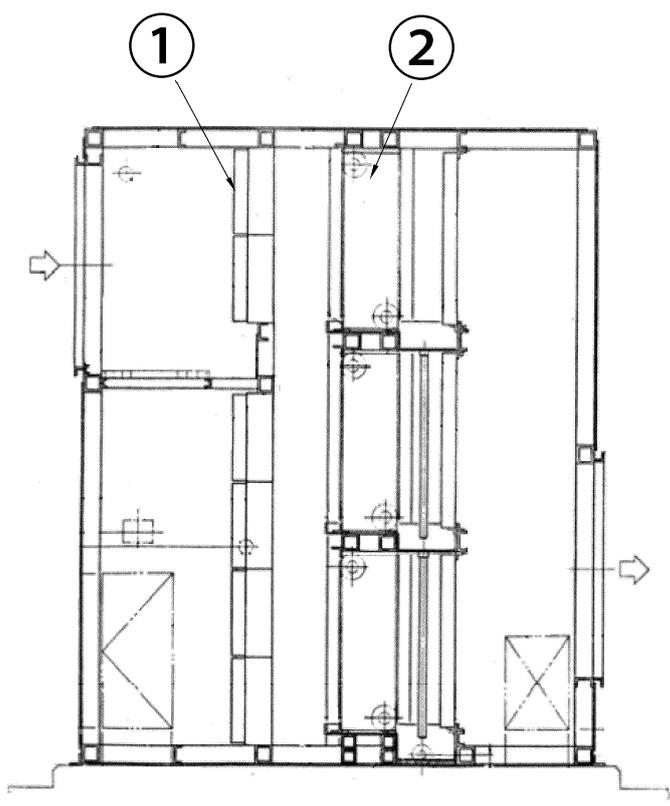
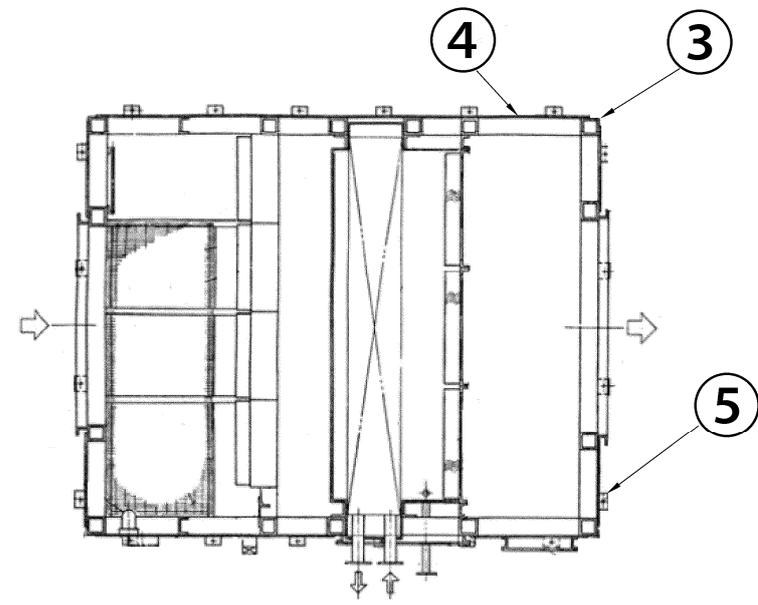


図2. 1-1 高浜 4 号炉 安全補機開閉器室空調ユニットの構成図



No.	部位
①	粗フィルタ
②	冷却コイル
③	ユニット骨組鋼材
④	外板
⑤	基礎ボルト

図2.1-2 高浜4号炉 安全補機開閉器室空調ユニット構造図

表2.1-1 高浜4号炉 安全補機開閉器室空調ユニット主要部位の使用材料

構成機器	部位	材料
ユニット内蔵品	粗フィルタ	消耗品・定期取替品
	冷却コイル	銅合金
ユニット構造部	ユニット骨組鋼材	炭素鋼
	外板	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 安全補機開閉器室空調ユニットの使用条件

容量	約1,270m <sup>3</sup> /min
設置場所	屋内
周囲温度	約35℃

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

安全補機開閉器室空調ユニットの機能である空調機能を持続するためには、次の項目が必要である。

- ① 加熱・冷却機能の確保
- ② 空気浄化機能の確保
- ③ 機器の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

安全補機開閉器室空調ユニットについて、機能達成に必要な項目を考慮して、主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

(1) ユニット骨組鋼材および外板の腐食（全面腐食）

ユニット骨組鋼材および外板は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装または亜鉛メッキにより腐食を防止しており、塗膜またはメッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

(2) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

(3) 冷却コイルの内面からの腐食（全面腐食）

冷却コイルは銅合金であり、長期の使用により内面からの腐食が想定される。

しかしながら、内部流体は純水であるが耐食性に優れた材料（りん脱酸銅）を使用していることから、腐食が発生しがたいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

#### 2.2.4 消耗品および定期取替品

粗フィルタは試運転時等のフィルタ差圧目視確認結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 高浜4号炉 安全補機開閉器室空調ユニットに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食 割れ	熱時効	劣化		
加熱・冷却機能、 空気浄化機能の確保	粗フィルタ	◎	—								
	冷却コイル		銅合金		▲(内面)						
	ユニット骨組鋼材		炭素鋼		△						
	外板		炭素鋼		△						
機器の支持	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

### 3. 代表機器以外への展開

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

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

- ① 安全補機室空気浄化フィルタユニット
- ② アニュラス空気浄化フィルタユニット
- ③ 中央制御室空調ユニット
- ④ 中央制御室非常用循環フィルタユニット
- ⑤ 中間建屋給気ユニット
- ⑥ 余熱除去ポンプ室冷却ユニット
- ⑦ 格納容器スプレイポンプ室冷却ユニット
- ⑧ 充てん／高圧注入ポンプ室冷却ユニット
- ⑨ 配管貫通部冷却ユニット
- ⑩ 格納容器再循環ユニット

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

##### 3.1.1 ユニット骨組鋼材および外板の腐食（全面腐食） [共通]

ユニット骨組鋼材および外板は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装または亜鉛メッキにより腐食を防止しており、塗膜またはメッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

### 3.1.2 電気ヒータの絶縁低下 [安全補機室空気浄化フィルタユニット、アニュラス空気浄化フィルタユニット]

安全補機室空気浄化フィルタユニットおよびアニュラス空気浄化フィルタユニットには、事故時に流入する湿分を含んだ空気の除湿を目的として、電気ヒータが設置されている。

電気ヒータの絶縁材は、発熱体の発熱により、発熱体の成分 (Ni、Cr) が拡散し、酸化マグネシウムの純度が低下することによる絶縁低下が想定される。

しかしながら、電気ヒータは通常時は通電していないことから急激に絶縁低下の進行がしがたい。

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

なお、機器点検時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.3 取付ボルトの腐食 (全面腐食) [余熱除去ポンプ室冷却ユニット、格納容器スプレイポンプ室冷却ユニット、配管貫通部冷却ユニット]

取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

### 3.1.4 基礎ボルトの腐食 (全面腐食) [安全補機室空気浄化フィルタユニット、アニュラス空気浄化フィルタユニット、中央制御室空調ユニット、中央制御室非常用循環フィルタユニット、中間建屋給気ユニット、充てん/高圧注入ポンプ室冷却ユニット、配管貫通部冷却ユニット、格納容器再循環ユニット] および樹脂の劣化 [格納容器再循環ユニット]

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

また、格納容器再循環ユニットのケミカルアンカには樹脂を使用しており、劣化が想定される。

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

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

3.1.5 冷却コイルの内面からの腐食（全面腐食） [中央制御室空調ユニット、余熱除去ポンプ室冷却ユニット、格納容器スプレイポンプ室冷却ユニット、充てん／高圧注入ポンプ室冷却ユニット、配管貫通部冷却ユニット、格納容器再循環ユニット]

冷却コイルは銅合金であり、長期の使用により内面からの腐食が想定される。

しかしながら、内部流体は純水であるが耐食性に優れた材料（りん脱酸銅）を使用していることから、腐食が発生しがたい。

また、格納容器再循環ユニットについては内部流体がヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、腐食が発生しがたい環境であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.6 加熱コイルの内面からの腐食（流れ加速型腐食） [中間建屋給気ユニット]

加熱コイルは銅合金であり、内部流体が蒸気であるため、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、流速が十分に遅いことから流れ加速型腐食による減肉の発生がしがたいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

## 4 冷凍機

[対象機器]

- ① チラーユニット

## 目次

1. 技術評価対象機器	1
2. チラーユニットの技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	11

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されている冷凍機的主要仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 冷凍機的主要仕様

機器名称 (台数)	仕様 (容量)	重要度*1	使用条件		
			運転状態		
チラーユニット (2)	1,088,640kcal/h (冷却能力)	MS-1	連続	本体	圧縮機、凝縮器、蒸発器、モータ*2、冷媒配管
				冷水系統	冷水膨張タンク、冷水ポンプ、モータ*2、配管

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：モータについては、本評価書のモータにて評価している。

## 2. チラーユニットの技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### (1) 構造

高浜4号炉のチラーユニットは2台設置されている。

本ユニットは、安全補機開閉器室空調ユニット等に冷水（純水）を供給することを目的としており、圧縮機、凝縮器、蒸発器等で構成されている。

圧縮機はターボ式であり、凝縮器および蒸発器は1つの胴内に納められている構造である。

圧縮機のケーシングには鋳鉄を使用し、羽根車にはアルミニウム合金鋳物を使用しており、冷媒（フルオロカーボン）に接している。凝縮器伝熱管には銅合金を使用しており、海水、冷媒（フルオロカーボン）に接している。蒸発器伝熱管には銅合金を使用しており、冷水（純水）、冷媒（フルオロカーボン）に接している。

また、冷水系統の配管等には炭素鋼等を使用している。

高浜4号炉のチラーユニットおよび冷水系統の構成図等を図2.1-1～図2.1-6に示す。

#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉のチラーユニットおよび冷水系統の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

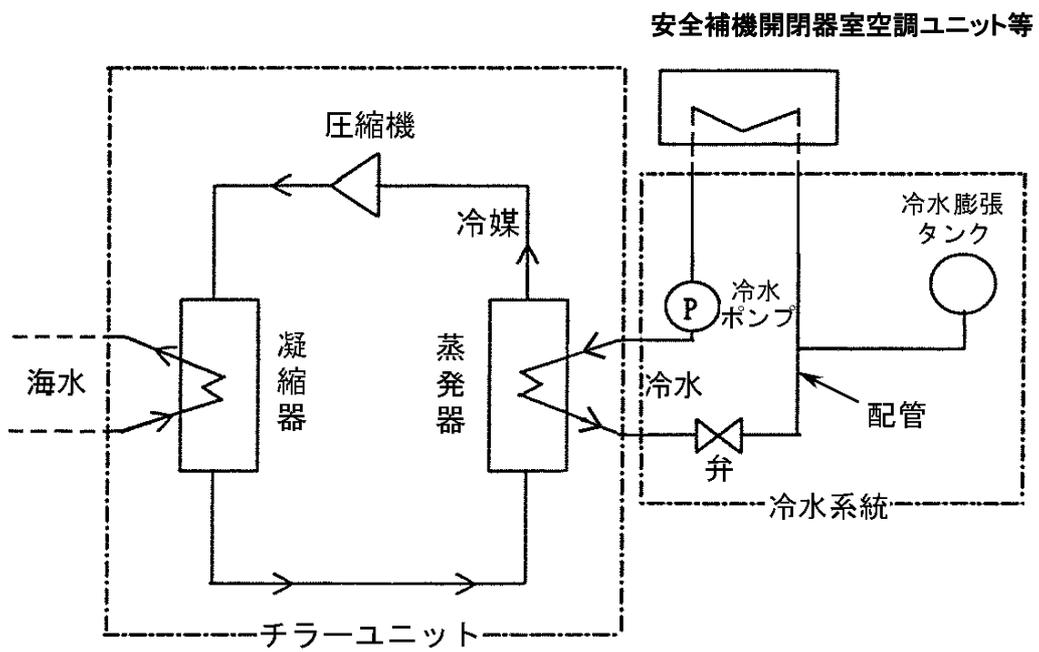
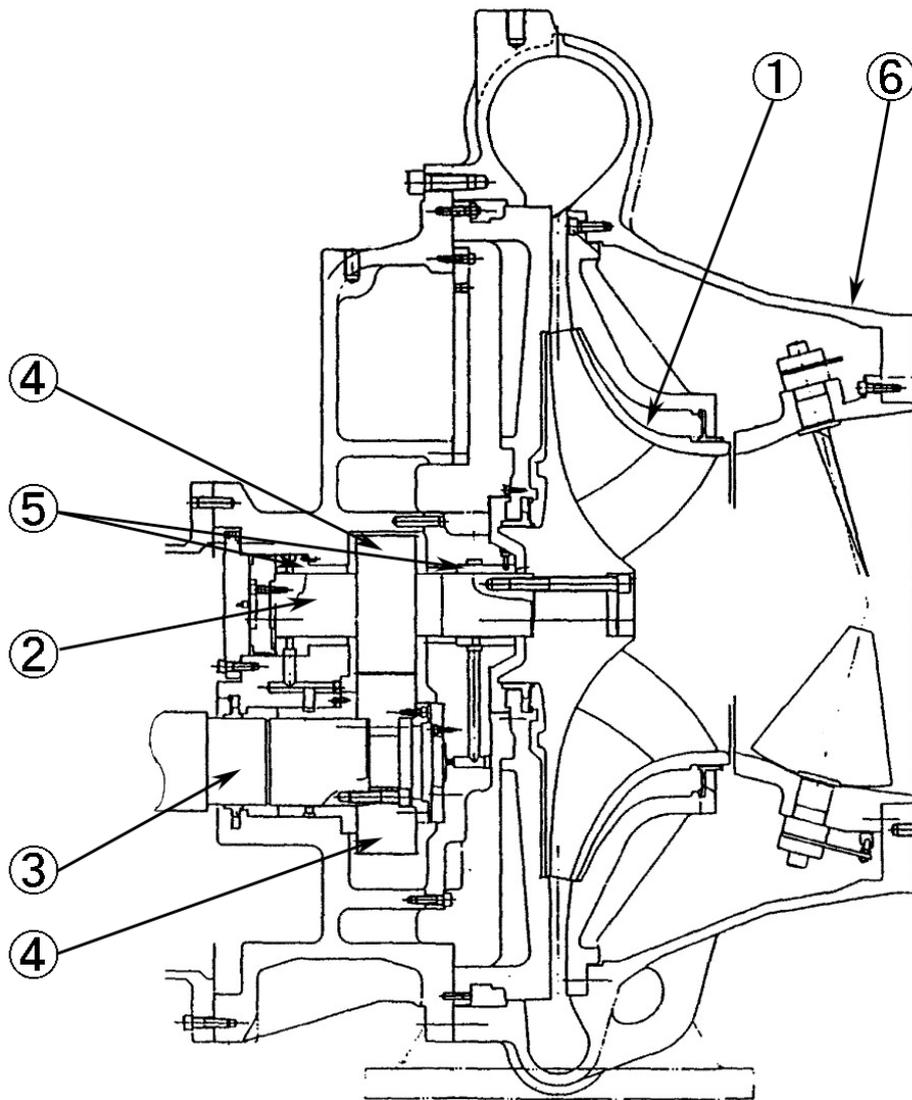
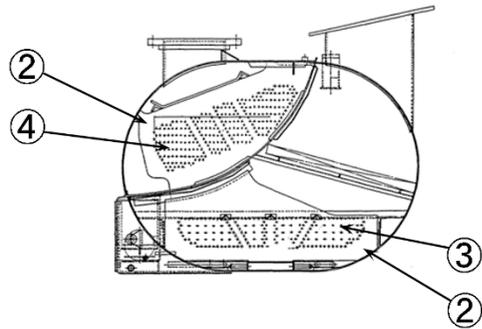
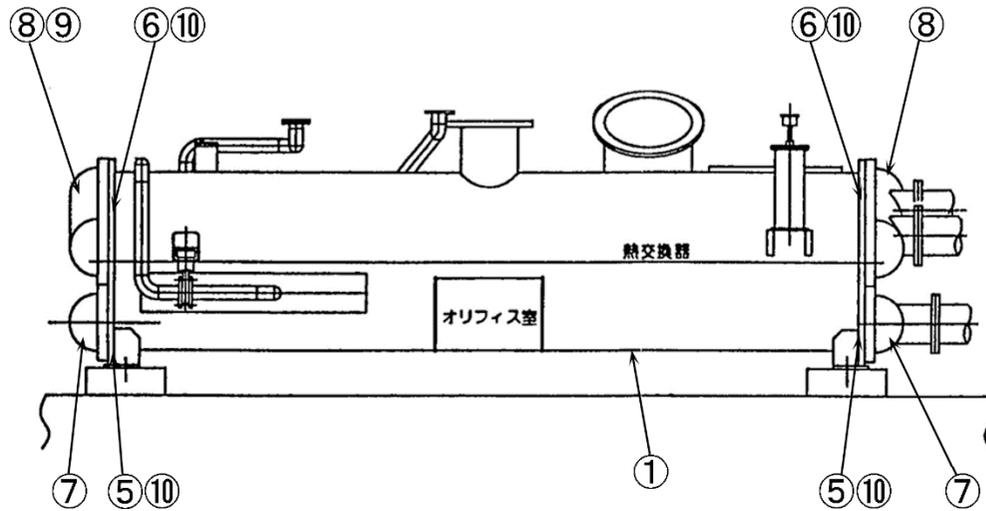


図2.1-1 高浜4号炉 チラーユニットおよび冷水系統構成図



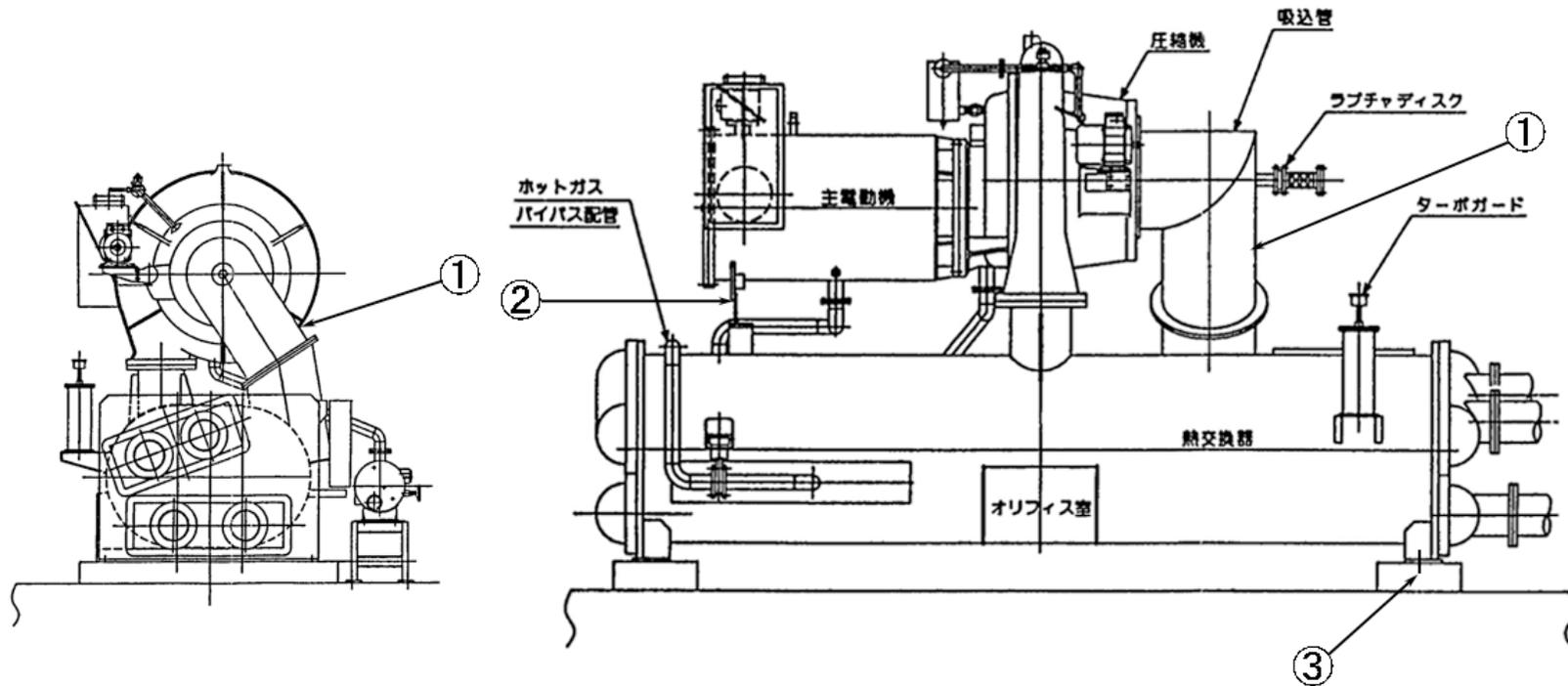
No.	部位
①	羽根車
②	主軸 (羽根車側)
③	主軸 (モータ側)
④	歯車
⑤	軸受(すべり)
⑥	ケーシング

図2.1-2 高浜4号炉 チラーユニット 圧縮機構造図



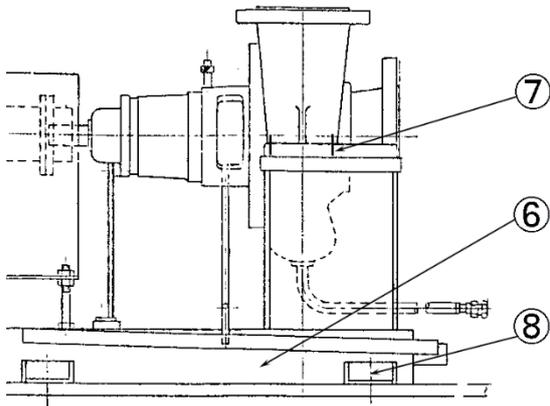
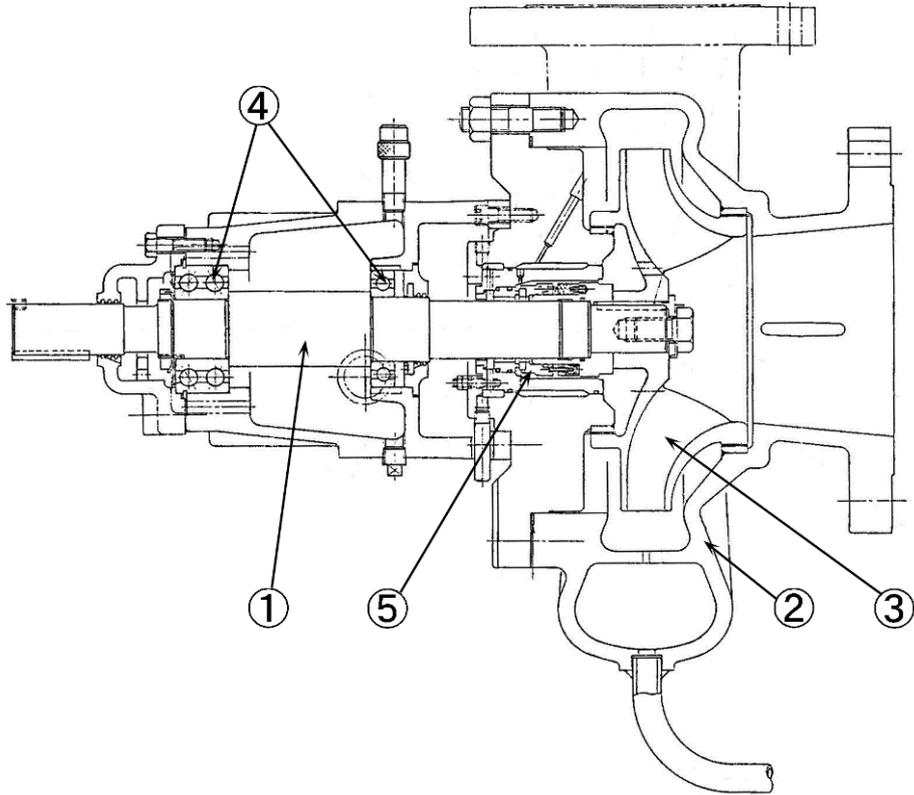
No.	部位
①	胴板
②	支持板
③	蒸発器伝熱管
④	凝縮器伝熱管
⑤	蒸発器管板
⑥	凝縮器管板
⑦	蒸発器水室
⑧	凝縮器水室
⑨	防食亜鉛板
⑩	ガスケット

図2.1-3 高浜4号炉 チラーユニット 熱交換器構造図



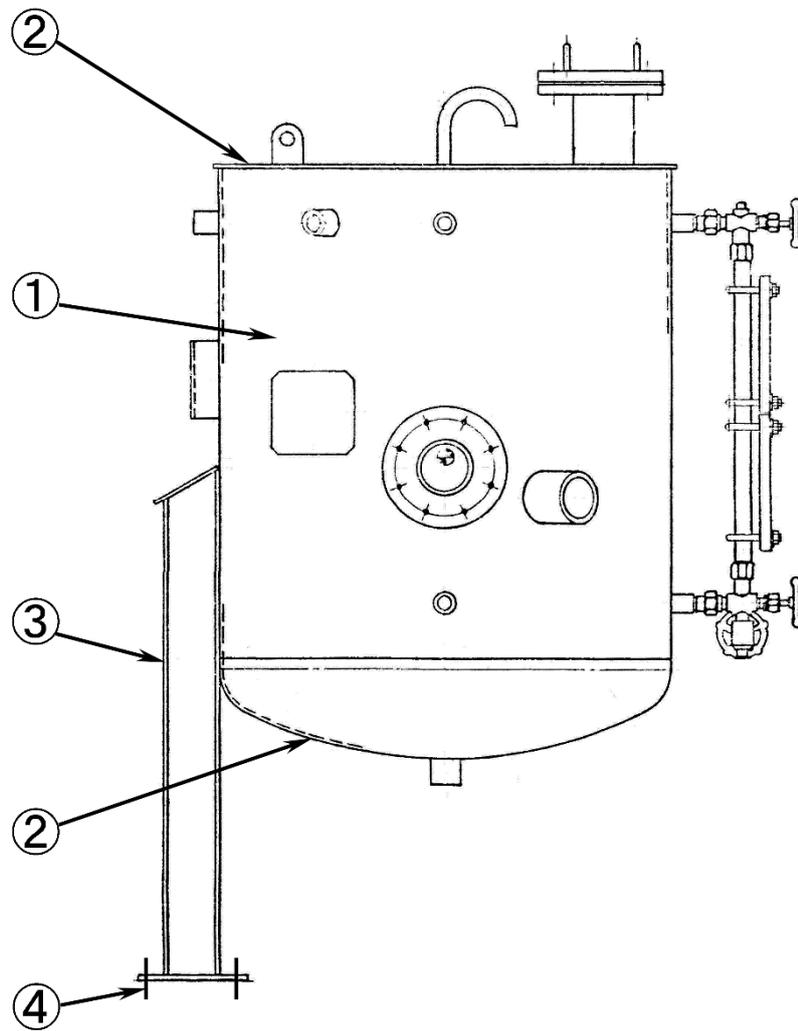
No.	部位
①	冷媒配管
②	架台
③	基礎ボルト

図2.1-4 高浜4号炉 チラーユニット 全体図



No.	部位
①	主軸
②	ケーシング
③	羽根車
④	軸受 (ころがり)
⑤	メカニカルシール
⑥	台板
⑦	取付ボルト
⑧	基礎ボルト

図2.1-5 高浜4号炉 冷水系統 冷水ポンプ構造図



No.	部位
①	胴板
②	天板、底板
③	支持脚
④	取付ボルト

図2.1-6 高浜4号炉 冷水系統 冷水膨張タンク構造図

表2.1-1 高浜4号炉 チラーユニットおよび冷水系統主要部位の使用材料

部位		材料	
圧縮機	羽根車	アルミニウム合金鋳物	
	主軸（羽根車側）	低合金鋼	
	主軸（モータ側）	低合金鋼	
	歯車	低合金鋼	
	軸受（すべり）	消耗品・定期取替品	
	ケーシング	鋳鉄	
熱交換器	胴板	炭素鋼	
	支持板	炭素鋼	
	凝縮器伝熱管	銅合金	
	蒸発器伝熱管	銅合金	
	凝縮器管板	炭素鋼（銅合金クラッド）	
	蒸発器管板	炭素鋼	
	凝縮器水室	炭素鋼（ゴムライニング）	
	蒸発器水室	炭素鋼	
	防食亜鉛板	消耗品・定期取替品	
	ガスケット	消耗品・定期取替品	
冷媒配管		炭素鋼	
冷水系統	配管	炭素鋼	
	冷水ポンプ	主軸	ステンレス鋼
		ケーシング	炭素鋼鋳鋼
		羽根車	ステンレス鋼鋳鋼
		軸受（ころがり）	消耗品・定期取替品
		メカニカルシール	消耗品・定期取替品
	冷水膨張タンク	胴板	炭素鋼
		天板、底板	炭素鋼
支持・固定	架台	炭素鋼	
	基礎ボルト	炭素鋼	
	冷水ポンプ	台板	炭素鋼
		取付ボルト	炭素鋼
		基礎ボルト	炭素鋼
	冷水膨張タンク	支持脚	炭素鋼
		取付ボルト	炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 チラーユニットの使用条件

冷媒	フルオロカーボン
冷水	純水
設置場所	屋内
周囲温度	約40℃

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

チラーユニットの機能である冷凍機能を持続するためには、次の項目が必要である。

- ① 冷水冷却機能の確保
- 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

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

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 圧縮機羽根車の腐食（全面腐食）

圧縮機の羽根車はアルミニウム合金鋳物であり、腐食が想定される。

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(2) 圧縮機主軸（羽根車側、モータ側）および歯車の摩耗

圧縮機の主軸（羽根車側、モータ側）および歯車は歯面によりトルクを伝達するため、摩耗が想定される。

しかしながら、歯面には潤滑油が供給されており、摩耗が発生しがたい環境であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(3) 圧縮機および冷水ポンプ主軸の高サイクル疲労割れ

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

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

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

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

(4) 圧縮機ケーシングおよび冷媒配管の腐食（全面腐食）

圧縮機のケーシングは鋳鉄、冷媒配管は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

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

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

なお、系統機器分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(5) 熱交換器胴板外面からの腐食（全面腐食）

熱交換器の胴板は炭素鋼であり、外面からの腐食が想定される。

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

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、さらに防水措置（保温）が設置されている場合は防水措置（保温）の状態を確認することにより、機器の健全性を維持している。

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

(6) 熱交換器胴板内面および支持板の腐食（全面腐食）

熱交換器の胴板内面および支持板は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、内部流体は冷媒（フルオロカーボン）であり、腐食の発生しがたい環境である。

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

なお、系統機器分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 凝縮器伝熱管の内面腐食（流れ加速型腐食）

凝縮器の伝熱管は銅合金であり、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

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

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

しかしながら、開放点検時の渦流探傷検査により、機器の健全性を維持している。

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

(8) 蒸発器伝熱管の内面腐食（流れ加速型腐食）

蒸発器の伝熱管は銅合金であり、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、開放点検時の渦流探傷検査により、機器の健全性を維持している。

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

(9) 凝縮器および蒸発器伝熱管の外表面からの腐食（全面腐食）

凝縮器および蒸発器の伝熱管は銅合金であり、外表面からの腐食が想定される。

しかしながら、接する流体は冷媒（フルオロカーボン）で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、系統機器分解点検時の目視確認や開放点検時の渦流探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(10) 熱交換器耐圧構成品および冷水系統の炭素鋼使用部位の腐食（全面腐食）

熱交換器（管板、水室）および冷水系統（配管、冷水膨張タンク胴板、天板、底板）は炭素鋼、冷水系統（冷水ポンプケーシング）は炭素鋼鋳鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、熱交換器耐圧構成品および冷水系統の炭素鋼使用部位の内面については内部流体が純水であり（凝縮器内面側を除く）、長期間の使用により腐食が想定される。

しかしながら、酸素含有水中における炭素鋼の腐食挙動が放物線則に従うとして、運転開始後60年の腐食量を評価した結果より、急激な腐食の進行により機器の健全性に影響を与える可能性はない。

また、系統機器分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(11) 凝縮器水室等の海水による腐食（異種金属接触腐食含む）

凝縮器の管板は銅合金であり、長期間の使用により海水接液部において腐食が想定される。

また、凝縮器水室は炭素鋼であり、海水が接するためライニングを施工しているが、ライニングのはく離等により炭素鋼に海水が接した場合、管板の接液部が銅合金であるため、炭素鋼使用部位に異種金属接触腐食が想定される。

しかしながら、開放点検時の目視確認で腐食やライニングの状況を確認し、機器の健全性を維持している。

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

(12) 冷水ポンプ羽根車の腐食（キャビテーション）

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(13) 架台、台板、取付ボルトおよび支持脚の腐食（全面腐食）

架台、台板、取付ボルトおよび支持脚は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

(14) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

2.2.4 消耗品および定期取替品

軸受（すべり）、軸受（ころがり）、防食亜鉛板、ガスケットおよびメカニカルシールは分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/2) 高浜4号炉 チラーユニットに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
冷水冷却機能の確保	圧縮機	羽根車	アルミニウム合金鋳物		△						*1：高サイクル疲労割れ *2：流れ加速型腐食 *3：異種金属接触腐食を含む
		主軸(羽根車側)	低合金鋼	△		△*1					
		主軸(モータ側)	低合金鋼	△		△*1					
		歯車	低合金鋼	△							
		軸受(すべり)	◎	—							
		ケーシング		铸铁		△(内面) △(外面)					
	熱交換器	胴板		炭素鋼		△(内面) △(外面)					
		支持板		炭素鋼		△					
		凝縮器伝熱管		銅合金		△(内面)*2 △(外面)					
		蒸発器伝熱管		銅合金		△(内面)*2 △(外面)					
		凝縮器管板		炭素鋼 (銅合金クラッド)		△(内面)*3 △(外面)					
		蒸発器管板		炭素鋼		△(内面) △(外面)					
		凝縮器水室		炭素鋼 (ゴムライニング)		△(内面)*3 △(外面)					
		蒸発器水室		炭素鋼		△(内面) △(外面)					
		防食皿鉛板	◎	—							
ガスケット	◎	—									

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/2) 高浜4号炉 チラーユニットに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位		消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
					減肉		割れ		材質変化			その他
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
冷水冷却機能の確保	冷媒配管			炭素鋼		△(内面) △(外面)					*1：高サイクル疲労割れ *2：キャビテーション	
	冷水系統	配管		炭素鋼		△(内面) △(外面)						
		冷水ポンプ	主軸		ステンレス鋼			△*1				
			ケーシング		炭素鋼鋳鋼		△(内面) △(外面)					
			羽根車		ステンレス鋼鋳鋼		△*2					
			軸受(ころがり)	◎	—							
			メカニカルシール	◎	—							
	冷水膨張タンク	胴板		炭素鋼		△(内面) △(外面)						
		天板、底板		炭素鋼		△(内面) △(外面)						
機器の支持	架台			炭素鋼		△						
	基礎ボルト			炭素鋼		△						
	冷水ポンプ	台板		炭素鋼		△						
		取付ボルト		炭素鋼		△						
		基礎ボルト		炭素鋼		△						
	冷水膨張タンク	支持脚		炭素鋼		△						
		取付ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

## 5 ダクト

### [対象機器]

- ① 格納容器排気筒
- ② 補助建屋排気筒
- ③ アニュラス空気浄化系統ダクト
- ④ 安全補機室空気浄化系統ダクト
- ⑤ 余熱除去ポンプ室冷却系統ダクト
- ⑥ 配管貫通部冷却系統ダクト
- ⑦ 充てん／高圧注入ポンプ室冷却系統ダクト
- ⑧ 格納容器スプレイポンプ室冷却系統ダクト
- ⑨ 中央制御室空調系統ダクト
- ⑩ 安全補機開閉器室空調系統ダクト
- ⑪ ディーゼル発電機室換気系統ダクト
- ⑫ 中間建屋換気系統ダクト
- ⑬ 格納容器再循環ユニットダクト

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料および使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	9
3. 代表機器以外への展開	14
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	14

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されているダクトの主な仕様を表1-1に示す。

これらのダクトを型式の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すダクトを型式の観点から分類すると以下の2つのグループに分類される。

- ① 排気筒
- ② ダクト

### 1.2 代表機器の選定

#### (1) 排気筒

このグループには格納容器排気筒および補助建屋排気筒が属するが、重要度が高い格納容器排気筒を代表機器とする。

#### (2) ダクト

このグループにはアニュラス空気浄化系統ダクト、安全補機室空気浄化系統ダクト、余熱除去ポンプ室冷却系統ダクト、配管貫通部冷却系統ダクト、充てん／高圧注入ポンプ室冷却系統ダクト、格納容器スプレイポンプ室冷却系統ダクト、中央制御室空調系統ダクト、安全補機開閉器室空調系統ダクト、ディーゼル発電機室換気系統ダクト、中間建屋換気系統ダクトおよび格納容器再循環ユニットダクトが属するが構造は同様であり、重要度が高く、容量が大きい安全補機開閉器室空調系統ダクトを代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 ダクトの主な仕様

分離基準	機器名称	仕様容量 (m <sup>3</sup> /min)	選定基準		代表機器の選定	
			重要度*1	運転状態	代表機器	選定理由
排気筒	格納容器排気筒	約4,060	MS-1、重*2	連続	◎	重要度
	補助建屋排気筒	約4,000	MS-2	連続		
ダクト	アニュラス空気浄化系統ダクト	約500	MS-1、重*2	一時	◎	重要度、容量
	安全補機室空気浄化系統ダクト	約56	MS-1	一時		
	余熱除去ポンプ室冷却系統ダクト	約90	MS-2	一時		
	配管貫通部冷却系統ダクト	約70	MS-2	連続		
	充てん/高圧注入ポンプ室冷却系統ダクト	約30	MS-2	連続		
	格納容器スプレィポンプ室冷却系統ダクト	約30	MS-2	一時		
	中央制御室空調系統ダクト	約1,000	MS-1、重*2	連続		
	安全補機開閉器室空調系統ダクト	約2,640	MS-1	連続		
	ディーゼル発電機室換気系統ダクト	約2,300	MS-2	連続		
	中間建屋換気系統ダクト	約1,570	MS-2	連続		
	格納容器再循環ユニットダクト	約2,800	重*2	連続		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の2種類のダクトについて技術評価を実施する。

- ① 格納容器排気筒
- ② 安全補機開閉器室空調系統ダクト

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 格納容器排気筒

##### (1) 構造

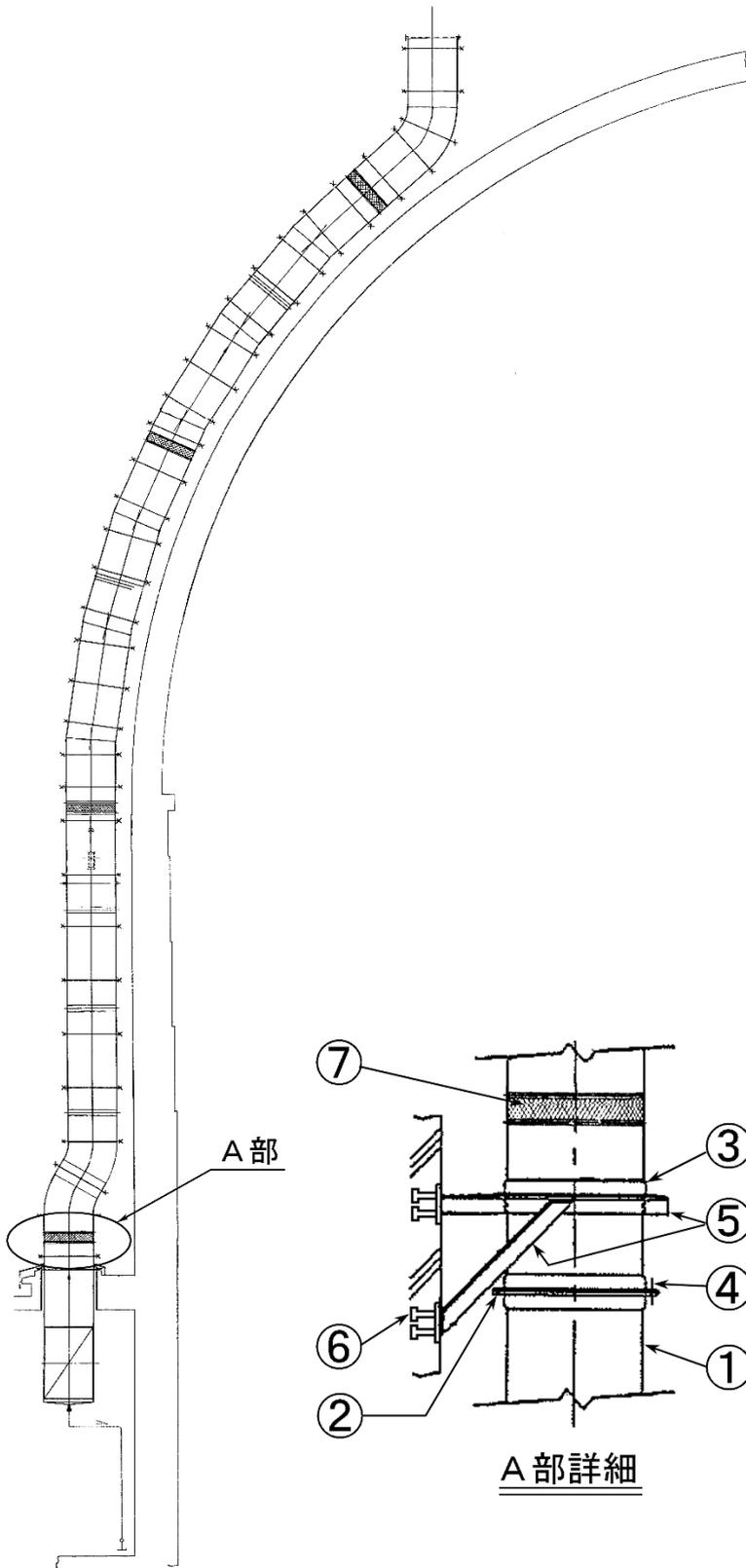
高浜4号炉の格納容器排気筒は、外板、接続鋼材、補強鋼材等で構成されている。

外板にはステンレス鋼を使用し、接続鋼材、補強鋼材等には炭素鋼を使用している。

高浜4号炉の格納容器排気筒の構造図を図2.1-1に示す。

##### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の格納容器排気筒の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	外板
②	接続鋼材
③	補強鋼材
④	接続ボルト
⑤	サポート鋼材
⑥	埋込金物
⑦	伸縮継手

図2. 1-1 高浜 4 号炉 格納容器排気筒構造図

表2.1-1 高浜4号炉 格納容器排気筒主要部位の使用材料

部位	材料
外板	ステンレス鋼
接続鋼材	炭素鋼
補強鋼材	炭素鋼
接続ボルト	炭素鋼
サポート鋼材	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼
伸縮継手	ゴム

表2.1-2 高浜4号炉 格納容器排気筒の使用条件

設置場所	屋外
容量	約4,060m <sup>3</sup> /min

## 2.1.2 安全補機開閉器室空調系統ダクト

### (1) 構造

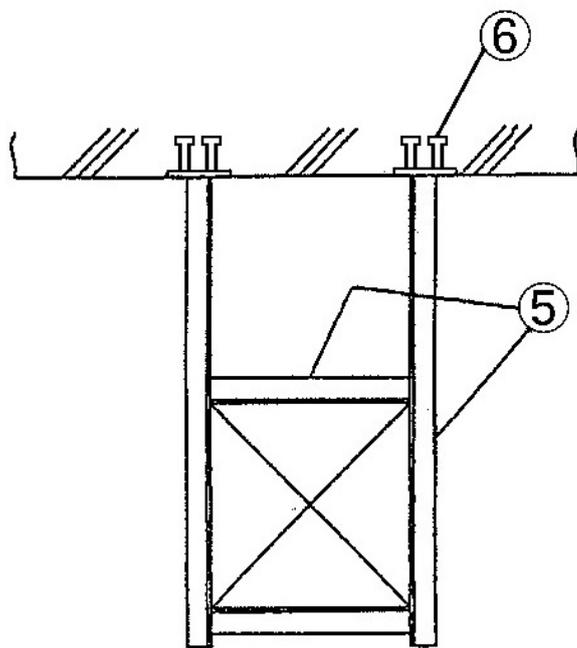
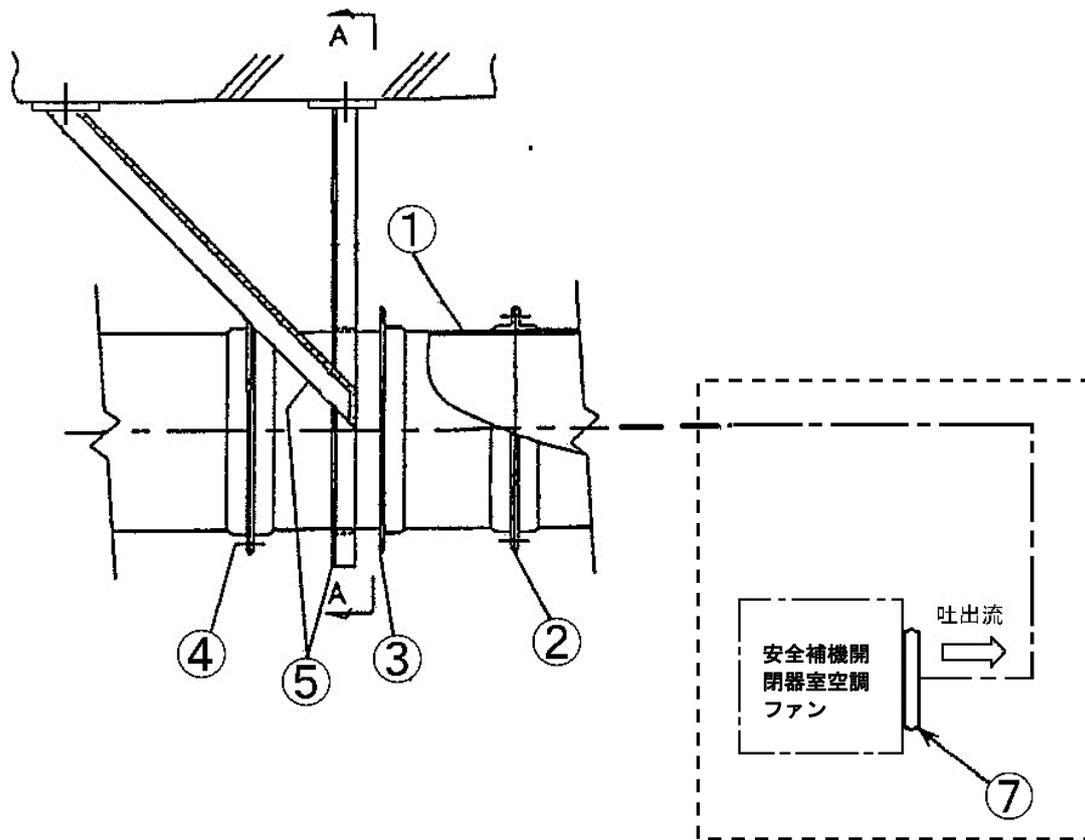
高浜4号炉の安全補機開閉器室空調系統ダクトは、外板、接続鋼材、補強鋼材等で構成されている。

外板、接続鋼材、補強鋼材等には炭素鋼を使用しており、ファン出口にはゴム製の伸縮継手を設置している。

高浜4号炉の安全補機開閉器室空調系統ダクトの構造図を図2.1-2に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の安全補機開閉器室空調系統ダクトの使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



断面 A - A

No.	部位
①	外板
②	接続鋼材
③	補強鋼材
④	接続ボルト
⑤	サポート鋼材
⑥	埋込金物
⑦	伸縮継手

図2.1-2 高浜4号炉 安全補機開閉器室空調系統ダクト構造図

表2.1-3 高浜4号炉 安全補機開閉器室空調系統ダクト主要部位の使用材料

部位	材料
外板	炭素鋼
接続鋼材	炭素鋼
補強鋼材	炭素鋼
接続ボルト	炭素鋼
サポート鋼材	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼
伸縮継手	ゴム

表2.1-4 高浜4号炉 安全補機開閉器室空調系統ダクトの使用条件

設置場所	屋内
容量	約2,640m <sup>3</sup> /min

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

ダクトの機能である通風機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 流路の確保
- 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

ダクト個々について、機能達成に必要な項目を考慮して、主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表2.2-1のとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

(1) 外板の応力腐食割れ [格納容器排気筒]

外板はステンレス鋼であり、外表面に大気中の海塩粒子等の塩分が付着した場合、塩化物イオンによる応力腐食割れが想定される。

しかしながら、外面については塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

(2) 外板の腐食（全面腐食） [安全補機開閉器室空調系統ダクト]

外板は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装または亜鉛メッキにより腐食を防止しており、塗膜またはメッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜またはメッキ面の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、さらに防水措置（保温）が設置されている場合は防水措置（保温）の状態を確認することにより、機器の健全性を維持している。

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

(3) 接続鋼材および補強鋼材等の腐食（全面腐食） [共通]

接続鋼材、補強鋼材、サポート鋼材、接続ボルトおよび埋込金物（コンクリート埋設部以外）は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、さらに防水措置（保温）が設置されている場合は防水措置（保温）の状態を確認することにより、機器の健全性を維持している。

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

(4) 伸縮継手の劣化 [共通]

伸縮継手はゴム製であることから環境的要因により劣化が想定される。

しかしながら、周囲温度は使用条件範囲内であり、これまでに有意な劣化は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、巡視点検等による可視範囲の目視確認により、機器の健全性を確認している。

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

(5) 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食） [共通]

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

表2.2-1(1/2) 高浜4号炉 格納容器排気筒に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
流路の確保	外板		ステンレス鋼				△*1			*1：外面からの 応力腐食割れ *2：コンクリート 埋設部以外 *3：コンクリート 埋設部	
	接続鋼材		炭素鋼		△						
	補強鋼材		炭素鋼		△						
	伸縮継手		ゴム					△			
機器の支持	接続ボルト		炭素鋼		△						
	サポート鋼材		炭素鋼		△						
	埋込金物		炭素鋼		△*2 ▲*3						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-1(2/2) 高浜4号炉 安全補機開閉器室空調系統ダクトに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
流路の確保	外板		炭素鋼		△					*1：コンクリート埋設部以外 *2：コンクリート埋設部	
	接続鋼材		炭素鋼		△						
	補強鋼材		炭素鋼		△						
	伸縮継手		ゴム					△			
機器の支持	接続ボルト		炭素鋼		△						
	サポート鋼材		炭素鋼		△						
	埋込金物		炭素鋼		△ <sup>*1</sup> ▲ <sup>*2</sup>						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

### 3. 代表機器以外への展開

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

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

- ① 補助建屋排気筒
- ② アニュラス空気浄化系統ダクト
- ③ 安全補機室空気浄化系統ダクト
- ④ 余熱除去ポンプ室冷却系統ダクト
- ⑤ 配管貫通部冷却系統ダクト
- ⑥ 充てん／高圧注入ポンプ室冷却系統ダクト
- ⑦ 格納容器スプレイポンプ室冷却系統ダクト
- ⑧ 中央制御室空調系統ダクト
- ⑨ ディーゼル発電機室換気系統ダクト
- ⑩ 中間建屋換気系統ダクト
- ⑪ 格納容器再循環ユニットダクト

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

##### 3.1.1 外板の応力腐食割れ〔補助建屋排気筒〕

外板はステンレス鋼であり、外表面に大気中の海塩粒子等の塩分が付着した場合、塩化物イオンによる応力腐食割れが想定される。

しかしながら、外面については塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

### 3.1.2 外板の腐食（全面腐食）〔補助建屋排気筒を除く〕

外板は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装または亜鉛メッキにより腐食を防止しており、塗膜またはメッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜またはメッキ面の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、さらに防水措置（保温）が設置されている場合は防水措置（保温）の状態を確認することにより、機器の健全性を維持している。

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

### 3.1.3 外板内面の海塩粒子等付着による腐食（腐食孔）〔中央制御室空調系統ダクト〕

外気取入部の外板内面に海塩粒子等が付着することによる腐食（腐食孔）が想定される。

2016年12月、島根発電所2号炉において、中央制御室空調換気系の外気取入ダクトから再循環ライン合流部において海塩粒子等の付着による腐食（腐食孔）が発生している。

しかしながら、高浜4号炉については外気取入口に常時通気のフィルタを設置し、海塩粒子等の侵入を考慮した設計となっており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

また、当該系統の外気取入部から再循環ライン合流部について内面の目視確認をした結果、有意な腐食（腐食孔）は認められなかったことを確認している。

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

なお、空調設備点検時の内面目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.4 接続鋼材および補強鋼材等の腐食（全面腐食）〔共通〕

接続鋼材、補強鋼材、サポート鋼材、接続ボルトおよび埋込金物（コンクリート埋設部以外）は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、さらに防水措置（保温）が設置されている場合は防水措置（保温）の状態を確認することにより、機器の健全性を維持している。

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

### 3.1.5 伸縮継手の劣化〔共通〕

伸縮継手はゴム製であることから環境的要因により劣化が想定される。

しかしながら、屋内に設置されており、紫外線による影響はなく、周囲温度も使用条件範囲内でこれまでに有意な劣化は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、巡視点検等による可視範囲の目視確認により、機器の健全性を確認している。

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

### 3.1.6 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）〔共通〕

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

## 6 ダンパ

[対象機器]

- ① 換気空調系統 空気作動ダンパ
- ② 換気空調系統 手動ダンパ
- ③ 換気空調系統 逆止ダンパ
- ④ 換気空調系統 防火ダンパ

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	6
2.1 構造、材料および使用条件	6
2.2 経年劣化事象の抽出	18
3. 代表機器以外への展開	25
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	25

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されているダンパの主な仕様を表1-1に示す。

これらのダンパを駆動方法の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すダンパを駆動方法の観点で分類すると以下の4つのグループに分類される。

- ① 空気作動ダンパ
- ② 手動ダンパ
- ③ 逆止ダンパ
- ④ 防火ダンパ

### 1.2 代表機器の選定

#### (1) 空気作動ダンパ

重要度が高い格納容器アニュラス給気止めダンパを代表機器とする。

#### (2) 手動ダンパ

重要度が高い安全補機室空気浄化フィルタユニット入口ダンパを代表機器とする。

#### (3) 逆止ダンパ

このグループには、アニュラス浄化戻り逆止ダンパのみが属するため、アニュラス浄化戻り逆止ダンパを代表機器とする。

#### (4) 防火ダンパ

重要度が高い安全補機室排気系 RHRポンプ室防火ダンパを代表機器とする。

表1-1 (1/4) 高浜4号炉 ダンパの主な仕様

分離基準		機器名称 (台数)	選定基準	代表機器の選定	
形式	駆動方法 (作動原理)		重要度*1	代表機器	選定理由
ダンパ	空気作動	格納容器アニュラス給気止めダンパ (1)	MS-1	◎	重要度
		アニュラス換気用給気ダンパ (1)	MS-1		
		格納容器アニュラス排気止めダンパ (1)	MS-1		
		アニュラス換気用排気ダンパ (1)	MS-1		
		格納容器排気ファン出口ダンパ (2)	MS-1		
		燃料取扱室排気第1止めダンパ (1)	MS-1		
		燃料取扱室排気第2止めダンパ (1)	MS-1		
		RHR・CVスプレイポンプ室給気第1止めダンパ (2)	MS-1		
		RHR・CVスプレイポンプ室給気第2止めダンパ (2)	MS-1		
		安全補機室排気第1止めダンパ (1)	MS-1		
		安全補機室排気第2止めダンパ (1)	MS-1		
		安全補機開閉器室空調ファン出口ダンパ (2)	MS-1		
		安全補機開閉器室循環ファン入口ダンパ (2)	MS-1		
		安全補機開閉器室大気放出ダンパ (2)	MS-1		
		安全補機開閉器室循環ファン出口放管室給気系入口連絡ダンパ (2)	MS-1		
		安全補機開閉器室外気取入ダンパ (2)	MS-1		
		安全補機開閉器室循環ダンパ (2)	MS-1		
		燃料取扱室給気第1止めダンパ (1)	MS-2		
		燃料取扱室給気第2止めダンパ (1)	MS-2		
		ディーゼル発電機室給気ファン入口ダンパ (4)	MS-2		
		ディーゼル発電機室排気ダンパ (4)	MS-2		
		中間建屋給気ファン入口ダンパ (2)	MS-2		
		中間建屋給気ファン出口ダンパ (2)	MS-2		
		中間建屋排気ファン入口ダンパ (2)	MS-2		
中間建屋排気ファン出口ダンパ (2)	MS-2				

\*1：機能は最上位の機能を示す。

表1-1 (2/4) 高浜4号炉 ダンパの主な仕様

分離基準		機器名称 (台数)	選定基準	代表機器の選定	
形式	駆動方法 (作動原理)		重要度*1	代表機器	選定理由
ダンパ	空気作動	中間建屋給気ファンバイパスダンパ (2)	MS-2		
		中間建屋給気流量調節ダンパ (2)	MS-2		
		放射線管理室排気流量制御ダンパ (1)	MS-1		
		中央制御室外気取入調整ダンパ (4)	MS-1、重*2		
		中央制御室循環ダンパ (4)	MS-1、重*2		
		中央制御室大気放出ダンパ (4)	MS-1、重*2		
		中央制御室事故時外気取入ダンパ (4)	MS-1、重*2		
		中央制御室事故時循環ダンパ (4)	MS-1、重*2		
		中央制御室外気取入ダンパ (4)	MS-1、重*2		
		中央制御室非常用循環ファン入口ダンパ (4)	MS-1、重*2		
		中央制御室非常用循環ファン出口ダンパ (4)	MS-1、重*2		
		中央制御室空調ユニット入口ダンパ (4)	MS-1、重*2		
		中央制御室空調ファン出口ダンパ (4)	MS-1、重*2		
		中央制御室循環ファン入口ダンパ (4)	MS-1、重*2		
		キッチン排気ファン出口隔離ダンパ (2)	MS-1		
		洗面所排気ファン出口隔離ダンパ (2)	MS-1		
	放射線管理室排気ファン出口ダンパ (2)	MS-1			
	手動	安全補機室空気浄化フィルタユニット入口ダンパ (1)	MS-1	◎	重要度
		安全補機室空気浄化フィルタユニット出口ダンパ (1)	MS-1		
	逆止	アニュラス浄化戻り逆止ダンパ (2)	MS-1	◎	
防火	安全補機室排気系 RHR ポンプ室防火ダンパ (2)	MS-1	◎	重要度	
	安全補機室排気系 CH/SI ポンプ室防火ダンパ (3)	MS-1			
	RHR ポンプ室冷却系給気 RHR ポンプ室防火ダンパ (4)	MS-2			
	RHR ポンプ室冷却系排気 RHR ポンプ室防火ダンパ (2)	MS-2			

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

表1-1 (3/4) 高浜4号炉 ダンパの主な仕様

分離基準		機器名称 (台数)	選定基準	代表機器の選定	
形式	駆動方法 (作動原理)		重要度*1	代表機器	選定理由
ダンパ	防火	CH/SI ポンプ室冷却系給気 ポンプ室防火ダンパ (4)	MS-2		
		CH/SI ポンプ室冷却系排気 ポンプ室防火ダンパ (4)	MS-2		
		D/G室給気系 D/G室防火ダンパ兼風量調整ダンパ (4)	MS-2		
		D/G室排気系 D/G室防火ダンパ (4)	MS-2		
		I/B給気系 CCWポンプ室第1防火ダンパ (1)	MS-2		
		I/B給気系 原子炉補機冷却水ポンプ室防火ダンパ兼風量調整ダンパ (1)	MS-2		
		I/B給気系 中央制御室外原子炉停止盤室防火ダンパ (2)	MS-2		
		I/B排気系 中央制御室外原子炉停止盤室防火ダンパ (2)	MS-2		
		SWGR室給気系 格納容器漏洩率試験室防火ダンパ(1)	MS-1		
		SWGR室排気系 格納容器漏洩率試験室防火ダンパ(1)	MS-1		
		SWGR室給気系 1次系継電器室第1防火ダンパ兼風量調整ダンパ (2)	MS-1		
		SWGR室給気系 1次系継電器室第2防火ダンパ兼風量調整ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室給気系 1次系継電器室第3防火ダンパ兼風量調整ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室給気系 1次系継電器室第4防火ダンパ兼風量調整ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室給気系 RCP母線計測盤室上部第1防火ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室給気系 RCP母線計測盤室上部第2防火ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室給気系 端子台収納室防火ダンパ (2)	MS-1		
		SWGR室給気系 SWGR室上部防火ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室給気系 SWGR室上部第2防火ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室給気系 SWGR室防火ダンパ (2)	MS-1		
		SWGR室給気系 SWGR室第1防火ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室給気系 SWGR室第2防火ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室給気系 RCP母線計測盤室防火ダンパ (1)	MS-1		
SWGR室給気系 2次系継電器室防火ダンパ (1)	MS-1				

\*1: 機能は最上位の機能を示す。

表1-1 (4/4) 高浜4号炉 ダンパの主な仕様

分離基準		機器名称 (台数)	選定基準	代表機器の選定	
形式	駆動方法 (作動原理)		重要度*1	代表機器	選定理由
ダンパ	防火	SWGR室給気系 原子炉コントロールセンタ室防火ダンパ (2)	MS-1		
		SWGR室排気系 1次系継電器室防火ダンパ兼風量調整ダンパ (2)	MS-1		
		SWGR室排気系 SWGR室上部防火ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室排気系 端子台収納室防火ダンパ兼風量調整ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室排気系 端子台収納盤室防火ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室排気系 中央制御室通路防火ダンパ兼風量調整ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室排気系 原子炉コントロールセンタ室防火ダンパ兼風量調整ダンパ (2)	MS-1		
		SWGR室排気系 RCP母線計測盤室上部防火ダンパ (2)	MS-1		
		SWGR室排気系 RCP母線計測盤室防火ダンパ兼風量調整ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室排気系 2次系継電器室防火ダンパ (2)	MS-1		
		SWGR室排気系 SWGR室防火ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室排気系 SWGR室第1防火ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室排気系 SWGR室第2防火ダンパ (1)	MS-1		
		SWGR室排気系 SWGR室上部防火ダンパ兼風量調整ダンパ (1)	MS-1		
		#3中制室給気系 中制室防火ダンパ (1)	MS-1、重*2		
		#3中制室排気系 中制室防火ダンパ (1)	MS-1、重*2		
		#4中制室給気系 中制室防火ダンパ (1)	MS-1、重*2		
#4中制室排気系 中制室防火ダンパ (1)	MS-1、重*2				

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の4種類のダンパについて技術評価を実施する。

- ① 格納容器アニュラス給気止めダンパ
- ② 安全補機室空気浄化フィルタユニット入口ダンパ
- ③ アニュラス浄化戻り逆止ダンパ
- ④ 安全補機室排気系 RHRポンプ室防火ダンパ

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### 2.1.1 格納容器アニュラス給気止めダンパ

##### (1) 構造

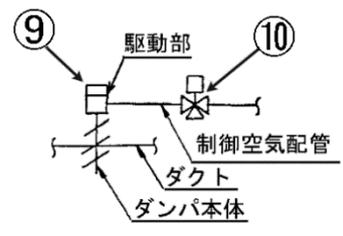
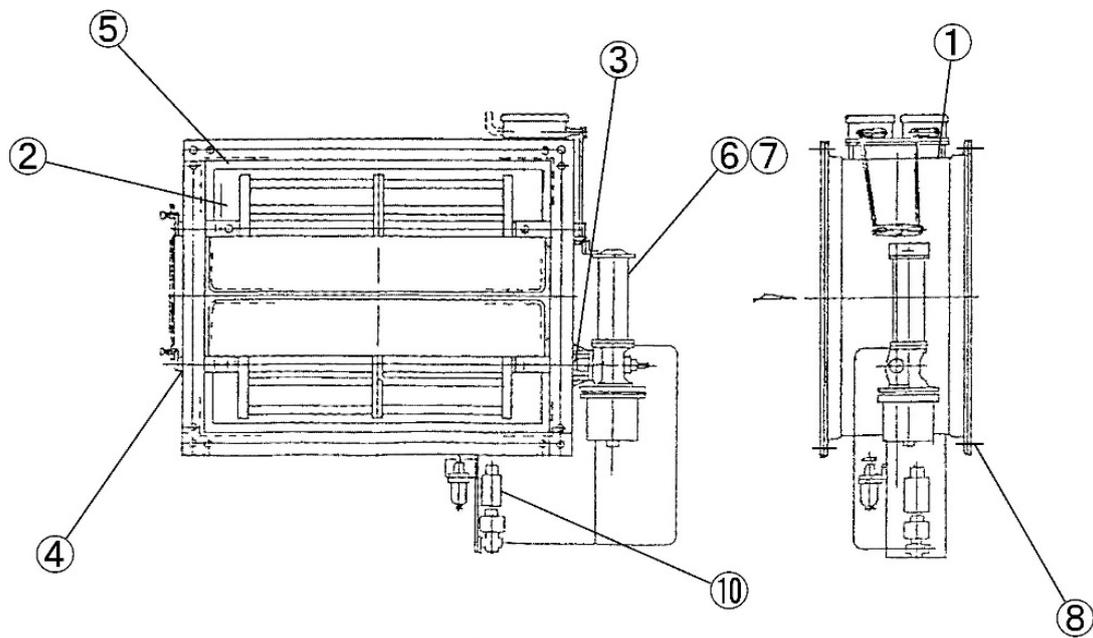
高浜4号炉の格納容器アニュラス給気止めダンパは、流路を構成するケーシング、流路を仕切るダンパ羽根、ダンパ羽根を作動させるダンパシャフトおよび駆動装置（ハウジング、ばね）等で構成されている。

ケーシングおよびダンパ羽根には炭素鋼を使用し、ダンパシャフトにはステンレス鋼を使用している。

高浜4号炉の格納容器アニュラス給気止めダンパの構造図を図2.1-1に示す。

##### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の格納容器アニュラス給気止めダンパの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



空気作動ダンパ制御系統図

No.	部位
①	ケーシング
②	ダンパ羽根
③	ダンパシャフト
④	軸受 (すべり)
⑤	シール
⑥	ハウジング
⑦	ばね
⑧	接続ボルト
⑨	ポジションスイッチ
⑩	電磁弁

図2. 1-1 高浜 4 号炉 格納容器アニュラス給気止めダンパ構造図

表2. 1-1 高浜4号炉 格納容器アニュラス給気止めダンパ主要部位の使用材料

部位	材料
ケーシング	炭素鋼
ダンパ羽根	炭素鋼
ダンパシャフト	ステンレス鋼
軸受 (すべり)	ステンレス鋼
シール	消耗品・定期取替品
ハウジング	炭素鋼
ばね	ばね鋼
接続ボルト	炭素鋼
ポジションスイッチ	消耗品・定期取替品
電磁弁	消耗品・定期取替品

表2. 1-2 高浜4号炉 格納容器アニュラス給気止めダンパの使用条件

サイズ	1,600×1,300 (mm)
使用温度	約40℃
設置場所	屋内

## 2.1.2 安全補機室空気浄化フィルタユニット入口ダンパ

### (1) 構造

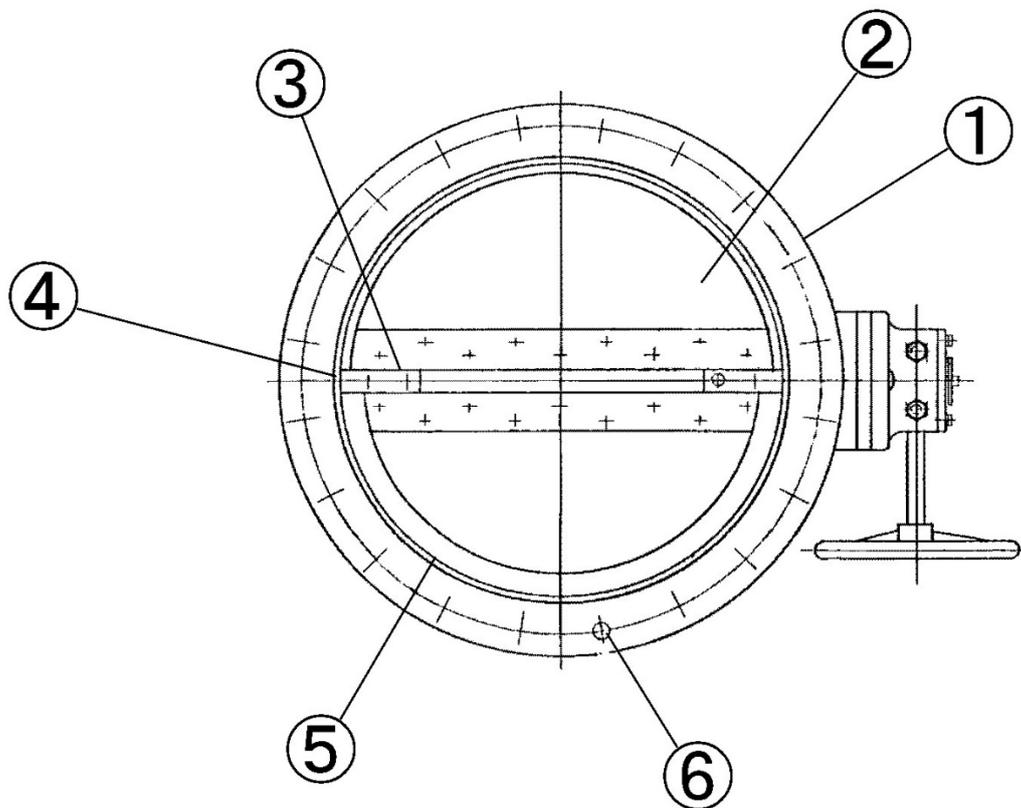
高浜4号炉の安全補機室空気浄化フィルタユニット入口ダンパは、流路を構成するケーシング、流路を仕切るダンパ羽根、ダンパ羽根を作動させるダンパシャフトおよび駆動用のハンドル等で構成されている。

ケーシング、ダンパ羽根には炭素鋼を、ダンパシャフトにはステンレス鋼を使用している。

高浜4号炉の安全補機室空気浄化フィルタユニット入口ダンパの構造図を図2.1-2に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の安全補機室空気浄化フィルタユニット入口ダンパの使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



No.	部位
①	ケーシング
②	ダンパ羽根
③	ダンパシャフト
④	軸受 (すべり)
⑤	シール
⑥	接続ボルト

図2.1-2 高浜4号炉 安全補機室空気浄化フィルタユニット入口ダンパ構造図

表2.1-3 高浜4号炉 安全補機室空気浄化フィルタユニット入口ダンパ  
 主要部位の使用材料

部位	材料
ケーシング	炭素鋼
ダンパ羽根	炭素鋼
ダンパシャフト	ステンレス鋼
軸受 (すべり)	ステンレス鋼
シール	消耗品・定期取替品
接続ボルト	炭素鋼

表2.1-4 高浜4号炉 安全補機室空気浄化フィルタユニット入口ダンパの使用条件

サイズ	φ 450 (mm)
使用温度	約40℃
設置場所	屋内

### 2.1.3 アニュラス浄化戻り逆止ダンパ

#### (1) 構造

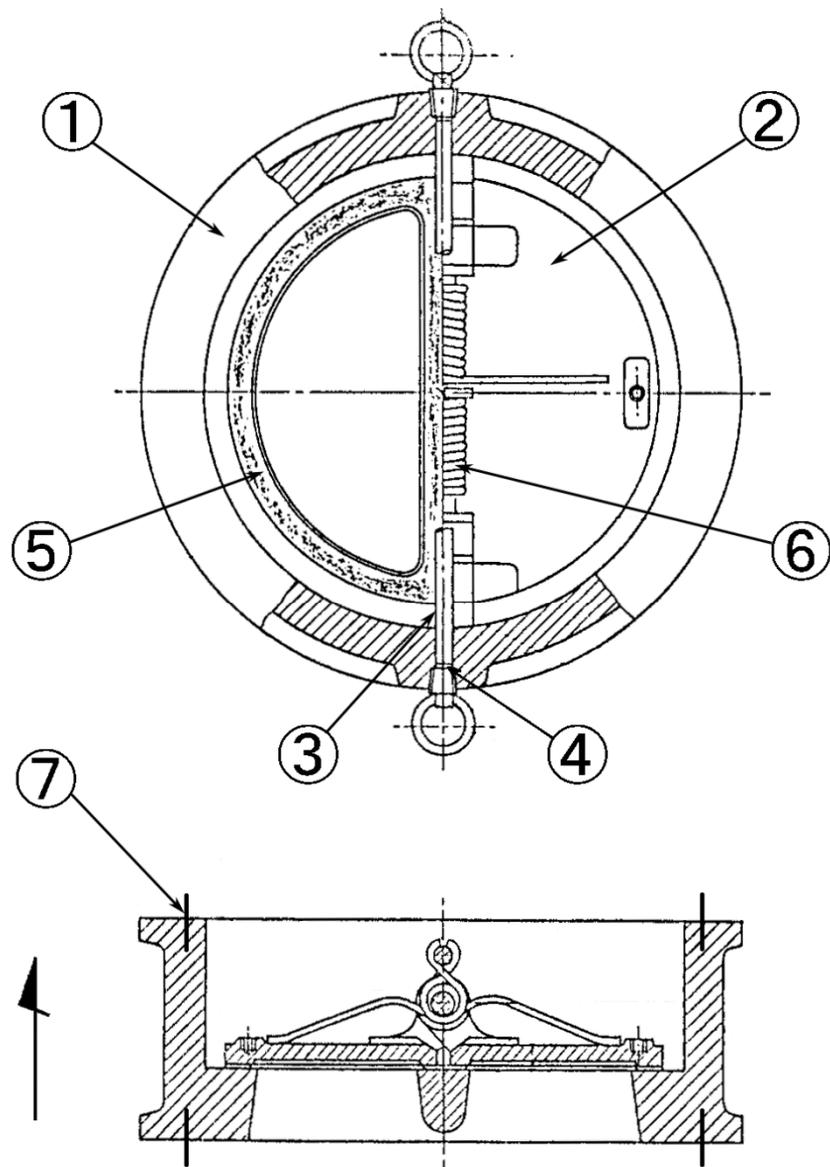
高浜4号炉のアニュラス浄化戻り逆止ダンパは、流路を構成するケーシング、流路を仕切るダンパ羽根、ダンパ羽根を作動させるダンパシャフトおよびばね等で構成されている。

ケーシングおよびダンパ羽根にはステンレス鋼を使用し、ダンパシャフトにはステンレス鋼を使用している。

高浜4号炉のアニュラス浄化戻り逆止ダンパの構造図を図2.1-3に示す。

#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉のアニュラス浄化戻り逆止ダンパの使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。



No.	部位
①	ケーシング
②	ダンパ羽根
③	ダンパシャフト
④	軸受 (すべり)
⑤	シール
⑥	ばね
⑦	接続ボルト

図2.1-3 高浜4号炉 アニュラス浄化戻り逆止ダンパ構造図

表2.1-5 高浜4号炉 アニュラス浄化戻り逆止ダンパ主要部位の使用材料

部位	材料
ケーシング	ステンレス鋼鋳鋼
ダンパ羽根	ステンレス鋼鋳鋼
ダンパシャフト	ステンレス鋼
軸受 (すべり)	ステンレス鋼
シール	樹脂
ばね	ステンレス鋼
接続ボルト	炭素鋼

表2.1-6 高浜4号炉 アニュラス浄化戻り逆止ダンパの使用条件

サイズ	φ 700 (mm)
使用温度	約49℃
設置場所	屋内

#### 2.1.4 安全補機室排気系 RHRポンプ室防火ダンパ

##### (1) 構造

高浜4号炉の安全補機室排気系 RHRポンプ室防火ダンパは、火災の延焼を防止するためダクトに設置されており、流路を構成するケーシング、流路を仕切るダンパ羽根、ダンパ羽根を作動させるダンパシャフトおよびヒューズ等で構成されている。

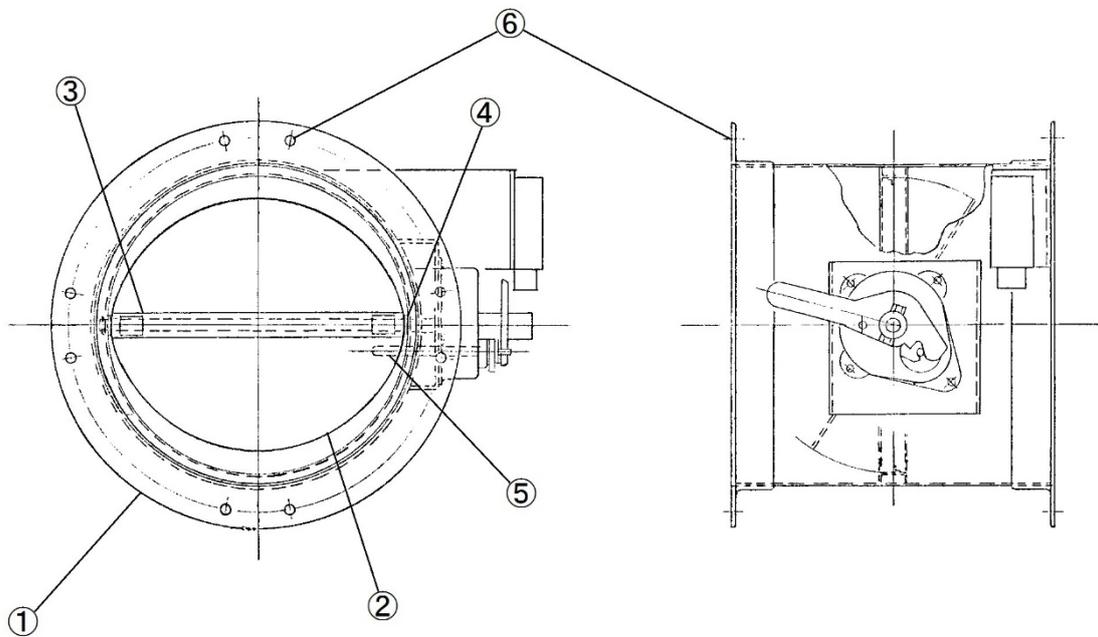
火災が発生すると取り付けられているヒューズが作動し、「閉」の状態となる。

ケーシングおよびダンパ羽根には炭素鋼を使用し、ダンパシャフトには炭素鋼を使用している。

高浜4号炉の安全補機室排気系 RHRポンプ室防火ダンパの構造図を図2.1-4に示す。

##### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の安全補機室排気系 RHRポンプ室防火ダンパの使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。



No.	部位
①	ケーシング
②	ダンパ羽根
③	ダンパシャフト
④	軸受 (すべり)
⑤	ヒューズ
⑥	接続ボルト

図2.1-4 高浜4号炉 安全補機室排気系 RHRポンプ室防火ダンパ構造図

表2.1-7 高浜4号炉 安全補機室排気系 RHRポンプ室防火ダンパ主要部位の使用材料

部位	材料
ケーシング	炭素鋼
ダンパ羽根	炭素鋼
ダンパシャフト	炭素鋼
軸受 (すべり)	ステンレス鋼
ヒューズ	消耗品・定期取替品
接続ボルト	炭素鋼

表2.1-8 高浜4号炉 安全補機室排気系 RHRポンプ室防火ダンパの使用条件

サイズ	φ450 (mm)
使用温度	約40℃
設置場所	屋内

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

ダンパの機能である風量調整機能および系統隔離機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 開閉機能の維持
- 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

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

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

- (1) ケーシングおよびダンパ羽根の腐食（全面腐食）〔格納容器アニュラス給気止めダンパ、安全補機室空気浄化ユニット入口ダンパ、安全補機室排気系 RHRポンプ室防火ダンパ〕

ケーシングおよびダンパ羽根は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装または亜鉛メッキにより腐食を防止しており、塗膜またはメッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

- (2) ダンパシャフトの固着〔安全補機室排気系 RHRポンプ室防火ダンパ〕

ダンパシャフトは炭素鋼であり、潤滑油が不足した場合、長期間の使用による腐食により固着することが想定される。

しかしながら、ダンパシャフトの表面は亜鉛メッキを施し腐食を防止しており、腐食による固着の可能性は小さい。

また、ダンパ作動確認時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

- (3) ハウジングの腐食（全面腐食）〔格納容器アニュラス給気止めダンパ〕

ハウジングは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装または亜鉛メッキにより腐食を防止しており、塗膜またはメッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

(4) ばねの変形（応力緩和） [格納容器アニュラス給気止めダンパ、アニュラス浄化戻り逆止ダンパ]

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

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

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

なお、ダンパ作動確認により、機器の健全性を確認している。

(5) 接続ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

接続ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

#### 2.2.4 消耗品および定期取替品

シールは分解点検時に取替える消耗品であり、ヒューズは目視確認または作動確認結果より取替える消耗品であり、ポジションスイッチおよび電磁弁は定期的に取り替える取替品である。いずれも、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 (1/4) 高浜4号炉 格納容器アニュラス給気止めダンパに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
バウンダリの維持	ケーシング		炭素鋼		△							*1：変形 (応力緩和)
開閉機能の維持	ダンパ羽根		炭素鋼		△							
	ダンパシャフト		ステンレス鋼									
	軸受(すべり)		ステンレス鋼									
	シール	◎	—									
	ハウジング		炭素鋼		△							
	ばね		ばね鋼								△*1	
	ポジションスイッチ	◎	—									
	電磁弁	◎	—									
機器の支持	接続ボルト		炭素鋼		△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1 (2/4) 高浜4号炉 安全補機室空気浄化ユニット入口ダンパに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
バウンダリの維持	ケーシング		炭素鋼		△							
開閉機能の維持	ダンパ羽根		炭素鋼		△							
	ダンパシャフト		ステンレス鋼									
	軸受(すべり)		ステンレス鋼									
	シール	◎	—									
機器の支持	接続ボルト		炭素鋼		△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1 (3/4) 高浜4号炉 アニュラス浄化戻り逆止ダンパに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
バウンダリの維持	ケーシング		ステンレス鋼鋳鋼									*1：変形 (応力緩和)
開閉機能の維持	ダンパ羽根		ステンレス鋼鋳鋼									
	ダンパシャフト		ステンレス鋼									
	軸受(すべり)		ステンレス鋼									
	シール		樹脂									
	ばね		ステンレス鋼								△*1	
機器の支持	接続ボルト		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 (4/4) 高浜4号炉 安全補機室排気系 RHRポンプ室防火ダンパに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
バウンダリの維持	ケーシング		炭素鋼		△							*1：固着
開閉機能の維持	ダンパ羽根		炭素鋼		△							
	ダンパシャフト		炭素鋼								△*1	
	軸受(すべり)		ステンレス鋼									
	ヒューズ	◎	—									
機器の支持	接続ボルト		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章で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

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

- ① 換気空調系統 空気作動ダンパ
- ② 換気空調系統 手動ダンパ
- ③ 換気空調系統 防火ダンパ

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

##### 3.1.1 ケーシングおよびダンパ羽根の腐食（全面腐食） [共通]

ケーシングおよびダンパ羽根は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装または亜鉛メッキにより腐食を防止しており、塗膜またはメッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

##### 3.1.2 ダンパシャフトの固着 [共通]

炭素鋼のダンパシャフトは、潤滑油が不足した場合、長期間の使用による腐食により固着することが想定される。

しかしながら、ダンパシャフトの表面は亜鉛メッキまたはクロムメッキを施し腐食を防止しており、腐食による固着の可能性は小さい。

また、ダンパ作動確認時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

### 3.1.3 ハウジングの腐食（全面腐食） [空気作動ダンパ]

ハウジングは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装または亜鉛メッキにより腐食を防止しており、塗膜またはメッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

### 3.1.4 ばねの変形（応力緩和） [空気作動ダンパ]

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

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

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

なお、ダンパ作動確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.5 接続ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

接続ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

# 高浜発電所 4 号炉

## 機械設備の技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

関西電力株式会社

高浜4号炉で使用されている重機器サポート、空気圧縮装置、燃料取扱設備、原子炉容器上蓋付属設備、非核燃料炉心構成品、濃縮減容設備、アスファルト固化設備、水素再結合装置、雑固体焼却設備および溶離廃液濃縮装置（以上の総称として以下機械設備という）のうち、評価対象機器である安全重要度分類審査指針におけるクラス1、2の機器、高温・高圧の環境下にあるクラス3の機器および常設重大事故等対処設備を設置場所、型式、材料等でグループ化し、同一グループ内の複数の機器の存在を考慮して、構造等の観点から代表機器を選定した。

これらの一覧表を表1に、機能を表2に示す。

本評価書においては、これら代表機器についての技術評価を行うとともに、代表機器以外の機器について技術評価を展開している。

また、基礎ボルトについては各機器の基礎ボルトをまとめて11章で技術評価を実施している。本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考えられる。

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

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

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

機械設備および基礎ボルトは以下の11章に分類している。

- 1 重機器サポート
- 2 空気圧縮装置
- 3 燃料取扱設備
- 4 原子炉容器上蓋付属設備
- 5 非核燃料炉心構成品
- 6 濃縮減容設備
- 7 アスファルト固化設備
- 8 水素再結合装置
- 9 雑固体焼却設備
- 10 溶離廃液濃縮装置
- 11 基礎ボルト

なお、空気圧縮装置の弁のうち、「弁の技術評価書」の一般弁（本体部）に分類可能な弁ならびに濃縮減容設備、アスファルト固化設備、雑固体焼却設備および溶離廃液濃縮装置の弁に分類されるものについては、「弁の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

表 1 (1/10) 高浜 4 号炉 重機器サポートの主な仕様

機器名称	重要度*1	部位名称	使用条件
			最高使用温度 (°C)
原子炉容器サポート	PS-1、重*2	原子炉容器サポート	約170
蒸気発生器サポート	PS-1、重*2	上部サポート	約280
		中間サポート	約280
		オイルスナバ	約210
		下部サポート	約230
		支持脚	約310
1次冷却材ポンプ サポート	PS-1、重*2	上部サポート	約 49
		オイルスナバ	約 49
		下部サポート	約160
		支持脚	約140
加圧器サポート	PS-1、重*2	上部サポート	約190
		下部サポート (スカート)	約320

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

表 1 (2/10) 高浜 4 号炉 空気圧縮装置の主な仕様

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準					代表機器の選定	
設置場所 型式	流体	材料		仕様 (容量)	重要度*1	使用条件			代表 機器	選定理由
						運転状態	最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)		
屋内 往復式	空気	鋳鉄、 炭素鋼	格納容器外制御用空気圧縮装置 (2)	約13.0Nm <sup>3</sup> /min	MS-1	連続	約0.8	約200	◎	重要度
			格納容器内制御用空気圧縮装置 (2)	約0.5Nm <sup>3</sup> /min	MS-2	連続	約0.8	約200		
			非常用ディーゼル発電機 起動用空気圧縮機 (2)	約1.0Nm <sup>3</sup> /min	高*2	一時	約3.2	約200		
			Aガスサンプリング圧縮装置 (1)	約0.03Nm <sup>3</sup> /min	重*3	一時	約1.0	約95		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

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

表 1 (3/10) 高浜 4 号炉 燃料取扱設備の主な仕様

分離基準	機器名称 (台数)	選定基準				代表機器の選定	
		重要度*1	仕様	使用条件		代表機器	選定理由
				運転状態	使用温度		
クレーン	燃料取替クレーン (1)	PS-2	容量×揚程： 燃料集合体 1 体分×約8.2m	一時	気中：約49℃ 水中：約40℃	◎	使用温度
	使用済燃料ピットクレーン (2)	PS-2	容量×揚程： 約20kN×約9.5m	一時	気中：約40℃ 水中：約40℃		
	燃料取扱建屋クレーン (2)	PS-2	容量×揚程： 約1,226kN×約21.1m(主巻) 約196kN×約21.7m(補巻)	一時	気中：約40℃		
—	燃料移送装置 (1)	PS-2	容量×移送距離： 燃料集合体 1 体分×約15.3m	一時	気中*2：約49℃ 約40℃ 水中：約40℃	◎	
—	新燃料ラック (1)	PS-2	容量：108セル	—	常温	◎	

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：上段は原子炉格納容器内を示す。下段は燃料取扱建屋内を示す。

表 1 (4/10) 高浜 4 号炉 原子炉容器上蓋付属設備の主な仕様

分離基準		機器名称 (台数)	選定基準			代表機器の選定	
設置場所	材料		重要度*1	使用条件		代表機器	選定理由
				最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)		
原子炉容器上蓋上	ステンレス鋼	制御棒駆動装置 (52) (予備用4台含む)	PS-1	約17.2	約343	◎	構造 (駆動機構あり)
		炉内熱電対フランジ (3)	PS-1	約17.2	約343		

\*1: 機能は最上位の機能を示す。

表 1 (5/10) 高浜 4 号炉 非核燃料炉心構成品の主な仕様

機器名称 (体数)	重要度*1	使用条件	
		最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)
制御棒クラスター (48)	MS-1、重*2	約17.2	約343

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

表 1 (6/10) 高浜 4 号炉 濃縮減容設備の主な仕様

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準				代表機器の選定	
減容方式	流体	材料		重要度*1	使用条件*2			代表機器	選定理由
					運転状態	最高使用圧力*3 (MPa[gage])	最高使用温度*3 (°C)		
蒸発減容	廃液	ステンレス鋼	廃液蒸発装置 (3)	高*4	一時	約0.1/約0.9	約150/約185	◎	内部流体
	1次冷却材	ステンレス鋼	ほう酸回収装置 (1)	高*4	一時	約0.9/約0.1	約185/約150		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：廃液蒸発装置は加熱器、ほう酸回収装置は蒸発器の使用条件を示す。

\*3：管側／胴側を示す。

\*4：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

表 1 (7/10) 高浜 4 号炉 アスファルト固化設備の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件*2				
		運転状態	最高使用圧力 (MPa [gage])		最高使用温度 (°C)	
アスファルト 固化設備 (1)	高*3	一時	内胴側	大気圧	内胴側	約195
			外胴側	約0.5	外胴側	約300

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：固化混合蒸発器の使用条件を示す。

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

表 1 (8/10) 高浜 4 号炉 水素再結合装置の主な仕様

分離基準	機器名称 (台数)	選定基準				代表機器の選定	
		重要度*1	使用条件			代表機器	選定理由
運転状態	最高使用圧力 (MPa[gage])		最高使用温度 (°C)				
水素再結合装置	水素再結合装置 (2)	高*2	一時	約1.0	約650*4	◎	重要度
	静的触媒式水素再結合装置 (5)	重*3	一時	—	約500*5		
	原子炉格納容器水素燃焼装置 (13)	重*3	一時	約1.6	約200		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

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

\*4：反応器の使用条件を示す。

\*5：水素反応の筐体（排気）温度を示す。

表 1 (9/10) 高浜 4 号炉 雑固体焼却設備の主な仕様

機器名称 (台数)	仕様 (焼却容量)	重要度*1	使用条件*2		
			運転状態	最高使用圧力	最高使用温度 (°C)
雑固体焼却設備 (1)	約75kg/h(雑固体) 約50kg/h(廃油)	高*3	一時	大気圧	約1,100

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：雑固体焼却炉の使用条件を示す。

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

表 1 (10/10) 高浜 4 号炉 溶離廃液濃縮装置の主な仕様

機器名称(台数)	重要度*1	使用条件*2		
		運転状態	最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)
溶離廃液濃縮装置(1)	高*3	一時	約0.1	約120

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：蒸発器の使用条件を示す。

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

表 2 (1/10) 高浜 4 号炉 主要な機械設備 重機器サポートの機能

機器名称	部位名称	機能
原子炉容器サポート	原子炉容器サポート	原子炉容器の自重を支持し、地震時の水平方向の変位を拘束する。
蒸気発生器サポート	上部サポート	蒸気発生器の地震時の水平方向の変位を拘束する。
	中間サポート	蒸気発生器の地震時の水平方向の変位を拘束する。
	オイルスナバ	上部サポートおよび中間サポートを構成しており、蒸気発生器の地震時の水平方向の変位を拘束する。
	下部サポート	蒸気発生器の地震時の水平方向の変位を拘束する。
	支持脚	蒸気発生器の自重を支持し、地震時の鉛直方向の変位を拘束する。
1 次冷却材ポンプサポート	上部サポート	1 次冷却材ポンプの地震時の水平方向の変位を拘束する。
	オイルスナバ	上部サポートを構成しており、1 次冷却材ポンプの地震時の水平方向の変位を拘束する。
	下部サポート	1 次冷却材ポンプの地震時の水平方向の変位を拘束する。
	支持脚	1 次冷却材ポンプの自重を支持し、地震時の鉛直方向の変位を拘束する。
加圧器サポート	上部サポート	加圧器の地震時の水平方向の変位を拘束する。
	下部サポート (スカート)	加圧器の自重を支持し、地震時の水平鉛直方向の変位を拘束する。

表 2 (2/10) 高浜 4 号炉 主要な機械設備 空気圧縮装置の機能

機器名称	機能
格納容器外制御用空気圧縮装置	プラント出力運転中（停止中も含む）の制御に必要な空気作動弁、空気式計器等に清浄で乾燥した圧縮空気を供給する空気圧縮装置である。
格納容器内制御用空気圧縮装置	
非常用ディーゼル発電機 起動用空気圧縮機	非常用ディーゼル機関の始動に必要な圧縮空気を供給する空気圧縮装置である。
A ガスサンプリング圧縮装置	事故後の格納容器内から抽出した雰囲気ガス試料を格納容器内に戻すために圧縮する圧縮装置である。

表 2 (3/10) 高浜 4 号炉 主要な機械設備 燃料取扱設備の機能

機器名称	機能
燃料取替クレーン	原子炉格納容器内キャビティで炉心内燃料集合体の交換のため、炉心と燃料移送装置の間での燃料集合体の移送に使用される燃料取扱設備である。
使用済燃料ピットクレーン	燃料取扱建屋内使用済燃料ピットで燃料集合体および燃料内挿物の移送に使用される燃料取扱設備である。
燃料取扱建屋クレーン	燃料取扱建屋内でキャスク等の移動に使用される燃料取扱設備である。
燃料移送装置	原子炉格納容器内キャビティ、チャンネルと燃料取扱建屋内使用済燃料ピット間の燃料集合体の移送に使用される燃料取扱設備である。
新燃料ラック	原子力発電所に搬入される新燃料を一時貯蔵するために使用される燃料取扱設備である。

表 2 (4/10) 高浜 4 号炉 主要な機械設備 原子炉容器上蓋付属設備の機能

機器名称	機能
制御棒駆動装置	炉心制御のための制御棒を駆動する装置である。
炉内熱電対フランジ	原子炉容器炉内温度計測のための熱電対を原子炉容器から引き出す管台である。

表 2 (5/10) 高浜 4 号炉 主要な機械設備 非核燃料炉心構成品の機能

機器名称	機能
制御棒クラスタ	通常運転中の反応度変化を補償することおよび停止の際炉心の余剰反応度を吸収するための非核燃料炉心構成品である。

表 2 (6/10) 高浜 4 号炉 主要な機械設備 濃縮減容設備の機能

機器名称	機能
廃液蒸発装置	液体廃棄物を補助蒸気により加熱して所定濃度まで蒸発減容させる。発生蒸気は冷却水により蒸留水にする装置である。
ほう酸回収装置	余剰ほう酸水を予熱により脱ガスし補助蒸気により加熱して所定濃度まで蒸発減容させる。発生蒸気は冷却水により蒸留水にする装置である。

表 2 (7/10) 高浜 4 号炉 主要な機械設備 アスファルト固化設備の機能

機器名称	機能
アスファルト固化設備	廃液蒸発装置から出る濃縮液を、加熱しながらアスファルトと混合・蒸発させてドラム詰のアスファルト固化体にする。発生蒸気は冷却水により凝縮水にする設備である。

表 2 (8/10) 高浜 4 号炉 主要な機械設備 水素再結合装置の機能

機器名称	機能
水素再結合装置	<p>体積制御タンク等から排出される放射性気体（以下廃ガスという）から水素ガスのみを除去して廃ガスの容積を減少させる。</p> <p>廃ガスに含まれる水素ガスは、添加される酸素ガスと触媒部で反応して水蒸気が生成され、水蒸気は冷却水にて凝縮し回収する。</p>
静的触媒式水素再結合装置	<p>炉心損傷に伴うジルコニウム－水反応等により原子炉格納容器内に発生する水素と、事故後の長期にわたり緩やかに発生する水の放射線分解による水素の除去を行う設備である。</p>
原子炉格納容器水素燃焼装置	<p>炉心損傷に伴うジルコニウム－水反応等により原子炉格納容器内に発生する水素を計画的に燃焼させることで、初期の水素発生量のピークを抑える設備である。</p>

表 2 (9/10) 高浜 4 号炉 主要な機械設備 雑固体焼却設備の機能

機器名称	機能
雑固体焼却設備	廃固体または廃油を雑固体焼却炉内で焼却減容する。 焼却灰は炉底から排出してドラム詰にする。排ガス中 に含まれる浮遊塵灰は、1次セラミックフィルタおよ び2次セラミックフィルタにて除去する設備である。

表 2 (10/10) 高浜 4 号炉 主要な機械設備 溶離廃液濃縮装置の機能

機器名称	機能
溶離廃液濃縮装置	溶離液により廃樹脂に付着した放射性物質を除去した放射性物質を含む廃液を、加熱して所定濃度まで蒸発減容させる。発生蒸気は冷却水により凝縮水にする設備である。

# 1 重機器サポート

[対象機器]

- ① 原子炉容器サポート
- ② 蒸気発生器サポート
- ③ 1次冷却材ポンプサポート
- ④ 加圧器サポート

## 目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 重機器サポートの技術評価	2
2.1 構造および材料	2
2.2 経年劣化事象の抽出	32
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. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されている重機器サポートの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 重機器サポートの主な仕様

機器名称	重要度*1	部位名称	機能	使用条件
				最高使用温度 (℃)
原子炉容器サポート	PS-1、重*2	原子炉容器サポート	原子炉容器の自重を支持し、地震時の水平方向の変位を拘束する。	約170
蒸気発生器サポート	PS-1、重*2	上部サポート	蒸気発生器の地震時の水平方向の変位を拘束する。	約280
		中間サポート	蒸気発生器の地震時の水平方向の変位を拘束する。	約280
		オイルスナバ	上部サポートおよび中間サポートを構成しており、蒸気発生器の地震時の水平方向の変位を拘束する。	約210
		下部サポート	蒸気発生器の地震時の水平方向の変位を拘束する。	約230
		支持脚	蒸気発生器の自重を支持し、地震時の鉛直方向の変位を拘束する。	約310
1次冷却材ポンプサポート	PS-1、重*2	上部サポート	1次冷却材ポンプの地震時の水平方向の変位を拘束する。	約49
		オイルスナバ	上部サポートを構成しており、1次冷却材ポンプの地震時の水平方向の変位を拘束する。	約49
		下部サポート	1次冷却材ポンプの地震時の水平方向の変位を拘束する。	約160
		支持脚	1次冷却材ポンプの自重を支持し、地震時の鉛直方向の変位を拘束する。	約140
加圧器サポート	PS-1、重*2	上部サポート	加圧器の地震時の水平方向の変位を拘束する。	約190
		下部サポート(スカート)	加圧器の自重を支持し、地震時の水平鉛直方向の変位を拘束する。	約320

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

## 2. 重機器サポートの技術評価

本章では、1章で対象とした以下の重機器サポートについて技術評価を実施する。

- ① 原子炉容器サポート
- ② 蒸気発生器サポート
- ③ 1次冷却材ポンプサポート
- ④ 加圧器サポート

### 2.1 構造および材料

#### 2.1.1 原子炉容器サポート

##### (1) 構造

高浜4号炉の原子炉容器サポートは、1次冷却材出入口管台パッド部に取り付けられており、自重を支持するとともに地震時の水平方向の変位を拘束する構造である。

高浜4号炉の原子炉容器サポートの構造図を図2.1-1に示す。

##### (2) 材料

高浜4号炉の原子炉容器サポートの使用材料を表2.1-1に示す。

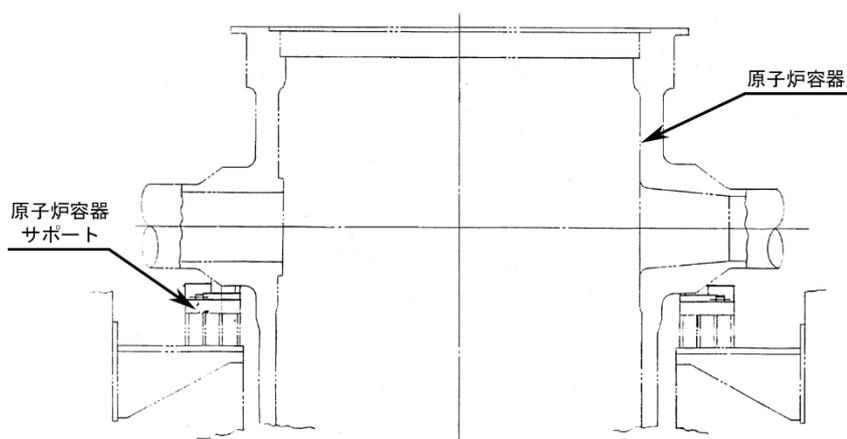
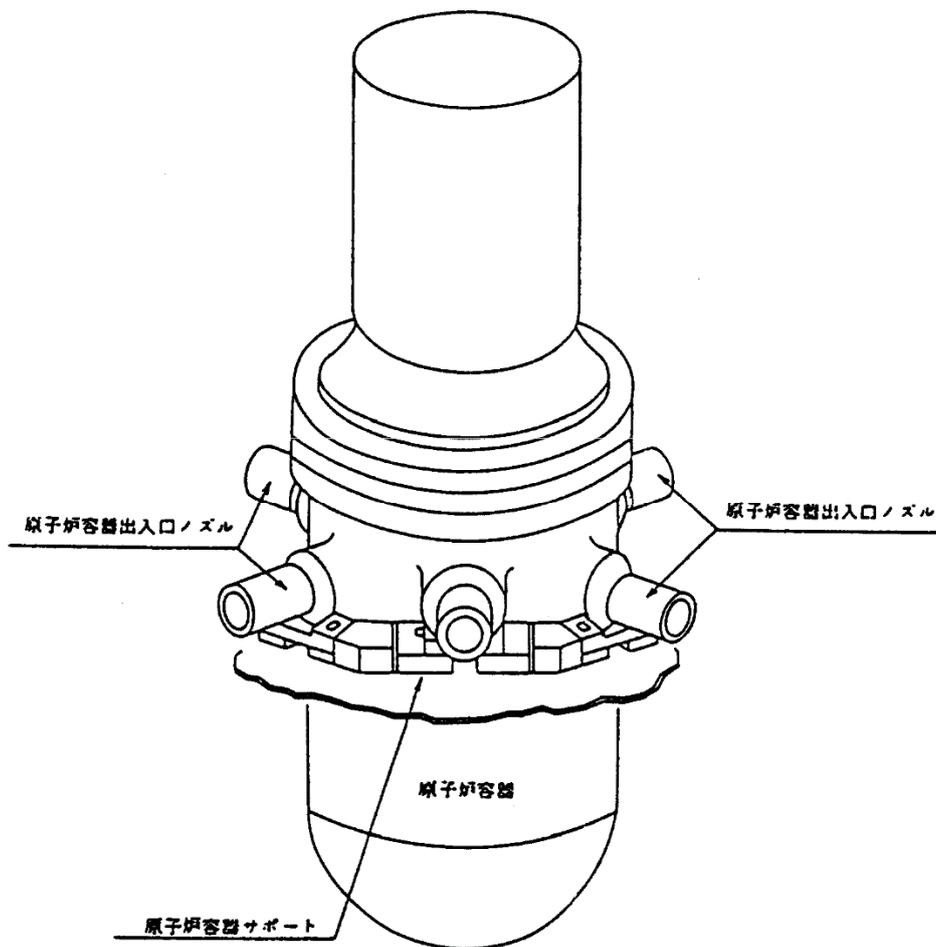
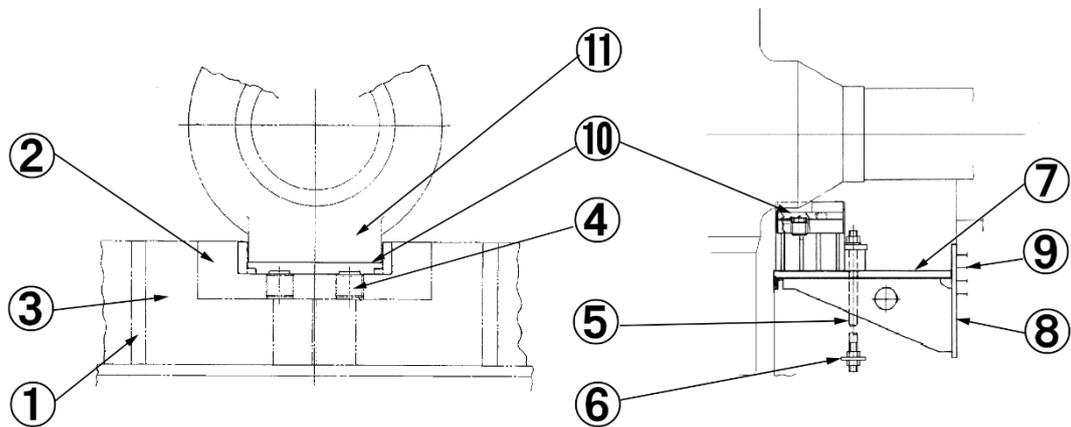


図2.1-1 (1/2) 高浜4号炉 原子炉容器サポート構造図



No.	部位
①	サポートブラケット (側板)
②	サポートブラケット (サポートシュウ)
③	サポートブラケット (サポートリブ)
④	レベリングスクリュー
⑤	基礎ボルト
⑥	埋込金物
⑦	ベースプレート
⑧	外周プレート
⑨	埋込補強材
⑩	シムプレート
⑪	パッド

図2.1-1 (2/2) 高浜4号炉 原子炉容器サポート構造図

表2.1-1 高浜4号炉 原子炉容器サポート主要部位の使用材料

部位	材料
サポートブラケット（側板）	炭素鋼
サポートブラケット（サポートシュー）	低合金鋼
サポートブラケット（サポートリブ）	炭素鋼
レベリングスクリュー	低合金鋼
基礎ボルト	低合金鋼
埋込金物	炭素鋼
ベースプレート	炭素鋼
外周プレート	炭素鋼
埋込補強材	炭素鋼
シムプレート	低合金鋼
パッド	低合金鋼

## 2.1.2 蒸気発生器サポート

### (1) 構造

高浜4号炉の蒸気発生器サポートは、上部サポート、中間サポート、下部サポートおよび支持脚が設置されている。

上部サポート、中間サポートおよび下部サポートは、地震時の水平方向の変位を拘束する構造である。

支持脚は、蒸気発生器水室のパッド部に取り付けられており、自重を支持するとともに地震時の鉛直方向の変位を拘束する構造である。

高浜4号炉の蒸気発生器サポートの構造図を図2.1-2～図2.1-6に示す。

### (2) 材料

高浜4号炉の蒸気発生器サポートの使用材料を表2.1-2～表2.1-5に示す。

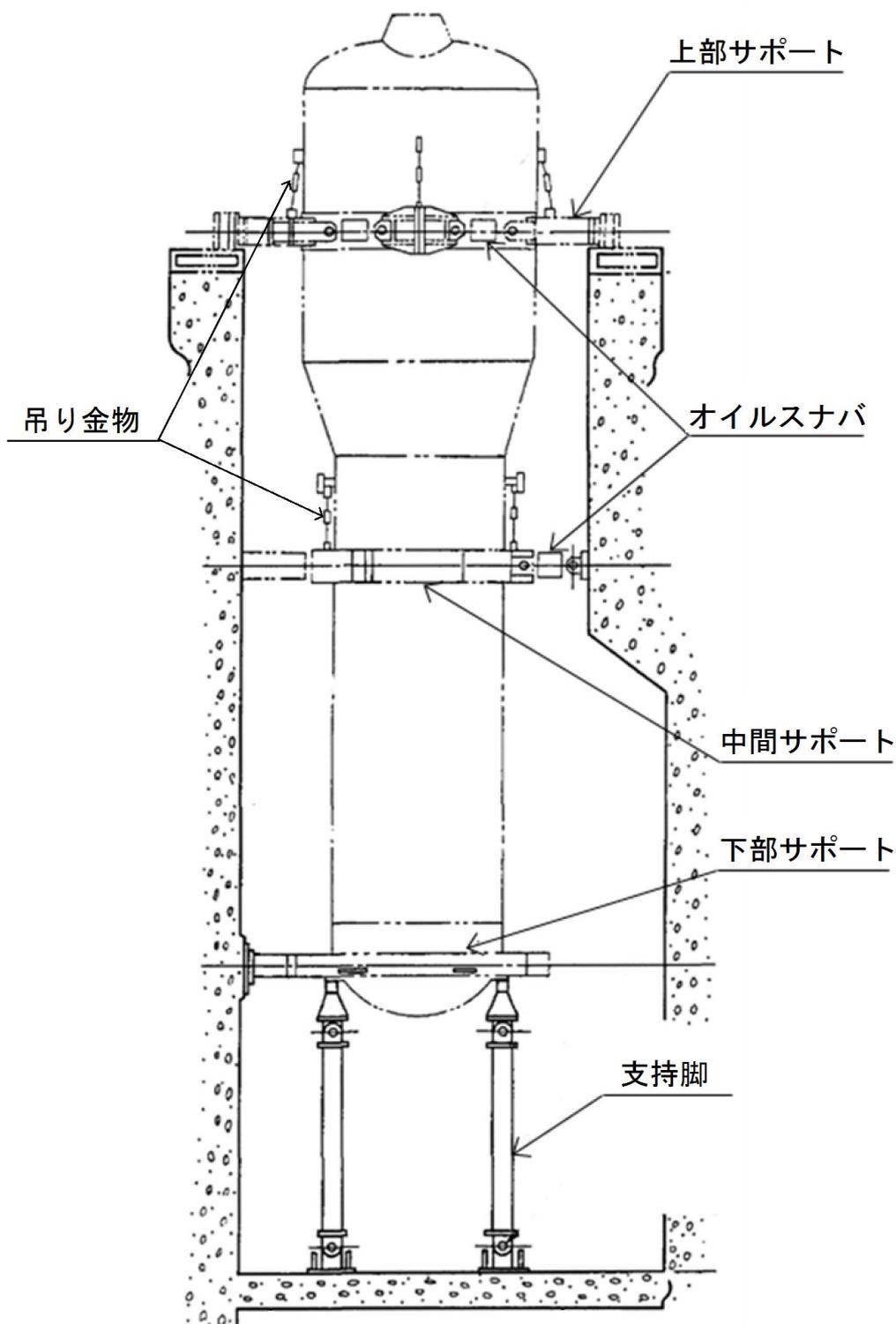
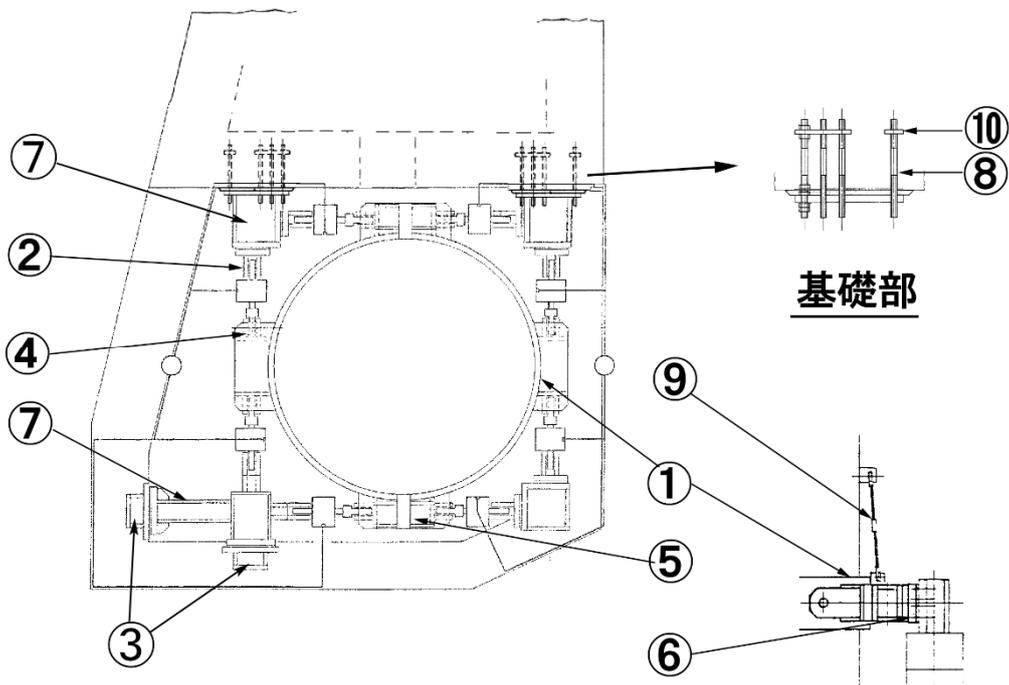
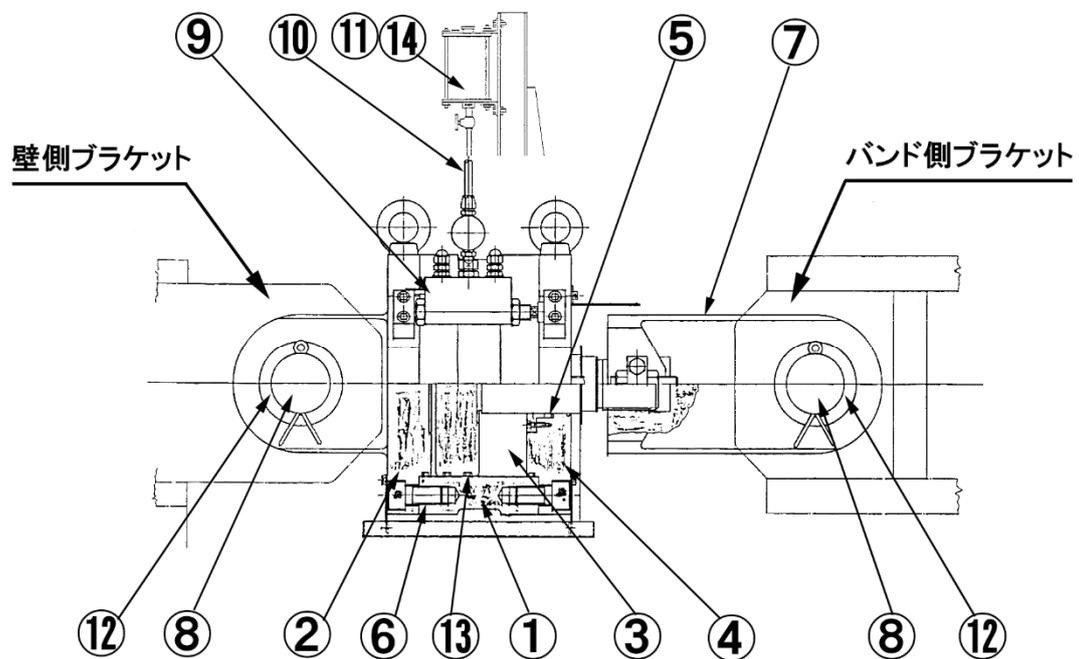


図2.1-2 高浜4号炉 蒸気発生器サポート全体図



No.	部位
①	バンド
②	壁側スナバブラケット
③	サポート支柱
④	バンド側スナバブラケット
⑤	バンド組立ボルト
⑥	壁側スナバブラケット取付ボルト
⑦	サポートビーム
⑧	基礎ボルト
⑨	吊り金物
⑩	埋込金物

図2.1-3(1/2) 高浜4号炉 蒸気発生器上部サポート構造図

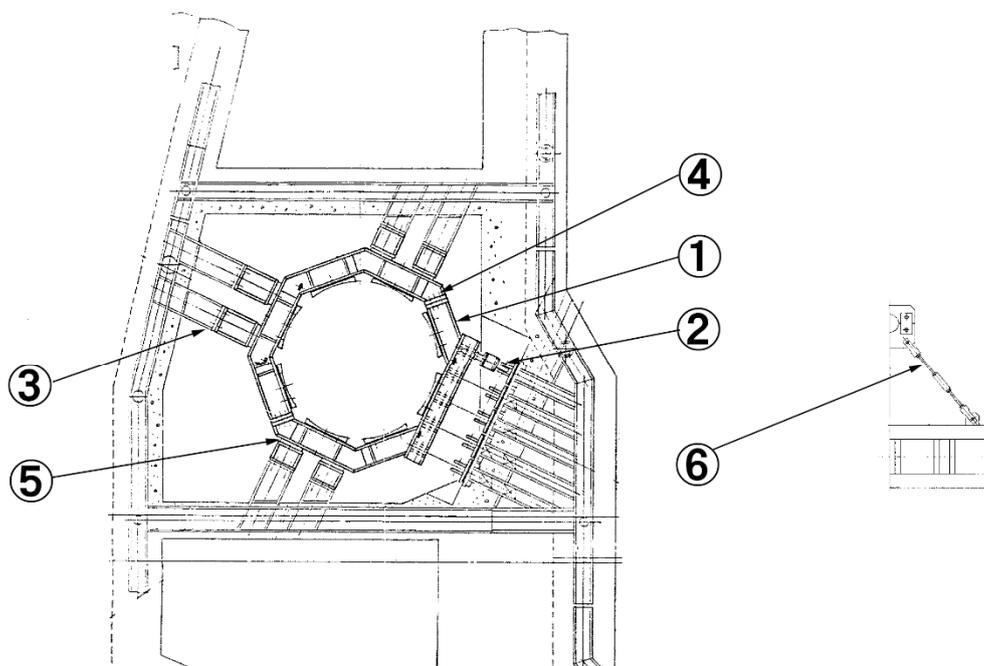


No.	部位	No.	部位
①	シリンダチューブ	⑧	コッターピン
②	シリンダカバー	⑨	コントロールバルブ
③	ピストンロッド	⑩	給油管
④	ロッドカバー	⑪	オイルリザーバ
⑤	ブッシュ	⑫	球面軸受 (すべり)
⑥	タイボルト	⑬	オイルシール
⑦	コネクティングラグ	⑭	オイル

図2. 1-3(2/2) 高浜4号炉 蒸気発生器上部および中間サポートオイルスナバ構造図

表2.1-2 高浜4号炉 蒸気発生器上部サポート主要部位の使用材料

部位		材料
バンド		炭素鋼
壁側スナバブラケット		炭素鋼
サポート支柱		炭素鋼
バンド側スナバブラケット		炭素鋼
バンド組立ボルト		低合金鋼
壁側スナバブラケット取付ボルト		低合金鋼
サポートビーム		炭素鋼
基礎ボルト		低合金鋼
吊り金物		炭素鋼、低合金鋼
埋込金物		炭素鋼
オイル スナ バ	シリンダチューブ	低合金鋼
	シリンダカバー	低合金鋼
	ピストンロッド	低合金鋼
	ロッドカバー	低合金鋼
	ブッシュ	銅合金鋳物
	タイボルト	低合金鋼
	コネクティングラグ	低合金鋼
	コッターピン	低合金鋼
	コントロールバルブ	炭素鋼
	給油管	ステンレス鋼
	オイルリザーバ	ステンレス鋼
	球面軸受（すべり）	軸受鋼
	オイルシール	消耗品・定期取替品
	オイル	消耗品・定期取替品

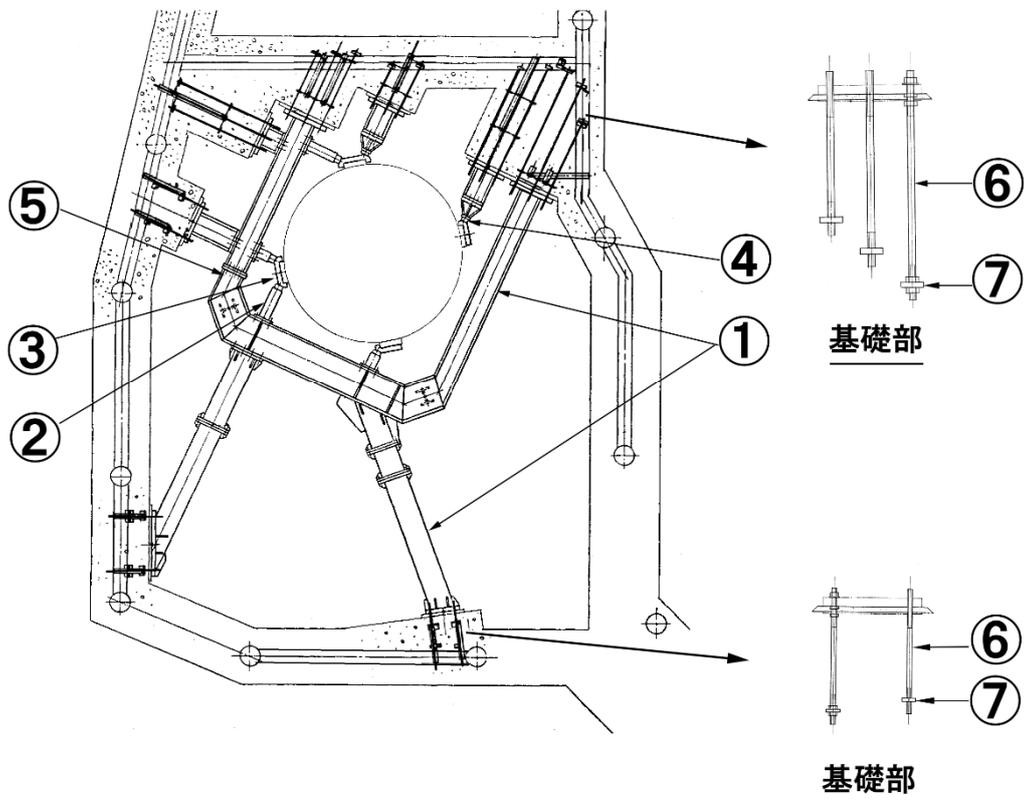


No.	部位
①	リングフレーム
②	壁側スナバブラケット
③	バックバンパ
④	リングフレーム組立ボルト
⑤	シム
⑥	吊り金物

図2.1-4 高浜4号炉 蒸気発生器中間サポート構造図

表2.1-3 高浜4号炉 蒸気発生器中間サポート主要部位の使用材料

部位		材料
リングフレーム		炭素鋼
壁側スナバブラケット		炭素鋼
バックバンパ		炭素鋼
リングフレーム組立ボルト		低合金鋼
シム		炭素鋼
吊り金物		低合金鋼
オイル スナ バ	シリンダチューブ	低合金鋼
	シリンダカバー	低合金鋼
	ピストンロッド	低合金鋼
	ロッドカバー	低合金鋼
	ブッシュ	銅合金鋳物
	タイボルト	低合金鋼
	コネクティングラグ	低合金鋼
	コッターピン	低合金鋼
	コントロールバルブ	炭素鋼
	給油管	ステンレス鋼
	オイルリザーバ	ステンレス鋼
	球面軸受 (すべり)	軸受鋼
	オイルシール	消耗品・定期取替品
	オイル	消耗品・定期取替品

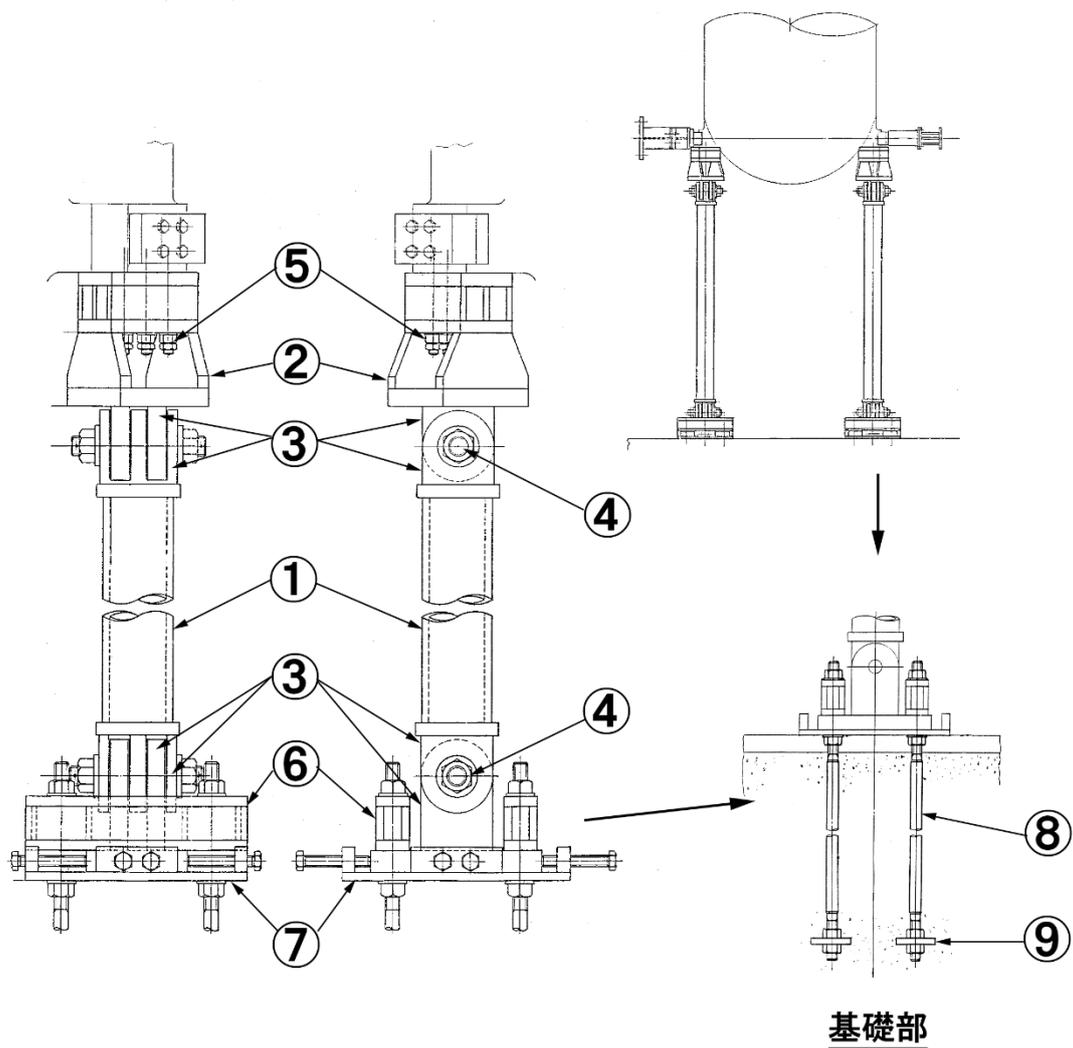


No.	部位
①	サポートビーム
②	サポートブロック
③	パッド
④	シム
⑤	サポートビーム組立ボルト
⑥	基礎ボルト
⑦	埋込金物

図2.1-5 高浜4号炉 蒸気発生器下部サポート構造図

表2.1-4 高浜4号炉 蒸気発生器下部サポート主要部位の使用材料

部位	材料
サポートビーム	炭素鋼
サポートブロック	炭素鋼
パッド	低合金鋼
シム	炭素鋼
サポートビーム組立ボルト	低合金鋼
基礎ボルト	低合金鋼
埋込金物	炭素鋼



No.	部位	No.	部位
①	サポートパイプ	⑥	押え金物
②	支持脚ブラケット	⑦	支持脚ベースプレート
③	ヒンジ	⑧	基礎ボルト
④	支持脚ピン	⑨	埋込金物
⑤	植込ボルト		

図2.1-6 高浜4号炉 蒸気発生器支持脚構造図

表2.1-5 高浜4号炉 蒸気発生器支持脚主要部位の使用材料

部位	材料
サポートパイプ	炭素鋼
支持脚ブラケット	炭素鋼
ヒンジ	炭素鋼
支持脚ピン	低合金鋼
植込ボルト	低合金鋼
押え金物	炭素鋼
支持脚ベースプレート	炭素鋼
基礎ボルト	低合金鋼
埋込金物	炭素鋼

### 2.1.3 1次冷却材ポンプサポート

#### (1) 構造

高浜4号炉の1次冷却材ポンプサポートは、上部サポート、下部サポートおよび支持脚が設置されている。

上部サポートおよび下部サポートは、地震時の水平方向の変位を拘束する構造である。

支持脚はポンプケーシングラグ部に取り付けられており、自重を支持するとともに地震時の鉛直方向の変位を拘束する構造である。

高浜4号炉の1次冷却材ポンプサポートの構造図を図2.1-7～図2.1-11に示す。

#### (2) 材料

高浜4号炉の1次冷却材ポンプサポートの使用材料を、表2.1-6～表2.1-8に示す。

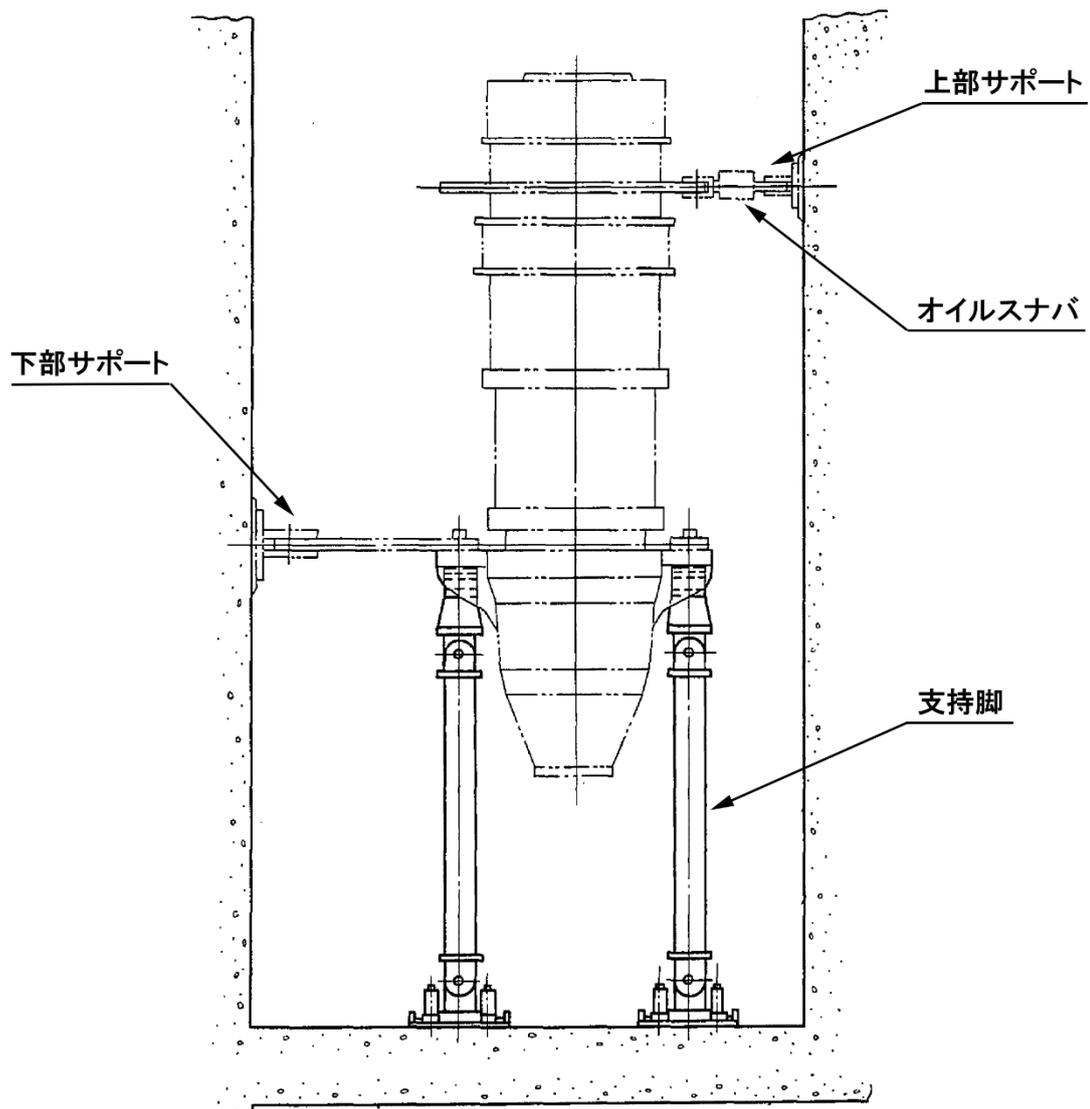
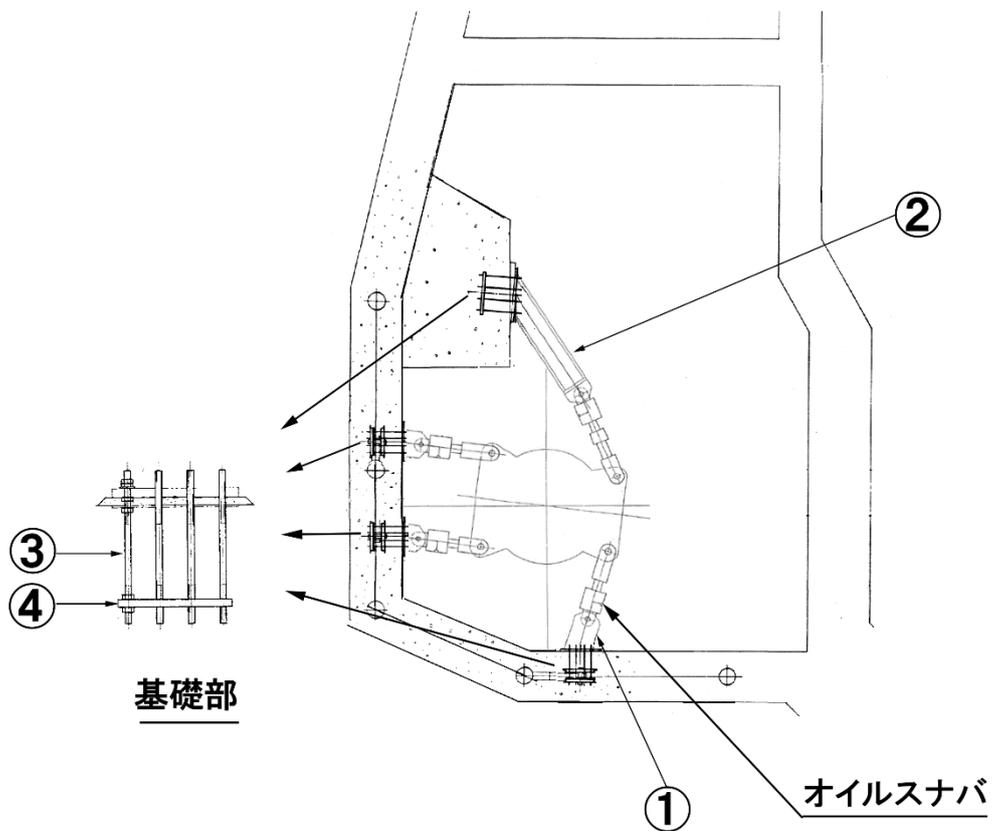
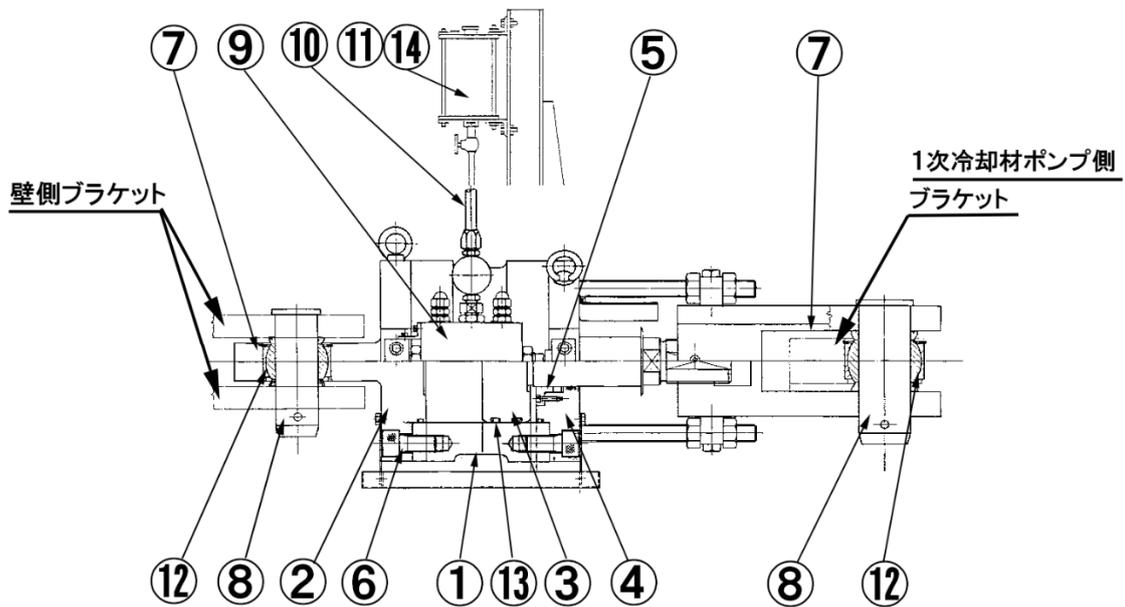


図2.1-7 高浜4号炉 1次冷却材ポンプサポート全体図



No.	部位
①	ブラケット
②	サポートビーム
③	基礎ボルト
④	埋込金物

図2.1-8 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ上部サポート構造図

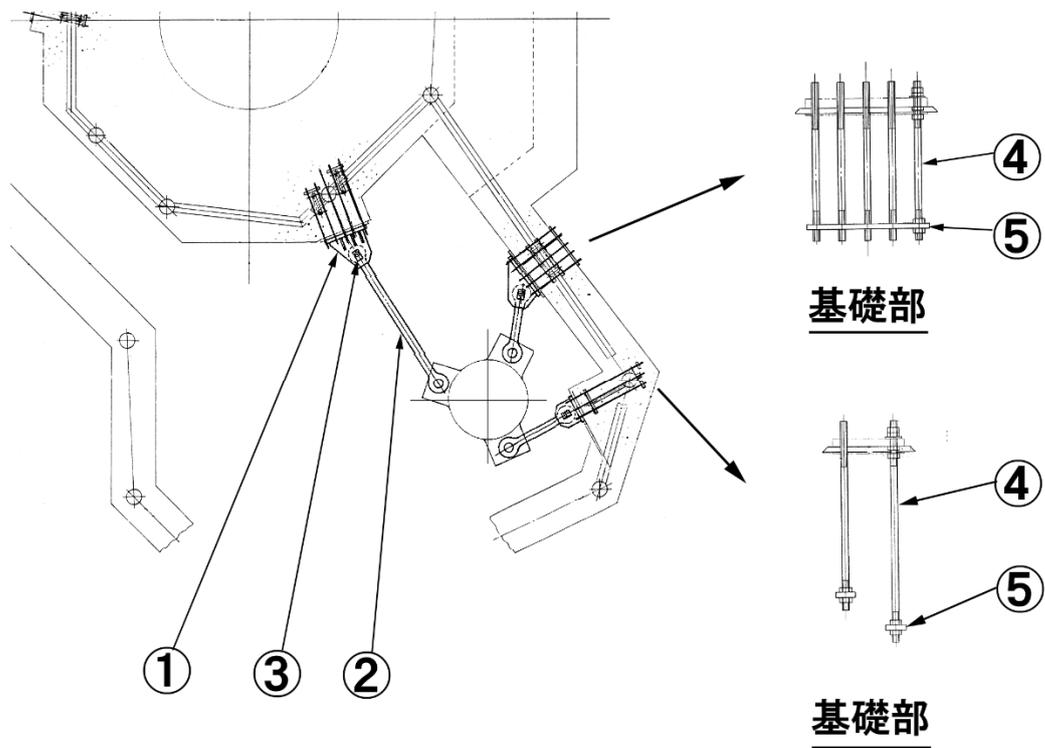


No.	部位	No.	部位
①	シリンダチューブ	⑧	コッターピン
②	シリンダカバー	⑨	コントロールバルブ
③	ピストンロッド	⑩	給油管
④	ロッドカバー	⑪	オイルリザーバ
⑤	ブッシュ	⑫	球面軸受 (すべり)
⑥	タイボルト	⑬	オイルシール
⑦	コネクティングラグ	⑭	オイル

図2.1-9 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ上部サポートオイルスナバ構造図

表2.1-6 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ上部サポート主要部位の使用材料

部位		材料
ブラケット		炭素鋼
サポートビーム		炭素鋼
基礎ボルト		低合金鋼
埋込金物		炭素鋼
オイルスナバ	シリンダチューブ	低合金鋼
	シリンダカバー	低合金鋼
	ピストンロッド	低合金鋼
	ロッドカバー	低合金鋼
	ブッシュ	銅合金鋳物
	タイボルト	低合金鋼
	コネクティングラグ	低合金鋼
	コッターピン	低合金鋼
	コントロールバルブ	炭素鋼
	給油管	ステンレス鋼
	オイルリザーバ	ステンレス鋼
	球面軸受 (すべり)	軸受鋼
	オイルシール	消耗品・定期取替品
	オイル	消耗品・定期取替品

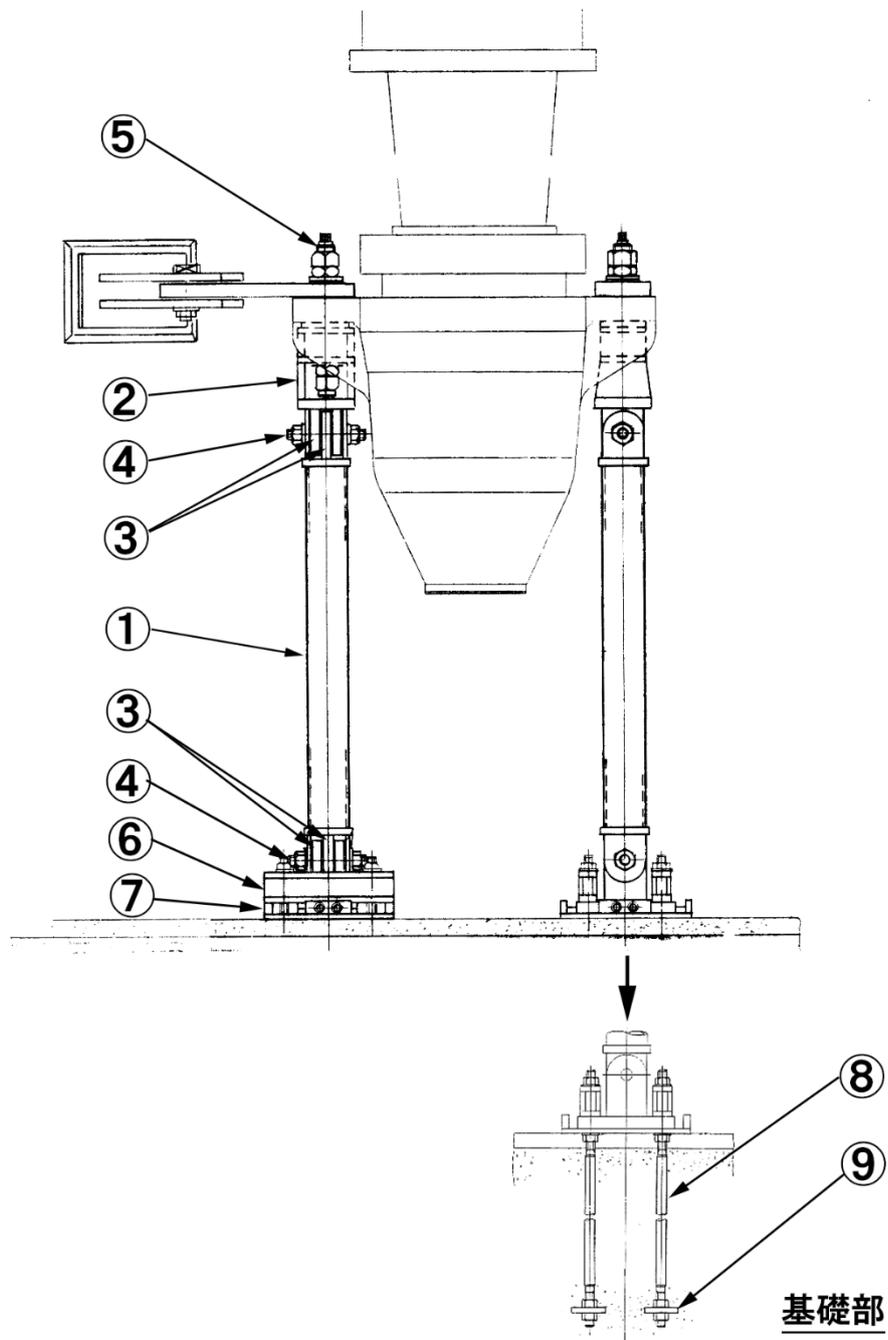


No.	部位
①	ブラケット
②	連結棒
③	ピン
④	基礎ボルト
⑤	埋込金物

図2.1-10 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ下部サポート構造図

表2.1-7 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ下部サポート主要部位の使用材料

部位	材料
ブラケット	低合金鋼
連結棒	低合金鋼
ピン	低合金鋼
基礎ボルト	低合金鋼
埋込金物	炭素鋼



No.	部位	No.	部位
①	支柱	⑥	押え金物
②	支持脚ブラケット	⑦	支持脚ベースプレート
③	ヒンジ	⑧	基礎ボルト
④	支持脚ピン	⑨	埋込金物
⑤	支持脚取付ピン		

図2.1-11 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ支持脚構造図

表2.1-8 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ支持脚主要部位の使用材料

部位	材料
支柱	炭素鋼
支持脚ブラケット	炭素鋼
ヒンジ	低合金鋼
支持脚ピン	低合金鋼
支持脚取付ピン	低合金鋼
押え金物	炭素鋼
支持脚ベースプレート	低合金鋼
基礎ボルト	低合金鋼
埋込金物	炭素鋼

#### 2.1.4 加圧器サポート

##### (1) 構造

高浜4号炉の加圧器サポートは、上部サポートおよび下部サポート（スカート）が設置されている。

上部サポートは、地震時の水平方向の変位を拘束する構造である。

下部サポートは、地震時の水平および鉛直方向の変位を拘束する構造である。

高浜4号炉の加圧器サポートの構造図を図2.1-12～図2.1-14に示す。

##### (2) 材料

高浜4号炉の加圧器サポートの使用材料を、表2.1-9および表2.1-10に示す。

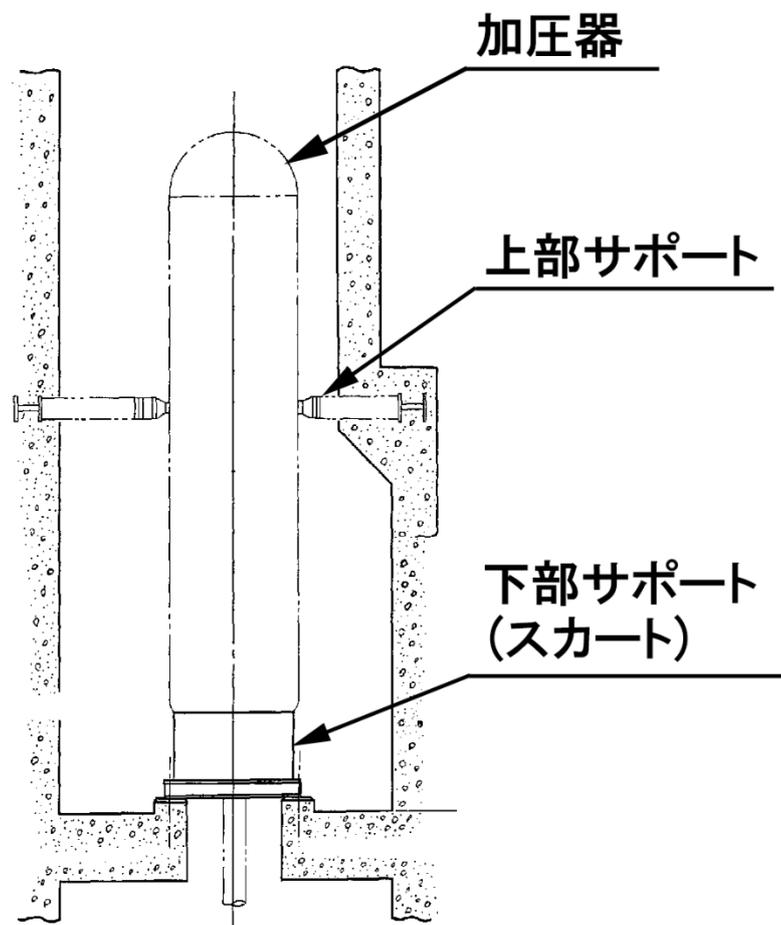
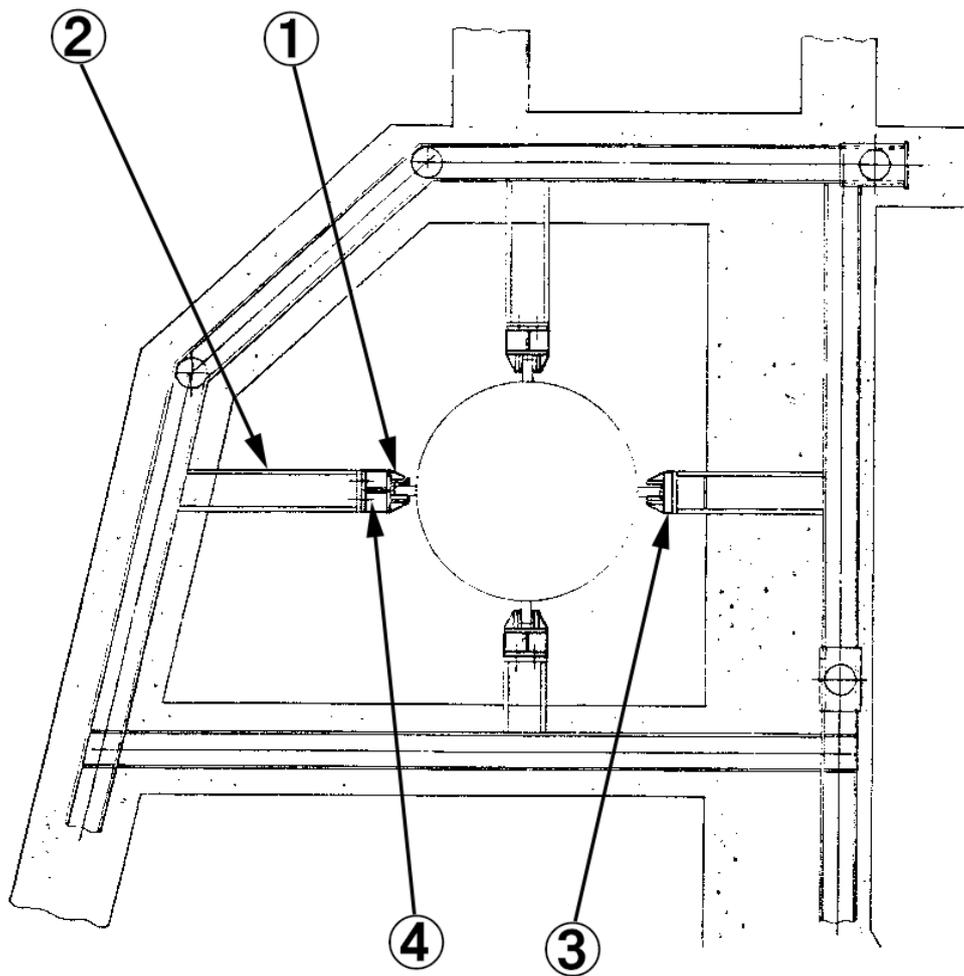


図2.1-12 高浜4号炉 加圧器サポート全体図

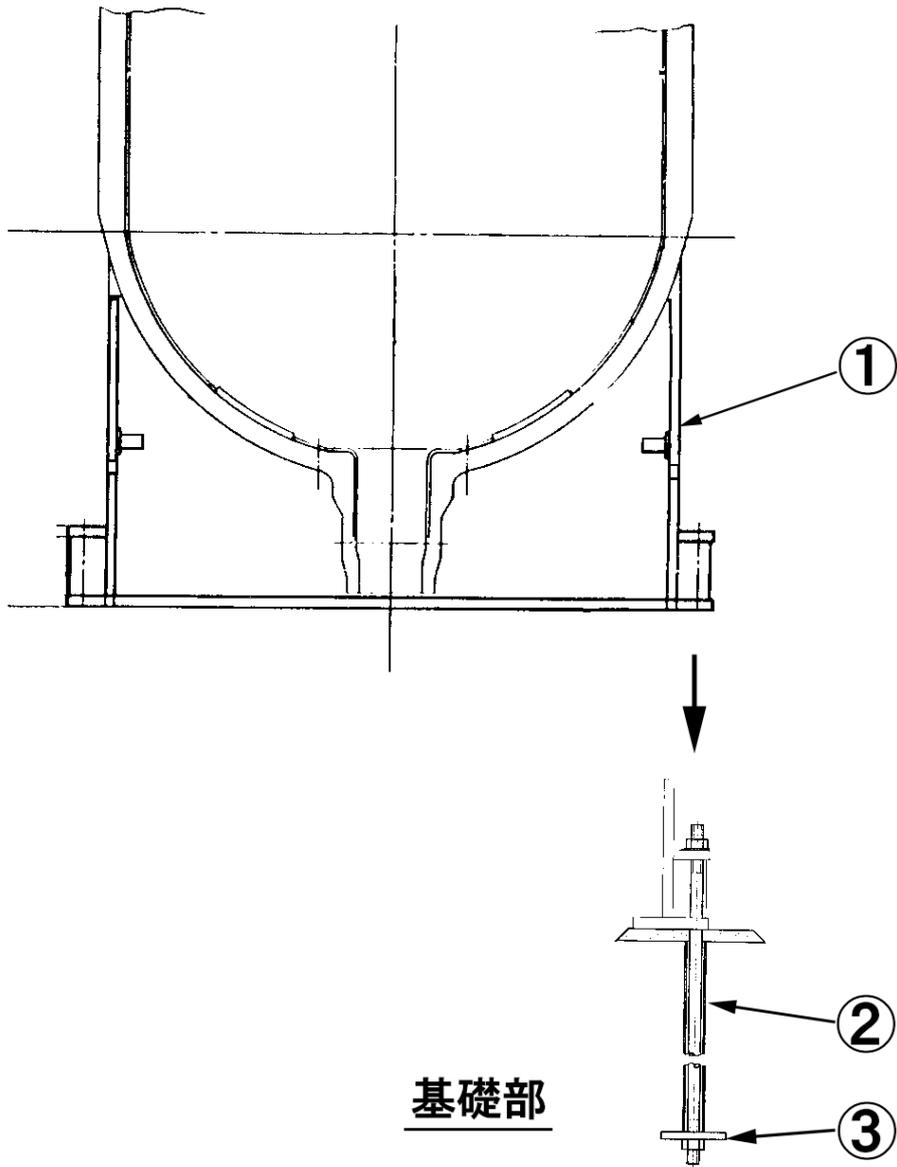


No.	部位
①	サポートブラケット
②	支持フレーム
③	シム
④	ボルト

図2.1-13 高浜4号炉 加圧器上部サポート構造図

表2.1-9 高浜4号炉 加圧器上部サポート主要部位の使用材料

部位	材料
サポートブラケット	炭素鋼
支持フレーム	炭素鋼
シム	炭素鋼
ボルト	低合金鋼



No.	部位
①	スカート
②	基礎ボルト
③	埋込金物

図2.1-14 高浜4号炉 加圧器下部サポート（スカート）構造図

表2.1-10 高浜4号炉 加圧器下部サポート（スカート）主要部位の使用材料

部位	材料
スカート	低合金鋼
基礎ボルト	低合金鋼
埋込金物	炭素鋼

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

原子炉容器、蒸気発生器、1次冷却材ポンプ、加圧器の機能を維持するために重機器サポートは次の項目が必要である。

#### ① 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

重機器サポート個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-3に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-3で○となっているもの）としては以下の事象がある。

#### (1) 加圧器スカート溶接部の疲労割れ [加圧器サポート]

プラントの起動・停止時等に発生する加圧器本体の熱膨張により、繰返し荷重を受けるスカートの溶接部においては、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-3で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

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

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

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

- (1) サポートブラケット等大気接触部の腐食（全面腐食）〔共通〕  
 サポートブラケット等は炭素鋼または低合金鋼であり、腐食が想定される。  
 しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。  
 また、外観点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。  
 したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (2) サポートブラケット（サポートリブ）の中性子およびγ線照射脆化〔原子炉容器サポート〕  
 原子炉容器サポートは他の重機器サポートに比べ原子炉容器炉心近傍に設置されており、中性子およびγ線照射により材料の靱性が低下することが想定される。

図2.2-1に照射脆化評価を行った評価部位を示す。

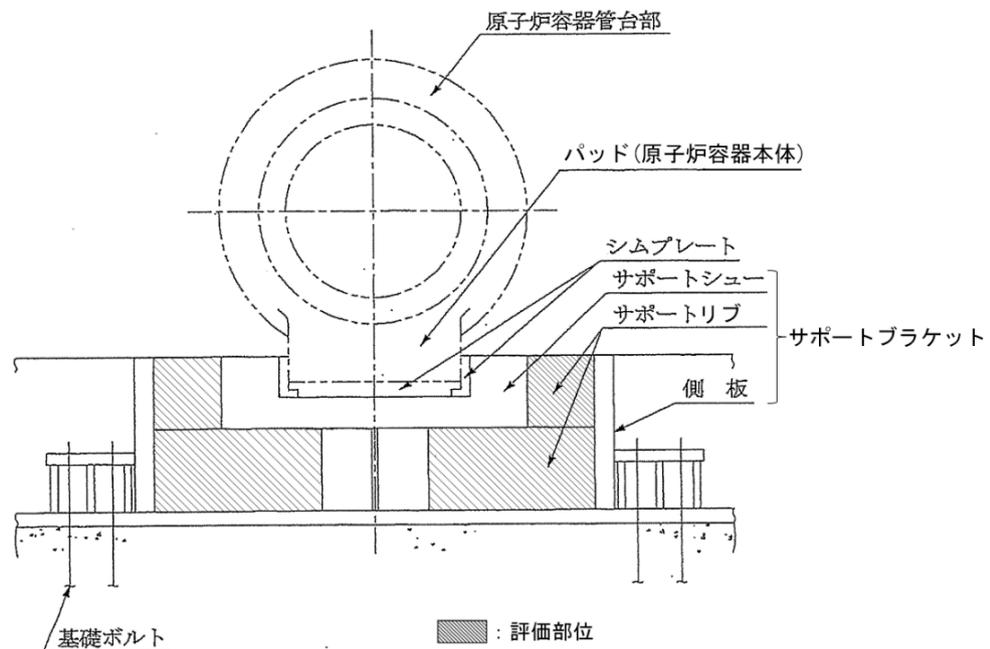


図2.2-1 高浜4号炉 原子炉容器サポートの照射脆化評価部位

評価部位は原子炉容器サポートのうちせん断荷重が大きいサポートリブとし、当該部の運転開始後60年時点における照射脆化評価を行った。

評価は、運転開始後60年時点においてS<sub>s</sub>地震力を受けたとしてもサポートの健全性が保たれることを破壊力学評価を用いて検討した。

応力拡大係数および破壊靱性値の計算は、電力共同研究「原子炉容器支持構造物の照射脆化に関する研究」およびASME Section III Appendix Gに基づいて実施した。

まず、破壊靱性値の評価式としては、供試材を用いた静的破壊靱性試験および動的破壊靱性試験から、電力共同研究実施当時のASME Section III Appendix Gに記載されていたK<sub>IR</sub>式が図2.2-2に示すとおり供試材を包絡することから原子炉容器サポート使用部材に適用できることを確認した。電力共同研究実施当時のASME Section III Appendix Gに記載されていたK<sub>IR</sub>式を以下に示す。なお、初期関連温度（推定T<sub>NDT</sub>）は高浜4号炉のミルシートや同種供試材の試験結果等を基に推定した。

$$K_{IR} = 29.43 + 1.344 \exp(0.0261(T - T_{NDT} + 88.9))$$

K<sub>IR</sub> : 破壊靱性値 [MPa√m]

T : 最低使用温度 [°C]

T<sub>NDT</sub> : 関連温度 [°C]

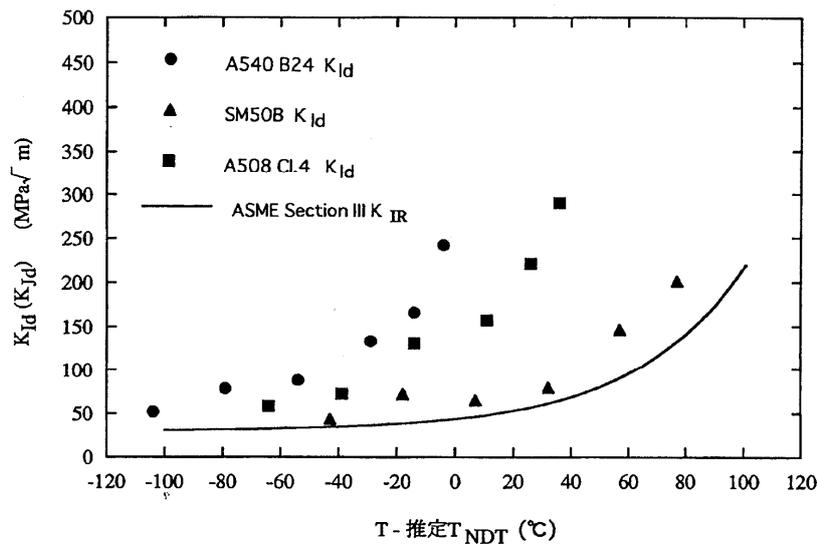


図2.2-2 動的破壊靱性と（T-推定T<sub>NDT</sub>）の関係

[出典：電力共同研究「原子炉容器支持構造物の照射脆化に関する研究」1999年度]

原子炉容器サポート回りの中性子照射量は米国オークリッジ国立研究所（以降ORNLと呼ぶ）で開発改良された2次元輸送解析コード“DORT”を用いて全エネルギー領域にわたって算定し、この値を基に図2.2-3に示すNUREG-1509（“Radiation Effects on Reactor Pressure Vessel Supports” R. E. Johnson, R. E. Lipinski NRC 1996 P14）に記載されているORNLのHFIR炉のサーベイランスデータおよび米国 SHIPPINGPORT（Shippingport）炉の材料試験データ等の上限を包絡する曲線を基にした脆化予測曲線を用いて脆化度（遷移温度：脆化量推定値（ $\Delta T_{NDT}$ ） $^{\circ}\text{C}$ ）を推定した。

評価は、原子炉容器サポートの最低使用温度を基準としてSs地震が発生したとき、製造時または溶接時の欠陥を想定した場合に脆性破壊が発生するか否かを破壊力学評価を基に検討した。

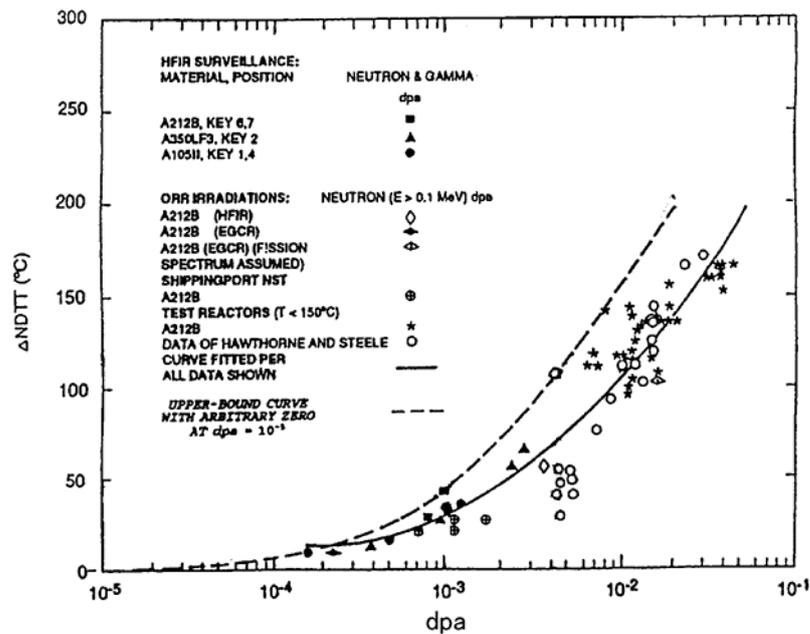


図2.2-3 原子炉容器サポートの脆化予測曲線

[出典：NUREG-1509 “Radiation Effects on Reactor Pressure Vessel Supports”  
R. E. Johnson, R. E. Lipinski NRC 1996 P14]

評価に用いた欠陥寸法は、「日本電気協会 原子力発電所用機器に対する破壊靱性の確認試験方法 (JEAC4206)」に準拠し、板厚の1/4として、亀裂のアスペクト比 (深さと表面長さの比率) はASME Sec. III Appendix Gに準拠して1/6とした。

なお、破壊力学評価に用いる応力拡大係数は、サポートリブに対しては平板要素としてRaju-Newmanの次式を使用した。

$$K_I = F \sigma \sqrt{(\pi a/Q)}$$

$$F = (M_1 + M_2 (a/t)^2 + M_3 (a/t)^4) g f_\phi f_w$$

$0 < a/c \leq 1$  の場合

$$Q = 1 + 1.464(a/c)^{1.65}$$

$$M_1 = 1.13 - 0.09(a/c)$$

$$M_2 = -0.54 + 0.89/(0.2 + a/c)$$

$$M_3 = 0.5 - 1/(0.65 + a/c) + 14(1 - a/c)^{24}$$

$$f_\phi = ((a/c)^2 \cos^2 \phi + \sin^2 \phi)^{1/4}$$

$$g = 1 + (0.1 + 0.35(a/t)^2)(1 - \sin \phi)^2$$

$$f_w = (\sec(\pi c \sqrt{(a/t)/2b}))^{1/2}$$

$1 < a/c < 2$  の場合

$$Q = 1 + 1.464(c/a)^{1.65}$$

$$M_1 = \sqrt{(c/a)} (1 + 0.04(c/a))$$

$$M_2 = 0.2(c/a)^4$$

$$M_3 = -0.11(c/a)^4$$

$$f_\phi = ((c/a)^2 \sin^2 \phi + \cos^2 \phi)^{1/4}$$

$$g = 1 + (0.1 + 0.35(c/a)(a/t)^2)(1 - \sin \phi)^2$$

$$f_w = (\sec(\pi c \sqrt{(a/t)/2b}))^{1/2}$$

ここで、

a : 亀裂深さ

c : 表面長さの半長

t : 平板の厚さ

b : 平板の幅の半長

$\phi$  : 亀裂前縁の位置を表す角度

$\sigma$  : 応力

表2.2-1に評価結果を示す。

評価結果よりサポートリブは劣化が進展すると仮定した場合におけるプラント運転開始後60年時点を想定し原子炉容器サポートの最低使用温度でS<sub>s</sub>地震が発生したとしても、破壊靱性値 ( $K_{IR}$ ) が応力拡大係数 ( $K_I$ ) を上回っていることから、原子炉容器サポートの健全性は保たれることを確認した。

さらに、キャビティシール据付時の漏えい確認時に原子炉容器とキャビティに有意な高低差がないことを確認することにより、機器の健全性を維持している。

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

表2.2-1 高浜4号炉 サポートブラケット (サポートリブ) の脆化評価結果

評価部位 (材料名)	サポートブラケット (サポートリブ) (SM50B)
$K_I / K_{IR}$	0.21
評価	○

- (3) パッド、ヒンジ摺動部の摩耗 [原子炉容器サポート、蒸気発生器サポート、1次冷却材ポンプサポート]

機器の移動を許容し、重機器の自重を支えている原子炉容器サポート、蒸気発生器支持脚および1次冷却材ポンプ支持脚の摺動部は、機器熱移動や振動により摩耗が想定される。

摩耗が想定される代表部位として原子炉容器サポートの摺動部を図2.2-4に、蒸気発生器支持脚および1次冷却材ポンプ支持脚の摺動部を図2.2-5に示す。

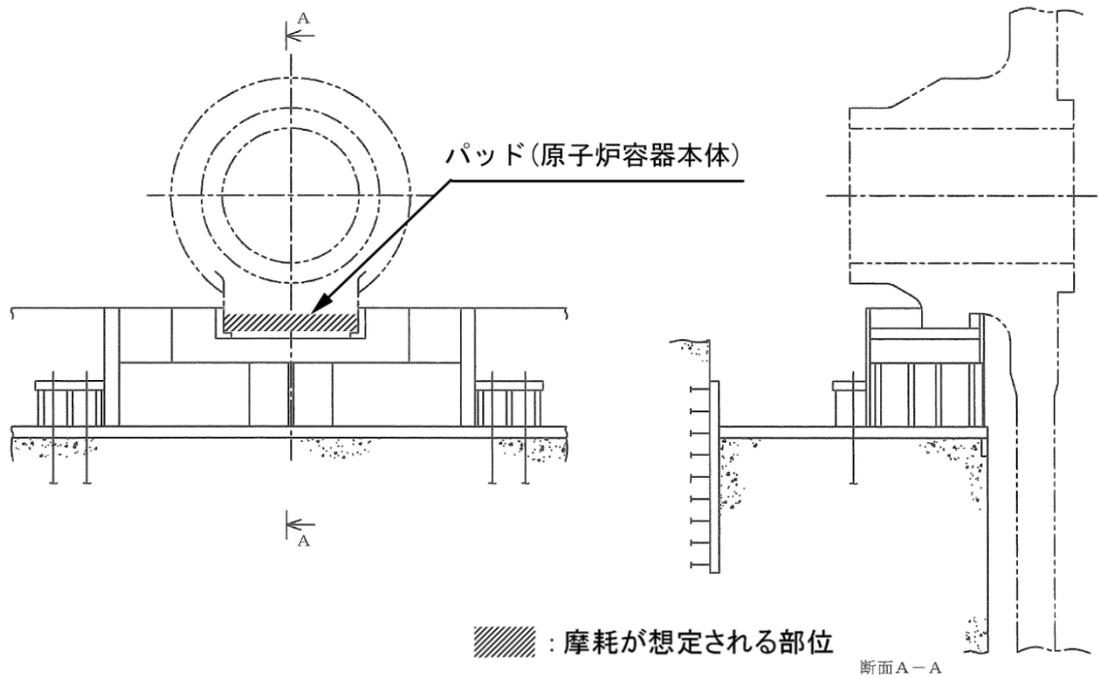
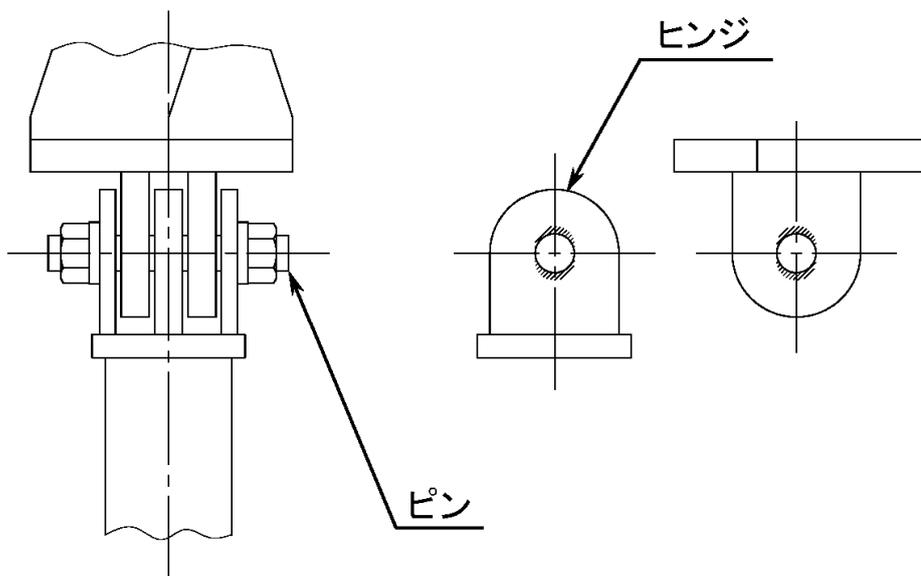


図2.2-4 高浜4号炉 原子炉容器サポートの摺動部 (パッド)



//// : 摩耗が想定される部位

図2.2-5 高浜4号炉 蒸気発生器支持脚および1次冷却材ポンプ支持脚の摺動部（ヒンジ）

原子炉容器サポート、蒸気発生器支持脚および1次冷却材ポンプ支持脚の摺動部は、重機器の自重を支えていることから当該部に発生する荷重は小さいとは言えないため、運転開始後60年時点における推定摩耗量を評価した。

摩耗量については、現在定量的に評価する手法が確立されていないが、ここではホルム（Holm）の理論式（機械工学便覧（日本機械学会編））により、概略の摩耗量の推定を行った。

ホルムの式： $W = K \cdot S \cdot P / P_m$

W : 摩耗量 [m<sup>3</sup>]

K : 摩耗係数 [-]

S : すべり距離 [m]

P : 荷重 [N]

P<sub>m</sub> : かたさ [N/m<sup>2</sup>]

なお、評価にあたっては、通常運転時における評価対象サポートに加わる荷重を算出した。すべり距離については計算により求めた熱移動量を基に運転状態Ⅰおよび運転状態Ⅱの過渡条件とその回数から算出した。

摩耗係数および硬さについてはJ.F.Archard & W.Hirst, Proc .Roy. Soc. , 236, A, (1956), 397より使用温度での硬さの変化を考慮しても安全側の評価となるよう、実機より柔らかい材料である潤滑材なしの軟鋼-軟鋼のデータを引用した。

それぞれの評価結果を表2. 2-2に示す。

評価結果より運転開始後60年時点の推定摩耗深さ（推定減肉量）は微少であり、許容値に比べ十分小さいことから、長期運転にあたっても支持機能に影響を及ぼす可能性はない。

さらに、ヒンジ摺動部の摩耗に対しては外観点検等で目視によりかみ合い部を確認し、パッドの摩耗についてもキャビティシール据付時の漏えい確認時等で目視により原子炉容器とキャビティに有意な高低差がないことを確認することにより、機器の健全性を維持している。

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

表2. 2-2 高浜4号炉 重機器サポート摺動部の摩耗量評価結果

部位	運転開始後60年時点の推定摩耗深さ / 許容値
原子炉容器サポート パッド	約 1/5
蒸気発生器支持脚 ヒンジ	約 1/670
1次冷却材ポンプ 支持脚ヒンジ	約 1/1,000

(4) ピン等の摩耗 [蒸気発生器サポート、1次冷却材ポンプサポート]

機器の移動を許容するサポートの摺動部材は、機器熱移動や振動により摩耗が想定される。

しかしながら、蒸気発生器サポートおよび1次冷却材ポンプサポートのオイルスナバは地震時の水平方向変位を拘束するものであり、通常運転時の蒸気発生器の上部サポートおよび中間サポート、1次冷却材ポンプの上部サポートおよび下部サポートに作用する荷重は小さい。

通常運転における熱移動はサイクル数が少ない（最大変位が想定されるのはヒートアップ・クールダウンの年2回）ため、著しい摩耗が生じる可能性は小さい。

振動による摩耗については発生荷重が十分小さく、可動部を摺動させるほどの力は生じないと考えられる。

支持脚ピン（材料：SNB23-3）については、ヒンジ部（材料：SM50B、SFVV3）と同等以上の硬質な材料を使用しており、ピストンロッド（材料：SNB23-4）については、ブッシュ（材料：BC-6C）よりも硬質な材料を使用している。

一方、オイルスナバのコッターピンについては、運転時有意な荷重がかからない。

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

なお、外観点検時等で目視によりピンのかみ合い部およびオイルの漏れ等の異常がないことを確認することにより、機器の健全性を確認している。

(5) 基礎ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

基礎ボルトは低合金鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、本評価書の「基礎ボルト」にてまとめて評価を実施する。

- (6) ヒンジ溶接部の疲労割れ [蒸気発生器サポート、1次冷却材ポンプサポート]
- 支持脚は、プラント起動・停止時等に発生する機器の熱移動によるスライド方向以外の繰返し荷重により、ヒンジ溶接部において疲労割れが想定される。
- しかしながら、スライド方向以外に発生する荷重はわずかであり、有意な応力変動を受けない。
- したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- なお、外観点検時等の目視確認により、機器の健全性を確認している。

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

- (7) 埋込金物等の腐食（全面腐食） [共通]
- 埋込金物、原子炉容器サポートの外周プレート（コンクリート埋設部）および埋込補強材は炭素鋼であり、腐食が想定される。
- しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物等に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

#### 2.2.4 消耗品および定期取替品

オイルスナバに使用しているオイルシール、オイルは分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-3(1/10) 高浜4号炉 原子炉容器サポートに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
機器の支持	サポートブラケット (側板)		炭素鋼		△						*1：中性子およびγ線照射脆化 *2：大気接触部 *3：コンクリート埋設部
	サポートブラケット (サポートシュー)		低合金鋼		△						
	サポートブラケット (サポートリブ)		炭素鋼		△				△*1		
	レベリングスクリュー		低合金鋼		△						
	基礎ボルト		低合金鋼		△						
	埋込金物		炭素鋼		▲						
	ベースプレート		炭素鋼		△						
	外周プレート		炭素鋼		△*2 ▲*3						
	埋込補強材		炭素鋼		▲						
	シムプレート		低合金鋼		△						
	パッド		低合金鋼	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-3(2/10) 高浜4号炉 蒸気発生器上部サポートに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
機器の支持	バンド		炭素鋼		△						
	壁側スナバブラケット		炭素鋼	△	△						
	サポート支柱		炭素鋼		△						
	バンド側スナバブラケット		炭素鋼	△	△						
	バンド組立ボルト		低合金鋼		△						
	壁側スナバブラケット取付ボルト		低合金鋼		△						
	サポートビーム		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		低合金鋼		△						
	吊り金物		炭素鋼、低合金鋼		△						
	埋込金物		炭素鋼		▲						
	オイルスナバ	シリンダチューブ		低合金鋼		△					
		シリンダカバー		低合金鋼		△					
		ピストンロッド		低合金鋼	△	△					
		ロッドカバー		低合金鋼		△					
		ブッシュ		銅合金鋳物	△						
		タイボルト		低合金鋼		△					
		コネクティングラグ		低合金鋼		△					
		コッターピン		低合金鋼	△	△					
		コントロールバルブ		炭素鋼		△					
		給油管		ステンレス鋼							
オイルリザーバ			ステンレス鋼								
球面軸受(すべり)			軸受鋼								
オイルシール		◎	—								
オイル		◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-3(3/10) 高浜4号炉 蒸気発生器中間サポートに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
機器の支持	リングフレーム		炭素鋼	△	△						
	壁側スナバブラケット		炭素鋼	△	△						
	バックバンパ		炭素鋼		△						
	リングフレーム組立ボルト		低合金鋼		△						
	シム		炭素鋼		△						
	吊り金物		低合金鋼		△						
	オイルスナバ	シリンダチューブ		低合金鋼		△					
		シリンダカバー		低合金鋼		△					
		ピストンロッド		低合金鋼	△	△					
		ロッドカバー		低合金鋼		△					
		ブッシュ		銅合金鋳物	△						
		タイボルト		低合金鋼		△					
		コネクティングラグ		低合金鋼		△					
		コッターピン		低合金鋼	△	△					
		コントロールバルブ		炭素鋼		△					
		給油管		ステンレス鋼							
		オイルリザーバ		ステンレス鋼							
		球面軸受(すべり)		軸受鋼							
オイルシール	◎	—									
オイル	◎	—									

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-3(4/10) 高浜4号炉 蒸気発生器下部サポートに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
機器の支持	サポートビーム		炭素鋼		△						
	サポートブロック		炭素鋼		△						
	パッド		低合金鋼		△						
	シム		炭素鋼		△						
	サポートビーム組立ボルト		低合金鋼		△						
	基礎ボルト		低合金鋼		△						
	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）

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

表2.2-3(5/10) 高浜4号炉 蒸気発生器支持脚に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
機器の支持	サポートパイプ		炭素鋼		△						
	支持脚ブラケット		炭素鋼		△						
	ヒンジ		炭素鋼	△	△	△					
	支持脚ピン		低合金鋼	△	△						
	植込ボルト		低合金鋼		△						
	押え金物		炭素鋼		△						
	支持脚ベースプレート		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		低合金鋼		△						
	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）

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

表2.2-3(6/10) 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ上部サポートに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		材質変化		その他		
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化			
機器の支持	ブラケット		炭素鋼	△	△							
	サポートビーム		炭素鋼		△							
	基礎ボルト		低合金鋼		△							
	埋込金物		炭素鋼		▲							
	オイルスナバ	シリンダチューブ		低合金鋼		△						
		シリンダカバー		低合金鋼		△						
		ピストンロッド		低合金鋼	△	△						
		ロッドカバー		低合金鋼		△						
		ブッシュ		銅合金鋳物	△							
		タイボルト		低合金鋼		△						
		コネクティングラグ		低合金鋼		△						
		コッターピン		低合金鋼	△	△						
		コントロールバルブ		炭素鋼		△						
		給油管		ステンレス鋼								
		オイルリザーバ		ステンレス鋼								
		球面軸受(すべり)		軸受鋼								
		オイルシール	◎	—								
オイル	◎	—										

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-3(7/10) 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ下部サポートに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食 割れ	熱時効	劣化		
機器の支持	ブラケット		低合金鋼	△	△						
	連結棒		低合金鋼	△	△						
	ピン		低合金鋼		△						
	基礎ボルト		低合金鋼		△						
	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）

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

表2.2-3(8/10) 高浜4号炉 1次冷却材ポンプ支持脚に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
機器の支持	支柱		炭素鋼		△						
	支持脚ブラケット		炭素鋼		△						
	ヒンジ		低合金鋼	△	△	△					
	支持脚ピン		低合金鋼	△	△						
	支持脚取付ピン		低合金鋼		△						
	押え金物		炭素鋼		△						
	支持脚ベースプレート		低合金鋼		△						
	基礎ボルト		低合金鋼		△						
	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）

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

表2.2-3(9/10) 高浜4号炉 加圧器上部サポートに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
機器の支持	サポートブラケット		炭素鋼		△						
	支持フレーム		炭素鋼		△						
	シム		炭素鋼		△						
	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2.2-3(10/10) 高浜4号炉 加圧器下部サポート（スカート）に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食 割れ	熱時効	劣化		
機器の支持	スカート		低合金鋼		△	○					
	基礎ボルト		低合金鋼		△						
	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）

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

## 2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

### 2.3.1 加圧器スカート溶接部の疲労割れ [加圧器サポート]

#### a. 事象の説明

加圧器本体の熱膨張によりスカートは繰返し荷重を受け、図2.3-1に示すようなスカートの溶接部においては、疲労が蓄積する。

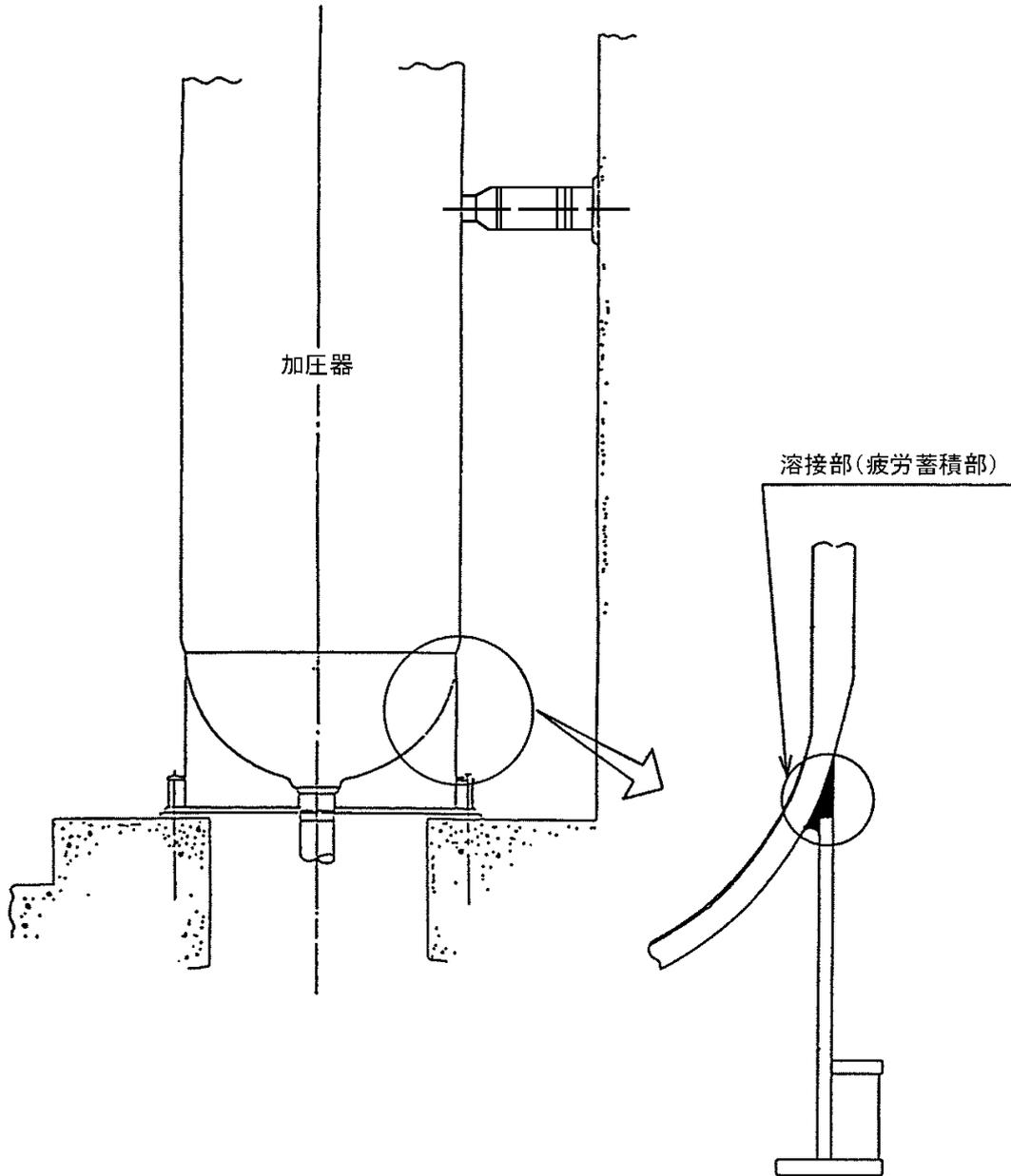


図2.3-1 高浜4号炉 加圧器スカート部の疲労蓄積部

b. 技術評価

① 健全性評価

プラント運転時の加圧器本体の熱膨張により発生する応力が大きいと考えられる加圧器スカート溶接部を対象として「日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007)」に基づき評価を行った。

評価対象部位を図2.3-2に示す。

疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。

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

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

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

② 現状保全

加圧器スカート溶接部の疲労割れに対しては、定期的に浸透探傷検査を実施し有意な欠陥のないことを確認している。

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

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、現時点の知見において、疲労割れ発生の可能性はないと考える。

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

また、疲労割れは浸透探傷検査により検知可能であり、また、割れが発生するとすれば応力の観点から考えて溶接部であると判断されることから、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

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

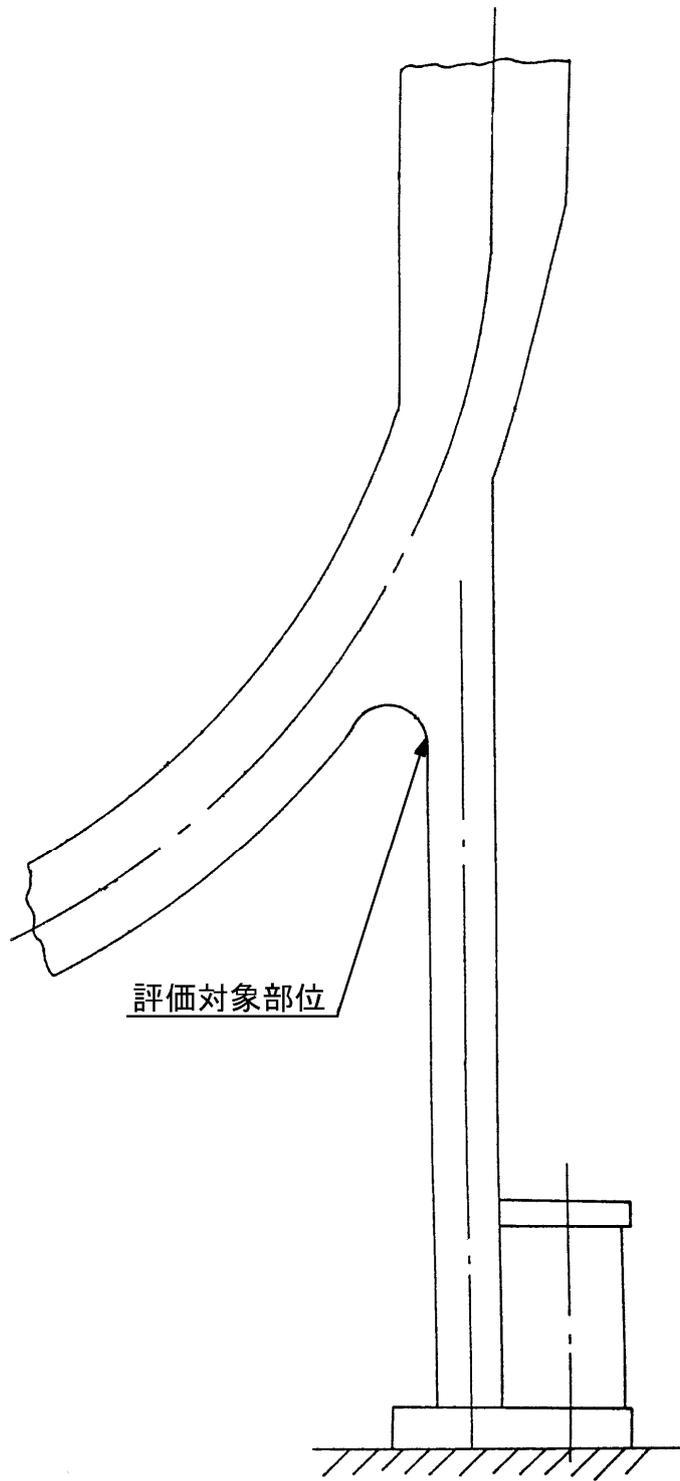


図2.3-2 加圧器スカート部の疲労評価対象部位

表2.3-1 高浜4号炉 加圧器スカート溶接部の疲労評価に用いた過渡回数

運転状態 I

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

運転状態 II

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

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

表2.3-2 高浜4号炉 加圧器スカート溶接部の疲労評価結果

部位	疲労累積係数 (許容値：1以下)
加圧器スカート溶接部 (低合金鋼)	0.150

## 2 空気圧縮装置

[対象機器]

- ① 格納容器外制御用空気圧縮装置
- ② 格納容器内制御用空気圧縮装置
- ③ 非常用ディーゼル発電機起動用空気圧縮機
- ④ Aガスサンプリング圧縮装置

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 格納容器外制御用空気圧縮装置全体構成	3
2.2 構造、材料および使用条件	5
2.3 経年劣化事象の抽出	44
2.4 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	67
3. 代表機器以外への展開	68
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	68
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	69

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されている空気圧縮装置の主な仕様を表1-1に示す。

これらの空気圧縮装置を設置場所、型式、内部流体および材料の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す空気圧縮装置について、設置場所、型式、流体および材料を分離基準として考えると、いずれの空気圧縮装置も同様であることから、1つのグループとして分類される。

### 1.2 代表機器の選定

重要度が高い格納容器外制御用空気圧縮装置を代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 空気圧縮装置の主な仕様

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準					代表機器の選定	
設置場所 型式	流体	材料		仕様 (容量)	重要度*1	使用条件			代表 機器	選定理由
						運転状態	最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)		
屋内 往復式	空気	鋳鉄、 炭素鋼	格納容器外制御用空気圧縮装置 (2)	約13.0Nm <sup>3</sup> /min	MS-1	連続	約0.8	約200	◎	重要度
			格納容器内制御用空気圧縮装置 (2)	約0.5Nm <sup>3</sup> /min	MS-2	連続	約0.8	約200		
			非常用ディーゼル発電機 起動用空気圧縮機 (2)	約1.0Nm <sup>3</sup> /min	高*2	一時	約3.2	約200		
			Aガスサンプリング圧縮装置 (1)	約0.03Nm <sup>3</sup> /min	重*3	一時	約1.0	約95		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

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

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

## 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空気圧縮装置について技術評価を実施する。

### ① 格納容器外制御用空気圧縮装置

#### 2.1 格納容器外制御用空気圧縮装置全体構成

高浜4号炉の格納容器外制御用空気圧縮装置の吐出容量は約13.0Nm<sup>3</sup>/min、プラント通常運転時には1台が常時運転状態であり、外部電源喪失時および安全注入時に自動起動（2台）する。

格納容器外制御用空気圧縮装置から送り出される制御用空気は、空気作動弁の駆動源等として供給される。

空気圧縮機は、大気を吸入し、2段階の圧縮により、約0.7MPaの圧縮空気を吐出する。圧縮空気は、第1段圧縮後に空気圧縮機中間冷却器、第2段圧縮後に空気圧縮機後置冷却器で冷却し、空気圧縮機ドレンセパレータでドレン水を分離後、空気だめに貯蔵される。

空気だめに貯蔵された圧縮空気は、湿度が高いため空気乾燥器に送られ、乾燥した計器用空気となる。

空気乾燥器から出た計器用空気は、計器用空気母管に送られ、空気作動弁他に供給される。

格納容器外制御用空気圧縮装置の全体構成図を図2.1-1に示す。

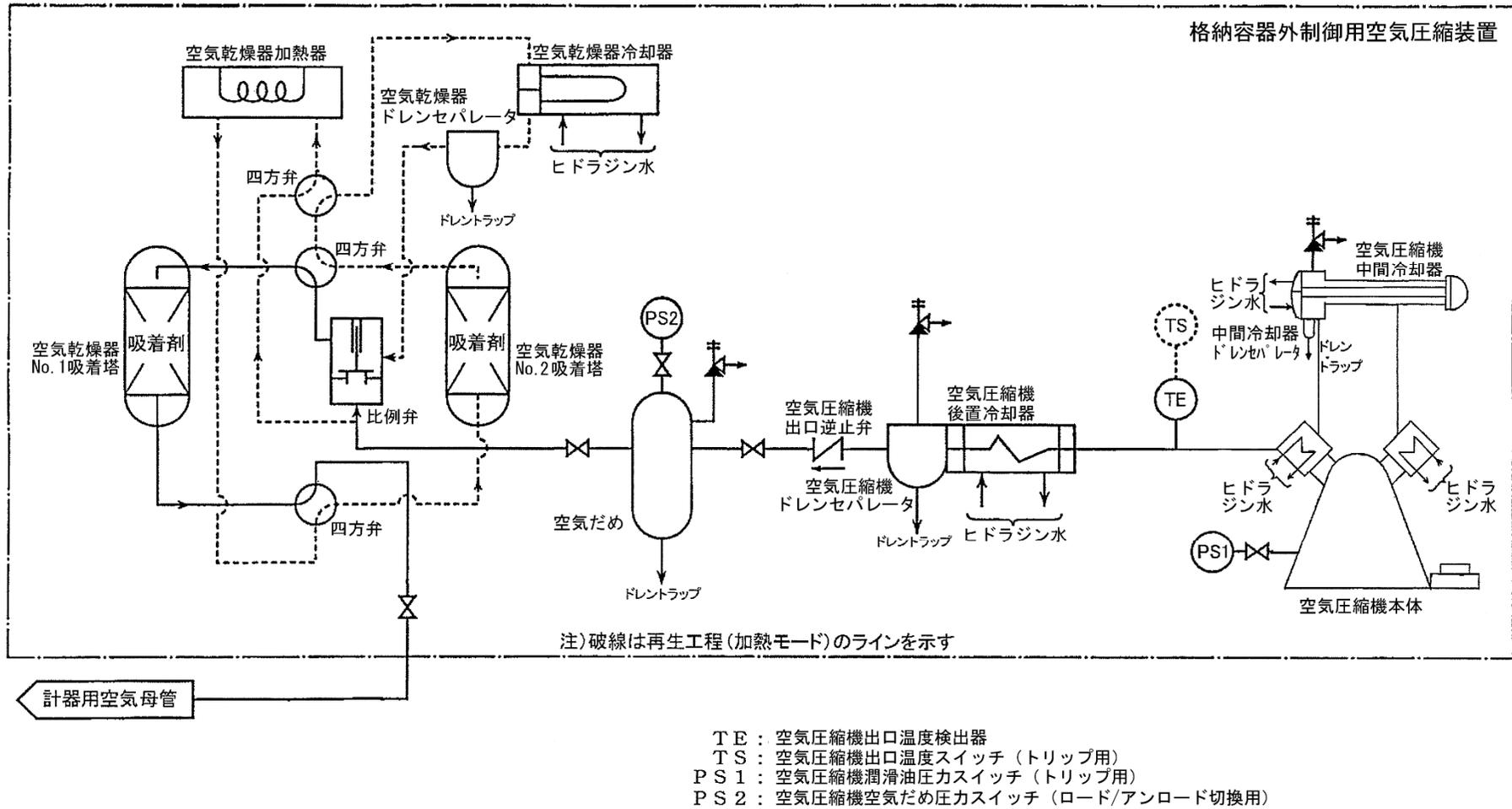


図2.1-1 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 全体構成図

## 2.2 構造、材料および使用条件

### 2.2.1 空気圧縮機

#### (1) 構造

高浜4号炉の空気圧縮機は、中間建屋内の空気を取り入れ、所定の圧力まで圧縮するために設置され、往復動型無給油式でV型2気筒2段圧縮構造である。第1段、第2段は直径等の寸法は異なるが、同一の構造・材料を使用している。

シリンダは、吸入弁と吐出弁が取付けられたシリンダヘッドおよびシリンダライナから構成されており、シリンダの中を往復するピストンの動作により大気圧の空気が吸入弁より吸入され、約0.7MPaに圧縮された空気が第2段側吐出弁から約13.0Nm<sup>3</sup>/minで吐出される。

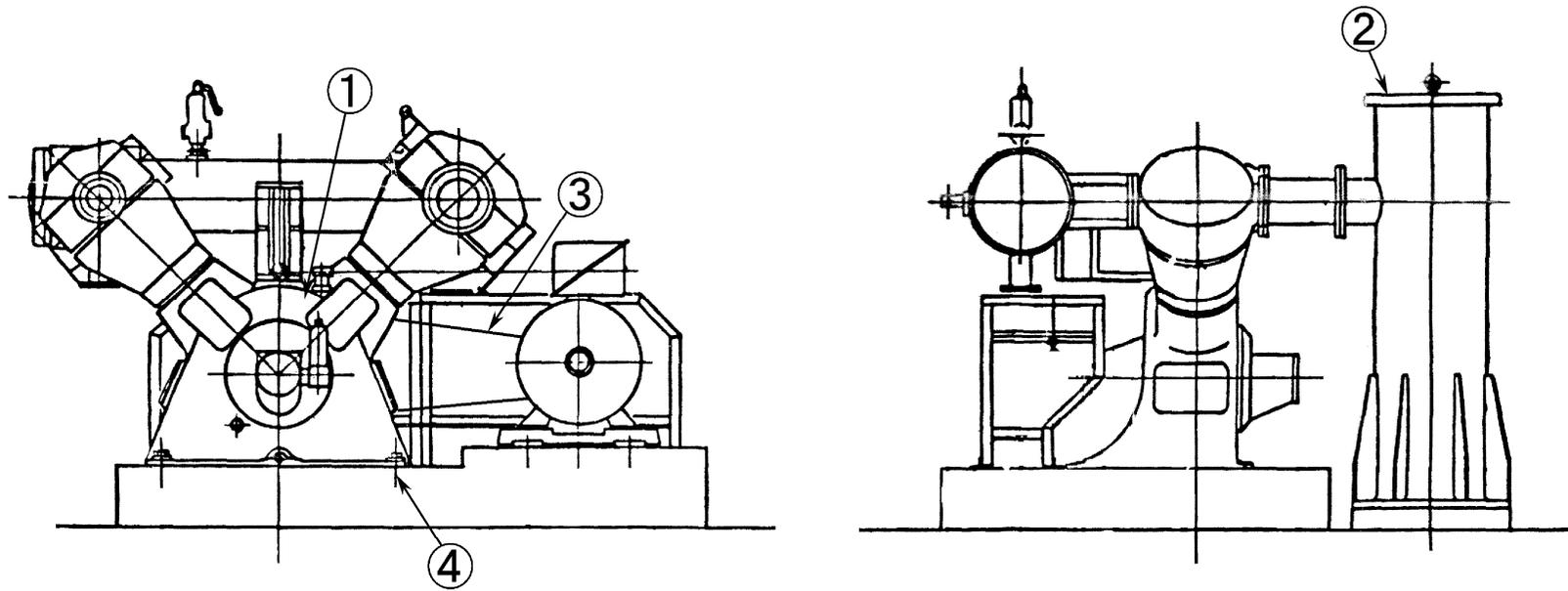
空気圧縮機を構成する主要部位のケーシング（クランク室）およびシリンダヘッドは鋳鉄であり、ピストンはアルミ合金鋳物で、主軸（クランク軸）は低合金鋼である。

また、圧縮空気をシールするピストンリングにはカーボンを使用し、シリンダ軸封部にはグランドパッキンを使用している。

高浜4号炉の空気圧縮機の外形図および構造図を図2.2-1および図2.2-2に、シリンダ内の空気吸入と吐出の行程を図2.2-3に示す。

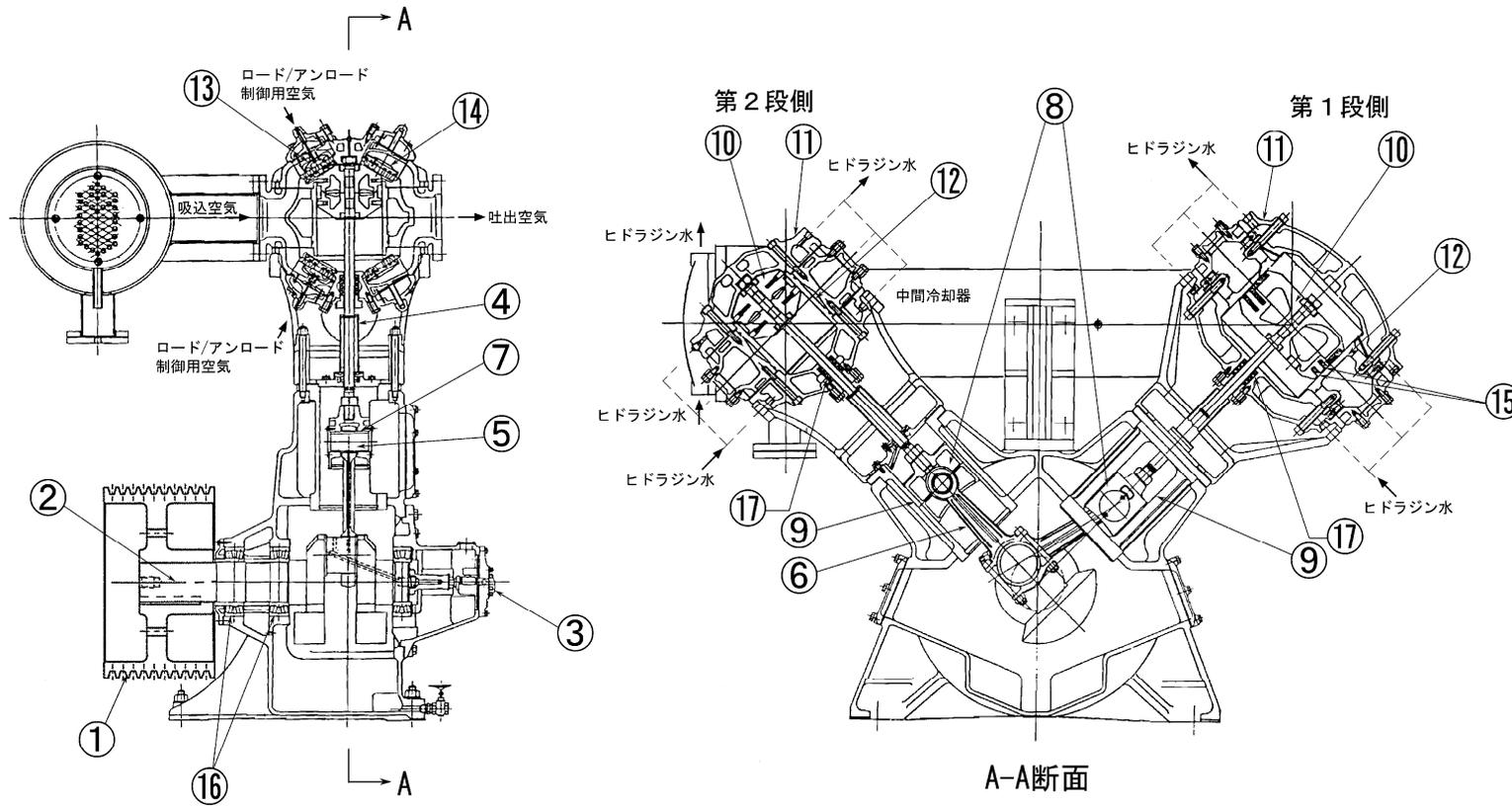
#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の空気圧縮機の使用材料および使用条件を表2.2-1および表2.2-2に示す。



No.	部位
①	ケーシング
②	吸気フィルタ
③	Vベルト
④	基礎ボルト

図2. 2-1 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機本体外形図



No.	部位
①	Vプーリ
②	主軸
③	油ポンプ歯車
④	ピストンロッド
⑤	リストピン
⑥	接続棒
⑦	接続棒メタル
⑧	クロスヘッド
⑨	クロスヘッドガイド
⑩	ピストン
⑪	シリンダヘッド
⑫	シリンダライナ
⑬	吸込弁
⑭	吐出弁
⑮	ピストンリング
⑯	軸受 (ころがり)
⑰	グランドパッキン

図 2.2-2 高浜 4 号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機本体構造図

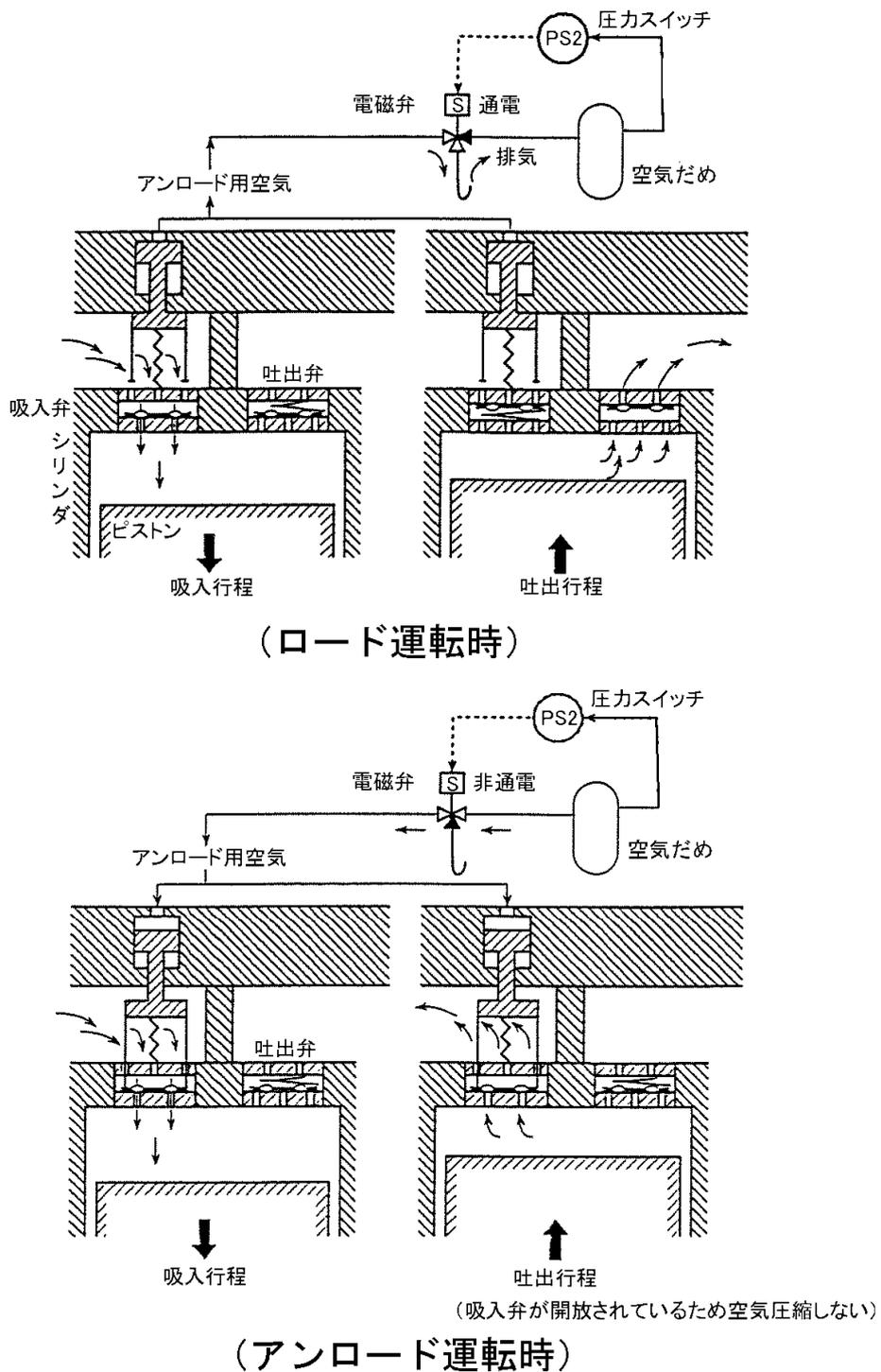


図2. 2-3 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機本体の空気吸込と吐出の行程図

表2. 2-1 高浜 4 号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機本体  
主要部位の使用材料

部位	材料
ケーシング	鋳鉄
吸気フィルタ	消耗品・定期取替品
Vベルト	消耗品・定期取替品
Vプーリ	鋳鉄
主軸	低合金鋼
油ポンプ歯車	炭素鋼
ピストンロッド	低合金鋼 (クロムメッキ)
リストピン	低合金鋼
接続棒	炭素鋼
接続棒メタル	消耗品・定期取替品
クロスヘッド	鋳鉄
クロスヘッドガイド	鋳鉄
ピストン	アルミ合金鋳物
シリンダヘッド	鋳鉄
シリンダライナ	鋳鉄 (クロムメッキ)
吸込弁	消耗品・定期取替品
吐出弁	消耗品・定期取替品
ピストンリング	消耗品・定期取替品
軸受 (ころがり)	消耗品・定期取替品
グラントパッキン	消耗品・定期取替品
基礎ボルト	炭素鋼

表2.2-2 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機本体の使用条件

最高使用圧力	約0.8MPa[gage]
最高使用温度	約200℃
定格容量	約13.0Nm <sup>3</sup> /min
内部流体	空気

## 2.2.2 空気圧縮機中間冷却器

### (1) 構造

高浜4号炉の空気圧縮機中間冷却器は空気圧縮機で圧縮により加熱された空気を冷却するために設置され、横置直管式構造である。

内部流体は胴側が圧縮空気、管側がヒドラジン水（防錆剤注入水）である。

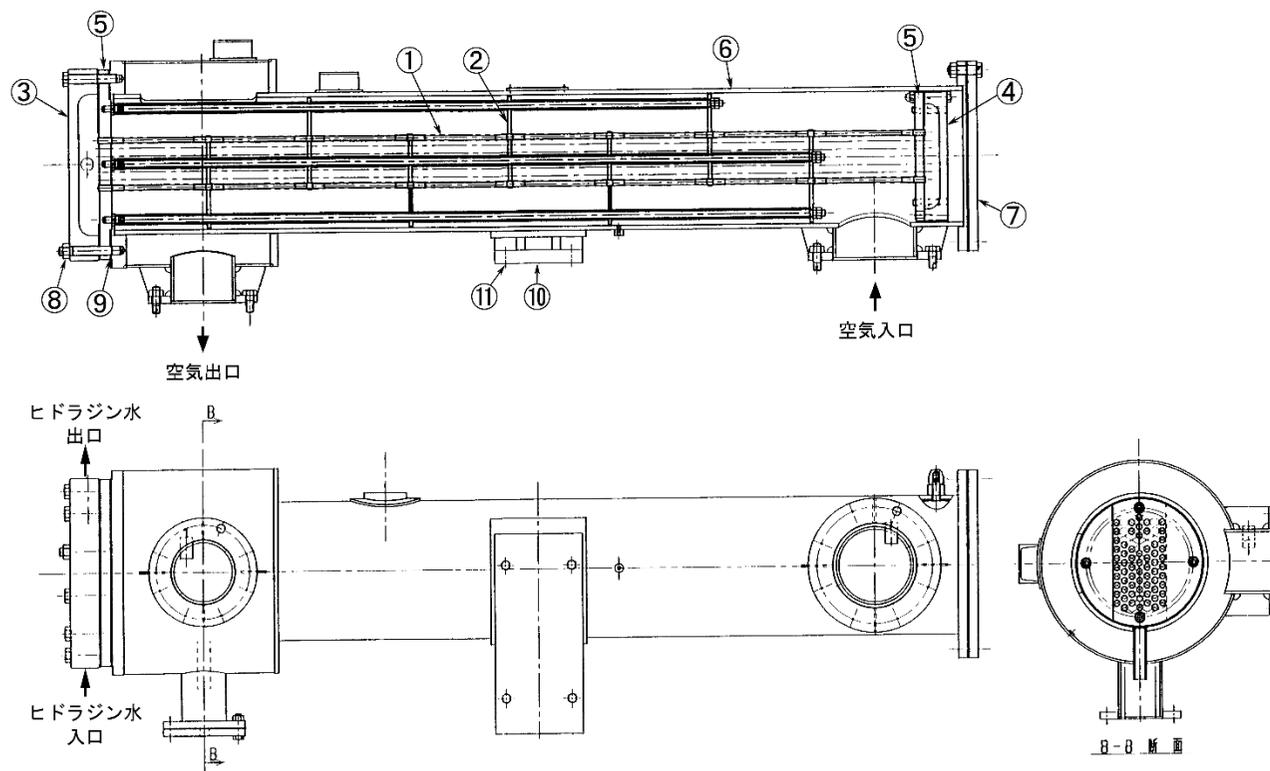
空気圧縮機中間冷却器には、空気が冷却した時に生じる水分（ドレン）を除去するためにたて置円筒形のドレンセパレータを備えている。

空気圧縮機中間冷却器を構成する主要部位の伝熱管および胴板はステンレス鋼製である。

高浜4号炉の空気圧縮機中間冷却器の構造図を図2.2-4に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の空気圧縮機中間冷却器の使用材料および使用条件を表2.2-3および表2.2-4に示す。



No.	部位
①	伝熱管
②	邪魔板
③	メインプレートカバー
④	フローティングプレートカバー
⑤	管板
⑥	胴板
⑦	フランジ
⑧	フランジボルト
⑨	ガスケット
⑩	サポート
⑪	取付ボルト

図2.2-4 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機中間冷却器構造図

表2.2-3 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機中間冷却器  
主要部位の使用材料

構成機器	部位	材料
空気圧縮機 中間冷却器	伝熱管	ステンレス鋼
	邪魔板	ステンレス鋼
	メインプレートカバー	ステンレス鋼
	フローティングプレートカバー	ステンレス鋼
	管板	ステンレス鋼
	胴板	ステンレス鋼
	フランジ	ステンレス鋼
	フランジボルト	ステンレス鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
	サポート	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼

表2.2-4 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機中間冷却器の  
使用条件

最高使用圧力	管側：約1.0MPa[gage]	胴側：約0.4MPa[gage]
最高使用温度	管側：約95℃	胴側：約200℃
内部流体	管側：ヒドラジン水	胴側：空気

### 2.2.3 空気圧縮機モータ

#### (1) 構造

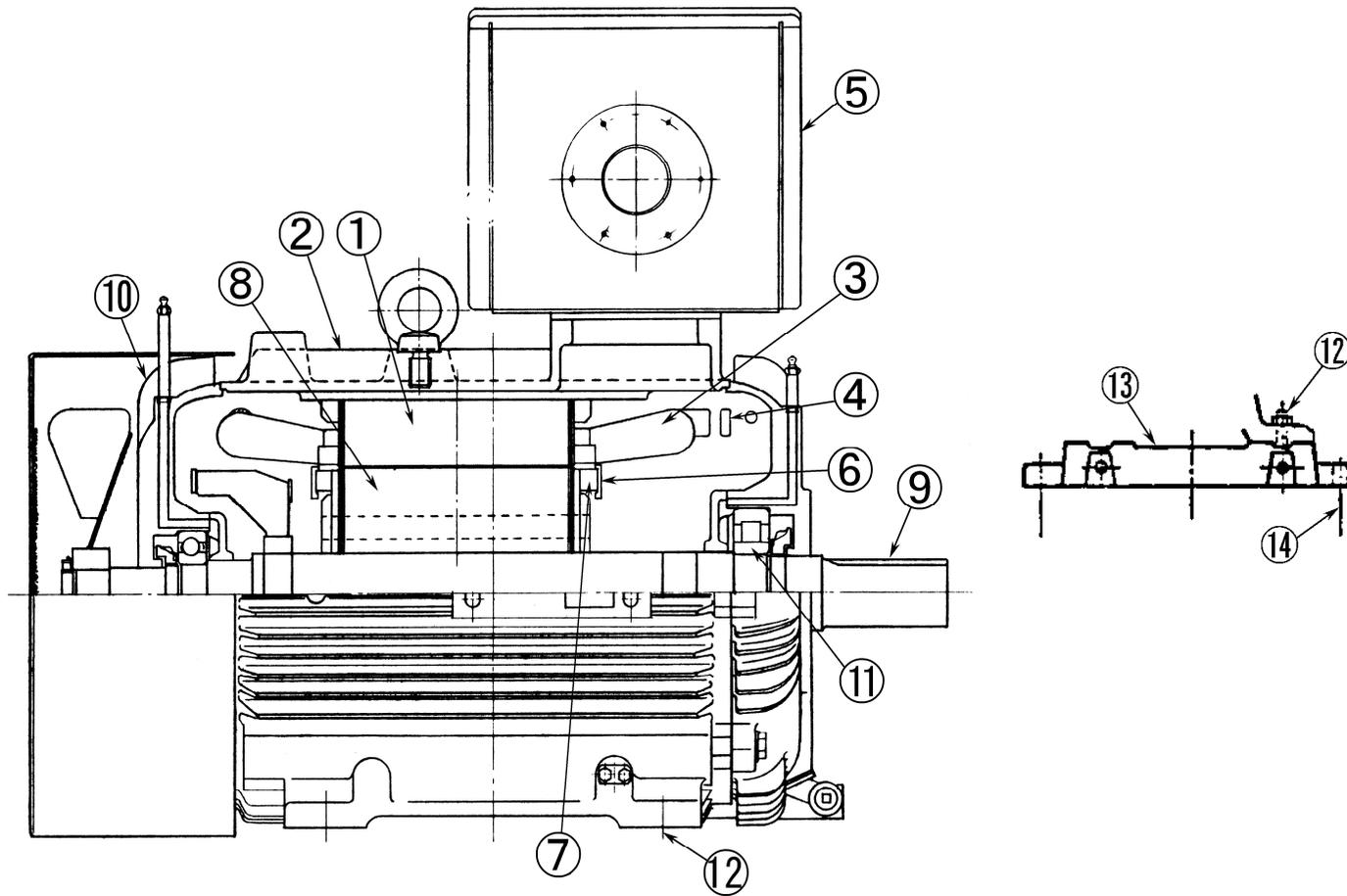
高浜4号炉の空気圧縮機モータは、定格出力110kW、定格回転数1,770rpmの全閉外扇形三相誘導モータ（低圧モータ）であり、2台設置されている。

主軸は炭素鋼を使用しており、負荷側および反負荷側軸受部には、回転体を支えるためのブラケットが取り付けられ、内側にはモータ回転子重量を支えるための軸受を備えている。

高浜4号炉の空気圧縮機モータの構造図を図2.2-5に示す。

#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の空気圧縮機モータの使用材料および使用条件を表2.2-5および表2.2-6に示す。



No.	部 位
①	固定子コア
②	フレーム
③	固定子コイル
④	口出線・接続部品
⑤	端子箱
⑥	エンドリング
⑦	回転子棒
⑧	回転子コア
⑨	主軸
⑩	ブラケット
⑪	軸受 (ころがり)
⑫	取付ボルト
⑬	台板
⑭	基礎ボルト

図2.2-5 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機モータ構造図

表2.2-5 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機モータ  
主要部位の使用材料

部位	材料
固定子コア	珪素鋼板
フレーム	鋳鉄
固定子コイル	銅、マイカ、エポキシ樹脂（F種絶縁）
口出線・接続部品	銅、シリコンゴム、マイカ、 エポキシ樹脂（F種絶縁）
端子箱	炭素鋼
回転子棒・エンドリング	銅合金
回転子コア	珪素鋼板
主軸	炭素鋼
ブラケット	鋳鉄
軸受（ころがり）	消耗品・定期取替品
取付ボルト	炭素鋼
台板	鋳鉄
基礎ボルト	炭素鋼

表2.2-6 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機モータの  
使用条件

定格出力	110kW
周囲温度	約40℃
定格電圧	440V
定格回転数	1,770rpm

## 2.2.4 空気圧縮機後置冷却器

### (1) 構造

高浜4号炉の空気圧縮機後置冷却器は空気圧縮機で圧縮により加熱された空気を冷却するために設置され、横置直管式構造である。

内部流体は管側が圧縮空気、胴側がヒドラジン水（防錆剤注入水）である。

空気圧縮機後置冷却器には、空気が冷却した時に生じる水分（ドレン）を除去するためにたて置円筒式のドレンセパレータが取り付けられている。

空気圧縮機後置冷却器を構成する主要部位の伝熱管は銅合金、胴板は炭素鋼である。

高浜4号炉の空気圧縮機後置冷却器の構造図を図2.2-6に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の空気圧縮機後置冷却器の使用材料および使用条件を表2.2-7および表2.2-8に示す。

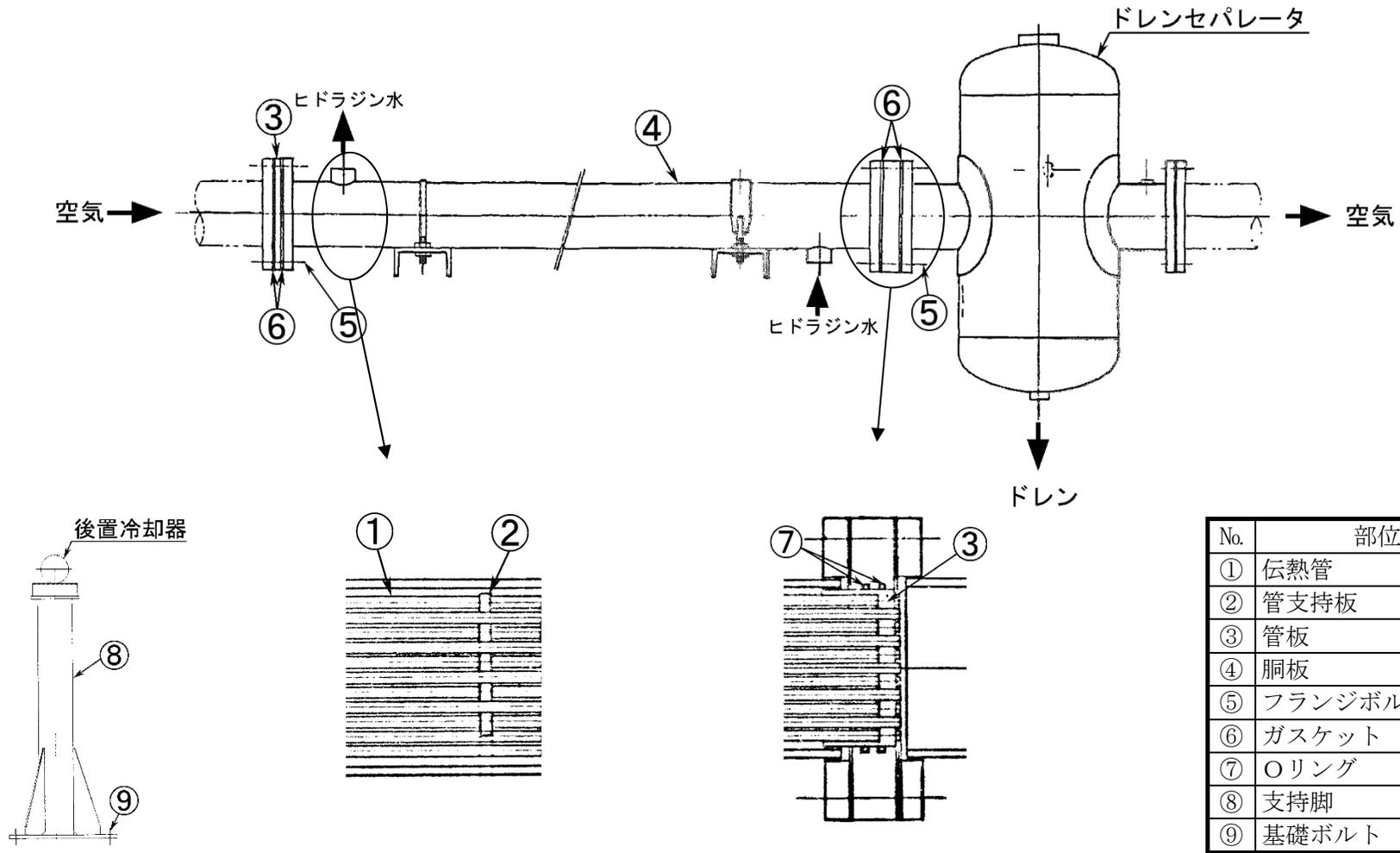


図2.2-6 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機後置冷却器構造図

表2.2-7 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機後置冷却器  
主要部位の使用材料

部位		材料
空気圧縮機 後置冷却器	伝熱管	銅合金
	管支持板	フェノール樹脂
	管板	銅合金
	胴板	炭素鋼
	フランジボルト	低合金鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
	Oリング	消耗品・定期取替品
支持構造物 組立品	支持脚	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.2-8 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機後置冷却器の  
使用条件

最高使用圧力	管側：約0.8MPa [gage]	胴側：約1.0MPa [gage]
最高使用温度	管側：約200℃	胴側：約95℃
内部流体	管側：空気	胴側：ヒドラジン水

## 2.2.5 空気圧縮機ドレンセパレータ

### (1) 構造

高浜4号炉の空気圧縮機ドレンセパレータは、圧縮空気を冷却した時に生じる水分（ドレン）を除去するために設置され、たて置円筒形の構造でステンレス鋼を使用している。

高浜4号炉の空気圧縮機ドレンセパレータの構造図を図2.2-7に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の空気圧縮機ドレンセパレータの使用材料および使用条件を表2.2-9および表2.2-10に示す。

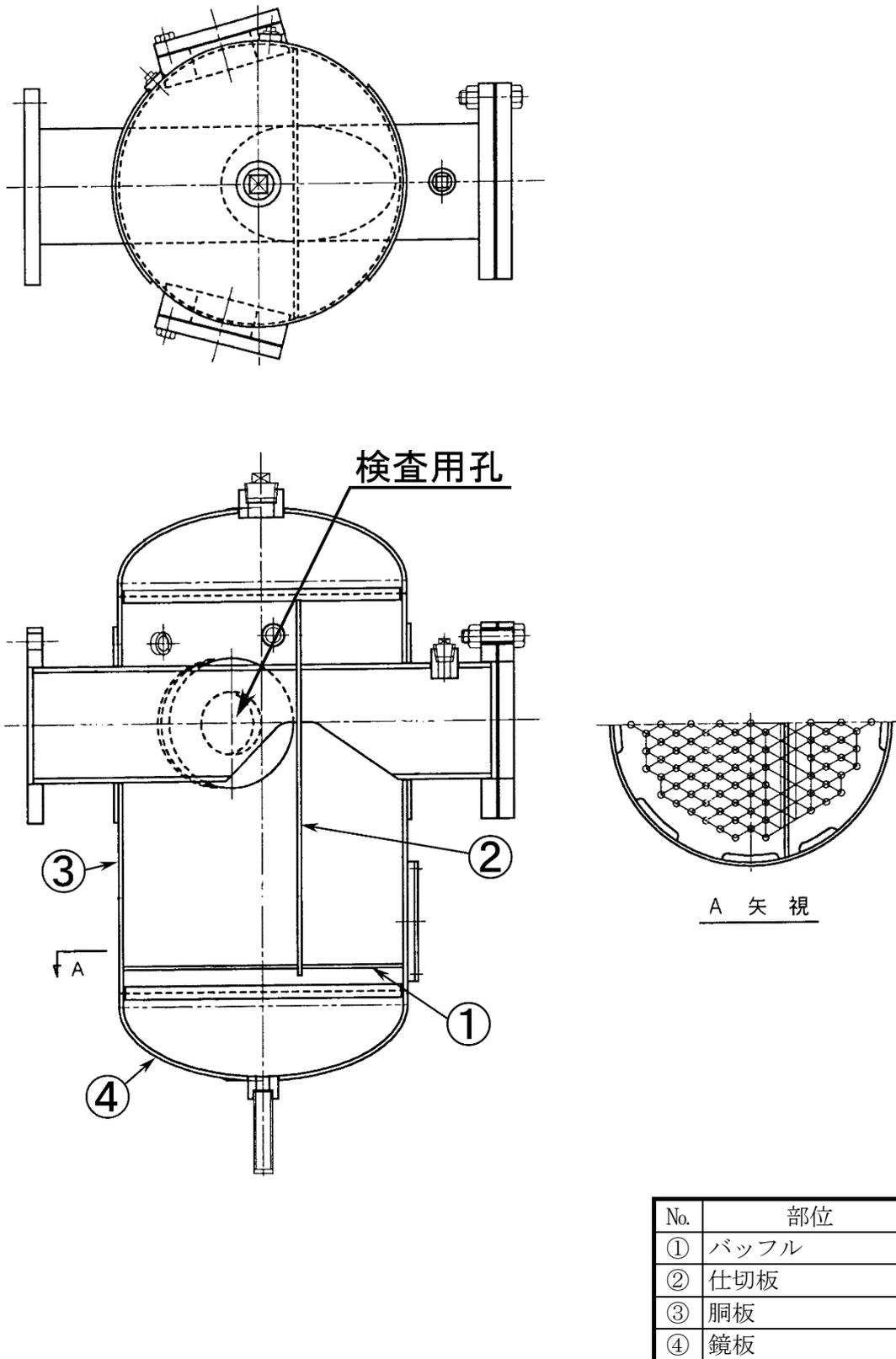


図2.2-7 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機ドレンセパレータ 構造図

表2.2-9 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機ドレンセパレータ  
主要部位の使用材料

部位		材料
空気圧縮機 ドレンセパレータ	バッフル	ステンレス鋼
	仕切板	ステンレス鋼
	胴板	ステンレス鋼
	鏡板	ステンレス鋼

表2.2-10 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機ドレンセパレータの  
使用条件

最高使用圧力	約0.8MPa [gage]
最高使用温度	約50℃
内部流体	空気

## 2.2.6 空気だめ

### (1) 構造

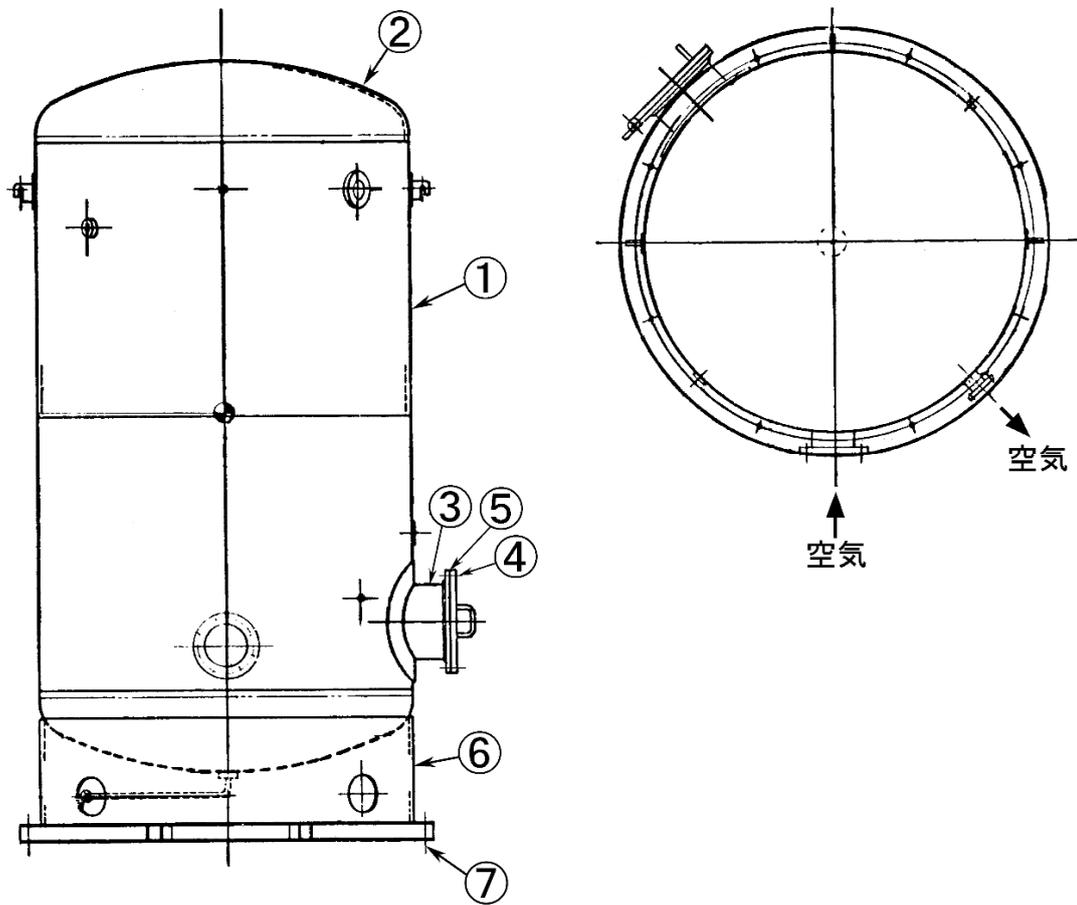
高浜4号炉の空気だめは、圧縮空気を貯蔵するために設置され、たて置円筒形の構造で炭素鋼製である。

空気だめはスカートにより支持され、基礎ボルトで固定されている。

高浜4号炉の空気だめの構造図を図2.2-8に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の空気だめの使用材料および使用条件を表2.2-11および表2.2-12に示す。



No.	部位
①	胴板
②	鏡板
③	マンホール
④	マンホール用ボルト
⑤	ガスケット
⑥	スカート
⑦	基礎ボルト

図2.2-8 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気だめ構造図

表2.2-11 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気だめ  
主要部位の使用材料

部位		材料
空気だめ	胴板	炭素鋼
	鏡板	炭素鋼
	マンホール	炭素鋼
	マンホール用ボルト	低合金鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
支持構造物組立品	スカート	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.2-12 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気だめの  
使用条件

最高使用圧力	約0.8MPa [gage]
最高使用温度	約50℃
定格容量	約11m <sup>3</sup>
内部流体	空気

### 2.2.7 空気圧縮機計器

高浜4号炉の空気圧縮機計器は、圧縮機運転モードの自動切替や圧縮機異常時に自動停止させる目的で、潤滑油圧カスイッチ、空気だめ圧カスイッチおよび空気温度検出器を設置している。

#### (1) 構造

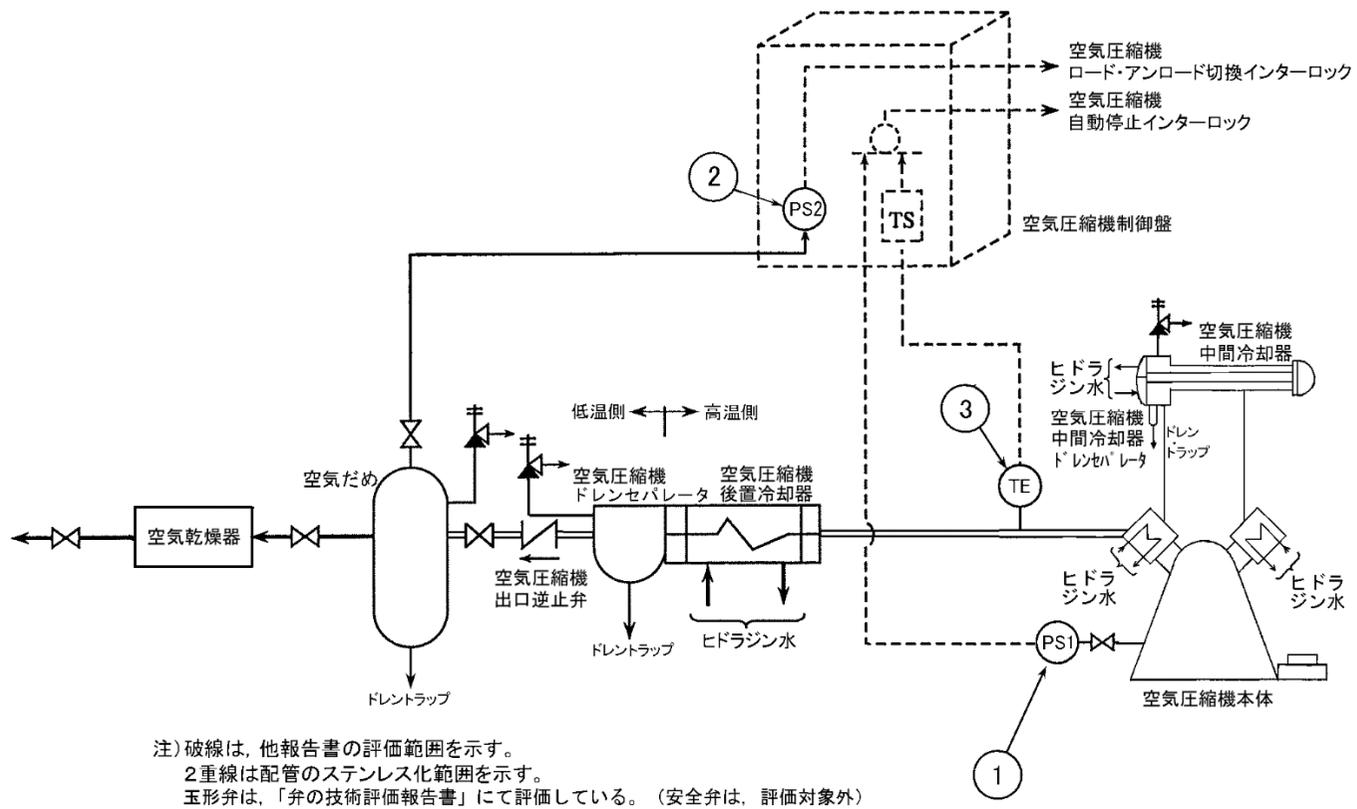
高浜4号炉の空気圧縮機潤滑油圧カスイッチおよび空気だめ圧カスイッチは、圧縮機潤滑油圧力が異常に低下した場合の圧縮機自動停止信号および空気だめ圧力が設定値に達した場合の圧縮機ロード／アンロード運転切替信号を発信する機能を有している。

高浜4号炉の空気圧縮機空気温度検出器は、空気圧縮機出口空気温度が異常に上昇した場合の圧縮機自動停止信号を発信する機能を有している。

高浜4号炉の空気圧縮装置配管、弁および計器主要機器構成図を図2.2-9に示す。

#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の空気圧縮機潤滑油圧カスイッチ、空気だめ圧カスイッチおよび空気温度検出器の使用材料および使用条件を表2.2-13および表2.2-14に示す。



No.	部位
①	潤滑油圧力スイッチ
②	空気だめ圧力スイッチ
③	空気温度検出器

図2.2-9 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置配管、弁および計器主要機器構成図

表2.2-13 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機計器  
主要部位の使用材料

部位	材料
潤滑油圧力スイッチ	ステンレス鋼他
空気だめ圧力スイッチ	ステンレス鋼他
空気温度検出器	ステンレス鋼他

表2.2-14 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機計器の  
使用条件

設置場所	中間建屋
温度	約40℃

## 2.2.8 空気圧縮装置配管

### (1) 構造

高浜4号炉の空気圧縮装置配管には、ステンレス鋼を使用している。

また、各配管はフランジまたは溶接により他の配管、機器に接続している。

高浜4号炉の空気圧縮装置の配管、弁および計器主要機器構成図を図2.2-9に示す。

なお、空気だめ以降の配管および計器用空気乾燥器内の機器は、2.2.10章で評価している。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の空気圧縮装置配管の使用材料および使用条件を表2.2-15および表2.2-16に示す。

表2.2-15 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 配管  
主要部位の使用材料

部位	材料
母管	ステンレス鋼
フランジボルト	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.2-16 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 配管の  
使用条件

最高使用圧力		約0.8MPa [gage]
最高使用温度	高温側*1	約200℃
	低温側*2	約50℃
内部流体		空気

\*1：空気圧縮機後置冷却器より上流側

\*2：空気圧縮機ドレンセパレータより下流側

## 2.2.9 空気圧縮装置弁

高浜4号炉の空気圧縮装置弁は玉形弁、逆止弁および安全弁が設置されている。玉形弁および安全弁については、「弁の技術評価書」にて評価を実施することから、以下の逆止弁について評価を行う。

### 2.2.9.1 空気圧縮機出口逆止弁

#### (1) 構造

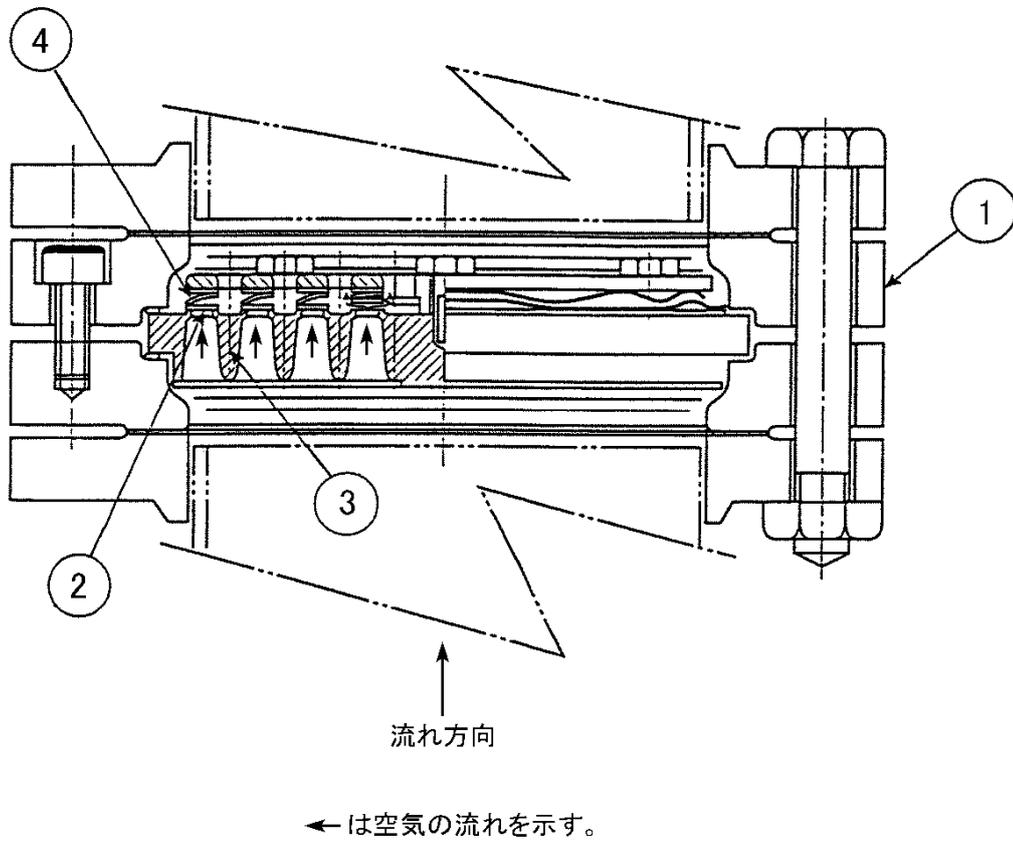
高浜4号炉の空気圧縮装置の空気圧縮機出口逆止弁は、空気圧縮機1台に1台設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱）、流体を仕切る隔離部（弁板、弁座）および弁板を作動させる作動部（ばね）からなる。

高浜4号炉の空気圧縮装置配管、弁および計器主要機器構成図を図2.2-9に、逆止弁の構造図を図2.2-10に示す。

#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の格納容器外制御用空気圧縮装置の空気圧縮機出口逆止弁の使用材料および使用条件を表2.2-17および表2.2-18に示す。



No.	部位
①	弁箱
②	弁板
③	弁座
④	ばね

図2.2-10 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機出口逆止弁構造図

表2.2-17 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機出口逆止弁  
主要部位の使用材料

部位	材料
弁箱	消耗品・定期取替品
弁板	消耗品・定期取替品
弁座	消耗品・定期取替品
ばね	消耗品・定期取替品

表2.2-18 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機出口逆止弁の  
使用条件

最高使用圧力	約0.8MPa [gage]
最高使用温度	約200℃
定格容量	約13.0Nm <sup>3</sup> /min
内部流体	空気

## 2.2.10 空気乾燥器

### (1) 構造

高浜4号炉の空気乾燥器は、吸着剤を充てんした吸着塔2塔を備え、器内の弁(四方弁)が自動的に切り替わることで、「吸着」と「再生」工程を両塔交互に行い、圧縮空気を連続して乾燥する構造である。

「再生」工程は「加熱」と「冷却」モードに分けられ、「加熱」モードでは圧縮空気の一部を加熱器に通過させることにより、高温空気を作り、先の「吸着」工程で吸着剤に吸着された水分を水蒸気状にして冷却器で冷却後、ドレンセパレータでドレン水を分離し器外へ排出する。また、「冷却」モードでは加熱器は切られ、「加熱」モードで熱くなった吸着剤を冷却し、次回の「吸着」工程に備える運転状態である。

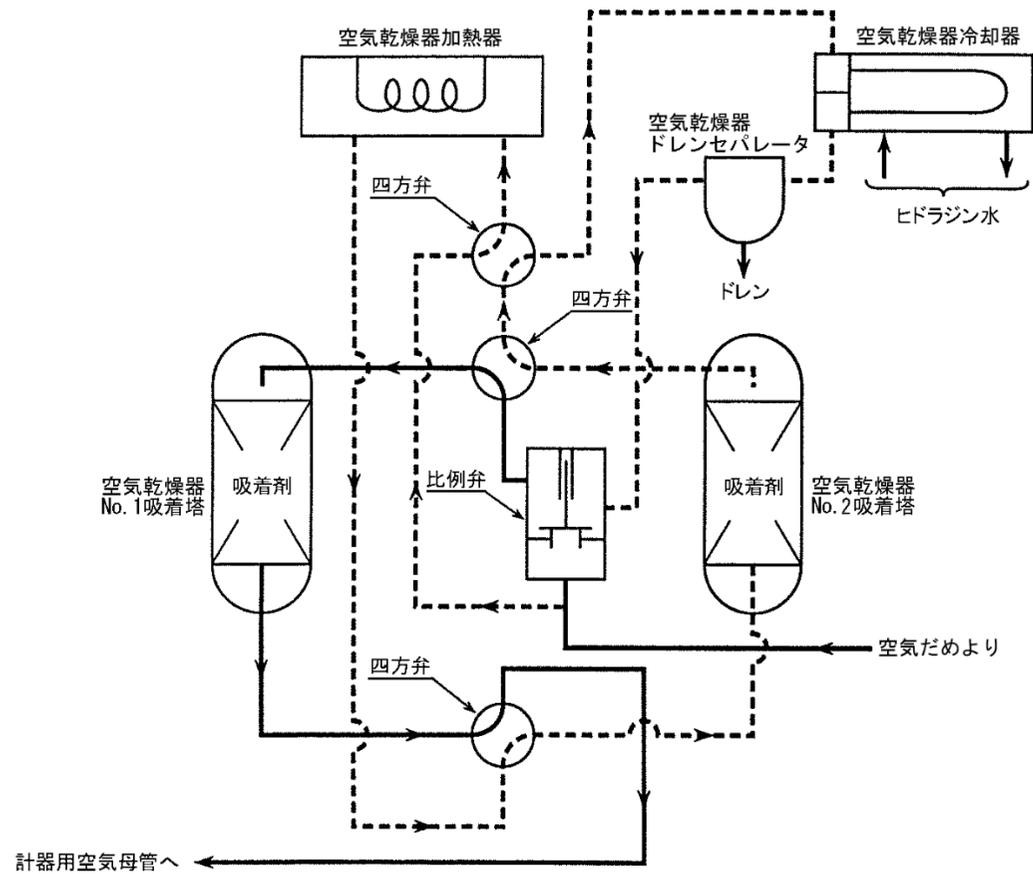
この一連の「再生」工程を行っている間、もう一方の塔では連続して空気を乾燥する「吸着」工程を行っている。

空気乾燥器を構成する主要部位の吸着塔、加熱器および冷却器は炭素鋼およびステンレス鋼を使用している。

高浜4号炉の空気乾燥器の配管および弁主要機器構成図および各機器の構造図を図2.2-11～図2.2-17に示す。

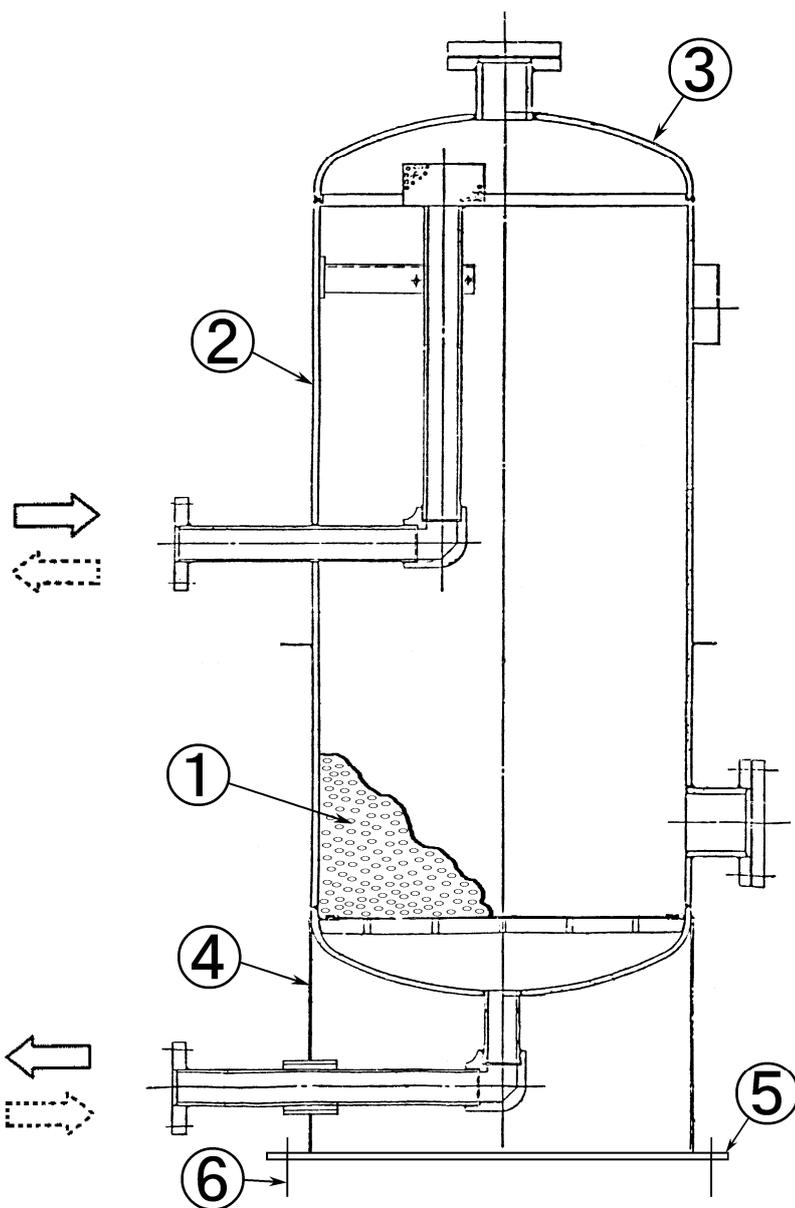
### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の空気乾燥器の使用材料および使用条件を表2.2-19および表2.2-20に示す。



注) 破線は、再生中(加熱モード)のラインを示す。

図2.2-11 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置空気乾燥器 配管および弁主要機器構成図



注) ← は、吸着行程の空気の流れ、  
 ⇄ は、再生行程の空気の流れを示す。

No.	部位
①	吸着剤
②	胴板
③	鏡板
④	スカート
⑤	台板
⑥	基礎ボルト

図2.2-12 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気乾燥器 吸着塔構造図

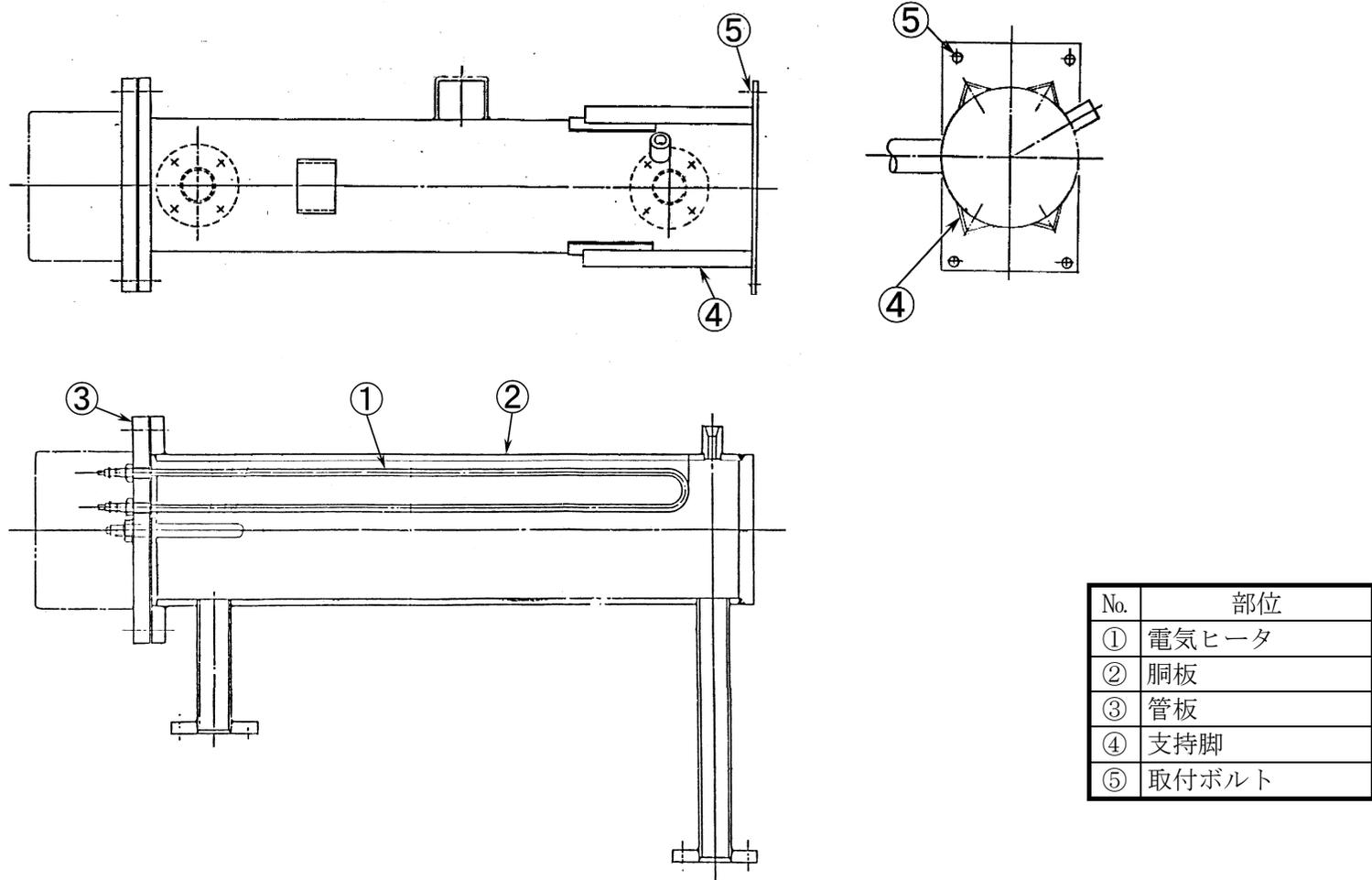
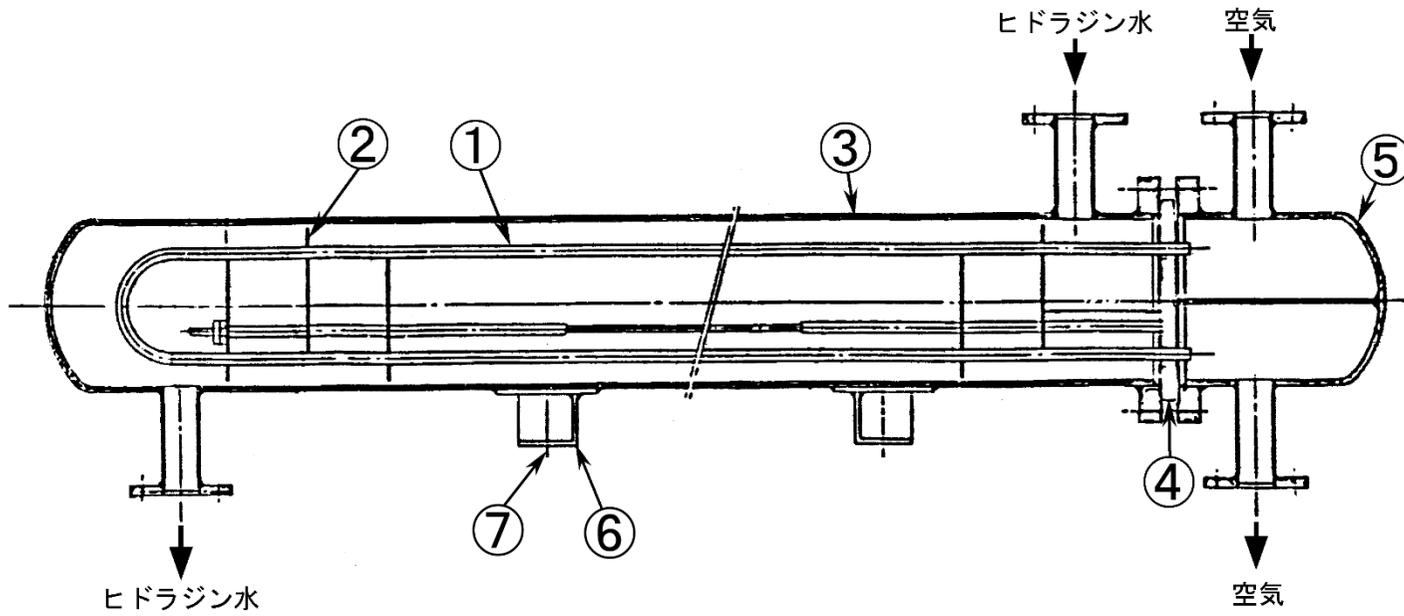
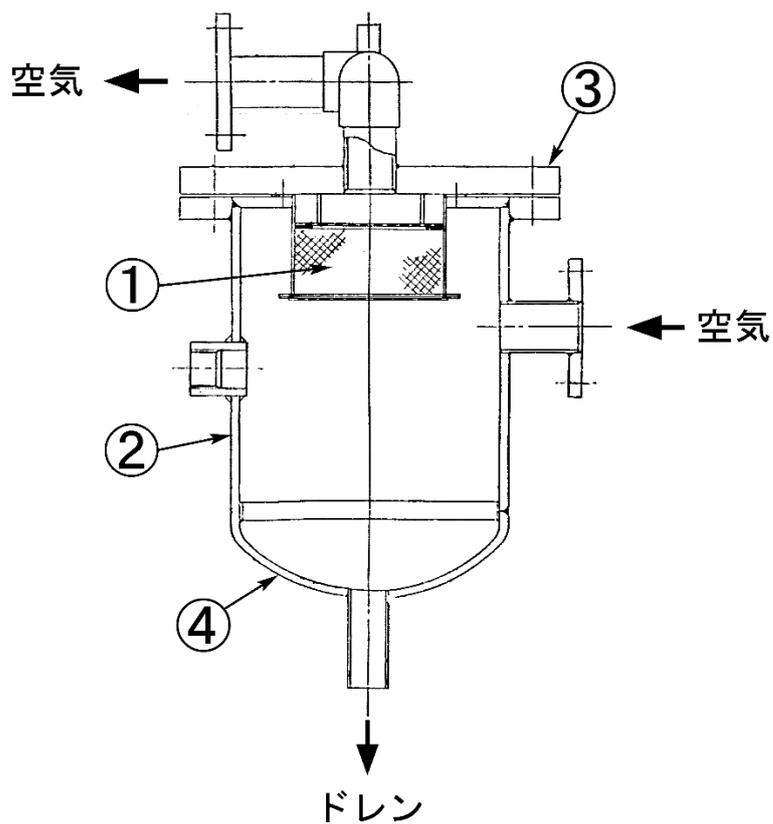
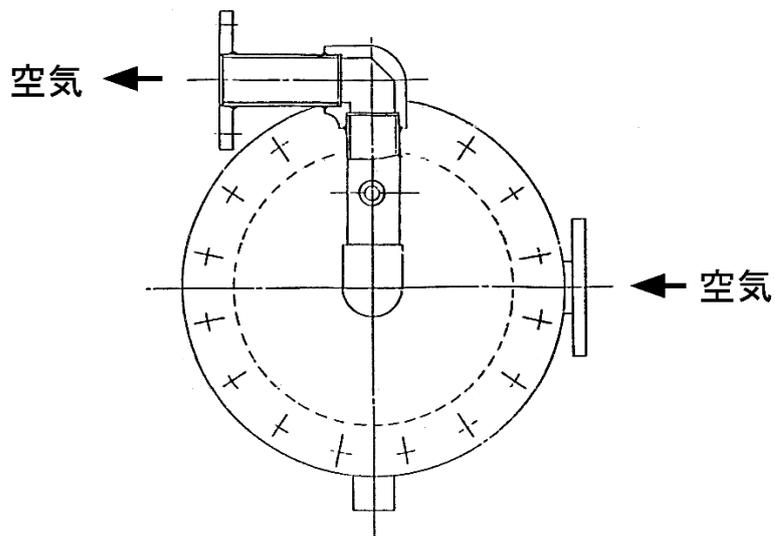


図2.2-13 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気乾燥器 加熱器構造図



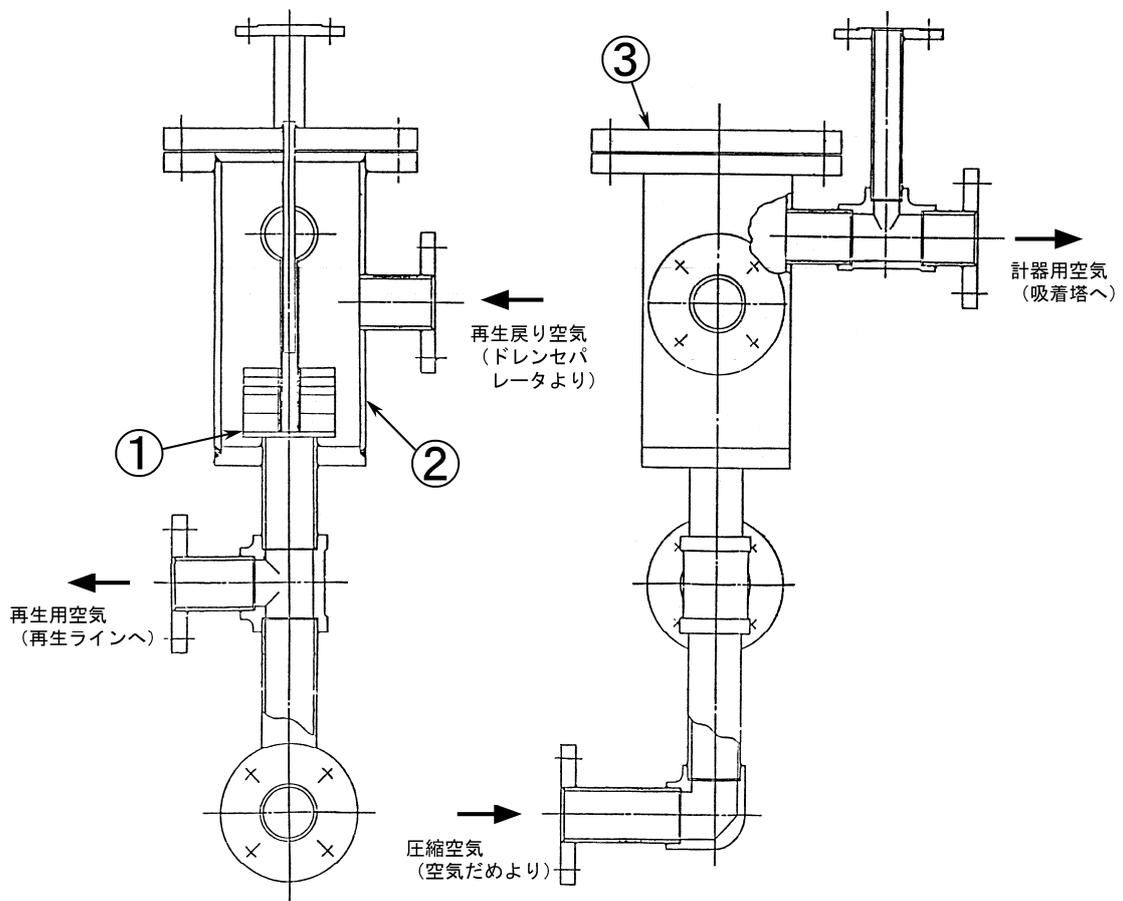
No.	部位
①	伝熱管
②	管支持板
③	胴板
④	管板
⑤	カバー
⑥	支持脚
⑦	取付ボルト

図2.2-14 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気乾燥器 冷却器構造図



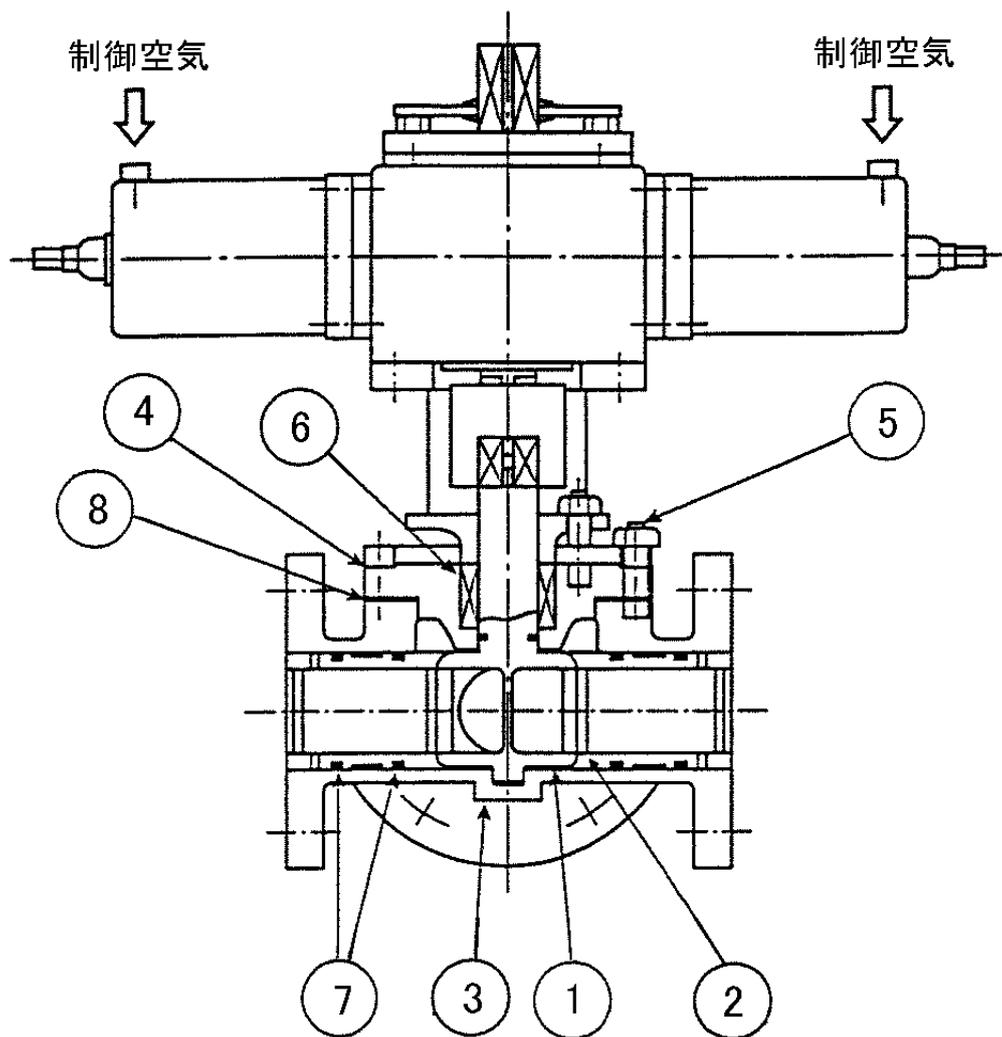
No.	部位
①	デミスタ
②	胴板
③	蓋板
④	円錐板

図2.2-15 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気乾燥器  
ドレンセパレータ構造図



No.	部位
①	弁体
②	弁箱
③	フランジ

図2.2-16 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気乾燥器 比例弁構造図



No.	部位
①	弁体
②	弁座
③	弁箱
④	弁蓋
⑤	弁蓋ボルト
⑥	グランドパッキン
⑦	Oリング
⑧	ガスケット

図2.2-17 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気乾燥器 四方弁構造図

表2.2-19(1/2) 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気乾燥器  
主要部位の使用材料

部位		材料
吸着塔	吸着剤	消耗品・定期取替品
	胴板	炭素鋼
	鏡板	炭素鋼
	スカート	炭素鋼
加熱器	電気ヒータ	ステンレス鋼
	胴板	炭素鋼
	管板	炭素鋼
	支持脚	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼
冷却器	伝熱管	ステンレス鋼
	管支持板	ステンレス鋼
	胴板	炭素鋼
	管板	ステンレス鋼
	カバー	炭素鋼
	支持脚	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼
ドレンセパレータ	デミスタ	ステンレス鋼
	胴板	炭素鋼
	蓋板	炭素鋼
	円錐板	炭素鋼
配管	母管	炭素鋼
	フランジボルト	低合金鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.2-19(2/2) 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置  
空気乾燥器主要部位の使用材料

部位		材料
比例弁	弁体	炭素鋼
	弁箱	炭素鋼
	フランジ	炭素鋼
四方弁	弁体	ステンレス鋼 鋳鋼
	弁座	ステンレス鋼
	弁箱	ステンレス鋼 鋳鋼
	弁蓋	ステンレス鋼 鋳鋼
	弁蓋ボルト	炭素鋼
	グランドパッキン	消耗品・定期取替品
	Oリング	消耗品・定期取替品
支持構造物組立品	ガスケット	消耗品・定期取替品
	台板	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.2-20 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気乾燥器の  
使用条件

	空気乾燥器冷却器管側	空気乾燥器冷却器胴側
最高使用圧力	約0.8MPa [gage]	約1.0MPa [gage]
最高使用温度	約250℃	約95℃
内部流体	空気	ヒドラジン水

## 2.3 経年劣化事象の抽出

### 2.3.1 機能達成に必要な項目

格納容器外制御用空気圧縮装置の機能である空気の圧縮、乾燥、容量（空気流量）確保の達成に必要な項目としては、次の5つの項目がある。

- ① 空気の圧縮、容量（空気流量）の確保
- ② 空気の乾燥
- ③ バウンダリの維持
- ④ 駆動機能の確保
- ⑤ 機器の支持

### 2.3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

格納容器外制御用空気圧縮装置について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料および使用条件（内部流体、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.3-2に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.3-2で○となっているもの）としては以下の事象がある。

#### (1) 空気圧縮機モータ（低圧）固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

### 2.3.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.3-2で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

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

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

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

#### (1) 空気圧縮機本体ケーシング等の腐食（全面腐食）

空気圧縮機本体のケーシング、シリンダヘッド、シリンダライナおよびVプーリは鋳鉄であり、腐食が想定される。

しかしながら、ケーシング、シリンダヘッド、シリンダライナ、Vプーリの大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

一方、ケーシングの内面は油霧囲気、シリンダヘッドおよびシリンダライナの内部流体がヒドラジン水（防錆剤注入水）で腐食しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(2) 空気圧縮機本体主軸等の摩耗

空気圧縮機本体の主軸（連接棒メタルとの接触部）、ピストン、ピストンロッド、リストピンおよびクロスヘッド等の摺動部で摩耗が想定される。

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

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

(3) 空気圧縮機本体主軸等（軸受部）の摩耗

空気圧縮機本体および空気圧縮機モータの軸受はころがり軸受を使用しており、軸受と主軸の接触面で摩耗が想定される。

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(4) 空気圧縮機本体主軸等の腐食（全面腐食）

空気圧縮機本体の主軸、油ポンプ歯車、ピストンロッド、リストピンおよび連接棒等は低合金鋼、鋳鉄または炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、主軸、油ポンプ歯車等は油霧囲気で腐食しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(5) 空気圧縮機本体主軸等の高サイクル疲労割れ

空気圧縮機本体の主軸、ピストンロッド、連接棒、ピストンおよび空気圧縮機モータの主軸には、空気圧縮機運転時に発生する応力により、疲労が蓄積し、高サイクル疲労割れが想定される。

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

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

なお、分解点検時の応力集中部に対する目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(6) 空気圧縮機本体油ポンプ歯車の摩耗

空気圧縮機本体の油ポンプは駆動歯車を介して主軸の回転力により駆動される歯車ポンプであり、歯車は摩擦による摩耗が想定される。

しかしながら、歯車には、潤滑油を供給し摩耗を防止しており、摩耗が発生しがたく、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 空気圧縮機本体シリンダライナの摩耗

空気圧縮機本体のピストンの往復運動により、シリンダライナとピストンリングの接触面で摺動摩耗が想定される。

しかしながら、耐摩耗性をよくするためシリンダライナの内面をクロムメッキ被膜し、ピストンリングには自己潤滑性のあるカーボンを使用しており、摩耗が発生しがたく、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(8) 空気圧縮機本体Vプーリの摩耗

空気圧縮機本体のVプーリは、回転によりVベルト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Vベルトの張力管理、Vプーリの目視確認および寸法計測により、機器の健全性を維持している。

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

(9) 空気圧縮機中間冷却器等伝熱管の高サイクル疲労割れ

空気圧縮機の中間冷却器、後置冷却器および空気乾燥器冷却器の伝熱管は伝熱管振動により高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、伝熱管は外表面の流体によって発生するカルマン渦による振動と共振せず、流力弾性振動も発生しない構造となっており、高サイクル疲労割れが発生しがたい環境である。

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

なお、開放点検時の目視確認や漏えい確認により、機器の健全性を確認している。

(10) 空気圧縮機モータ固定子コアおよび回転子コアの腐食（全面腐食）

空気圧縮機のモータの固定子コアおよび回転子コアは珪素鋼板であり、腐食が想定される。

しかしながら、固定子コアおよび回転子コアはワニス処理により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(11) 空気圧縮機モータ端子箱等の腐食（全面腐食）

空気圧縮機モータの端子箱、フレームおよびブラケットは炭素鋼または鋳鉄であり腐食が想定される。

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

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

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

(12) 空気圧縮機後置冷却器胴板等の腐食（全面腐食）

空気圧縮機後置冷却器の管板、胴板および空気乾燥器冷却器の胴板は銅合金または炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、胴側内部流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、管側内部流体が空気で腐食しがたい環境であり、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(13) 空気圧縮機後置冷却器伝熱管の腐食（全面腐食）

空気圧縮機後置冷却器の伝熱管は銅合金であり、腐食が想定される。

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

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

なお、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(14) 空気だめ胴板等の外面からの腐食（全面腐食）

空気だめの胴板、鏡板、マンホール、空気乾燥器の吸着塔胴板および鏡板等は炭素鋼であり、外面からの腐食が想定される。

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

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

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

(15) 空気だめ胴板等の内面からの腐食（全面腐食）

空気だめの胴板、鏡板およびマンホール等の湿り空気雰囲気中で炭素鋼を使用している部位は長期間の使用により、内面からの腐食が想定される。

しかしながら、空気だめの内面は塗装を施しているが、安全側に塗装がないと仮定して、酸素含有水中における炭素鋼の腐食挙動が放物線則に従うとして、運転開始後60年間の腐食量を評価した。その結果、表2.3-1に示すとおり運転開始後60年時点での推定腐食量は、設計上の腐れ代に対して小さいことから、急激な腐食の進行により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

さらに、定期的にドレントラップを分解して腐食によるスラッジが流入していないことを確認することで機器の健全性を維持している。

表2.3-1 高浜4号炉 空気だめの腐食評価結果

運転開始後60年時点での推定腐食量	腐れ代
約1/5以下	

また、空気乾燥器の吸着塔胴板、鏡板、加熱器胴板、管板、冷却器カバー等の内面および比例弁については、分解点検時または開放点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(16) 空気だめ圧力スイッチ等の特性変化

空気だめ圧力スイッチ、空気圧縮機潤滑油圧力スイッチおよび空気温度検出器は長期間の使用に伴い、検出特性および信号伝達特性の変化が想定される。

しかしながら、検出器は耐食性等を考慮した材料を選定し設計しており、また、圧力スイッチおよび空気温度検出器は屋内に設置されていることから環境変化の程度が小さく、短期間で入出力特性が変化する可能性は小さいと考える。

さらに、空気だめ圧力スイッチおよび空気圧縮機潤滑油圧力スイッチについては、機器点検時の特性試験により、空気温度検出器については、分解点検時または機器点検時の抵抗測定および絶縁抵抗測定により、機器の健全性を維持している。

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

(17) 空気だめ圧力スイッチ等の導通不良

空気だめ圧力スイッチおよび空気圧縮機潤滑油圧力スイッチは接点部分に浮遊塵埃が付着することにより、導通不良が想定される。

しかしながら、接点部分は筐体または盤内に収納されており、塵埃の付着による導通不良が発生しがたい。

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

なお、機器点検時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

(18) 空気乾燥器加熱器電気ヒータの絶縁低下

空気乾燥器加熱器の電気ヒータは長期間の使用に伴い、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、これまでに有意な絶縁低下は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器点検時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(19) 空気乾燥器比例弁および四方弁の弁体等の摩耗

空気圧縮機比例弁、四方弁の弁体および弁座については、内部流体中の異物との衝突および弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、空気圧縮機入口には吸気フィルタを設置し異物を除去しており、摩耗が発生しがたく、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(20) フランジボルトおよびマンホールボルト等の腐食（全面腐食）

空気圧縮機後置冷却器、配管のフランジボルト、空気乾燥器配管のフランジボルト、空気だめのマンホール用ボルトおよび空気乾燥器の四方弁弁蓋ボルトは低合金鋼または炭素鋼であり、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

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

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

なお、分解点検時または開放点検時等の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(21) サポートおよびスカート等の腐食（全面腐食）

空気圧縮機中間冷却器、後置冷却器のサポート、支持脚、空気だめのスカート、空気乾燥器吸着塔、加熱器、冷却器のスカートおよび支持脚等は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

(22) 台板および取付ボルト等の腐食（全面腐食）

空気乾燥器の台板、空気圧縮機モータの台板、空気圧縮機および空気乾燥器の各種取付ボルトは炭素鋼または鋳鉄であり、腐食が想定される。

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

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

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

(23) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、本評価書の「基礎ボルト」にてまとめて評価を実施する。

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

(24) 空気圧縮機モータ回転子棒・エンドリングの疲労割れ

空気圧縮機モータの回転子棒・エンドリングについては、モータの起動時に発生する電磁力による繰り返し応力を受けるため、疲労割れが想定される。

しかしながら、発生応力は疲労強度より小さく、これまでに有意な割れは認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

2.3.4 消耗品および定期取替品

吸気フィルタ、吸込弁、吐出弁、軸受（ころがり）、グランドパッキン、Vベルト、ガスケット、Oリング、出口逆止弁弁板、出口逆止弁弁座、出口逆止弁ばね、出口逆止弁弁箱および吸着剤は分解点検時または開放点検時に取替える消耗品であり、連接棒メタルおよびピストンリングは分解点検時の目視確認や寸法計測の結果に基づき取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.3-2(1/13) 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機本体に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
空気の圧縮、容量(空気流量)の確保	ケーシング		鋳鉄		△						*1：接続棒メタルとの接触部 *2：軸受部 *3：高サイクル疲労割れ
	吸気フィルタ	◎	—								
	主軸		低合金鋼	△*1 △*2	△	△*3			△*1		
	油ポンプ歯車		炭素鋼	△	△						
	ピストンロッド		低合金鋼(クロムメッキ)	△	△	△*3					
	リストピン		低合金鋼	△	△						
	接続棒		炭素鋼		△	△*3					
	接続棒メタル	◎	—								
	クロスヘッド		鋳鉄	△	△						
	クロスヘッドガイド		鋳鉄	△	△						
	ピストン		アルミ合金鋳物	△		△*3					
	シリンダヘッド		鋳鉄		△						
	シリンダライナ		鋳鉄(クロムメッキ)	△	△						
	吸込弁	◎	—								
	吐出弁	◎	—								
	ピストンリング	◎	—								
	軸受(ころがり)	◎	—								
	グランドパッキン	◎	—								
駆動機能の確保	Vベルト	◎	—								
	Vプーリ		鋳鉄	△	△						
機器の支持	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象(日常劣化管理事象)

表2.3-2(2/13) 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 中間冷却器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
空気の圧縮、容量(空気流量)の確保	伝熱管		ステンレス鋼			△*1					*1：高サイクル疲労割れ
	邪魔板		ステンレス鋼								
	メインプレートカバー		ステンレス鋼								
	フローティングプレートカバー		ステンレス鋼								
	管板		ステンレス鋼								
	胴板		ステンレス鋼								
	フランジ		ステンレス鋼								
	フランジボルト		ステンレス鋼								
	ガスケット	◎	—								
機器の支持	サポート		炭素鋼		△						
	取付ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.3-2(3/13) 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機モータに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		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		
駆動機能の確保	固定子コア		珪素鋼板		△						*1：絶縁低下 *2：高サイクル疲労割れ
	フレーム		鋳鉄		△						
	固定子コイル		銅、マイカ、エポキシ樹脂							○*1	
	口出線・接続部品		銅、シリコンゴム、マイカ、エポキシ樹脂							○*1	
	端子箱		炭素鋼		△						
	回転子棒・エンドリング		銅合金			▲					
	回転子コア		珪素鋼板		△						
	主軸		炭素鋼	△		△*2					
	ブラケット		鋳鉄		△						
軸受（ころがり）	◎	—									
機器の支持	取付ボルト		炭素鋼		△						
	台板		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

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.3-2(4/13) 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 後置冷却器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
空気の圧縮、容量(空気流量)の確保	伝熱管		銅合金		△	△*1					*1：高サイクル疲労割れ
	管支持板		フェノール樹脂								
バウンダリの維持	管板		銅合金		△						
	胴板		炭素鋼		△						
	フランジボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	Oリング	◎	—								
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.3-2(5/13) 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機ドレンセパレータに想定される  
経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		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		
空気の乾燥	バップル		ステンレス鋼								
	仕切板		ステンレス鋼								
バウンダリの 維持	胴板		ステンレス鋼								
	鏡板		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2.3-2(6/13) 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気だめに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	胴板		炭素鋼		△(外面) △(内面)						
	鏡板		炭素鋼		△(外面) △(内面)						
	マンホール		炭素鋼		△(外面) △(内面)						
	ガスケット	◎	—								
	マンホール用ボルト		低合金鋼		△						
機器の支持	スカート		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.3-2(7/13) 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 計器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
空気の圧縮、容量(空気流量)の確保	潤滑油圧力スイッチ		ステンレス鋼他							△ <sup>*1,2</sup>	*1：特性変化 *2：導通不良
	空気だめ圧力スイッチ		ステンレス鋼他							△ <sup>*1,2</sup>	
	空気温度検出器		ステンレス鋼他							△ <sup>*1</sup>	

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.3-2(8/13) 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	母管		ステンレス鋼								
	フランジボルト		炭素鋼		△						
	ガスケット	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.3-2(9/13) 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気圧縮機出口逆止弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
空気の圧縮、容量(空気流量)の確保	弁板	◎	—								
	弁座	◎	—								
	ばね	◎	—								
バウンダリの維持	弁箱	◎	—								

△：高経年化対策上着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2.3-2(10/13) 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気乾燥器に想定される経年劣化事象(1/4)

機能達成に必要な項目	部位		消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
					減肉		割れ		材質変化			その他
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
空気の乾燥	ドレンセパレータ	デミスタ		ステンレス鋼								*1：絶縁低下 *2：高サイクル疲労割れ
	吸着塔	吸着剤	◎	—								
	加熱器	電気ヒータ		ステンレス鋼							△*1	
	冷却器	伝熱管		ステンレス鋼			△*2					
		管支持板		ステンレス鋼								
	比例弁	弁体		炭素鋼	△	△						
	四方弁	弁体		ステンレス鋼鋳鋼	△							
弁座			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2.3-2(11/13) 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気乾燥器に想定される経年劣化事象(2/4)

機能達成に必要な項目	部位		消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
					減肉		割れ		材質変化			その他
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	加熱器	胴板		炭素鋼		△(外面) △(内面)						
		管板		炭素鋼		△(外面) △(内面)						
	冷却器	胴板		炭素鋼		△						
		管板		ステンレス鋼								
		カバー		炭素鋼		△(外面) △(内面)						
	ドレンセパレータ	胴板		炭素鋼		△(外面) △(内面)						
		蓋板		炭素鋼		△(外面) △(内面)						
		円錐板		炭素鋼		△(外面) △(内面)						
	配管	母管		炭素鋼		△(外面) △(内面)						
		フランジボルト		低合金鋼		△						
		ガスケット	◎	—								
	吸着塔	胴板		炭素鋼		△(外面) △(内面)						
		鏡板		炭素鋼		△(外面) △(内面)						

△：高経年化対策上着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2.3-2(12/13) 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気乾燥器に想定される経年劣化事象(3/4)

機能達成に必要な項目	部位		消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
					減肉		割れ		材質変化			その他
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	比例弁	弁箱		炭素鋼		△(外面) △(内面)						
		フランジ		炭素鋼		△(外面) △(内面)						
	四方弁	弁箱		ステンレス鋼鋳鋼								
		弁蓋		ステンレス鋼鋳鋼								
		弁蓋ボルト		炭素鋼		△						
		グラウンドパッキン	◎	—								
		Oリング	◎	—								
ガスケット	◎	—										

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.3-2(13/13) 高浜4号炉 格納容器外制御用空気圧縮装置 空気乾燥器に想定される経年劣化事象(4/4)

機能達成に必要な項目	部位		消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
					減肉		割れ		材質変化			その他
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
機器の支持	吸着塔	スカート		炭素鋼		△						
	加熱器	支持脚		炭素鋼		△						
		取付ボルト		炭素鋼		△						
	冷却器	支持脚		炭素鋼		△						
		取付ボルト		炭素鋼		△						
	台板			炭素鋼		△						
	基礎ボルト			炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

## 2.4 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

### 2.4.1 空気圧縮機モータの固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下

#### a. 事象の説明

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下については、低圧ポンプモータと同様であることから、「ポンプモータの技術評価書」低圧ポンプモータの固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下の事象の説明を参照のこと。

#### b. 技術評価

空気圧縮機モータの電圧区分、使用環境等は、低圧ポンプモータと同様であることから、固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下に対する技術評価については、「ポンプモータの技術評価書」低圧ポンプモータの固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下に対する技術評価を参照のこと。

#### c. 高経年化への対応

空気圧縮機モータの電圧区分、使用環境等は、低圧ポンプモータと同様であることから、固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下に対する高経年化への対応については、「ポンプモータの技術評価書」低圧ポンプモータの固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下に対する高経年化への対応を参照のこと。

### 3. 代表機器以外への展開

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

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

- ① 格納容器内制御用空気圧縮装置（以下、CV内用空気圧縮装置という）
- ② 非常用ディーゼル発電機起動用空気圧縮機（以下、DG空気圧縮機という）
- ③ Aガスサンプリング圧縮装置（以下、Aガス圧縮装置という）

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

##### 3.1.1 空気圧縮機モータ（低圧）の固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下

[CV内用空気圧縮装置、Aガス圧縮装置]

代表機器と同様、長期間の運転を考慮すると固定子コイルおよび口出線の絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、固定子コイルおよび口出線の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していくとともに、点検結果に基づき監視強化としての絶縁抵抗測定の実施頻度の見直しおよび必要に応じて洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を実施していく。

### 3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.3.3の1)または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

#### 3.2.1 空気圧縮機本体ケーシング等の腐食（全面腐食） [共通]

空気圧縮機本体のケーシング、シリンダヘッド、シリンダおよびガス圧縮機本体のケーシングは鋳鉄であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、ケーシングおよびシリンダの内面は油雰囲気であり、空気圧縮機本体シリンダヘッドの内部流体がヒドラジン水（防錆剤注入水）で腐食しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認や試運転時の機能確認により、機器の健全性を確認している。

#### 3.2.2 空気圧縮機本体主軸等の摩耗 [共通]

空気圧縮機およびガス圧縮機の本体主軸（接続棒メタルとの接触部）、ピストン、リストピン等摺動部で摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認や寸法計測および試運転時の機能確認により、状況を確認し、機器の健全性を維持している。

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

### 3.2.3 空気圧縮機本体主軸（軸受部）の摩耗〔共通〕および空気圧縮機モータ主軸（軸受部）の摩耗〔CV内用空気圧縮装置、Aガス圧縮装置〕

空気圧縮機およびガス圧縮機の本体、空気圧縮機およびガス圧縮機のモータ軸受はころがり軸受を使用しており、軸受と主軸の接触面で摩耗が想定される。

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測および試運転時の機能確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.4 空気圧縮機主軸等の腐食（全面腐食）〔共通〕および油ポンプ歯車の腐食（全面腐食）〔DG空気圧縮機〕

空気圧縮機およびガス圧縮機の本体主軸、リストピン、接続棒、空気圧縮機本体の油ポンプ歯車等は炭素鋼または低合金鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、主軸、油ポンプ歯車を潤滑または潤滑油がはねかけられる油雰囲気であり、腐食しがたく、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.5 空気圧縮機主軸等の高サイクル疲労割れ〔共通〕および空気圧縮機モータ主軸等の高サイクル疲労割れ〔CV内用空気圧縮装置、Aガス圧縮装置〕

空気圧縮機およびガス圧縮機の本体主軸、連接棒、ピストン、空気圧縮機およびガス圧縮機のモータ主軸等は、空気圧縮機運転時に発生する応力により、疲労が蓄積し、高サイクル疲労割れが想定される。

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

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

なお、分解点検時の応力集中部に対する目視確認や磁粉探傷検査および試運転時の機能確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.6 空気圧縮機本体シリンダ等の摩耗〔共通〕

空気圧縮機およびガス圧縮機の本体ピストンの往復運動により、シリンダとピストンリングの接触面で摺動摩耗が想定される。

しかしながら、耐摩耗性をよくするためシリンダの内面をクロムメッキ被膜、ピストンリングには自己潤滑性のあるカーボンを使用しており、摩耗が発生しがたく、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測および試運転時の機能確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.7 空気圧縮機本体油ポンプ歯車の摩耗〔DG空気圧縮機〕

空気圧縮機本体の油ポンプは歯車ポンプであり、歯面によりトルクを伝達するため、摩耗が想定される。

しかしながら、歯車には、潤滑油を供給し摩耗を防止しており、摩耗が発生しがたく、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.8 空気圧縮機本体Vプーリの腐食（全面腐食） [C V内用空気圧縮装置]

空気圧縮機本体のVプーリは鋳鉄であり、腐食が想定される。

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.9 空気圧縮機本体Vプーリの摩耗 [C V内用空気圧縮装置]

空気圧縮機本体のVプーリは、回転によりVベルト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Vベルトの張力管理、Vプーリの目視確認および寸法計測により、機器の健全性を維持している。

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

### 3.2.10 空気圧縮機本体伝熱部の腐食（全面腐食）〔DG空気圧縮機〕

空気圧縮機本体の伝熱部は銅合金であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、内部流体は潤滑油および空気腐食しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.11 空気圧縮機モータ固定子コア、回転子コアの腐食（全面腐食）〔CV内用空気圧縮装置、Aガス圧縮装置〕

空気圧縮機およびガス圧縮機モータの固定子コアおよび回転子コアは珪素鋼板であり、腐食が想定される。

しかしながら、固定子コアおよび回転子コアはワニス処理により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.12 空気圧縮機モータ端子箱等の腐食（全面腐食）〔C V内用空気圧縮装置、Aガス圧縮装置〕

空気圧縮機およびガス圧縮機のモータ端子箱、フレームおよびブラケットは炭素鋼または鋳鉄であり腐食が想定される。

しかしながら、内外面とも塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

3.2.13 空気圧縮機後置冷却器等伝熱管の高サイクル疲労割れ〔C V内用空気圧縮装置〕

空気圧縮機後置冷却器および空気乾燥器冷却器の伝熱管は伝熱管振動により高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、伝熱管は外表面の流体によって発生するカルマン渦による振動と共振せず、流力弾性振動も発生しない構造となっており、高サイクル疲労割れが発生しがたい環境である。

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

なお、開放点検時の目視確認や漏えい確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.14 空気圧縮機後置冷却器胴板等の腐食（全面腐食）〔C V内用空気圧縮装置〕

空気圧縮機後置冷却器の胴板および空気乾燥器冷却器の胴板は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、胴側内部流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）、管側内部流体が空気である腐食しやすい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.15 空気圧縮機ドレンセパレータ胴板等の腐食（全面腐食）〔C V内用空気圧縮装置、D G空気圧縮機〕

空気圧縮機ドレンセパレータの胴板、鏡板および多孔板またはバッフルは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、内面および多孔板またはバッフルについては内部流体が空気である腐食しやすい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.16 空気だめ胴板等の外面からの腐食（全面腐食）〔C V内用空気圧縮装置〕

空気だめの胴板、鏡板、マンホール、空気乾燥器冷却器のカバーおよびドレンセパレータの胴板は炭素鋼であり、外面からの腐食が想定される。

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

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

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

3.2.17 空気だめ胴板等の内面からの腐食（全面腐食）〔C V内用空気圧縮装置〕

空気だめの胴板、鏡板、マンホール、空気乾燥器冷却器のカバーおよびドレンセパレータの胴板等の湿り空気雰囲気中で炭素鋼を使用している部位は長期間の使用により、内面からの腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時または開放点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

3.2.18 空気だめ圧力スイッチおよび空気温度検出器の特性変化〔C V内用空気圧縮装置〕

空気だめ圧力スイッチおよび空気温度検出器は長期間の使用に伴い、検出特性および信号伝達特性の変化が想定される。

しかしながら、検出器は耐食性等を考慮した材料を選定し設計しており、また空気だめ圧力スイッチおよび空気温度検出器は屋内に設置されていることから環境変化の程度が小さく、短期間で入出力特性が変化する可能性は小さいと考える。

さらに、空気だめ圧力スイッチについては、機器点検時の特性試験により、空気温度検出器については、分解点検時または機器点検時の抵抗測定および絶縁抵抗測定により、機器の健全性を維持している。

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

### 3.2.19 空気だめ圧力スイッチの導通不良 [C V内用空気圧縮装置]

空気だめ圧力スイッチは接点部分に浮遊塵埃が付着することにより、導通不良が想定される。

しかしながら、接点部分は筐体または盤内に収納されており、塵埃の付着による導通不良が発生しがたい。

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

なお、機器点検時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.20 空気乾燥器吸着塔電気ヒータの絶縁低下 [C V内用空気圧縮装置]

空気乾燥器吸着塔の電気ヒータは長期間の使用に伴い、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、これまでに有意な絶縁低下は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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

なお、機器点検時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.21 空気乾燥器比例弁および四方弁の弁体および弁座の摩耗 [C V内用空気圧縮装置]

空気乾燥器比例弁、四方弁の弁体および弁座については、内部流体中の異物との衝突および弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、空気圧縮機入口には吸気フィルタを設置し異物を除去し摩耗を防止しており、摩耗が発生しがたく、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.22 フランジボルト等の腐食（全面腐食）〔C V内用空気圧縮装置、Aガス圧縮装置〕

空気圧縮機後置冷却器のフランジボルト、空気だめのマンホール用ボルト、空気乾燥器の四方弁弁蓋ボルト、空気圧縮機およびガス圧縮機の配管フランジボルト等は低合金鋼または炭素鋼であり、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時または開放点検時等の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.23 支持脚の腐食（全面腐食）〔共通〕およびスカート等の腐食（全面腐食）〔C V内用空気圧縮装置〕

空気圧縮機後置冷却器、空気乾燥器冷却器の支持脚、空気圧縮機およびガス圧縮機のドレンセパレータ支持脚および空気だめのスカート等は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

### 3.2.24 台板および取付ボルト等の腐食（全面腐食）〔共通〕

空気圧縮機およびガス圧縮機の本体、空気圧縮機およびガス圧縮機のモータ、空気乾燥器の台板および各種取付ボルトは低合金鋼、鋳鉄または炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

### 3.2.25 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、本評価書の「基礎ボルト」にてまとめて評価を実施する。

2.2.3の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

### 3.2.26 空気圧縮機モータ回転子棒・エンドリングの疲労割れ〔CV内用空気圧縮装置、Aガス圧縮装置〕

空気圧縮機およびガス圧縮機のモータ回転子棒・エンドリングについては、モータの起動時に発生する電磁力による繰り返し応力を受けるため、疲労割れが想定される。

しかしながら、発生応力は疲労強度より小さく、これまでに有意な割れは認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

## 3 燃料取扱設備

- 3. 1 燃料取扱設備（クレーン関係）
- 3. 2 燃料移送装置
- 3. 3 新燃料貯蔵設備

本技術評価書は、高浜4号炉で使用されている燃料取扱設備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。

高浜4号炉で使用されている燃料取扱設備は、クレーン関係および装置関係に大きく分かれ、型式等でグループ化すると3つのグループに分類されるため、本評価書においては、これら対象設備3種類についての技術評価を行う。

本評価書では、燃料取扱設備の型式等を基に、以下の3つに分類している。

3. 1 燃料取扱設備（クレーン関係）
3. 2 燃料移送装置
3. 3 新燃料貯蔵設備

## 3. 1 燃料取扱設備（クレーン関係）

[対象機器]

- ① 燃料取替クレーン
- ② 使用済燃料ピットクレーン
- ③ 燃料取扱建屋クレーン

## 目次

1.	技術評価対象機器および代表機器の選定.....	1
1.1	グループ化の考え方および結果.....	1
1.2	代表機器の選定.....	1
2.	代表機器の技術評価.....	3
2.1	構造、材料および使用条件.....	3
2.2	経年劣化事象の抽出.....	21
2.3	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価.....	35
3.	代表機器以外への展開.....	39
3.1	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象.....	39
3.2	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象.....	41

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜4号炉で使用されている燃料取扱設備（クレーン関係）の主な仕様を表1-1に示す。

これらの燃料取扱設備（クレーン関係）を型式の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す燃料取扱設備（クレーン関係）について、いずれの燃料取扱設備（クレーン関係）も同様の構造を有していることから、1つのグループとして分類される。

### 1.2 代表機器の選定

使用条件として使用温度が高い燃料取替クレーンを代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 燃料取扱設備（クレーン関係）の主な仕様

分離基準	機器名称（台数）	選定基準				代表機器の選定	
		重要度*1	仕様	使用条件		代表機器	選定理由
				運転状態	使用温度		
クレーン	燃料取替クレーン（1）	PS-2	容量×揚程： 燃料集合体1体分×約8.2m	一時	気中：約49℃ 水中：約40℃	◎	使用温度
	使用済燃料ピットクレーン（2）	PS-2	容量×揚程： 約20kN×約9.5m	一時	気中：約40℃ 水中：約40℃		
	燃料取扱建屋クレーン（2）	PS-2	容量×揚程： 約1,226kN×約21.1m（主巻） 約196kN×約21.7m（補巻）	一時	気中：約40℃		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

## 2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の燃料取扱設備（クレーン関係）について技術評価を実施する。

### ① 燃料取替クレーン

#### 2.1 構造、材料および使用条件

##### 2.1.1 燃料取替クレーン

###### (1) 構造

高浜4号炉の燃料取替クレーンはトロリ上で操作を行う橋形クレーンであり、原子炉格納容器内での燃料交換に供される装置で、原子炉キャビティ上をまたいで設置されている。

走行レール上を走行するブリッジ、ブリッジ上を横行するトロリ、トロリ上に据付けたアップストラクチャ、マストチューブ、マストチューブ内に取り付けられた燃料集合体を取り扱うグリッパチューブ、グリッパおよび制御盤より構成される。

高浜4号炉の燃料取替クレーンの構造を図2.1-1～12に示す。

###### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の燃料取替クレーンの使用材料および使用条件を表2.1-1、表2.1-2に示す。

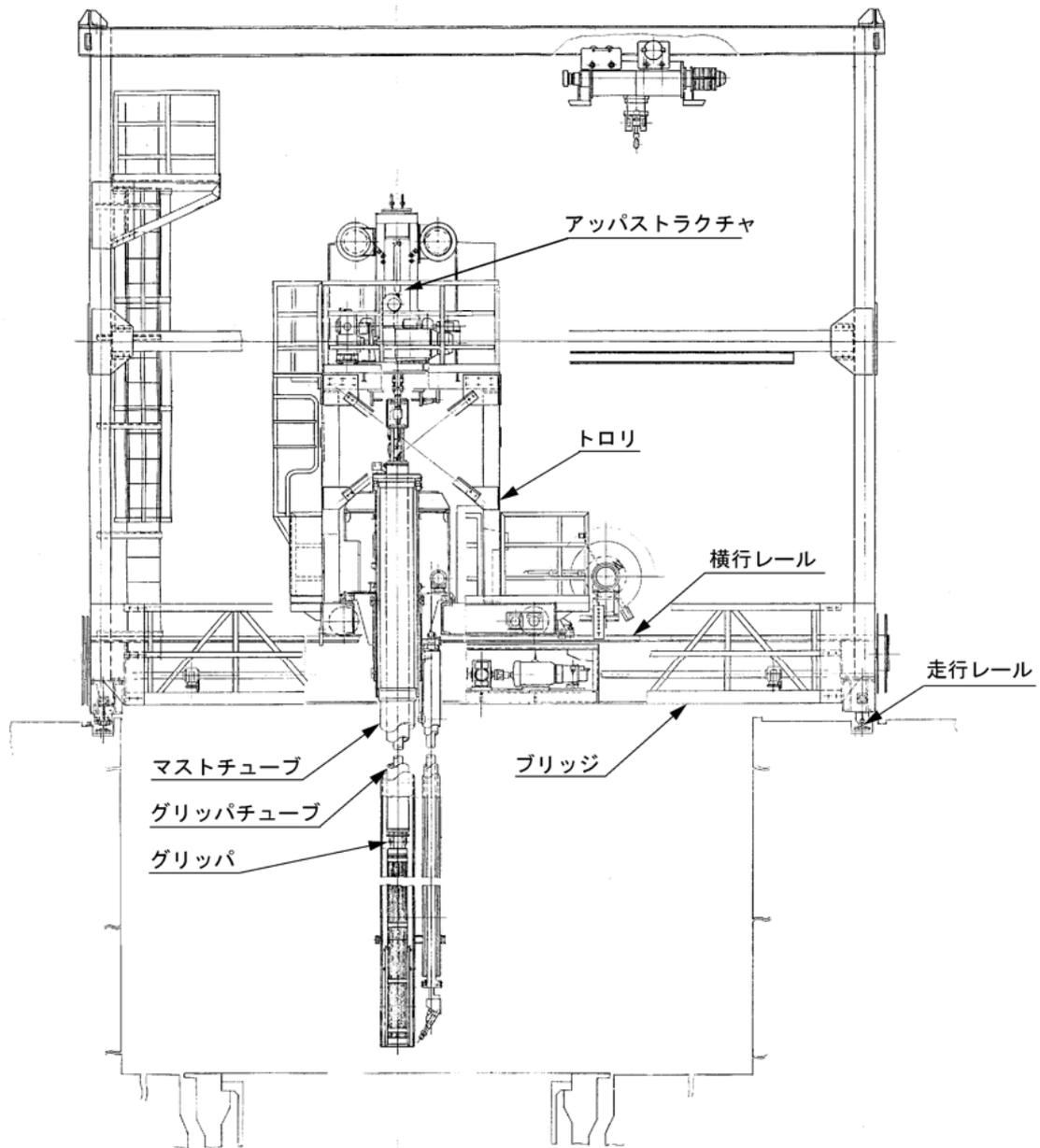
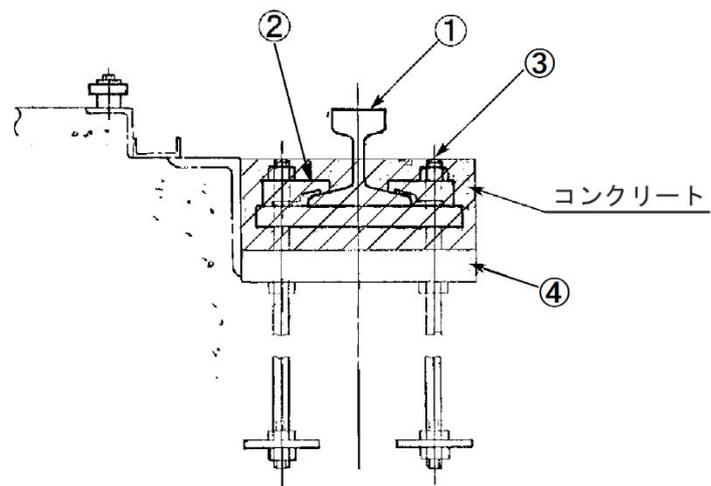
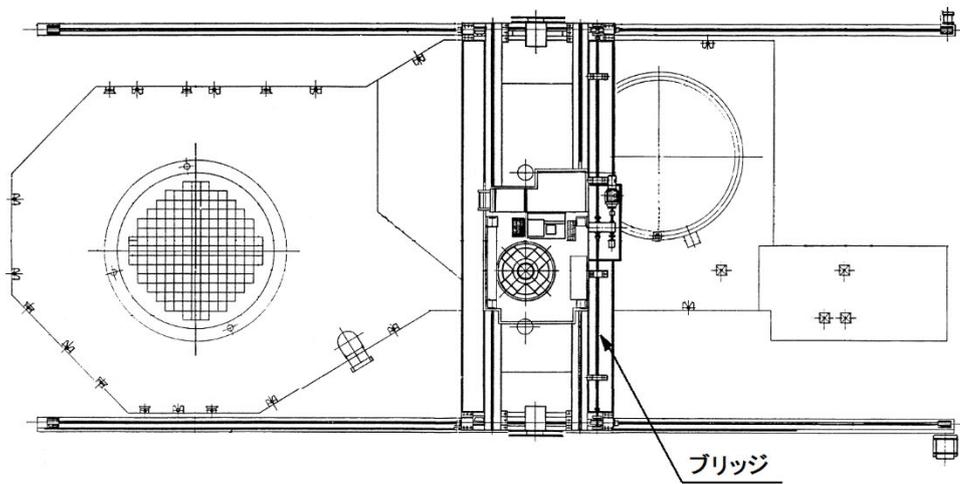
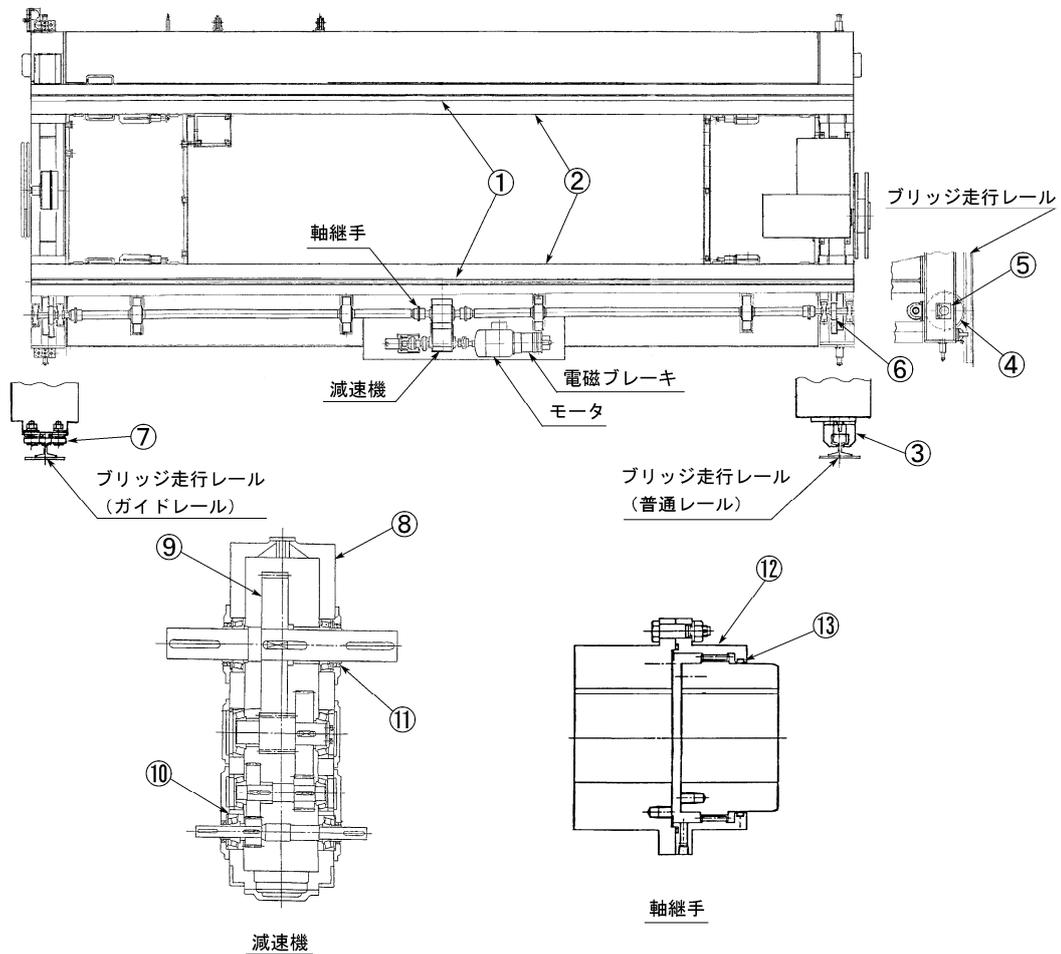


図2.1-1 高浜4号炉 燃料取替クレーン 全体構成図



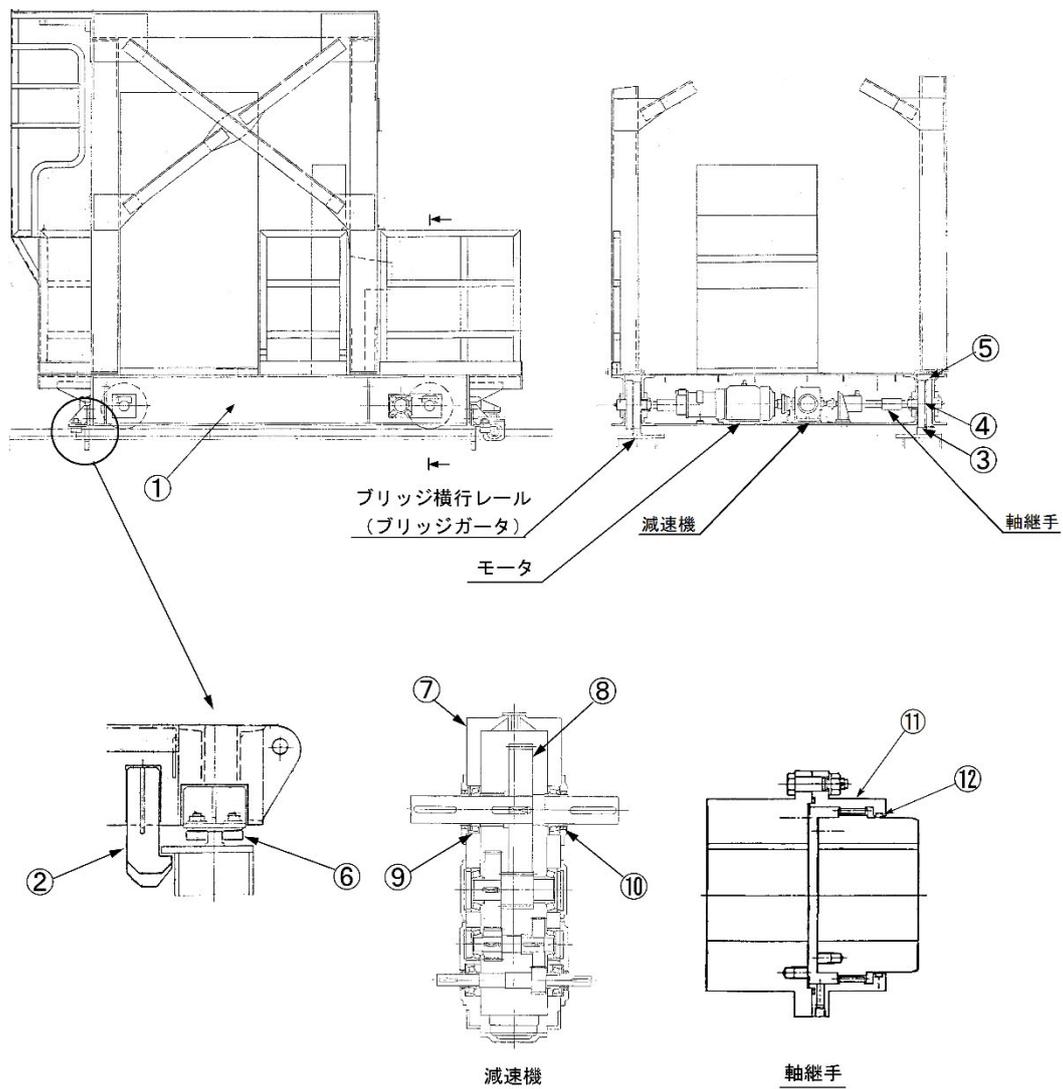
No.	部位
①	走行レール
②	レール押さえ
③	基礎ボルト
④	埋込金物

図2.1-2 高浜4号炉 燃料取替クレーン 走行レール構造図



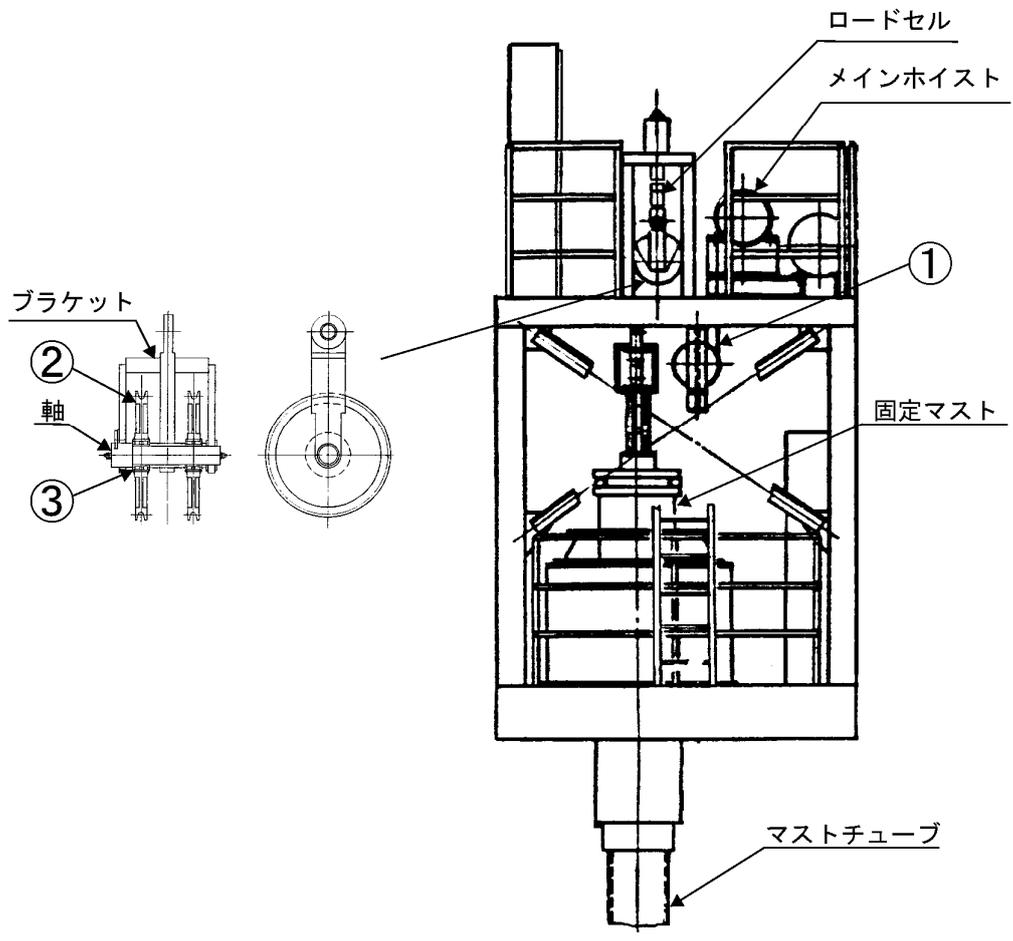
No.	部位	No.	部位	
①	横行レール	⑧	減速機	ケーシング
②	ブリッジガータ	⑨		歯車
③	転倒防止金具	⑩		軸受(ころがり)
④	車輪	⑪		オイルシール
⑤	車輪軸受(ころがり)	⑫		軸継手
⑥	車輪部歯車	⑬	Oリング	
⑦	ガイドローラ			

図2.1-3 高浜4号炉 燃料取替クレーン ブリッジ構造図



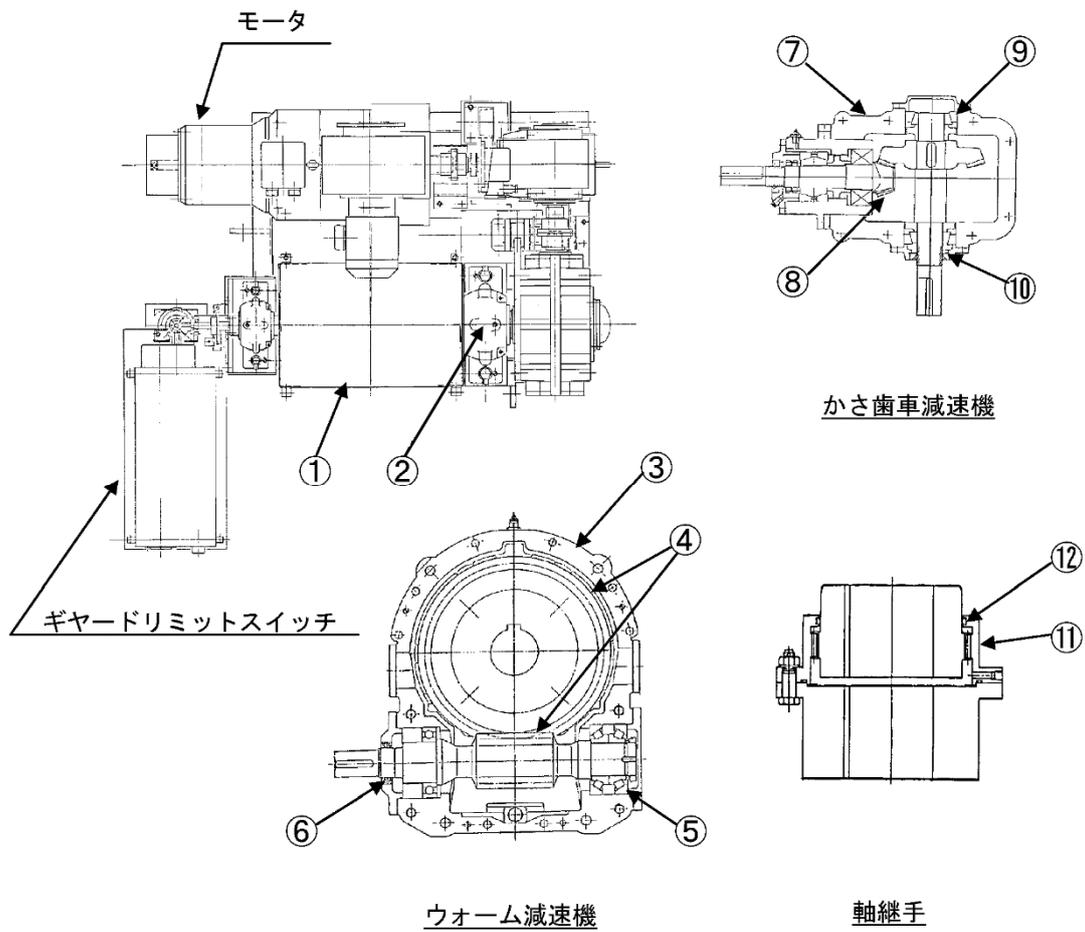
No.	部位	No.	部位	
①	トロリ架台	⑦	減速機	ケーシング
②	転倒防止金具	⑧		歯車
③	車輪	⑨		軸受(ころがり)
④	車輪軸受(ころがり)	⑩		オイルシール
⑤	車輪部歯車	⑪	軸継手	ケーシング
⑥	ガイドローラ	⑫		Ｏリング

図2.1-4 高浜4号炉 燃料取替クレーン トロリ構造図



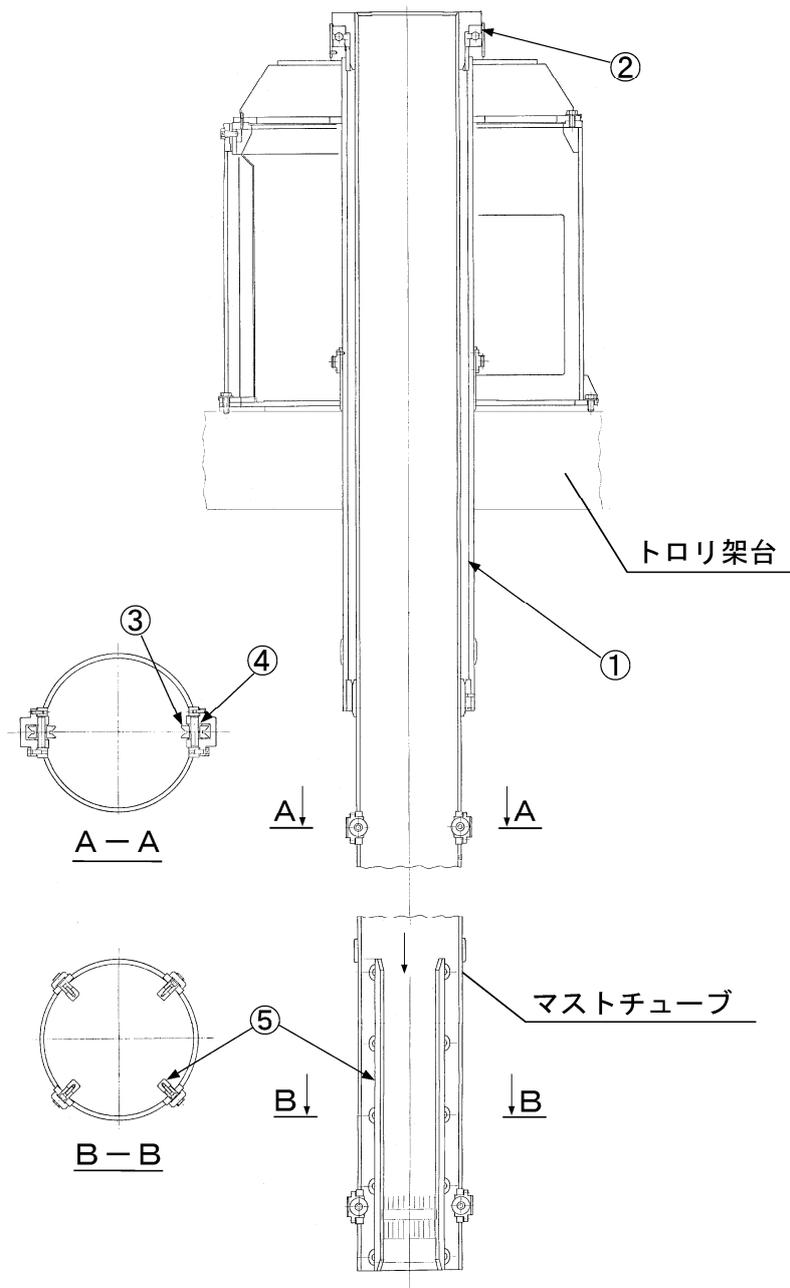
No.	部位	
①	ワイヤロープ	
②	滑車	シーブ
③		軸受(ころがり)

図2.1-5 高浜4号炉 燃料取替クレーン アップストラクチャ部構造図



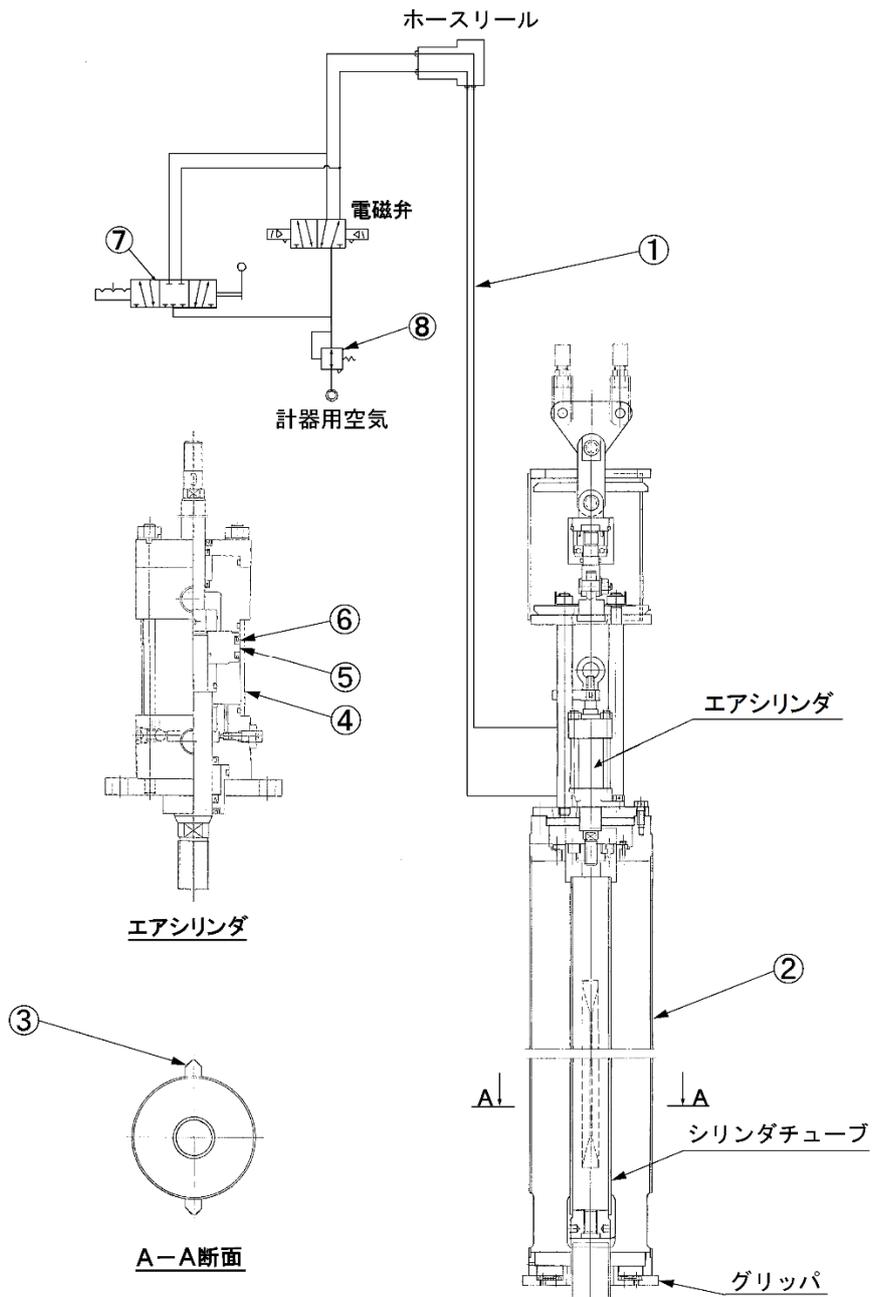
No.	部位	No.	部位
①	ワイヤドラム	⑦	ケーシング
②	軸受(ころがり)	⑧	かさ歯車 歯車
③	ウォーム 減速機	⑨	減速機 軸受(ころがり)
④		ケーシング 歯車	⑩
⑤	軸受(ころがり)	⑪	軸継手 ケーシング(歯車)
⑥	オイルシール	⑫	軸継手 Oリング

図2.1-6 高浜4号炉 燃料取替クレーン メインホイスト部構造図



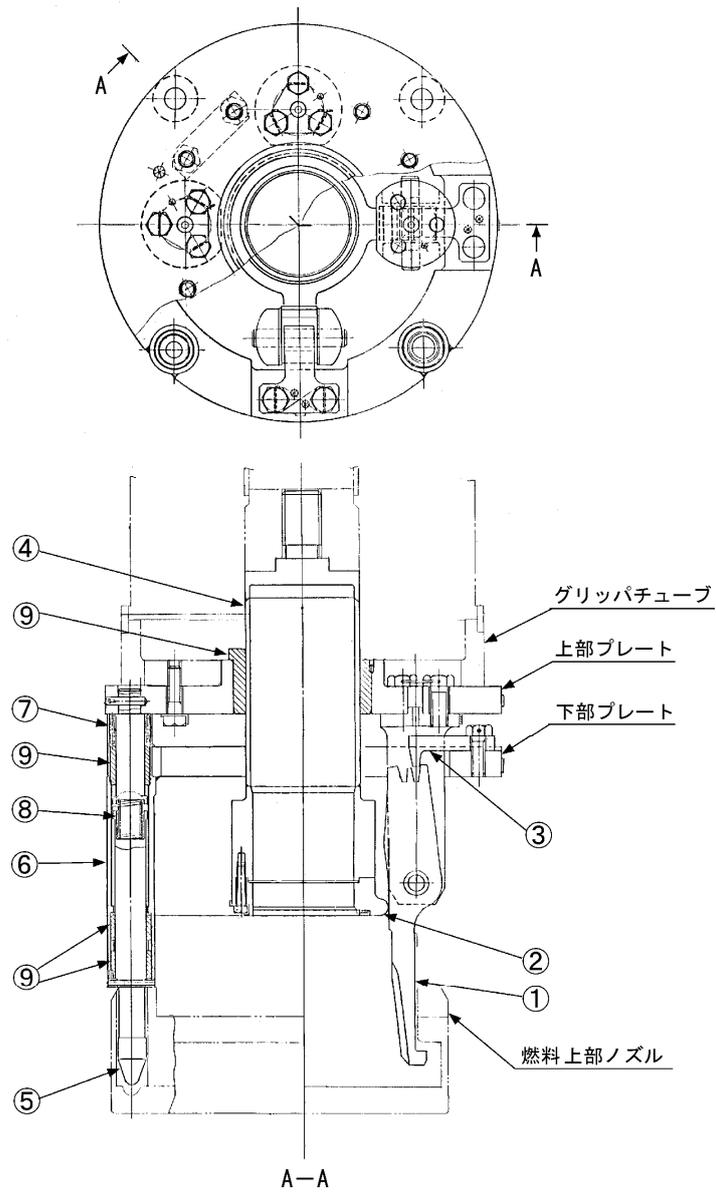
No.	部位	
①	固定マスト	
②	スラスト軸受(ころがり)	
③	ガイドローラ	ローラ
④		軸受(すべり)
⑤	燃料ガイドバー	

図2.1-7 高浜4号炉 燃料取替クレーン マストチューブ構造図



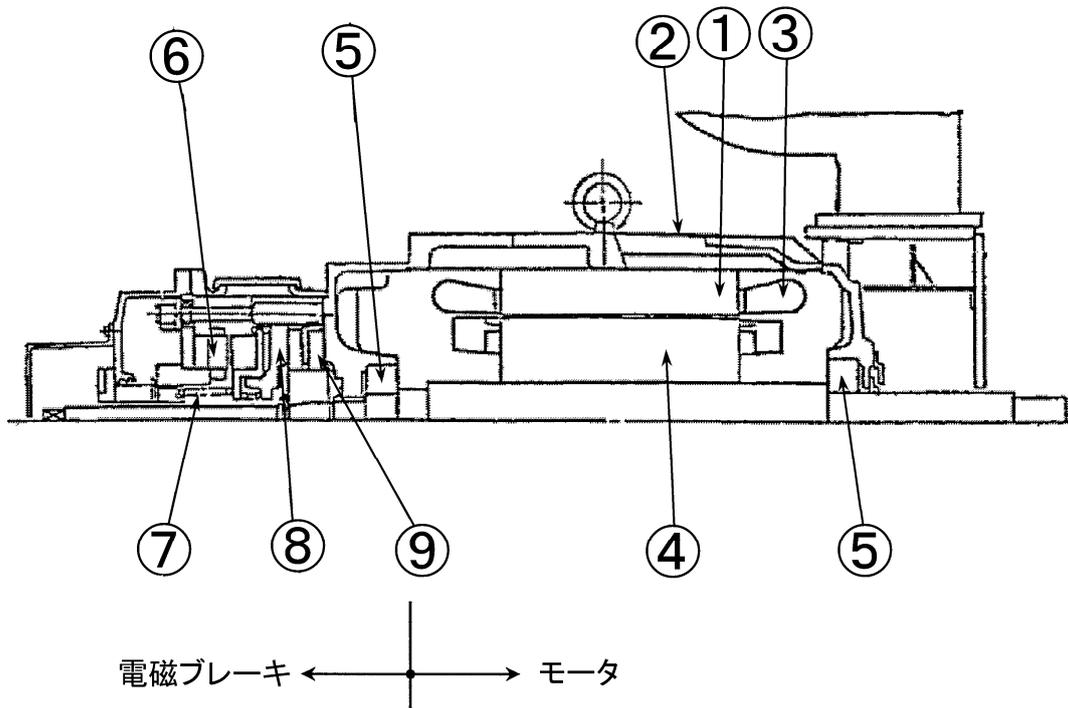
No.	部位	
①	エアホース	
②	グリッパチューブ	
③	ガイドレール	
④	シリンダケース	
⑤	エアシリンダ	ピストン
⑥		パッキン
⑦	手動切替弁	
⑧	減圧弁	

図2.1-8 高浜4号炉 燃料取替クレーン グリッパチューブ構造図



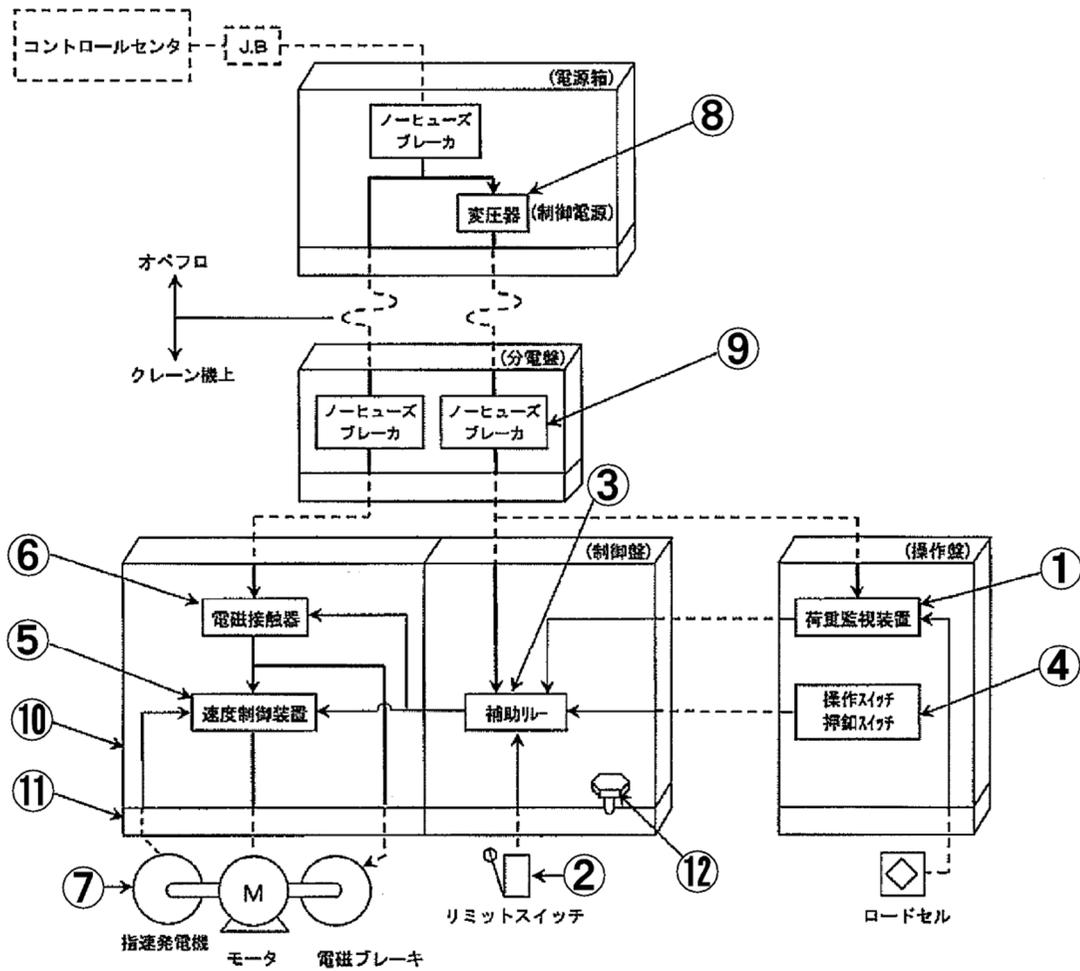
No.	部位	
①	フィンガ	
②	ロッキングカム	
③	ロックラッチ	
④	アクチュエータチューブ	
⑤	ガイドピン	
⑥	スリーブ	
⑦	ばね	メカニカルロック用
⑧		ガイドピン伸縮用
⑨	軸受(すべり)	

図2.1-9 高浜4号炉 燃料取替クレーン グリッパ構造図



No.	部位	
①	モータ (低圧)	固定子コア
②		フレーム
③		固定子コイル
④		回転子コア
⑤		軸受(ころがり)
⑥	電磁ブレーキ	固定鉄心
⑦		ばね
⑧		ブレーキ板
⑨		ライニング

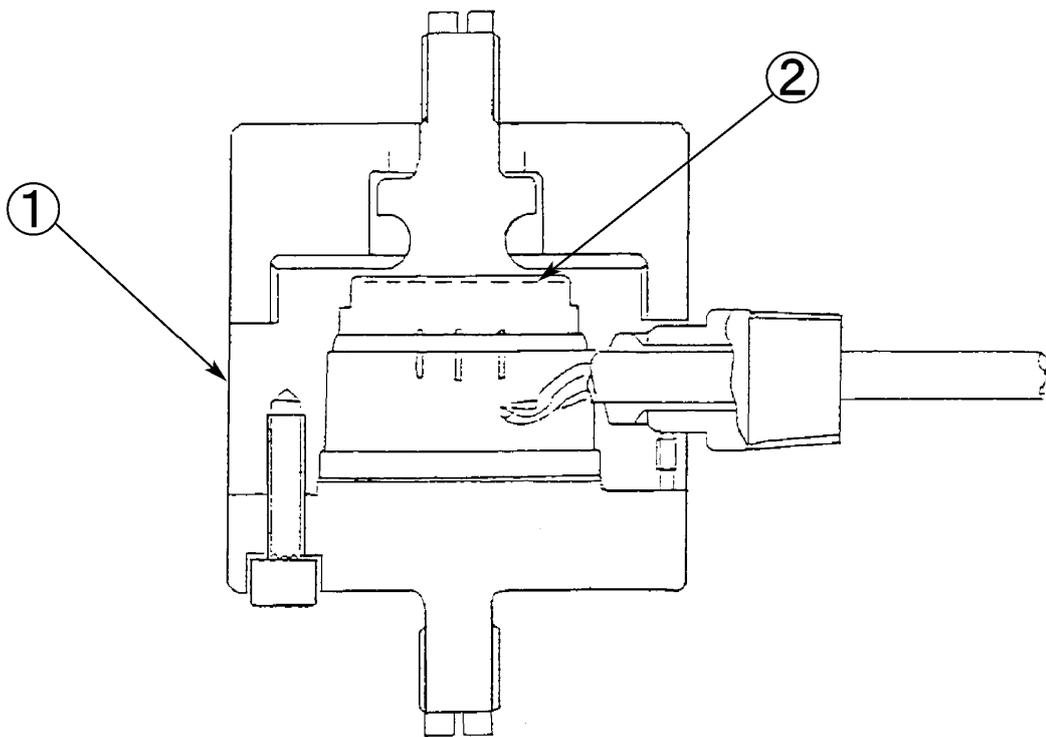
図2.1-10 高浜4号炉 燃料取替クレーン モータ・電磁ブレーキ構造図



No.	部位
①	荷重監視装置(電解コンデンサ含む)
②	リミットスイッチ
③	補助リレー
④	操作スイッチ・押釦スイッチ
⑤	速度制御装置(電解コンデンサ含む)
⑥	電磁接触器
⑦	指速発電機
⑧	変圧器
⑨	ノーヒューズブレーカ
⑩	筐体
⑪	チャンネルベース
⑫	取付ボルト

—→ 信号ライン  
 —→ 電源ライン  
 - - - → 評価外

図2.1-11 高浜4号炉 燃料取替クレーン 制御盤の主要機器構成図



No.	部位
①	本体
②	荷重変換部

図2.1-12 高浜4号炉 燃料取替クレーン ロードセル構造図

表2.1-1(1/4) 高浜4号炉 燃料取替クレーン主要部位の使用材料

部位		材料	
走横行レール部	走行レール	炭素鋼	
	横行レール	炭素鋼	
	レール押さえ	炭素鋼	
	基礎ボルト	炭素鋼、低合金鋼	
	埋込金物	炭素鋼	
クレーン構造部	ブリッジガータ	炭素鋼	
	トロリ架台	炭素鋼	
	転倒防止金具	ブリッジ	炭素鋼
		トロリ	炭素鋼
走行駆動部 (ブリッジ)	車輪	車輪	低合金鋼鋳鋼
		軸受(ころがり)	消耗品・定期取替品
		車輪部歯車	炭素鋼
		ガイドローラ	消耗品・定期取替品
	減速機	ケーシング	鋳鉄
		歯車	低合金鋼
		軸受(ころがり)	消耗品・定期取替品
		オイルシール	消耗品・定期取替品
	軸継手	ケーシング(歯車)	炭素鋼
		Oリング	消耗品・定期取替品

表2.1-1(2/4) 高浜4号炉 燃料取替クレーン主要部位の使用材料

部位		材料	
横行駆動部 (トロリ)	車輪	車輪	低合金鋼 鋳鋼
		軸受(ころがり)	消耗品・定期取替品
		車輪部歯車	低合金鋼
		ガイドローラ	消耗品・定期取替品
	減速機	ケーシング	鋳鉄
		歯車	低合金鋼
		軸受(ころがり)	消耗品・定期取替品
		オイルシール	消耗品・定期取替品
	軸継手	ケーシング	炭素鋼
		Oリング	消耗品・定期取替品
アップストラクチャ	ワイヤロープ		ステンレス鋼
	滑車	シーブ	ステンレス鋼
		軸受(ころがり)	消耗品・定期取替品
メインホイスト	ワイヤドラム		ステンレス鋼
	軸受(ころがり)		消耗品・定期取替品
	ウォーム 減速機	ケーシング	鋳鉄
		歯車	低合金鋼
		軸受(ころがり)	消耗品・定期取替品
		オイルシール	消耗品・定期取替品
	かさ歯車 減速機	ケーシング	鋳鉄
		歯車	低合金鋼
		軸受(ころがり)	消耗品・定期取替品
		オイルシール	消耗品・定期取替品
	軸継手	ケーシング(歯車)	炭素鋼
		Oリング	消耗品・定期取替品

表2.1-1(3/4) 高浜4号炉 燃料取替クレーン主要部位の使用材料

部位		材料	
マストチューブ	固定マスト		炭素鋼、ステンレス鋼
	スラスト軸受(ころがり)		消耗品・定期取替品
	ガイドローラ	ローラ	ステンレス鋼
		軸受(すべり)	消耗品・定期取替品
	燃料ガイドバー		ステンレス鋼
グリッパチューブ	エアホース		消耗品・定期取替品
	グリッパチューブ		ステンレス鋼
	ガイドレール		ステンレス鋼
グリッパ駆動部	エアシリンダ	シリンダケース	ステンレス鋼
		ピストン	銅合金鋳物
		パッキン	消耗品・定期取替品
	手動切替弁		消耗品・定期取替品
	減圧弁		消耗品・定期取替品
グリッパ	フィンガ		ステンレス鋼
	ロックカム		ステンレス鋼
	ロックラッチ		ステンレス鋼
	アクチュエータチューブ		ステンレス鋼
	ガイドピン		ステンレス鋼
	スリーブ		ステンレス鋼
	ばね	メカニカルロック用	ステンレス鋼
		ガイドピン伸縮用	ステンレス鋼
	軸受(すべり)		消耗品・定期取替品

表2.1-1(4/4) 高浜4号炉 燃料取替クレーン主要部位の使用材料

部位		材料		
制御盤・操作盤 主要構成機器	駆動用電動装置	固定子コア	珪素鋼板	
		フレーム	鋳鉄	
		固定子コイル	銅、絶縁物(H種絶縁)	
		回転子コア	珪素鋼板	
		軸受(ころがり)	消耗品・定期取替品	
		電磁ブレーキ	固定鉄心	珪素鋼板、銅、絶縁物(B種絶縁)
			ばね	ばね鋼
			ブレーキ板	鋳鉄
			ライニング	アスベスト繊維
	指速発電機	銅、絶縁物(B種絶縁)		
	ロードセル	本体	ステンレス鋼	
		荷重変換部	ひずみゲージ	
	制御盤・操作盤 他	荷重監視装置	半導体、電解コンデンサ他	
		リミットスイッチ	消耗品・定期取替品	
		補助リレー	消耗品・定期取替品	
		操作スイッチ・押釦スイッチ	銅、銀他	
		速度制御装置	半導体、電解コンデンサ、リレー他	
電磁接触器		消耗品・定期取替品		
変圧器		銅、絶縁物(F種絶縁)		
ノーヒューズブレーカ		消耗品・定期取替品		
制御盤・操作盤 支持構造物	筐体	炭素鋼		
	チャンネルベース	炭素鋼		
	取付ボルト	炭素鋼		

表2.1-2 高浜4号炉 燃料取替クレーンの使用条件

運転荷重		燃料集合体1体分
使用温度	水中	約40℃（約60℃）*1
	気中	約49℃
設置場所		原子炉格納容器内
制御電源		AC 110V

\*1：（ ）は最高使用温度

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

燃料取替クレーンの機能である燃料移送機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① クレーンの支持機能
- ② 走・横行機能
- ③ 昇降機能
- ④ 燃料把持機能
- ⑤ 機器の監視・操作・駆動・制御・保護の維持
- ⑥ 制御盤・操作盤の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

燃料取替クレーンについて、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

#### (1) モータ（低圧）の固定子コイルの絶縁低下

モータ（低圧）の固定子コイルの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

#### (2) 電磁ブレーキの固定鉄心の絶縁低下

電磁ブレーキの固定鉄心の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

#### (3) 指速発電機の絶縁低下

指速発電機の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

#### (4) 変圧器の絶縁低下

変圧器の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

#### (1) 走横行レールおよび車輪の摩耗

走横行レールおよび車輪はクレーンの走横行により摩耗が想定される。

しかしながら、レール上面、側面および車輪はガイドローラにより横滑りを防止しており、ころがり接触であることから摩耗が発生しがたい構造であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機能確認時等の目視確認により、機器の健全性を確認している。

#### (2) 走横行レールおよび車輪の腐食（全面腐食）

走横行レールおよび車輪は炭素鋼または低合金鋼鋳鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、走横行レールと車輪の接触部は、屋内に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。

また、機能確認時等の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 走横行レールおよびブリッジガータの疲労割れ

走横行レールおよびブリッジガータにはトロリ等の荷重が常時かかる状態となることから、疲労割れが想定される。

しかしながら、有意な応力変動が発生しないように設計されており、これまでに有意な亀裂は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機能確認時等の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(4) レール押さえおよびブリッジガータ等の腐食（全面腐食）

レール押さえ、ブリッジガータ、転倒防止金具、トロリ架台、各種減速機のケーシング、軸継手のケーシング、固定マスト、モータ（低圧）フレーム、筐体およびチャンネルベースは炭素鋼または鋳鉄であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) 歯車の摩耗

車輪部、各種減速機および軸継手の歯車は摩擦により摩耗が想定される。

しかしながら、歯車は常に潤滑油が供給されており、摩耗が発生しがたい環境であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、作動確認や機能確認時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) ワイヤロープの摩耗および素線切れ

ワイヤロープはワイヤドラムおよびシーブと接するため、機械的要因により摩耗が想定される。

ワイヤドラムへの巻取りおよびシーブ通過時にロープが曲げられるため、素線切れが想定される。

しかしながら、外観点検時にワイヤロープ径の寸法計測や目視確認を行い、必要に応じて取替を実施することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(7) シーブおよびワイヤドラムの摩耗

シーブおよびワイヤドラムはワイヤロープと接するため、機械的要因により摩耗が想定される。

しかしながら、シーブはワイヤの巻取りにそって回転し、また、ドラムの回転に合わせてワイヤが巻き取られるため、すべりが発生せず、摩耗が発生しがたい構造であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、外観点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(8) マストチューブガイドローラ、グリッパチューブおよびガイドレールの摩耗

マストチューブのガイドローラはグリッパチューブ昇降時に同チューブ外周またはガイドレールと接触しながら、同チューブを案内するため、摩耗が想定される。

しかしながら、ガイドローラとグリッパチューブおよびガイドレールの間は、ころがり接触であることより摩耗量は軽微であると考えられ、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機能確認時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

(9) 燃料ガイドバーの摩耗

燃料ガイドバーは燃料昇降時に燃料グリッドと滑り接触するため、摩耗が想定される。

しかしながら、燃料対角方向に数mmの隙間を有し接触面圧が小さいことおよび燃料ガイドバーは硬度の高いステンレス鋼（SUS630）で製作されており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機能確認時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

(10) シリンダケースおよびピストンの摩耗

エアシリンダのシリンダケースおよびピストンはピストンの動作により摩耗が想定される。

しかしながら、シリンダケースとピストンはパッキンおよびグリスにより隔てられており、摩耗が発生しがたい構造であり、これまでに異常な動き等は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機能確認時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

(11) フィンガおよびガイドピンの摩耗

グリッパのフィンガはロッキングカムとの摺動および燃料ラッチ時のこすれにより摩耗が想定される。

グリッパのガイドピンは、燃料への挿入時に燃料上部ノズルとの接触により摩耗が想定される。

しかしながら、フィンガおよびガイドピンは、ロッキングカムおよび燃料上部ノズルに比べて耐摩耗性に優れた材料（SUS630）を使用し、摩耗を抑制しており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、外観点検時の寸法計測や浸透探傷検査および機能確認時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

(12) ロッキングカムの摩耗

グリッパのロッキングカムはフィンガとの機械的要因により摩耗が想定される。

しかしながら、外観点検時の寸法計測および機能確認時の作動確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(13) ロックラッチの摩耗

グリッパのロックラッチはフィンガとの機械的要因により摩耗が想定される。

しかしながら、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、外観点検時の寸法計測および機能確認時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

(14) モータ（低圧）固定子コアおよび回転子コアの腐食（全面腐食）

モータ（低圧）の固定子コアおよび回転子コアは珪素鋼板であり、腐食が想定される。

しかしながら、固定子コアおよび回転子コアはワニス処理または塗装により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(15) 電磁ブレーキ固定鉄心の腐食（全面腐食）

電磁ブレーキの固定鉄心は珪素鋼板および銅であり、腐食が想定される。

しかしながら、電磁ブレーキの固定鉄心はワニス処理により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(16) グリッパおよび電磁ブレーキのばねの変形（応力緩和）

グリッパおよび電磁ブレーキのばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機能確認時の作動確認や機能・性能試験時の制動確認により、機器の健全性を確認している。

(17) 電磁ブレーキブレーキ板の摩耗

電磁ブレーキのブレーキ板は制動時にブレーキライニングを押し付けられることにより摩耗が想定される。

しかしながら、材料をライニングより硬い鋳鉄として摩耗を抑制しており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(18) 電磁ブレーキライニングの摩耗

電磁ブレーキのライニングは制動操作により摩耗が想定される。

しかしながら、ブレーキライニングの許容摩耗量から算出される最大動作回数に対する1定期検査当たりの動作回数の割合は十分小さいと評価しており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(19) 電磁ブレーキライニングのはく離

電磁ブレーキのライニングは高湿度環境での長期間の使用によりはく離が想定される。

2008年7月、敦賀2号炉のタービン動補助給水ポンプ起動入口弁の直流電動機用電磁ブレーキにおいて、電磁ブレーキのライニングのはく離が発生しているが、この事象は、当該弁が外気の影響を受ける高湿度エリアに設置されていたことに伴い発生した結露水がライニングの接着面に浸透し、接着力を低下させたものである。

しかしながら、高浜4号炉については、燃料取替クレーンは、高湿度環境ではなく、結露水が発生しがたい環境であり、これまでに有意なはく離は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(20) ロードセル荷重変換部の特性変化

ロードセルは長期間の使用に伴いひずみゲージのはがれ等による特性変化が想定される。

しかしながら、ひずみゲージ貼付け部は、不活性（窒素）ガスを封入した気密構造になっており、ひずみゲージの酸化を防止しているため、ひずみゲージ貼付け部が腐食してはがれが発生する可能性は小さい。

また、機能・性能試験により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(21) 荷重監視装置および速度制御装置の特性変化

荷重監視装置および速度制御装置は長期間の使用に伴い入出力特性の変化やマイグレーションが想定される。

しかしながら、荷重監視装置および速度制御装置を構成している電気回路部は定格値（定格電力・電圧・電流値）に対して回路上は十分低い範囲で使用する設計としており、屋内に設置されていることから環境変化の程度は小さく、短期間で入出力特性が変化する可能性は小さい。

製造段階で製作不良に基づく回路電流集中を取り除くスクリーニング等を実施していることから、マイグレーションが発生する可能性は小さい。

また、速度制御装置は機器点検時の作動確認、荷重監視装置は機能・性能試験により、機器の健全性を維持している。

さらに、プラント運転中は基板を取り外し、格納容器外に保管することとしている。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(22) 操作スイッチおよび押釦スイッチの導通不良

操作スイッチおよび押釦スイッチは接点部分に浮遊塵埃が付着することにより、導通不良が想定される。

しかしながら、接点部分は筐体または盤内に収納されており、塵埃の付着による導通不良が発生しがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機能・性能試験時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

(23) 取付ボルトの腐食（全面腐食）

取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部はメッキにより腐食を防止しており、メッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視によりメッキ面の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(24) 基礎ボルトおよび埋込金物の腐食（全面腐食）

基礎ボルトおよび埋込金物は炭素鋼または低合金鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、基礎ボルトおよび埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

減速機軸受（ころがり）、アップストラクチャの滑車の軸受（ころがり）、ウォーム減速機の軸受（ころがり）、かさ歯車減速機の軸受（ころがり）およびモータ（低圧）の軸受（ころがり）は分解点検時に取替える消耗品であり、車輪軸受（ころがり）、走横行駆動部のガイドローラ、マストチューブのスラスト軸受（ころがり）、ガイドローラの軸受（すべり）およびグリップの軸受（すべり）は寸法計測や作動確認の結果に基づき取替える消耗品である。

また、オイルシール、Oリング、メインホストの軸受（ころがり）、エアホース、エアシリンダパッキン、手動切替弁、減圧弁、リミットスイッチ、補助リレー、電磁接触器およびノーヒューズブレーカは定期取替品である。

それぞれ、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/4) 高浜4号炉 燃料取替クレーンに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	組立品	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		
クレーンの支持機能	走横行レール部	走横行レール		炭素鋼	△	△	△					
		レール押さえ		炭素鋼		△						
		基礎ボルト		炭素鋼 低合金鋼		▲						
		埋込金物		炭素鋼		▲						
走・横行機能	クレーン構造部	ブリッジガータ		炭素鋼		△	△					
		トロリ架台		炭素鋼		△						
		転倒防止金具 (ブリッジ、トロリ)		炭素鋼		△						
	車輪 (ブリッジ、トロリ)	車輪		低合金鋼鋳鋼	△	△						
		軸受(ころがり)	◎	—								
		車輪部歯車		炭素鋼、 低合金鋼	△							
		ガイドローラ	◎	—								
	減速機 (ブリッジ、トロリ)	ケーシング		鋳鉄		△						
		歯車		低合金鋼	△							
		軸受(ころがり)	◎	—								
		オイルシール	◎	—								
	軸継手 (ブリッジ)	ケーシング(歯車)		炭素鋼	△	△						
		Ｏリング	◎	—								
	軸継手 (トロリ)	ケーシング		炭素鋼		△						
		Ｏ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）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(2/4) 高浜4号炉 燃料取替クレーンに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	組立品	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				
昇降機能	アップストラクチャ	ワイヤロープ			ステンレス鋼	△						△*1	*1:素線切れ		
		滑車	シーブ			ステンレス鋼	△								
			軸受(ころがり)		◎	—									
	メインホイスト	ワイヤドラム			ステンレス鋼	△									
		軸受(ころがり)		◎	—										
		ウォーム減速機	ケーシング			鋳鉄		△							
			歯車			低合金鋼	△								
			軸受(ころがり)		◎	—									
			オイルシール		◎	—									
		かさ歯車減速機	ケーシング			鋳鉄		△							
			歯車			低合金鋼	△								
			軸受(ころがり)		◎	—									
			オイルシール		◎	—									
		軸継手	ケーシング(歯車)			炭素鋼	△	△							
			O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）

表2.2-1(3/4) 高浜4号炉 燃料取替クレーンに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	組立品	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		
昇降機能	マストチューブ	固定マスト		炭素鋼		△					*1:変形(応力緩和)	
				ステンレス鋼								
		スラスト軸受(ころがり)	◎	—								
		ガイドローラ		ステンレス鋼	△							
		ローラ軸受(すべり)	◎	—								
			燃料ガイドバー		ステンレス鋼	△						
	グリッパチューブ	エアホース	◎	—								
		グリッパチューブ		ステンレス鋼	△							
		ガイドレール		ステンレス鋼	△							
	グリッパ駆動部	エアシリンダ	シリンダケース		ステンレス鋼	△						
			ピストンパッキン	◎	—							
		手動切替弁	◎	—								
減圧弁		◎	—									
燃料把持機能	グリッパ	フィンガ		ステンレス鋼	△							
		ロックングカム		ステンレス鋼	△							
		ロックラッチ		ステンレス鋼	△							
		アクチュエータチューブ		ステンレス鋼								
		ガイドピン		ステンレス鋼	△							
		スリーブ		ステンレス鋼								
		ばね	メカニカルロック用		ステンレス鋼						△ <sup>*1</sup>	
			ガイドピン伸縮用		ステンレス鋼						△ <sup>*1</sup>	
		軸受(すべり)	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/4) 高浜4号炉 燃料取替クレーンに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位		消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
					減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
機器の監視・操作・駆動・制御・保護の維持	駆動用電動装置	モータ(低圧)	固定子コア	珪素鋼板		△							*1:変形(応力緩和) *2:はく離
			フレーム	鋳鉄		△							
			固定子コイル	銅、絶縁物					○				
			回転子コア	珪素鋼板		△							
			軸受(ころがり)	—	◎								
	電磁ブレーキ	固定鉄心	珪素鋼板、銅、絶縁物		△				○				
		ばね	ばね鋼								△*1		
		ブレーキ板	鋳鉄	△									
		ライニング	アスベスト繊維	△							△*2		
	指速発電機	銅、絶縁物						○					
	ロードセル	本体	ステンレス鋼										
		荷重変換部	ひずみゲージ								△		
	制御盤・操作盤他	荷重監視装置	半導体、電解コンデンサ他								△		
		リミットスイッチ	—	◎									
		補助リレー	—	◎									
		操作スイッチ・押釦スイッチ	銅、銀他							△			
		速度制御装置	半導体、電解コンデンサ、リレー他								△		
電磁接触器		—	◎										
変圧器		銅、絶縁物						○					
ノーヒューズブレーカ		—	◎										
制御盤・操作盤の支持	筐体	炭素鋼		△									
	チャンネルベース	炭素鋼		△									
	取付ボルト	炭素鋼		△									

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

## 2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

### 2.3.1 モータ（低圧）の固定子コイルの絶縁低下

#### a. 事象の説明

固定子コイルの絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

固定子コイルの絶縁低下については、絶縁仕様が低圧ポンプ用モータに比べて同等以上であるため、低圧ポンプ用モータの健全性評価結果から、固定子コイルの絶縁耐力を保有する運転期間は16年と考えられる。

しかしながら、低圧ポンプ用モータと設置場所が異なることから、長期間の運転を想定すると絶縁低下の可能性は否定できない。

##### ② 現状保全

固定子コイルの絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることの確認を行っている。

また、過去の絶縁抵抗測定の結果に基づき、監視強化としての絶縁抵抗測定の実施頻度の見直しを実施するとともに、必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を実施している。

##### ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、固定子コイルの絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

#### c. 高経年化への対応

固定子コイルの絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していくとともに、点検結果に基づき監視強化としての絶縁抵抗測定の実施頻度の見直しおよび必要に応じて洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を実施していく。

## 2.3.2 電磁ブレーキの固定鉄心の絶縁低下

### a. 事象の説明

電磁ブレーキの固定鉄心の絶縁低下は、熱による絶縁物の特性変化、絶縁物に付着する塵埃または内部の微小ボイド等による放電等、熱的、電氣的、環境的要因で経年的な変化が進行し、外表面、内部等から絶縁低下を生じる可能性がある。

### b. 技術評価

#### ① 健全性評価

電磁ブレーキは、塵埃が付着しにくい密閉構造であり、また、電磁ブレーキの固定鉄心の絶縁は使用温度に比べて十分余裕のある絶縁種（B種：許容最高温度130℃）を選択して使用していることから絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下が生じる可能性は否定できない。

#### ② 現状保全

電磁ブレーキの固定鉄心の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることの確認を行っている。

#### ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、電磁ブレーキの固定鉄心の絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

### c. 高経年化への対応

電磁ブレーキの固定鉄心の絶縁低下に対しては、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

### 2.3.3 指速発電機の絶縁低下

#### a. 事象の説明

指速発電機の絶縁低下は、熱による絶縁物の特性変化、絶縁物に付着する塵埃または内部の微小ボイド等による放電等、熱的、電氣的、環境的要因で経年的な変化が進行し、外表面、内部等から絶縁低下を生じる可能性がある。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

指速発電機は、塵埃が付着しにくい密閉構造であり、また、指速発電機の絶縁は使用温度に比べて十分余裕のある絶縁種（B種：許容最高温度130℃）を選択して使用していることから絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下が生じる可能性は否定できない。

##### ② 現状保全

指速発電機の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることの確認を行っている。

##### ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、指速発電機の絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

#### c. 高経年化への対応

指速発電機の絶縁低下に対しては、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

#### 2.3.4 変圧器の絶縁低下

##### a. 事象の説明

変圧器は通電による発熱や周囲環境条件の影響を受け、絶縁材料の変化により、絶縁性能の低下を生じる可能性が考えられる。

##### b. 技術評価

###### ① 健全性評価

変圧器は、屋内に設置された筐体内に内蔵されているため、塵埃が付着しにくい環境にある。

また、変圧器の通電時の使用温度に比べ十分余裕のある絶縁種（F種：許容最高温度155℃）を選択して使用していることから絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下を生じる可能性は否定できない。

###### ② 現状保全

変圧器の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることの確認を行っている。

###### ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、変圧器の絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

##### c. 高経年化への対応

変圧器の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

### 3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① 使用済燃料ピットクレーン
- ② 燃料取扱建屋クレーン

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

##### 3.1.1 モータ（低圧）の固定子コイルの絶縁低下 [共通]

代表機器と同様に固定子コイルは、長期間の運転を想定すると絶縁低下を生じる可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、固定子コイルの絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していくとともに、点検結果に基づき必要に応じて洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を実施していく。

##### 3.1.2 電磁ブレーキの固定鉄心の絶縁低下 [共通]

代表機器と同様に電磁ブレーキは通電による発熱や周囲環境条件の影響を受け、絶縁材料の変化により、絶縁低下を生じる可能性がある。

電磁ブレーキは、塵埃が付着しにくい密閉構造であり、また、電磁ブレーキの絶縁は使用温度に比べて十分余裕のある絶縁種（H種：許容最高温度180℃、F種：許容最高温度155℃）を使用していることから絶縁低下の発生の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下が生じる可能性は否定できない。

現状保全としては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることの確認を行っている。

また、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、電磁ブレーキの絶縁低下に対しては、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

### 3.1.3 指速発電機の絶縁低下 [共通]

代表機器と同様に指速発電機は通電による発熱や周囲環境条件の影響を受け、絶縁材料の変化により、絶縁低下を生じる可能性がある。

指速発電機は、塵埃が付着しにくい密閉構造であり、また、指速発電機の絶縁は使用温度に比べて十分余裕のある絶縁種（B種：許容最高温度130℃）を使用していることから絶縁低下の発生の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下が生じる可能性は否定できない。

現状保全としては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることの確認を行っている。

また、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、指速発電機の絶縁低下に対しては、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

### 3.1.4 変圧器の絶縁低下 [共通]

代表機器と同様に変圧器は通電による発熱や周囲環境条件の影響を受け、絶縁材料の変化により、絶縁性能の低下を生じる可能性が考えられる。

変圧器は、屋内に設置された筐体内に内蔵されているため、塵埃が付着しにくい環境にある。

また、変圧器の通電時の使用温度に比べ十分余裕のある絶縁種（F種：許容最高温度155℃、H種：許容最高温度180℃）を選択して使用していることから絶縁低下の発生の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下が生じる可能性は否定できない。

現状保全としては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることの確認を行っている。

また、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、変圧器の絶縁低下に対しては、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

### 3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

#### 3.2.1 走横行レールおよび車輪の摩耗 [共通]

走横行レールおよび車輪はクレーンの走横行により摩耗が想定される。

しかしながら、レール上面、側面および車輪はガイドローラにより横滑りを防止しており、ころがり接触であることから摩耗が発生しがたい構造であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機能確認時等の目視確認により、機器の健全性を確認している。

#### 3.2.2 走横行レールおよび車輪の腐食（全面腐食） [共通]

走横行レールおよび車輪は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、走横行レールと車輪の接触部は、屋内に設置されており、腐食が発生する可能性は小さい。

また、機能確認時等の目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

#### 3.2.3 走横行レールおよびブリッジガータの疲労割れ [共通]

走横行レールおよびブリッジガータにはトロリ等の荷重が常時かかる状態となることから、疲労割れが想定される。

しかしながら、有意な応力変動が発生しないように設計されており、これまでに有意な亀裂は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機能確認時等の目視確認により、機器の健全性を確認している。

#### 3.2.4 レール押さえおよびブリッジガータ等の腐食（全面腐食）〔共通〕

レール押さえ、レール部取付ボルト、ブリッジガータ、転倒防止金具、トロリ架台、各種減速機のケーシング、軸継手のケーシング、モータ（低圧）フレーム、押上機ブレーキの押上軸、ロードセル本体、筐体およびチャンネルベースは炭素鋼、低合金鋼または鋳鉄であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

#### 3.2.5 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔使用済燃料ピットクレーン〕

基礎ボルトは低合金鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、本評価書の「基礎ボルト」にてまとめて評価を実施する。

#### 3.2.6 歯車の摩耗〔共通〕

車輪部、各種減速機および軸継手の歯車は摩擦により摩耗が想定される。

しかしながら、歯車は常に潤滑油が供給されており、摩耗が発生しがたい環境であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、外観点検時の目視確認および機能確認時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.7 ワイヤロープの摩耗および素線切れ [共通]

ワイヤロープはワイヤドラムおよびシーブと接するため、機械的要因により摩耗が想定される。

ワイヤドラムへの巻取りおよびシーブ通過時にロープが曲げられるため、素線切れが想定される。

しかしながら、外観点検時にワイヤロープ径の寸法計測や目視確認を行い、必要に応じて取替を実施することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

### 3.2.8 シーブおよびワイヤドラムの摩耗 [共通]

シーブおよびワイヤドラムはワイヤロープと接するため、機械的要因により摩耗が想定される。

しかしながら、シーブはワイヤの巻取りにそって回転し、また、ドラムの回転に合わせてワイヤが巻き取られるため、すべりが発生せず、摩耗が発生しがたい構造であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、外観点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.9 モータ（低圧）固定子コアおよび回転子コアの腐食（全面腐食） [共通]

モータ（低圧）の固定子コアおよび回転子コアは電磁鋼板または珪素鋼板であり、腐食が想定される。

しかしながら、固定子コアおよび回転子コアはワニス処理または塗装により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.10 電磁ブレーキ固定鉄心の腐食（全面腐食） [共通]

電磁ブレーキの固定鉄心は電磁鋼板、珪素鋼板、鋳鉄および銅であり、腐食が想定される。

しかしながら、電磁ブレーキの固定鉄心はワニス処理により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.11 電磁ブレーキ等のばねの変形（応力緩和） [共通]

電磁ブレーキおよび押上機ブレーキのばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機能確認時の作動確認や機能・性能試験時の制動確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.12 電磁ブレーキおよび押上機ブレーキブレーキ板の摩耗 [共通]

電磁ブレーキおよび押上機ブレーキのブレーキ板は制動時にブレーキライニングを押し付けられることにより摩耗が想定される。

しかしながら、材料をライニングより硬い炭素鋼または鋳鉄として摩耗を抑制しており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.13 電磁ブレーキ等のライニングの摩耗 [共通]

電磁ブレーキおよび押上機ブレーキのライニングは制動操作により摩耗が想定される。

しかしながら、ブレーキライニングの許容摩耗量から算出される最大動作回数に対する1定期検査当たりの動作回数の割合は十分小さいと評価しており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.14 電磁ブレーキライニングのはく離 [共通]

電磁ブレーキのライニングは高湿度環境での長期間の使用によりはく離が想定される。

2008年7月、敦賀2号炉のタービン動補助給水ポンプ起動入口弁の直流電動機用電磁ブレーキにおいて、電磁ブレーキのライニングのはく離が発生しているが、この事象は、当該弁が外気の影響を受ける高湿度エリアに設置されていたことに伴い発生した結露水がライニングの接着面に浸透し、接着力を低下させたものである。

しかしながら、高浜4号炉については、使用済燃料ピットクレーンおよび燃料取扱建屋クレーンは、高湿度環境にはなく、結露水が発生しがたい環境であり、これまでに有意なはく離は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.15 ロードセル荷重変換部の特性変化 [共通]

ロードセルは長期間の使用に伴いひずみゲージのはがれ等による特性変化が想定される。

しかしながら、機器点検時の機能・性能試験により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

### 3.2.16 荷重監視装置および速度制御装置の特性変化 [共通]

荷重監視装置および速度制御装置は長期間の使用に伴い入出力特性の変化やマイグレーションが想定される。

しかしながら、荷重監視装置および速度制御装置を構成している電気回路部は定格値（定格電力・電圧・電流値）に対して回路上は十分低い範囲で使用する設計としており、屋内に設置されていることから環境変化の程度は小さく、短期間で入出力特性が変化する可能性は小さい。

製造段階で製作不良に基づく回路電流集中を取り除くスクリーニング等を実施していることから、マイグレーションが発生する可能性は小さい。

また、速度制御装置は機器点検時の作動確認、荷重監視装置は機能・性能試験により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

### 3.2.17 操作スイッチおよび押釦スイッチの導通不良 [共通]

操作スイッチおよび押釦スイッチは接点部分に浮遊塵埃が付着することにより、導通不良が想定される。

しかしながら、接点部分は筐体または盤内に収納されており、塵埃の付着による導通不良が発生しがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機能・性能試験時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.2.18 取付ボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕

取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部はメッキにより腐食を防止しており、メッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視によりメッキ面の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.3の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

### 3.2.19 埋込金物の腐食（全面腐食）〔使用済燃料ピットクレーン〕

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

## 3.2 燃料移送装置

[対象機器]

- ① 燃料移送装置

## 目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 燃料移送装置の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	14
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	27

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されている燃料移送装置の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 燃料移送装置の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	仕様	使用条件	
			運転状態	使用温度
燃料移送装置 (1)	PS-2	容量×移送距離： 燃料集合体1体分 ×約15.3m	一時	気中*2：約49℃ 約40℃ 水中：約40℃

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：上段は原子炉格納容器内、下段は燃料取扱建屋内を示す。

## 2. 燃料移送装置の技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### (1) 構造

高浜4号炉の燃料移送装置は、燃料移送チャンネル底面に設置されており、リフティングアーム、燃料コンテナ、コンベアカー、トラックフレーム等より構成されている。

リフティングアームは、レールをまたぐように設置され、先端がピボット支持によりトラックフレームに取付けられた構造である。リフティングアームの駆動は水圧シリンダにより立て起こしている。

燃料コンテナは、燃料集合体を移送するときに収納する箱型の容器で、中央がピボット支持によりコンベアカーに取付けられている。コンベアカーは、燃料コンテナを移送させるための装置で、モータ駆動のコンベアカーは、チェーンとスプロケットにより水平移動し、両側に取付けられた車輪が回転してトラックフレーム上を走行する。制御盤は自立盤2面より構成されており、補助リレー等の主要構成機器および機器を支持するための筐体、取付ボルト等から構成されている。

高浜4号炉の燃料移送装置の構造を図2.1-1～図2.1-7に示す。

#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の燃料移送装置の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

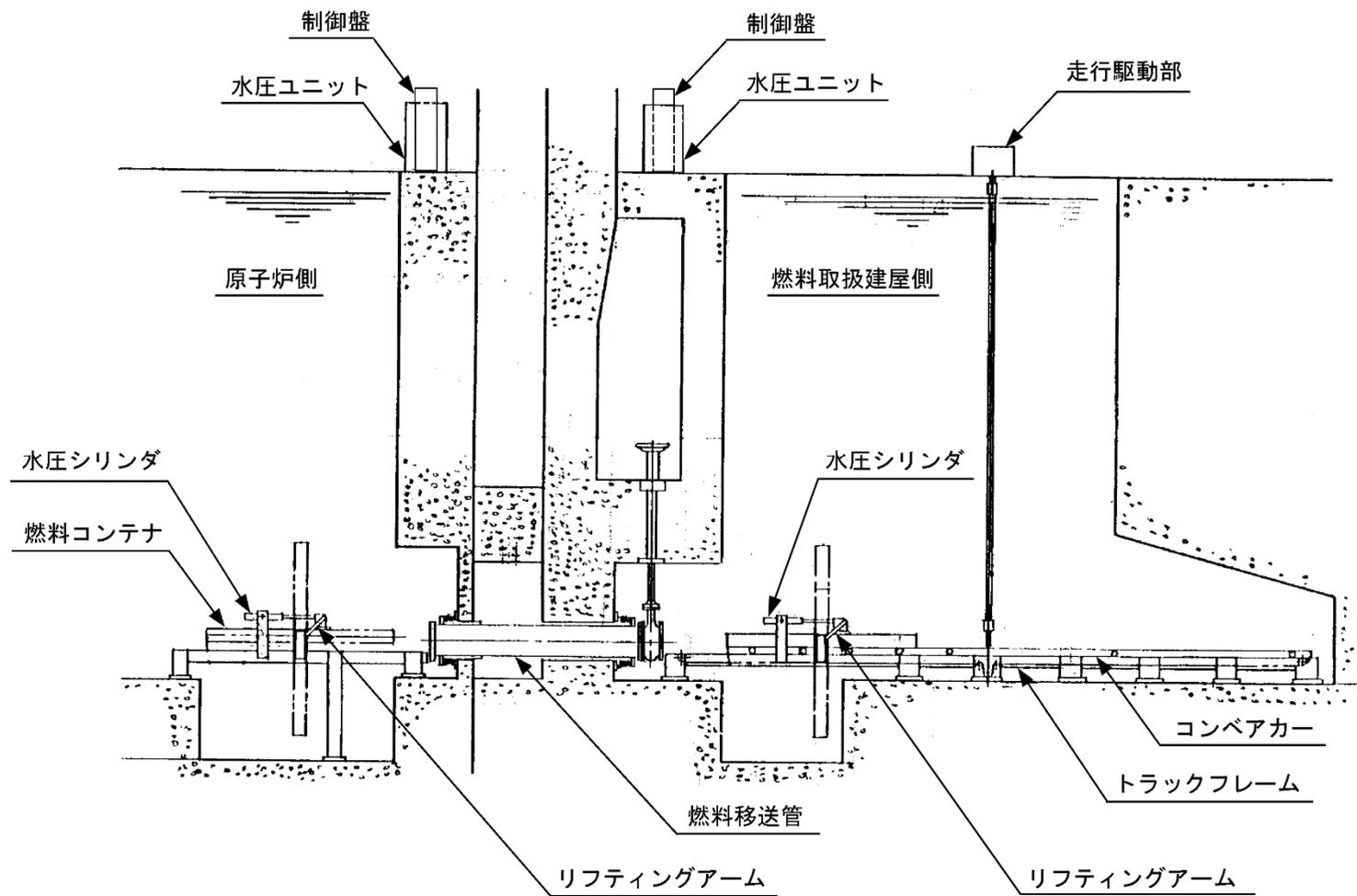
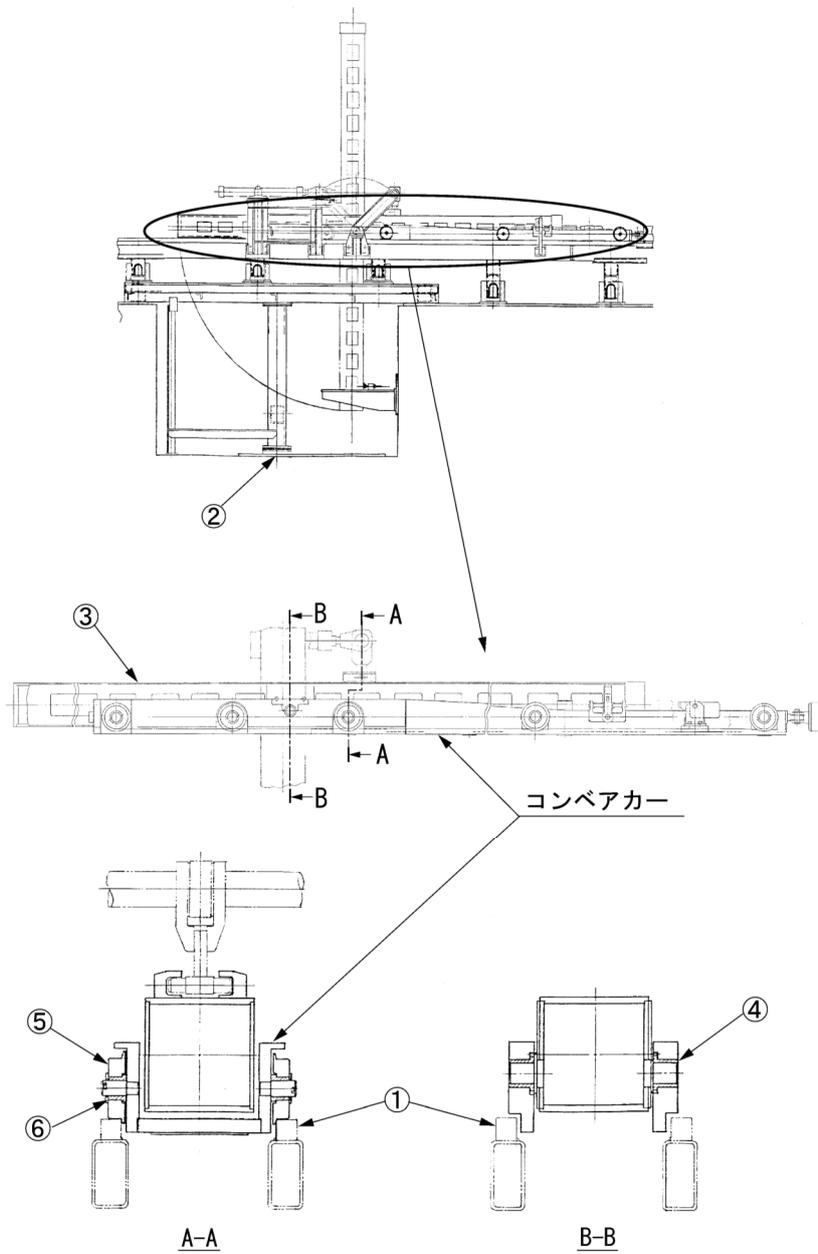
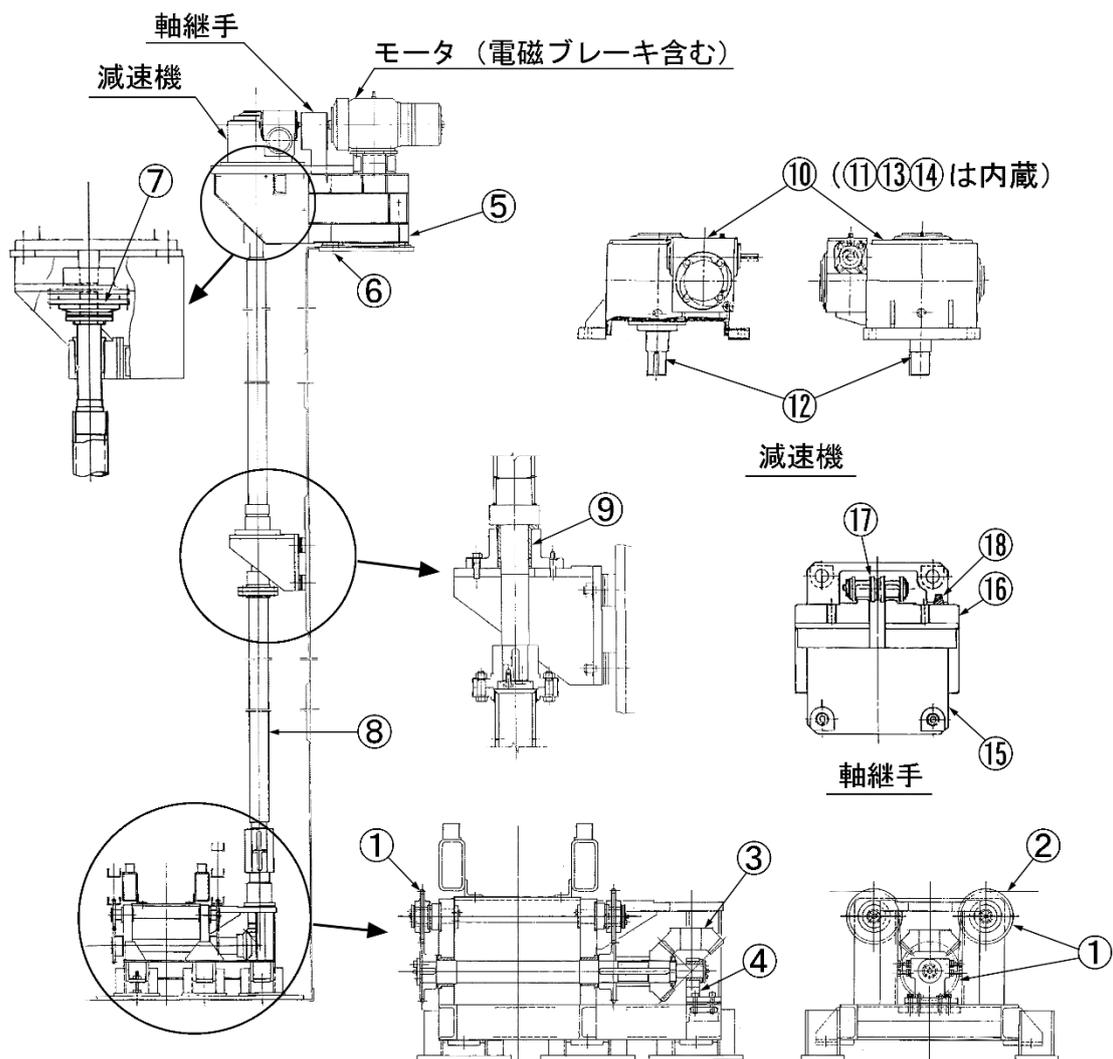


図2.1-1 高浜4号炉 燃料移送装置 全体構成図



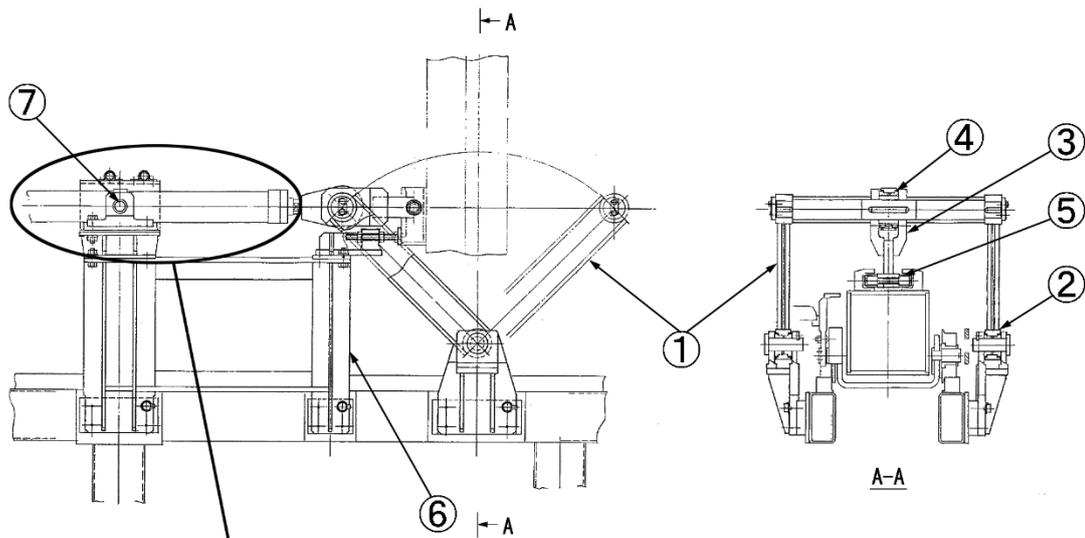
No.	部位
①	レール
②	基礎金物
③	燃料コンテナ
④	ピボット軸受(すべり)
⑤	車輪
⑥	車輪軸受(すべり)

図2.1-2 高浜4号炉 燃料移送装置  
トラックフレーム、燃料コンテナおよびコンベアカー構造図

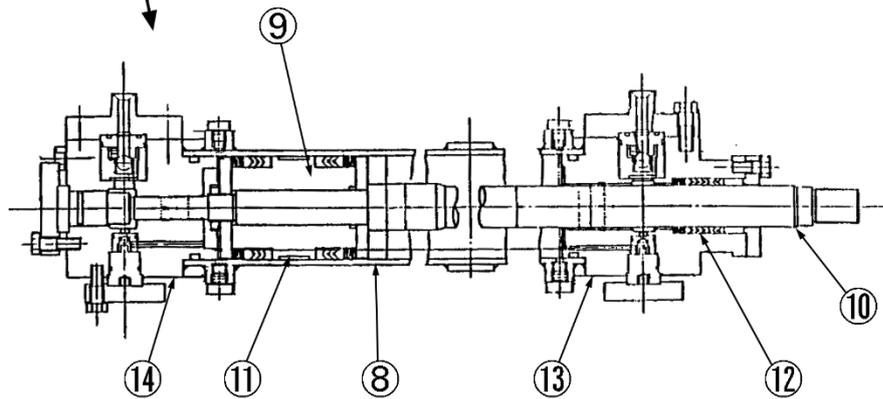


No.	部位	No.	部位
①	スプロケット	⑩	ケーシング
②	チェーン	⑪	歯車
③	かさ歯車	⑫	軸
④	かさ歯車部軸受(すべり)	⑬	軸受(ころがり)
⑤	架台	⑭	オイルシール
⑥	基礎金物	⑮	ケーシング
⑦	トルクリミッタ(摩擦板)	⑯	軸(スプロケット)
⑧	ラインシャフト	⑰	チェーン
⑨	ラインシャフト部軸受(すべり)	⑱	オイルシール

図2.1-3 高浜4号炉 燃料移送装置 走行駆動部構造図



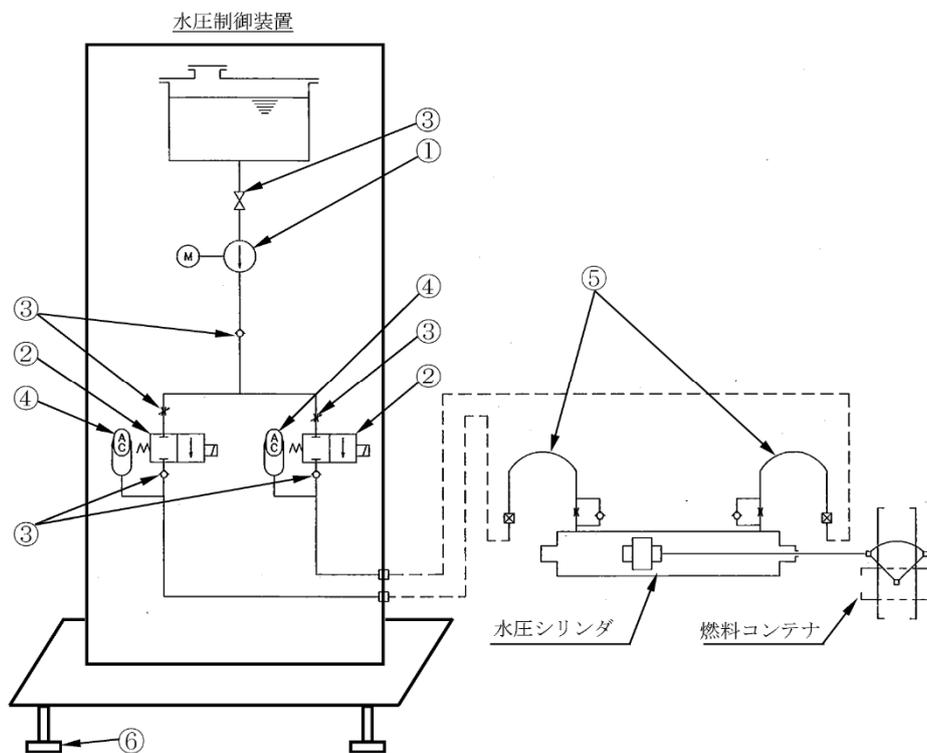
リフティングアーム



水圧シリンダ

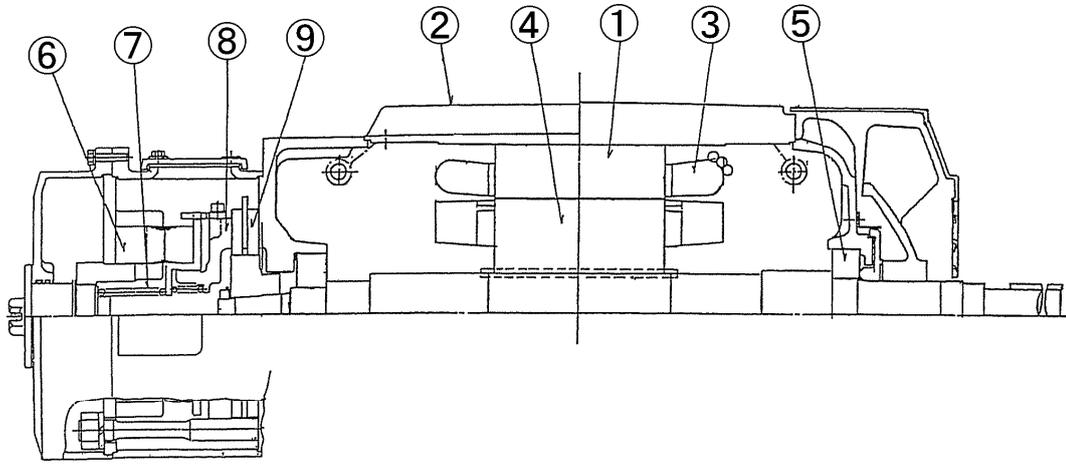
No.	部位		No.	部位	
①	リフティング アーム	リフティングアーム	⑧	水圧 シリンダ	シリンダチューブ
②		ピボット軸受(すべり)	⑨		ピストン
③		ホーク	⑩		ピストンロッド
④		ホーク部軸受(すべり)	⑪		軸受(すべり)
⑤		リフティングローラ	⑫		パッキン
⑥		架台	⑬		ロッド側本体
⑦		シリンダ部軸受(すべり)	⑭		ヘッド側本体

図2.1-4 高浜4号炉 燃料移送装置 リフティング部構造図



No.	部位
①	水圧ポンプ(軸受、パッキン)
②	電磁弁(パッキン)
③	仕切弁、切替弁、圧力調整弁(パッキン)
④	アキュムレータ
⑤	高圧ホース
⑥	基礎金物

図2.1-5 高浜4号炉 燃料移送装置 水圧制御装置構成図



電磁ブレーキ ← ————— → モーター

No.	部位	
①	モーター (低圧)	固定子コア
②		フレーム
③		固定子コイル
④		回転子コア
⑤		軸受(ころがり)
⑥	電磁 ブレーキ	固定鉄心
⑦		ばね
⑧		ブレーキ板
⑨		ライニング

図2.1-6 高浜4号炉 燃料移送装置 モーター(低圧)・電磁ブレーキ構造図

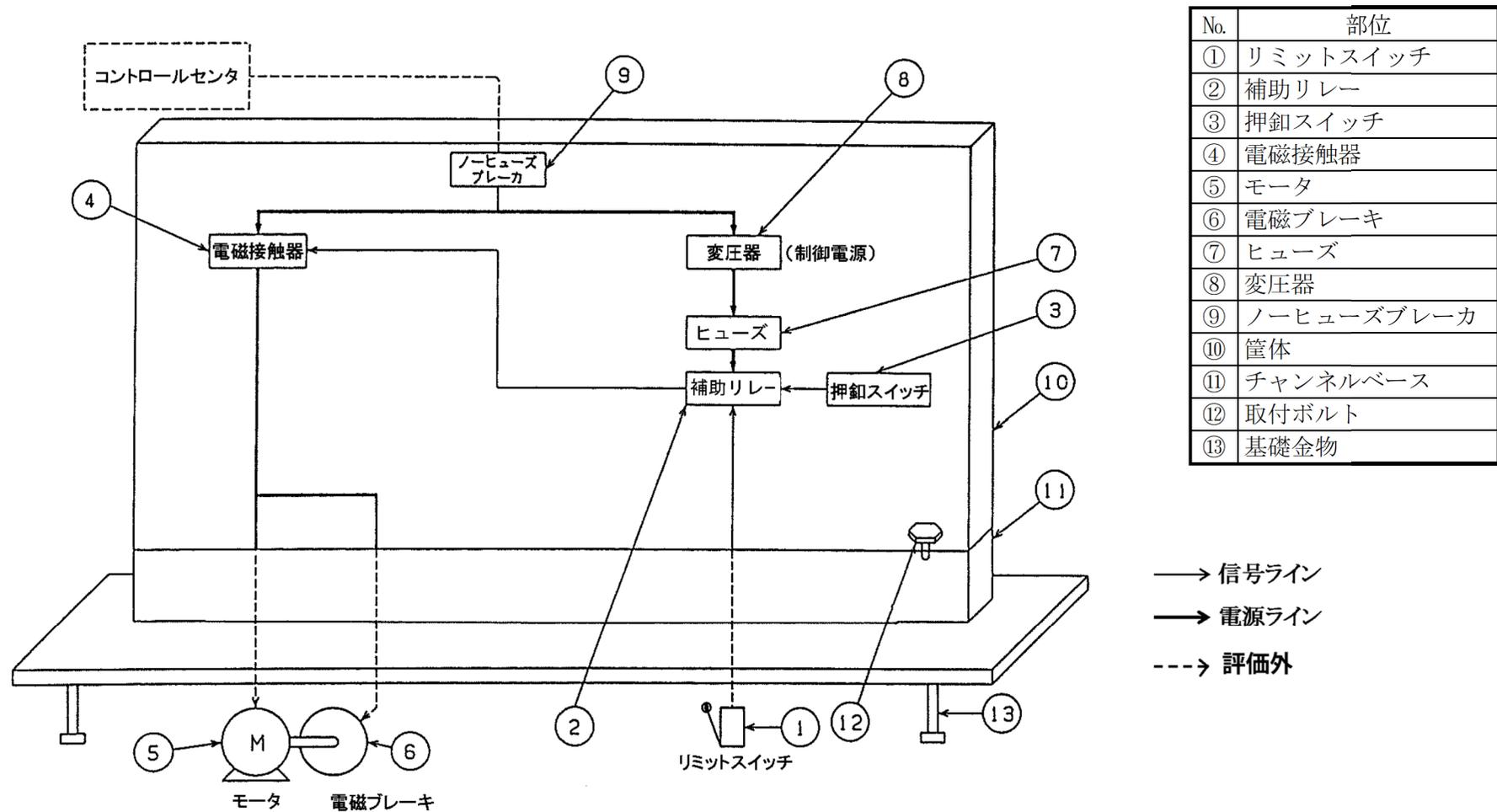


図2.1-7 高浜4号炉 燃料移送装置 制御盤の主要機器構成図

表2.1-1(1/3) 高浜4号炉 燃料移送装置主要部位の使用材料

部位		材料	
トラックフレーム	レール	ステンレス鋼	
	基礎金物	ステンレス鋼	
燃料コンテナ	燃料コンテナ	ステンレス鋼	
	ピボット軸受(すべり)	消耗品・定期取替品	
コンベアカー	車輪	ステンレス鋼	
	車輪軸受(すべり)	消耗品・定期取替品	
走行駆動部	スプロケット	ステンレス鋼	
	チェーン	ステンレス鋼	
	かさ歯車	ステンレス鋼	
	かさ歯車部軸受(すべり)	消耗品・定期取替品	
	架台	炭素鋼、ステンレス鋼	
	基礎金物	炭素鋼	
	トルクリミッタ(摩擦板)	消耗品・定期取替品	
	ラインシャフト	ステンレス鋼	
	ラインシャフト部軸受(すべり)	消耗品・定期取替品	
	減速機	ケーシング	炭素鋼
		歯車	特殊合金鋼、炭素鋼
		軸	ステンレス鋼
		軸受(ころがり)	消耗品・定期取替品
		オイルシール	消耗品・定期取替品
	軸継手	ケーシング	亜鉛鋳物
		軸(スプロケット)	炭素鋼
チェーン		消耗品・定期取替品	
オイルシール		消耗品・定期取替品	

表2. 1-1 (2/3) 高浜 4 号炉 燃料移送装置主要部位の使用材料

部位		材料	
リフティング部	リフティングアーム	リフティングアーム	ステンレス鋼
		ピボット軸受(すべり)	消耗品・定期取替品
		ホーク	ステンレス鋼
		ホーク部軸受(すべり)	消耗品・定期取替品
		リフティングローラ	消耗品・定期取替品
		架台	ステンレス鋼
		シリンダ部軸受(すべり)	消耗品・定期取替品
	水圧シリンダ	シリンダチューブ	ステンレス鋼
		ピストン	ステンレス鋼
		ピストンロッド	ステンレス鋼
		軸受(すべり)	消耗品・定期取替品
		パッキン	消耗品・定期取替品
		ロッド側本体	ステンレス鋼
		ヘッド側本体	ステンレス鋼
	水圧制御装置	水圧ポンプ(軸受、パッキン)	消耗品・定期取替品
		電磁弁、仕切弁、切替弁、圧力調整弁(パッキン)	消耗品・定期取替品
		アキュムレータ	消耗品・定期取替品
		高圧ホース	消耗品・定期取替品
		基礎金物	炭素鋼

表 2.1-1(3/3) 高浜 4 号炉 燃料移送装置主要部位の使用材料

部位			材料	
制御盤主要 構成機器	駆動用電動装置	モータ (低圧)	固定子コア	珪素鋼板
			フレーム	鋳鉄
			固定子コイル	銅、絶縁物 (H種絶縁)
			回転子コア	珪素鋼板
			軸受(ころがり)	消耗品・定期取替品
		電磁 ブレーキ	固定鉄心	珪素鋼板、銅、絶縁物 (B種絶縁)
			ばね	ピアノ線
			ブレーキ板	鋳鉄
			ライニング	アスベスト
		リミットスイッチ		
	制御盤	補助リレー		消耗品・定期取替品
		押釦スイッチ		銅、銀他
		電磁接触器		消耗品・定期取替品
		ヒューズ		消耗品・定期取替品
		変圧器		銅、絶縁物 (H種絶縁)
		ノーヒューズブレーカ		消耗品・定期取替品
制御盤支持 構造物	筐体		炭素鋼	
	チャンネルベース		炭素鋼	
	取付ボルト		炭素鋼	
	基礎金物		炭素鋼	

表2.1-2 高浜4号炉 燃料移送装置の使用条件

移送荷重		定格荷重：燃料集合体1体分
温度	水中	
	気中	原子炉格納容器内
		燃料取扱建屋内
設置場所		原子炉格納容器内 燃料取扱建屋内

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

燃料移送装置の機能である燃料移送機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 装置の支持機能
- ② 走行機能
- ③ リフティング機能
- ④ 機器の監視・操作・駆動・制御・保護の維持
- ⑤ 制御盤の支持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

燃料移送装置について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1のとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては、以下の事象がある。

#### (1) モータ（低圧）の固定子コイルの絶縁低下

モータ（低圧）の固定子コイルの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

#### (2) 電磁ブレーキの固定鉄心の絶縁低下

電磁ブレーキの固定鉄心の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

#### (3) 変圧器の絶縁低下

変圧器の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

#### (1) レールおよび車輪の摩耗

レールおよび車輪は機械的要因により摩耗が想定される。

しかしながら、水中での水潤滑によるころがり接触であることから摩耗が発生しがたい構造であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機能確認時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

#### (2) スプロケットおよびチェーン（ローラ外面）の摩耗

走行駆動部のスプロケットおよびチェーンは相互の接触により摩耗が想定される。

しかしながら、ころがり接触であることから摩耗が発生しがたい構造であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、外観点検時の寸法計測や目視確認により、機器の健全性を確認している。

(3) かさ歯車の摩耗

走行駆動部のかさ歯車は機械的要因により摩耗が想定される。

しかしながら、水中での水潤滑により摩耗が発生しがたい環境であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機能確認時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

(4) 減速機ケーシング等の腐食（全面腐食）

減速機のケーシングおよび軸継手のケーシングおよび軸（スプロケット）、走行駆動部の架台およびモータ（低圧）のフレームは鋳鉄、炭素鋼または亜鉛鋳物であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) 歯車等の摩耗

減速機の歯車、軸継手の軸（スプロケット）およびチェーン（ブッシュ部）は機械的要因により摩耗が想定される。

しかしながら、歯車等は常に潤滑油が供給されており、摩耗が発生しがたい環境であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機能確認時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

(6) モータ（低圧）の固定子コアおよび回転子コアの腐食（全面腐食）

固定子コアおよび回転子コアは珪素鋼板であり、腐食が想定される。

しかしながら、固定子コアおよび回転子コアはワニス処理または塗装により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 電磁ブレーキ固定鉄心の腐食（全面腐食）

電磁ブレーキの固定鉄心は珪素鋼板および銅であり、腐食が想定される。

しかしながら、電磁ブレーキの固定鉄心はワニス処理により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(8) 電磁ブレーキのばねの変形（応力緩和）

電磁ブレーキのばねは応力状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機能・性能試験時の制動確認により、機器の健全性を確認している。

(9) 電磁ブレーキブレーキ板の摩耗

電磁ブレーキのブレーキ板は制動時にブレーキライニングを押付けられることにより摩耗が想定される。

しかしながら、材料をライニングより硬い鋳鉄として摩耗を抑制しており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(10) 電磁ブレーキライニングの摩耗

電磁ブレーキのライニングは制動操作により摩耗が想定される。

しかしながら、ブレーキライニングの許容摩耗量から算出される最大動作回数に対する1定期検査当たりの動作回数の割合は十分小さいと評価しており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(11) 電磁ブレーキライニングのはく離

電磁ブレーキのライニングは高湿度環境での長期間の使用によりはく離が想定される。

2008年7月、敦賀2号炉のタービン動補助給水ポンプ起動入口弁の直流電動機用電磁ブレーキにおいて、電磁ブレーキのライニングのはく離が発生しているが、この事象は、当該弁が外気の影響を受ける高湿度エリアに設置されていたことに伴い発生した結露水がライニングの接着面に浸透し、接着力を低下させたものである。

しかしながら、高浜4号炉については、燃料移送装置は、高湿度環境にはなく、結露水が発生しがたい環境であり、これまでに有意なはく離は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(12) 押釦スイッチの導通不良

押釦スイッチは接点部分に浮遊塵埃が付着することにより、導通不良が想定される。

しかしながら、接点部分は筐体または盤内に収納されており、塵埃の付着による導通不良が発生しがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機能・性能試験時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

(13) 筐体、チャンネルベースおよび基礎金物等の腐食（全面腐食）

筐体、チャンネルベース、取付ボルトおよび水圧制御装置、走行駆動部、制御盤の基礎金物（大気接触部）は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装またはメッキにより腐食を防止しており、塗膜またはメッキ面が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜またはメッキ面の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(14) 基礎金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）

炭素鋼の基礎金物（走行駆動部、水圧制御装置および制御盤）は、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部ではコンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、基礎金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

#### 2.2.4 消耗品および定期取替品

燃料コンテナのピボット軸受（すべり）、コンベアカーの車輪軸受（すべり）、走行駆動部の軸受（すべり）、減速機のオイルシール、軸継手のオイルシール、リフティングアームの軸受（すべり）、ホーク部軸受（すべり）、リフティングローラ、シリンダ部軸受（すべり）および水圧シリンダの軸受（すべり）は寸法計測や作動確認等の結果に基づき取替える消耗品である。

また、走行駆動部減速機の軸受（ころがり）、軸継手のチェーン、トルクリミッタ（摩擦板）、水圧シリンダのパッキン、水圧制御装置の水圧ポンプ（軸受、パッキン）、電磁弁等（パッキン）、アキュムレータ、高圧ホース、モータ（低圧）の軸受（ころがり）、リミットスイッチ、補助リレー、電磁接触器、ヒューズおよびノーヒューズブレーカは定期取替品である。

それぞれ、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/6) 高浜4号炉 燃料移送装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	組立品	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			
装置の 支持機能	トラック フレーム	レール		ステンレス鋼	△						*1:ブッシュ部 *2:ローラ外面 *3:大気接触部 *4:コンクリート 埋設部		
		基礎金物		ステンレス鋼									
走行機能	燃料 コンテナ	燃料コンテナ		ステンレス鋼									
		ピボット軸受(すべり)	◎	—									
	コンベア カー	車輪		ステンレス鋼	△								
		車輪軸受(すべり)	◎	—									
	走行 駆動部	走行 駆動部	スプロケット		ステンレス鋼	△							
			チェーン		ステンレス鋼	△*1 △*2							
			かさ歯車		ステンレス鋼	△							
			かさ歯車部 軸受(すべり)	◎	—								
			架台			炭素鋼		△					
						ステンレス鋼							
			基礎金物		炭素鋼		△*3 ▲*4						
			トルクリミッタ (摩擦板)	◎	—								
ラインシャフト				ステンレス鋼									
ラインシャフト部 軸受(すべり)			◎	—									

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(2/6) 高浜4号炉 燃料移送装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	組立品	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				
走行機能	走行駆動部	減速機	ケーシング		炭素鋼		△							
			歯車		特殊合金鋼、炭素鋼	△								
			軸		ステンレス鋼									
			軸受(ころがり)	◎	—									
		オイルシール	◎	—										
		軸継手	ケーシング			亜鉛鋳物		△						
			軸(スプロケット)			炭素鋼	△	△						
			チェーン	◎	—									
オイルシール	◎		—											

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/6) 高浜4号炉 燃料移送装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	組立品	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			
リフティング機能	リフティングアーム	リフティングアーム		ステンレス鋼									
		ピボット軸受(すべり)	◎	—									
		ホーク		ステンレス鋼									
		ホーク部軸受(すべり)	◎	—									
		リフティングローラ	◎	—									
		架台		ステンレス鋼									
		シリンダ部軸受(すべり)	◎	—									
	水圧シリンダ	シリンダチューブ		ステンレス鋼									
		ピストン		ステンレス鋼									
		ピストンロッド		ステンレス鋼									
		軸受(すべり)	◎	—									
		パッキン	◎	—									
		ロッド側本体		ステンレス鋼									
		ヘッド側本体		ステンレス鋼									

表2.2-1(4/6) 高浜4号炉 燃料移送装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	組立品	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		
リフティング機能	水圧制御装置	水圧ポンプ(軸受、パッキン)	◎	—								*1:大気接触部 *2:コンクリート埋設部
		電磁弁、仕切弁、切替弁、圧力調整弁(パッキン)	◎	—								
		アキュムレータ	◎	—								
		高圧ホース	◎	—								
		基礎金物		炭素鋼		△ <sup>*1</sup> ▲ <sup>*2</sup>						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(5/6) 高浜4号炉 燃料移送装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位		消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
					減肉		割れ		絶縁	導通	特性		その他
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
機器の監視・操作・駆動・制御・保護の維持	駆動用電動装置	モータ(低圧)	固定子コア	珪素鋼板		△							*1：変形(応力緩和) *2：はく離
			フレーム	铸铁		△							
			固定子コイル	銅、絶縁物					○				
			回転子コア	珪素鋼板		△							
			軸受(ころがり)	—	◎								
	電磁ブレーキ	固定鉄心	珪素鋼板、銅、絶縁物		△				○				
		ばね	ピアノ線								△*1		
		ブレーキ板	铸铁		△								
		ライニング	アスベスト		△							△*2	
		リミットスイッチ	◎	—									

○：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) 高浜4号炉 燃料移送装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位		消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考
					減肉		割れ		絶縁	導通	特性	その他	
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
機器の監視・操作・駆動・制御・保護の維持	制御盤	補助リレー	◎	—									*1: 大気接触部 *2: コンクリート埋設部
		押釦スイッチ		銅、銀他						△			
		電磁接触器	◎	—									
		ヒューズ	◎	—									
		変圧器		銅、絶縁物					○				
		ノーヒューズブレーカ	◎	—									
制御盤の支持	筐体			炭素鋼		△							
	チャンネルベース			炭素鋼		△							
	取付ボルト			炭素鋼		△							
	基礎金物			炭素鋼		△ <sup>*1</sup> ▲ <sup>*2</sup>							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

## 2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

### 2.3.1 モータ（低圧）の固定子コイルの絶縁低下

#### a. 事象の説明

固定子コイルの絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

固定子コイルの絶縁低下については、絶縁仕様が低圧ポンプ用モータに比べて同等以上であるため、低圧ポンプ用モータの健全性評価結果から、固定子コイルの絶縁耐力を保有する運転期間は16年と考えられる。

しかしながら、低圧ポンプ用モータと設置場所が異なることから、長期間の運転を想定すると絶縁低下の可能性は否定できない。

##### ② 現状保全

固定子コイルの絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることの確認を行っている。

また、過去の絶縁抵抗測定の結果に基づき、監視強化としての絶縁抵抗測定の実施頻度の見直しを実施するとともに、必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を実施している。

##### ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、固定子コイルの絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

#### c. 高経年化への対応

固定子コイルの絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していくとともに、点検結果に基づき監視強化としての絶縁抵抗測定の実施頻度の見直しおよび必要に応じて洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を実施していく。

## 2.3.2 電磁ブレーキの固定鉄心の絶縁低下

### a. 事象の説明

電磁ブレーキの固定鉄心の絶縁低下は、熱による絶縁物の特性変化、絶縁物に付着する塵埃または内部の微小ボイド等による放電等、熱的、電氣的、環境的要因で経年的な変化が進行し、外表面、内部等から絶縁低下を生じる可能性がある。

### b. 技術評価

#### ① 健全性評価

電磁ブレーキは、塵埃が付着しにくい密閉構造であり、また、電磁ブレーキの固定鉄心の絶縁は使用温度に比べて十分余裕のある絶縁種（B種：許容最高温度130℃）を選択して使用していることから絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下が生じる可能性は否定できない。

#### ② 現状保全

電磁ブレーキの固定鉄心の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることの確認を行っている。

#### ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、電磁ブレーキの固定鉄心の絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

### c. 高経年化への対応

電磁ブレーキの固定鉄心の絶縁低下に対しては、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

### 2.3.3 変圧器の絶縁低下

#### a. 事象の説明

変圧器は通電による発熱や周囲環境条件の影響を受け、絶縁材料の変化により、絶縁性能の低下を生じる可能性が考えられる。

#### b. 技術評価

##### ① 健全性評価

変圧器は、屋内に設置された筐体内に内蔵されているため、塵埃が付着しにくい環境にある。

また、変圧器の通電時の使用温度に比べ十分余裕のある絶縁種（H種：許容最高温度180℃）を選択して使用していることから絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、60年間の供用を想定すると絶縁低下を生じる可能性は否定できない。

##### ② 現状保全

変圧器の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることの確認を行っている。

##### ③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、変圧器の絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

#### c. 高経年化への対応

変圧器の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

## 3.3 新燃料貯蔵設備

[対象機器]

- ① 新燃料ラック

## 目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 新燃料ラックの技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	5

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されている新燃料ラックの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 新燃料ラックの主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	容量
新燃料ラック (1)	PS-2	108セル

\*1：機能は最上位の機能を示す。

## 2. 新燃料ラックの技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

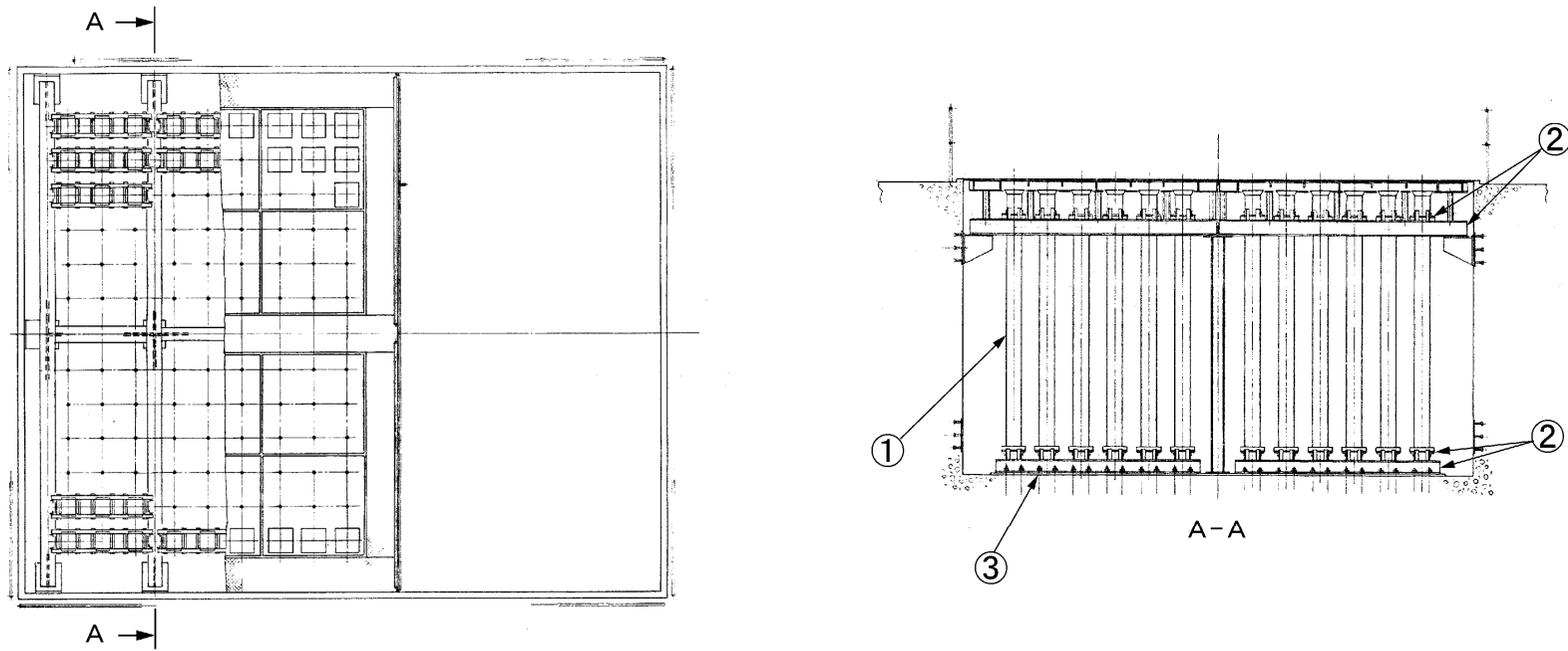
#### (1) 構造

高浜4号炉の新燃料ラックは床下式で建屋内に設置されており、新燃料を保持する構造となっている。

高浜4号炉の新燃料ラックの構造図を図2.1-1に示す。

#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の新燃料ラックの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	ラック
②	サポート部材
③	基礎ボルト

図2.1-1 高浜4号炉 新燃料ラック構造図

表2.1-1 高浜4号炉 新燃料ラック主要部位の使用材料

部位	材料
ラック	ステンレス鋼
サポート部材	ステンレス鋼、炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-2 高浜4号炉 新燃料ラックの使用条件

容量	108セル
設置場所	建屋内

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

新燃料ラックの機能である臨界防止機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 燃料保持
- ② ラック保持
- 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

新燃料ラックについて機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) サポート部材の腐食（全面腐食）

サポート部材の一部は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、本評価書の「基礎ボルト」にてまとめて評価を実施する。

表2.2-1 高浜4号炉 新燃料ラックに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
燃料保持	ラック		ステンレス鋼								
ラック保持	サポート部材		ステンレス鋼								
			炭素鋼		△						
機器の支持	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

## 4 原子炉容器上蓋付属設備

[対象機器]

- ① 制御棒駆動装置
- ② 炉内熱電対フランジ

## 目次

1.	技術評価対象機器および代表機器の選定.....	1
1.1	グループ化の考え方および結果.....	1
1.2	代表機器の選定.....	1
2.	代表機器の技術評価.....	3
2.1	構造、材料および使用条件.....	3
2.2	経年劣化事象の抽出.....	11
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ではない事象.....	16

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜 4 号炉で使用されている原子炉容器上蓋付属設備の主な仕様を表1-1に示す。

これらの機器を設置場所、材料の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す原子炉容器上蓋付属設備について、設置場所、材料を分離基準として考えると、いずれの機器も同様であることから、1つのグループとして分類される。

### 1.2 代表機器の選定

炉内熱電対フランジに使用している圧力ハウジングは頂部のシール構造を除き制御棒駆動装置のハウジングとほぼ同様である。

駆動機構を有している制御棒駆動装置を代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 原子炉容器上蓋付属設備の主な仕様

分離基準		機器名称 (台数)	選定基準			代表機器の選定	
設置場所	材料		重要度*1	使用条件		代表機器	選定理由
				最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)		
原子炉容器上蓋上	ステンレス鋼	制御棒駆動装置 (52) (予備用 4 台含む)	PS-1	約17.2	約343	◎	構造 (駆動機構あり)
		炉内熱電対フランジ (3)	PS-1	約17.2	約343		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

## 2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の機器について技術評価を実施する。

### ① 制御棒駆動装置

#### 2.1 構造、材料および使用条件

##### 2.1.1 制御棒駆動装置

###### (1) 構造

高浜4号炉の制御棒駆動装置は炉心の制御を行う制御棒の引き抜き・挿入動作を操作する装置であり、圧力ハウジング、ラッチ機構、サーマルスリーブおよび駆動軸の組立体から構成され、圧力バウンダリとして原子炉容器頂部に取り付けられている。

圧力ハウジングは駆動軸ハウジングとラッチハウジングが溶接で結合され、ラッチハウジングとふた管台が溶接で接合され、ふた管台は原子炉容器上蓋に溶接されている。

圧力ハウジングの内側にはラッチ機構が取り付けられている。

ラッチ機構は磁気ジャック式と呼ばれ、圧力ハウジング外側に設置した制御棒駆動装置作動コイルに通電することによって発生する電磁石の原理を利用しラッチ機構のラッチアームを動作させる。

ラッチアームは駆動軸を把持し、さらに駆動軸と結合された制御棒を操作する動作を行う。駆動軸は駆動軸下端の接手により制御棒との結合・切離しを行うもので、駆動軸中央部にはラッチアームとの結合用の溝山がある。

また、原子炉容器上蓋の上側に制御棒駆動装置耐震サポートが設置されており、地震時の制御棒駆動装置の水平方向の動きを抑制している。

なお、高浜4号炉の制御棒駆動装置については、第17回定期検査時（2007年度）に取替を実施している。

高浜4号炉の制御棒駆動装置の構造図を図2.1-1～図2.1-6に示す。

###### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の制御棒駆動装置の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

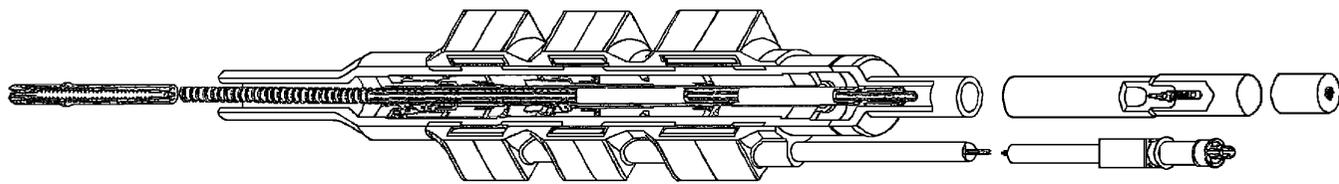
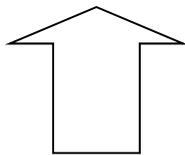
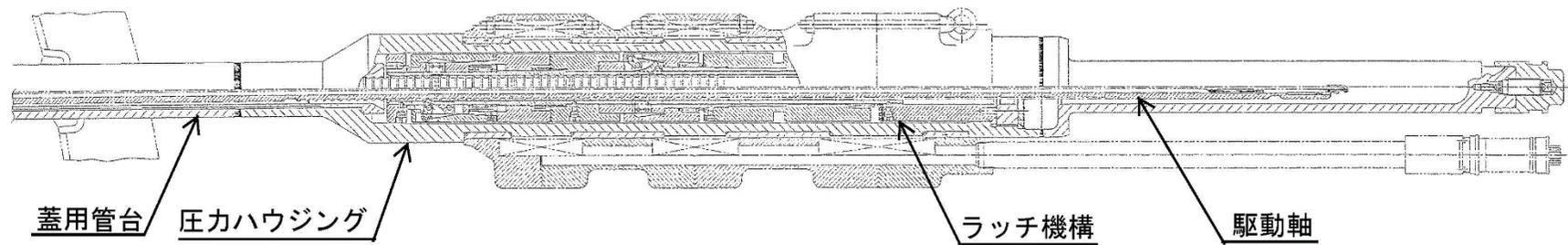
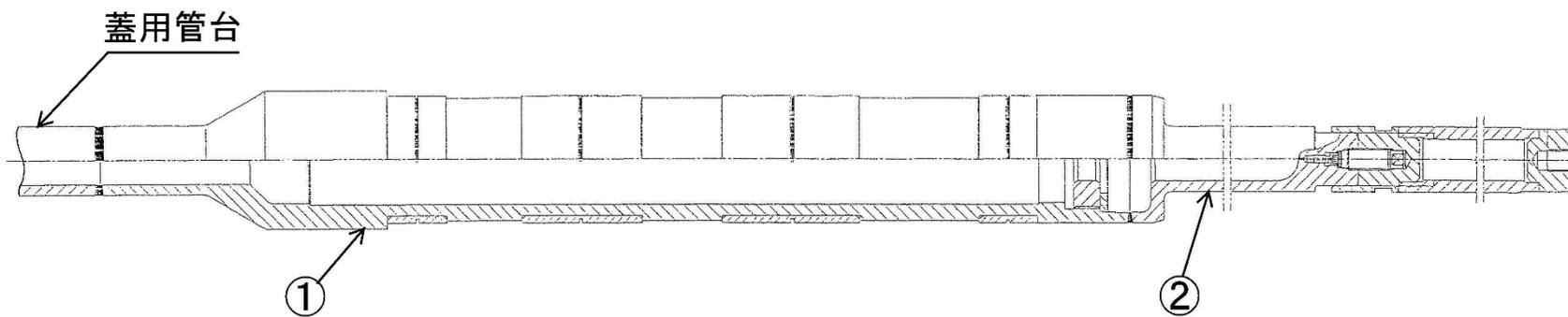
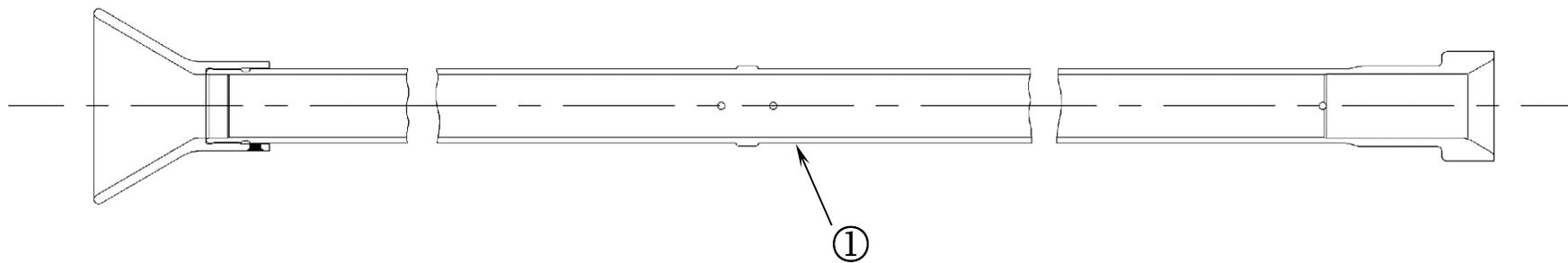


図2.1-1 高浜4号炉 制御棒駆動装置全体構造図



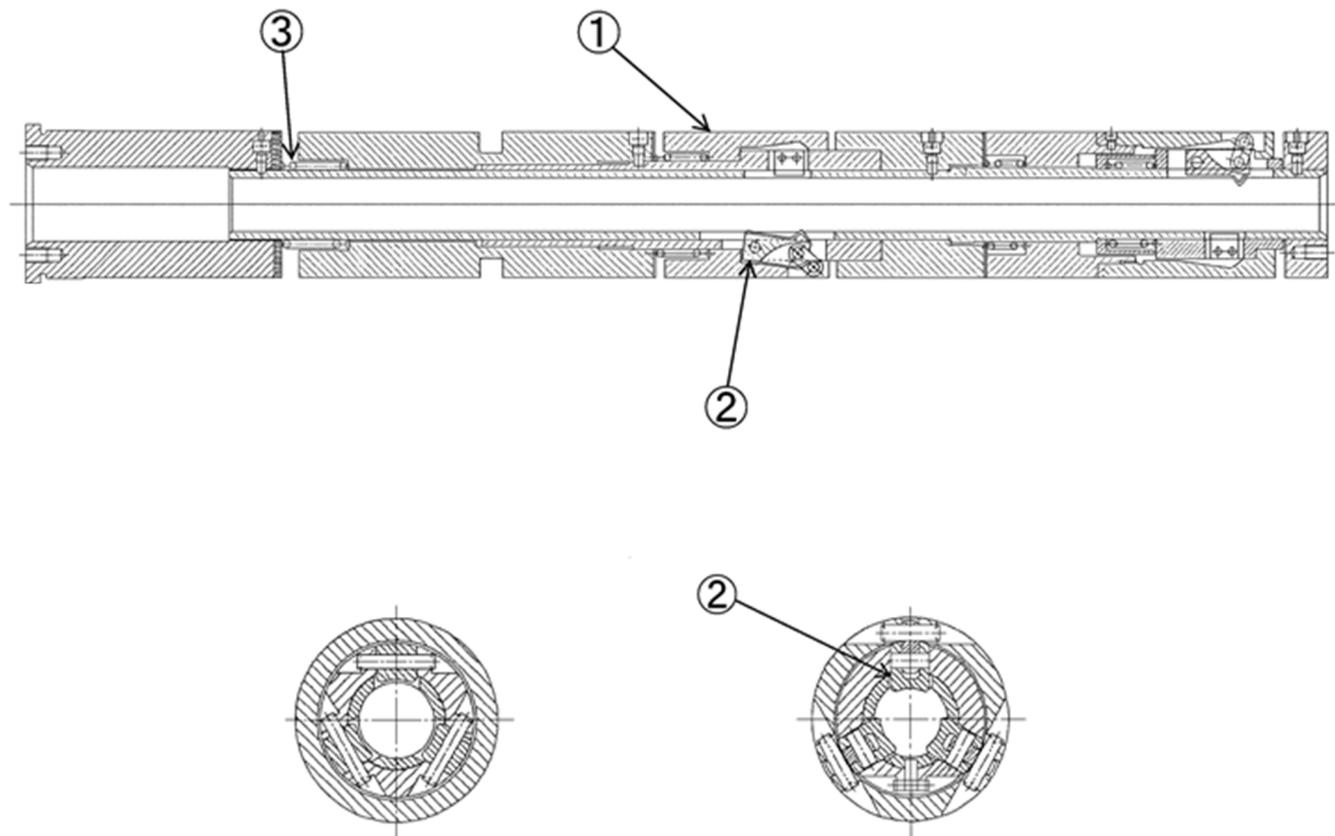
No.	部位
①	ラッチハウジング
②	駆動軸ハウジング

図2.1-2 高浜4号炉 制御棒駆動装置 圧力ハウジング構造図



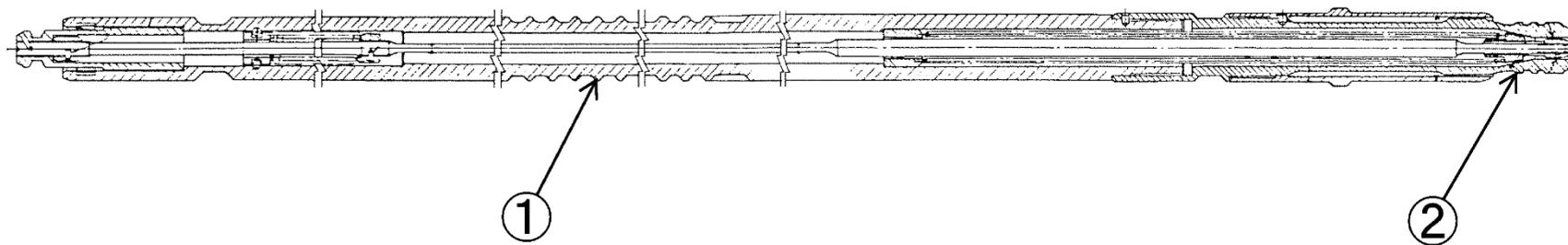
No.	部位
①	サーマルスリーブ

図2.1-3 高浜4号炉 制御棒駆動装置 サーマルスリーブ構造図



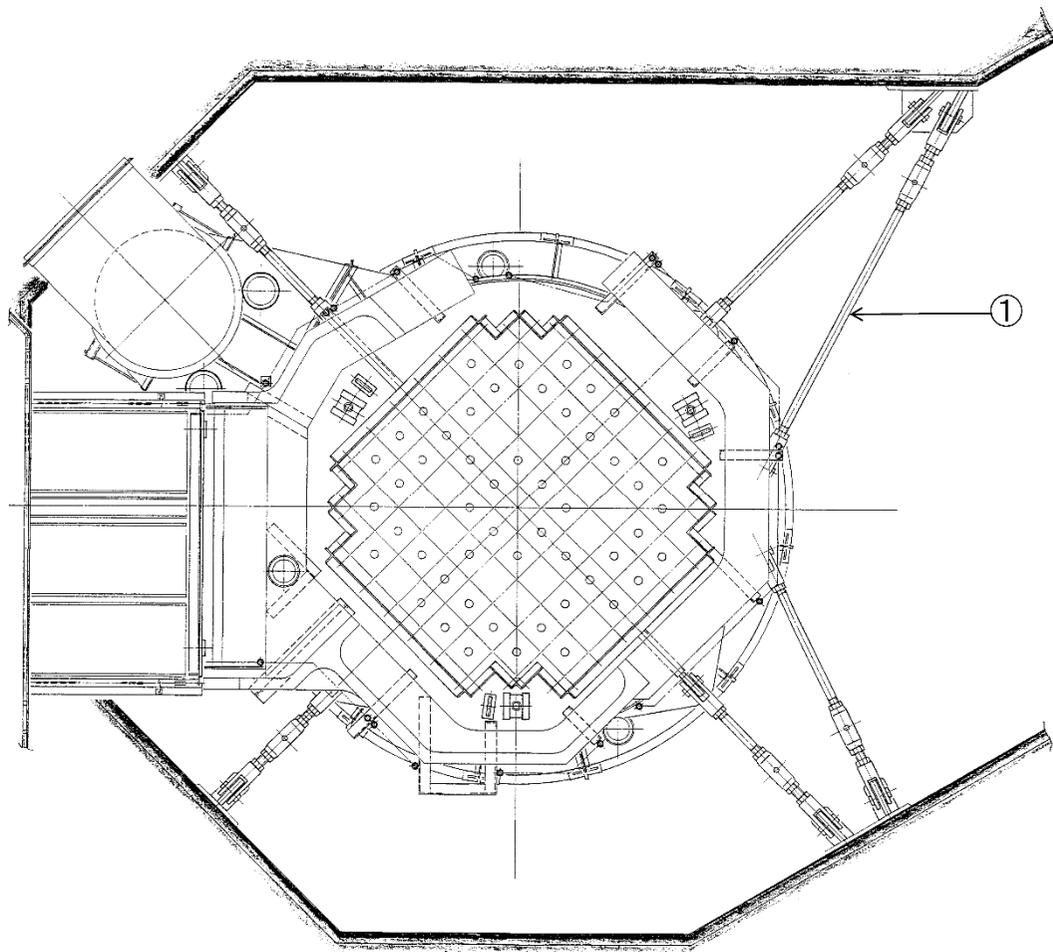
No.	部位
①	プランジャ
②	ラッチアーム
③	ばね

図2.1-4 高浜4号炉 制御棒駆動装置 ラッチ機構構造図



No.	部位
①	駆動軸
②	接手

図2.1-5 高浜4号炉 制御棒駆動装置 駆動軸構造図



No.	部位
①	耐震サポート

図2.1-6 高浜4号炉 制御棒駆動装置 耐震サポート構造図

表2.1-1 高浜4号炉 制御棒駆動装置主要部位の使用材料

部位		材料
ハウジング 圧力	ラッチハウジング	ステンレス鋼
	駆動軸ハウジング	ステンレス鋼
サーマルスリーブ		ステンレス鋼
ラッチ 機構	プランジャ	ステンレス鋼
	ラッチアーム	ステンレス鋼
	ばね	750系ニッケル基合金
駆動軸	駆動軸	ステンレス鋼
	接手	ステンレス鋼
耐震サポート		低合金鋼、ステンレス鋼

表2.1-2 高浜4号炉 制御棒駆動装置の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa [gage]
最高使用温度	約343℃
内部流体	1次冷却材

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

制御棒駆動装置の機能である反応度制御機能の達成に必要な項目としては、次の2つの項目がある。

- ① バウンダリの維持
- ② 制御棒作動信頼性の維持

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

制御棒駆動装置について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

#### (1) 圧力ハウジングの疲労割れ

圧力ハウジングは、プラントの起動・停止時等による熱過渡を繰り返し受けるため、疲労割れが想定される。

しかしながら、起動・停止時等に発生する荷重はわずかであり、有意な応力変動を受けない構造となっており、疲労割れが発生しがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、漏えい試験により、機器の健全性を確認している。

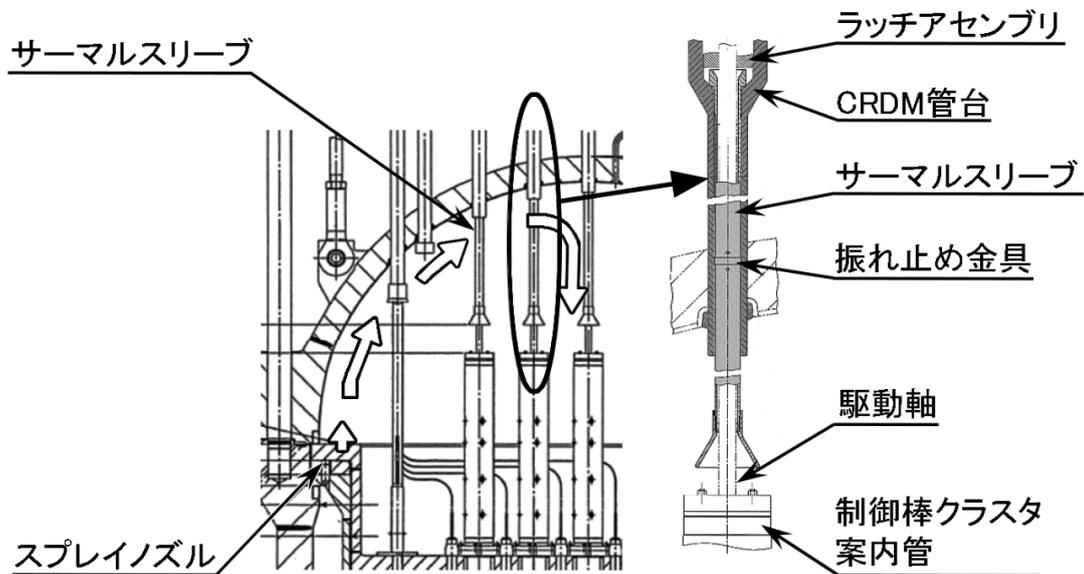
(2) サーマルスリーブの摩耗

サーマルスリーブは、原子炉容器上蓋管台との接触部における摩耗が想定される。

2017年12月、フランスのベルビル（Belleville）発電所2号炉において、サーマルスリーブが摩耗により落下し、制御棒落下試験時に全挿入できない事象が発生している。

サーマルスリーブは原子炉容器上蓋の制御棒駆動装置管台の内側に設置され、管台とは固定されておらず、管台のテーパ部にサーマルスリーブのフランジ部が自重を預ける構造となっている。

サーマルスリーブが設置される頂部プレナム内では、図2.2-1に示すようにスプレインズルから噴出する1次冷却材の流れ（頂部バイパス流）が原子炉容器上蓋に沿って上昇し、頂部付近で合流した後に下降する流れが存在する。この流れが作用することでサーマルスリーブに流体励起振動が生じ、サーマルスリーブのフランジ面と管台内面のテーパ面が摺動することで、摩耗が進展すると考えられる。そのため、頂部プレナム内のバイパス流の流れが大きく上蓋頂部の温度が低いプラント（T-Coldプラント）が摩耗に対する感受性が大きいと考えられる。



← 頂部プレナム内のバイパス流の流れを示す

図2.2-1 サーマルスリーブの構造と頂部プレナム内の流況

国内PWRプラントにおいては、2019年に、頂部プレナムへのバイパス流量比が大きく、ワークレート（摺動速さと接触荷重の積）が大きい標準型4ループプラントのうち、上蓋の供用年数が比較的長いプラントを代表プラントとして、サーマルスリーブの摩耗状況の確認のためにサーマルスリーブの下降量を計測しているが、直ちにフランジ部の破断に至るような摩耗の進展は認められていない。

一方、高浜4号炉については、第17回定期検査時（2007年度）に原子炉容器の上蓋取替に合わせてサーマルスリーブも取替えられており、摩耗状況を確認した国内代表プラントよりも供用期間が短いことから、直ちにフランジ部の破断に至るような摩耗が生じる可能性は小さい。

また、当社プラントのうち摩耗進展量が比較的大きいと思われる大飯3号炉を代表プラントに追加し、サーマルスリーブの摩耗状況を確認することで機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

### (3) プランジャの摩耗

制御棒の引き抜き・挿入動作を行うプランジャはその構造上、摺動部で摩耗が想定される。

しかしながら、コイル電流によるラッチ機構作動確認および制御棒落下試験により、スクラム時のプランジャ動作に伴うラッチアーム開放動作に影響のないことを確認することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

### (4) ラッチアームおよび駆動軸の摩耗

ラッチアームおよび駆動軸は互いに接触する部位であり、摺動部で摩耗が想定される。

しかしながら、コイル電流によるラッチ機構作動確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) ばねの変形（応力緩和）

制御棒駆動装置に使用しているばねは圧縮荷重が常時加わった状態で長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機能確認時の作動確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 耐震サポートの腐食（全面腐食）

低合金鋼の耐震サポートは、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、外観点検時等の目視確認により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(7) 接手の摩耗

接手は制御棒クラスタのスパイダ溝に接手の山がかみあう構造になっており、ステッピングおよび制御棒との取付け、取外しによる接手山部の摩耗が想定される。

しかしながら、接手山とスパイダ溝は隙間なくかみ込み一体となっており、ステッピング時の摩耗は生じないと考えられること、およびスパイダ材と接手の硬さは同程度であり比摩耗量も同程度と考えられ、接手山部についても有意な摩耗はないと考えられることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

表2.2-1 高浜4号炉 制御棒駆動装置に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	組立品	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		絶縁	その他	
					摩耗	腐食	疲労 割れ	応力腐 食割れ	熱時効	劣化	絶縁 低下		
バウンダリの 維持	圧力 ハウジング	ラッチハウジング		ステンレス鋼			△						*1：変形 (応力緩和)
		駆動軸ハウジング		ステンレス鋼			△						
制御棒作動 信頼性の維持	サーマルスリーブ			ステンレス鋼	△								
	ラッチ機構	プランジャ		ステンレス鋼	△								
		ラッチアーム		ステンレス鋼	△								
		ばね		750系ニッケル 基合金								△*1	
	駆動軸	駆動軸		ステンレス鋼	△								
		接手		ステンレス鋼	▲								
	耐震サポート				低合金鋼		△						
				ステンレス鋼									

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

### 3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価について、1章で実施したグループ化で代表機器になっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

#### ① 炉内熱電対フランジ

### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

#### 3.1.1 圧力ハウジングの疲労割れ

圧力ハウジングは、プラントの起動・停止時等による熱過渡を繰り返し受けるため、疲労割れが想定される。

しかしながら、起動・停止時等に発生する荷重はわずかであり、有意な応力変動を受けない構造となっており、疲労割れが発生しがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、漏えい試験により、機器の健全性を確認している。

#### 3.1.2 コノシールガスケット取付部の摩耗

炉内熱電対フランジの圧力ハウジング頂部は、コノシールガスケットでシールされており、コノシールガスケットは定期的に取り替を行っているため、取付部で摩耗が想定される。

しかしながら、取替時の目視確認や漏えい試験により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

### 3.1.3 ヘリコフレックスシール取付部の腐食（隙間腐食）

炉内温度計装用フランジのヘリコフレックスシールの接触部は隙間構造となり、隙間腐食が想定される。

しかしながら、漏えい試験により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

## 5 非核燃料炉心構成品

[対象機器]

- ① 制御棒クラスタ

## 目次

1. 技術評価対象機器.....	1
2. 制御棒クラスタの技術評価.....	2
2.1 構造、材料および使用条件.....	2
2.2 経年劣化事象の抽出.....	6

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されている制御棒クラスタの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 非核燃料炉心構成品の主な仕様

機器名称 (体数)	重要度*1	使用条件	
		最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)
制御棒クラスタ (48)	MS-1、重*2	約17.2	約343

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

## 2. 制御棒クラスタの技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### (1) 構造

高浜4号炉の制御棒はクラスタ方式で、原子炉の緊急停止は制御棒クラスタの重力落下によって行っている。制御棒クラスタは、目的により制御グループおよび停止グループに分けられる。制御グループは、通常運転中、出力、温度等原子炉の運転条件の変化による反応度変化を補償するために使用している。停止グループの制御棒クラスタは、原子炉停止の際、制御グループの制御棒クラスタとともに、炉心の余剰反応度を吸収するために用いている。制御棒クラスタは、最も反応度効果の大きい制御棒クラスタ1体が炉心に挿入できない場合でも、十分余裕を持って原子炉を停止できる制御能力を持つよう設計している。

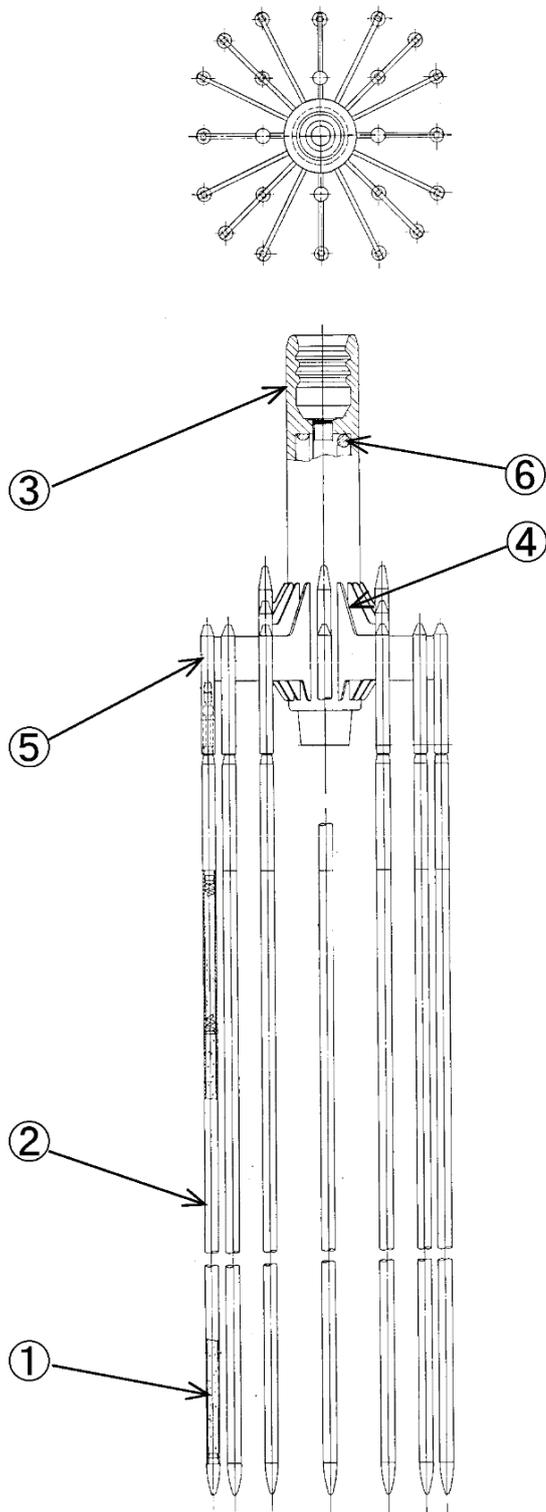
制御棒クラスタは、24本の制御棒をベーンとフィンガにより軸対称位置に配置する構造をしており、原子炉容器内で48体使用されている。全長は約4m、質量は約68kgであり、制御棒駆動軸と切り離すことにより炉心から取り出すことができる。1次冷却材に接する部分はステンレス鋼またはステンレス鋼鋳鋼で構成されており、吸収材である銀・インジウム・カドミウム合金を被覆した制御棒をクラスタ状に維持している。また原子炉停止のため制御棒クラスタを重力落下させた際の衝撃を緩和するためにニッケル基合金製のばねを有している。

高浜4号炉の制御棒クラスタの構造図を図2.1-1に示す。

なお、制御棒クラスタについては、表2.1-1に示すとおり取替を実施している。

#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の制御棒クラスタの使用材料および使用条件を表2.1-2および表2.1-3にそれぞれ示す。



No.	部位
①	中性子吸収体
②	被覆管
③	スパイダー*1
④	ベーン*1
⑤	フィンガ*1
⑥	ばね

\*1 : スパイダー、ベーン、フィンガは一体構造

図2.1-1 高浜4号炉 制御棒クラスタ構造図

表2.1-1 高浜4号炉 制御棒クラスターの取替実績

時期	体数 (体)
第5回定期検査時 (1991年度)	7
第6回定期検査時 (1992年度)	12
第7回定期検査時 (1993年度)	12
第8回定期検査時 (1995年度)	17
第18回定期検査時 (2008年度)	8
第20回定期検査時 (2011～2017年度)	25
第21回定期検査時 (2018年度)	14
第22回定期検査時 (2019年度)	1

(注) 全48体について改良型 (被覆管へのCrメッキおよび吸収体先端部の細径化) への取替済み。

表2.1-2 高浜4号炉 制御棒クラスタ主要部位の使用材料

部位	材料
中性子吸収体	銀・インジウム・カドミウム合金
被覆管	ステンレス鋼
スパイダー*1	ステンレス鋼またはステンレス鋼鋳鋼
ベーン*1	ステンレス鋼またはステンレス鋼鋳鋼
フィンガ*1	ステンレス鋼またはステンレス鋼鋳鋼
ばね	718系ニッケル基合金

\*1：スパイダー、ベーンおよびフィンガは一体構造

表2.1-3 高浜4号炉 制御棒クラスタの使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa[gage]
最高使用温度	約343℃
使用環境	1次冷却材水中

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

制御棒クラスタの機能である炉心の制御機能の達成に必要な項目としては、次の項目が必要である。

- ① 反応度変化の補償および緊急停止時の停止余裕の確保

### 2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

制御棒クラスタについて、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1で示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 被覆管の摩耗

通常運転時の1次冷却材の流れにより、制御棒クラスタ案内管内等で制御棒が流体振動を起こす。その結果、制御棒と制御棒クラスタ案内管案内板等との間で摩耗が想定される。

制御棒クラスタの構造と挿入位置関係を図2.2-1に示す。

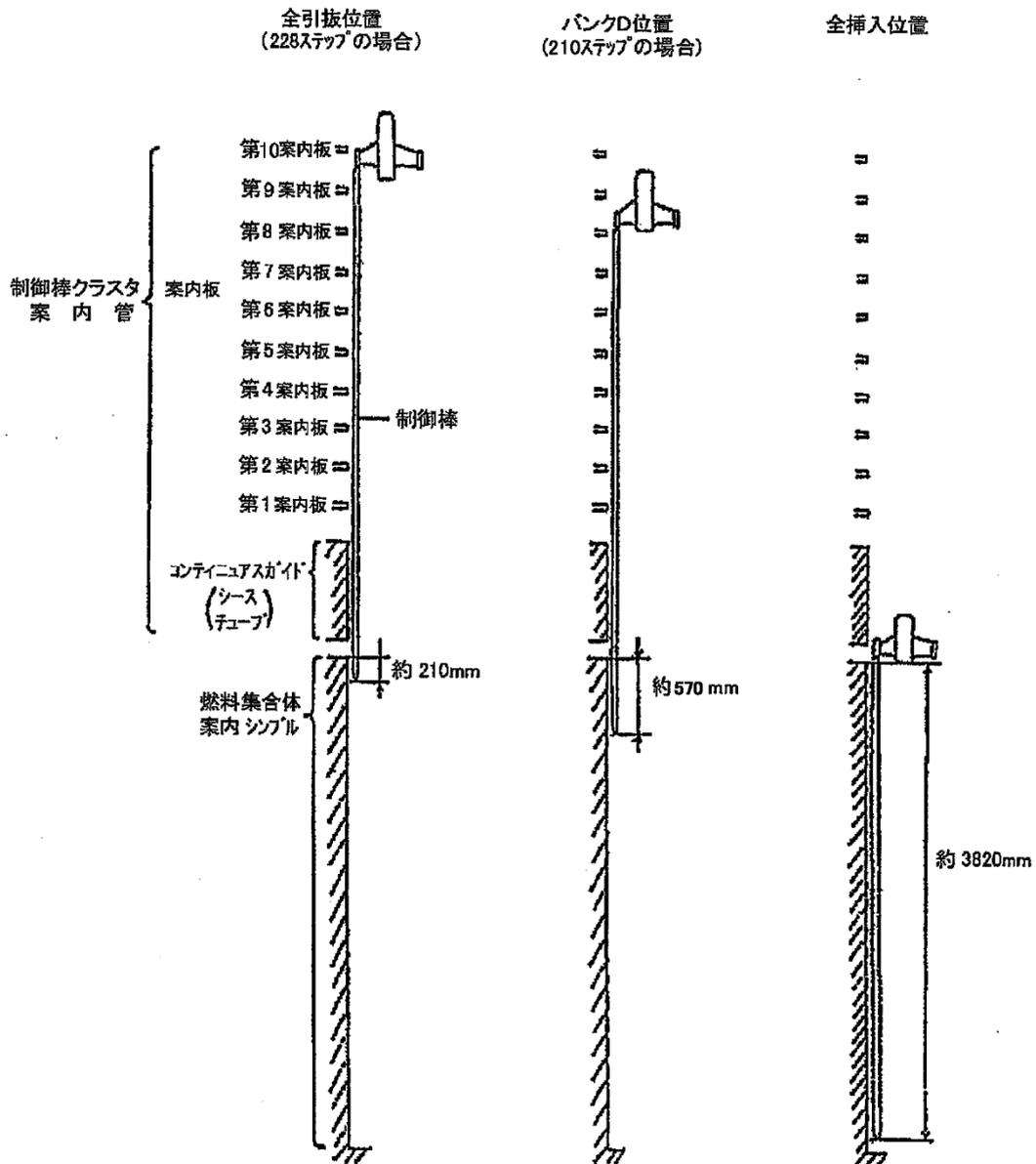


図2.2-1 高浜4号炉 制御棒クラスタの構造と挿入位置関係

米国ポイントビーチ (Point Beach) 発電所 2 号炉で被覆管の摩耗が認められたという報告が、1984年3月にされたため、国内プラントでも検討を行い、摩耗測定結果から摩耗の進行を評価しており、予防保全的に摩耗深さが肉厚を超えないよう定期的に取り替を行っている。

万一被覆管が減肉により貫通してもただちに制御棒クラスタの機能に与える影響は小さいことを確認している。

- ・ 被覆管強度 : 摩耗減肉後、さらに貫通した状態で、最も条件が厳しいステッピング荷重を考慮しても、応力や疲労評価上問題なく、被覆管強度は保たれる。
- ・ 中性子吸収体の溶出 : 被覆管に穴が開いても、吸収材が 1 次冷却材中に溶出する量は微量であり、制御能力にはほとんど影響ない。
- ・ 挿入性、挿入時間への影響 : 被覆管が貫通しても挿入性は確保される。

しかしながら、予防保全的に摩耗深さが肉厚を超えないような管理を行なっている。具体的には、制御棒クラスタ案内管案内板部については摩耗が被覆管肉厚に達するまでに、制御棒引抜き位置を原子炉停止余裕や反応度の補償機能への影響は問題ないようステップ変更することにより被覆管と制御棒クラスタ案内管案内板との干渉範囲をずらし、さらに同じ時間経過するまでに取替を実施している。

さらに、全制御棒クラスタの落下試験を実施し、挿入性に問題のないことを確認することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

## (2) 被覆管の照射誘起型応力腐食割れ

制御棒クラスタは被覆管の照射誘起型応力腐食割れが想定される。

しかしながら、照射誘起型応力腐食割れの感受性を呈する中性子照射量を超す高照射領域は制御棒被覆管においては先端部のみであるが、当該部位では、使用初期には内外差圧による極小さな応力しか発生しない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、制御棒クラスタは中性子照射量に応じた取替を計画的に行うことにより、機器の健全性を確認している。

(3) 被覆管先端部の照射誘起割れ（外径増加によるクラック）

被覆管先端部は外径増加によるクラックが想定される。

中性子吸収体が中性子照射量の比較的大きな制御棒先端部においてスウェリングし、外径が増加することにより次第に被覆管に内圧を付加するようになる。

一方、被覆管は照射されるにつれて一様伸びが低下し、割れの発生限界ひずみが低下する。

これらの事象の相乗効果により、照射量が大きな領域に入ると、内圧を付加された被覆管に発生するひずみが大きくなり割れ発生限界ひずみ量に達することによって、クラックが発生する可能性がある。

しかしながら、制御棒クラスタは中性子照射量に応じた取替を計画的に行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) 被覆管の照射スウェリング

制御棒クラスタは被覆管の照射スウェリングが想定される。

しかしながら、照射スウェリング量は制御棒先端部の照射誘起割れに対する照射量暫定取替基準に達した時点で微量であり、制御棒と燃料集合体内に制御棒を導く制御棒案内シングル細径部（ダッシュポット部）間ギャップは確保される。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、制御棒クラスタは中性子照射量に応じた取替を計画的に行うことにより、機器の健全性を確認している。

(5) 被覆管の照射クリープ

被覆管先端部は照射クリープの発生が想定される。

しかしながら、吸収材によって変形が制限され、外観検査にて有意な変形のないことを確認し、制御棒クラスタは中性子照射量に応じた取替を計画的に行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(6) 中性子吸収体の中性子吸収能力の低下

中性子吸収体は中性子吸収により、その成分元素が中性子吸収断面積の小さな元素へと変換されるため、中性子吸収能力は徐々に低下する。中性子吸収能力が低下すると制御機能が満足できないことが想定される。

しかしながら、運転中制御棒は制御棒案内管内へ引き抜かれているため、照射量はわずかである。

また、制御棒クラスタの暫定取替基準の照射を受けた場合でも、個々の制御棒の核的損耗は0.07%と核安全設計の余裕の範囲（10%）内にあり、制御能力としては十分余裕がある。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、制御棒クラスタは中性子照射量に応じた取替を計画的に行うことにより、機器の健全性を確認している。

(7) スパイダー溝の駆動軸接手との干渉部の摩耗

駆動軸とのラッチの際にはスパイダー溝内に駆動軸の接手が挿入される構造になっており、ステッピングおよび制御棒クラスタのラッチ、アンラッチにより干渉部で摩耗が想定される。

しかしながら、接手山とスパイダー溝は隙間なくかみ込み一体になっており、ステッピング時に摩耗が発生しがたい。

また、スパイダー材と接手の硬さおよび比摩耗量も同程度と考えられることから、スパイダー溝についても摩耗が発生しがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、制御棒クラスタは計画的に取替を行うことにより、機器の健全性を確認している。

(8) スパイダー、ベーンおよびフィンガの熱時効

スパイダー、ベーンおよびフィンガはステンレス鋼鋳鋼であり、高温での長時間の使用に伴い靱性の低下を起こすことが想定される。

しかしながら、HIP（熱間等方加圧）処理により内部欠陥をなくしており、外観検査にて表面に異常のないことを確認し、制御棒クラスタは計画的に取替を行うことにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(9) 照射によるばねの変形（応力緩和）

ばねは制御棒クラスタのスパイダー内にあり、中性子照射により応力緩和してばね力が徐々に低下することが想定される。

しかしながら、運転中制御棒は炉心から引き抜かれているため、照射量がわずかであり、ばねの応力緩和が発生しがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、制御棒クラスタは計画的に取替を行うことにより、機器の健全性を確認している。

表2.2-1 高浜4号炉 制御棒クラスタに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
反応度変化の補償および緊急停止時の停止余裕の確保	中性子吸収体		銀・インジウム・カドミウム合金							△ <sup>*1</sup>	*1：中性子吸収能力低下 *2：照射誘起型応力腐食割れ *3：照射誘起割れ *4：照射スウェリング *5：照射クリープ *6：鋳造品のみ *7：照射による変形（応力緩和）
	被覆管		ステンレス鋼	△			△ <sup>*2</sup>		△ <sup>*3</sup>	△ <sup>*4</sup> △ <sup>*5</sup>	
	スパイダー		ステンレス鋼またはステンレス鋼鋳鋼	△				△ <sup>*6</sup>			
	ベーン		ステンレス鋼またはステンレス鋼鋳鋼					△ <sup>*6</sup>			
	フィンガ		ステンレス鋼またはステンレス鋼鋳鋼					△ <sup>*6</sup>			
	ばね		718系ニッケル基合金							△ <sup>*7</sup>	

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

## 6 濃縮減容設備

[対象機器]

- ① 廃液蒸発装置
- ② ほう酸回収装置

## 目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料および使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	18
3. 代表機器以外への展開	34
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	34

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜 4 号炉で使用されている濃縮減容設備の主な仕様を表1-1に示す。

これらの濃縮減容設備を減容方式、流体および材料の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す濃縮減容設備について減容方式、流体および材料を分離基準として考えると、いずれの濃縮減容設備も同様であることから、1つのグループとして分類される。

### 1.2 代表機器の選定

このグループには廃液蒸発装置およびほう酸回収装置が属するが、内部流体から廃液蒸発装置を代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 濃縮減容設備の主な仕様

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準				代表機器の選定	
減容方式	流体	材料		重要度*1	使用条件*2			代表機器	選定理由
					運転状態	最高使用圧力*3 (MPa[gage])	最高使用温度*3 (°C)		
蒸発減容	廃液	ステンレス鋼	廃液蒸発装置 (3)	高*4	一時	約0.1/約0.9	約150/約185	◎	内部流体
	1次冷却材	ステンレス鋼	ほう酸回収装置 (1)	高*4	一時	約0.9/約0.1	約185/約150		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：廃液蒸発装置は加熱器、ほう酸回収装置は蒸発器の使用条件を示す。

\*3：管側／胴側を示す。

\*4：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

## 2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の濃縮減容設備について技術評価を実施する。

### ① 廃液蒸発装置

#### 2.1 構造、材料および使用条件

##### 2.1.1 廃液蒸発装置

###### (1) 構造

高浜4号炉の廃液蒸発装置は、廃液を蒸発減容する蒸発器、発生蒸気中の不純物を取り除く精留塔、循環液を蒸気により加熱する加熱器、発生蒸気から蒸留水を凝縮回収するコンデンサ、コンデンサ器内の気体からさらに蒸留水を凝縮回収するベントコンデンサ、蒸留水を冷却する蒸留水冷却器、流体を循環するための濃縮液ポンプ、蒸留水ポンプおよび配管から構成されている。

高浜4号炉の廃液蒸発装置の全体構成図を図2.1-1に、各機器の構造図を図2.1-2～図2.1-9に示す。

###### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の廃液蒸発装置の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

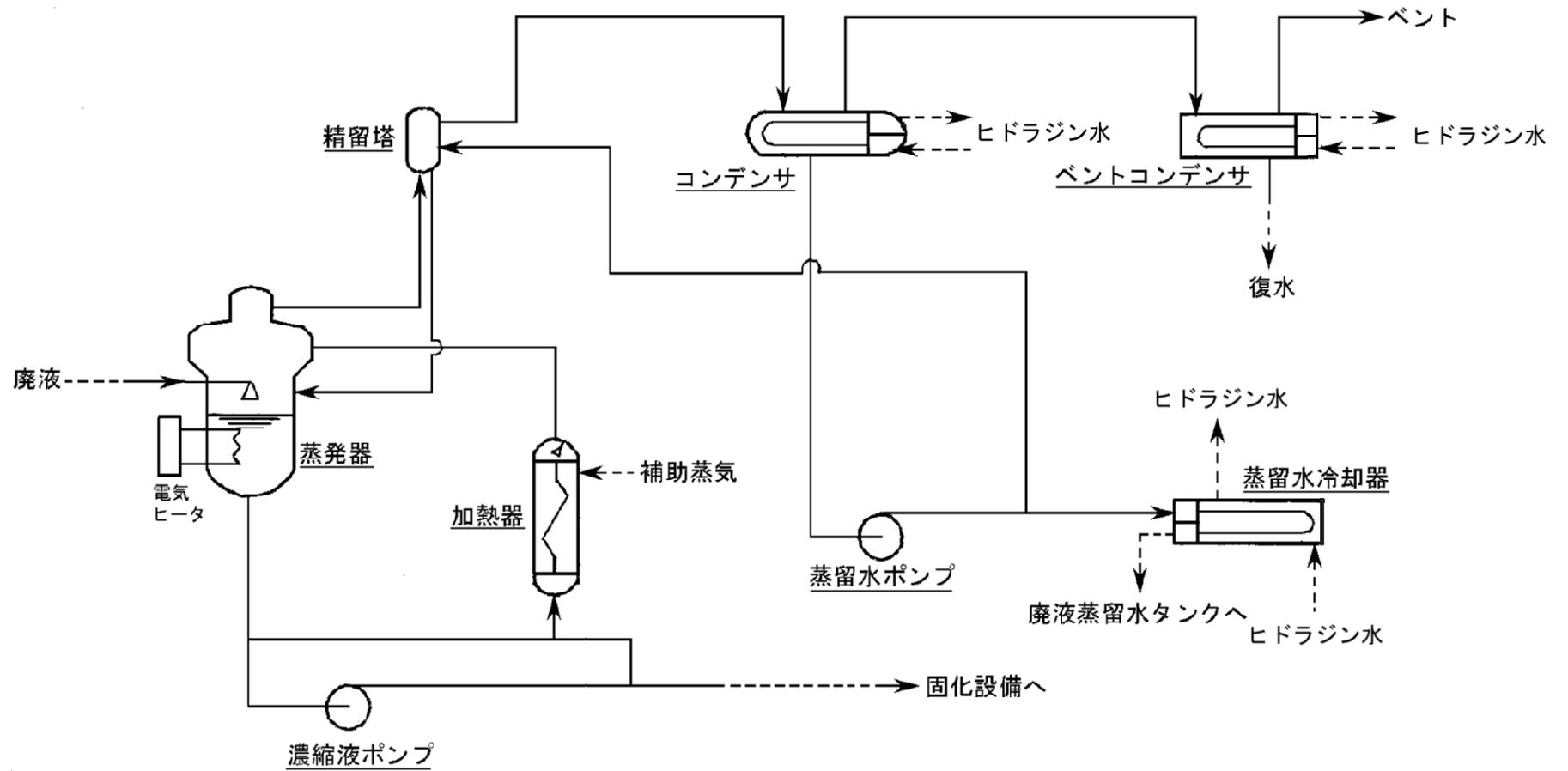
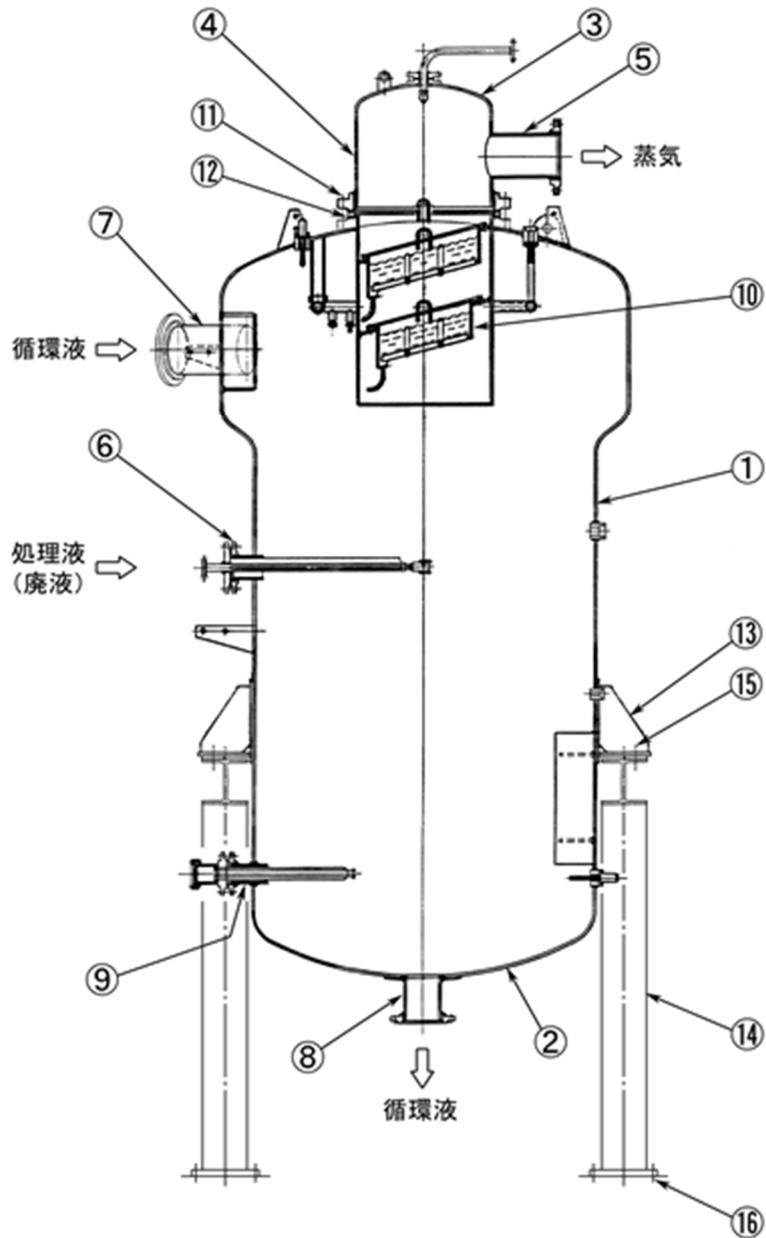
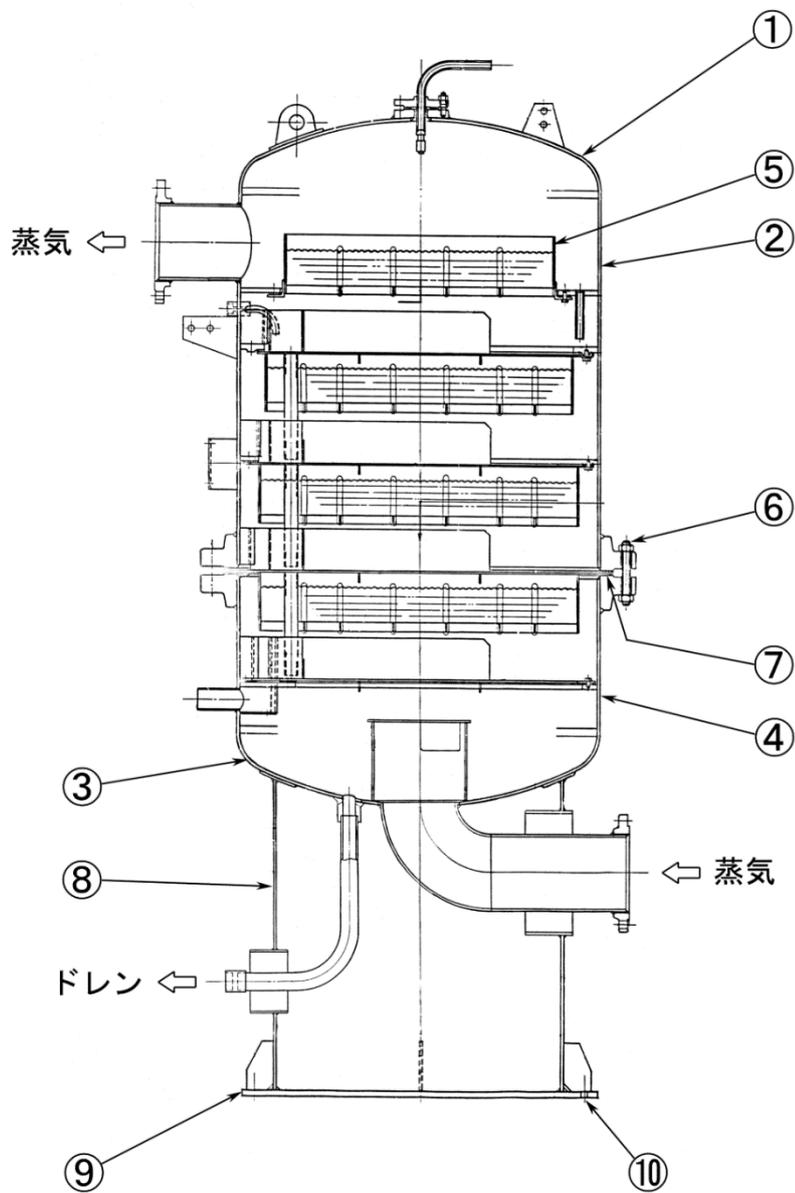


図2. 1-1 高浜4号炉 廃液蒸発装置 全体構成図



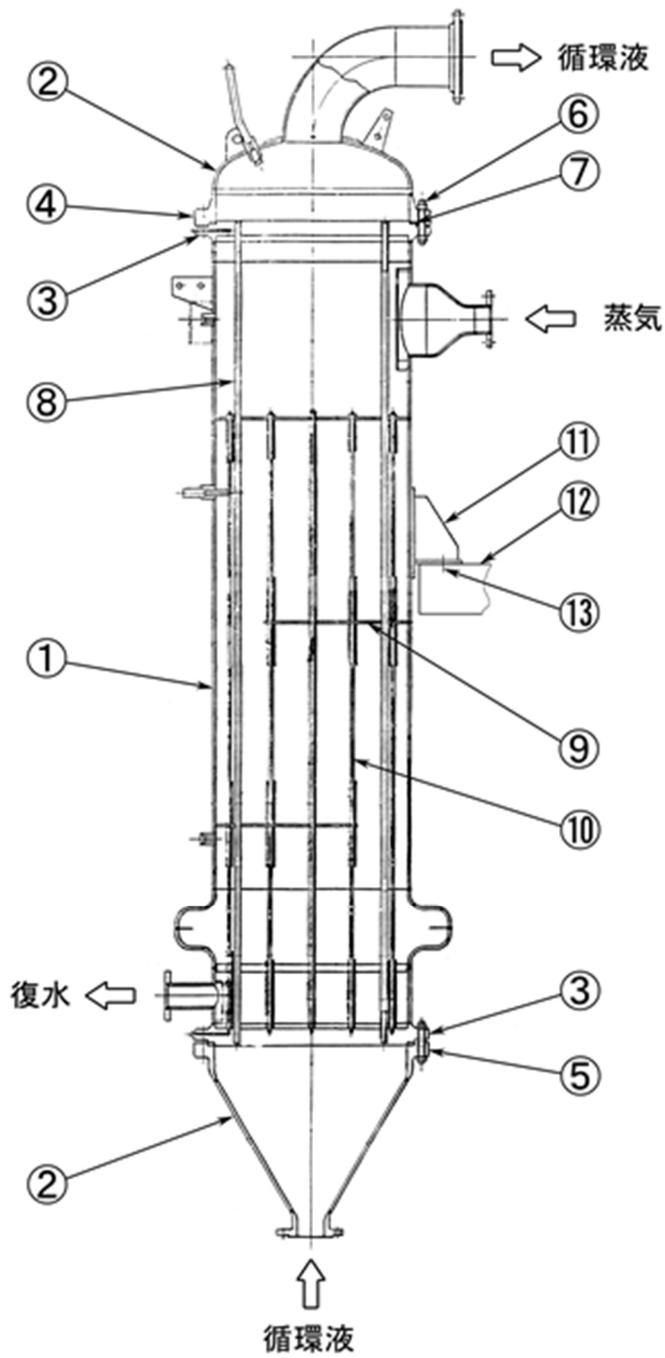
No.	部位	No.	部位
①	胴板	⑨	電気ヒータ管台
②	鏡板	⑩	デミスタ
③	蒸気室鏡板	⑪	フランジボルト
④	蒸気室胴板	⑫	ガスケット
⑤	蒸気出口管台	⑬	支持脚
⑥	処理液入口管台	⑭	架台
⑦	循環液入口管台	⑮	取付ボルト
⑧	循環液出口管台	⑯	基礎ボルト

図2.1-2 高浜4号炉 廃液蒸発装置 蒸発器 構造図



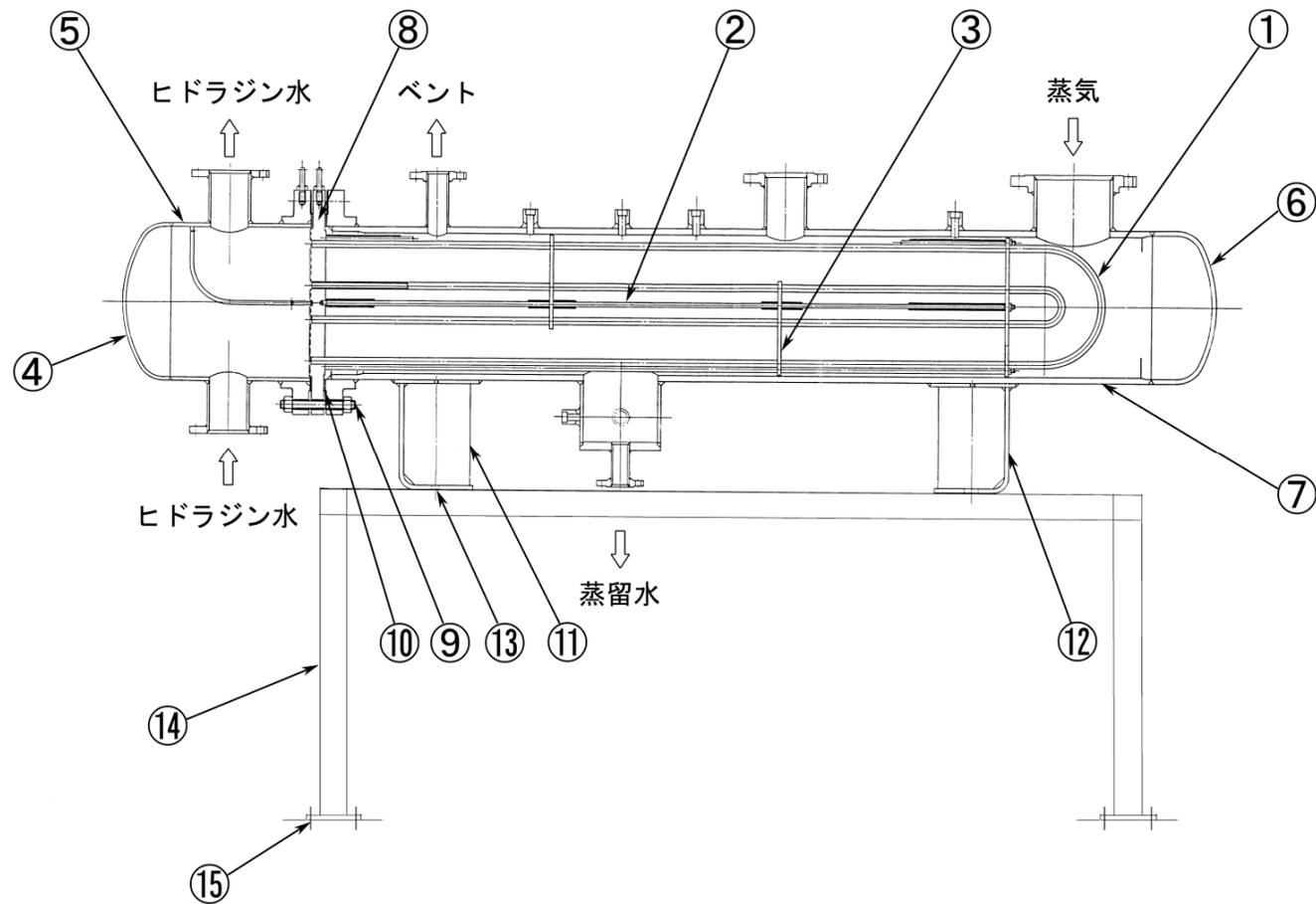
No.	部位	No.	部位
①	上部鏡板	⑥	フランジボルト
②	上部胴板	⑦	ガスケット
③	下部鏡板	⑧	スカート
④	下部胴板	⑨	台板
⑤	デミスタ	⑩	基礎ボルト

図2.1-3 高浜4号炉 廃液蒸発装置 精留塔 構造図



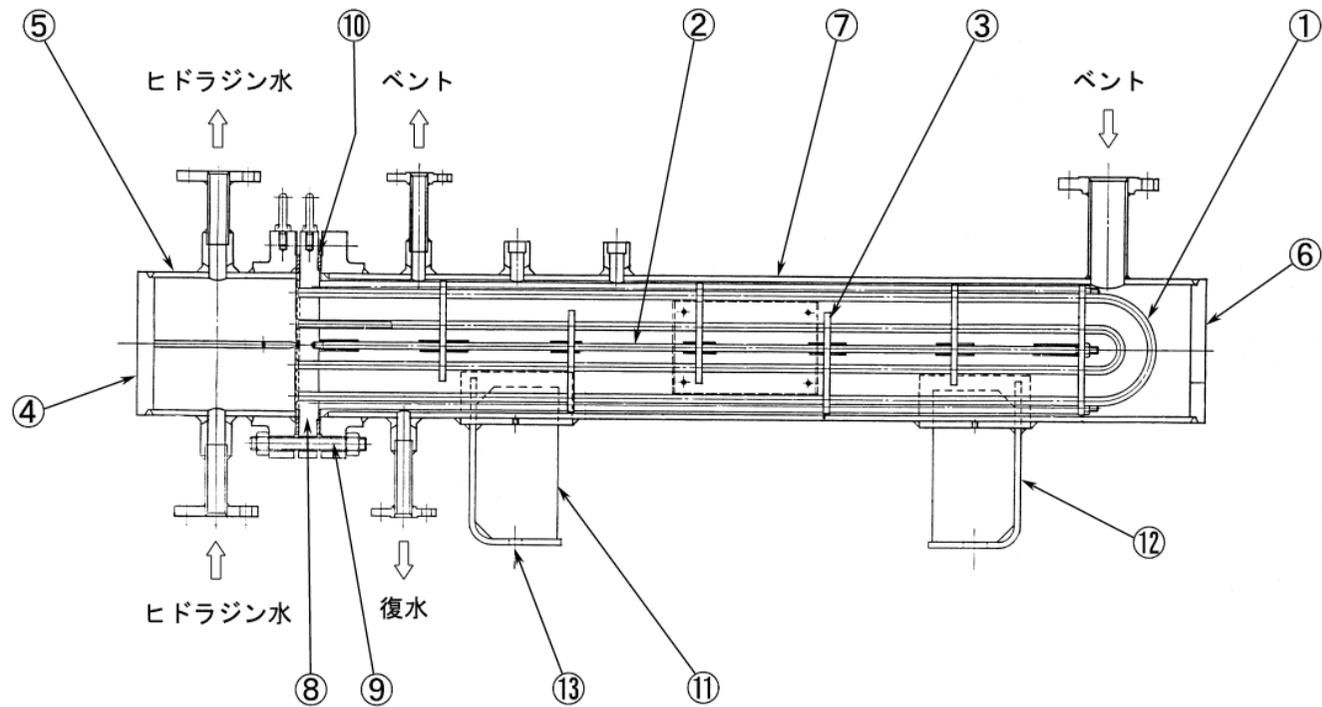
No.	部位
①	胴側胴板
②	管側鏡板、円錐胴板
③	管板
④	上部フランジ
⑤	下部フランジ
⑥	フランジボルト
⑦	ガスケット
⑧	伝熱管
⑨	邪魔板
⑩	支持棒
⑪	支持脚
⑫	架台
⑬	取付ボルト

図2.1-4 高浜4号炉 廃液蒸発装置 加熱器 構造図



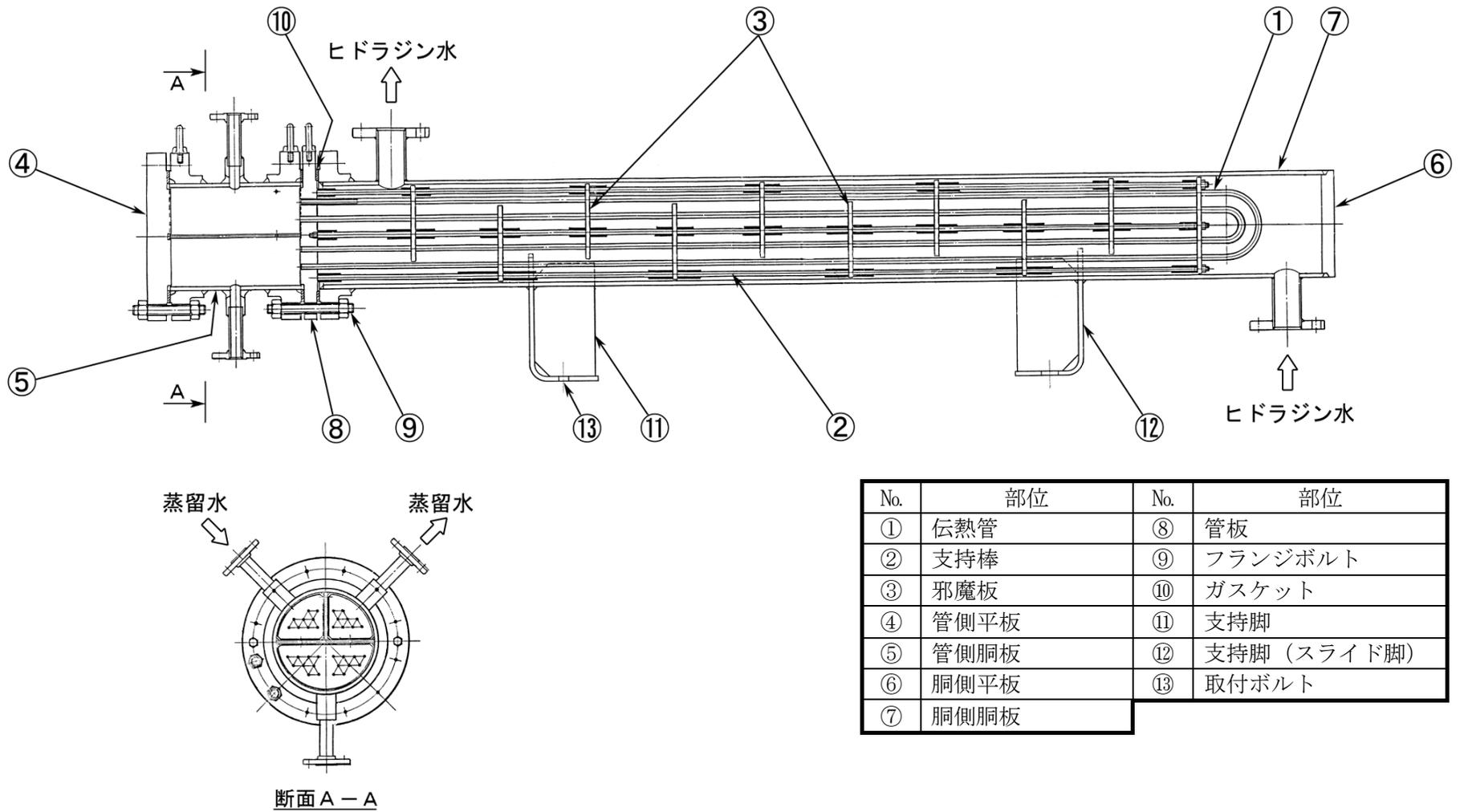
No.	部位
①	伝熱管
②	支持棒
③	邪魔板
④	管側鏡板
⑤	管側胴板
⑥	胴側鏡板
⑦	胴側胴板
⑧	管板
⑨	フランジボルト
⑩	ガスケット
⑪	支持脚
⑫	支持脚 (スライド脚)
⑬	取付ボルト
⑭	架台
⑮	基礎ボルト

図2.1-5 高浜4号炉 廃液蒸発装置 コンデンサ 構造図



No.	部位	No.	部位
①	伝熱管	⑧	管板
②	支持棒	⑨	フランジボルト
③	邪魔板	⑩	ガスケット
④	管側平板	⑪	支持脚
⑤	管側胴板	⑫	支持脚 (スライド脚)
⑥	胴側平板	⑬	取付ボルト
⑦	胴側胴板		

図2.1-6 高浜4号炉 廃液蒸発装置 ベントコンデンサ 構造図



No.	部位	No.	部位
①	伝熱管	⑧	管板
②	支持棒	⑨	フランジボルト
③	邪魔板	⑩	ガスケット
④	管側平板	⑪	支持脚
⑤	管側胴板	⑫	支持脚 (スライド脚)
⑥	胴側平板	⑬	取付ボルト
⑦	胴側胴板		

図2.1-7 高浜4号炉 廃液蒸発装置 蒸留水冷却器 構造図

No.	部位
①	主軸
②	羽根車
③	軸受 (すべり)
④	ケーシング
⑤	ケーシングボルト
⑥	ガスケット
⑦	台板
⑧	取付ボルト
⑨	基礎ボルト

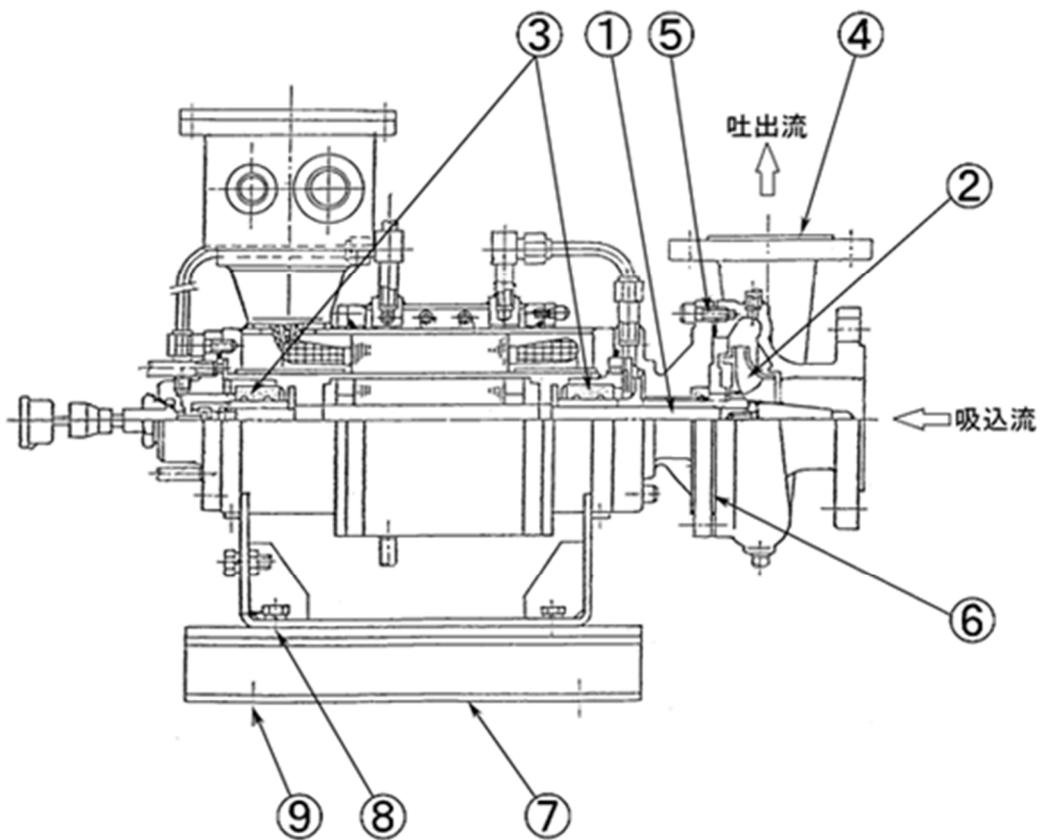


図2.1-8 高浜4号炉 廃液蒸発装置 濃縮液ポンプ 構造図

No.	部位
①	主軸
②	羽根車
③	軸受 (すべり)
④	ケーシング
⑤	ケーシングボルト
⑥	ガスケット
⑦	台板
⑧	取付ボルト
⑨	基礎ボルト

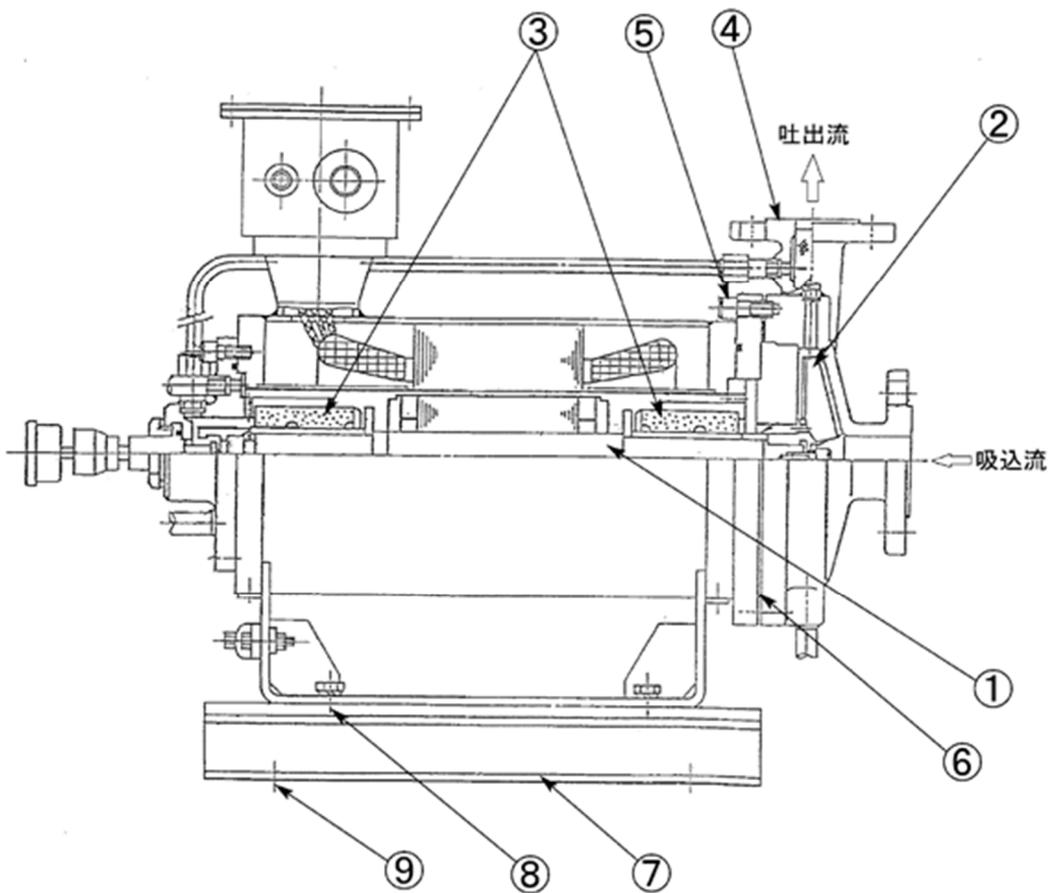


図2.1-9 高浜4号炉 廃液蒸発装置 蒸留水ポンプ 構造図

表2. 1-1 (1/3) 高浜4号炉 廃液蒸発装置主要部位の使用材料

構成機器	部位	材料
蒸発器	鏡板	ステンレス鋼
	胴板	ステンレス鋼
	蒸気室鏡板	ステンレス鋼
	蒸気室胴板	ステンレス鋼
	蒸気出口管台	ステンレス鋼
	処理液入口管台	ステンレス鋼
	循環液入口管台	ステンレス鋼
	循環液出口管台	ステンレス鋼
	電気ヒータ管台	ステンレス鋼
	デミスタ	ステンレス鋼
	フランジボルト	低合金鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
	支持脚	炭素鋼
	架台	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼
精留塔	上部鏡板	ステンレス鋼
	上部胴板	ステンレス鋼
	下部鏡板	ステンレス鋼
	下部胴板	ステンレス鋼
	デミスタ	ステンレス鋼
	フランジボルト	低合金鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
	スカート	炭素鋼
	台板	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼
	加熱器	胴側胴板
管側鏡板		ステンレス鋼
円錐胴板		ステンレス鋼
管板		ステンレス鋼
上部フランジ		ステンレス鋼
下部フランジ		ステンレス鋼
フランジボルト		低合金鋼
ガスケット		消耗品・定期取替品
伝熱管		ステンレス鋼
邪魔板		ステンレス鋼
支持棒		ステンレス鋼
支持脚		炭素鋼
架台		炭素鋼
取付ボルト		炭素鋼

表2. 1-1 (2/3) 高浜 4 号炉 廃液蒸発装置主要部位の使用材料

構成機器	部位	材料
コンデンサ	伝熱管	ステンレス鋼
	支持棒	ステンレス鋼
	邪魔板	ステンレス鋼
	管側鏡板	炭素鋼
	管側胴板	炭素鋼
	胴側鏡板	ステンレス鋼
	胴側胴板	ステンレス鋼
	管板	ステンレス鋼
	フランジボルト	低合金鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
	支持脚	炭素鋼
	支持脚 (スライド脚)	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼
	架台	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼
	ベントコンデンサ	伝熱管
支持棒		ステンレス鋼
邪魔板		ステンレス鋼
管側平板		炭素鋼
管側胴板		炭素鋼
胴側平板		ステンレス鋼
胴側胴板		ステンレス鋼
管板		ステンレス鋼
フランジボルト		低合金鋼
ガスケット		消耗品・定期取替品
支持脚		炭素鋼
支持脚 (スライド脚)		炭素鋼
取付ボルト		炭素鋼

表2. 1-1 (3/3) 高浜 4 号炉 廃液蒸発装置主要部位の使用材料

構成機器	部位	材料
蒸留水冷却器	伝熱管	ステンレス鋼
	支持棒	炭素鋼
	邪魔板	ステンレス鋼
	管側平板	ステンレス鋼
	管側胴板	ステンレス鋼
	胴側平板	炭素鋼
	胴側胴板	炭素鋼
	管板	ステンレス鋼
	フランジボルト	低合金鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
	支持脚	炭素鋼
	支持脚 (スライド脚)	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼
	濃縮液ポンプ	主軸
羽根車		ステンレス鋼鋳鋼
軸受 (すべり)		消耗品・定期取替品
ケーシング		ステンレス鋼鋳鋼
ケーシングボルト		低合金鋼
ガスケット		消耗品・定期取替品
台板		炭素鋼
取付ボルト		炭素鋼
基礎ボルト		炭素鋼
蒸留水ポンプ		主軸
	羽根車	ステンレス鋼鋳鋼
	軸受 (すべり)	消耗品・定期取替品
	ケーシング	ステンレス鋼鋳鋼
	ケーシングボルト	低合金鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
	台板	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼
	配管	母管

表2. 1-2(1/2) 高浜4号炉 廃液蒸発装置の使用条件

構成機器	項目	管側	胴側
蒸発器	最高使用圧力	—	約0.1MPa[gage]
	最高使用温度	—	約150℃
	内部流体	—	廃液、蒸気
精留塔	最高使用圧力	—	約0.1 MPa[gage]
	最高使用温度	—	約150℃
	内部流体	—	蒸気、ドレン
加熱器	最高使用圧力	約0.1MPa[gage]	約0.9MPa[gage]
	最高使用温度	約150℃	約185℃
	内部流体	廃液（循環液）	蒸気、復水
コンデンサ	最高使用圧力	約1.0MPa[gage]	約0.1MPa[gage]
	最高使用温度	約95℃	約150℃
	内部流体	ヒドラジン水	蒸気、蒸留水
ベントコンデンサ	最高使用圧力	約1.0MPa[gage]	約0.1MPa[gage]
	最高使用温度	約95℃	約150℃
	内部流体	ヒドラジン水	蒸気、復水
蒸留水冷却器	最高使用圧力	約1.0MPa[gage]	約1.0MPa[gage]
	最高使用温度	約150℃	約95℃
	内部流体	蒸留水	ヒドラジン水

表2. 1-2(2/2) 高浜4号炉 廃液蒸発装置の使用条件

構成機器	項目	使用条件
濃縮液ポンプ	最高使用圧力	約1.0MPa[gage]
	最高使用温度	約150℃
	内部流体	廃液
蒸留水ポンプ	最高使用圧力	約1.0MPa[gage]
	最高使用温度	約150℃
	内部流体	蒸留水
配管	最高使用圧力	約1.0MPa[gage]
	最高使用温度	約150℃
	内部流体	廃液、蒸留水

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

廃液蒸発装置の機能である濃縮減容機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 濃縮減容機能の確保
- 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

廃液蒸発装置について機能達成に必要な項目を考慮して、主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

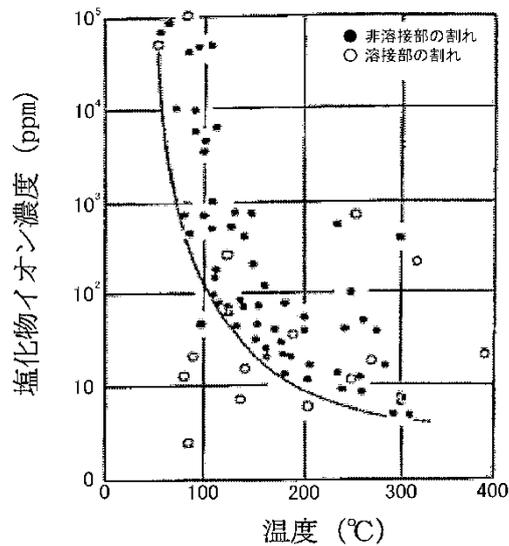
に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) ステンレス鋼使用部位の応力腐食割れ

蒸発器胴側、加熱器管側、濃縮液ポンプおよび配管の内部流体は濃縮廃液であり、蒸発器等の内部では廃液が蒸発濃縮することにより、塩化物イオン濃度が上昇することとなり、温度も約105℃となることから、応力腐食割れが想定される。

応力腐食割れの発生要因は、腐食環境、材料および残留応力の3つが考えられる。腐食環境としては、塩化物イオン濃度および流体温度が支配的であり、応力腐食割れ発生の関係を図2.2-1に示す。



注：下記出典では、「曲線は非溶接部の応力腐食割れの起る下限」とされている。

図2.2-1 18Cr-8Ni系ステンレス鋼の応力腐食割れ  
に関する温度と塩化物イオン濃度との関係

[出典：総合技術センター「プラントの損傷事例と経年劣化・寿命予測法」]

しかしながら、蒸発器胴側、加熱器管側、濃縮液ポンプおよび配管のステンレス鋼使用部位の応力腐食割れについては開放点検時または分解点検時に内面の目視確認や試運転時の漏えい確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 伝熱管の摩耗および高サイクル疲労割れ

加熱器、コンデンサ、ベントコンデンサおよび蒸留水冷却器の伝熱管は伝熱管振動により摩耗および高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、伝熱管は外表面の流体によって発生するカルマン渦による振動と共振せず、流力弾性振動も発生しない構造となっており、摩耗および高サイクル疲労割れが発生しがたい環境である。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時等の漏えい確認により、機器の健全性を確認している。

(3) 伝熱管の腐食（流れ加速型腐食）

加熱器、コンデンサ、ベントコンデンサおよび蒸留水冷却器の伝熱管には流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、耐流れ加速型腐食性に優れたステンレス鋼の伝熱管を使用しており、流れ加速型腐食の発生しがたい環境である。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時等の漏えい確認により、機器の健全性を確認している。

(4) 伝熱管のスケール付着

加熱器管側の内部流体である廃液の不純物持ち込みによるスケール付着が発生し、伝熱性能に影響を及ぼすことが想定される。

しかしながら、運転中の処理流量および温度等のパラメータ監視により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

加熱器胴側は胴側流体、コンデンサ、ベントコンデンサおよび蒸留水冷却器は管側および胴側流体の不純物持ち込みによるスケール付着が発生し、伝熱性能に影響を及ぼすことが想定される。

しかしながら、内部流体は蒸気、蒸留水、またはヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、適切な水質管理により不純物の流入は抑制されており、スケール付着による伝熱性能低下が発生しがたい環境である。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、運転中の処理流量および温度等のパラメータ監視により、機器の健全性を確認している。

(5) 加熱器胴側胴板等の外面からの腐食（全面腐食）

加熱器胴側胴板、コンデンサ管側鏡板、胴板、ベントコンデンサ管側平板、胴板、蒸留水冷却器胴側平板および胴板は炭素鋼であり、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、さらに防水措置（保温）が設置されている場合は防水措置（保温）の状態を確認することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(6) 加熱器胴側胴板の内面からの腐食（流れ加速型腐食）

加熱器胴側胴板は炭素鋼を使用しており、流れが乱れる部位では流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、設計上裕度を持たせた板厚としており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 主軸の摩耗

すべり軸受を使用している濃縮液ポンプおよび蒸留水ポンプは軸受と主軸の接触面で摺動摩耗が想定される。

しかしながら、設計段階において主軸と軸受間に潤滑剤を供給し、膜を形成させて流体潤滑状態となるように考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(8) 主軸の高サイクル疲労割れ

濃縮液ポンプおよび蒸留水ポンプはポンプ運転時には主軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下で繰り返し応力を受けると、段付部等の応力集中部において高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、ポンプ設計時には高サイクル疲労を考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、巡視点検時の振動確認（通常運転時の振動状態と差異がないことの触診による確認）、試運転時および機能確認時における振動確認（変位、速度、加速度の測定等）ならびに分解点検時の応力集中部に対する目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(9) 羽根車の腐食（キャビテーション）

濃縮液ポンプおよび蒸留水ポンプはポンプの内部では流速と圧力が場所により大きく変化するが、ある点の圧力がその液温における飽和蒸気圧まで低下すると、その部分の液体が沸騰し、蒸気泡の発生と崩壊が起こることが想定される。

しかしながら、キャビテーションを起こさない条件はポンプおよび機器配置設計段階において考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(10) フランジボルトおよびケーシングボルトの腐食（全面腐食）

フランジボルトおよびケーシングボルトは低合金鋼であり、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、巡視点検等の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(11) 支持脚等の腐食（全面腐食）

支持脚、架台、スカート、台板および取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(12) 支持脚（スライド脚）の腐食（全面腐食）

コンデンサ、ベントコンデンサおよび蒸留水冷却器は横置きであり、支持脚（スライド脚）が設置されているが、スライド部は炭素鋼であり、長期間の使用により、腐食による固着が想定される。

しかしながら、巡視点検等で目視によりスライド部に異常のないことを確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(13) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、本評価書の「基礎ボルト」にてまとめて評価を実施する。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(14) コンデンサ管側胴板等の内面からの腐食（全面腐食）

コンデンサ管側鏡板、胴板、ベントコンデンサ管側平板、胴板、蒸留水冷却器胴側平板、胴板および支持棒は炭素鋼であり、内面からの腐食が想定される。

しかしながら、内部流体がヒドラジン水（防錆剤注入水）で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

#### 2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットおよび軸受（すべり）は開放点検時または分解点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/9) 高浜4号炉 廃液蒸発装置 蒸発器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
濃縮減容機能の確保	デミスタ		ステンレス鋼								
バウンダリの維持	鏡板		ステンレス鋼				△				
	胴板		ステンレス鋼				△				
	蒸気室鏡板		ステンレス鋼								
	蒸気室胴板		ステンレス鋼								
	蒸気出口管台		ステンレス鋼								
	処理液入口管台		ステンレス鋼				△				
	循環液入口管台		ステンレス鋼				△				
	循環液出口管台		ステンレス鋼				△				
	電気ヒータ管台		ステンレス鋼				△				
	フランジボルト		低合金鋼		△						
ガスケット	◎	—									
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	架台		炭素鋼		△						
	取付ボルト		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着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(2/9) 高浜4号炉 廃液蒸発装置 精留塔に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食 割れ	熱時効	劣化		
濃縮減容機能の確保	デミスタ		ステンレス鋼								
バウンダリの維持	上部鏡板		ステンレス鋼								
	上部胴板		ステンレス鋼								
	下部鏡板		ステンレス鋼								
	下部胴板		ステンレス鋼								
	フランジボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
機器の支持	スカート		炭素鋼		△						
	台板		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(3/9) 高浜4号炉 廃液蒸発装置 加熱器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
濃縮減容機能の確保	伝熱管		ステンレス鋼	△ <sup>*1</sup>	△ <sup>*2</sup>	△ <sup>*1</sup>	△			△ <sup>*3</sup>	*1：摩耗・高サイクル疲労割れ *2：流れ加速型腐食 *3：管側、胴側スケール付着
	邪魔板		ステンレス鋼								
	支持棒		ステンレス鋼								
バウンダリの維持	胴側胴板		炭素鋼		△(外面) △(内面) <sup>*2</sup>						
	管側鏡板		ステンレス鋼				△				
	円錐胴板		ステンレス鋼				△				
	管板		ステンレス鋼				△				
	上部フランジ		ステンレス鋼				△				
	下部フランジ		ステンレス鋼				△				
	フランジボルト		低合金鋼		△						
ガスケット	◎	—									
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	架台		炭素鋼		△						
	取付ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/9) 高浜4号炉 廃液蒸発装置 コンデンサに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
濃縮減容機能の確保	伝熱管		ステンレス鋼	△*1	△*2	△*1			△*3	*1：摩耗・高サイクル疲労割れ *2：流れ加速型腐食 *3：管側、胴側スケール付着 *4：スライド部の腐食	
	邪魔板		ステンレス鋼								
	支持棒		ステンレス鋼								
バウンダリの維持	管側鏡板		炭素鋼		△(外面) ▲(内面)						
	管側胴板		炭素鋼		△(外面) ▲(内面)						
	胴側鏡板		ステンレス鋼								
	胴側胴板		ステンレス鋼								
	管板		ステンレス鋼								
	フランジボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	支持脚(スライド脚)		炭素鋼		△ △*4						
	架台		炭素鋼		△						
	取付ボルト		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(5/9) 高浜4号炉 廃液蒸発装置 ベントコンデンサに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
濃縮減容機能の確保	伝熱管		ステンレス鋼	△ <sup>*1</sup>	△ <sup>*2</sup>	△ <sup>*1</sup>			△ <sup>*3</sup>	*1：摩耗・高サイクル疲労割れ *2：流れ加速型腐食 *3：管側、胴側スケール付着 *4：スライド部の腐食	
	邪魔板		ステンレス鋼								
	支持棒		ステンレス鋼								
バウンダリの維持	管側平板		炭素鋼		△(外面) ▲(内面)						
	管側胴板		炭素鋼		△(外面) ▲(内面)						
	胴側平板		ステンレス鋼								
	胴側胴板		ステンレス鋼								
	管板		ステンレス鋼								
	フランジボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	支持脚(スライド脚)		炭素鋼		△ △ <sup>*4</sup>						
	取付ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）  
▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(6/9) 高浜4号炉 廃液蒸発装置 蒸留水冷却器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
濃縮減容機能の確保	伝熱管		ステンレス鋼	△*1	△*2	△*1			△*3	*1：摩耗・高サイクル疲労割れ *2：流れ加速型腐食 *3：管側、胴側スケール付着 *4：スライド部の腐食	
	支持棒		炭素鋼		▲						
	邪魔板		ステンレス鋼								
バウンダリの維持	管側平板		ステンレス鋼								
	管側胴板		ステンレス鋼								
	胴側平板		炭素鋼		△(外面) ▲(内面)						
	胴側胴板		炭素鋼		△(外面) ▲(内面)						
	管板		ステンレス鋼								
	フランジボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	支持脚(スライド脚)		炭素鋼		△ △*4						
	取付ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(7/9) 高浜4号炉 廃液蒸発装置 濃縮液ポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
濃縮減容機能の確保	主軸		ステンレス鋼	△		△*1	△				*1：高サイクル疲労割れ *2：キャビテーション
	羽根車		ステンレス鋼鋳鋼		△*2		△				
	軸受(すべり)	◎	—								
バウンダリの維持	ケーシング		ステンレス鋼鋳鋼				△				
	ケーシングボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
機器の支持	台板		炭素鋼		△						
	取付ボルト		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(8/9) 高浜4号炉 廃液蒸発装置 蒸留水ポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
濃縮減容機能の確保	主軸		ステンレス鋼	△		△*1				*1：高サイクル疲労割れ *2：キャビテーション	
	羽根車		ステンレス鋼鋳鋼		△*2						
	軸受（すべり）	◎	—								
バウンダリの維持	ケーシング		ステンレス鋼鋳鋼								
	ケーシングボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
機器の支持	台板		炭素鋼		△						
	取付ボルト		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(9/9) 高浜4号炉 廃液蒸発装置 配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	母管		ステンレス鋼				△				

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

### 3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

#### ① ほう酸回収装置

### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

#### 3.1.1 伝熱管の摩耗および高サイクル疲労割れ

蒸発器、予熱器、コンデンサ、ベントコンデンサおよび蒸留水冷却器の伝熱管は伝熱管振動により摩耗および高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、伝熱管は外表面の流体によって発生するカルマン渦による振動と共振せず、流力弾性振動も発生しない構造となっており、摩耗および高サイクル疲労割れが発生しがたい環境である。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時等の漏えい確認により、機器の健全性を確認している。

#### 3.1.2 伝熱管の腐食（流れ加速型腐食）

蒸発器、予熱器、コンデンサ、ベントコンデンサおよび蒸留水冷却器の伝熱管には流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、耐流れ加速型腐食性に優れたステンレス鋼の伝熱管を使用しており、流れ加速型腐食の発生しがたい環境である。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時等の漏えい確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.3 伝熱管のスケール付着

蒸発器、予熱器、コンデンサ、ベントコンデンサおよび蒸留水冷却器は管側および胴側流体の不純物持ち込みによるスケール付着が発生し、伝熱性能に影響を及ぼすことが想定される。

しかしながら、内部流体は1次冷却材、蒸気、蒸留水またはヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、適切な水質管理により不純物の流入は抑制されており、スケール付着による伝熱性能低下が発生しがたい環境である。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、運転中の処理流量および温度等のパラメータ監視により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.4 蒸発器蒸気室鏡板等の外面からの腐食（全面腐食）

蒸発器蒸気室鏡板、胴板、予熱器胴側平板、胴板、コンデンサ管側鏡板、胴板、ベントコンデンサ管側平板、胴板、蒸留水冷却器胴側平板および胴板は炭素鋼であり、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、さらに防水措置（保温）が設置されている場合は防水措置（保温）の状態を確認することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

### 3.1.5 蒸発器蒸気室鏡板等の内面からの腐食（流れ加速型腐食）

蒸発器蒸気室鏡板、胴板、予熱器胴側平板および胴板は炭素鋼を使用しており、流れが乱れる部位では、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、設計上裕度を持たせた板厚としており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.6 主軸の摩耗

すべり軸受を使用している濃縮液ポンプおよび蒸留水ポンプは軸受と主軸の接触面で摺動摩耗が想定される。

しかしながら、設計段階において主軸と軸受間に潤滑剤を供給し、膜を形成させて流体潤滑状態となるように考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.7 主軸の高サイクル疲労割れ

濃縮液ポンプおよび蒸留水ポンプはポンプ運転時には主軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下で繰返し応力を受けると、段付部等の応力集中部において高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、ポンプ設計時には高サイクル疲労を考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、巡視点検時の振動確認（通常運転時の振動状態と差異がないことの触診による確認）、試運転時および機能確認時における振動確認（変位、速度、加速度の測定等）ならびに分解点検時の応力集中部に対する目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.8 羽根車の腐食（キャビテーション）

濃縮液ポンプおよび蒸留水ポンプはポンプの内部では流速と圧力が場所により大きく変化するが、ある点の圧力がその液温における飽和蒸気圧まで降下すると、その部分の液体が沸騰し、蒸気泡の発生と崩壊が起こることが想定される。

しかしながら、キャビテーションを起こさない条件はポンプおよび機器配置設計段階において考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.9 フランジボルトおよびケーシングボルトの腐食

フランジボルトおよびケーシングボルトは低合金鋼であり、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、巡視点検等の目視確認により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.10 支持脚等の腐食（全面腐食）

支持脚、架台、台板および取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

### 3.1.11 支持脚（スライド脚）の腐食（全面腐食）

蒸発器、予熱器、コンデンサ、ベントコンデンサおよび蒸留水冷却器は横置きであり、支持脚（スライド脚）が設置されているが、スライド部は炭素鋼であり、長期間の使用により、腐食による固着が想定される。

しかしながら、巡視点検等で目視によりスライド部に異常のないことを確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

### 3.1.12 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、本評価書の「基礎ボルト」にてまとめて評価を実施する。

2.2.3の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

3.1.13 コンデンサ管側胴板等の内面からの腐食（全面腐食）

コンデンサ管側鏡板、胴板、ベントコンデンサ管側平板、胴板、蒸留水冷却器胴側平板、胴板および支持棒は炭素鋼であり、内面からの腐食が想定される。

しかしながら、内部流体がヒドラジン水（防錆剤注入水）で腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

## 7 アスファルト固化設備

[対象機器]

- ① アスファルト固化設備

## 目次

1. 技術評価対象機器	1
2. アスファルト固化設備の技術評価	2
2.1 アスファルト固化設備全体構成	2
2.2 構造、材料および使用条件	4
2.3 経年劣化事象の抽出	35

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されているアスファルト固化設備の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 アスファルト固化設備の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件*2				
		運転状態	最高使用圧力 (MPa[gage])		最高使用温度 (°C)	
アスファルト 固化設備 (1)	高*3	一時	内胴側	大気圧	内胴側	約195
			外胴側	約0.5	外胴側	約300

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：固化混合蒸発機の使用条件を示す。

\*3：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

## 2. アスファルト固化設備の技術評価

### 2.1 アスファルト固化設備全体構成

高浜4号炉のアスファルト固化設備の処理能力は水分蒸発量で約140kg/hである。

固化混合蒸発機内にて、廃液蒸発装置から排出される濃縮廃液を、加熱しながらアスファルトと混合・蒸発させてドラム詰めのアスファルト固化体（固体廃棄物）にする機能を有している。

固化混合蒸発機から発生した蒸気は、固化装置復水器にて凝縮回収され、再び液体廃棄物として処理される。

アスファルト固化設備の全体構成図を図2.1-1に示す。

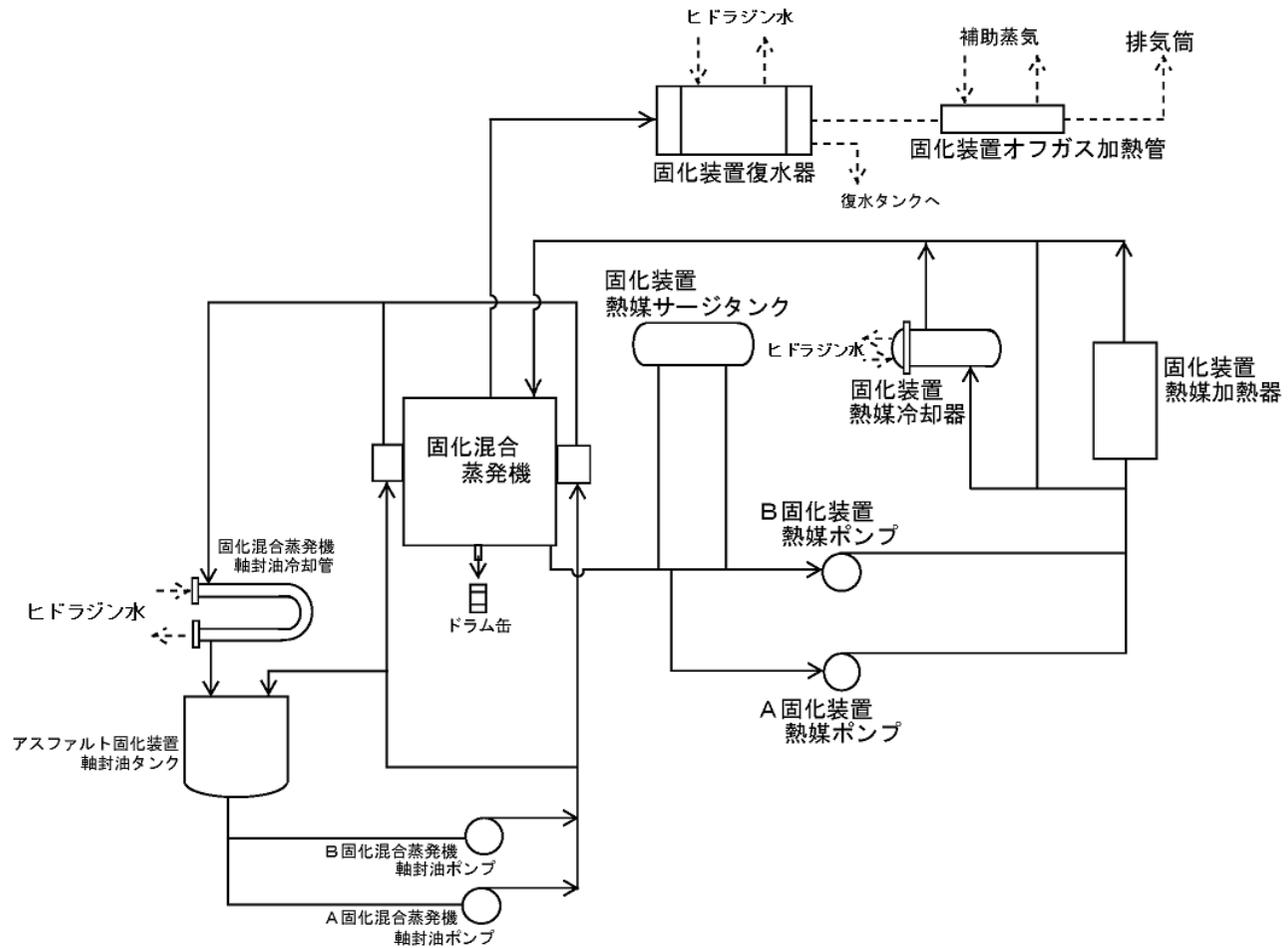


図2. 1-1 高浜4号炉 アスファルト固化設備 全体構成図

## 2.2 構造、材料および使用条件

### 2.2.1 固化混合蒸発機

#### (1) 構造

高浜4号炉の固化混合蒸発機は、横置攪拌蒸発式であり、1台設置されている。固化混合蒸発機では、ほう酸廃液中の固形物（ほう酸ナトリウムが主成分）とアスファルトを混合するため、熱媒油で加熱された伝熱面と、モータにより駆動されるロータを内部に有している。

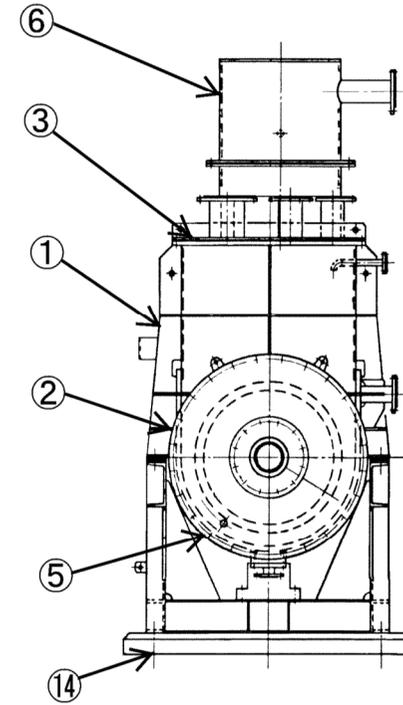
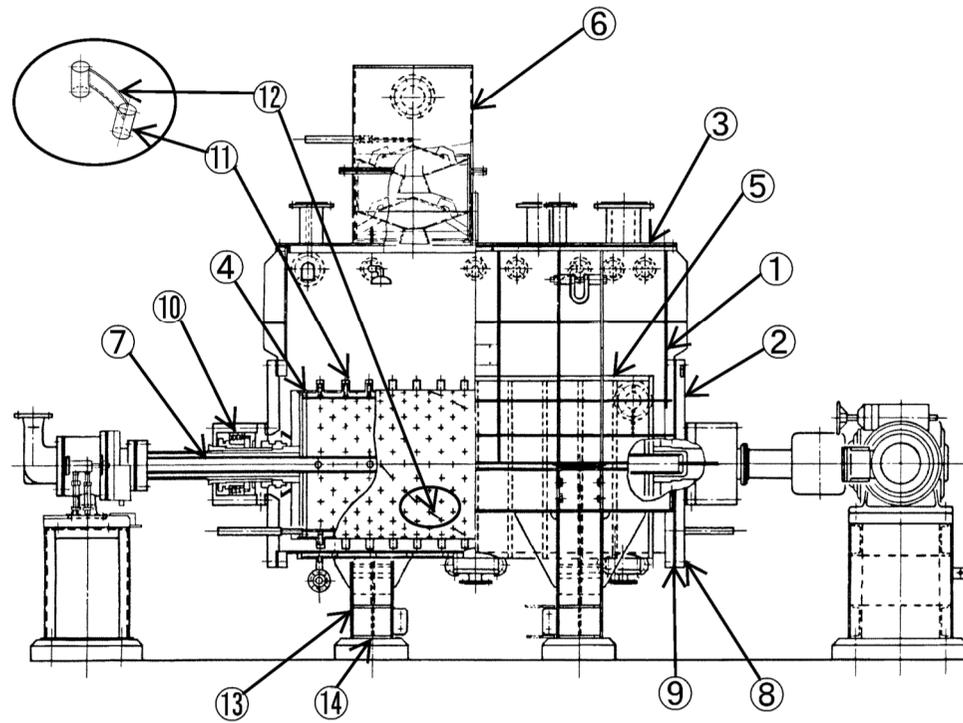
ロータは一对の軸受で支持されている。

ロータの伝熱面はジャケット（二重胴）構造となっており、熱媒油により加熱される。

高浜4号炉の固化混合蒸発機の構造図を図2.2-1に示す。

#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の固化混合蒸発機の使用材料および使用条件を表2.2-1および表2.2-2に示す。



No.	部位
①	ケーシング
②	ケーシングフランジ
③	上蓋
④	ロータ
⑤	ジャケット
⑥	ベーパードーム
⑦	シャフト内筒
⑧	フランジボルト
⑨	ガスケット
⑩	メカニカルシール
⑪	攪拌用突起
⑫	掻き羽根
⑬	支持脚
⑭	基礎ボルト

図2.2-1 高浜4号炉 アスファルト固化設備 固化混合蒸発機 構造図

表2.2-1 高浜4号炉 固化混合蒸発機主要部位の使用材料

部位		材料
耐圧構成品	ケーシング	ステンレス鋼
	ケーシングフランジ	ステンレス鋼
	上蓋	ステンレス鋼
	ジャケット	ステンレス鋼
	ベーパードーム	ステンレス鋼
	フランジボルト	炭素鋼
	メカニカルシール	消耗品・定期取替品
	ガスケット	消耗品・定期取替品
回転部	シャフト内筒	ステンレス鋼
	ロータ	ステンレス鋼
	攪拌用突起	ステンレス鋼
	掻き羽根	ステンレス鋼
支持構造物	支持脚	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.2-2 高浜4号炉 固化混合蒸発機の使用条件

最高使用圧力	内胴側	大気圧
	外胴側	約0.5MPa[gage]
最高使用温度	内胴側	約195℃
	外胴側	約300℃
処理能力	140kg/h (水分蒸発能力)	
内部流体	ほう酸廃液、アスファルト 熱媒油、蒸気	
設置場所	屋内	

## 2.2.2 固化装置復水器

### (1) 構造

高浜4号炉の固化装置復水器は、長さ約2.2m、胴外径約0.5mのたて置直管式熱交換器であり、1台設置されている。

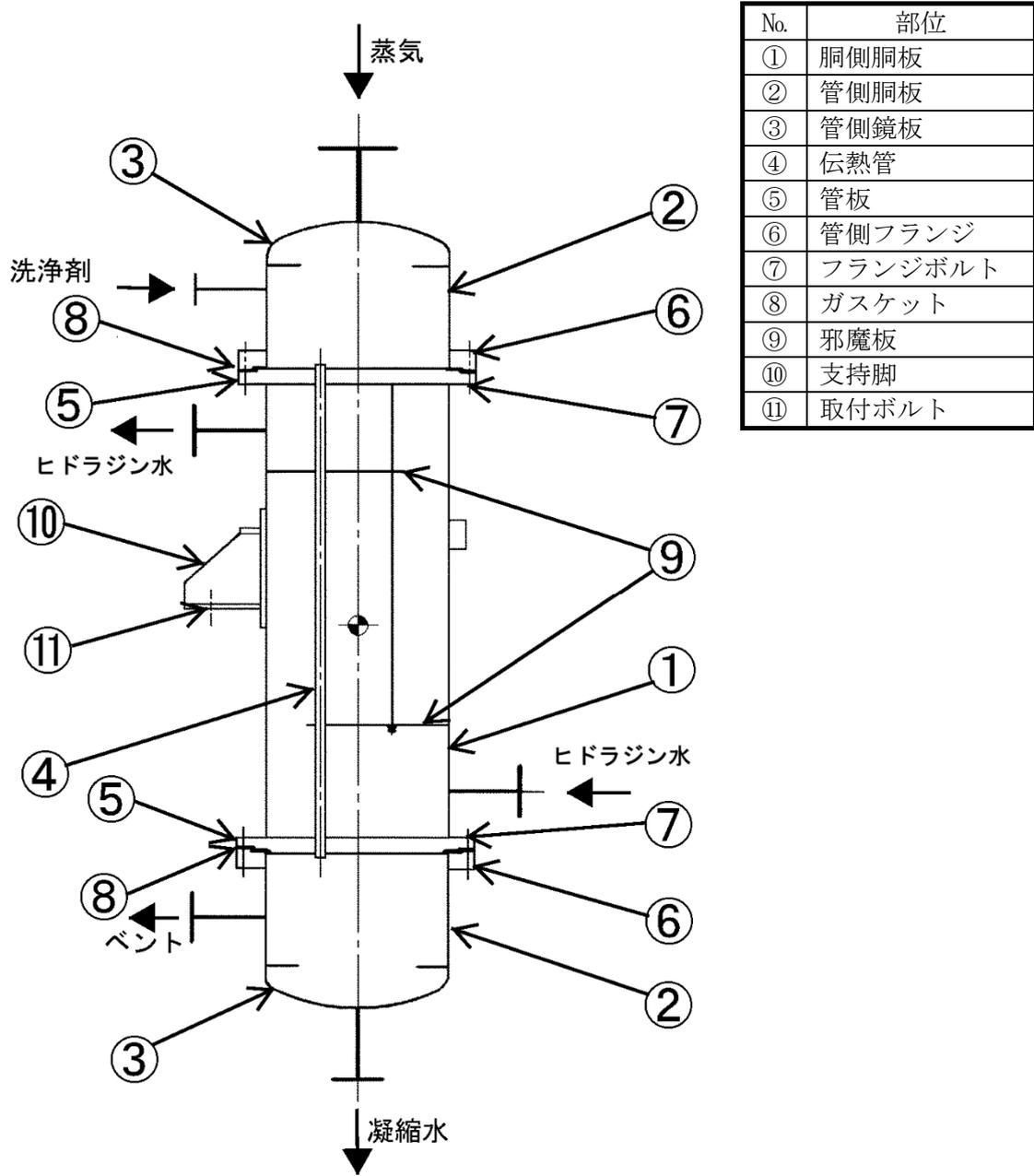
伝熱管にはステンレス鋼を使用しており、水蒸気およびヒドラジン水（防錆剤注入水）に接液している。

胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、ヒドラジン水（防錆剤注入水）に接液している。管側耐圧構成品にはステンレス鋼を使用しており、水蒸気に接液している。

高浜4号炉の固化装置復水器の構造図を図2.2-2に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の固化装置復水器の使用材料および使用条件を表2.2-3および表2.2-4に示す。



No.	部位
①	胴側胴板
②	管側胴板
③	管側鏡板
④	伝熱管
⑤	管板
⑥	管側フランジ
⑦	フランジボルト
⑧	ガスケット
⑨	邪魔板
⑩	支持脚
⑪	取付ボルト

図2.2-2 高浜4号炉 アスファルト固化設備 固化装置復水器 構造図

表2.2-3 高浜4号炉 固化装置復水器主要部位の使用材料

部位		材料
胴側耐圧構成品	胴側胴板	炭素鋼
管側耐圧構成品	管側胴板	ステンレス鋼
	管側鏡板	ステンレス鋼
管側／胴側 バウンダリ構成品	管板	ステンレス鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
胴フランジ構成品	管側フランジ	ステンレス鋼
	フランジボルト	炭素鋼
熱交換伝熱構成品	伝熱管	ステンレス鋼
流路構成品	邪魔板	炭素鋼
支持構造物組立品	支持脚	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼

表2.2-4 高浜4号炉 固化装置復水器の使用条件

最高使用圧力	胴側 約1.0MPa[gage]	管側 大気圧
最高使用温度	胴側 約95℃	管側 約300℃
内部流体	胴側 ヒドラジン水	管側 水蒸気

### 2.2.3 固化装置熱媒ポンプ

#### (1) 構造

高浜4号炉の固化装置熱媒ポンプは、容量約40m<sup>3</sup>/h、揚程約45mの横置うず巻式キャンドモータポンプであり、2台設置されている。

主軸にはステンレス鋼を使用し、羽根車およびケーシングにはステンレス鋼鋳鋼を使用しており、それぞれ熱媒油に接液している。

高浜4号炉の固化装置熱媒ポンプの構造図を図2.2-3に示す。

#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の固化装置熱媒ポンプの使用材料および使用条件を表2.2-5および表2.2-6に示す。

No.	部位
①	主軸
②	ケーシング
③	羽根車
④	軸受 (すべり)
⑤	ケーシングボルト
⑥	ガスケット
⑦	取付ボルト
⑧	台板
⑨	基礎ボルト

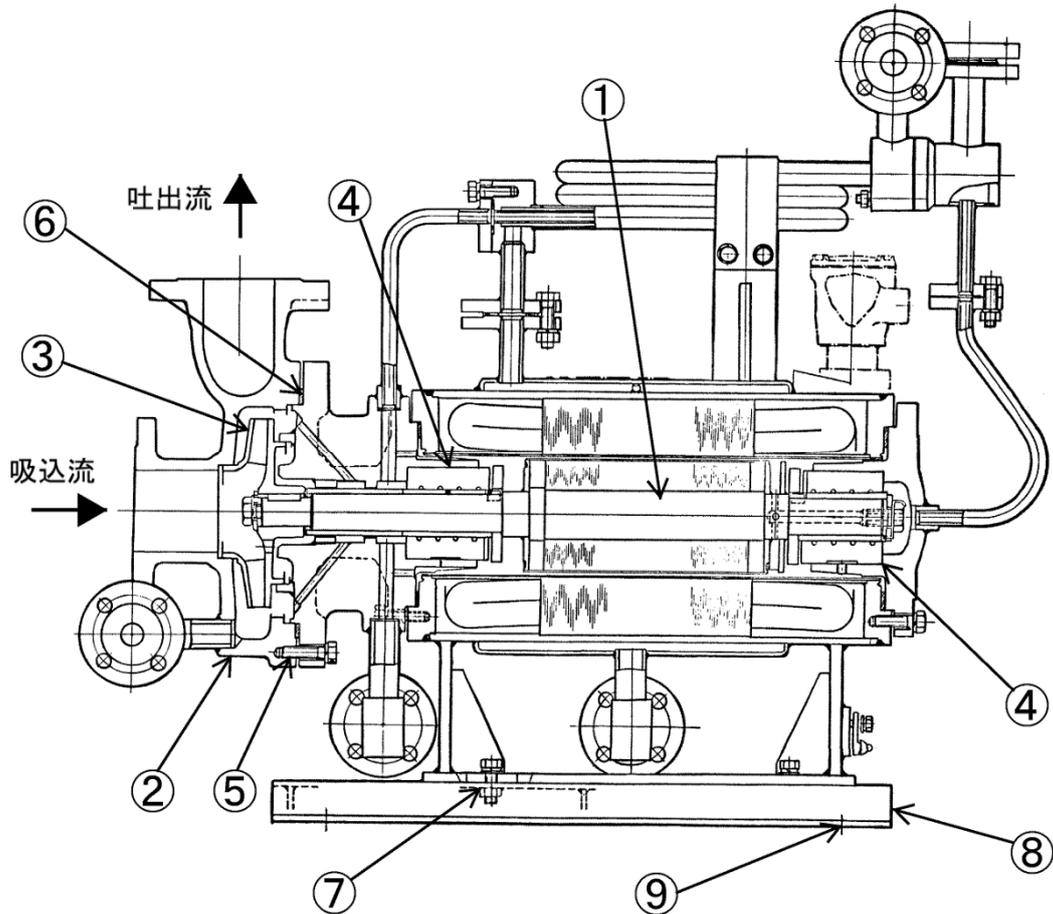


図2.2-3 高浜4号炉 アスファルト固化設備 固化装置熱媒ポンプ 構造図

表2.2-5 高浜4号炉 固化装置熱媒ポンプ主要部位の使用材料

部位		材料
回転部	主軸	ステンレス鋼
	羽根車	ステンレス鋼鋳鋼
	軸受(すべり)	消耗品・定期取替品
耐圧構成品	ケーシング	ステンレス鋼鋳鋼
	ケーシングボルト	ステンレス鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
支持構造物	台板	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.2-6 高浜4号炉 固化装置熱媒ポンプの使用条件

最高使用圧力	約0.5MPa[gage]
最高使用温度	約300℃
容量	40m <sup>3</sup> /h
内部流体	熱媒油

## 2.2.4 固化混合蒸発機軸封油ポンプ

### (1) 構造

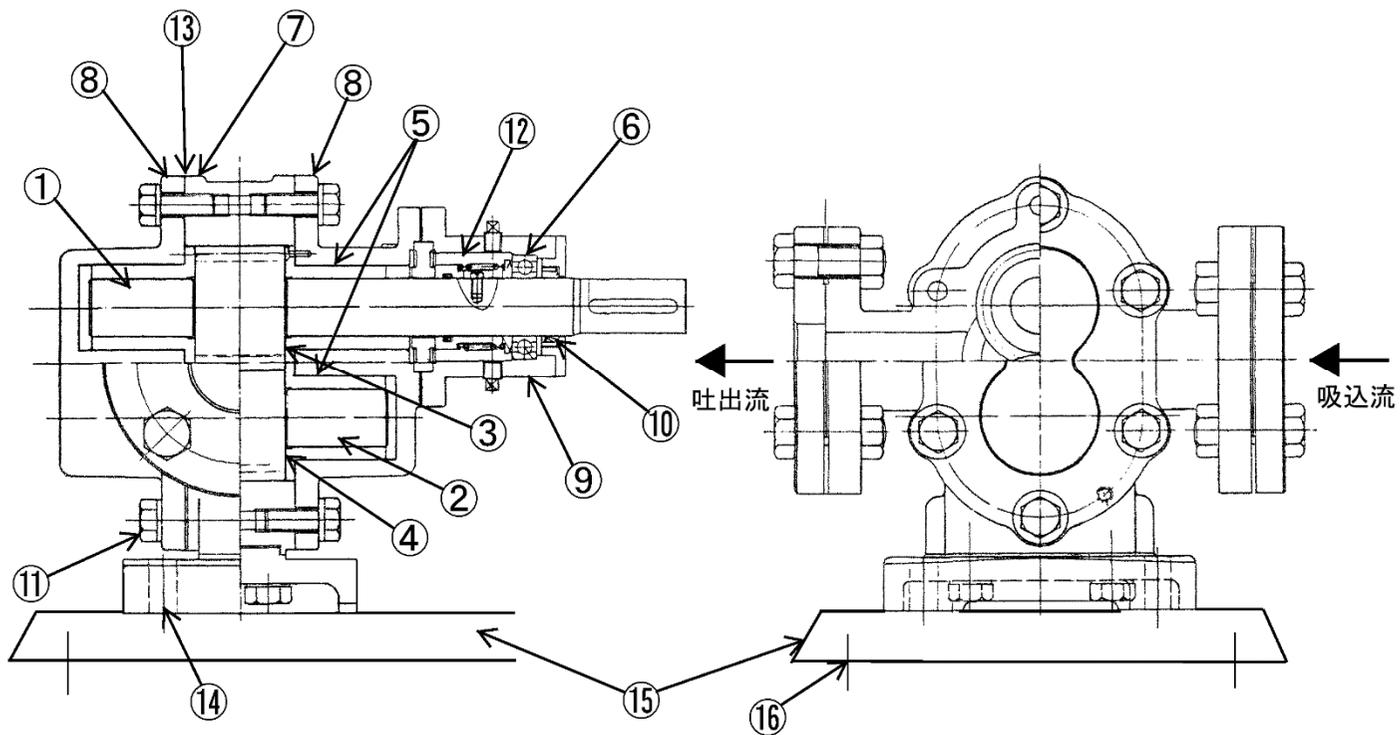
高浜4号炉の固化混合蒸発機軸封油ポンプは、容量約0.8m<sup>3</sup>/h、揚程約53mの横置歯車式ポンプであり、2台設置されている。

駆動軸、駆動歯車、従動軸および従動歯車には低合金鋼を使用し、ケーシングおよびケーシングカバーにはステンレス鋼鋳鋼を使用しており、それぞれ軸封油に接液している。

高浜4号炉の固化混合蒸発機軸封油ポンプの構造図を図2.2-4に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の固化混合蒸発機軸封油ポンプの使用材料および使用条件を表2.2-7および表2.2-8に示す。



No.	部位
①	駆動軸
②	従動軸
③	駆動歯車
④	従動歯車
⑤	軸受 (すべり)
⑥	軸受 (ころがり)
⑦	ケーシング
⑧	ケーシングカバー
⑨	ケース
⑩	オイルシール
⑪	ケーシングボルト
⑫	メカニカルシール
⑬	ガスケット
⑭	取付ボルト
⑮	台板
⑯	基礎ボルト

図2.2-4 高浜4号炉 アスファルト固化設備 固化混合蒸発機軸封油ポンプ 構造図

表2.2-7 高浜4号炉 固化混合蒸発機軸封油ポンプ主要部位の使用材料

部位		材料
回転部	駆動軸、従動軸	低合金鋼
	駆動歯車、従動歯車	低合金鋼
	軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
	軸受（ころがり）	消耗品・定期取替品
耐圧構成品	ケーシング、ケーシングカバー	ステンレス鋼鋳鋼
	ケース	ステンレス鋼
	ケーシングボルト	ステンレス鋼
	メカニカルシール	消耗品・定期取替品
	オイルシール	消耗品・定期取替品
	ガスケット	消耗品・定期取替品
支持構造物	台板	炭素鋼
	取付ボルト	ステンレス鋼
	基礎ボルト	ステンレス鋼

表2.2-8 高浜4号炉 固化混合蒸発機軸封油ポンプの使用条件

最高使用圧力	約0.5MPa[gage]
最高使用温度	約120℃
容量	0.8m <sup>3</sup> /h
内部流体	軸封油

## 2.2.5 固化装置熱媒加熱器

### (1) 構造

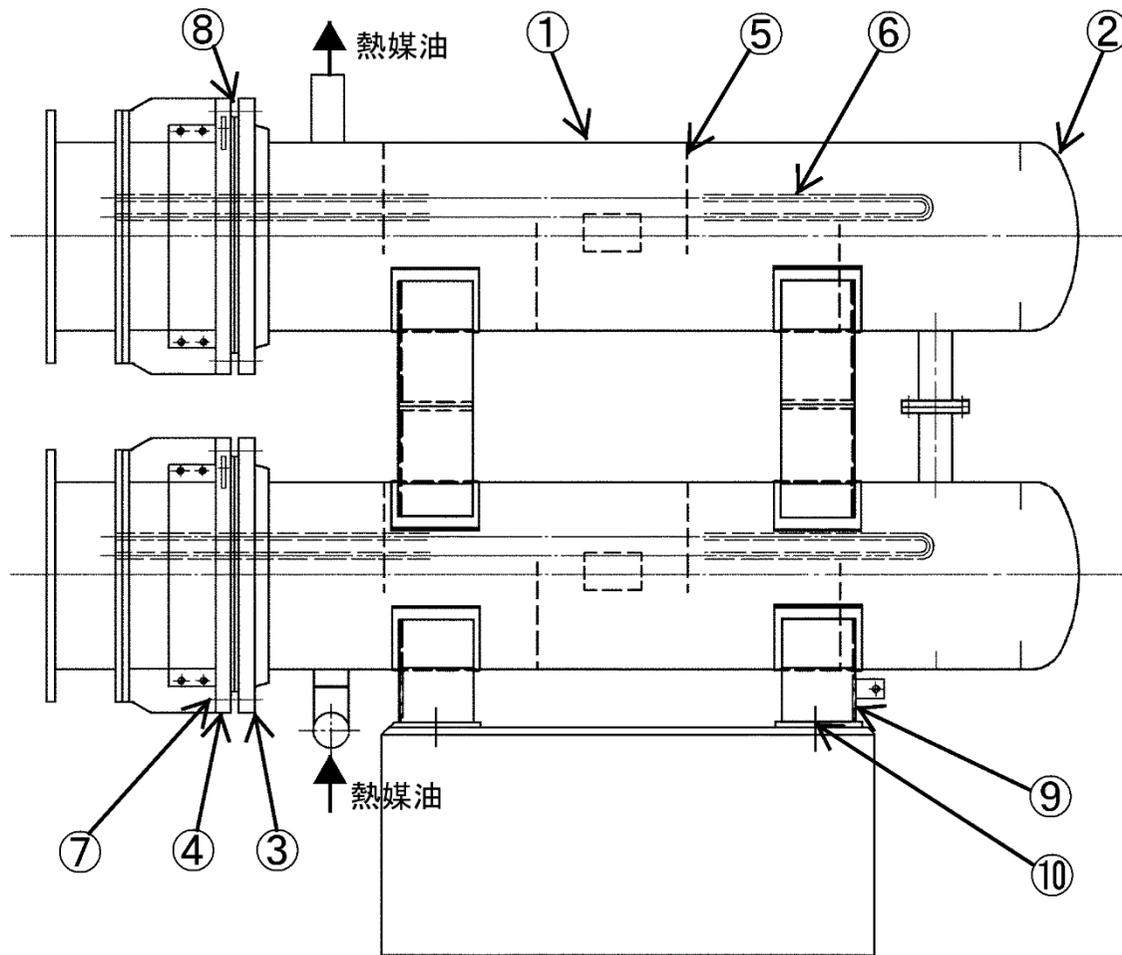
高浜4号炉の固化装置熱媒加熱器は、長さ約2.6m、胴外径約0.5mの横置円筒式熱交換器であり、1台設置されている。

加熱には電気ヒータを使用し、胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用している。

高浜4号炉の固化装置熱媒加熱器の構造図を図2.2-5に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の固化装置熱媒加熱器の使用材料および使用条件を表2.2-9および表2.2-10に示す。



No.	部位
①	胴板
②	鏡板
③	本体フランジ
④	平板
⑤	邪魔板
⑥	伝熱管 (ヒータ)
⑦	フランジボルト
⑧	ガスケット
⑨	支持脚
⑩	基礎ボルト

図2.2-5 高浜4号炉 アスファルト固化設備 固化装置熱媒加熱器 構造図

表2.2-9 高浜4号炉 固化装置熱媒加熱器主要部位の使用材料

部位		材料
伝熱構成品	伝熱管（ヒータ）	ステンレス鋼
	邪魔板	ステンレス鋼
耐圧構成品	胴板	炭素鋼
	鏡板	炭素鋼
	本体フランジ	炭素鋼
	平板	ステンレス鋼
	フランジボルト	炭素鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
支持構造物組立品	支持脚	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.2-10 高浜4号炉 固化装置熱媒加熱器の使用条件

最高使用圧力	約0.5MPa[gage]
最高使用温度	約300℃
内部流体	熱媒油

## 2.2.6 固化装置熱媒冷却器

### (1) 構造

高浜4号炉の固化装置熱媒冷却器は、長さ約3.2m、胴外径約0.5mの横置U字管形熱交換器であり、1台設置されている。

伝熱管には炭素鋼を使用しており、熱媒油およびヒドラジン水（防錆剤注入水）に接液している。

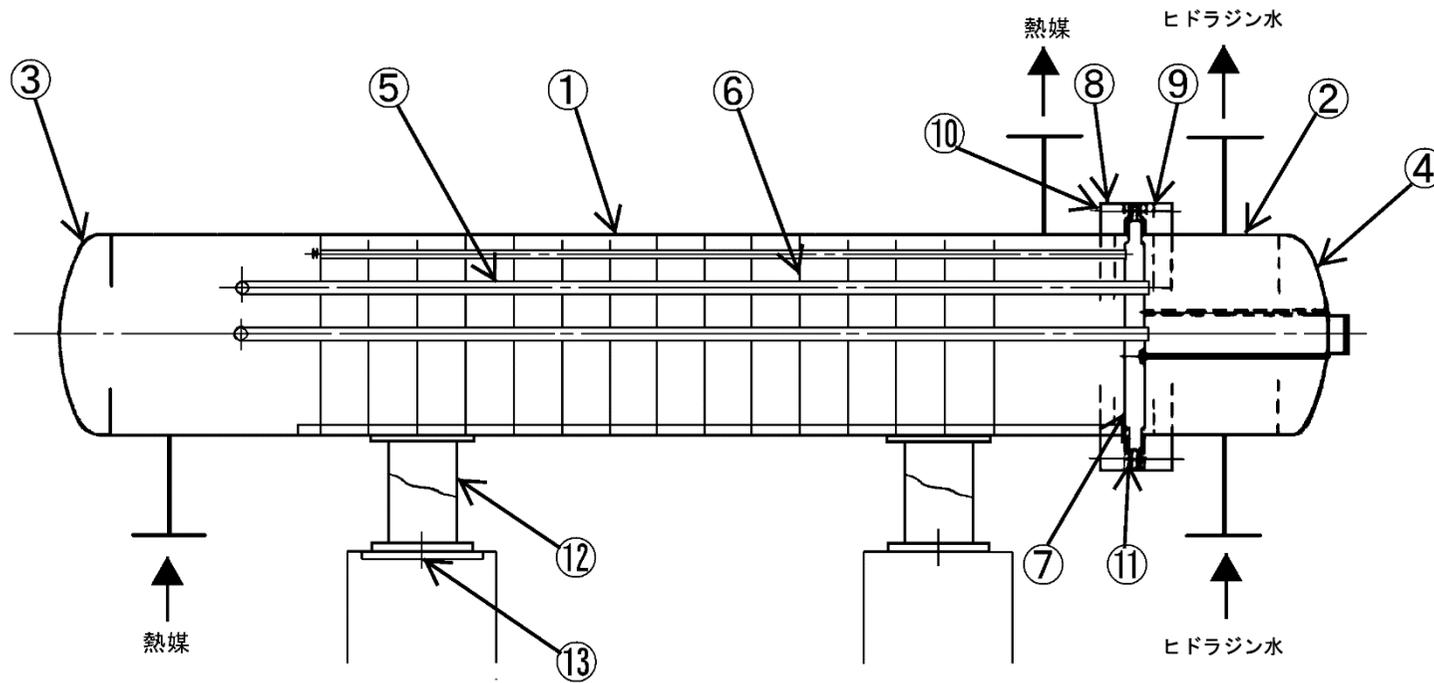
管側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、ヒドラジン水（防錆剤注入水）に接液している。

胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、熱媒油に接液している。

高浜4号炉の固化装置熱媒冷却器の構造図を図2.2-6に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の固化装置熱媒冷却器の使用材料および使用条件を表2.2-11および表2.2-12に示す。



No.	部位
①	胴側胴板
②	管側胴板
③	胴側鏡板
④	管側鏡板
⑤	伝熱管
⑥	支持板
⑦	管板
⑧	胴側フランジ
⑨	管側フランジ
⑩	フランジボルト
⑪	ガスケット
⑫	支持脚
⑬	基礎ボルト

図2.2-6 高浜4号炉 アスファルト固化設備 固化装置熱媒冷却器 構造図

表2.2-11 高浜4号炉 固化装置熱媒冷却器主要部位の使用材料

部位		材料
胴側耐圧構成品	胴側胴板	炭素鋼
	胴側鏡板	炭素鋼
管側耐圧構成品	管側胴板	炭素鋼
	管側鏡板	炭素鋼
管側／胴側 バウンダリ構成品	管板	炭素鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
胴フランジ構成品	胴側／管側フランジ	炭素鋼
	フランジボルト	炭素鋼
熱交換伝熱構成品	伝熱管	炭素鋼
流路構成品	支持板	炭素鋼
支持構造物組立品	支持脚	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.2-12 高浜4号炉 固化装置熱媒冷却器の使用条件

最高使用圧力	胴側 約0.5MPa[gage]	管側 約1.0MPa[gage]
最高使用温度	胴側 約300℃	管側 約95℃
内部流体	胴側 熱媒油	管側 ヒドラジン水

## 2.2.7 固化混合蒸発機軸封油冷却管

### (1) 構造

高浜4号炉の固化混合蒸発機軸封油冷却管は、長さ約2.3m、胴外径約90mmの横置U字管式熱交換器であり、1台設置されている。

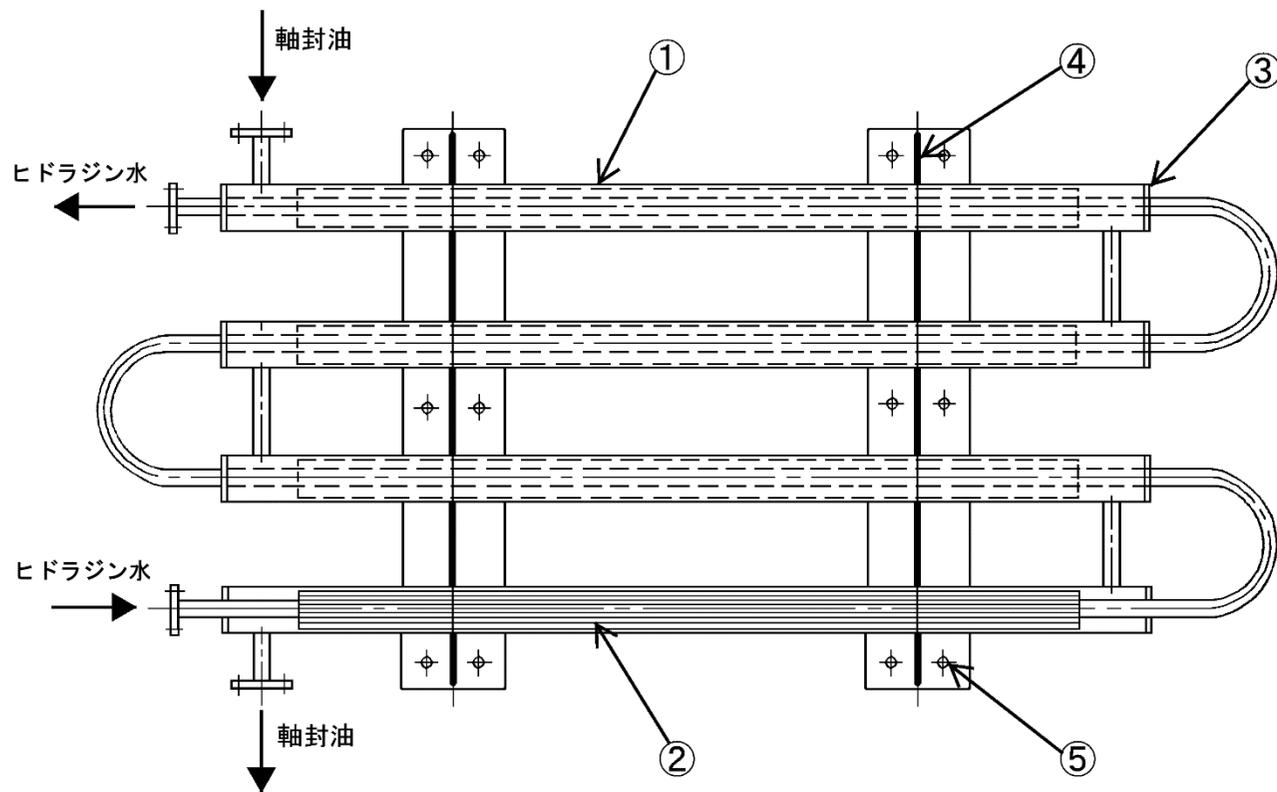
フィンチューブにはステンレス鋼を使用しており、軸封油およびヒドラジン水（防錆剤注入水）に接液している。

胴側耐圧構成品にはステンレス鋼を使用しており、ヒドラジン水（防錆剤注入水）に接液している。

高浜4号炉の固化混合蒸発機軸封油冷却管の構造図を図2.2-7に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の固化混合蒸発機軸封油冷却管の使用材料および使用条件を表2.2-13および表2.2-14に示す。



No.	部位
①	外管
②	フィンチューブ
③	カバープレート
④	支持脚
⑤	取付ボルト

図2.2-7 高浜4号炉 アスファルト固化設備 固化混合蒸発機軸封油冷却管 構造図

表2.2-13 高浜4号炉 固化混合蒸発機軸封油冷却管主要部位の使用材料

部位		材料
伝熱構成品	フィンチューブ	ステンレス鋼
胴側耐圧構成品	外管	ステンレス鋼
	カバープレート	ステンレス鋼
支持構造物組立品	支持脚	ステンレス鋼
	取付ボルト	炭素鋼

表2.2-14 高浜4号炉 固化混合蒸発機軸封油冷却管の使用条件

最高使用圧力	胴側 大気圧	管側 約1.0MPa [gage]
最高使用温度	胴側 約120℃	管側 約95℃
内部流体	胴側 軸封油	管側 ヒドラジン水

## 2.2.8 固化装置オフガス加熱管

### (1) 構造

高浜4号炉の固化装置オフガス加熱管は、長さ約2.2m、胴外径約110mmの横置直管式熱交換器であり、1台設置されている。

内管にはステンレス鋼を使用しており、オフガスおよび補助蒸気に接液している。

胴側耐圧構成品には炭素鋼およびステンレス鋼を使用しており、補助蒸気に接液している。

高浜4号炉の固化装置オフガス加熱管の構造図を図2.2-8に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の固化装置オフガス加熱管の使用材料および使用条件を表2.2-15および表2.2-16に示す。

No.	部位
①	外管
②	内管
③	カバープレート
④	支持脚
⑤	取付ボルト

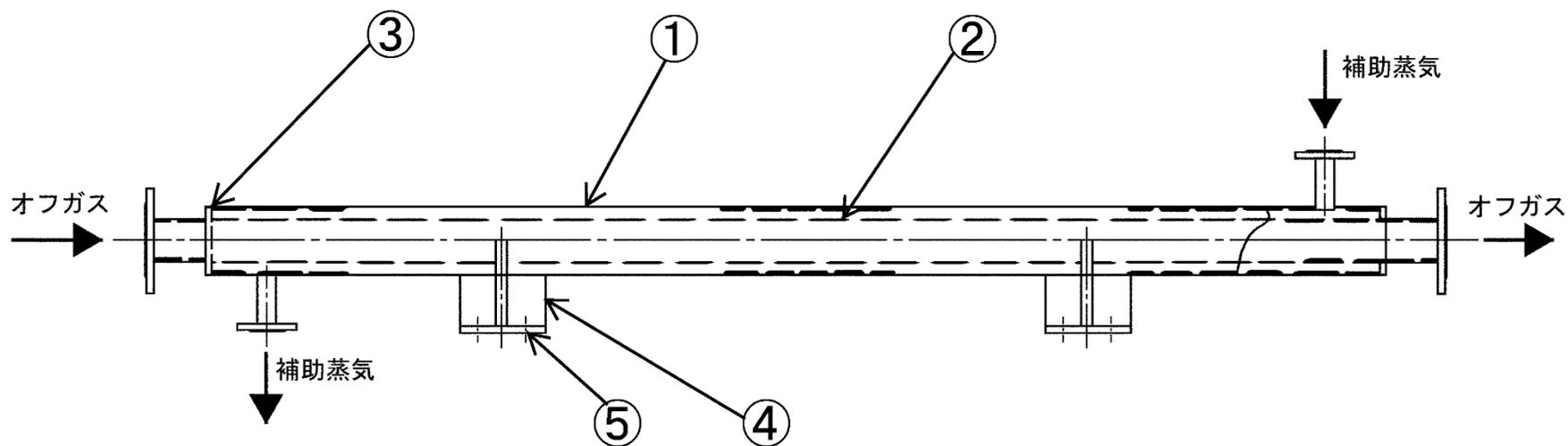


図2.2-8 高浜4号炉 アスファルト固化設備 固化装置オフガス加熱管 構造図

表2.2-15 高浜4号炉 固化装置オフガス加熱管主要部位の使用材料

部位		材料
伝熱構成品	内管	ステンレス鋼
胴側耐圧構成品	外管	炭素鋼
	カバープレート	ステンレス鋼
支持構造物組立品	支持脚	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼

表2.2-16 高浜4号炉 固化装置オフガス加熱管の使用条件

最高使用圧力	胴側	約0.9MPa[gage]	管側	大気圧
最高使用温度	胴側	約185℃	管側	約95℃
内部流体	胴側	補助蒸気	管側	オフガス

## 2.2.9 固化装置熱媒サージタンク

### (1) 構造

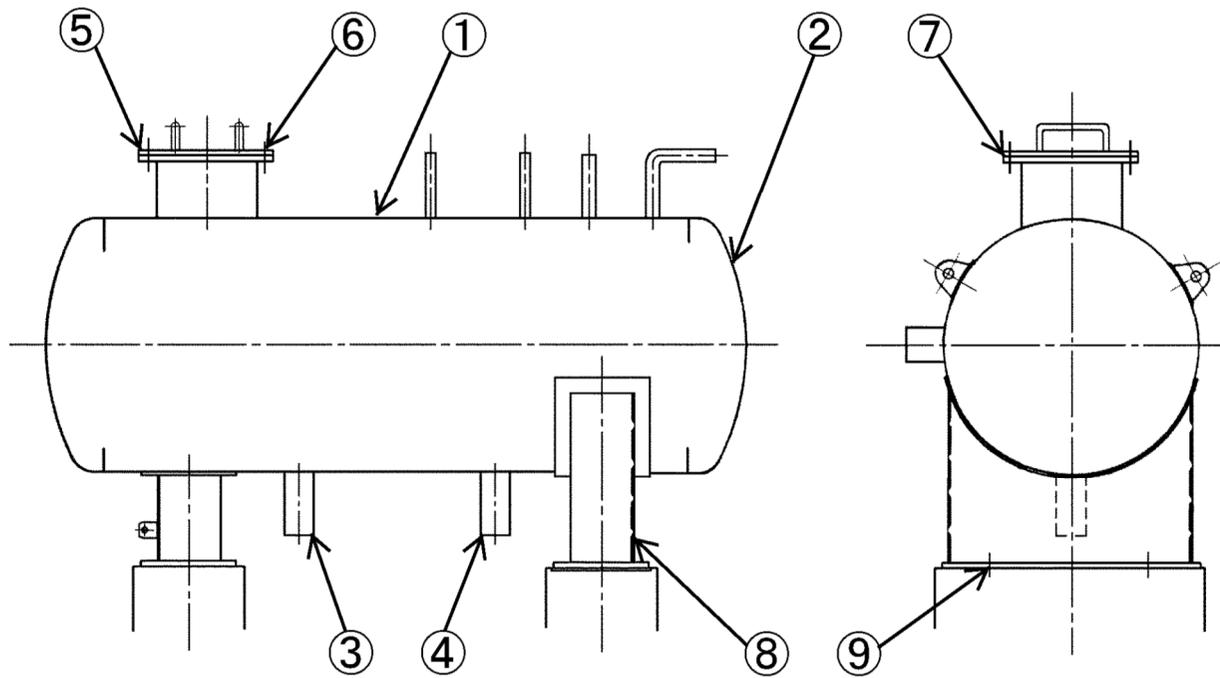
高浜4号炉の固化装置熱媒サージタンクは、容量約0.6m<sup>3</sup>の横置円筒形タンクであり、1台設置されている。

胴板および鏡板等には炭素鋼を使用しており、熱媒油に接液している。

高浜4号炉の固化装置熱媒サージタンクの構造図を図2.2-9に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の固化装置熱媒サージタンクの使用材料および使用条件を表2.2-17および表2.2-18に示す。



No.	部位
①	銅板
②	鏡板
③	熱媒入口ノズル
④	熱媒出口ノズル
⑤	ハンドホール
⑥	ハンドホールボルト
⑦	ガスケット
⑧	支持脚
⑨	基礎ボルト

図2.2-9 高浜4号炉 アスファルト固化設備 固化装置熱媒サージタンク 構造図

表2.2-17 高浜4号炉 固化装置熱媒サージタンク主要部位の使用材料

部位	材料
胴板	炭素鋼
鏡板	炭素鋼
熱媒入口ノズル	炭素鋼
熱媒出口ノズル	炭素鋼
ハンドホール	炭素鋼
ハンドホールボルト	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
支持脚	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼

表2.2-18 高浜4号炉 固化装置熱媒サージタンクの使用条件

最高使用圧力	約0.3MPa[gage]
最高使用温度	約300℃
内部流体	熱媒油

## 2.2.10 アスファルト固化装置軸封油タンク

### (1) 構造

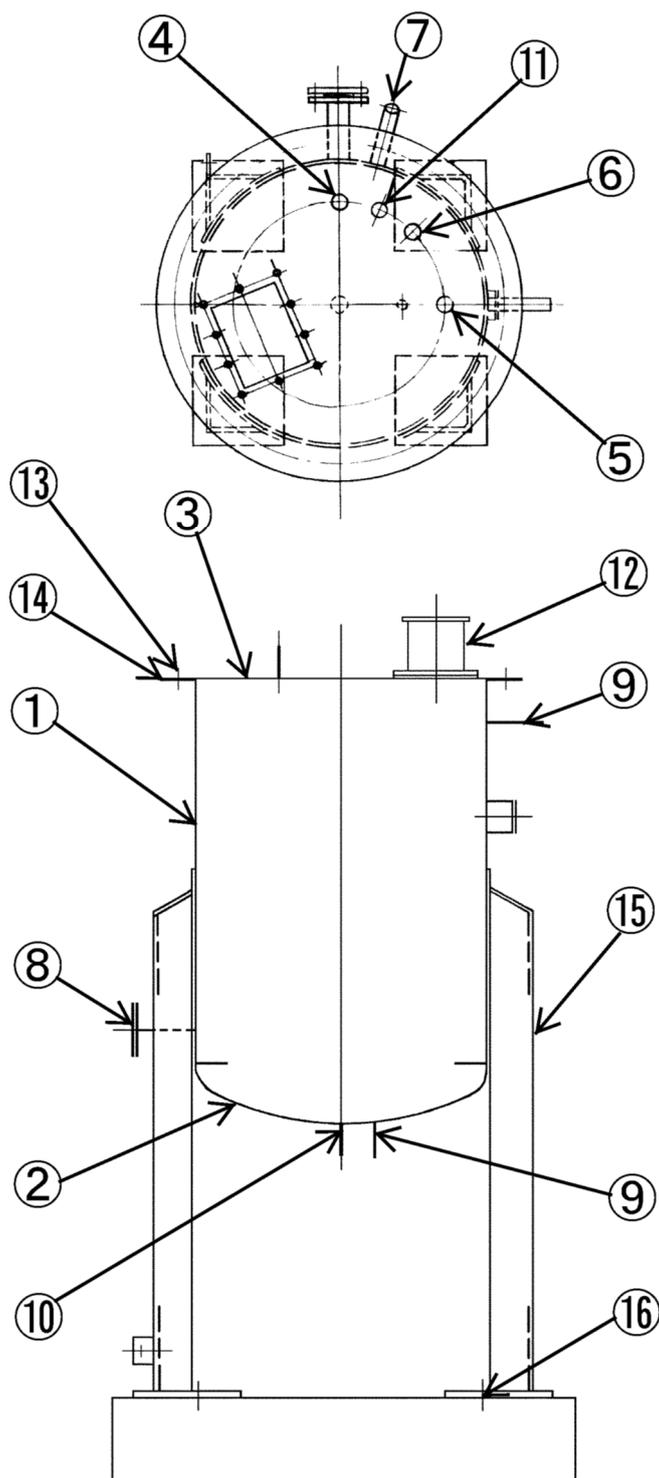
高浜4号炉のアスファルト固化装置軸封油タンクは、容量約0.5m<sup>3</sup>のたて置円筒形タンクであり、1台設置されている。

胴板および鏡板等にはステンレス鋼を使用しており、軸封油に接液している。

高浜4号炉のアスファルト固化装置軸封油タンクの構造図を図2.2-10に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉のアスファルト固化装置軸封油タンクの使用材料および使用条件を表2.2-19および表2.2-20に示す。



No.	部位
①	胴板
②	鏡板
③	蓋板
④	軸封油入口管台
⑤	リサイクル入口管台
⑥	ベント管台
⑦	温度計管台
⑧	予備管台
⑨	液面計管台
⑩	軸封油出口管台
⑪	軸封油回収口管台
⑫	ヒータ取付口
⑬	蓋板フランジボルト
⑭	ガスケット
⑮	支持脚
⑯	基礎ボルト

図2.2-10 高浜4号炉 アスファルト固化設備 アスファルト固化装置軸封油タンク 構造図

表2.2-19 高浜4号炉 アスファルト固化装置軸封油タンク主要部位の使用材料

部位		材料
胴板、鏡板		ステンレス鋼
蓋板		ステンレス鋼
管台	軸封油入口 リサイクル入口 ベント、温度計 予備、液面計 軸封油出口 軸封油回収口	ステンレス鋼
蓋板フランジボルト		ステンレス鋼
ヒータ取付口		ステンレス鋼
ガスケット		消耗品・定期取替品
支持脚		炭素鋼
基礎ボルト		炭素鋼

表2.2-20 高浜4号炉 アスファルト固化装置軸封油タンクの使用条件

最高使用圧力	大気圧
最高使用温度	約120℃
内部流体	軸封油

## 2.2.11 アスファルト固化設備配管

### (1) 構造

高浜4号炉のアスファルト固化設備配管は、炭素鋼またはステンレス鋼を使用している。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉のアスファルト固化設備配管の使用材料および使用条件を表2.2-21および表2.2-22に示す。

表2.2-21 高浜4号炉 アスファルト固化設備配管の使用材料

部位		材料
母管	蒸気系統	ステンレス鋼
	熱媒系統	炭素鋼
	軸封油系統	ステンレス鋼

表2.2-22 高浜4号炉 アスファルト固化設備配管の使用条件

最高使用圧力	約0.5MPa [gage]
最高使用温度	約300℃
設置場所	屋内

## 2.3 経年劣化事象の抽出

### 2.3.1 機能達成に必要な項目

アスファルト固化設備の機能であるアスファルト固化機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 蒸発混合性能の維持
- ② バウンダリの維持
- ③ 機器の支持

### 2.3.2 高経年化上着目すべき経年劣化事象

アスファルト固化設備について機能達成に必要な項目を考慮して、主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（流体、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.3-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

### 2.3.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.3-1で△または▲となっているもの）については想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象でないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) ロータ等の腐食 [固化混合蒸発機]

ロータ、攪拌用突起、掻き羽根、ケーシングおよびケーシングフランジはステンレス鋼であり、蒸発濃縮処理したほう酸濃縮廃液の接液および固形分の付着・堆積のもとで長期間の使用により、腐食が想定される。

しかしながら、開放点検時にロータ等の表面の付着・堆積物を除去し、目視確認により、状況を確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) ロータ等の応力腐食割れ [固化混合蒸発機]

ロータ、攪拌用突起、掻き羽根、ケーシングおよびケーシングフランジはステンレス鋼であり、ほう酸濃縮廃液には塩化物イオンを含んでおり、固化混合蒸発機で接液する廃液が蒸発濃縮することにより、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、開放点検時にロータ等の表面の付着・堆積物を除去し、目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 攪拌用突起等の摩耗 [固化混合蒸発機]

攪拌用突起、掻き羽根、ケーシングおよびケーシングフランジは、長期間の使用により、蒸発濃縮処理した廃液中の固形分がクリアランスを超えるまでに付着・堆積すると、接触により摩耗が想定される。

しかしながら、開放点検時に攪拌用突起等の表面の付着・堆積物を除去し、目視確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (4) 伝熱管等のスケール付着 [固化装置復水器、固化装置熱媒冷却器、固化混合蒸発機軸封油冷却管、固化装置オフガス加熱管]

固化装置復水器管側および固化装置オフガス加熱管管側の内部流体は、油分を含んだ水蒸気またはオフガスであり、固化装置熱媒冷却器胴側および固化混合蒸発機軸封冷却管胴側の内部流体は、熱媒油または軸封油であることから不純物持ち込みによるスケール付着が発生し、伝熱性能に影響を及ぼすことが想定される。

しかしながら、開放点検時または分解点検時の伝熱管等の清掃や運転中の処理流量および温度等のパラメータ監視により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

一方、固化装置復水器胴側、固化装置熱媒冷却器管側および固化混合蒸発機軸封油冷却管管側の内部流体は、ヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、固化装置オフガス加熱管胴側の内部流体は、補助蒸気であり、適切な水質管理により不純物の流入は抑制されており、スケール付着による伝熱性能低下が発生しがたい環境である。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時または分解点検時の伝熱管等の清掃や運転中の処理流量および温度等のパラメータ監視により、機器の健全性を確認している。

- (5) 邪魔板および支持板の腐食（全面腐食） [固化装置復水器、固化装置熱媒冷却器]

固化装置復水器の邪魔板および固化装置熱媒冷却器の支持板は炭素鋼であり、内部流体の接液により腐食が想定される。

しかしながら、固化装置復水器胴側および固化装置熱媒冷却器胴側の内部流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）または熱媒油であり、腐食が発生しがたい環境である。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

- (6) 胴側胴板等の外面からの腐食（全面腐食）〔固化装置復水器、固化装置熱媒加熱器、固化装置熱媒冷却器、固化装置オフガス加熱管〕

固化装置復水器の胴側胴板、固化装置熱媒加熱器の胴板、鏡板、固化装置熱媒冷却器の胴側胴板、胴側鏡板、管側胴板、管側鏡板および固化装置オフガス加熱管の外管は炭素鋼であり、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、さらに防水措置（保温）が設置されている場合は防水措置（保温）の状態を確認することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (7) 伝熱管の摩耗および高サイクル疲労割れ〔固化装置熱媒冷却器〕

固化装置熱媒冷却器の伝熱管は伝熱管振動により摩耗および高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、伝熱管は外表面の流体によって発生するカルマン渦による振動と共振せず、流力弾性振動も発生しない構造となっており、摩耗および高サイクル疲労割れが発生しがたい環境である。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時の目視確認や漏えい確認により、機器の健全性を確認している。

- (8) 伝熱管の腐食（全面腐食）〔固化装置熱媒冷却器〕

固化装置熱媒冷却器の伝熱管は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、胴側内部流体は熱媒油、管側内部流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、腐食が発生しがたい環境である。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時の目視確認や漏えい確認により、機器の健全性を確認している。

- (9) 本体フランジ等の腐食（全面腐食）〔固化装置熱媒加熱器、固化装置熱媒冷却器、固化装置熱媒サージタンク、配管〕

固化装置熱媒加熱器の本体フランジ、固化装置熱媒冷却器の胴側管板、管側フランジ、固化装置熱媒サージタンクの胴板、鏡板、熱媒入口・出口ノズル、ハンドホールおよび熱媒系統の配管は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、さらに防水措置（保温）が設置されている場合は防水措置（保温）の状態を確認することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

一方、内面については固化装置熱媒加熱器、固化装置熱媒冷却器胴側、固化装置熱媒サージタンクおよび熱媒系統配管の内部流体が熱媒油であり、固化装置熱媒冷却器管側の内部流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、腐食が発生しがたい環境である。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時または分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

- (10) フランジボルト等の腐食（全面腐食）〔固化混合蒸発機、固化装置復水器、固化装置熱媒加熱器、固化装置熱媒冷却器、固化装置熱媒サージタンク〕

フランジボルトおよびハンドホールフランジボルトは炭素鋼であり、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時または開放点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

(11) 支持脚等の腐食（全面腐食）〔共通〕

支持脚、取付ボルトおよび台板は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(12) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、本評価書の「基礎ボルト」にてまとめて評価を実施する。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(13) 伝熱管の摩耗および高サイクル疲労割れ〔固化装置復水器、固化装置熱媒加熱器〕

固化装置復水器および固化装置熱媒加熱器の伝熱管は伝熱管振動により摩耗および高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、伝熱管は外表面の流体によって発生するカルマン渦による振動と共振せず、流力弾性振動も発生しない構造となっており、摩耗および高サイクル疲労割れが発生しがたい環境であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(14) フィンチューブ等の高サイクル疲労割れ〔固化混合蒸発機軸封油冷却管、固化装置オフガス加熱管〕

固化混合蒸発機軸封油冷却管のフィンチューブおよび固化装置オフガス加熱管の内管は、構造上接触する部位がなく、有意な振動が発生しがたいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (15) 胴側胴板等の内面からの腐食（全面腐食）〔固化装置復水器、固化装置熱媒加熱器、固化装置熱媒冷却器、固化装置オフガス加熱管〕

固化装置復水器の胴側胴板、固化装置熱媒加熱器の胴板、鏡板、固化装置熱媒冷却器の胴側胴板・鏡板、管側胴板・鏡板および固化装置オフガス加熱管の外管は炭素鋼であり、内面からの腐食が想定される。

しかしながら、固化装置復水器胴側および固化装置熱媒冷却器管側の内部流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、固化装置熱媒加熱器胴側および固化装置熱媒冷却器胴側の内部流体は熱媒油であり、固化装置オフガス加熱管胴側の内部流体は補助蒸気であり、腐食が発生しがたい環境であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (16) 主軸等の高サイクル疲労割れ〔固化装置熱媒ポンプ、固化混合蒸発機軸封油ポンプ〕

ポンプ運転時には主軸（駆動軸と従動軸を含む）に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下で繰返し応力を受けると、段付部等の応力集中部において高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、ポンプ設計時には高サイクル疲労を考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

- (17) 主軸等の摩耗（ころがり軸受）〔固化混合蒸発機軸封油ポンプ〕

ころがり軸受を使用している固化混合蒸発機軸封油ポンプについては、軸受と駆動軸の接触面で摩耗が想定される。

軸受定期取替時の軸受引き抜きの際に主軸表面にわずかな線形模様が生じることもあり、主軸表面をサンドペーパーで仕上げる方策も考えられる。この場合、主軸表面にわずかな摩耗が発生し、主軸と軸受スリーブ間で微小すき間が生じ、運転中にフレットングによる摩耗が発生する可能性がある。

しかしながら、これを防止するため主軸表面の仕上げは行わない運用としており、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(18) 主軸等の摩耗（すべり軸受）〔固化装置熱媒ポンプ、固化混合蒸発機軸封油ポンプ〕

すべり軸受を使用している固化装置熱媒ポンプおよび固化混合蒸発機軸封油ポンプについては、軸受と主軸（駆動軸と従動軸を含む）の接触面で摺動摩耗が想定される。

しかしながら、設計段階において主軸と軸受間に潤滑剤を供給し、膜を形成させて流体潤滑状態となるように考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(19) 羽根車の腐食（キャビテーション）〔固化装置熱媒ポンプ〕

ポンプの内部では流速と圧力が場所により大きく変化するが、ある点の圧力がその液温における飽和蒸気圧まで低下すると、その部分の液体が沸騰し、蒸気泡の発生と崩壊が起こることが想定される。

しかしながら、キャビテーションを起こさない条件はポンプおよび機器配置設計段階において考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(20) 歯車およびケーシング（ケーシングカバーを含む）の摩耗〔固化混合蒸発機軸封油ポンプ〕

ポンプの歯車およびケーシング（ケーシングカバーを含む）は歯車によりトルクを伝達するため歯車の摩耗、歯車とケーシングの接触部は摩耗が想定される。

しかしながら、歯車およびケーシングは潤滑油により摩耗の発生がしがたい環境であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

#### 2.3.4 消耗品および定期取替品

ガスケット、軸受（ころがり）、オイルシールおよびメカニカルシールは開放点検時または分解点検時に取替える消耗品であり、軸受（すべり）は分解点検時に目視確認や寸法計測の結果に基づき取替える消耗品である。いずれも、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.3-1(1/11) 高浜4号炉 アスファルト固化設備 固化混合蒸発機に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		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		
蒸発混合性能の維持	シャフト内筒		ステンレス鋼								
	ロータ		ステンレス鋼		△		△				
	攪拌用突起		ステンレス鋼	△	△		△				
	掻き羽根		ステンレス鋼	△	△		△				
バウンダリの維持	ケーシング		ステンレス鋼	△	△		△				
	ケーシングフランジ		ステンレス鋼	△	△		△				
	上蓋		ステンレス鋼								
	ジャケット		ステンレス鋼								
	ベーパードーム		ステンレス鋼								
	フランジボルト		炭素鋼		△						
	メカニカルシール	◎	—								
	ガスケット	◎	—								
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.3-1(2/11) 高浜4号炉 アスファルト固化設備 固化装置復水器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
蒸発混合性能の維持	伝熱管		ステンレス鋼	▲*1		▲*1				△*2	*1：摩耗・高サイクル疲労割れ *2：胴側、管側スケール付着
	邪魔板		炭素鋼		△						
バウンダリの維持	胴側胴板		炭素鋼		△(外面) ▲(内面)						
	管側胴板		ステンレス鋼								
	管側鏡板		ステンレス鋼								
	管板		ステンレス鋼								
	管側フランジ		ステンレス鋼								
	フランジボルト		炭素鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	取付ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着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2.3-1(3/11) 高浜4号炉 アスファルト固化設備 固化装置熱媒ポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
蒸発混合性能の維持	主軸		ステンレス鋼	▲		▲*1				*1：高サイクル疲労割れ *2：キャビテーション	
	羽根車		ステンレス鋼鋳鋼		▲*2						
	軸受（すべり）	◎	—								
バウンダリの維持	ケーシング		ステンレス鋼鋳鋼								
	ケーシングボルト		ステンレス鋼								
	ガスケット	◎	—								
機器の支持	台板		炭素鋼		△						
	取付ボルト		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着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2.3-1(4/11) 高浜4号炉 アスファルト固化設備 固化混合蒸発機軸封油ポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
蒸発混合性能の維持	駆動軸、従動軸		低合金鋼	▲		▲*1				*1：高サイクル疲労割れ	
	駆動歯車、従動歯車		低合金鋼	▲							
	軸受（ころがり）	◎	—								
	軸受（すべり）	◎	—								
バウンダリの維持	ケーシング		ステンレス鋼鋳鋼	▲							
	ケーシングカバー		ステンレス鋼鋳鋼	▲							
	ケース		ステンレス鋼								
	ガスケット	◎	—								
	ケーシングボルト		ステンレス鋼								
	メカニカルシール	◎	—								
	オイルシール	◎	—								
機器の支持	台板		炭素鋼		△						
	取付ボルト		ステンレス鋼								
	基礎ボルト		ステンレス鋼								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着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2.3-1(5/11) 高浜4号炉 アスファルト固化設備 固化装置熱媒加熱器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
蒸発混合性能の維持	伝熱管（ヒータ）		ステンレス鋼	▲*1		▲*1				*1：摩耗・高サイクル疲労割れ	
	邪魔板		ステンレス鋼								
バウンダリの維持	胴板		炭素鋼		△(外面) ▲(内面)						
	鏡板		炭素鋼		△(外面) ▲(内面)						
	本体フランジ		炭素鋼		△						
	平板		ステンレス鋼								
	フランジボルト		炭素鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.3-1(6/11) 高浜4号炉 アスファルト固化設備 固化装置熱媒冷却器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
蒸発混合性能の維持	伝熱管		炭素鋼	△*1	△	△*1				△*2	*1：摩耗・高サイクル疲労割れ *2：胴側、管側スケール付着
	支持板		炭素鋼		△						
バウンダリの維持	胴側胴板		炭素鋼		△(外面) ▲(内面)						
	胴側鏡板		炭素鋼		△(外面) ▲(内面)						
	管側胴板		炭素鋼		△(外面) ▲(内面)						
	管側鏡板		炭素鋼		△(外面) ▲(内面)						
	管板		炭素鋼		△						
	胴側/管側フランジ		炭素鋼		△						
	フランジボルト		炭素鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.3-1(7/11) 高浜4号炉 アスファルト固化設備 固化混合蒸発機軸封油冷却管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
蒸発混合性能の維持	フィンチューブ		ステンレス鋼			▲*1				△*2	*1：高サイクル疲労割れ *2：胴側、管側スケール付着
バウンダリの維持	外管		ステンレス鋼								
	カバープレート		ステンレス鋼								
機器の支持	支持脚		ステンレス鋼								
	取付ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着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2.3-1(8/11) 高浜4号炉 アスファルト固化設備 固化装置オフガス加熱管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
蒸発混合性能の維持	内管		ステンレス鋼			▲*1				△*2	*1：高サイクル疲労割れ *2：胴側、管側スケール付着
バウンダリの維持	外管		炭素鋼		△(外面) ▲(内面)						
	カバープレート		ステンレス鋼								
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	取付ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着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2.3-1(9/11) 高浜4号炉 アスファルト固化設備 固化装置熱媒サージタンクに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	胴板		炭素鋼		△						
	鏡板		炭素鋼		△						
	熱媒入口ノズル		炭素鋼		△						
	熱媒出口ノズル		炭素鋼		△						
	ハンドホール		炭素鋼		△						
	ハンドホールボルト		炭素鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.3-1(10/11) 高浜4号炉 アスファルト固化設備 アスファルト固化装置軸封油タンクに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	胴板		ステンレス鋼								
	鏡板		ステンレス鋼								
	蓋板		ステンレス鋼								
	管台	軸封油入口 リサイクル入口 ベント、温度計 予備、液面計 軸封油出口 軸封油回収口		ステンレス鋼							
	ヒータ取付口		ステンレス鋼								
	蓋板フランジボルト		ステンレス鋼								
	ガスケット	◎	—								
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.3-1(11/11) 高浜4号炉 アスファルト固化設備 配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	母管（蒸気系統）		ステンレス鋼								
	母管（熱媒系統）		炭素鋼		△						
	母管（軸封油系統）		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）

## 8 水素再結合装置

[対象機器]

- ① 水素再結合装置
- ② 静的触媒式水素再結合装置
- ③ 原子炉格納容器水素燃焼装置

## 目次

1.	技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1	グループ化の考え方および結果	1
1.2	代表機器の選定	1
2.	代表機器の技術評価	3
2.1	構造、材料および使用条件	3
2.2	経年劣化事象の抽出	11
3.	代表機器以外への展開	19
3.1	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	19

## 1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

高浜 4 号炉で使用されている水素再結合装置の主な仕様を表1-1に示す。

これらの水素再結合装置を型式の観点から、以下のとおり代表機器を選定した。

### 1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す水素再結合装置については、1つのグループとして分類される。

### 1.2 代表機器の選定

このグループには、水素再結合装置、静的触媒式水素再結合装置および原子炉格納容器水素燃焼装置が属するが、重要度が高い水素再結合装置を代表機器とする。

表1-1 高浜4号炉 水素再結合装置の主な仕様

分離基準	機器名称 (台数)	選定基準				代表機器の選定	
		重要度*1	使用条件			代表機器	選定理由
運転状態	最高使用圧力 (MPa [gage])		最高使用温度 (°C)				
水素再結合装置	水素再結合装置 (2)	高*2	一時	約1.0	約650*4	◎	重要度
	静的触媒式水素再結合装置 (5)	重*3	一時	—	約500*5		
	原子炉格納容器水素燃焼装置 (13)	重*3	一時	約1.6	約200		

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

\*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

\*4：反応器の使用条件を示す。

\*5：水素反応の筐体（排気）温度を示す。

## 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水素再結合装置について技術評価を実施する。

### ① 水素再結合装置

#### 2.1 構造、材料および使用条件

##### 2.1.1 水素再結合装置

###### (1) 構造

高浜4号炉の水素再結合装置は、反応器内での水分の凝結を防ぐために予め廃ガスを予熱する予熱器、予熱後に添加される酸素ガスと廃ガスに含まれる水素ガスを触媒により発熱反応させる反応器、触媒との反応によって発生した水蒸気を凝結させるための冷却器および配管から構成されている。

高浜4号炉の水素再結合装置の全体構成図を図2.1-1に、全体構造図を図2.1-2に、各機器の構造図を図2.1-3～図2.1-5に示す。

###### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の水素再結合装置の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

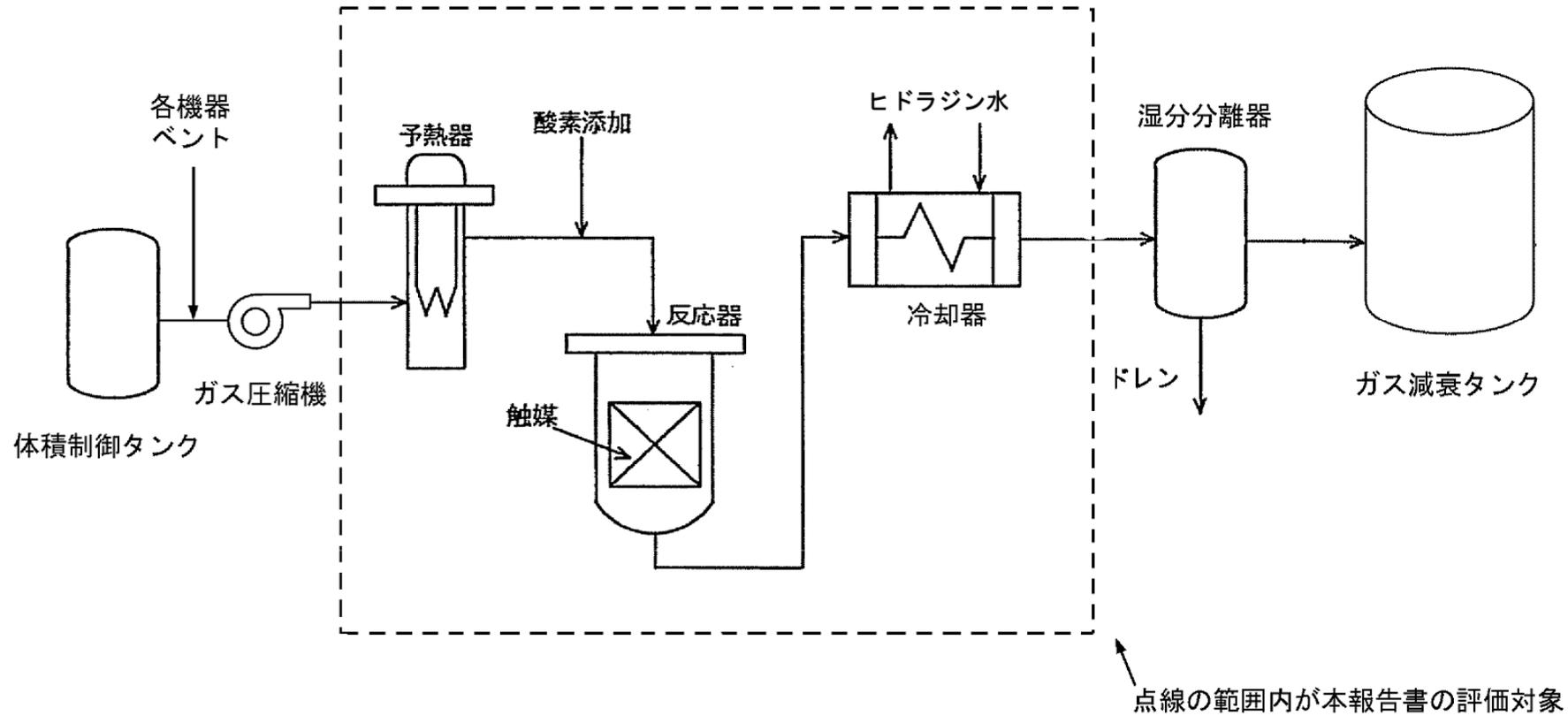


図2.1-1 高浜4号炉 水素再結合装置 全体構成図

No.	部位
①	台板
②	基礎ボルト

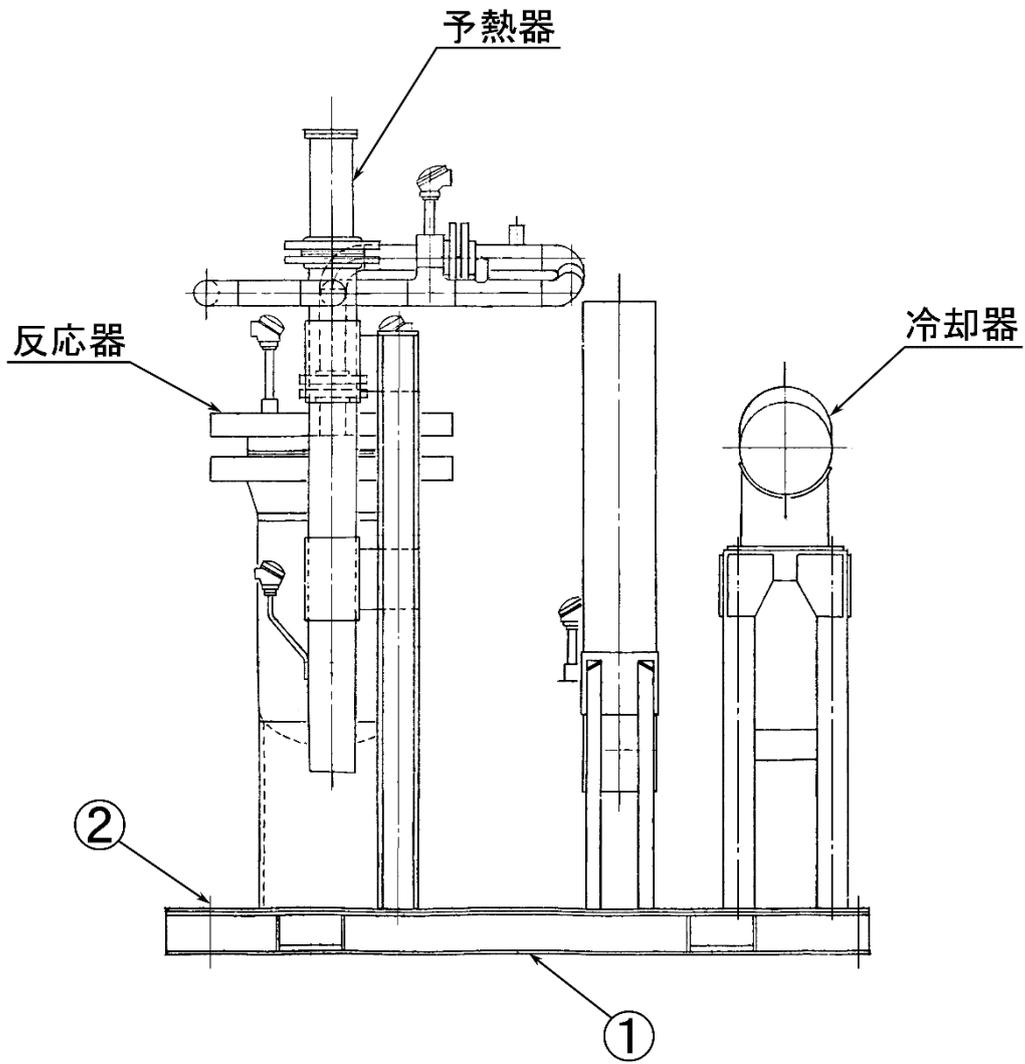
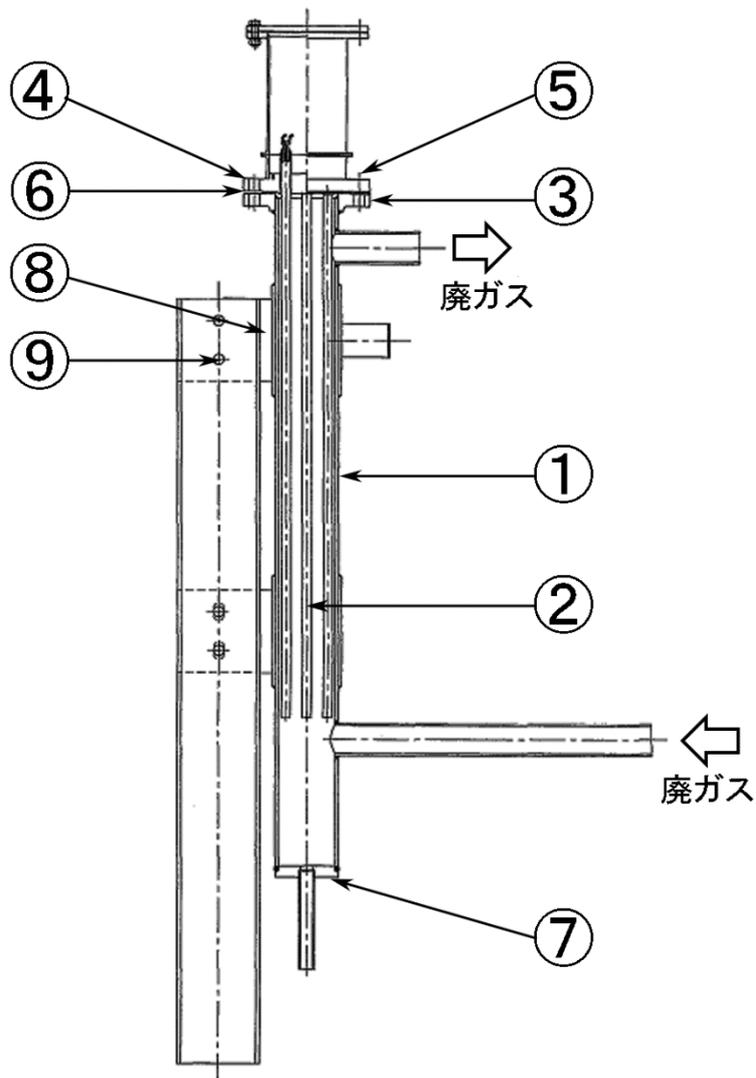
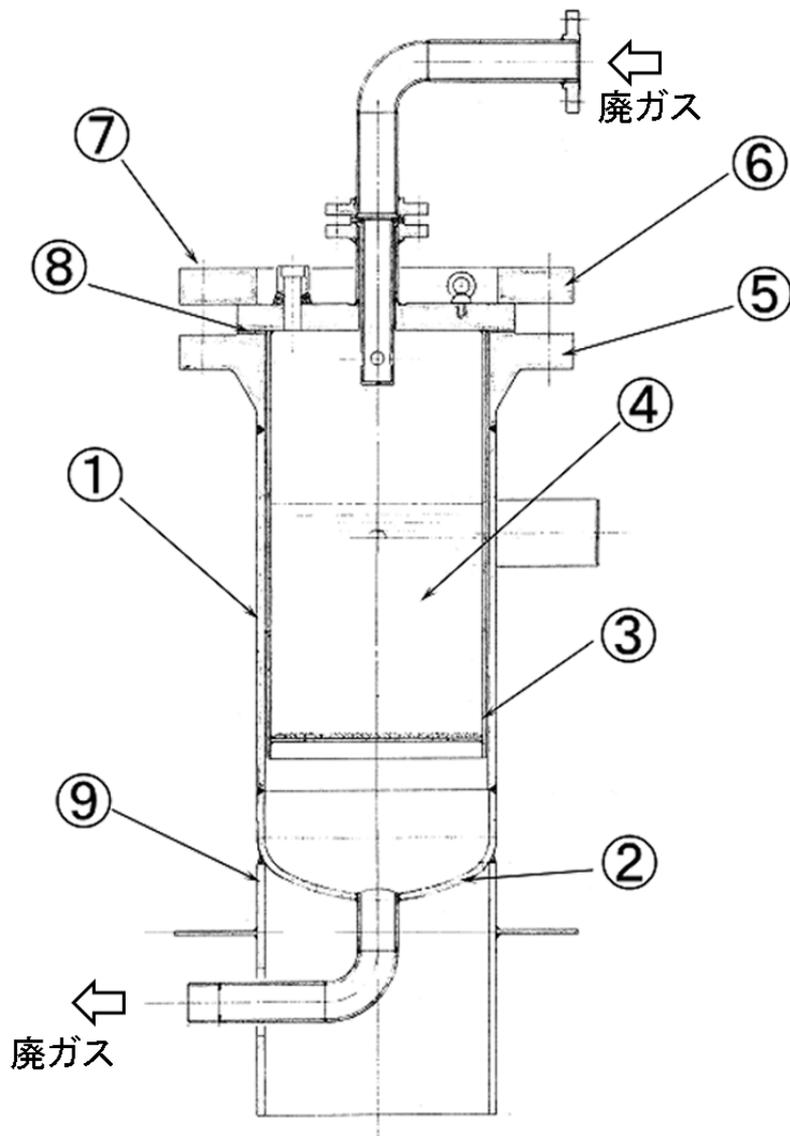


図2.1-2 高浜4号炉 水素再結合装置 全体構造図



No.	部位
①	胴板
②	電気ヒータ (シース、 発熱線、絶縁材)
③	胴側フランジ
④	ヒータフランジ
⑤	フランジボルト
⑥	ガスケット
⑦	平板
⑧	支持脚
⑨	取付ボルト

図 2.1-3 高浜 4 号炉 水素再結合装置 予熱器 構造図



No.	部位
①	銅板
②	鏡板
③	バスケット
④	触媒
⑤	銅側フランジ
⑥	平板
⑦	フランジボルト
⑧	ガスケット
⑨	スカート

図2.1-4 高浜4号炉 水素再結合装置 反応器 構造図

No.	部位	No.	部位
①	伝熱管	⑥	管板
②	邪魔板	⑦	支持脚
③	管側胴板	⑧	支持脚 (スライド脚)
④	管側平板	⑨	取付ボルト
⑤	胴板		

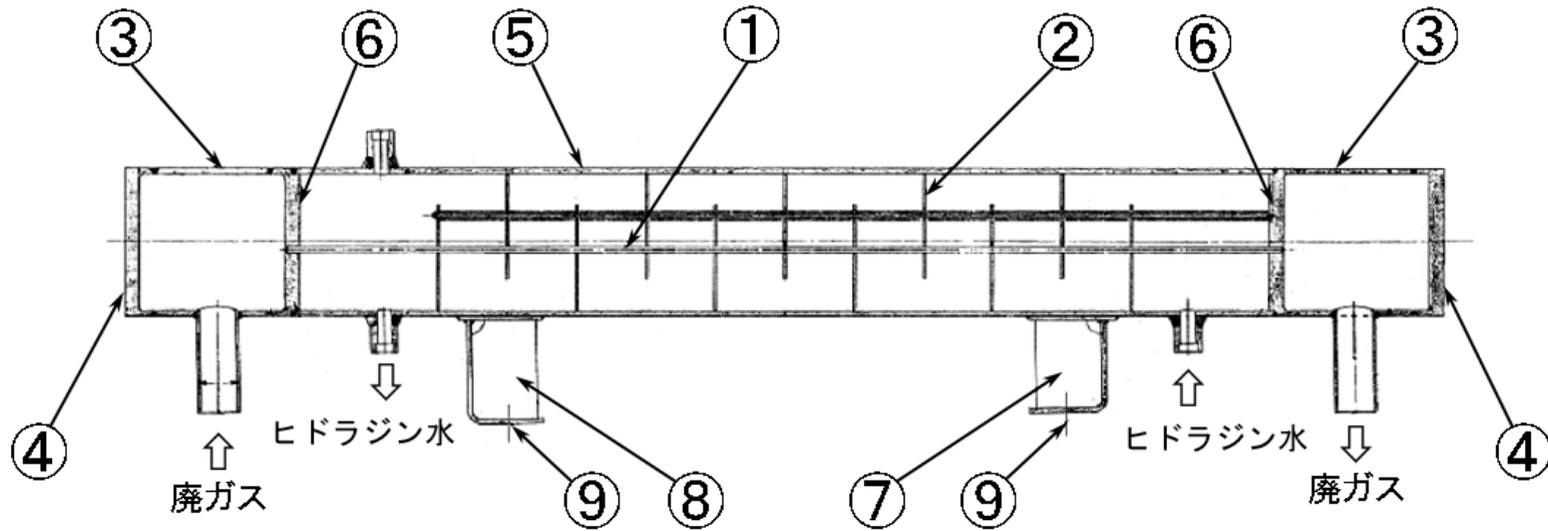


図2.1-5 高浜4号炉 水素再結合装置 冷却器 構造図

表2. 1-1(1/2) 高浜4号炉 水素再結合装置主要部位の使用材料

構成機器	部位	材料	
予熱器	胴板	ステンレス鋼	
	電気ヒータ	シース	ニッケル基合金
		発熱線	ニクロム線
		絶縁材	酸化マグネシウム
	胴側フランジ	ステンレス鋼	
	ヒータフランジ	ステンレス鋼	
	フランジボルト	ステンレス鋼	
	ガスケット	消耗品・定期取替品	
	平板	ステンレス鋼	
	支持脚	ステンレス鋼	
	取付ボルト	低合金鋼	
反応器	胴板	ステンレス鋼	
	鏡板	ステンレス鋼	
	バスケット	ステンレス鋼	
	触媒	消耗品・定期取替品	
	胴側フランジ	ステンレス鋼	
	平板	ステンレス鋼	
	フランジボルト	ステンレス鋼	
	ガスケット	消耗品・定期取替品	
	スカート	ステンレス鋼	
冷却器	伝熱管	ステンレス鋼	
	邪魔板	ステンレス鋼	
	管側胴板	ステンレス鋼	
	管側平板	ステンレス鋼	
	胴板	ステンレス鋼	
	管板	ステンレス鋼	
	支持脚	炭素鋼	
	支持脚（スライド脚）	炭素鋼	
	取付ボルト	炭素鋼	

表2. 1-1 (2/2) 高浜 4 号炉 水素再結合装置主要部位の使用材料

構成機器	部位	材料
配管	母管	ステンレス鋼
台板	台板	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2. 1-2 高浜 4 号炉 水素再結合装置の使用条件

構成機器	項目	管側	胴側
予熱器	最高使用圧力	—	約1.0MPa [gage]
	最高使用温度	—	約250℃
	内部流体	—	廃ガス
反応器	最高使用圧力	—	約1.0MPa [gage]
	最高使用温度	—	約650℃
	内部流体	—	廃ガス
冷却器	最高使用圧力	約1.0MPa [gage]	約1.0MPa [gage]
	最高使用温度	約650℃	約95℃
	内部流体	廃ガス	ヒドラジン水
配管	最高使用圧力	—	約1.0MPa [gage]
	最高使用温度	—	約650℃
	内部流体	—	廃ガス

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

水素再結合装置の機能である水素再結合機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 反応、除湿機能の維持
- ② バウンダリの維持
- ③ 機器の支持

### 2.2.2 高経年化上着目すべき経年劣化事象

水素再結合装置について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 電気ヒータ発熱線の導通不良

予熱器の電気ヒータ発熱線にはヒータON-OFF時に発生する熱伸縮により繰返し応力が発生するため、材料に疲労が蓄積され、疲労割れによる導通不良が想定される。

しかしながら、巡視点検時の運転状態確認および開放点検時の目視確認や導通抵抗測定により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 電気ヒータ絶縁材の絶縁低下

予熱器の電気ヒータ絶縁材は、発熱体の発熱により、発熱体の成分 (Ni、Cr) が拡散し、酸化マグネシウムの純度が低下することによる絶縁低下が想定される。

しかしながら、巡視点検時の運転状態確認および開放点検時の目視確認や絶縁抵抗測定により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 支持脚および取付ボルト等の腐食（全面腐食）

支持脚、取付ボルトおよび台板は、低合金鋼または炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) 支持脚（スライド脚）の腐食（全面腐食）

冷却器は横置きであり、支持脚（スライド脚）が設置されているが、スライド部は炭素鋼であり、長期間の使用により、腐食による固着が想定される。

しかしながら、巡視点検等で目視によりスライド部に異常のないことを確認し、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、本評価書の「基礎ボルト」にてまとめて評価を実施する。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(6) バスケット等のクリープ

反応器のバスケット、胴板、鏡板、スカート等、冷却器の管側胴板・平板および配管は、クリープによる損傷が想定される。

しかしながら、運転中高温になるものの熱膨張により発生する応力は小さくなるよう設計されており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではないことから、高経年対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(7) 伝熱管の摩耗および高サイクル疲労割れ

冷却器の伝熱管は、伝熱管振動による摩耗および高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、伝熱管は外表面の流体によって発生するカルマン渦による振動と共振せず、流力弾性振動も発生しない構造となっており、摩耗および高サイクル疲労割れが発生しがたい環境であることから、高経年対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(8) 伝熱管のスケール付着

冷却器管側・胴側流体の不純物持ち込みによるスケール付着が発生し、伝熱性能に影響を及ぼすことが想定される。

しかしながら、胴側の流体は、ヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、適切な水質管理により不純物の流入は抑制されており、管側の流体は気体であり、スケール付着による伝熱性能低下が発生しがたい環境であることから、高経年対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

#### 2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットおよび触媒は開放点検時に取替える消耗品であり、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/5) 高浜4号炉 水素再結合装置 予熱器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位		消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
					減肉		割れ		材質変化			その他
					摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
反応、除湿機能の維持	電気ヒータ	シース		ニッケル基合金							*1：導通不良 *2：絶縁低下	
		発熱線		ニクロム線						△*1		
		絶縁材		酸化マグネシウム						△*2		
バウンダリの維持	胴板			ステンレス鋼								
	胴側フランジ			ステンレス鋼								
	ヒータフランジ			ステンレス鋼								
	フランジボルト			ステンレス鋼								
	ガスケット		◎	—								
	平板			ステンレス鋼								
機器の支持	支持脚			ステンレス鋼								
	取付ボルト			低合金鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/5) 高浜4号炉 水素再結合装置 反応器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
反応、除湿機能の維持	バスケット		ステンレス鋼							▲*1	*1：クリープ
	触媒	◎	—								
バウンダリの維持	胴板		ステンレス鋼							▲*1	
	鏡板		ステンレス鋼							▲*1	
	胴側フランジ		ステンレス鋼							▲*1	
	平板		ステンレス鋼							▲*1	
	フランジボルト		ステンレス鋼							▲*1	
	ガスケット	◎	—								
機器の支持	スカート		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（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(3/5) 高浜4号炉 水素再結合装置 冷却器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
反応、除湿機能の維持	伝熱管		ステンレス鋼	▲*1		▲*1				▲*2	*1：摩耗・高サイクル疲労割れ *2：スケール付着 *3：クリープ *4：スライド部の腐食
	邪魔板		ステンレス鋼								
バウンダリの維持	管側胴板		ステンレス鋼							▲*3	
	管側平板		ステンレス鋼							▲*3	
	胴板		ステンレス鋼								
	管板		ステンレス鋼								
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	支持脚(スライド脚)		炭素鋼		△ △*4						
	取付ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(4/5) 高浜4号炉 水素再結合装置 配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食 割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの 維持	母管		ステンレス鋼							▲ <sup>*1</sup>	*1：クリープ

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(5/5) 高浜4号炉 水素再結合装置 台板に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食 割れ	熱時効	劣化		
機器の支持	台板		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

### 3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① 静的触媒式水素再結合装置
- ② 原子炉格納容器水素燃焼装置

#### 3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

##### 3.1.1 触媒プレート（触媒）の水素反応機能低下 [静的触媒式水素再結合装置]

触媒プレート（触媒）は常時原子炉格納容器内の空気と接触しているため、水素反応機能の低下が想定される。

しかしながら、機能確認時の目視確認や機能検査により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

##### 3.1.2 ヒータエレメントの導通不良 [原子炉格納容器水素燃焼装置]

発熱線等はヒータON-OFF時に発生する熱伸縮により繰返し応力を受けるため、材料に疲労が蓄積され、疲労割れによるヒータエレメントの導通不良が想定される。

しかしながら、機能確認時の目視確認や抵抗測定により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

### 3.1.3 ヒータエレメントの絶縁低下 [原子炉格納容器水素燃焼装置]

ヒータエレメントは長期間の使用に伴い、熱的、電氣的、環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、これまでに有意な絶縁低下は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機能確認時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.4 端子台の絶縁低下 [原子炉格納容器水素燃焼装置]

端子台の絶縁物は無機質であり、劣化等の可能性はないが長期間の使用により表面の汚損による絶縁低下が想定される。

しかしながら、端子台は気密された接続箱内に設置されており、塵埃の付着により表面が汚損しない環境であり、これまでに絶縁低下の進行は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機能確認時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

### 3.1.5 架台および取付ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

架台および取付ボルトは炭素鋼または低合金鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

### 3.1.6 基礎ボルトの腐食（全面腐食） [原子炉格納容器水素燃焼装置]

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、本評価書の「基礎ボルト」にてまとめて評価を実施する。

## 9 雑固体焼却設備

[対象機器]

- ① 雑固体焼却設備

## 目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 雑固体焼却設備の技術評価	2
2.1 雑固体焼却設備全体構成	2
2.2 構造、材料および使用条件	4
2.3 経年劣化事象の抽出	13

1. 技術評価対象機器

高浜 4 号炉で使用されている雑固体焼却設備の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜 4 号炉 雑固体焼却設備の主な仕様

機器名称 (台数)	仕様 (焼却容量)	重要度*1	使用条件*2		
			運転状態	最高使用圧力	最高使用温度 (°C)
雑固体焼却設備 (1)	約75kg/h(雑固体) 約50kg/h(廃油)	高*3	一時	大気圧	約1,100

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：雑固体焼却炉の使用条件を示す。

\*3：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

## 2. 雑固体焼却設備の技術評価

### 2.1 雑固体焼却設備全体構成

高浜4号炉の雑固体焼却設備の処理能力は、焼却容量で約75kg/h（雑固体）、約50kg/h（廃油）である。

雑固体焼却炉上部から投入される雑固体または廃油は、雑固体焼却炉内で焼却減容され、焼却灰の固形物は雑固体焼却炉底部から排出させてドラム詰め（固体廃棄物）にする機能を有している。

なお、雑固体焼却炉排ガス中に含まれる浮遊塵灰は、主に1次セラミックフィルタおよび2次セラミックフィルタにて除去され、清浄な排ガスとなって排出される。

雑固体焼却設備の全体構成図を図2.1-1に示す。

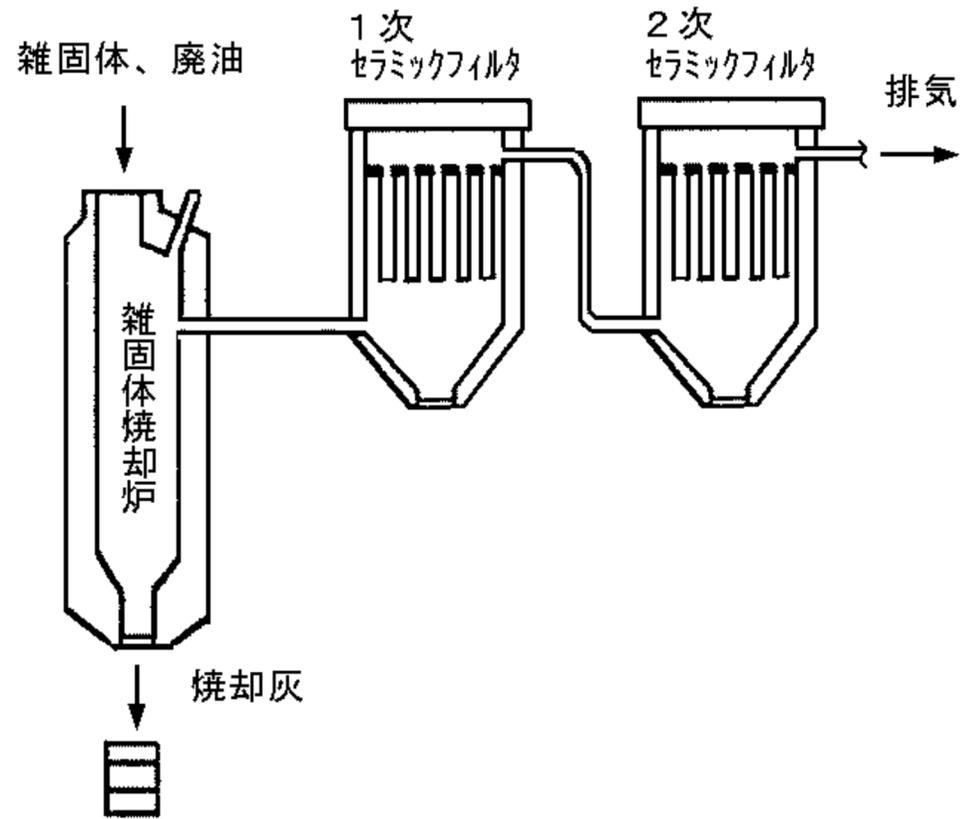


図2.1-1 高浜4号炉 雑固体焼却設備 全体構成図

## 2.2 構造、材料および使用条件

### 2.2.1 雑固体焼却炉

#### (1) 構造

高浜4号炉の雑固体焼却炉は、たて置円筒形であり、1台設置されている。

雑固体または廃油は上部より投入され、下部円錐状炉床で燃焼する構造となっている。

焼却炉炉外殻は炭素鋼であるが、内部は雑固体の燃焼により高温となるため、耐火煉瓦および耐火キャストブルを内張りしている。

高浜4号炉の雑固体焼却炉の構造図を図2.2-1に示す。

#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の雑固体焼却炉の使用材料および使用条件を表2.2-1および表2.2-2に示す。

No.	部位
①	炉外殻
②	耐火煉瓦、耐火キャストブル
③	炉底ダンパ
④	炉底ダンパパッキン
⑤	取付ボルト
⑥	架台
⑦	基礎ボルト

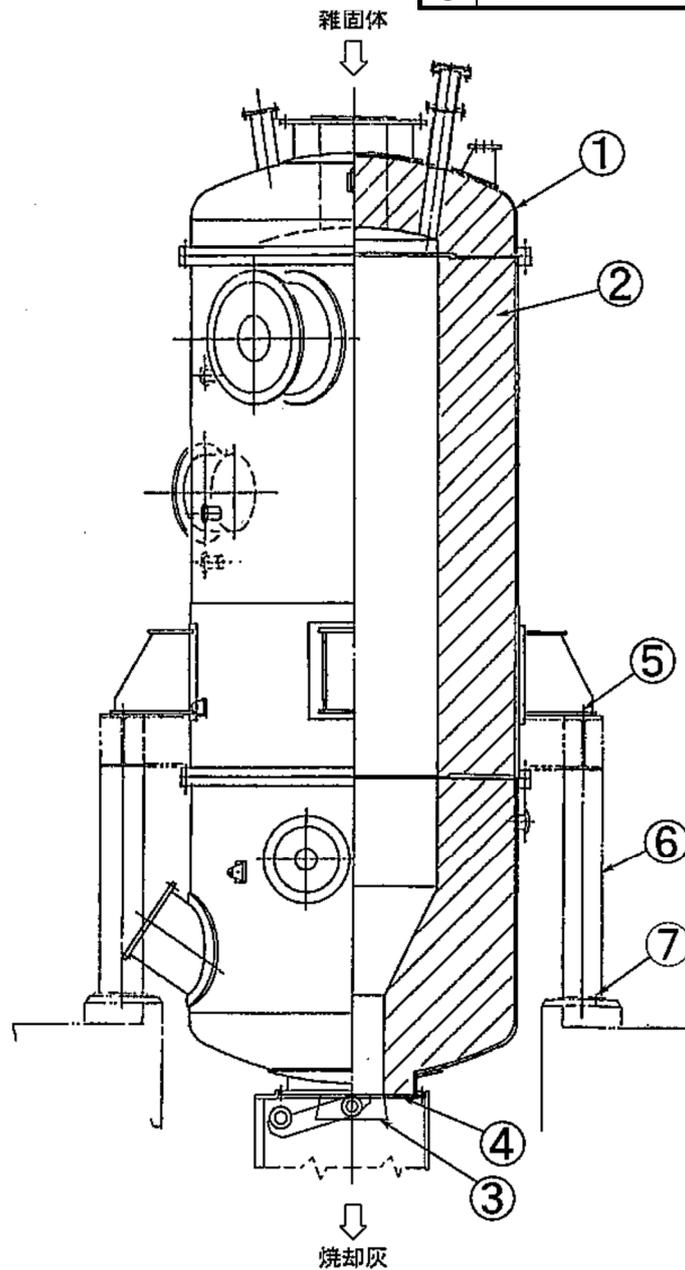


図2. 2-1 高浜4号炉 雑固体焼却設備 雑固体焼却炉 構造図

表2.2-1 高浜4号炉 雑固体焼却設備 雑固体焼却炉主要部位の使用材料

部位	材料
炉外殻	炭素鋼
耐火煉瓦、耐火キャスタブル	耐火物
炉底ダンパ	ステンレス鋼
炉底ダンパパッキン	ステンレス鋼
取付ボルト	炭素鋼
架台	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼

表2.2-2 高浜4号炉 雑固体焼却設備 雑固体焼却炉の使用条件

焼却容量	約75kg/h (雑固体) 約50kg/h (廃油)
最高使用圧力	大気圧
最高使用温度	約1,100℃
設置場所	屋内

## 2.2.2 1次セラミックフィルタおよび2次セラミックフィルタ

### (1) 構造

高浜4号炉の1次セラミックフィルタおよび2次セラミックフィルタは、たて置円筒形であり、各3台設置され、同構造である。

フィルタ外殻は炭素鋼であるが、内部は排ガスにより高温となるため、耐火煉瓦および耐火キャストブルを内張りしている。

内部には排ガスをろ過するためのフィルタエレメントが設置されている。

高浜4号炉の1次セラミックフィルタおよび2次セラミックフィルタの構造図を図2.2-2に示す。

### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の1次セラミックフィルタおよび2次セラミックフィルタの使用材料および使用条件を表2.2-3および表2.2-4に示す。

No.	部位
①	外殻
②	耐火煉瓦、耐火キャストブル
③	フィルタエレメント
④	支持プレート
⑤	ケーシングボルト
⑥	取付ボルト
⑦	架台
⑧	基礎ボルト

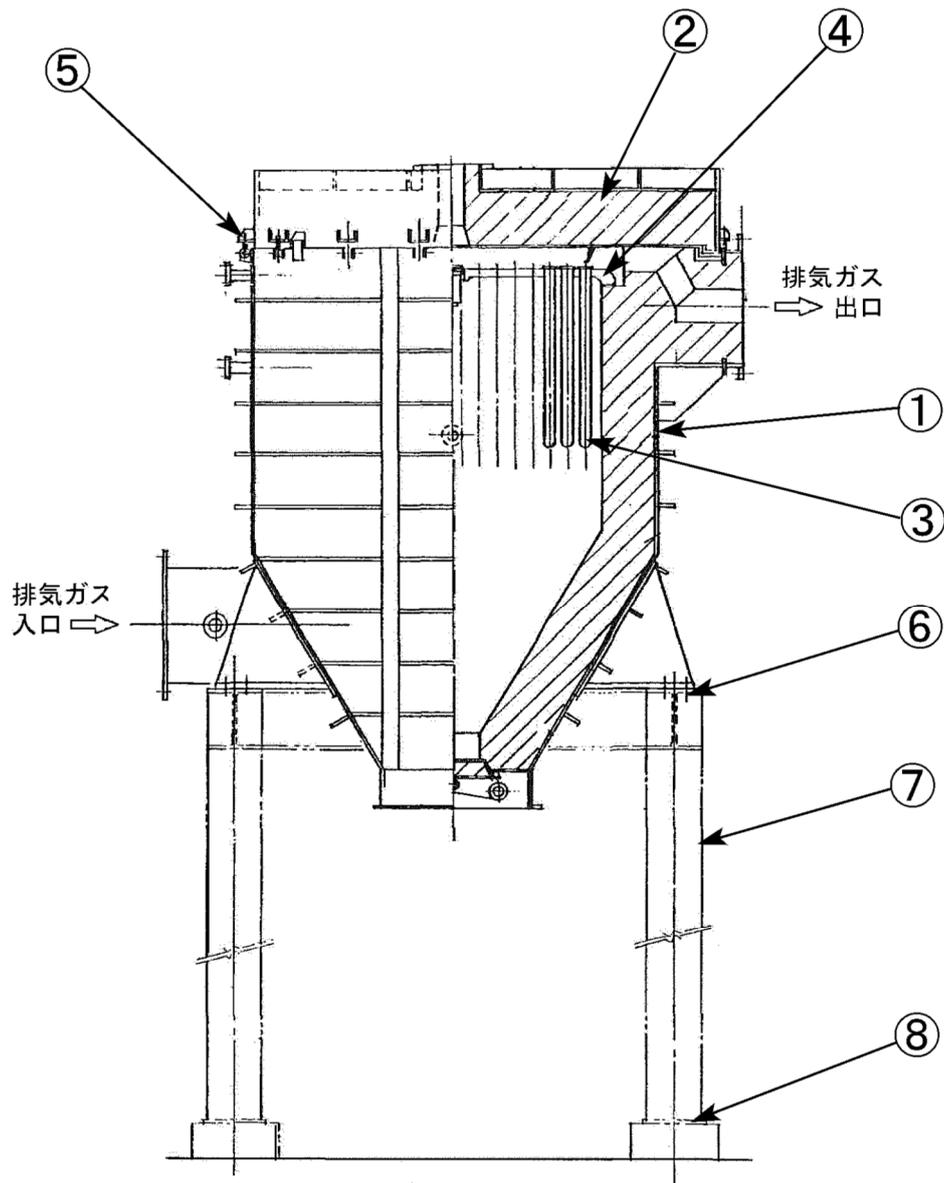


図2.2-2 高浜4号炉 雑固体焼却設備 1次セラミックフィルタ  
および2次セラミックフィルタ 構造図

表2.2-3 高浜4号炉 雑固体焼却設備 1次セラミックフィルタ  
および2次セラミックフィルタ主要部位の使用材料

部位	材料
外殻	炭素鋼
耐火煉瓦、耐火キャストブル	耐火物
フィルタエレメント	消耗品・定期取替品
支持プレート	消耗品・定期取替品
ケーシングボルト	炭素鋼
取付ボルト	炭素鋼
架台	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼

表2.2-4 高浜4号炉 雑固体焼却設備 1次セラミックフィルタ  
および2次セラミックフィルタの使用条件

	1次セラミックフィルタ	2次セラミックフィルタ
容量	700Nm <sup>3</sup> /h	700Nm <sup>3</sup> /h
最高使用圧力	大気圧	大気圧
最高使用温度	約950℃	約750℃
設置場所	屋内	屋内

### 2.2.3 炭素鋼配管

#### (1) 構造

高浜4号炉の雑固体焼却設備の排ガス系統には、耐火煉瓦および耐火キャストブルを内張りした炭素鋼配管を使用している。

炭素鋼配管の構造図を図2.2-3に示す。

#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の雑固体焼却設備の炭素鋼配管の使用材料および使用条件を表2.2-5および表2.2-6に示す。

No.	部位
①	配管
②	耐火煉瓦、耐火キャストブル
③	フランジボルト
④	ガスケット
⑤	伸縮継手

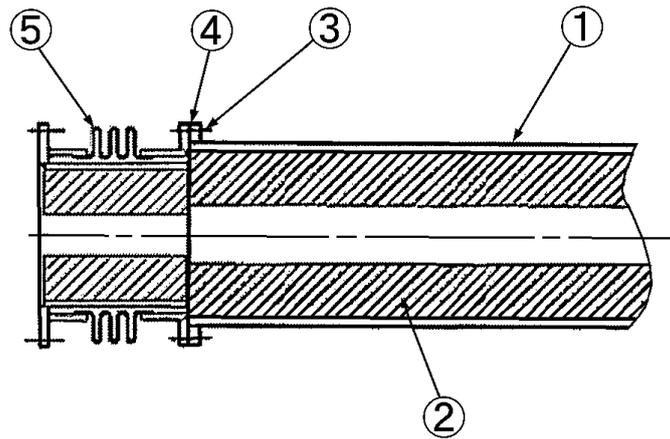


図2.2-3 高浜4号炉 雑固体焼却設備 炭素鋼配管 構造図

表2.2-5 高浜4号炉 雑固体焼却設備 炭素鋼配管の使用材料

部位	材料
配管	炭素鋼
耐火煉瓦、耐火キャストブル	耐火物
フランジボルト	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
伸縮継手	ステンレス鋼

表2.2-6 高浜4号炉 雑固体焼却設備 炭素鋼配管の使用条件

最高使用圧力	大気圧
最高使用温度*1	約1,000℃
設置場所	屋内

\*1：雑固体焼却炉～1次セラミックフィルタ間の最高使用温度を示す。

## 2.3 経年劣化事象の抽出

### 2.3.1 機能達成に必要な項目

雑固体焼却設備の機能である雑固体焼却機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 焼却、除塵機能の確保
- ② バウンダリの維持
- ③ 機器の支持

### 2.3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

雑固体焼却設備について機能達成に必要な項目を考慮して、主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（流体、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.3-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

### 2.3.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.3-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 雑固体焼却炉耐火煉瓦の減肉

高温で使用される雑固体焼却炉の耐火煉瓦は熔融・燃焼時の高温雰囲気下でハロゲンガス等による浸食減肉が想定される。

しかしながら、開放点検時の寸法計測および必要に応じて耐火煉瓦の張替により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 耐火煉瓦および耐火キャストブルの割れ

雑固体焼却炉、1次セラミックフィルタ、2次セラミックフィルタおよび炭素鋼配管には耐火煉瓦および耐火キャストブルが内張りされているが、起動・停止時の温度変化による割れが想定される。

しかしながら、開放点検時の目視確認および必要に応じて耐火煉瓦および耐火キャストブルの張替により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 炉外殻等の腐食（全面腐食）

雑固体焼却炉の炉外殻、1次セラミックフィルタ、2次セラミックフィルタの外殻および炭素鋼配管は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部の炉外殻等は耐熱塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

一方、内面については耐火煉瓦および耐火キャストブルが内張りされており、通常の使用条件では有意な腐食減肉は想定されないが、内面の耐火煉瓦および耐火キャストブルに減肉、割れ等が発生した状況では、腐食性ガス（HCl、SO<sub>x</sub>ほか）が炉外殻等まで侵入することにより、内面からの酸露点腐食が想定される。

しかしながら、開放点検時に炉外殻等の肉厚測定により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) 炉底ダンパパッキンの摩耗

炉底ダンパパッキンは、炉底ダンパを開閉することで炉底部と接触することから、シール面で摩耗が想定される。

しかしながら、炉底ダンパの開閉は焼却灰の取出時に限られることから、摩耗が急激に進行しがたく、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(5) 伸縮継手の応力腐食割れ

排ガス中には腐食性ガス（HCl、SO<sub>x</sub>ほか）が含まれており、内面の耐火煉瓦および耐火キャストブルに減肉、割れ等が発生した場合、伸縮継手のステンレス鋼の使用部位において応力腐食割れが想定される。

しかしながら、開放点検時の目視確認や試運転時の漏えい確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(6) ケーシングボルトおよびフランジボルトの腐食（全面腐食）

ケーシングボルトおよびフランジボルトは炭素鋼であり、フランジ面またはガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、巡視点検時等の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 架台および取付ボルトの腐食（全面腐食）

架台および取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(8) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、本評価書の「基礎ボルト」にてまとめて評価を実施する。

2.3.4 消耗品および定期取替品

フィルタエレメントおよびガスケットは開放点検時に取替える消耗品であり、支持プレートは目視確認や寸法計測の結果に基づき取替える消耗品である。いずれも長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.3-1(1/3) 高浜4号炉 雑固体焼却設備 雑固体焼却炉に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
焼却、除塵機能の確保	耐火煉瓦		耐火物							△ <sup>*1</sup> △ <sup>*2</sup>	*1：減肉 *2：割れ
	耐火キャスタブル		耐火物							△ <sup>*2</sup>	
バウンダリの維持	炉外殻		炭素鋼		△						
	炉底ダンパ		ステンレス鋼								
	炉底ダンパパッキン		ステンレス鋼	△							
機器の支持	取付ボルト		炭素鋼		△						
	架台		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.3-1(2/3) 高浜4号炉 雑固体焼却設備  
1次セラミックフィルタおよび2次セラミックフィルタに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食 割れ	熱時効	劣化		
焼却、除塵機能 の確保	耐火煉瓦		耐火物							△*1	*1：割れ
	耐火キャストブル		耐火物							△*1	
	フィルタエレメント	◎	—								
	支持プレート	◎	—								
バウンダリの 維持	外殻		炭素鋼		△						
	ケーシングボルト		炭素鋼		△						
機器の支持	取付ボルト		炭素鋼		△						
	架台		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.3-1(3/3) 高浜4号炉 雑固体焼却設備 炭素鋼配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食 割れ	熱時効	劣化		
焼却、除塵機能の 確保	耐火煉瓦		耐火物							△*1	*1：割れ
	耐火キャストブル		耐火物							△*1	
バウンダリの維持	配管		炭素鋼		△						
	フランジボルト		炭素鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	伸縮継手		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）

# 1 0 溶離廃液濃縮装置

[対象機器]

- ① 溶離廃液濃縮装置

## 目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 溶離廃液濃縮装置の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	10

1. 技術評価対象機器

高浜4号炉で使用されている溶離廃液濃縮装置の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 高浜4号炉 溶離廃液濃縮装置の主な仕様

機器名称(台数)	重要度*1	使用条件*2		
		運転状態	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
溶離廃液濃縮装置(1)	高*3	一時	約0.1	約120

\*1：機能は最上位の機能を示す。

\*2：蒸発器の使用条件を示す。

\*3：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

## 2. 溶離廃液濃縮装置の技術評価

### 2.1 構造、材料および使用条件

#### (1) 構造

高浜4号炉の溶離廃液濃縮装置は、溶離液（希硫酸）により廃樹脂から除去された放射性物質を含む廃液を、蒸発器内にて加熱によって水分を分離させ、濃縮廃液と蒸気に分ける機能を有している。

廃液を溶離濃縮する蒸発器、発生蒸気から凝縮水を凝縮回収するコンデンサ、非凝縮性ガスを冷却するベント冷却管、流体を循環するための濃縮液ポンプおよび配管から構成されている。

高浜4号炉の溶離廃液濃縮装置の全体構成図を図2.1-1に、各機器の構造図を図2.1-2～図2.1-5に示す。

#### (2) 材料および使用条件

高浜4号炉の溶離廃液濃縮装置の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

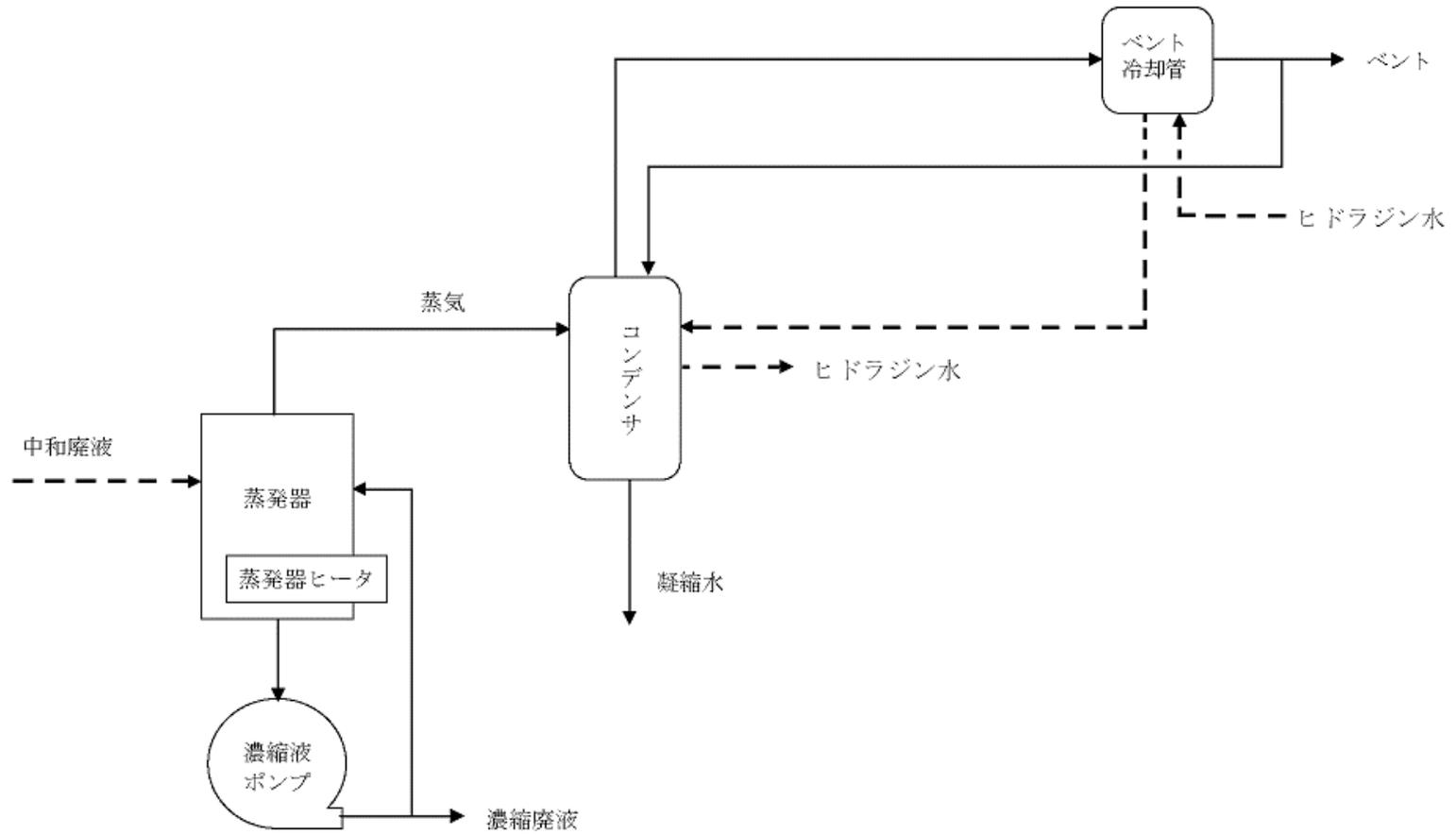


図2.1-1 高浜4号炉 溶離廃液濃縮装置 全体構成図

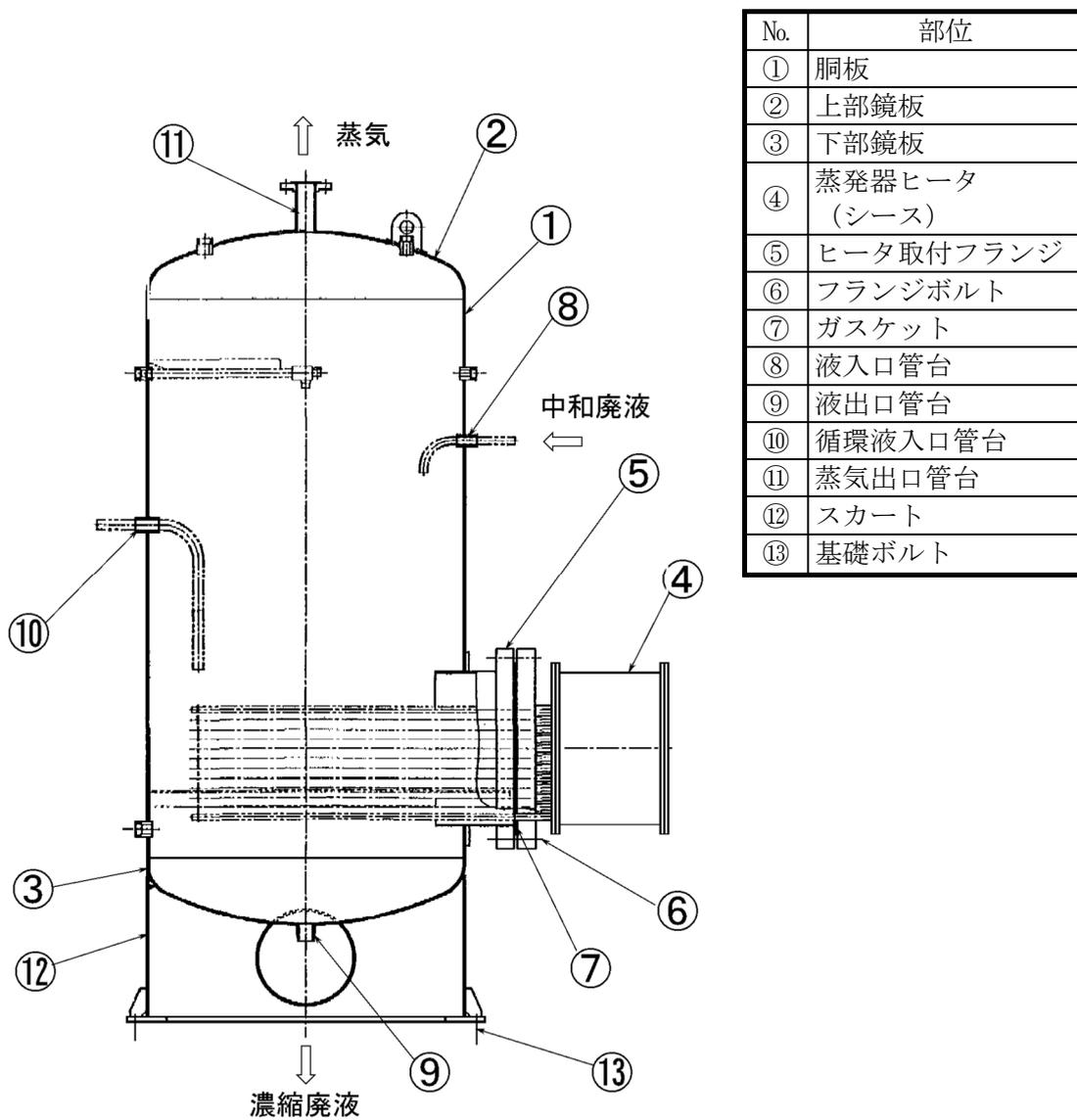
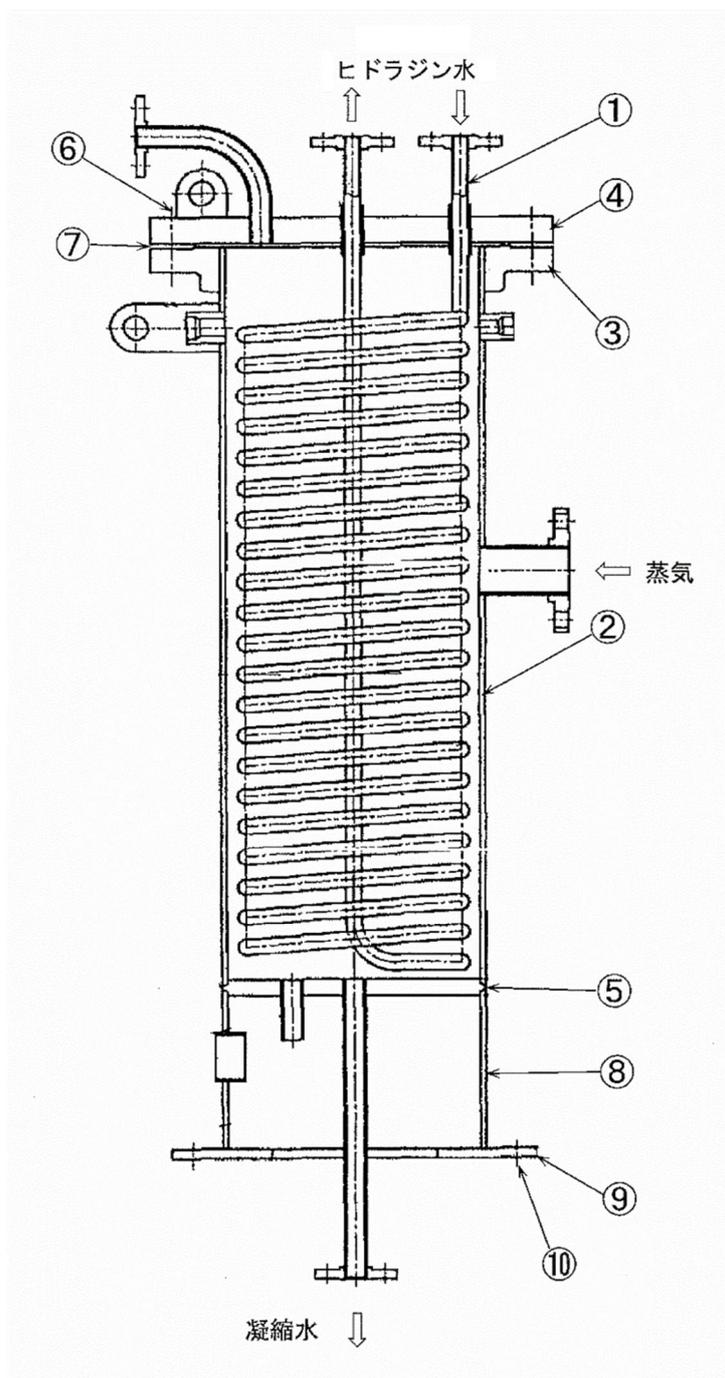


図2.1-2 高浜4号炉 溶離廃液濃縮装置 蒸発器 構造図



No.	部位
①	伝熱管
②	胴板
③	胴フランジ
④	上部平板
⑤	下部平板
⑥	フランジボルト
⑦	ガスケット
⑧	スカート
⑨	台板
⑩	取付ボルト

図2.1-3 高浜4号炉 溶離廃液濃縮装置 コンデンサ 構造図

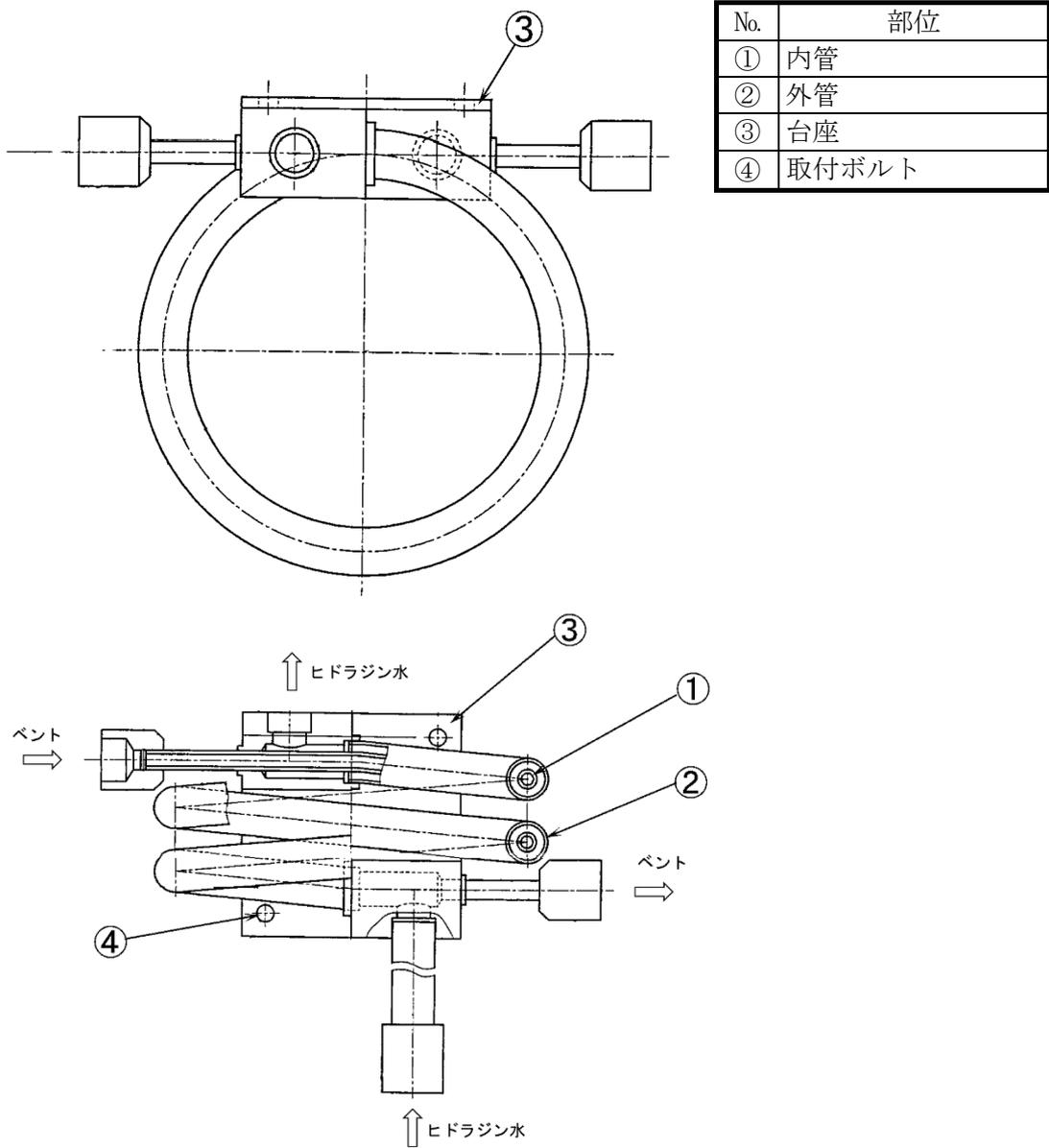


図2.1-4 高浜4号炉 溶離廃液濃縮装置 ベント冷却管 構造図

No.	部位
①	ケーシング
②	ケーシングボルト
③	ガスケット
④	メカニカルシール
⑤	主軸
⑥	羽根車
⑦	軸受 (すべり)
⑧	台板
⑨	取付ボルト
⑩	基礎ボルト

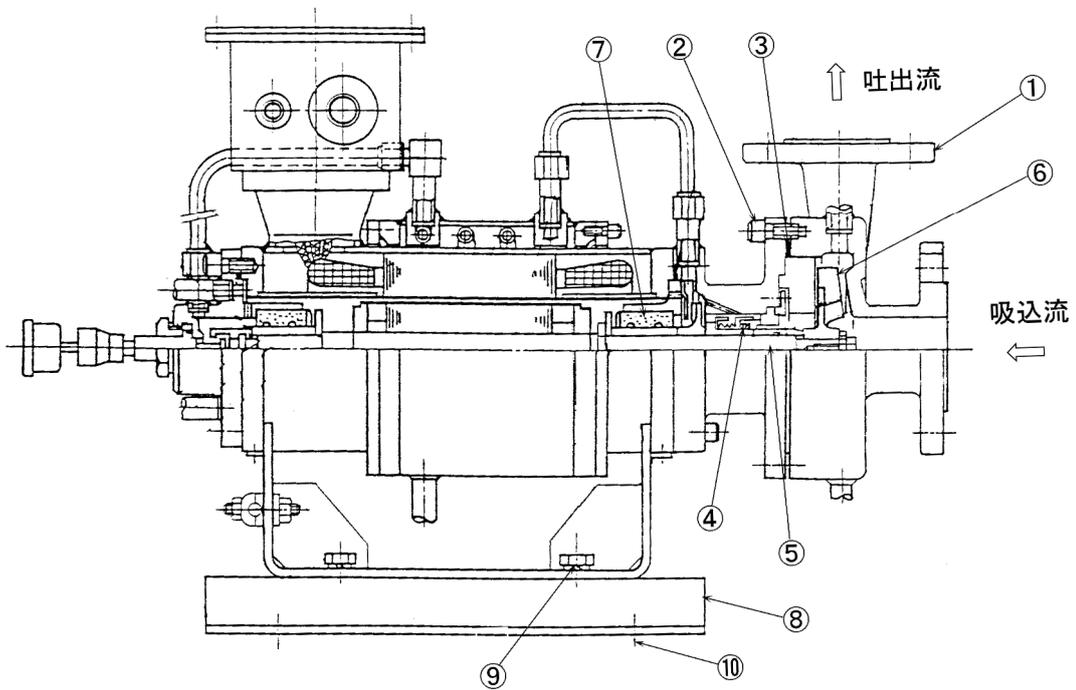


図2.1-5 高浜4号炉 溶離廃液濃縮装置 濃縮液ポンプ 構造図

表2.1-1 高浜4号炉 溶離廃液濃縮装置主要部位の使用材料

構成機器	部位	材料
蒸発器	胴板	耐食耐熱合金鋼
	上部鏡板、下部鏡板	耐食耐熱合金鋼
	ヒータ取付フランジ	耐食耐熱合金鋼、ステンレス鋼
	フランジボルト	低合金鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
	液入口管台	耐食耐熱合金鋼
	液出口管台	耐食耐熱合金鋼
	循環液入口管台	耐食耐熱合金鋼
	蒸気出口管台	耐食耐熱合金鋼
	蒸発器ヒータ（シース）	耐食耐熱合金鋼
	スカート	ステンレス鋼
	基礎ボルト	炭素鋼
コンデンサ	伝熱管	ステンレス鋼
	胴板	ステンレス鋼
	胴フランジ	ステンレス鋼
	上部平板	ステンレス鋼
	下部平板	ステンレス鋼
	フランジボルト	低合金鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
	スカート	ステンレス鋼
	台板	ステンレス鋼
	取付ボルト	炭素鋼
	ベント冷却管	内管
外管		ステンレス鋼
台座		ステンレス鋼
取付ボルト		炭素鋼
濃縮液ポンプ	ケーシング	耐食耐熱合金鋼
	ケーシングボルト	低合金鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
	メカニカルシール	消耗品・定期取替品
	主軸	耐食耐熱合金鋼
	羽根車	耐食耐熱合金鋼
	軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
	台板	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼
配管	母管（廃液系統）	耐食耐熱合金鋼
	母管（蒸気・凝縮水系統）	ステンレス鋼

表2.1-2(1/2) 高浜4号炉 溶離廃液濃縮装置の使用条件

構成機器	項目	管側	胴側
蒸発器	最高使用圧力	—	約0.1MPa[gage]
	最高使用温度	—	約120℃
	内部流体	—	廃液
コンデンサ	最高使用圧力	約1.0MPa[gage]	約0.1MPa[gage]
	最高使用温度	約95℃	約120℃
	内部流体	ヒドラジン水	蒸気、凝縮水
ベント冷却管	最高使用圧力	約0.1MPa[gage]	約1.0MPa[gage]
	最高使用温度	約120℃	約95℃
	内部流体	非凝縮性ガス、蒸気、凝縮水	ヒドラジン水

表2.1-2(2/2) 高浜4号炉 溶離廃液濃縮装置の使用条件

構成機器	項目	使用条件
濃縮液ポンプ	最高使用圧力	約1.0MPa[gage]
	最高使用温度	約120℃
	内部流体	廃液
配管（母管）	最高使用圧力	約1.0MPa[gage]
	最高使用温度	約120℃
	内部流体	廃液、蒸気、凝縮水

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

溶離廃液濃縮装置の機能である蒸発減容機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 蒸発濃縮機能の維持
- 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

溶離廃液濃縮装置について機能達成に必要な項目を考慮して、主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)または2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 蒸発器等耐食耐熱合金鋼使用部位の応力腐食割れ

蒸発器、濃縮液ポンプおよび配管の内部流体は濃縮廃液であり、蒸発器等の内部では廃液が蒸発濃縮することにより、塩化物イオン濃度が上昇することとなり、温度も高温となることから、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、蒸発器、濃縮液ポンプおよび配管の耐食耐熱合金鋼使用部位の応力腐食割れについては開放点検時または分解点検時に内面の目視確認や外面からの超音波探傷検査および試運転時の漏えい確認により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 伝熱管等の摩耗および高サイクル疲労割れ

コンデンサの伝熱管およびベント冷却管の内管は振動により摩耗および高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、伝熱管および内管は外表面の流体によって発生するカルマン渦による振動と共振せず、流力弾性振動も発生しない構造となっており、摩耗および高サイクル疲労割れが発生しがたい環境である。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機能確認時の目視確認や漏えい確認により、機器の健全性を確認している。

(3) 伝熱管等の腐食（流れ加速型腐食）

コンデンサの伝熱管およびベント冷却管の内管と外管には流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、耐流れ加速型腐食性に優れたステンレス鋼の伝熱管、内管および外管を使用しており、流れ加速型腐食の発生がしがたい環境である。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機能確認時の目視確認や漏えい確認により、機器の健全性を確認している。

(4) 主軸の摩耗

すべり軸受を使用しているポンプは軸受と主軸の接触面で摺動摩耗が想定される。

しかしながら、設計段階において主軸と軸受間に潤滑剤を供給し、膜を形成させて流体潤滑状態となるように考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(5) 主軸の高サイクル疲労割れ

ポンプ運転時には主軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下で繰返し応力を受けると、段付部等の応力集中部において高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、ポンプ設計時には高サイクル疲労を考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、巡視点検時の振動確認（通常運転時の振動状態と差異がないことの触診による確認）、試運転時における振動確認（変位、速度、加速度の測定等）ならびに分解点検時の応力集中部に対する目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(6) 羽根車の腐食（キャビテーション）

ポンプの内部では流速と圧力が場所により大きく変化するが、ある点の圧力がその液温における飽和蒸気圧まで低下すると、その部分の液体が沸騰し、蒸気泡の発生と崩壊が起こることが想定される。

しかしながら、キャビテーションを起こさない条件はポンプおよび機器配置設計段階において考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(7) フランジボルトおよびケーシングボルトの腐食（全面腐食）

フランジボルトおよびケーシングボルトは低合金鋼であり、ガスケットからの漏えいにより、内部流体によるボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理により漏えい防止を図っており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、巡視点検等の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(8) 台板および取付ボルトの腐食（全面腐食）

台板および取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(9) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、本評価書の「基礎ボルト」にてまとめて評価を実施する。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(10) 伝熱管等のスケール付着

コンデンサ伝熱管の胴側、管側およびベント冷却管の外管、内管は内部流体の不純物持ち込みによるスケール付着が発生し、伝熱性能に影響を及ぼすことが想定される。

しかしながら、内部流体は非凝縮性ガス、蒸気、凝縮水またはヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、適切な水質管理により不純物の流入は抑制されており、スケール付着による伝熱性能低下が発生しがたい環境であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

#### 2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットおよびメカニカルシールは開放点検時または分解点検時に取替える消耗品であり、軸受（すべり）は分解点検時に目視確認や寸法計測の結果に基づき取替える消耗品である。いずれも、長期使用はせず取替を前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/5) 高浜4号炉 溶離廃液濃縮装置 蒸発器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
蒸発濃縮機能の維持	蒸発器ヒータ(シース)		耐食耐熱合金鋼				△				
バウンダリの維持	胴板		耐食耐熱合金鋼				△				
	上部鏡板、下部鏡板		耐食耐熱合金鋼				△				
	ヒータ取付フランジ		耐食耐熱合金鋼								
			ステンレス鋼								
	フランジボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	液入口管台		耐食耐熱合金鋼				△				
	液出口管台		耐食耐熱合金鋼				△				
	循環液入口管台		耐食耐熱合金鋼				△				
蒸気出口管台		耐食耐熱合金鋼				△					
機器の支持	スカート		ステンレス鋼								
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/5) 高浜4号炉 溶離廃液濃縮装置 コンデンサに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
蒸発濃縮機能の維持	伝熱管		ステンレス鋼	△*1	△*2	△*1				▲*3	*1：摩耗・高サイクル疲労割れ *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着
バウンダリの維持	胴板		ステンレス鋼								
	胴フランジ		ステンレス鋼								
	上部平板、下部平板		ステンレス鋼								
	フランジボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
機器の支持	スカート		ステンレス鋼								
	台板		ステンレス鋼								
	取付ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(3/5) 高浜4号炉 溶離廃液濃縮装置 ベント冷却管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
蒸発濃縮機能の維持	内管		ステンレス鋼	△*1	△*2	△*1				▲*3	*1：摩耗・高サイクル疲労割れ *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着
バウンダリの維持	外管		ステンレス鋼		△*2						
機器の支持	台座		ステンレス鋼								
	取付ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(4/5) 高浜4号炉 溶離廃液濃縮装置 濃縮液ポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
蒸発濃縮機能の維持	主軸		耐食耐熱合金鋼	△		△*1	△			*1：高サイクル疲労割れ *2：キャビテーション	
	羽根車		耐食耐熱合金鋼		△*2		△				
	軸受(すべり)	◎	—								
バウンダリの維持	ケーシング		耐食耐熱合金鋼				△				
	ケーシングボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
	メカニカルシール	◎	—								
機器の支持	台板		炭素鋼		△						
	取付ボルト		炭素鋼		△						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(5/5) 高浜4号炉 溶離廃液濃縮装置 配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考
				減肉		割れ		材質変化		その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	母管（廃液系統）		耐食耐熱合金鋼				△				
	母管（蒸気・凝縮水系統）		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）

# 1 1 基礎ボルト

[評価対象]

- ① スタッドボルト
- ② メカニカルアンカ
- ③ ケミカルアンカ

## 目次

1. はじめに .....	1
2. 基礎ボルトの技術評価 .....	2
2.1 構造、材料および使用環境 .....	2
2.2 経年劣化事象の抽出 .....	18

## 1. はじめに

本項では、各機器の技術評価書で抽出された基礎ボルトの評価をまとめて記載している。各機器の基礎ボルトの使用環境および機器支持位置等の詳細については、各機器の技術評価書を参照のこと。

## 2. 基礎ボルトの技術評価

### 2.1 構造、材料および使用環境

高浜4号炉で使用されている基礎ボルトの主な仕様を表2.1-1に示す。

これらの基礎ボルトについては、型式毎に各々対象とし、技術評価を実施する。

表2.1-1 高浜4号炉 基礎ボルトの主な仕様

型式	仕様
スタッドボルト	ベースプレートに取り付けた炭素鋼または低合金鋼製のボルトをあらかじめ、コンクリート基礎に埋設しているもので、主として大型機器や機械振動を考慮するような機器の支持に用いている。
メカニカルアンカ	施工後の基礎に穿孔し、炭素鋼製のテーパボルトにより、炭素鋼製のシールドをコンクリートに打ち込むもので、主として小口径の配管や盤等の機器の支持に用いている。
ケミカルアンカ	施工後の基礎に穿孔し、炭素鋼、低合金鋼およびステンレス鋼製のアンカボルトを樹脂（不飽和ポリエステル樹脂、ビニルエステル樹脂、ビニルウレタン樹脂、エポキシ樹脂）で固定しているもので、主として小口径の配管や盤等の機器の支持に用いている。

また、各機器に使用している基礎ボルトの代表的な構造図を図2.1-1～図2.1-3に、使用材料を表2.1-2～表2.1-4に、設置場所およびボルト型式を表2.1-5に示す。

No.	部位
①	スタッドボルト

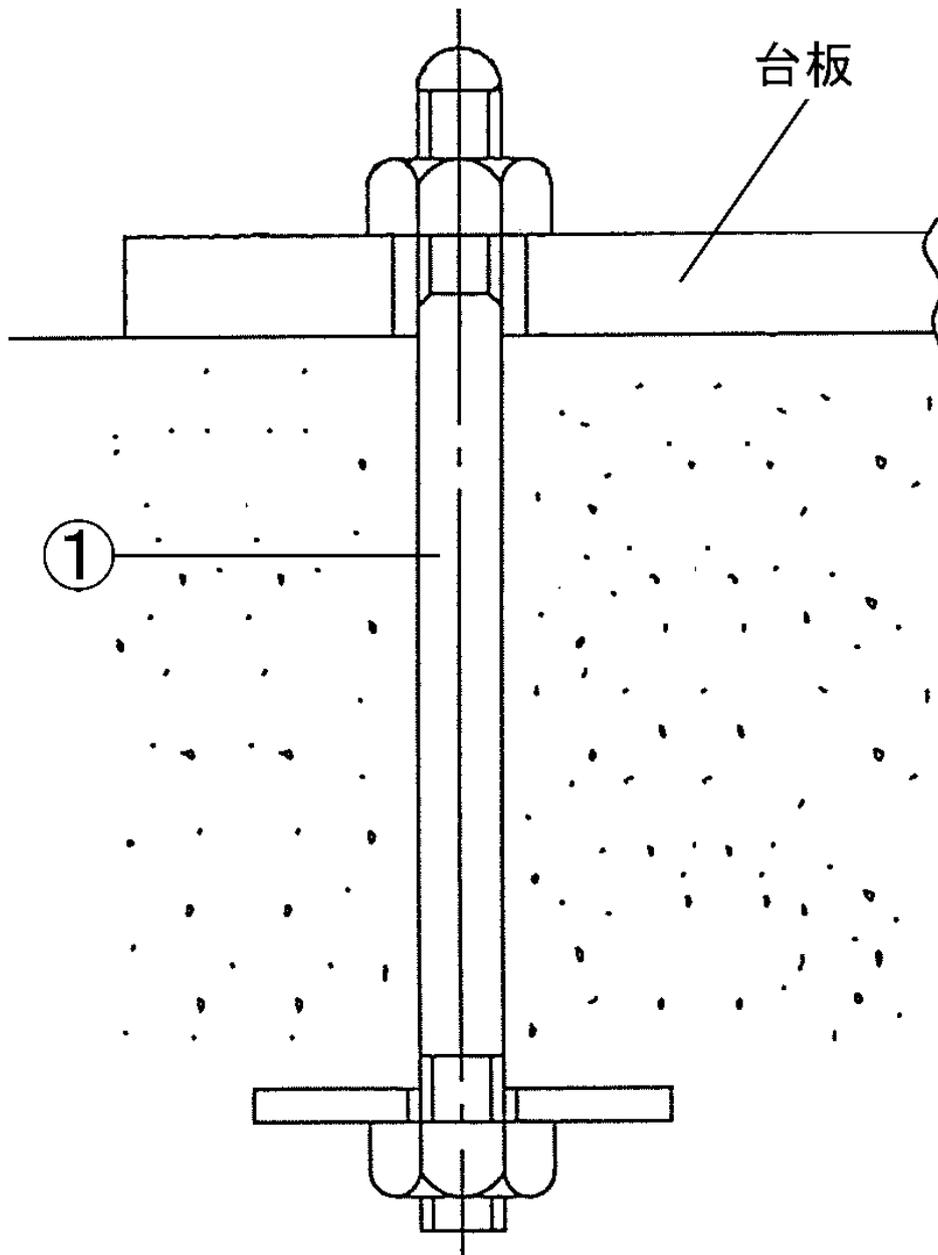


図2.1-1(1/2) 高浜4号炉 スタッドボルト構造図

No.	部位
①	スタッドボルト

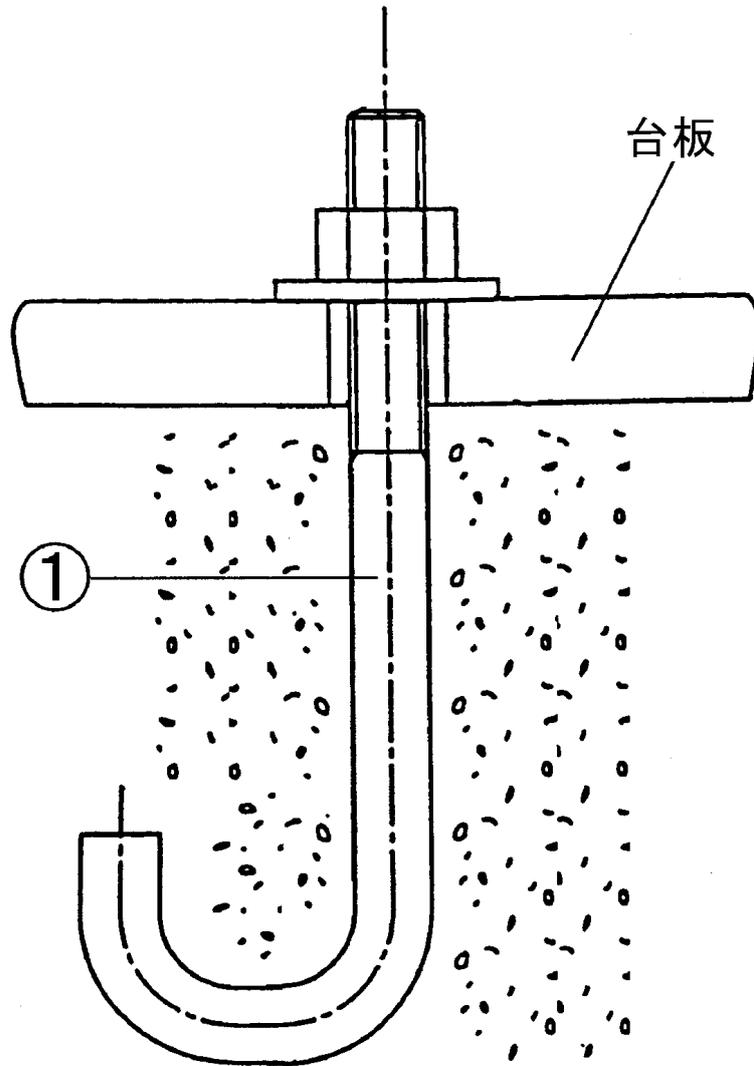


図2. 1-1(2/2) 高浜4号炉 スタッドボルト構造図 (先端曲げ加工の例)

表2.1-2 高浜4号炉 スタッドボルトの使用材料

部位	材料
スタッドボルト	炭素鋼 低合金鋼

No.	部位
①	テーパボルト
②	シールド

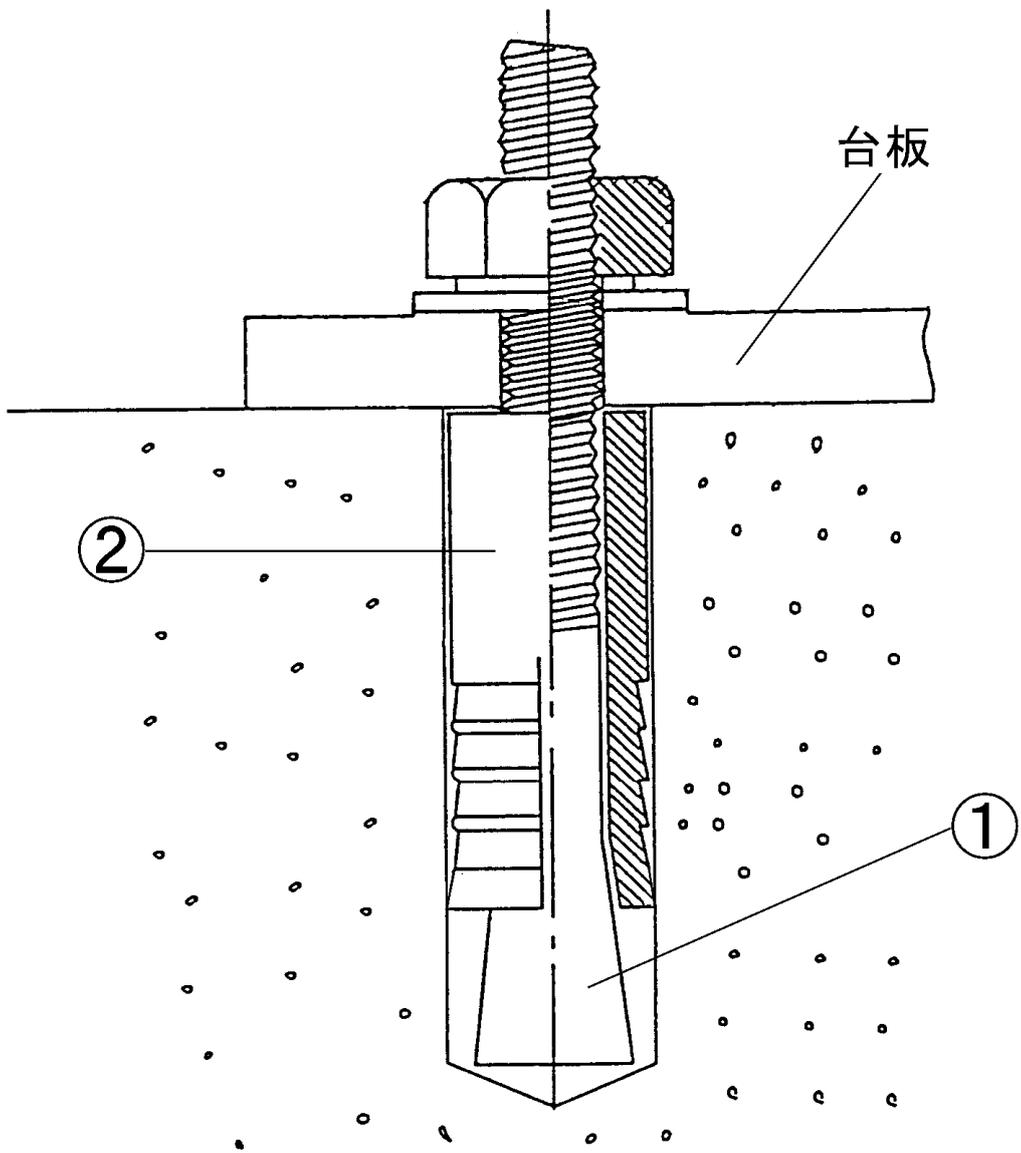


図2.1-2 高浜4号炉 メカニカルアンカ構造図

表2.1-3 高浜4号炉 メカニカルアンカの使用材料

部位	材料
テーパボルト	炭素鋼
シールド	炭素鋼

No.	部位
①	樹脂
②	アンカボルト

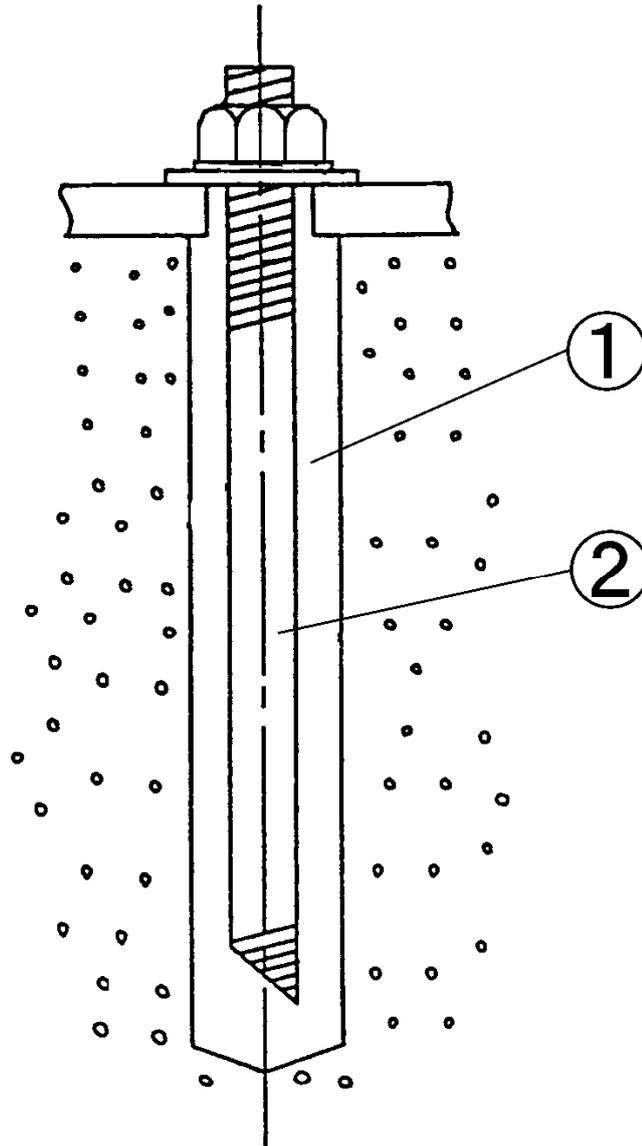


図2.1-3 高浜4号炉 ケミカルアンカ構造図

表2.1-4 高浜4号炉 ケミカルアンカの使用材料

部位	材料
樹脂	不飽和ポリエステル樹脂 ビニルエステル樹脂 ビニルウレタン樹脂 エポキシ樹脂
アンカボルト	炭素鋼、低合金鋼、ステンレス鋼

表2.1-5 (1/8) 高浜4号炉 基礎ボルト評価対象一覧

機種名	区分	機器名称	設置場所		ボルト型式
			屋内	屋外	
ポンプ	ターボポンプ	充てん/高圧注入ポンプ	○		スタッドボルト
		ほう酸ポンプ	○		スタッドボルト
		格納容器スプレイポンプ	○		スタッドボルト
		余熱除去ポンプ	○		スタッドボルト
		恒設代替低圧注水ポンプ	○		ケミカルアンカ
		原子炉補機冷却水ポンプ	○		スタッドボルト
		補助蒸気ドレンタンクポンプ	○		スタッドボルト
		タービン動補助給水ポンプ	○		スタッドボルト
		電動補助給水ポンプ	○		スタッドボルト
		タービン動主給水ポンプ	○		スタッドボルト
		電動主給水ポンプ	○		スタッドボルト
		タービン動主給水プースタポンプ	○		スタッドボルト
		電動主給水プースタポンプ	○		スタッドボルト
		復水プースタポンプ	○		スタッドボルト
		スチームコンバータ給水ポンプ	○		スタッドボルト
		第1段湿分分離加熱器ドレンポンプ	○		スタッドボルト
		湿分分離器ドレンポンプ	○		スタッドボルト
		低圧給水加熱器ドレンポンプ	○		スタッドボルト
熱交換器	多管円筒形熱交換器	再生熱交換器	○		スタッドボルト
		余熱除去冷却器	○		スタッドボルト
		封水冷却器	○		スタッドボルト
		非再生冷却器	○		スタッドボルト
		格納容器スプレイ冷却器	○		スタッドボルト
		余剰抽出水冷却器	○		スタッドボルト
		スチームコンバータドレンクーラ	○		スタッドボルト
		スチームコンバータ本体	○		スタッドボルト

表2.1-5 (2/8) 高浜4号炉 基礎ボルト評価対象一覧

機種名	区分	機器名称	設置場所		ボルト型式
			屋内	屋外	
熱交換器	多管円筒形熱交換器	原子炉補機冷却水冷却器	○		スタッドボルト
		グラウンド蒸気復水器	○		スタッドボルト
	サンプルクーラ	Bサンプル冷却器	○		メカニカルアンカ
		Cサンプル冷却器	○		メカニカルアンカ
		蒸気発生器ブローダウンサンプルクーラ	○		メカニカルアンカ
		Aガスサンプル冷却器	○		メカニカルアンカ
ポンプモータ	高圧ポンプモータ	充てん/高圧注入ポンプモータ	○		スタッドボルト
容器	補機タンク	蓄圧タンク	○		スタッドボルト
		ほう酸注入タンク	○		スタッドボルト
		体積制御タンク	○		スタッドボルト
		ほう酸タンク	○		スタッドボルト
		燃料取替用水タンク	○		スタッドボルト
		ガス減衰タンク	○		スタッドボルト
		水素再結合ガス減衰タンク	○		スタッドボルト
		よう素除去薬品タンク	○		スタッドボルト
		補助蒸気ドレンタンク	○		スタッドボルト
		スチームコンバータ給水タンク	○		スタッドボルト
		スチームコンバータドレンタンク	○		スタッドボルト
		復水タンク		○	スタッドボルト
	フィルタ	ほう酸フィルタ	○		スタッドボルト
		冷却材フィルタ	○		スタッドボルト
		封水注入フィルタ	○		スタッドボルト
		封水フィルタ	○		スタッドボルト
		冷却材脱塩塔入口フィルタ	○		スタッドボルト

表2.1-5 (3/8) 高浜4号炉 基礎ボルト評価対象一覧

機種名	区分	機器名称	設置場所		ボルト型式
			屋内	屋外	
容器	脱塩塔	冷却材混床式脱塩塔	○		スタッドボルト
		冷却材陽イオン脱塩塔	○		スタッドボルト
		熱再生イオン交換器	○		スタッドボルト
配管	配管サポート	配管サポート	○	○	スタッドボルト メカニカルアンカ ケミカルアンカ
弁	特殊弁	主蒸気止め弁	○		スタッドボルト
ケーブル	ケーブルトレイ等	ケーブルトレイ	○	○	メカニカルアンカ
		電線管	○	○	メカニカルアンカ
	ケーブル接続部	気密端子箱接続	○		メカニカルアンカ
電気設備	メタルクラッド開閉装置 (メタクラ)	空冷式非常用発電装置中継・ 接続盤		○	ケミカルアンカ
		号機間融通用高圧ケーブル コネクタ盤	○		メカニカルアンカ
		号機間融通用高圧ケーブル 接続盤	○		メカニカルアンカ
		可搬式代替電源用接続盤ー 1、2	○		ケミカルアンカ
		代替所内電気設備高圧ケーブル 分岐盤	○		メカニカルアンカ
		代替所内電気設備高圧ケーブル コネクタ接続盤	○		メカニカルアンカ
		代替所内電気設備高圧ケーブル 接続盤	○		メカニカルアンカ
	動力変圧器	代替所内電気設備変圧器	○		ケミカルアンカ
	コントロールセンタ	可搬式整流器用分電盤	○		ケミカルアンカ
		代替所内電気設備分電盤	○		ケミカルアンカ
		A・C計器用電源用代替所内 電気設備切換盤	○		ケミカルアンカ
B・D計器用電源用代替所内 電気設備切換盤		○		ケミカルアンカ	

表2.1-5 (4/8) 高浜4号炉 基礎ボルト評価対象一覧

機種名	区分	機器名称	設置場所		ボルト型式	
			屋内	屋外		
タービン設備	高圧タービン	高圧タービン	○		スタッドボルト	
	低圧タービン	低圧タービン	○		スタッドボルト	
	タービン調速装置	高圧油供給装置	○		スタッドボルト	
		高圧油供給装置アキュムレータ	○		スタッドボルト	
	タービン動主給水ポンプ 蒸気タービン	タービン動主給水ポンプ蒸気タービン	○		スタッドボルト	
計測制御設備	プロセス計測制御設備		○		メカニカルアンカ	
	プロセス計測制御設備				ケミカルアンカ	
	プロセス計測制御設備				スタッドボルト	
	制御設備	保護・シーケ ンス盤、 リレーラック	原子炉安全保護盤	○		スタッドボルト
			安全保護系補助リレーラック	○		スタッドボルト
			1次系補助リレーラック	○		スタッドボルト
			A T W S 緩和設備	○		スタッドボルト
	監視・操作 盤、通信設備	中央制御室外原子炉停止盤	○		スタッドボルト	
		使用済燃料ピット監視カメラ	○		メカニカルアンカ	
		S P D S 関連設備	○		メカニカルアンカ	
		統合原子力防災ネットワーク	○		メカニカルアンカ	
		衛星電話	○		メカニカルアンカ ケミカルアンカ	
		津波監視カメラ	○		ケミカルアンカ	
		制御盤	ディーゼル発電機制御盤	○		スタッドボルト
	制御用空気圧縮機盤	○		スタッドボルト		
	空調用冷凍機制御盤	○		スタッドボルト		
	タービン動補助給水ポンプ盤	○		スタッドボルト		

表2.1-5 (5/8) 高浜4号炉 基礎ボルト評価対象一覧

機種名	区分	機器名称	設置場所		ボルト型式
			屋内	屋外	
空調設備	ファン	安全補機開閉器室空調ファン	○		スタッドボルト
		安全補機開閉器室循環ファン	○		スタッドボルト
		中間建屋給気ファン	○		スタッドボルト
		中間建屋排気ファン	○		スタッドボルト
		中央制御室空調ファン	○		スタッドボルト
		アニュラス空気浄化ファン	○		スタッドボルト
		中央制御室非常用循環ファン	○		スタッドボルト
		安全補機室空気浄化ファン	○		スタッドボルト
		中央制御室循環ファン	○		スタッドボルト
		配管貫通部冷却ファン	○		スタッドボルト
	空調ユニット	安全補機室空気浄化フィルタユニット	○		スタッドボルト
		アニュラス空気浄化フィルタユニット	○		スタッドボルト
		中央制御室空調ユニット	○		スタッドボルト
		安全補機開閉器室空調ユニット	○		スタッドボルト
		中央制御室非常用循環フィルタユニット	○		スタッドボルト
		中間建屋給気ユニット	○		スタッドボルト
		充てん/高圧注入ポンプ室冷却ユニット	○		スタッドボルト
		配管貫通部冷却ユニット	○		スタッドボルト
	冷凍機	チラーユニット	○		スタッドボルト
		冷水ポンプ	○		スタッドボルト
		格納容器再循環ユニット	○		スタッドボルト ケミカルアンカ

表2.1-5 (6/8) 高浜4号炉 基礎ボルト評価対象一覧

機種名	区分	機器名称	設置場所		ボルト型式
			屋内	屋外	
機械設備	重機器サポート	原子炉容器サポート	○		スタッドボルト
		蒸気発生器サポート	○		スタッドボルト
		1次冷却材ポンプサポート	○		スタッドボルト
		加圧器サポート	○		スタッドボルト
	空気圧縮装置	格納容器外制御用空気圧縮装置 格納容器外制御用空気圧縮機本体	○		スタッドボルト
		格納容器外制御用空気圧縮装置 格納容器外制御用空気圧縮機モータ	○		スタッドボルト
		格納容器外制御用空気圧縮装置 格納容器外制御用後置冷却器	○		スタッドボルト
		格納容器外制御用空気圧縮装置 格納容器外制御用空気だめ	○		スタッドボルト
		格納容器外制御用空気圧縮装置 格納容器外制御用空気乾燥器	○		スタッドボルト
		格納容器内制御用空気圧縮装置	○		スタッドボルト
		非常用ディーゼル発電機起動用 空気圧縮機	○		スタッドボルト
		Aガスサンプリング圧縮装置	○		スタッドボルト
	燃料取扱設備	使用済燃料ピットクレーン	○		スタッドボルト
		新燃料ラック	○		スタッドボルト
	濃縮減容設備	廃液蒸発装置蒸発器	○		スタッドボルト
		廃液蒸発装置精留塔	○		スタッドボルト
		廃液蒸発装置コンデンサ	○		スタッドボルト
		廃液蒸発装置濃縮液ポンプ	○		スタッドボルト
		廃液蒸発装置蒸留水ポンプ	○		スタッドボルト
		ほう酸回収装置	○		スタッドボルト

表2.1-5 (7/8) 高浜4号炉 基礎ボルト評価対象一覧

機種名	区分	機器名称	設置場所		ボルト型式
			屋内	屋外	
機械設備	アスファルト固化設備	アスファルト固化設備 固化混合蒸発機	○		スタッドボルト
		アスファルト固化設備 固化装置熱媒ポンプ	○		スタッドボルト
		アスファルト固化設備 固化装置熱媒加熱器	○		スタッドボルト
		アスファルト固化設備 固化装置熱媒冷却器	○		スタッドボルト
		アスファルト固化設備 固化装置熱媒サージタンク	○		スタッドボルト
		アスファルト固化設備 アスファルト固化装置軸封油 タンク	○		スタッドボルト
		水素再結合装置	水素再結合装置	○	
		原子炉格納容器水素燃焼装置	○		メカニカルアンカ
	雑固体焼却設備	雑固体焼却炉	○		スタッドボルト
		1次セラミックフィルタおよ び2次セラミックフィルタ	○		スタッドボルト
	溶離廃液濃縮装置	蒸発器	○		スタッドボルト
		濃縮液ポンプ	○		スタッドボルト

表2.1-5 (8/8) 高浜4号炉 基礎ボルト評価対象一覧

機種名	区分	機器名称	設置場所		ボルト型式	
			屋内	屋外		
電源設備	ディーゼル発電機	ディーゼル発電機	○		スタッドボルト	
	ディーゼル機関	ディーゼル機関	○		スタッドボルト	
	非常用ディーゼル 機関付属設備	燃料弁冷却水ポンプ	燃料弁冷却水ポンプ	○		スタッドボルト
		燃料油移送ポンプ	燃料油移送ポンプ	○		スタッドボルト
		清水冷却器	清水冷却器	○		スタッドボルト
		燃料弁冷却水冷却器	燃料弁冷却水冷却器	○		スタッドボルト
		潤滑油冷却器	潤滑油冷却器	○		スタッドボルト
		清水加熱器	清水加熱器	○		スタッドボルト
		潤滑油タンク	潤滑油タンク	○		スタッドボルト
		起動用空気だめ	起動用空気だめ	○		スタッドボルト
		燃料油貯油槽	燃料油貯油槽	○		スタッドボルト
		潤滑油主こし器	潤滑油主こし器	○		スタッドボルト
		燃料油第1こし器	燃料油第1こし器	○		スタッドボルト
		燃料油第2こし器	燃料油第2こし器	○		スタッドボルト
		直流電源設備	蓄電池 (3系統目)	蓄電池 (3系統目)	○	
	直流分電盤		直流分電盤	○		メカニカルアンカ
	充電器 (3系統目蓄電池用)		充電器 (3系統目蓄電池用)	○		スタッドボルト
	計器用電源設備	安全系インバータ	安全系インバータ	○		スタッドボルト
	制御棒駆動装置用 電源設備	原子炉トリップ遮断器盤	原子炉トリップ遮断器盤	○		スタッドボルト

## 2.2 経年劣化事象の抽出

### 2.2.1 機能達成に必要な項目

基礎ボルトの機能である自重および地震時荷重を支持するためには、次の項目が必要である。

#### ① 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

各機器の基礎ボルトについて、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

### 2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)に該当する事象または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

#### (1) 大気接触部の腐食（塗装あり部）（全面腐食） [共通]

基礎ボルトは炭素鋼または低合金鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 大気接触部の腐食（塗装なし部）（全面腐食）〔屋外の基礎ボルト共通〕

コンクリート直上部は、大気接触部であり、基礎ボルトには、炭素鋼または低合金鋼を使用していることから、腐食を起こす可能性があり、その場合には、基礎ボルトの腐食減肉により支持機能の低下が懸念される。

また、メカニカルアンカの場合、コンクリートに埋設されているテーパボルトとシールドには大気に接触している部分があるため、シールドおよびテーパボルトの腐食の進行により支持機能の低下が懸念される。

しかしながら、60年時点での推定腐食量を考慮した健全性評価の結果、機器の支持機能が喪失する可能性は低い。

また、巡視点検で目視により異常のないことを確認し、機器の健全性を確認している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 大気接触部の腐食（塗装なし部）（全面腐食）〔屋内の基礎ボルト共通〕

基礎ボルトは炭素鋼または低合金鋼であり、コンクリート直上部等は大気接触部であることから腐食が想定される。

しかしながら、基礎ボルト代表箇所のナットを取外してコンクリート直上部の大気接触部を目視確認したところ腐食は認められていない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、巡視点検で目視により異常のないことを確認し、機器の健全性を確認している。

前述の2)に該当する事象のうち、日常劣化管理事象を除く事象（日常劣化管理事象ではない事象）を以下に示す。

(4) コンクリート埋設部の腐食（全面腐食）〔共通〕

コンクリート埋設部では、コンクリートの大気接触部表面からの中性化の進行により腐食環境となるが、コンクリートが中性化に至り、埋込金物に有意な腐食が発生するまで長期間を要することから、腐食が進行して基礎ボルトの健全性を阻害する可能性は小さいと考える。

ケミカルアンカのアンカボルトはコンクリート埋設部のボルト本体が樹脂に覆われているため、腐食の発生の可能性は小さい。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) 機器支持部の疲労割れ [共通]

基礎ボルトは、プラントの起動・停止時等の熱過渡により、疲労割れが想定される。

しかしながら、熱応力が大きく付与する機器には、熱応力が基礎ボルトに直接付与されないサポート（オイルスナバ、メカニカルスナバ、スライドサポート）を使用している。さらに、これまで基礎ボルトの疲労割れによる不適合事象は経験していない。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(6) 基礎ボルトの付着力の低下 [共通]

基礎ボルト（特に先端を曲げ加工しているスタッドボルト）の耐力は主にコンクリートとの付着力に担保されることから付着力低下を起こした場合、支持機能の喪失が想定される。

しかしながら、これについては「コンクリート構造物および鉄骨構造物の技術評価書」にて健全性評価を実施しており、付着力低下につながるコンクリートの割れ等の発生の可能性は小さいと考えられることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(7) ケミカルアンカ樹脂の劣化 [ケミカルアンカ]

ケミカルアンカは樹脂とコンクリートおよびアンカボルトの接着性により強度を維持しているものであり、樹脂が劣化した場合、接着性が低下し、支持機能への影響が想定される。

しかしながら、メーカー試験や実機調査での引抜試験結果から有意な引抜力の低下は認められていない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

表2.2-1(1/3) 高浜4号炉 スタッドボルトに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		材質変化		その他		
				摩耗	腐食	疲労 割れ	応力腐 食割れ	熱時効	劣化			
機器の支持	スタッドボルト		炭素鋼、 低合金鋼		△*1 △*2 △*3 ▲*4	▲					▲*5	*1：大気接触部（基礎ボルト塗装あり部） *2：大気接触部（屋外基礎ボルト塗装なし部） *3：大気接触部（屋内基礎ボルト塗装なし部） *4：コンクリート埋設部 *5：付着力低下

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(2/3) 高浜4号炉 メカニカルアンカに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		材質変化		その他		
				摩耗	腐食	疲労 割れ	応力腐 食割れ	熱時効	劣化			
機器の支持	テーパボルト		炭素鋼		△ <sup>*1</sup> △ <sup>*2</sup> △ <sup>*3</sup>	▲						*1：大気接触部（基礎ボルト 塗装あり部） *2：大気接触部（屋外基礎ボ ルト塗装なし部） *3：大気接触部（屋内基礎ボ ルト塗装なし部）
	シールド		炭素鋼		△ <sup>*2</sup> △ <sup>*3</sup> ▲ <sup>*4</sup>	▲					▲ <sup>*5</sup>	*4：コンクリート埋設部 *5：付着力低下

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-1(3/3) 高浜4号炉 ケミカルアンカに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労 割れ	応力腐 食割れ	熱時効	劣化		
機器の支持	樹脂		不飽和ポリエステル樹脂、ビニルエステル樹脂、ビニルウレタン樹脂、エポキシ樹脂						▲		*1：大気接触部（基礎ボルト塗装あり部） *2：大気接触部（屋外基礎ボルト塗装なし部） *3：大気接触部（屋内基礎ボルト塗装なし部） *4：コンクリート埋設部 *5：付着力低下
	アンカボルト		炭素鋼、低合金鋼、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ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）