

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

(1) 上部炉心支持柱等のステンレス鋼の応力腐食割れ

ステンレス鋼の上部炉心支持柱等は、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、PWRプラントの1次冷却材の水質は、溶存酸素濃度5ppb以下に管理しており、ステンレス鋼の応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

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

なお、水中テレビカメラによる目視確認により、機器の健全性を確認している。

(2) 上部炉心支持柱等の高サイクル疲労割れ

炉内構造物のうち、1次冷却材高速流れにさらされている下部炉内構造物の炉心槽、上部炉内構造物の上部炉心支持柱と制御棒クラスタ案内管において、流体によるランダム振動が発生し、上部炉心支持柱と制御棒クラスタ案内管に繰り返し応力が生じることから、高サイクル疲労割れが発生する可能性が考えられる。

しかしながら、3ループプラントを対象に1/5スケールモデルを用いた流動試験結果をもとに川内2号炉について評価した結果、高サイクル疲労に対して問題ないことを確認している。

また、1999年7月に敦賀2号炉の再生熱交換器連絡管において、温度の異なる1次冷却材の合流による温度ゆらぎ（サーマルストライピング）が生じ、高サイクル熱疲労による疲労割れが発生しているが、炉内構造物において温度の異なる1次冷却材が合流する炉心槽出口ノズル部、上部炉心支持板及び制御棒クラスタ案内管等については、最大の温度差を考慮しても発生応力が疲労限より小さいため、高サイクル疲労割れ発生の可能性はない。

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

なお、水中テレビカメラによる目視確認により、機器の健全性を確認している。

(3) 炉心槽の中性子照射による靱性低下

炉心槽に使用しているステンレス鋼は、中性子照射により靱性低下等の機械的特性が変化する。

中性子照射による靱性低下は、従来より原子炉容器を中心に検討評価されてきている。原子炉容器に使用されている材料はフェライト系の材料であり、この材料は中性子照射によって、関連温度の上昇や上部棚吸収エネルギーの低下が顕著なため、従来から重要な経年劣化事象として評価されている。

一方、炉心支持構造物であり強度上重要な炉心槽に使用されている材料はオーステナイト系の材料であって、フェライト系材料とは金属結晶構造が異なり、靱性が高い材料である。しかし、(財)発電設備技術検査協会の「平成8年度 プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」によるとオーステナイト系照射ステンレス鋼の破壊靱性値 J_{IC} 試験の結果、図2.2-1に示すように、中性子照射に対して、靱性値の低下が認められる。

しかしながら、中性子照射による脆化が進行しても材料の脆化のみでは不安定破壊は発生せず、炉内構造物に有意な欠陥が存在しなければ、不安定破壊を起こす可能性は小さいと考える。なお、炉心槽溶接部は、応力集中がなく照射量が少ないため、「(社)日本機械学会 維持規格 (JSME S NA1-2012)」に基づく評価では、照射誘起型応力腐食割れ発生の可能性は小さい。

さらにここで、万一有意な欠陥が存在すると仮定し、地震発生時のき裂安定性評価を実施した。想定欠陥は、「(社)日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007)」を準用し深さを板厚の $1/4$ 、長さは板厚の 1.5 倍の表面欠陥を周方向に仮定した (図2.2-2)。平板中の半楕円表面き裂の応力拡大係数 K を求める $Raju-Newman$ の式 (Raju, I.S. and Newman, J.C., Jr., NASA Technical Paper 1578, 1979.) を用いて想定欠陥の応力拡大係数 K を算出した結果、 $5.1 MPa\sqrt{m}$ となった。一方、図2.2-1中の J_{IC} 最下限値 $14 kJ/m^2$ から、換算式により破壊靱性値 K_{IC} を求めると $5.1 MPa\sqrt{m}$ となる。

$$K_{IC} = \sqrt{\frac{E}{(1-\nu^2)}} \times J_{IC}$$

E : 縦弾性係数 (173,000 MPa at 350°C)

ν : ポアソン比 (0.3)

J_{IC} : 破壊靱性値の下限 (14 kJ/m² at 350°C)

よって、想定欠陥の応力拡大係数は、破壊靱性値を下回っており、不安定破壊は生じないことを確認した。

また、炉心槽の中性子照射による靱性低下については、定期的に可能な範囲について、水中テレビカメラによる目視確認を実施し、有意な欠陥がないことを確認している。

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

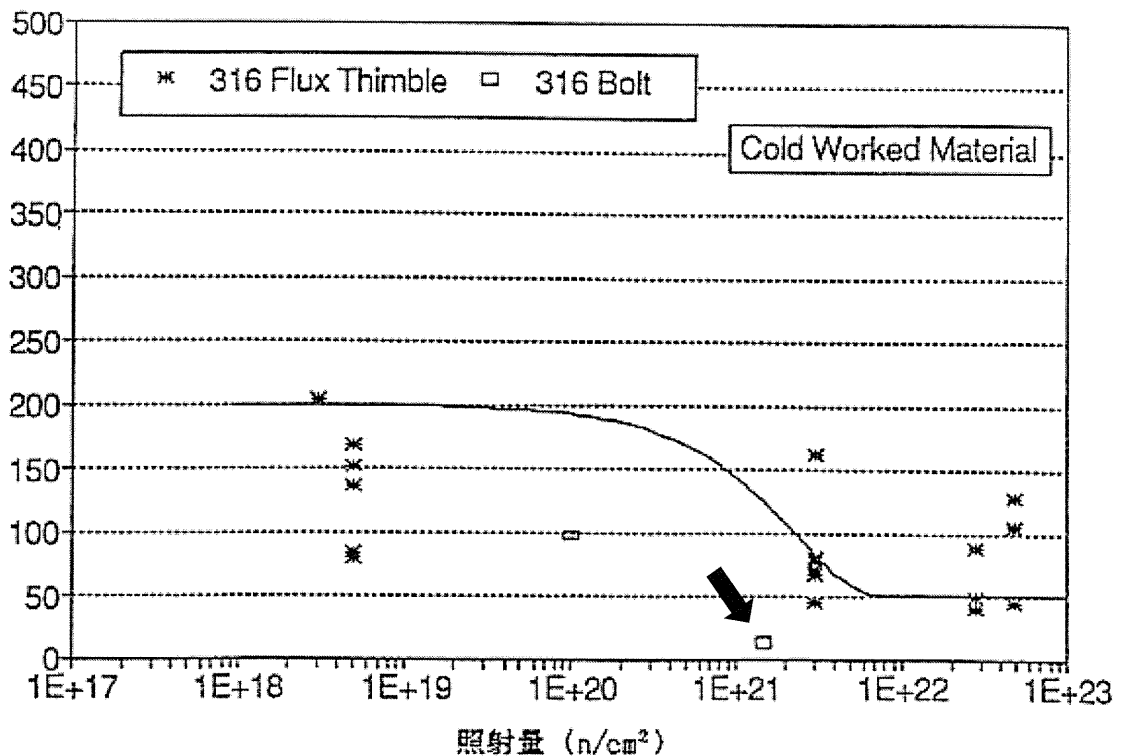


図2.2-1 破壊靱性値 J_{IC} と照射量の関係

[出典：(財)発電設備技術検査協会「平成8年度 プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」]

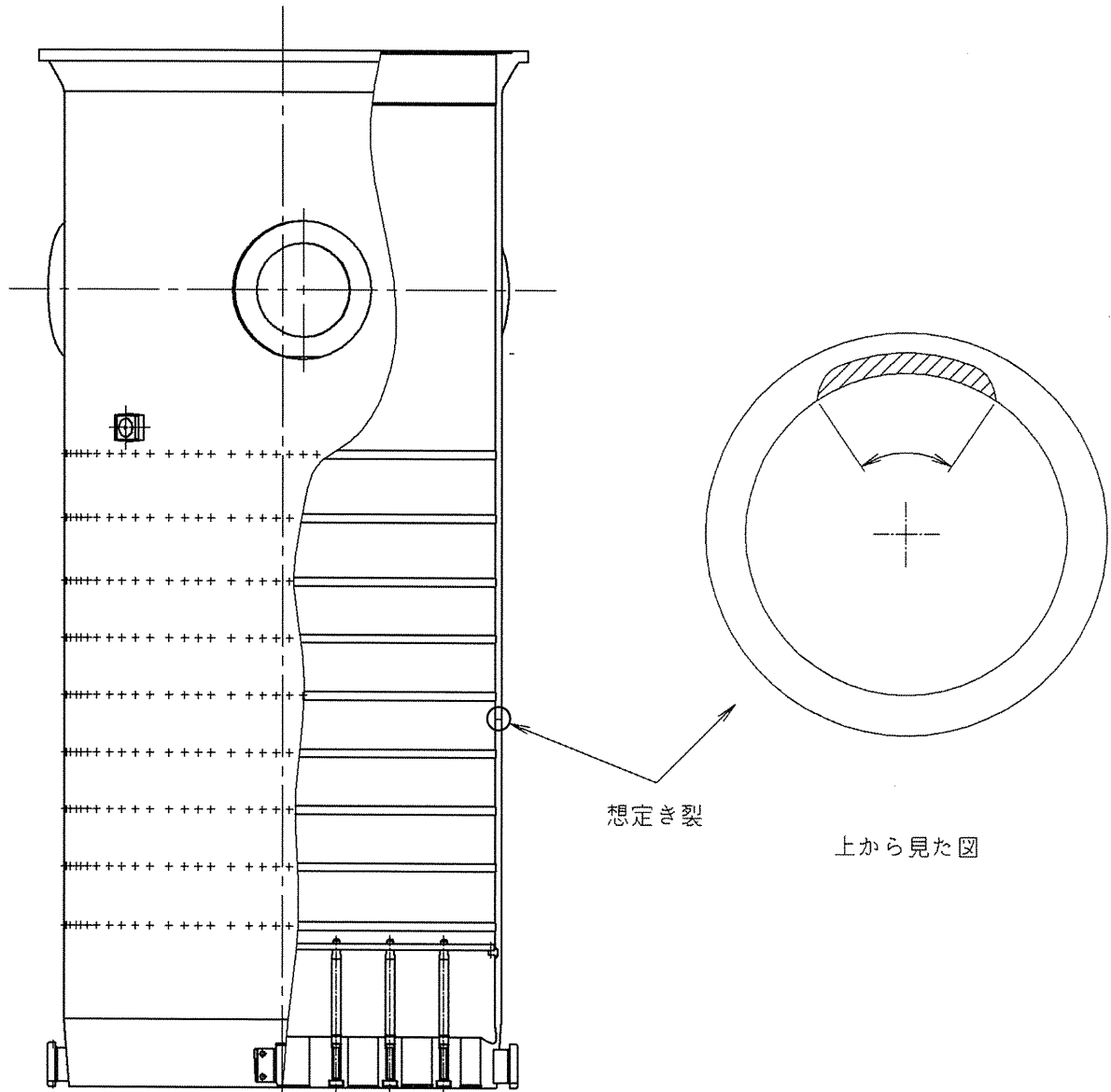


図2.2-2 川内2号炉 炉心槽ステンレス鋼の中性子照射による靱性低下想定き裂

(4) 制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗

通常運転時の1次冷却材の流れにより、制御棒クラスタ案内管内で制御棒が流体振動を起こす。その結果、制御棒と制御棒クラスタ案内管（案内板）との間で摩耗が発生する可能性がある。

制御棒被覆管については摩耗減肉が認められていることから、長期的には制御棒クラスタ案内管（案内板）側が摩耗する可能性は否定できない。

制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗により、制御棒の案内機能に影響を及ぼす可能性がある事象としては、制御棒クラスタ案内管（案内板）からの抜け出しが考えられる。制御棒被覆管の摩耗が進行し、径が細くなると、制御棒クラスタ案内管（案内板）から抜け出しやすい状態となる。現行の制御棒の管理では、制御棒被覆管が貫通するまでに制御棒を取り替えることとしており、制御棒被覆管が全部摩耗することはないが、安全側に制御棒被覆管がない状態を想定した場合、抜け出しの可能性が出てくると考えられるのは図2.2-3に示す摩耗長さで68%（管理摩耗長さ）と評価される。

川内2号炉は第23回定期検査時（2019年度）に制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗データを採取しており、採取時のプラント運転時間と摩耗量の関係から、「(社)日本機械学会 維持規格 (JSME SNA1-2012)」に基づき評価を実施した結果、川内2号炉の摩耗長さが管理摩耗長さ（68%）に相当する摩耗体積に達するまでの時間は約35万時間と評価される。

「(社)原子力安全推進協会 炉内構造物点検評価ガイドライン」では、制御棒クラスタ案内管の点検後、管理摩耗長さに達するまでの期間の半分までに次回点検を実施すること、摩耗の進行が管理摩耗長さに達する前に取替えを実施することで継続的な運転が可能であると示されている。

以上より、川内2号炉の制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗が急激に進展することはないと、今後もこの傾向が変化する可能性は小さいと考える。

また、制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗による制御棒の案内機能への影響は、定期的に全制御棒の落下試験を実施しており、挿入時間に問題がないことによりその健全性を確認している。

さらに、運転時間26万時間での摩耗計測を実施予定である。

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

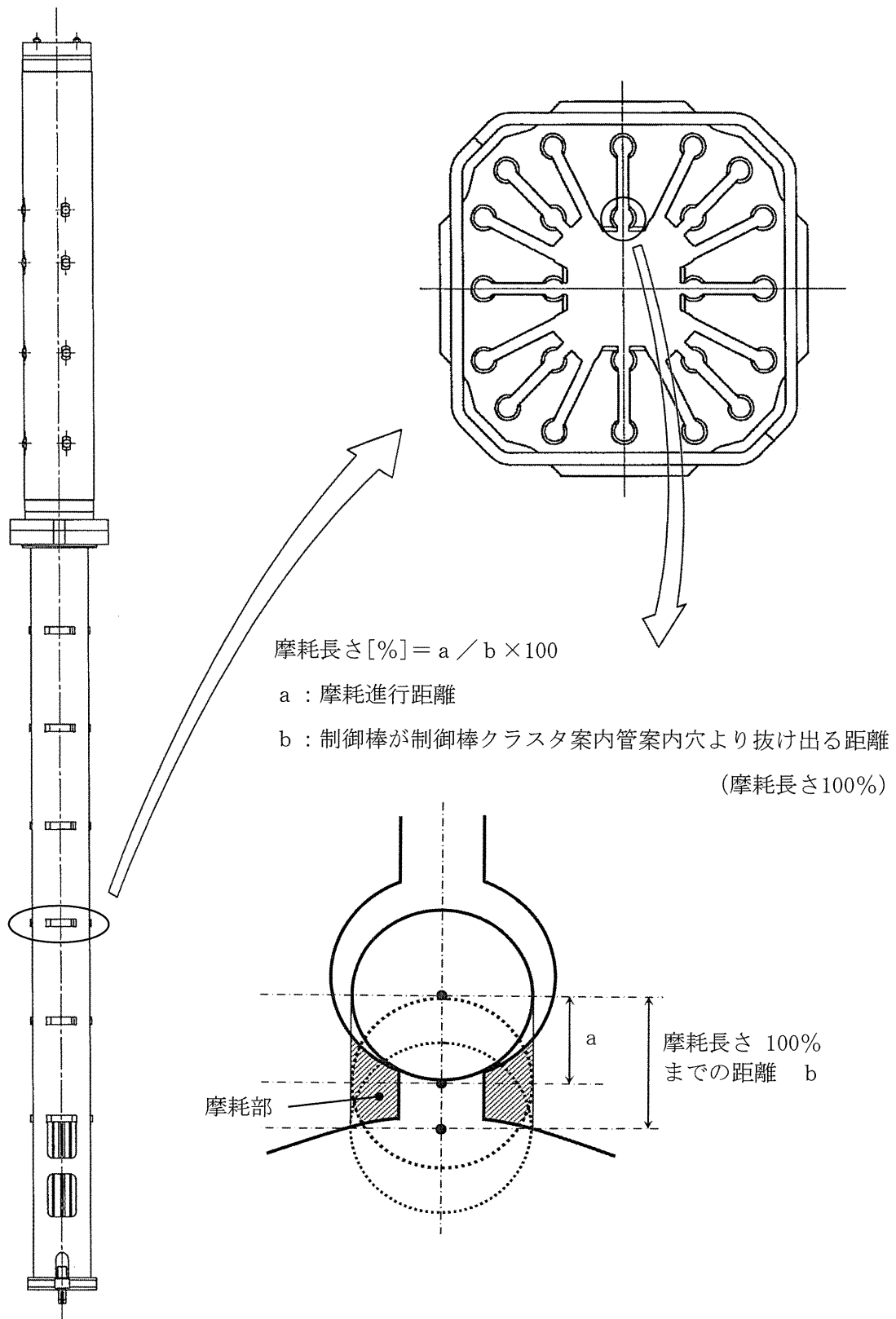


図2.2-3 川内2号炉 制御棒クラスタ案内管（案内板）摩耗長さ

(6) 支持ピンの応力腐食割れ

ニッケル基合金の支持ピンについては1978年10月美浜3号炉にて応力腐食割れが認められている。

しかしながら、川内2号炉の支持ピンは、応力腐食割れ感受性低減のため、新熱処理材応力低減化構造としていることから、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

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

なお、水中テレビカメラによる目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 炉内計装用シンプルチューブの摩耗

1981年3月、米国セーレム（Salem）発電所1号炉他で炉内計装用シンプルチューブの摩耗による減肉が認められており、国内でも同様の事象が認められていることから、摩耗が発生する可能性がある。

炉内計装用シンプルチューブの減肉が、シンプルチューブまわりの軸流による流体振動に起因すること等を実スケールによるモックアップテストにより確認している。また、プラント運転時における減肉した炉内計装用シンプルチューブの耐圧健全性を確認するため、実機での減肉形状を模擬して外圧による圧壊試験を行い、限界減肉率を求めている。

一方、摩耗に関する一般知見として、現象が同じであれば単位時間あたりの摩耗体積は一定であり、炉内計装用シンプルチューブ及び炉内計装案内管の各形状（図2.2-5）から、摩耗の進展に応じて、X部・Y部では接触面積が大きくなり、摩耗深さの進展は緩やかになる。

炉内計装用シンプルチューブの摩耗による減肉については、限界減肉率に比べ小さい状態で管理している。

また、炉内計装用シンプルチューブに対しては、定期的に渦流探傷検査により摩耗状況を確認するとともに、必要に応じ、位置変更又は取替えの措置を実施している。

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

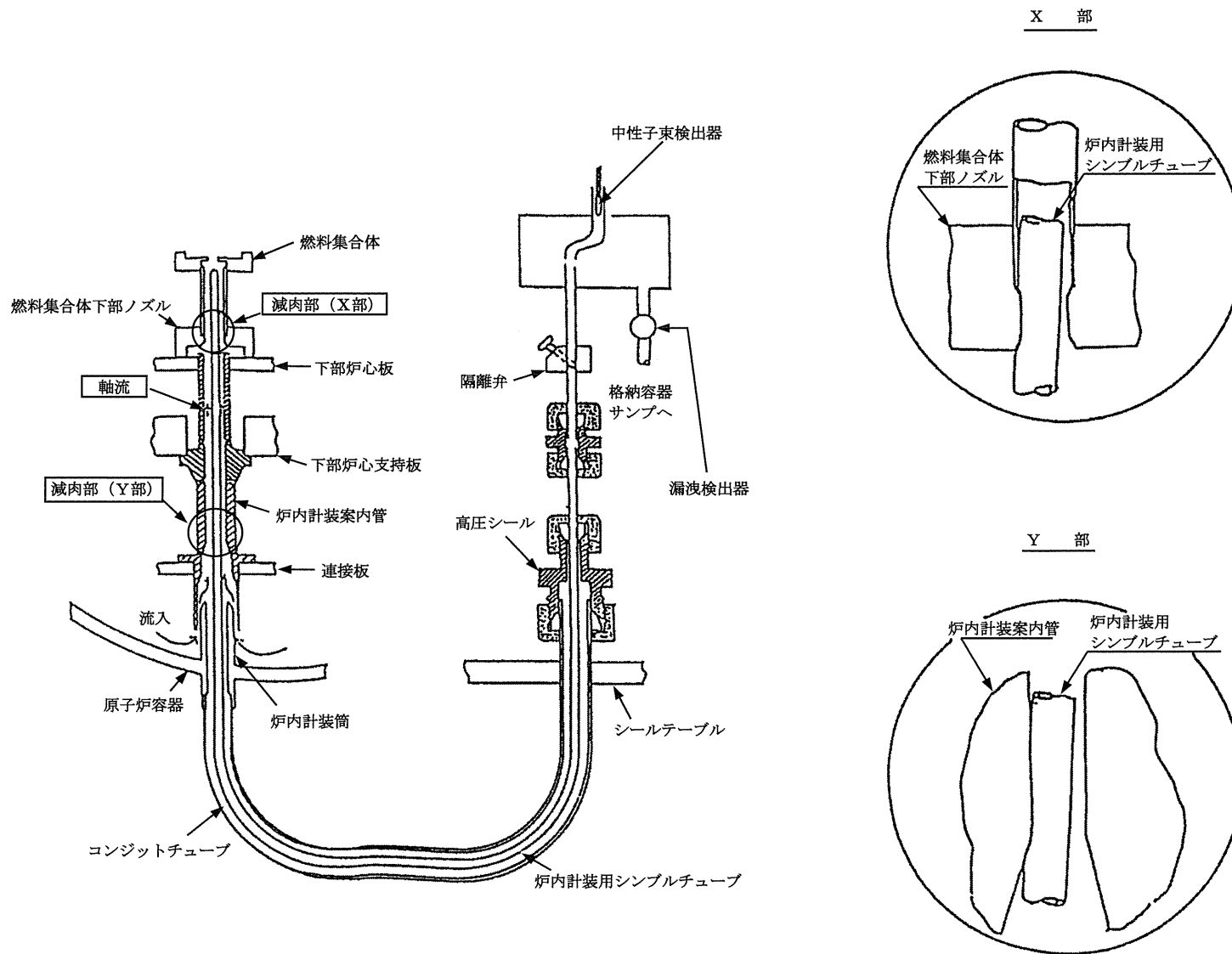


図2.2-5 炉内計装用シンプルチューブ減肉部位及び形状概念図

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

(8) 炉心槽等の照射クリープ

高照射環境下で使用される炉心槽及びバッフルフォーマボルト（ステンレス鋼）には照射クリープが生じる可能性がある。

しかしながら、クリープ破断は荷重制御型の応力発生下で生じるが、荷重制御型応力は微小であり、プラント運転に対し問題とはならない。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(9) 炉心バッフルの照射スウェリング

PWRプラントでの照射スウェリング量は小さく、炉心バッフルの上下に十分な隙間が存在することから、炉心バッフルの炉心形成機能が失われるようなことはなく、また、運転時間が先行している海外PWRプラントでもそのような事例が発生していないため、高経年化対策に有意でない事象と考える。

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。

(10) 押えリングの変形（応力緩和）

プラント運転中の押えリングは、高温環境下で一定圧縮ひずみのまま保持されているため、変形（応力緩和）を起こす可能性がある。

しかしながら、押えリングに使用されているステンレス鋼（ASME SA182 Gr. F6b）は、応力緩和を生じにくい材料である。

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。

表2.2-1 川内2号炉 炉内構造物に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・定期取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考	
				減 肉		割 れ		材質変化			その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣 化		
炉心支持及び炉心位置決め部材信頼性の維持	上部炉心板		ステンレス鋼			○	○ ^{*3} △				*1：高サイクル疲労割れ *2：高サイクル熱疲労割れ *3：照射誘起型応力腐食割れ *4：中性子照射による靱性低下 *5：照射スウェリング *6：照射クリープ *7：変形（応力緩和）
	上部炉心支持柱		ステンレス鋼			○ △ ^{*1}	△				
	上部炉心支持板		ステンレス鋼			○ △ ^{*2}	△				
	下部炉心板		ステンレス鋼			○	○ ^{*3} △				
	下部炉心支持柱		ステンレス鋼			○	○ ^{*3} △				
	下部炉心支持板		ステンレス鋼			○	△				
	炉 心 槽		ステンレス鋼			○ △ ^{*1,2}	○ ^{*3} △		△ ^{*4}	▲ ^{*6}	
	ラジアルキー		ステンレス鋼				△				
	上部燃料集合体案内ピン		ステンレス鋼				○ ^{*3} △				
	下部燃料集合体案内ピン		ステンレス鋼				○ ^{*3} △				
制御棒クラスタ案内構造信頼性の維持	制御棒クラスタ案内管		ステンレス鋼	△		△ ^{*1,2}	△				
	支持ピン		ニッケル基合金	△			△				
1次冷却材流路形成構成部材信頼性の維持	炉心バップル		ステンレス鋼				○ ^{*3} △			▲ ^{*5}	
	炉心バップル取付板		ステンレス鋼				○ ^{*3} △				
	バップルフォーマボルト		ステンレス鋼				○ ^{*3} △			▲ ^{*6}	
	バレルフォーマボルト		ステンレス鋼				○ ^{*3} △				
炉内計装案内構造部材信頼性の維持	炉内計装用シンプルチューブ		ステンレス鋼	△			△				
中性子しゃへい構造信頼性の維持	熱遮蔽材		ステンレス鋼				○ ^{*3} △				
	熱遮蔽材固定用ボルト		ステンレス鋼				○ ^{*3} △				
機器の支持構造信頼性の維持	押えリング		ステンレス鋼				△			▲ ^{*7}	

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 炉心支持構造物の疲労割れ

a. 事象の説明

炉心支持構造物はプラントの起動・停止時等による熱過渡を繰り返し受けるため、疲労が蓄積する可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

炉心支持構造物の健全性評価にあたっては、構造が不連続であり、かつ、変形に対する拘束が大きいいため比較的大きな熱応力の発生する部位を対象として「(社)日本機械学会 設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007)」に基づき疲労評価を行った。

評価対象部位の代表箇所を図2.3-1～図2.3-5に示す。

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

疲労評価に用いた運転開始後60年時点での過渡回数を表2.3-1に示す。なお、運転期間延長認可申請に伴う評価として、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的に設定した過渡回数とした。

それぞれの代表箇所における評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果を得た。

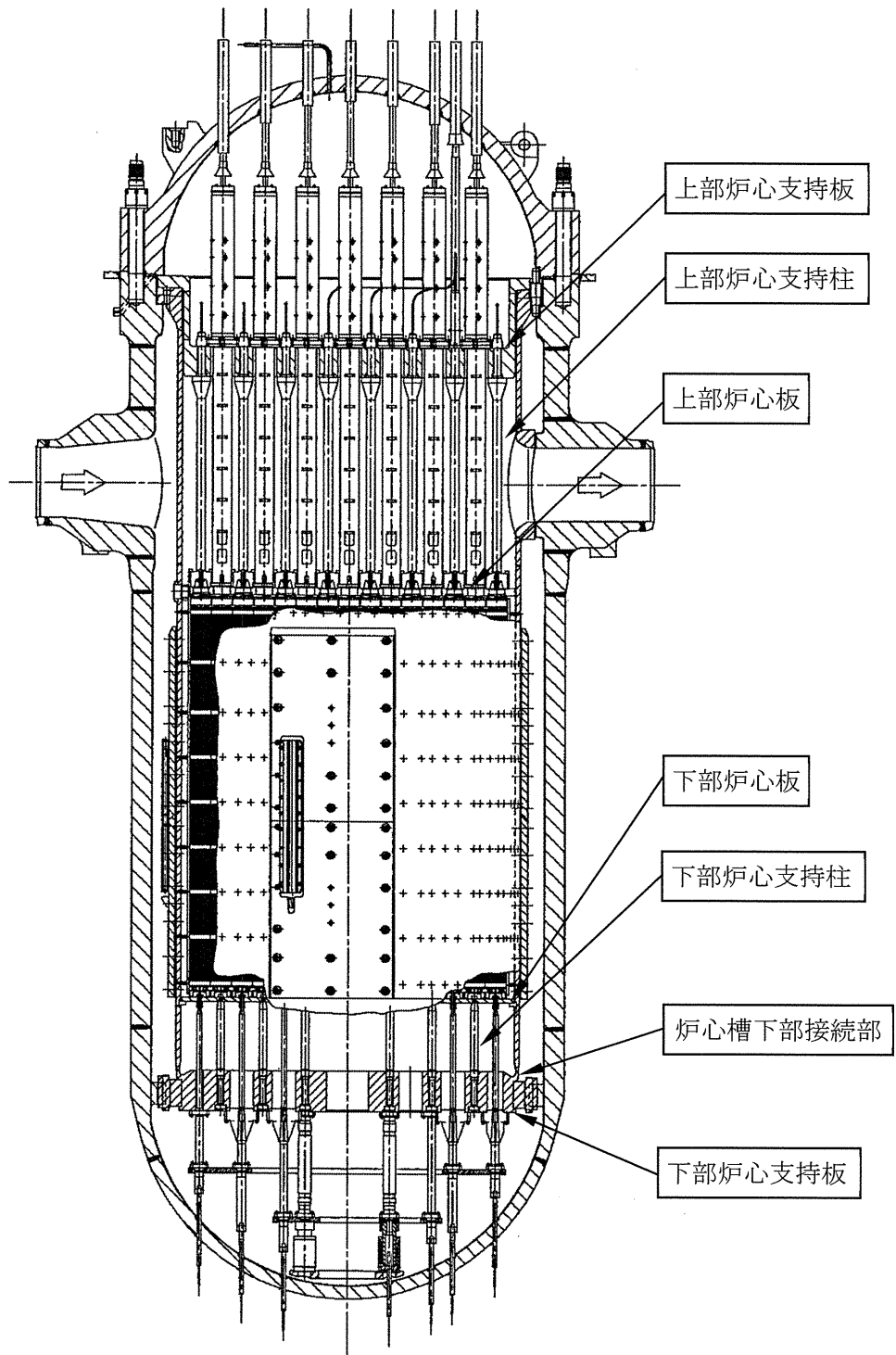


図2.3-1 川内2号炉 炉心支持構造物の疲労評価対象部位

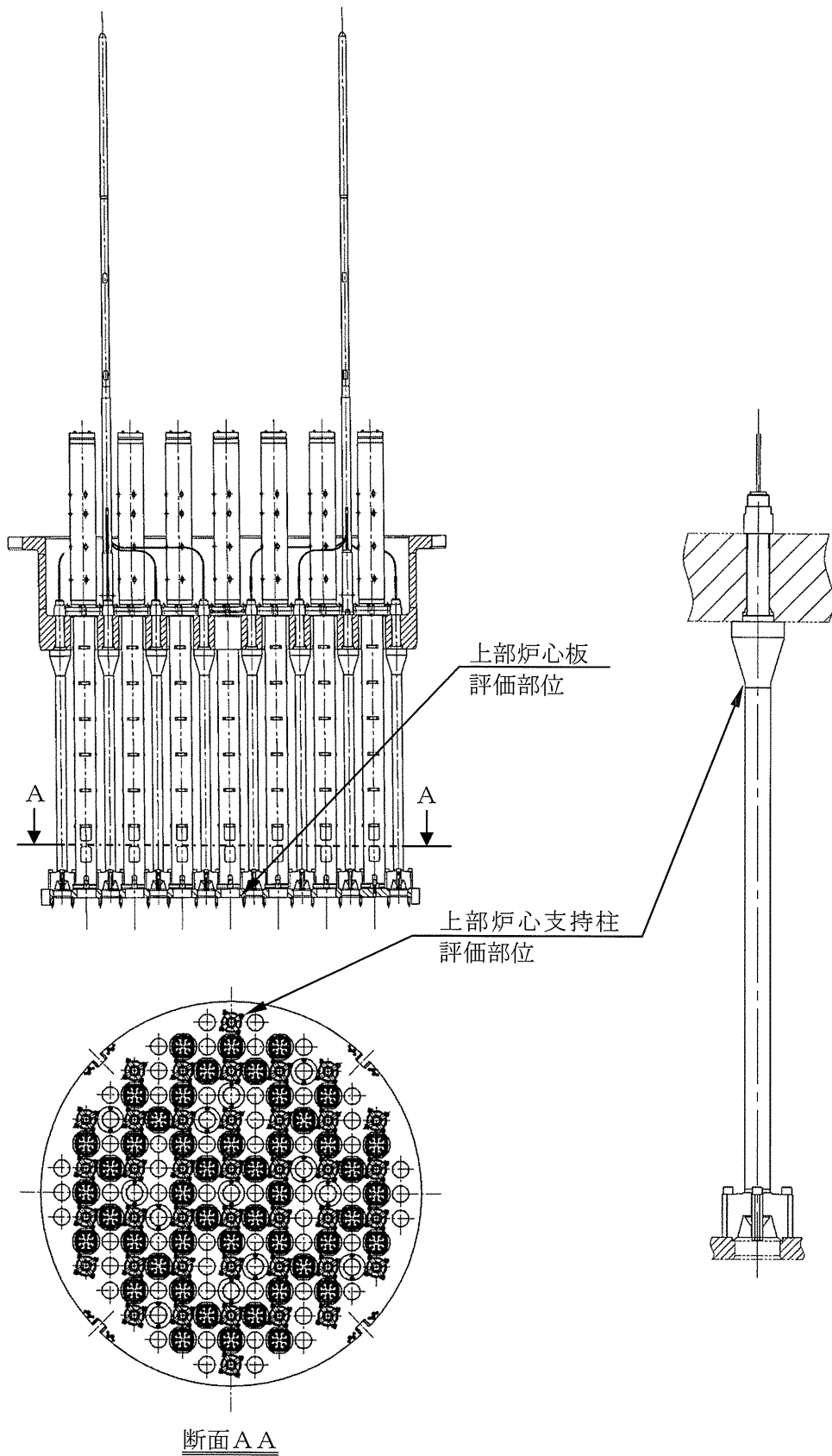


図2.3-2 川内2号炉 上部炉心支持柱及び上部炉心板疲労評価対象部位

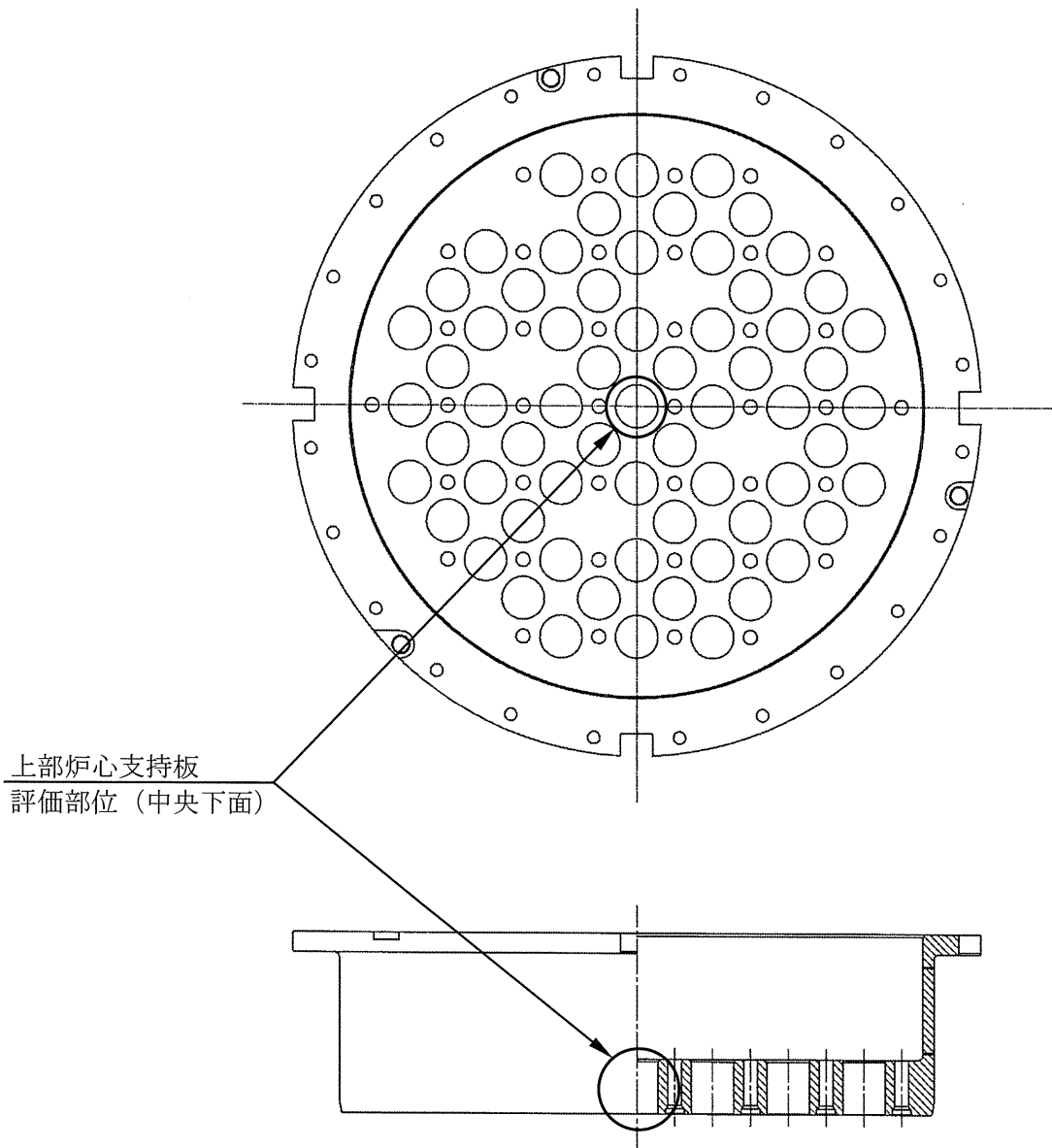


図2.3-3 川内2号炉 上部炉心支持板の疲労評価対象部位

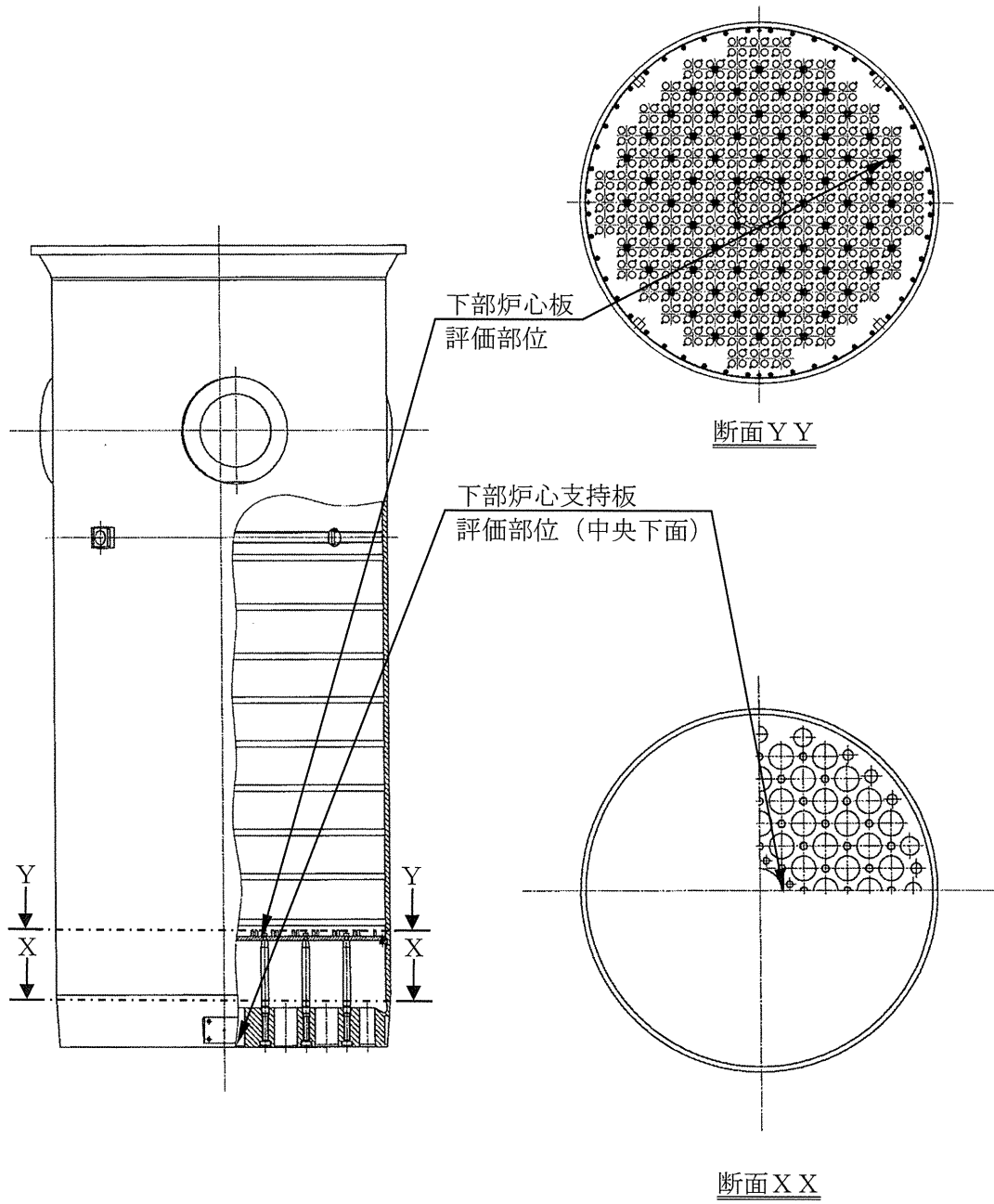


図2.3-4 川内2号炉 下部炉心支持板及び下部炉心板疲労評価対象部位

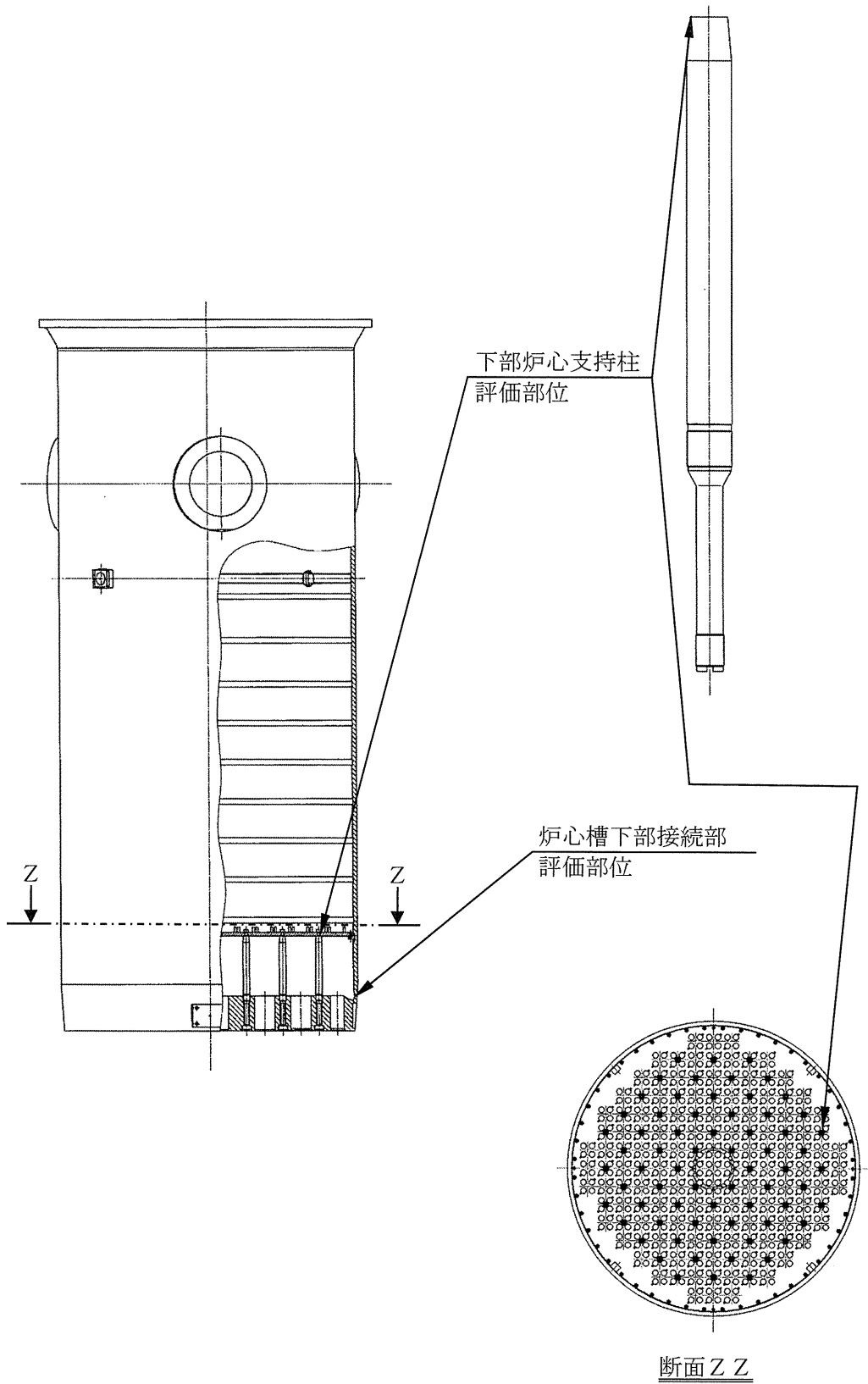


図2.3-5 川内2号炉 下部炉心支持柱及び炉心槽下部接続部疲労評価対象部位

表2.3-1 川内2号炉 炉心支持構造物の疲労評価に用いた過渡回数

運転状態 I

過 渡 項 目	運転実績に基づく過渡回数	
	2020年3月末時点	運転開始後60年 時点での推定値
起動（温度上昇率55.6°C/h）	36	69
停止（温度下降率55.6°C/h）	34	69
負荷上昇（温度上昇率5%/min）	322	824
負荷減少（温度減少率5%/min）	313	815
90%から100%へのステップ状負荷上昇	1	3
100%から90%へのステップ状負荷減少	2	4
100%からの大きいステップ状負荷減少	1	3
定常負荷運転時の変動*1	—	—
燃料交換	24	63
0%から15%への負荷上昇	35	67
15%から0%への負荷減少	28	60
1 ループ停止 / 1 ループ起動		
I) 停 止	0	2
II) 起 動	0	2

運転状態 II

過 渡 項 目	運転実績に基づく過渡回数	
	2020年3月末時点	運転開始後60年 時点での推定値
負荷の喪失	4	6
外部電源喪失	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	0	2
100%からの原子炉トリップ		
I) 不注意な冷却を伴わないトリップ	1	7
II) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2
III) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	2
1次冷却系の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	0	2
タービン回転試験	2	2
1次系漏えい試験	31	64

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

表2.3-2 川内2号炉 炉心支持構造物の疲労評価結果

評価部位	疲労累積係数 (許容値：1以下)	
	設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
上部炉心支持板	0.003	0.020
上部炉心支持柱	0.001	0.001
上部炉心板	0.001	0.002
下部炉心板	0.003	0.026
下部炉心支持柱	0.002	0.030
下部炉心支持板	0.002	0.020
炉心槽下部接続部	0.001	0.001

② 現状保全

炉心支持構造物の疲労割れに対しては、定期的に可視範囲について水中テレビカメラによる目視確認を実施し、有意な欠陥がないことを確認している。さらに、高経年化技術評価にあわせて、実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、疲労割れ発生の可能性はないと考える。

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

また、疲労割れは目視確認にて検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

炉心支持構造物の疲労割れに対しては、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認する。

2.3.2 ステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れ

a. 事象の説明

ステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れの発生要因としては、材料、応力及び環境の3要因が考えられ、運転時間が経過し、非常に高い中性子照射量を受けると応力腐食割れとして顕在化してくる可能性がある。

① 材料要因

ステンレス鋼については、PWR 1次系水質環境においては溶存酸素濃度が低いために、たとえ材料が溶接等の熱影響により鋭敏化していても応力腐食割れ感受性がないことが知られている。

しかしながら、長年の中性子照射によってステンレス鋼の材料特性に経年劣化が生じ、非常に高い中性子照射量を受けたステンレス鋼においては、PWR 1次系水質環境において応力腐食割れ感受性があることが明らかになっている。

② 応力要因

材料が応力腐食割れ感受性を有する場合、熱荷重や外荷重、溶接残留応力等により大きな応力が作用する部位には応力腐食割れが発生する可能性がある。他の応力腐食割れと同様に、照射誘起型応力腐食割れについても、応力腐食割れが発生し破断するまでの時間は応力レベルに依存しており応力が高いほど破断時間の短いことが知られている。

③ 環境要因

PWR 1次系環境下における応力腐食割れの環境要因としては、溶存酸素濃度や塩化物イオン濃度等の化学成分及び温度が重要要因となるが、一般的にPWRの1次系水は、水素注入や脱塩処理により、溶存酸素濃度や塩化物イオン濃度等を極力低減している。

また、定期分析等により十分な水質管理を行っており、水環境の悪化は考え難い。よって、環境要因としては温度が重要要因となる。

温度依存性については温度が高いほど、応力腐食割れ感受性が高くなることが知られている。

b. 技術評価

① 健全性評価

(財) 発電設備技術検査協会の「平成8年度 プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」で得られた照射ステンレス鋼を用いたPWR 1次系水質環境での低ひずみ速度引張試験結果及び電力共同研究の結果をあわせて図2.3-6及び図2.3-7に示す。

325℃の場合、 $10^{21} \text{ n/cm}^2 [E > 0.1 \text{ MeV}]$ オーダー以上の中性子照射を受けたステンレス鋼に対して応力腐食割れ感受性が発生している。また、温度が高くなるほどその応力腐食割れ感受性発生の中性子照射量しきい値が低下している。

また、(独) 原子力安全基盤機構「平成20年度 照射誘起応力腐食割れ(IASCC) 評価技術に関する報告書」で得られた照射ステンレス鋼を用いたPWR 1次系水質環境での定荷重応力腐食割れ試験結果を図2.3-8に示す。高応力であるほどき裂発生までの時間が短いことが示されている。

以上の知見を踏まえ、炉内構造物のステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れについて、実機の中性子照射量、応力、温度条件及び海外での損傷事例をもとに、各部に対するき裂発生の可能性の評価を実施し、その結果を表2.3-3に示す。なお、中性子照射量は2019年度以降、設備利用率100%で運転すると仮定して算出している。

これにより、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性に対して検討を要するのは、バッフルフォーマボルトと考える。

バッフルフォーマボルト以外については、バッフルフォーマボルトの評価結果を基準に、相対的な評価を行っている。

○ 炉心バッフル、炉心バッフル取付板

中性子照射量及び温度条件はバッフルフォーマボルトと同等であるが、発生応力レベルが小さいため、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断した。

○ 炉心槽

温度条件はバッフルフォーマボルトと同等であるが、中性子照射量が小さい。また、炉心槽溶接部の残留応力値を考慮してもバッフルフォーマボルトに比べて発生応力レベルが小さい。したがって、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断した。

○ 下部炉心板、熱遮蔽材固定用ボルト

発生応力レベルはバッフルフォーマボルトと同等であるが、中性子照射量及び温度条件が緩やかであるため、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断した。

○ 上部燃料集合体案内ピン、上部炉心板、下部燃料集合体案内ピン、下部炉心支持柱、熱遮蔽材

バッフルフォーマボルトに比べて、中性子照射量、発生応力レベル及び温度条件が緩やかであるため、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断した。

○ バレルフォーマボルト

温度、発生応力レベルはバッフルフォーマボルトと同等であるが、中性子照射量が小さい。また、「(社)日本機械学会 維持規格(JSME S NA1-2012)」によると、照射量、発生応力等を考慮し評価した結果、バッフルフォーマボルトに比べて十分余裕のある損傷予測結果となっており、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと判断した。

バッフルフォーマボルトは、多数のボルトによりその機能を維持しており、仏国では一部のバッフルフォーマボルトが損傷しても炉内構造物全体の健全性は残りの健全なバッフルフォーマボルトにより十分確保されるとして適宜点検により損傷本数を確認しながら運転が継続されている。また、米国ではクリティカルボルト(炉心の健全性が確保できる配置、本数のバッフルフォーマボルト)について取替えを実施してきている。

一方、国内では、「(社)日本機械学会 維持規格(JSME S NA1-2012)」に基づくと、バッフルフォーマボルトは縦列に2本のボルトが残存すればよく、ボルト本数全体の約7割が損傷した場合でも炉心の健全性は確保可能であると評価されている。

また、「(社)日本機械学会 維持規格(JSME S NA1-2012)」では、バッフルフォーマボルトの仕様に従い、グループ1～4に分類がなされ、損傷ボルト本数が管理損傷ボルト数(全体の20%)に至るまでの期間として、グループ1では運転時間で約30年、グループ2では運転時間で約50年と評価した損傷予測曲線が示されている。

なお、(独)原子力安全基盤機構「平成20年度 照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術に関する報告書」に示されている照射誘起型応力腐食割れ発生に関する評価ガイド(案)及び(社)原子力安全推進協会「PWR炉内構造物点検評価ガイドライン[バッフルフォーマボルト](第3版)」に基づく評価をした結果、運転開始後60年時点でボルト損傷は発生せず、安全に関わる機能を維持できることから、炉心の健全性に影響を与える可能性は小さいと考える。

以上より、バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れが炉心の健全性に影響を与える可能性は低いと考えられる。

表2.3-3(1/2) 川内2号炉 ステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れの可能性評価

部 位	実 機 条 件			海外の損傷事例	可 能 性 評 価
	中性子照射量レベル*1 [n/cm ² : E > 0.1MeV]	応力レベル*2 (応力支配因子)	温 度 [°C]		
バッフルフォーマボルト	約1×10 ²³	大 〔縮付+熱曲げ〕 +照射スウェリング*	約321	有	発生の可能性有り。炉心バッフルの照射スウェリングにより応力増加が生じるため、き裂発生の可能性が大きくなる。海外損傷事例もあり最も厳しい。
炉心バッフル	約1×10 ²³	小 (熱応力)	約321	無	バッフルフォーマボルトよりも応力レベルが小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
炉心バッフル取付板	約1×10 ²³	小 (熱応力)	約321	無	バッフルフォーマボルトよりも応力レベルが小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
バレルフォーマボルト	約2×10 ²²	大 (縮付+熱曲げ)	約321	無	応力レベルは大きい、バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
炉 心 槽	約3×10 ²²	大*3 (溶接部) (溶接残留応力)	約321	無	溶接残留応力が存在し応力レベルは大きい、バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
上部燃料集合体案内ピン	約1×10 ²¹	小 (縮付け)	約321	無	バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量及び応力レベルが小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
上部炉心板	約1×10 ²¹	小 (熱応力)	約321	無	バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量及び応力レベルが小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。

*1：中性子照射量レベルは運転開始後60年時点での各部位の推定最大中性子照射量レベルを示す

*2：応力レベルは各部位の最大応力値を示す

応力レベル 大：> S_y (非照射材の降伏応力) 中：≒ S_y (非照射材の降伏応力) 小：< S_y (非照射材の降伏応力)

バッフルフォーマボルト、バレルフォーマボルト及び熱遮蔽材固定用ボルトは、初期縮付応力に加えて炉心バッフル組立体及び炉心槽と熱遮蔽材との組立体の熱変形による熱曲げ応力が作用するため、高応力となる

*3：炉心槽溶接部の残留応力は大きい、(社)日本機械学会 維持規格 (JSME S NA1-2012) にて、炉心槽溶接部応力は、照射誘起型応力腐食割れ発生に対し余裕があると評価されている

表2.3-3(2/2) 川内2号炉 ステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れの可能性評価

部 位	実 機 条 件			海外の損傷事例	可 能 性 評 価
	中性子照射量レベル*1 [n/cm ² : E > 0.1MeV]	応力レベル*2 (応力支配因子)	温 度 [°C]		
下部燃料集合体案内ピン	約9×10 ²¹	小 (縮付け)	約284	無	バップルフォーマボルトよりも中性子照射量、応力レベル及び温度が小さいため、バップルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
下部炉心板	約9×10 ²¹	大 (熱応力)	約284	無	応力レベルは大きい、バップルフォーマボルトよりも中性子照射量及び温度が小さいため、バップルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
下部炉心支持柱	約5×10 ²¹	中 (曲げ)	約284	無	バップルフォーマボルトよりも中性子照射量、応力レベル及び温度が小さいため、バップルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
熱遮蔽材	約1×10 ²²	小 (熱応力)	約284	無	バップルフォーマボルトよりも中性子照射量、応力レベル及び温度が小さいため、バップルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
熱遮蔽材固定用ボルト	約1×10 ²²	大 (縮付+熱曲げ)	約284	無	応力レベルは大きい、バップルフォーマボルトよりも中性子照射量及び温度が小さいため、バップルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。

*1：中性子照射量レベルは運転開始後60年時点での各部位の推定最大中性子照射量レベルを示す

*2：応力レベルは各部位の最大応力値を示す

応力レベル 大：> S_y（非照射材の降伏応力） 中：≒ S_y（非照射材の降伏応力） 小：< S_y（非照射材の降伏応力）

バップルフォーマボルト、バレルフォーマボルト及び熱遮蔽材固定用ボルトは、初期縮付応力に加えて炉心バップル組立体及び炉心槽と熱遮蔽材との組立体の熱変形による熱曲げ応力が作用するため、高応力となる

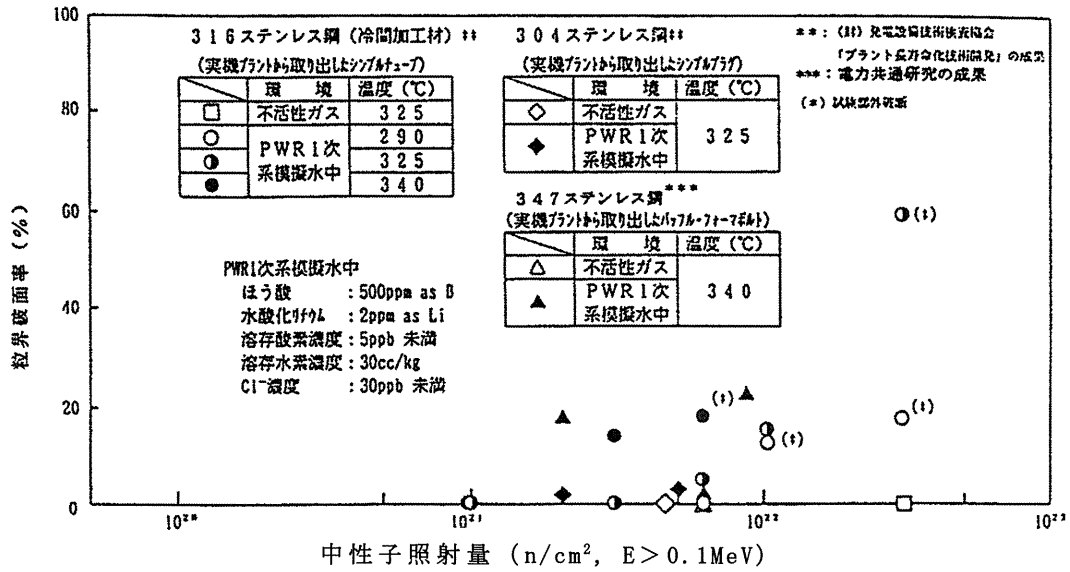


図2.3-6 粒界破面率と照射量の関係

[出典：(財) 発電設備技術検査協会「平成8年度 プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」]

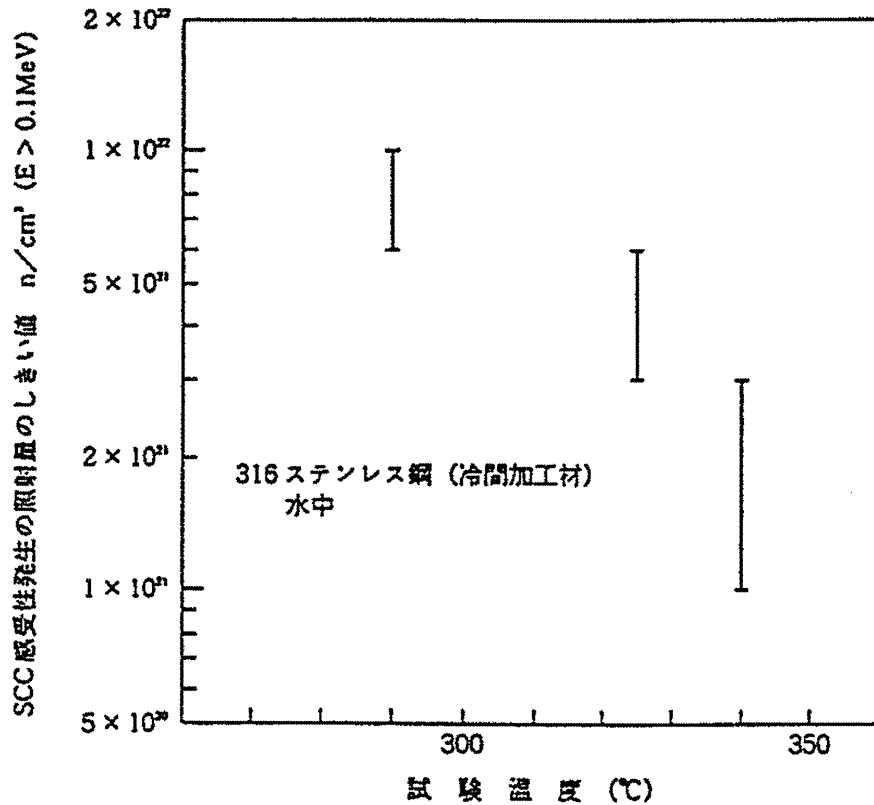


図2.3-7 応力腐食割れ (SCC) 感受性発生の中性子照射量のしきい値と試験温度の関係

[出典：(財) 発電設備技術検査協会「平成8年度 プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」]

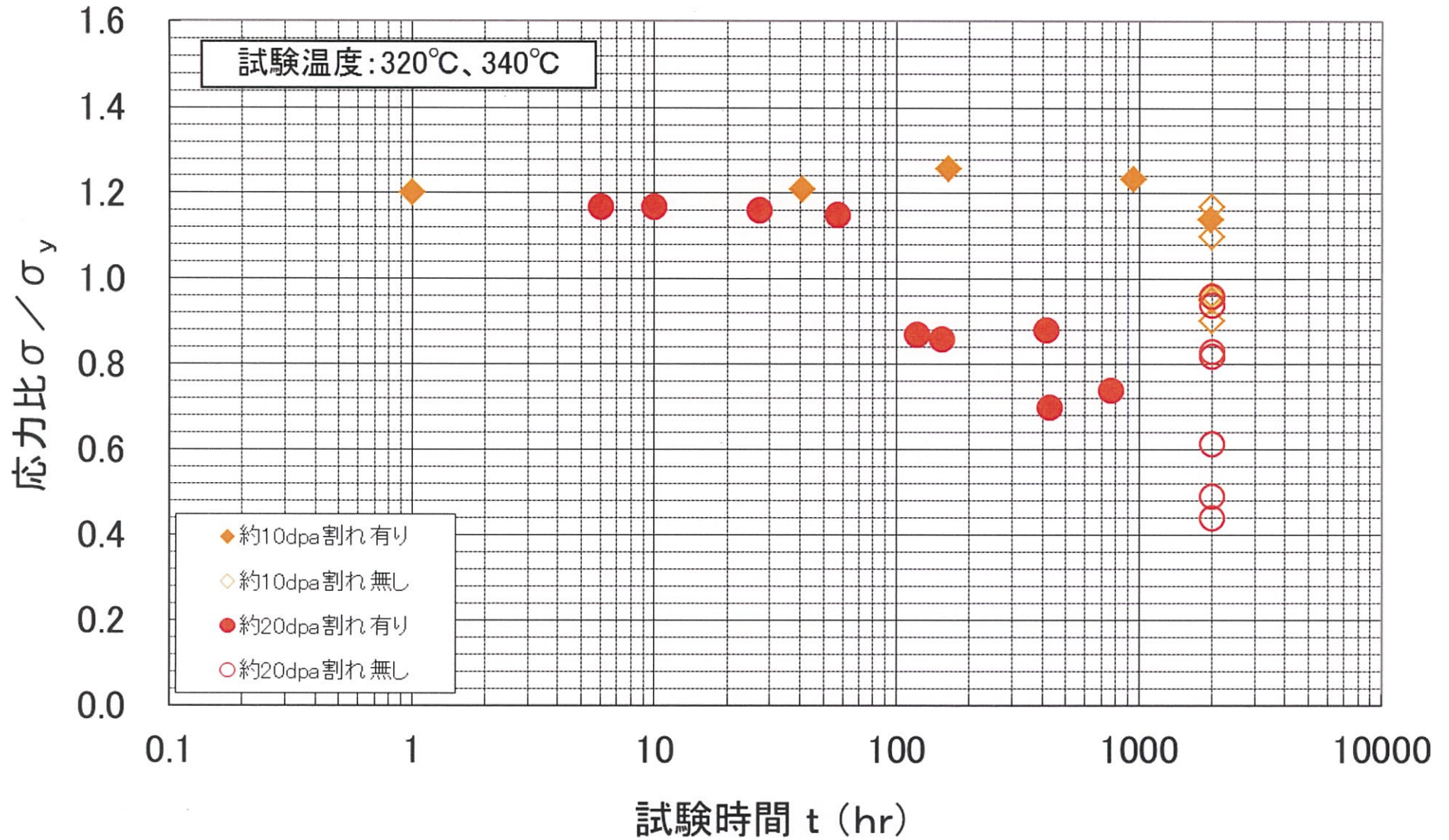


図2.3-8 定荷重応力腐食割れ試験結果 (316ステンレス鋼 (冷間加工材)、 $> 1.5 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$)

[出典: 原子力安全基盤機構「平成20年度 照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術に関する報告書」

(バブルフォーマットデータのみプロット)]

② 現状保全

炉内構造物のステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れについては、定期的
に可能な範囲について、水中テレビカメラによる目視確認を実施し、有意な
欠陥がないことを確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、バッフルフォーマボルトについては、損傷
発生予測の結果、運転開始後60年時点までに損傷が発生する可能性は小さ
い。

また、バッフルフォーマボルト以外の部位については、最も厳しいバッフ
ルフォーマボルトの損傷発生予測の結果、運転開始後60年時点までは損傷
の可能性は小さいと評価されていることから、照射誘起型応力腐食割れ発生
の可能性は小さいと考える。

c. 高経年化への対応

バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れに対しては、現状保全項
目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

川内原子力発電所 2 号炉

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]

九州電力株式会社

川内 2 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 の機器、高温・高圧の環境下にあるクラス 3 の機器及び常設重大事故等対処設備に属する機器を種別、絶縁体材料等でグループ化し、同一グループ内の複数の機器の存在を考慮して、重要度、温度等の観点から代表機器を選定した。

これらの一覧を表 1 に示す。

本評価書においては、これら代表機器について技術評価を行うとともに、代表機器以外の機器についても技術評価を展開している。また、ケーブルトレイ等及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、ケーブルトレイ等及びケーブル接続部は独立してとりまとめている。

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

本評価書ではケーブルの種別を基にしたケーブル分類に、ケーブルトレイ等及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

また、川内 1、2 号炉の共用設備のうち 1 号炉で設置されているケーブルについては、「川内原子力発電所 2 号炉 共用設備（他号炉設備）の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含まれていない。

表 1 (1/2) 川内 2 号炉 主要なケーブル

分離基準		機器名称	選定基準						シース材料	選定	選定理由	
種別	絶縁体材料		用途	使用環境		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				
高圧	架橋 ⁶ ポリエチレン	難燃高圧C SHVケーブル	電力		○*2	MS-1 重*9	○	○	難燃低塩酸特殊耐熱ビニル	◎		
低圧	シリコンゴム	KKケーブル	計装	○*3,4		MS-1 重*9	○		シリコンゴム	◎		
	難燃EPゴム*5	難燃PHケーブル	電力・制御・計装	○*3,4	○*3,4	MS-1 重*9	○	○	難燃クロロスルホン化 ポリエチレン	◎		
	特殊耐熱ビニル	難燃SHVVケーブル	電力・制御・計装		○*4	MS-1 重*9	○	○	難燃低塩酸特殊耐熱ビニル	◎		
	FEP樹脂*6	FPPケーブル	制御・計装			○	MS-1	○		FEP樹脂*6	◎	耐熱温度
		FPETケーブル	制御			○	MS-1	○	○	ETFE樹脂*7		
		FPTFケーブル	計装			○	MS-1		○	TFEP樹脂*8		
同軸	架橋 ⁶ ポリエチレン	難燃三重同軸ケーブル1	計装		○	MS-1 重*9	○	○	内部：架橋ポリエチレン 外部：難燃架橋ポリエチレン	◎	事故時環境下機能 要求設備	
		難燃三重同軸ケーブル2	計装	○*3,4		MS-1 重*9	○	○	内部：架橋ポリエチレン 外部：ETFE樹脂*7			

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：屋内外に布設

*3：設計基準事故を考慮する

*4：重大事故等を考慮する

*5：EPゴム：エチレンプロピレンゴム

*6：FEP樹脂：四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂

*7：ETFE樹脂：四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂

*8：TFEP樹脂：四フッ化エチレン・プロピレン共重合樹脂

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

表1 (2/2) 川内2号炉 主要なケーブル

分離基準		機器名称	選定基準					シース材料	選定	選定理由	
種別	心線材料		用途	使用環境		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
光ファイバ	石英ガラス	難燃光ファイバケーブル1	計装		○	重*2		○	コード外被：ポリ塩化ビニル シース：難燃性ポリエチレン、 アルミラミネートテープ	◎	使用本数
		難燃光ファイバケーブル2	計装		○	重*2		○	コード外被：難燃低塩酸ビニル シース：難燃低塩酸ビニル、 アルミラミネートテープ		
		難燃光ファイバケーブル3	計装		○	重*2		○	コード外被：難燃低塩酸ビニル シース：難燃低塩酸特殊耐熱ビニル、 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及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に示す川内2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C SHV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) KKケーブル | : シリコンゴム絶縁シリコ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SHVVケーブル | : 特殊耐熱ビニル絶縁
難燃低塩酸特殊耐熱ビニルシースケーブル |
| (5) FPPケーブル | : 四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂絶縁
四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂シース
ケーブル |
| (6) 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 |
| (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 |

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

SHV : 特殊耐熱ビニル

K : シリコンゴム

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

FP : 四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂

ET : 四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂

ただし、特殊耐熱ビニル絶縁ケーブルについては、本来の記号の意味からは、
(4) 難燃SHVVケーブル＝難燃SHVSHVケーブルと記すところであるが、記号簡略化のために、通例に従い難燃SHVVケーブルと表記した。

また、四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂絶縁・シースケーブルは、本来の記号の意味からは、(5) FPPケーブルと記すところであるが、記号の簡略化のために、FPPケーブルと表記した。

1 高圧ケーブル

[対象機器]

- ① 難燃高圧C SHVケーブル

目 次

1. 対象機器	1
2. 難燃高圧C SHVケーブルの技術評価	3
2.1 構造、材料及び使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	5
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	8
3. 代表機器以外への展開	14
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	14
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	15

1. 対象機器

川内2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 川内2号炉 高圧ケーブルの主な仕様

機器名称	選 定 基 準					絶縁体材料/シース材料	
	用途	使用環境		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C SHVケーブル	電力		○*2	MS-1 重*3	○	○	架橋ポリエチレン/ 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：屋内外に布設

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

2. 難燃高圧C SHVケーブルの技術評価

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 難燃高圧C SHVケーブル

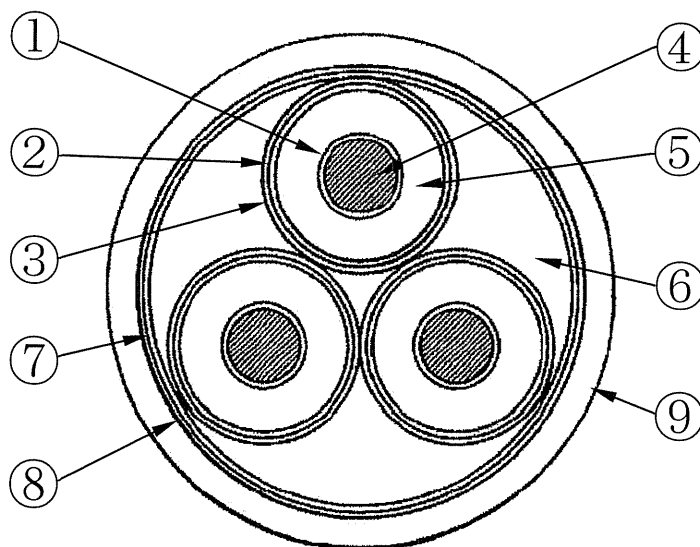
(1) 構造

川内2号炉に使用している難燃高圧C SHVケーブルは、導体、内部半導電層、絶縁体、外部半導電層、遮へい層、介在、テープ、防蟻層及びシースで構成され、このうちケーブルの絶縁機能は絶縁体により保たれている。なお、内部半導電層、外部半導電層は導体及び遮へい層を整形、遮へい層は導体の静電誘導を低減、介在及びテープはケーブルを整形、防蟻層は食害対策及び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。

川内2号炉の難燃高圧C SHVケーブル構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の難燃高圧C SHVケーブルの使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部 位
①	内部半導電層
②	外部半導電層
③	遮へい層
④	導 体
⑤	絶 縁 体
⑥	介 在
⑦	テ ー プ
⑧	防 蟻 層
⑨	シ ー ス

図2.1-1 川内2号炉 難燃高圧C SHVケーブル構造図

表2.1-1 川内2号炉 難燃高圧C SHVケーブル主要部位の使用材料

部 位	材 料
内部半導電層	半導電性ポリエチレン
外部半導電層	半導電性架橋ポリエチレン
遮へい層	軟銅テープ
導 体	銅
絶 縁 体	架橋ポリエチレン
介 在	ジュート
テ ー プ	布テープ
防 蟻 層	ナイロン
シ ー ス	難燃低塩酸特殊耐熱ビニル

表2.1-2 川内2号炉 難燃高圧C SHVケーブルの使用条件

	通 常 運 転 時
使 用 環 境	原子炉格納容器外
周 囲 温 度	約40°C*1
放 射 線	$0.55 \times 10^{-3} \text{Gy/h}^{*2}$

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

*2：通常運転時の原子炉格納容器外の最大実測値

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

難燃高圧C SHV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C SHV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、使用条件及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、電氣的及び環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

(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、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) シースの劣化

シースは絶縁体と同様に、熱的、電氣的及び環境的要因で劣化を起こす可能性がある。

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 川内2号炉 難燃高圧C SHV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	内部半導電層		半導電性ポリエチレン						*1：水トリー劣化を含む *2：劣化
	外部半導電層		半導電性 架橋ポリエチレン						
	遮へい層		軟銅テープ						
	導 体		銅						
	絶 縁 体		架橋ポリエチレン	○*1					
	介 在		ジュート						
	テ ー プ		布テープ						
	防 蟻 層		ナイロン						
	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（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、電氣的及び環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

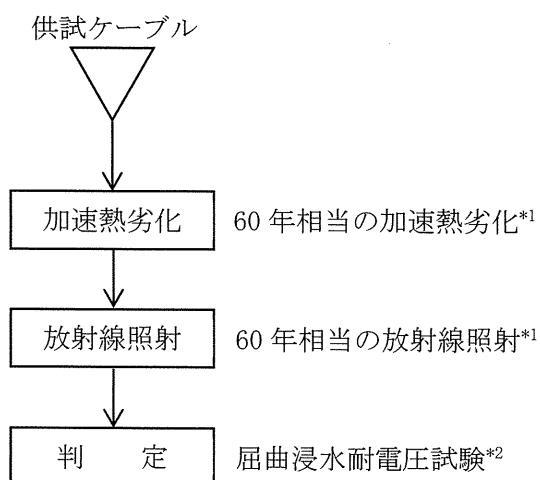
ケーブルの長期間の経年劣化を考慮した必要性能の評価方法は、IEEE Std. 323-1974「IEEE Standard for Qualifying Class IE Equipment for Nuclear Power Generating Stations」及び383-1974「IEEE Standard for Type Test of Class IE Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations」の規格を根幹に、我が国のケーブル耐環境試験方法推奨案として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」には、ケーブルの加速劣化方法を含む試験条件、試験手順並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難燃高圧C SHVケーブルの長期健全性を評価した。

図2.3-1に試験手順及び判定方法を示す。

なお、この試験条件は、川内2号炉の実機環境に基づいて60年間の運転期間を想定した劣化条件を包絡している。

難燃高圧C SHVケーブルの長期健全性試験条件並びに長期健全性試験結果を表2.3-1及び表2.3-2に示す。

評価の結果、川内2号炉の難燃高圧C SHV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。



*1：原子炉格納容器外のケーブル使用条件に基づいた試験条件である

*2：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き付ける
- 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

図2.3-1 難燃高圧CSHVケーブルの長期健全性試験手順

表2.3-1 難燃高圧C SHVケーブルの長期健全性試験条件

	試験条件	60年間の通常運転時の 使用条件に基づく劣化条件
温 度	140℃-9日	130℃-9日 (=70℃*1-60年)
放射線 (集積線量)	500kGy (4kGy/h)	0.29kGy*2

*1：原子炉格納容器外でのケーブル布設エリアの温度（約40℃）に通電による温度上昇と余裕を加えた温度として設定

*2： $0.55 \times 10^{-3} [\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 0.29 \text{kGy}$

表2.3-2 難燃高圧C SHV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：60mm マンドレル径：供試体外径の約20倍 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、定期的な絶縁抵抗測定を行い、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、絶縁体の絶縁低下による機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

絶縁低下は、絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

絶縁体の絶縁低下については、現状保全項目に高経年化対策の観点から、追加すべきものはないと判断する。

2.3.2 絶縁体の絶縁低下（水トリー劣化）

a. 事象の説明

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

b. 技術評価

① 健全性評価

川内2号炉の難燃高圧C SHVケーブルのうち、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。屋外に布設しているケーブルは、コンクリート製トレンチ内の電線管に布設している。電線管はプルボックス部分にて、排水穴による排水処理を施している。また、トレンチは中に入って内部に水が溜まっていないことを目視確認できる構造となっており、水が溜まった場合は、恒設の排水ポンプで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ないが、溜まり水による多湿度環境を考慮すると、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

絶縁体の絶縁低下（水トリー劣化）に対しては、定期的な絶縁抵抗測定及びケーブル絶縁診断（シース絶縁抵抗測定、遮蔽軟銅テープ抵抗測定、直流漏れ電流測定）により、管理範囲に収まっていることを確認しており、点検結果に基づき、必要により取替等を実施することとしている。

また、屋外布設ケーブルについては、トレンチ内の水溜りの有無を定期的に目視確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、屋外布設ケーブルはコンクリート製トレンチ内の電線管に布設しており、長時間浸水状態となる可能性はないが、多湿度環境に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。

絶縁低下は絶縁抵抗測定及びケーブル絶縁診断で、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。

よって、現状保全を継続することで健全性を維持できると考える。

c. 高経年化への対応

屋外に布設している難燃高圧C SHVケーブルの絶縁体の絶縁低下（水トリー劣化）については、定期的に絶縁抵抗測定及びケーブル絶縁診断を実施していくとともに、点検結果に基づき必要により取替等を実施していく。

また、トレンチ内については、引き続き目視確認を実施していく。

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、代表機器と構造及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）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 難燃高圧C SHVケーブル（製造メーカーが異なるケーブル）

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（水トリー劣化を除く）

代表機器と構造及び絶縁体材料が類似する難燃高圧C SHVケーブルについては、代表機器と同様、実機同等品による電気学会推奨案に基づく長期健全性試験結果を用いて評価した結果、60年間の運転期間においても絶縁機能を維持できると判断でき、絶縁体の絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

また、絶縁低下は、絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

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。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.2.1 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が想定される。

しかしながら、代表ケーブルと構造及び絶縁体材料が類似する難燃高圧C SH Vケーブル（製造メーカーが異なる難燃高圧C SH Vケーブル）は屋内のみに布設しており、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ことから、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。

3.2.2 シースの劣化

シースは絶縁体と同様に、熱的、電氣的及び環境的要因で劣化を起こす可能性がある。

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。

2 低圧ケーブル

[対象機器]

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

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料及び使用条件	3
2.2 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	32
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	32
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	33

1. 対象機器及び代表機器の選定

川内2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及び結果

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、KKケーブルのみが属するため、KKケーブルを代表機器とする。

(2) 絶縁体材料：難燃EPゴム

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

(3) 絶縁体材料：特殊耐熱ビニル

このグループには、難燃SHVVケーブルのみが属するため、難燃SHVV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・六フッ化プロピレン共重合樹脂

このグループにはFPPケーブル、FPETケーブル及びFPTFケーブルが属するが、シースの耐熱温度の低い、FPETケーブルを代表機器とする。

表1-1 川内2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	選定	選定理由
		用途	使用環境		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			
絶縁体材料										
シリコンゴム	KKケーブル	計 装	○*2,3		MS-1、重*8	○		シリコンゴム	◎	
難燃EPゴム*4	難燃PHケーブル	電力・制御・計装	○*2,3	○*2,3	MS-1、重*8	○	○	難燃クロロスルホン化ポリエチレン	◎	
特殊耐熱ビニル	難燃SHVVケーブル	電力・制御・計装		○*3	MS-1、重*8	○	○	難燃低塩酸特殊耐熱ビニル	◎	
FEP樹脂*5	FPPケーブル	制御・計装		○	MS-1	○		FEP樹脂*5	◎	耐熱温度
	FPETケーブル	制 御		○	MS-1	○	○	ETFE樹脂*6		
	FPTFケーブル	計 装		○	MS-1		○	TFEF樹脂*7		

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：設計基準事故を考慮する

*3：重大事故等を考慮する

*4：EPゴム：エチレンプロピレンゴム

*5：FEP樹脂：四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂

*6：ETFE樹脂：四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂

*7：TFEF樹脂：四フッ化エチレン・プロピレン共重合樹脂

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

2. 代表機器の技術評価

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

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

2.1 構造、材料及び使用条件

(1) 構造

川内2号炉で使用している低圧ケーブルは、導体、絶縁体、介在、テープ、遮へい層及びシースで構成され、このうちケーブルの絶縁機能は絶縁体により保たれている。介在及びテープはケーブルを整形するため、遮へい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。

川内2号炉の代表的な低圧ケーブル構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉のKKケーブル、難燃PHケーブル、難燃SHVVケーブル及びFPETケーブルの使用材料及び使用条件を表2.1-1～表2.1-8に示す。

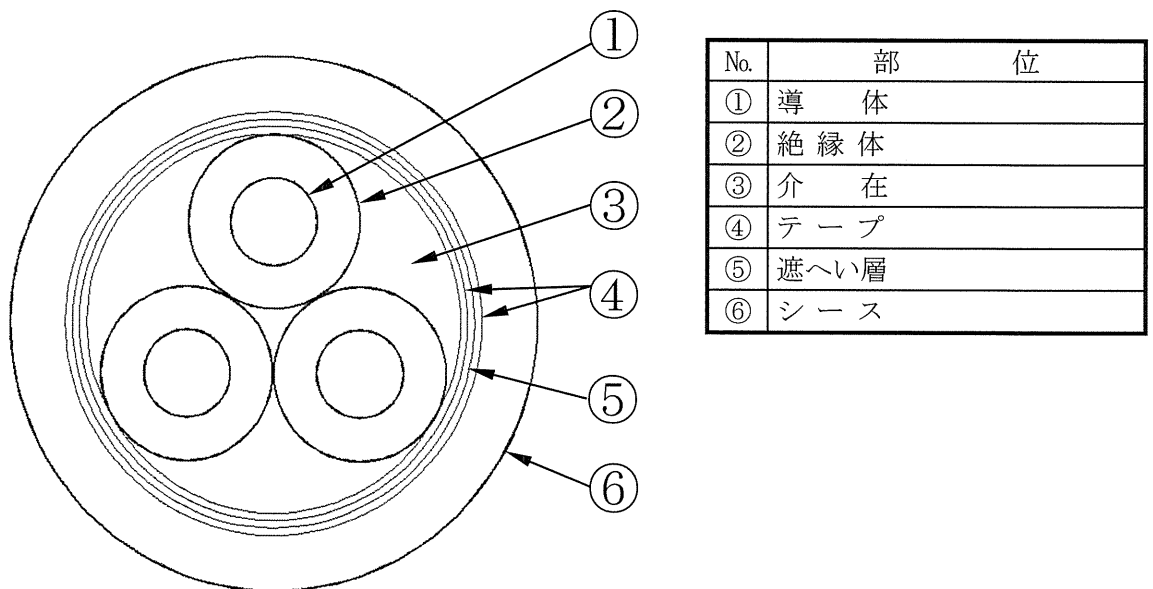


図2.1-1 川内2号炉 代表的な低圧ケーブル構造図

表2.1-1 川内2号炉 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
テ ー プ	ガラステープ
遮へい層	銅線編組 (錫メッキ)
シ ー ス	シリコーンゴム

表2.1-2 川内2号炉 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
使用環境	原子炉格納容器内	原子炉格納容器内	原子炉格納容器内
周囲温度	約45℃*1	約127℃ (最高温度)	約138℃ (最高温度)
圧 力	約0.0098MPa[gage] 以下	約0.245MPa[gage] (最高圧力)	約0.350MPa[gage] (最高圧力)
放 射 線	5×10^{-3} Gy/h*2	602kGy (最大集積線量)	500kGy (最大集積線量)

*1：通常運転時の原子炉格納容器内KKケーブル周囲温度実測値（平均値の最大値）に余裕を加えた温度

*2：通常運転時の原子炉格納容器内KKケーブル周囲線量率実測値（平均値の最大値）に余裕を加えた線量率

表2.1-3 川内2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
遮へい層	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 川内2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
使用環境	原子炉格納容器内	原子炉格納容器内	原子炉格納容器内
周囲温度	約50℃*2	約127℃ （最高温度）	約138℃ （最高温度）
圧 力	約0.0098MPa[gage] 以下	約0.245MPa[gage] （最高圧力）	約0.350MPa[gage] （最高圧力）
放射線	0.35Gy/h*3	602kGy （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の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難燃PHケーブル周囲温度実測値（平均値の最大値）に余裕を加えた温度

*3：通常運転時の原子炉格納容器内難燃PHケーブル周囲線量率実測値（平均値の最大値）に余裕を加えた線量率

表2.1-5 川内2号炉 難燃SHVV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	特殊耐熱ビニル
介 在	ジュート
テ ー プ	布
遮へい層	銅テープ（錫メッキ）
シ ー ス	難燃低塩酸特殊耐熱ビニル

表2.1-6 川内2号炉 難燃SHVVケーブルの使用条件

	通 常 運 転 時	重 大 事 故 等 時
使 用 環 境	原子炉格納容器外	原子炉格納容器外
周 囲 温 度	約40℃*1	約100℃*3
放 射 線	$0.55 \times 10^{-3} \text{Gy/h}^{*2}$	$0.15 \times 10^{-3} \text{Gy/h}^{*4}$

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

*2：通常運転時の原子炉格納容器外の最大実測値

*3：重大事故等時の使用済燃料ピット周辺における温度

*4：重大事故等時の使用済燃料ピット周辺での放射線量

表2.1-7 川内2号炉 F P E T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	ガラス糸
テ ー プ	ポリエステルテープ
遮へい層	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2.1-8 川内2号炉 F P E Tケーブルの使用条件

使 用 環 境	原子炉格納容器外 （管理区域外*1）
周 囲 温 度	約26℃*2

*1：中央制御室、継電器室でのみ使用

*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、使用条件及び現在までの運転経験等を考慮し、表2.2-1～表2.2-4に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1～表2.2-4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、電氣的及び環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1～表2.2-4で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) シースの劣化〔共通〕

シースは絶縁体と同様に、熱的、電氣的及び環境的要因で劣化を起こす可能性がある。

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又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 川内2号炉 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						
	テ ー プ		ガラステープ						
	遮へい層		銅線編組（錫メッキ）						
	シ ー ス		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2.2-2 川内2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						
	遮へい層		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2.2-3 川内2号炉 難燃SHVV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		特殊耐熱ビニル	○					
	介 在		ジュート						
	テ ー プ		布						
	遮へい層		銅テープ（錫メッキ）						
	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）

表2.2-4 川内2号炉 F P E T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		ガラス糸						
	テ ー プ		ポリエステルテープ						
	遮へい層		アルミポリエステル テープ						
	シ ー ス		四フッ化エチレン・ エチレン共重合樹脂					△*1	

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 絶縁体の絶縁低下 [共通]

a. 事象の説明

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

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 IE Equipment for Nuclear Power Generating Stations」及び383-1974「IEEE Standard for Type Test of Class IE 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、並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低圧ケーブルの長期健全性を評価した。

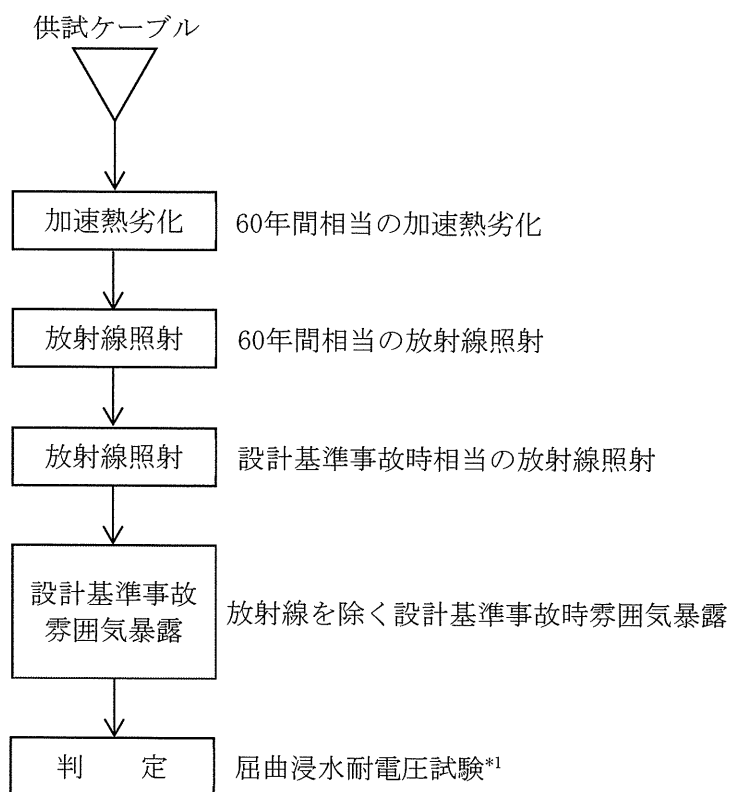
設計基準事故時雰囲気内で機能要求があるKKケーブル及び難燃PHケーブルの電気学会推奨案に基づく試験手順及び判定方法を図2.3-1に示す。

KKケーブル及び難燃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。

KKケーブル及び難燃PHケーブルの長期健全性試験条件並びに長期健全性試験結果を表2.3-1～表2.3-4に示す。

試験条件は、川内2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。

電気学会推奨案に基づく評価の結果、川内2号炉のKKケーブル及び難燃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。



*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き付ける
- 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、絶縁破壊が生じるか否かを調べる

図2.3-1 KKケーブル、難燃PHケーブルの長期健全性試験手順

表2.3-1 KKケーブルの長期健全性試験条件（設計基準事故）

		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 又は 設計基準事故時の環境条件
通常運転 相当	温度	110℃－16日	91℃－16日 (=45℃*1－60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (8.36kGy/h)	2.7kGy*2
設計基準 事故相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (9.01kGy/h)	602kGy
	温度	最高温度：190℃	最高温度：約127℃
	圧力	最高圧力：0.27MPa[gage]	最高圧力：約0.245MPa[gage]

*1：原子炉格納容器内でのケーブル布設エリアの温度（約45℃）として設定

*2： $5 \times 10^{-3}[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 2.7\text{kGy}$

表2.3-2 KK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：13.5mm マンドレル径：500mm 絶縁厚さ：0.76mm 課電電圧：2.5kV/5分間	良

[出典：九州電力研究データ]

表2.3-3 難燃PHケーブルの長期健全性試験条件（設計基準事故）*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 又は 設計基準事故時の環境条件
通常運転 相当	温度	140℃－9日	117℃－9日 (=60℃*2－60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (7.3kGy/h)	185kGy*3
設計基準 事故相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (7.3kGy/h)	602kGy
	温度	最高温度：190℃	最高温度：約127℃
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]	最高圧力：約0.245MPa[gage]

*1：設計基準事故時における環境条件が厳しい原子炉格納容器内ケーブルの条件を代表として記載

*2：原子炉格納容器内でのケーブル布設エリアの温度（約42℃）に通電による温度上昇と余裕を加えた温度として設定

*3： $0.35[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60[\text{y}] = 185\text{kGy}$

表2.3-4 難燃PHケーブルの長期健全性試験結果

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

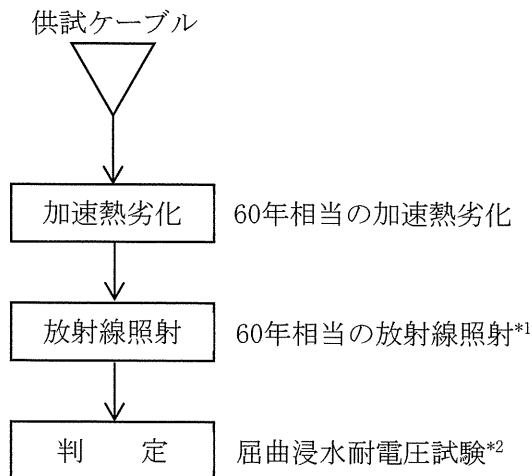
[出典：九州電力研究データ]

次に、難燃SHVVケーブル及びFPET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SHVVケーブル及びFPETケーブルの電気学会推奨案に基づく試験手順及び判定方法を図2.3-2に、難燃SHVVケーブル及びFPETケーブルの長期健全性試験条件並びに長期健全性試験結果を表2.3-5～表2.3-8に示す。

試験条件は、川内2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。

電気学会推奨案に基づく評価の結果、川内2号炉の難燃SHVVケーブル及びFPET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。



*1：FPETケーブルは中央制御室及び継電器室のみで使用されるため放射線照射は実施しない

*2：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き付ける
- 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、絶縁破壊が生じるか否かを調べる

図2.3-2 難燃SHVVケーブル、FPETケーブルの長期健全性試験手順

表2.3-5 難燃SHVVケーブルの長期健全性試験条件

	試験条件	60年間の通常運転時の 使用条件に基づく劣化条件
温 度	135℃-14日	121℃-14日 (=60℃*1-60年)
放射線 (集積線量)	500kGy (9.51kGy/h)	0.29kGy*2

*1：原子炉格納容器外の内、環境条件が厳しいケーブル布設エリアの温度（約40℃）に通電による温度上昇と余裕を加えた温度として設定

*2： $0.55 \times 10^{-3} [\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 0.29 \text{kGy}$

表2.3-6 難燃SHVV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 : 15.0mm マンドレル径 : 300mm 絶縁厚さ : 1.0mm 課電電圧 : 3.2kV/5分間	良

[出典：メーカーデータ]

表2.3-7 F P E Tケーブル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
温 度	200℃-56日	188℃-56日 (=30℃*2-60年)

*1：長期健全性評価試験は、絶縁体種類が同一でシース種類が異なるF P T Fケーブルにて実施

*2：原子炉格納容器外でのケーブル布設エリアの温度（約26℃）に余裕を加えた温度として設定

表2.3-8 F P E Tケーブルの長期健全性試験結果*1

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

*1：長期健全性評価試験は、絶縁体種類が同一でシース種類が異なるF P T Fケーブルにて実施

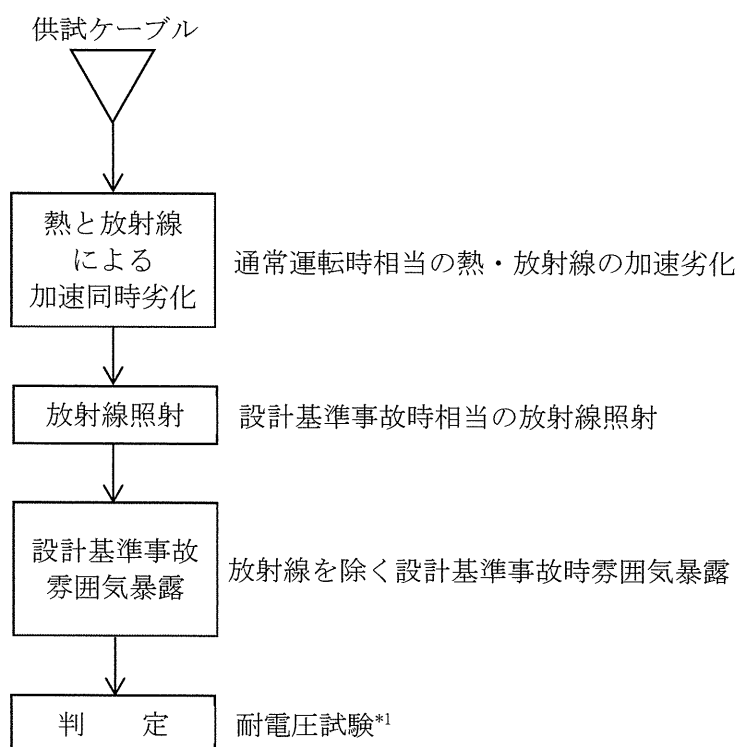
[出典：九州電力研究データ]

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

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及び判定方法を図2.3-3にACA試験条件並びにACA試験結果を表2.3-9及び表2.3-10にケーブル実布設環境での長期健全性評価結果を表2.3-11に示す。

ACAガイドに基づく評価の結果、川内2号炉のKKケーブル及び難燃PHケーブルは、更新実績も踏まえると運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。



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

図2.3-3 KKケーブル、難燃PHケーブルのACAガイドに基づく試験手順

表2.3-9 KKケーブル及び難燃PHケーブルのACA試験条件

		試験条件
通常運転 相当	温度 放射線	100°C-99.9Gy/h-5,549h ^{*1}
		100°C-94.8Gy/h-4,003h ^{*2}
設計基準 事故相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)
	温度	最高温度：190°C
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]

*1：KKケーブルの試験条件

*2：難燃PHケーブルの試験条件

表2.3-10 KKケーブル及び難燃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2.3-11 A C Aガイドに基づく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	45	0.35	難燃PHケーブル	45*3	更新を踏まえた評価期間79年以上（更新時期：第22回～第24回定期検査時（2018年度～2020年度））
加圧器上部	50	0.005	難燃PHケーブル	91*3	
通路部	45	0.005	KKケーブル	495*2	
			難燃PHケーブル	129*3	
通路部ケーブル トレイ内	60*4	0.005	難燃PHケーブル	47*3	更新を踏まえた評価期間73年以上（更新時期：第20回定期検査時（2011年度～2015年度））
主蒸気管室	45	—	難燃PHケーブル	147*3	

*1：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：ケーブル布設エリアの温度（約42°C）に通電時の温度上昇を加えた温度として評価

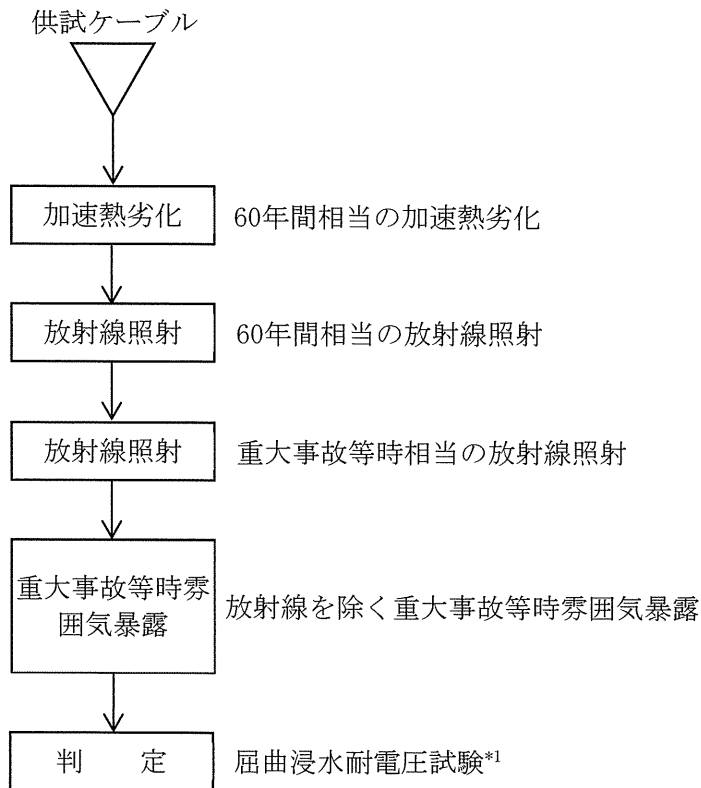
さらに、重大事故等時雰囲気内で機能要求がある難燃PHケーブル、KKケーブル及び難燃SHVVケーブルについては、重大事故等時雰囲気内での健全性をあわせて評価した。

難燃PHケーブル、KKケーブル及び難燃SHVVケーブルの試験手順及び判定方法を図2.3-4及び図2.3-5に示す。

難燃PHケーブル、KKケーブル及び難燃SHVVケーブルの長期健全性試験条件並びに長期健全性試験結果を表2.3-12～表2.3-17に示す。

試験条件は、川内2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。

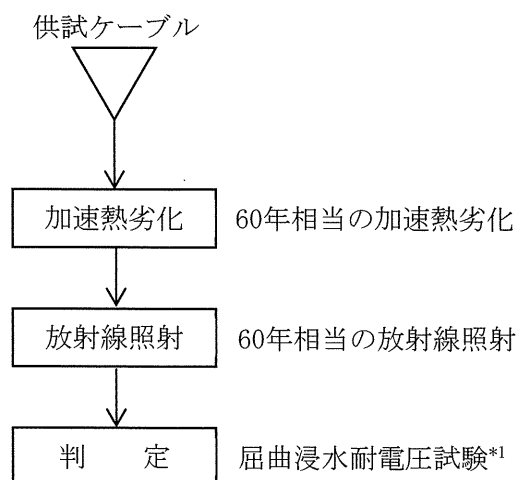
評価の結果、川内2号炉の難燃PHケーブル、KKケーブル及び難燃SHVVケーブルは、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。



*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き付ける
- 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、絶縁破壊が生じるか否かを調べる

図2.3-4 KKケーブル、難燃PH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き付ける
- 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、絶縁破壊が生じるか否かを調べる

図2.3-5 難燃SHVVケーブルの長期健全性試験手順

表2.3-12 K Kケーブルの長期健全性試験条件*1（重大事故等）

		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 又は 重大事故等時の環境条件
通常運転 相当	温度	121℃－7日	97℃－7日 (=45℃*2－60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	2.7kGy*3
重大事故 等相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)	500kGy
	温度	最高温度：190℃	最高温度：約138℃
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]	最高圧力：約0.350MPa[gage]

*1：長期健全性試験は、絶縁体種類が同一でシース種類が異なる難燃K Kケーブルにて実施

*2：原子炉格納容器内でのケーブル布設エリアの温度（約45℃）として設定

*3： $5 \times 10^{-3} [\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 2.7 \text{kGy}$

表2.3-13 K Kケーブルの長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
屈曲浸水 耐電圧試験	供試体外径：11.5mm マンドレル径：供試体外径の約40倍 絶縁厚さ：0.76mm 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. 3-14 難燃PHケーブルの長期健全性試験条件（重大事故等）

		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 又は 重大事故等時の環境条件
通常運転 相当	温度	140℃-9日	117℃-9日 (=60℃*1-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (7.3kGy/h)	185kGy*2
重大事故 等相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (7.3kGy/h)	500kGy
	温度	最高温度：190℃	最高温度：約138℃
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]	最高圧力：約0.350MPa[gage]

*1：原子炉格納容器内でのケーブル布設エリアの温度（約42℃）に通電による温度上昇と余裕を加えた温度として設定

*2：0.35[Gy/h] × (24×365.25) [h/y] × 60[y] = 185kGy

表2. 3-15 難燃PHケーブルの長期健全性試験結果

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

[出典：九州電力研究データ]

表2.3-16 難燃SHVVケーブルの長期健全性試験条件（重大事故等）

	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 及び 重大事故等時の環境条件
温度	135℃-14日	96℃-14日 (30℃*1-60年) (通常時) (100℃*2-7日) (事故時)
放射線 (集積線量)	500kGy (9.51kGy/h)	0.3kGy 0.29kGy*3 (通常時) 0.03Gy*4 (事故時)

*1：使用済燃料ピット周辺のケーブル布設エリアの温度（約30℃）として設定

*2：重大事故等時の使用済燃料ピット周辺における温度（約100℃）として設定

*3： $0.55 \times 10^{-3} [\text{Gy}/\text{h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h}/\text{y}] \times 60 [\text{y}] = 0.29\text{kGy}$

*4：重大事故等時の使用済燃料ピット周辺での放射線量

$0.15 \times 10^{-3} [\text{Gy}/\text{h}] \times 24 [\text{h}] \times 7 [\text{d}] = 0.03\text{Gy}$

表2.3-17 難燃SHVV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：15.0mm マンドレル径：300mm 絶縁厚さ：1.0mm 課電電圧：3.2kV/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、電力用ケーブルについては、定期的な絶縁抵抗測定により、許容値以上であることの確認を行っている。

制御・計装用ケーブルについては、定期的な計測制御系統設備の機能検査等により、系統機器の動作又は計器の指示値等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。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、KKケーブル、難燃PHケーブル及び難燃SHVV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。

また、FPET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小さい。

なお、絶縁低下は、絶縁抵抗測定、系統機器の動作確認又は計器の指示値確認等で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

KKケーブル、難燃PHケーブル及び難燃SHVV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。

なお、FPETケーブルについては、引続き定期的に系統機器の動作確認又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。さらに、代表機器と構造及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）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SHVVケーブル（製造メーカーが異なるケーブル）
- ② FPPケーブル
- ③ FPTF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〕

事故時雰囲気中で機能要求のない代表ケーブルと製造メーカーが異なる難燃SHVVケーブル及びFPPケーブルについては、構造及び絶縁体材料が類似している実機同等品を用い、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。

代表ケーブルと製造メーカーが異なる難燃SHVVケーブル及びFPPケーブルの絶縁低下は、系統機器の動作確認又は指示値確認等で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、代表ケーブルと製造メーカーが異なる難燃SHVVケーブル及びFPPケーブルの絶縁低下については、定期的な系統機器の動作確認又は指示値確認を実施していく。

また、事故時雰囲気中で機能要求のないFPTFケーブルについては、電気学会推奨案に基づく健全性評価を行った結果、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でき、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。（代表機器のFPE Tケーブルの健全性評価を参照）

FPTFケーブルの絶縁低下については、系統機器の動作確認又は指示値確認等を実施しており、絶縁低下による機能低下のないことを確認している。絶縁低下は系統機器の動作確認又は指示値確認等で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、FPTF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。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.2.1 シースの劣化〔共通〕

シースは絶縁体と同様に、熱的、電氣的及び環境的要因で劣化を起こす可能性がある。

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又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1
- ② 難燃三重同軸ケーブル2

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料及び使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	5
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	8
3. 代表機器以外への展開	18
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	18
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	19

1. 対象機器及び代表機器の選定

川内2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。

これらの同軸ケーブルを絶縁体材料の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

表1-1に示す同軸ケーブルについて、絶縁体材料を分離基準として考えると、1つのグループにまとめられる。

1.2 代表機器の選定

このグループには難燃三重同軸ケーブル1及び難燃三重同軸ケーブル2が属するが、設計基準事故及び重大事故等時に機能要求のある難燃三重同軸ケーブル2を代表機器とする。

表1-1 川内2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		選定	選定理由
		用途	使用環境		重要度*1	使用開始時期		内部シース	外部シース		
			原子炉格納容器内	原子炉格納容器外		建設時	運転開始後				
絶縁体材料	難燃三重同軸ケーブル1	計装		○	MS-1重*5	○	○	架橋ホ ^o リエチレン	難燃架橋ホ ^o リエチレン	◎	事故時環境下機能要求設備
	難燃三重同軸ケーブル2	計装	○*2、3		MS-1重*5	○	○	架橋ホ ^o リエチレン	E T F E樹脂*4		

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：設計基準事故を考慮する

*3：重大事故等を考慮する

*4：E T F E樹脂：四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂

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

2. 代表機器の技術評価

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 難燃三重同軸ケーブル2

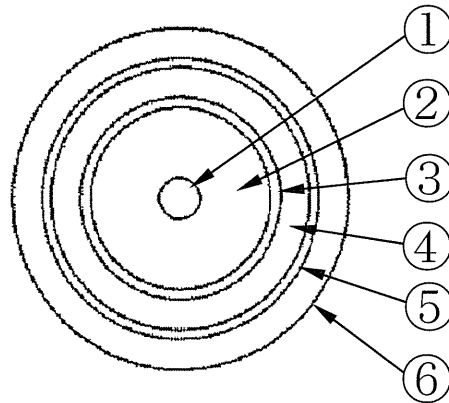
(1) 構造

川内2号炉に使用している難燃三重同軸ケーブル2は、内部導体、絶縁体、外部導体、内部シース、遮へい体及び外部シースで構成され、このうちケーブルの絶縁機能は絶縁体及び内部シースにより保たれている。なお、遮へい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。

川内2号炉の難燃三重同軸ケーブル2の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の難燃三重同軸ケーブル2の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部 位
①	内部導体
②	絶 縁 体
③	外部導体
④	内部シース
⑤	遮へい体
⑥	外部シース

図2.1-1 川内2号炉 難燃三重同軸ケーブル2の構造図

表2.1-1 川内2号炉 難燃三重同軸ケーブル2 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
遮へい体	銅線編組（錫メッキ）
外部シース	四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂

表2.1-2 川内2号炉 難燃三重同軸ケーブル2 の使用条件*1

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時
使用環境	原子炉格納容器内	原子炉格納容器内	原子炉格納容器内
周囲温度	約45℃*2	約127℃ (最高温度)	約138℃ (最高温度)
圧 力	約0.0098MPa[gage] 以下	約0.245MPa[gage] (最高圧力)	約0.350MPa[gage] (最高圧力)
放射線	5×10^{-3} Gy/h*3	602kGy (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の条件を代表して記載

*2：通常運転時の原子炉格納容器内難燃三重同軸ケーブル2 周囲温度実測値（平均値の最大値）に余裕を加えた温度

*3：通常運転時の原子炉格納容器内難燃三重同軸ケーブル2 周囲線量率実測値（平均値の最大値）に余裕を加えた線量率

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

難燃三重同軸ケーブル2の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

難燃三重同軸ケーブル2について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件及び現在までの運転経験等を考慮し、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) 絶縁体及び内部シースの絶縁低下

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

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 外部シースの劣化

外部シースは絶縁体と同様に、熱的、電氣的及び環境的要因で劣化を起こす可能性がある。

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 川内2号炉 難燃三重同軸ケーブル2に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	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	○					
	遮へい体		銅線編組（錫メッキ）						
	外部シース		四フッ化エチレン ・エチレン共重合樹脂					△*1	

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 絶縁体及び内部シースの絶縁低下

a. 事象の説明

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

b. 技術評価

① 健全性評価

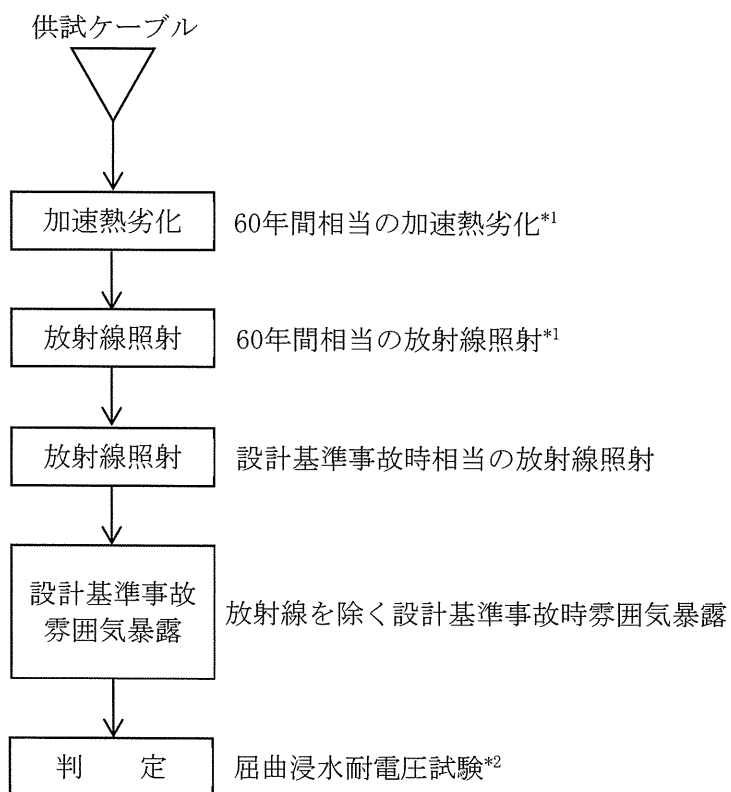
ケーブルの長期間の経年劣化を考慮した必要性能の評価方法は I E E E S t d . 3 2 3 - 1 9 7 4 「IEEE Standard for Qualifying Class IE Equipment for Nuclear Power Generating Stations」及び383-1974 「IEEE Standard for Type Test of Class IE Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations」の規格を根幹に、我が国のケー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、試験手順並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難燃三重同軸ケーブル2の長期健全性を評価した。

設計基準事故時雰囲気内で機能要求のある難燃三重同軸ケーブル2の電気学会推奨案に基づく試験手順及び判定方法を図2.3-1に示す。

難燃三重同軸ケーブル2の長期健全性試験条件並びに長期健全性試験結果を表2.3-1及び表2.3-2に示す。

なお、この試験条件は、川内2号炉の実機環境に基づいて60年間の運転期間及び設計基準事故を想定した劣化条件を包絡している。

電気学会推奨案に基づく評価の結果、川内2号炉の難燃三重同軸ケーブル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。



*1：原子炉格納容器内のケーブル使用条件に基づいた試験条件である

*2：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き付ける
- 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、絶縁破壊が生じるか否かを調べる

図2.3-1 難燃三重同軸ケーブル2の長期健全性試験手順

表2.3-1 難燃三重同軸ケーブル2の長期健全性試験条件（設計基準事故）

		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 又は 設計基準事故時の環境条件
通常運転 相当	温度	121℃－7日	82℃－7日 (=45℃*1－60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	2.7kGy*2
設計基準 事故相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)	602kGy
	温度	最高温度：190℃	最高温度：約127℃
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]	最高圧力：約0.245MPa[gage]

*1：原子炉格納容器内でのケーブル布設エリアの温度（約45℃）として設定

*2： $5 \times 10^{-3} [\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 2.7 \text{kGy}$

表2.3-2 難燃三重同軸ケーブル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：11.7mm マンドレル径：供試体外径の約40倍 絶縁厚さ：2.9mm 課電電圧：9.5kV/5分間	良

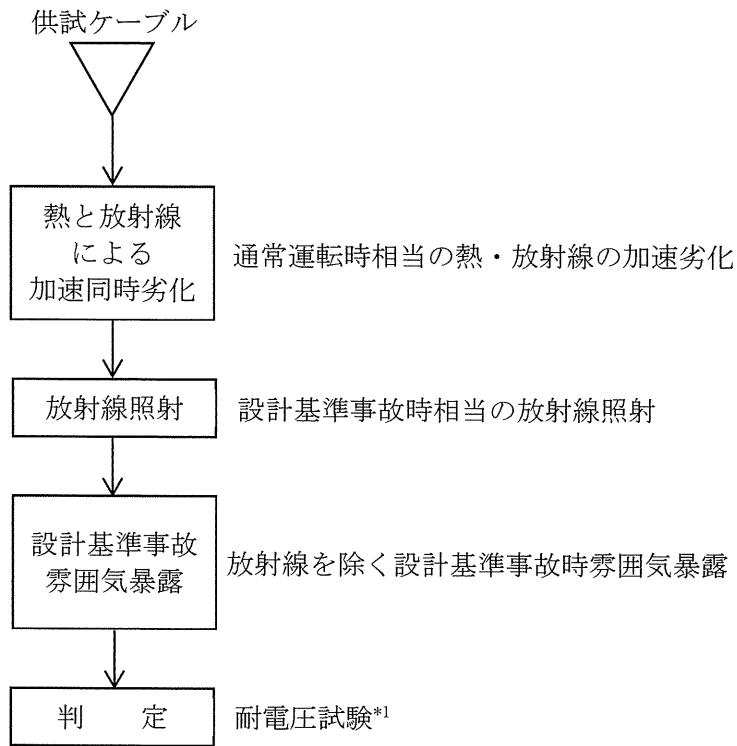
[出典：電力共通研究「電気・計装機器の耐環境実証試験に関する研究(Step-3)
1983年度]

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、独立行政法人原子力安全基盤機構により原子力プラントでの使用条件に即したケーブルの経年劣化評価手法が検討され、その結果が「原子力発電所のケーブル経年劣化評価ガイド（JNES-RE-2013-2049）」（以下、「ACAガイド」という。）に取りまとめられている。このため、設計基準事故時雰囲気内で機能要求がある難燃三重同軸ケーブル2については、ACAガイドに従った長期健全性も評価した。

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及び判定方法を図2.3-2に長期健全性試験条件並びに長期健全性試験結果を表2.3-3及び表2.3-4にケーブル実布設環境に基づく長期健全性評価結果を表2.3-5に示す。

ACAガイドに基づく評価の結果、川内2号炉の難燃三重同軸ケーブル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。



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

図2.3-2 難燃三重同軸ケーブル2のA C Aガイドに基づく長期健全性試験手順

表2.3-3 難燃三重同軸ケーブル2のACA試験条件*1

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

*1:長期健全性試験は、絶縁体種類が同一でシース種類が異なる難燃三重同軸ケーブルにて実施した

表2.3-4 難燃三重同軸ケーブル2のACA試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	課電電圧:AC10kV/1分間(C-1S) AC 2kV/1分間(1S-2S)	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 ACAガイドに基づく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]	放射線量率 [Gy/h]		
通路部	45	0.005	154*2	

*1:稼働率100%での評価期間

*2:時間依存データの重ね合わせ手法により評価

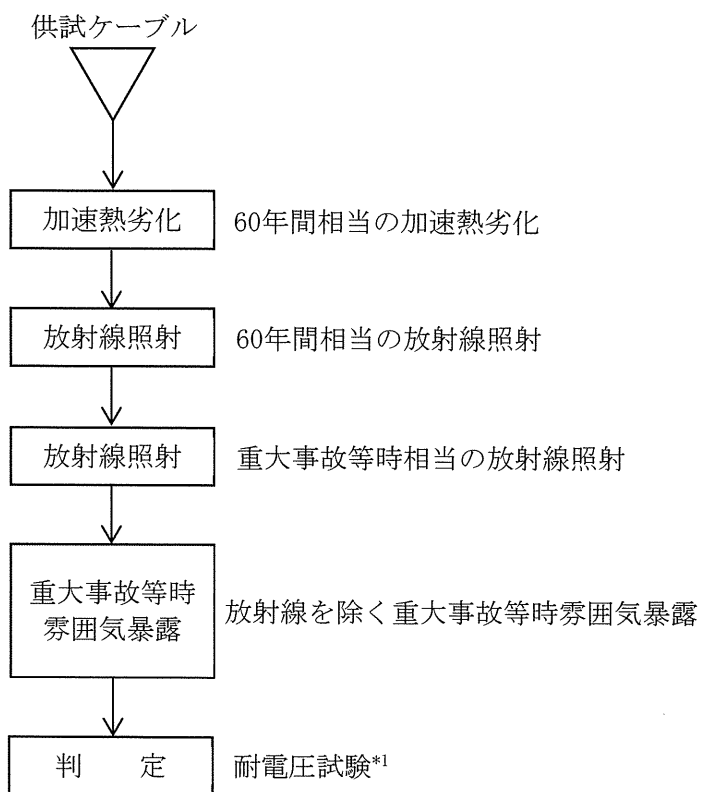
さらに、重大事故等時雰囲気内で機能要求のある難燃三重同軸ケーブル 2 については、重大事故等時雰囲気での健全性をあわせて評価した。

難燃三重同軸ケーブル 2 の試験手順及び判定方法を図 2.3-3 に示す。

難燃三重同軸ケーブル 2 の長期健全性試験条件並びに長期健全性試験果を表 2.3-6 及び表 2.3-7 に示す。

なお、この試験条件は、川内 2 号炉の実機環境に基づいて 60 年間の運転期間及び重大事故等を想定した劣化条件を包絡している。

評価の結果、川内 2 号炉の難燃三重同軸ケーブル 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。



*1：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

図2.3-3 難燃三重同軸ケーブル2の長期健全性試験手順

表2.3-6 難燃三重同軸ケーブル2の長期健全性試験条件（重大事故等）

		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 又は 重大事故等時の環境条件
通常運転 相当	温度	113℃-255h	80℃-255h (=45℃*1-60年)
	放射線 (集積線量)	750kGy (10kGy/h以下)	2.7kGy*2
重大事故 等相当	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	500kGy
	温度	最高温度：150℃	最高温度：約138℃
	圧力	最高圧力：0.5MPa[gage]	最高圧力：約0.350MPa[gage]

*1：原子炉格納容器内でのケーブル布設エリアの温度（約45℃）として設定

*2： $5 \times 10^{-3} [\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 2.7 \text{kGy}$

表2.3-7 難燃三重同軸ケーブル2の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	C-I 間 DC3,000V 1分 I-O 間 DC 500V 1分	良

[出典：電力共同委託「高レンジエリアモニタ及び三重同軸ケーブル・コネクタに関わる耐環境性能評価委託2014年度」]

② 現状保全

絶縁体及び内部シースの絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、許容値以上であることの確認を行っている。

③ 総合評価

電気学会推奨案及びA C Aガイドに基づく健全性評価結果から判断して、絶縁体及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。

c. 高経年化への対応

絶縁体及び内部シースの絶縁低下については、現状保全項目に高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で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の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

① 難燃三重同軸ケーブル1

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 絶縁体及び内部シースの絶縁低下

事故時雰囲気内で機能要求がない難燃三重同軸ケーブル1については、電気学会推奨案に基づく長期健全性試験を行った結果、運転開始後60年時点においても絶縁低下の可能性はないと考える。

また、難燃三重同軸ケーブル1の絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、難燃三重同軸ケーブル1の絶縁体及び内部シースの絶縁低下については、現状保全項目に高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.2.1 外部シースの劣化

外部シースは絶縁体と同様に、熱的、電氣的及び環境的要因で劣化を起こす可能性がある。

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。

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
- ③ 難燃光ファイバケーブル3

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料及び使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	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. 対象機器及び代表機器の選定

川内2号炉で使用されている光ファイバケーブルの主な仕様を表1-1に示す。

これらの光ファイバ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及び結果

表1-1に示す光ファイバケーブルについて、心線材料を分離基準として考えると、1つのグループにまとめられる。

1.2 代表機器の選定

(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1、難燃光ファイバケーブル2及び難燃光ファイバケーブル3が属するが、使用本数が最も多い難燃光ファイバケーブル1を代表機器とする。

表1-1 川内2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		選定	選定理由	
		用途	使用環境		重要度*1	使用開始時期		コード外被			シ ー ス
			原子炉格納容器内	原子炉格納容器外		建設時	運転開始後				
石英ガラス	難燃光ファイバケーブル1	計装		○	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	◎	使用本数
	難燃光ファイバケーブル2	計装		○	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		
	難燃光ファイバケーブル3	計装		○	重*2		○	難燃低塩酸ビニル	難燃低塩酸特殊耐熱ビニル、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及び構造物であることを示す

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の光ファイバケーブルについて技術評価を実施する。

① 難燃光ファイバケーブル1

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 難燃光ファイバケーブル1

(1) 構造

川内2号炉で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、緩衝層及びシースで構成されている。

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

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

川内2号炉の難燃光ファイバケーブル1の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉で使用されている難燃光ファイバケーブル1の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。

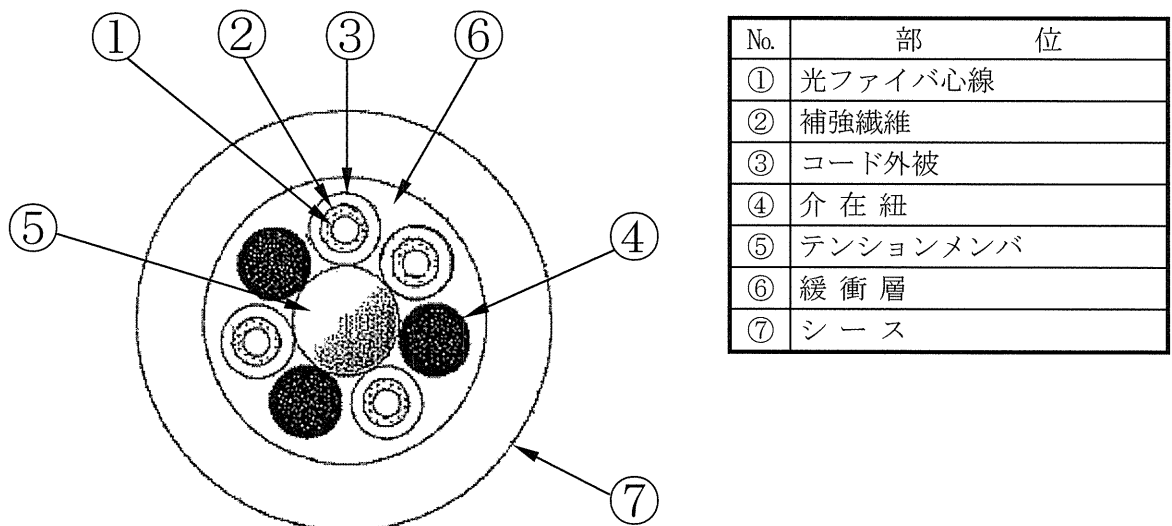


図2.1-1 川内2号炉 難燃光ファイバケーブル1の構造図

表2.1-1 川内2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）、 エポキシアクリレート+ウレタンアクリレート+ ポリオレフィン（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	難燃性ポリエチレン、アルミラミネートテープ

表2.1-2 川内2号炉 難燃光ファイバケーブル1の使用条件*1

使 用 環 境	原子炉格納容器外
周 囲 温 度	約26℃*2

*1：原子炉格納容器外でのみ使用

*2：原子炉格納容器外の設計平均温度

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

難燃光ファイバケーブル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の抽出

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、使用条件及び現在までの運転経験等を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) コード外被、シース及び心線被覆の劣化

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

コード外被、シース及び心線被覆が熱的及び環境的要因で劣化して光ファイバ心線（コア、クラッド）に水素や水分が混入した場合、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、及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 川内2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	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	
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) の伝送光量の減少
			エポキシアクリレート+ウレタン アクリレート+ポリオレフィン (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		難燃性ポリエチレン、 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2
- ② 難燃光ファイバケーブル3

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象でない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.1.1 コード外被、シース及び心線被覆の劣化 [共通]

難燃光ファイバケーブル2及び難燃光ファイバケーブル3のコード外被、シース及び心線被覆は、代表機器と同様に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、シース及び心線被覆が熱的及び環境的要因で劣化して光ファイバ心線（コア、クラッド）に水素や水分が混入した場合、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、及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. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料及び使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	9

1. 対象機器及び代表機器の選定

川内2号炉でケーブルの支持・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及び結果

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

1.2 代表機器の選定

(1) 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 川内2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、材料及び使用条件

2.1.1 ケーブルトレイ

(1) 構造

川内2号炉に使用しているケーブルトレイは、鋼材及び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。

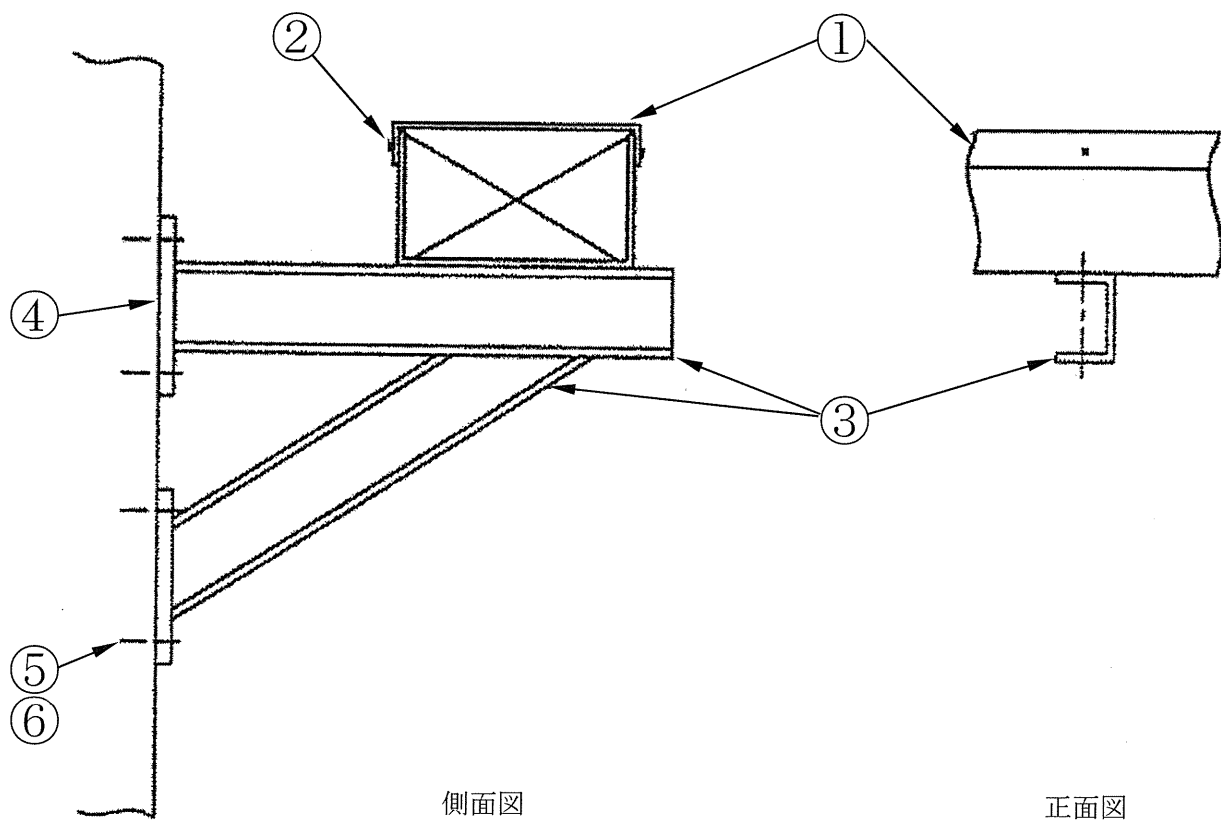
また、ベースプレートは、基礎ボルトあるいは埋込金物への溶接にて支持する構造としている。

川内2号炉のケーブルトレイ構造図の例を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉のケーブルトレイの使用材料を表2.1-1に示す。

使用条件については、屋内に設置している。



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 (メカニカルアンカ)
⑥	埋込金物

図2.1-1 川内2号炉 ケーブルトレイ構造図の例

表2.1-1 川内2号炉 ケーブルトレイ主要部位の使用材料

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 (メカニカルアンカ)	炭 素 鋼
埋込金物	炭 素 鋼

2.1.2 電線管

(1) 構造

川内2号炉に使用している電線管は、鋼材及びベースプレートを溶接により架台状に製作し、電線管（本体）をUボルト又はUバンドにて挟み込んだ構造となっている。

電線管の延長は、ねじ込み式の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。

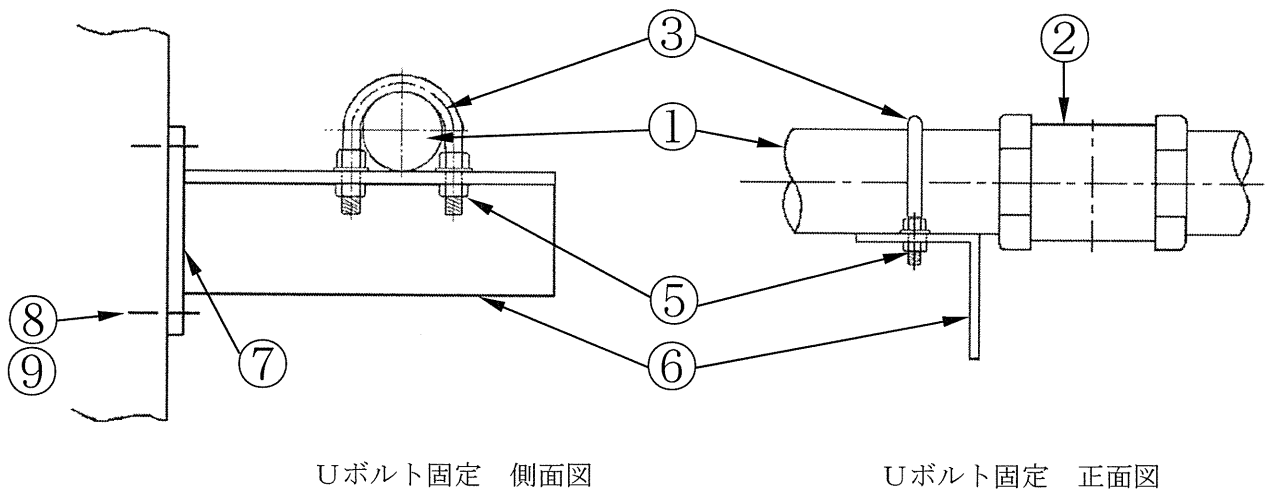
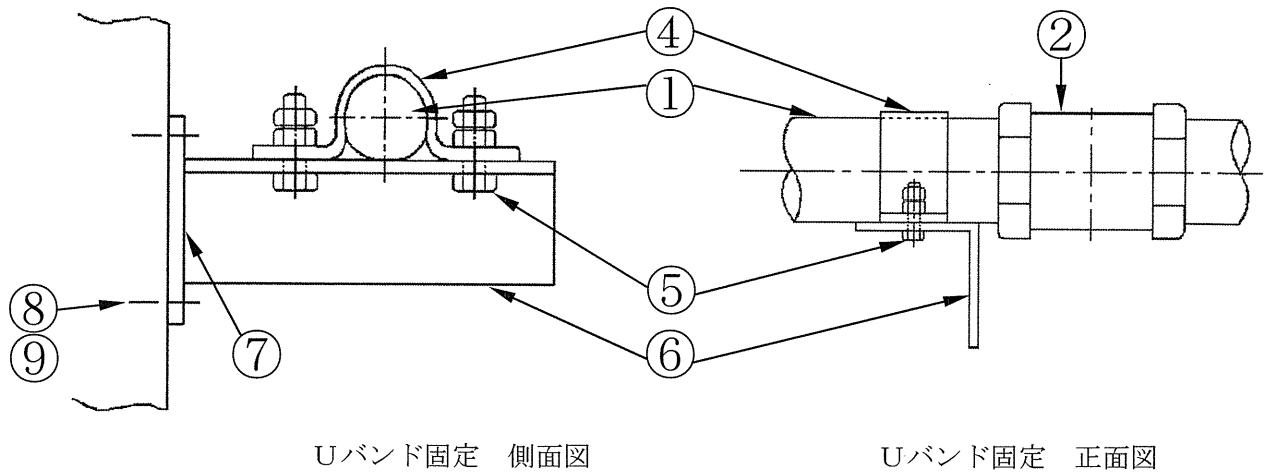
なお、電線管（本体）をコンクリートに直接埋設する構造もある。

川内2号炉の電線管構造図の例を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の電線管の使用材料を表2.1-2に示す。

使用条件については、屋内及び屋外に設置している。



No.	部 位
①	電線管 (本体)
②	カップリング
③	Uボルト
④	Uバンド
⑤	ボルト、ナット
⑥	鋼 材
⑦	ベースプレート
⑧	基礎ボルト (メカニカルアンカ)
⑨	埋込金物

図2.1-2 川内2号炉 電線管構造図の例

表2.1-2 川内2号炉 電線管主要部位の使用材料

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）
Uボルト	炭 素 鋼
Uバンド	炭 素 鋼
ボルト、ナット	炭 素 鋼
鋼 材	炭 素 鋼
ベースプレート	炭 素 鋼
基礎ボルト（メカニカルアンカ）	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、使用条件及び現在までの運転経験等を考慮し、表2.2-1及び表2.2-2に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

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及び表2.2-2で△又は▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

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

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

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

(1) ケーブルトレイ（本体）等の腐食（全面腐食）[共通]

ケーブルトレイ（本体）、取付ボルト、鋼材、ベースプレート、Uボルト、Uバンド、ボルト及びナットは炭素鋼であり、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、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

(2) 電線管（本体）及びカップリングの外面からの腐食（全面腐食）[電線管]

電線管（本体）及びカップリングは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、外面は亜鉛メッキ又は塗装により腐食を防止しており、亜鉛メッキ又は塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

(3) 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共通であることから、機械設備の技術評価書のうち「基礎ボルト」にて評価を実施するものとし、本評価書には含めていない。

(4) 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、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

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

(5) 電線管（本体）及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）及びカップリングは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、内面については、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〔共通〕及び電線管（コンクリート埋設部）〔電線管〕の腐食（全面腐食）

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、埋込金物及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 川内2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 (メカニカルアンカ)		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）

表2.2-2 川内2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）		△ ^{*1} ▲ ^{*2,4}					*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）		△ ^{*1} ▲ ^{*2}						
	Uボルト		炭素鋼		△						
	Uバンド		炭素鋼		△						
	ボルト、ナット		炭素鋼		△						
	鋼 材		炭素鋼		△						
	ベースプレート		炭素鋼		△						
	基礎ボルト（メカニカルアンカ）		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）

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 高圧コネクタ接続
- ⑥ 電動弁コネクタ接続
- ⑦ 三重同軸コネクタ接続
- ⑧ 複合同軸コネクタ接続

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料及び使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	17
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	26
3. 代表機器以外への展開	38
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	38
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	39

1. 対象機器及び代表機器の選定

川内 2 号炉で使用されている主要な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及び結果

表1-1に示すケーブル接続部を型式で分類すると 5 つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 型式：端子接続

このグループには、一般端子接続、端子台接続及び気密端子箱接続が属するが、原子炉格納容器内で使用され、設計基準事故を考慮する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：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。

(4) 型式：低圧コネクタ接続

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

(5) 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及び複合同軸コネクタ接続が属するが、原子炉格納容器内で使用され、設計基準事故を考慮する三重同軸コネクタ接続を代表機器とする。

表1-1 川内2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				選定	選定理由
		用途	使用環境		重要度*1		
型式	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		◎ 使用環境 (事故時雰囲気仕様)
			○		MS-2		
	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	○*2,3	○*2,3	MS-1、重*4	○	
直ジョイント	直ジョイント	電力・制御・計装	○*2,3	○*2,3	MS-1、重*4	○	◎
高圧コネクタ接続	高圧コネクタ接続	電力		○	重*4		◎
低圧コネクタ接続	電動弁コネクタ接続	電力・制御		○	重*4		◎
同軸コネクタ接続	三重同軸コネクタ接続	計装	○*2,3	○	MS-1、重*4	○	◎ 使用環境 (事故時雰囲気仕様)
	複合同軸コネクタ接続	計装		○	MS-2、重*4		

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：設計基準事故を考慮する

*3：重大事故等を考慮する

*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及び構造物であることを示す

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の5種類のケーブル接続部について技術評価を実施する。

- ① 気密端子箱接続
- ② 直ジョイント
- ③ 高圧コネクタ接続
- ④ 電動弁コネクタ接続
- ⑤ 三重同軸コネクタ接続

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 気密端子箱接続

(1) 構造

川内2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。

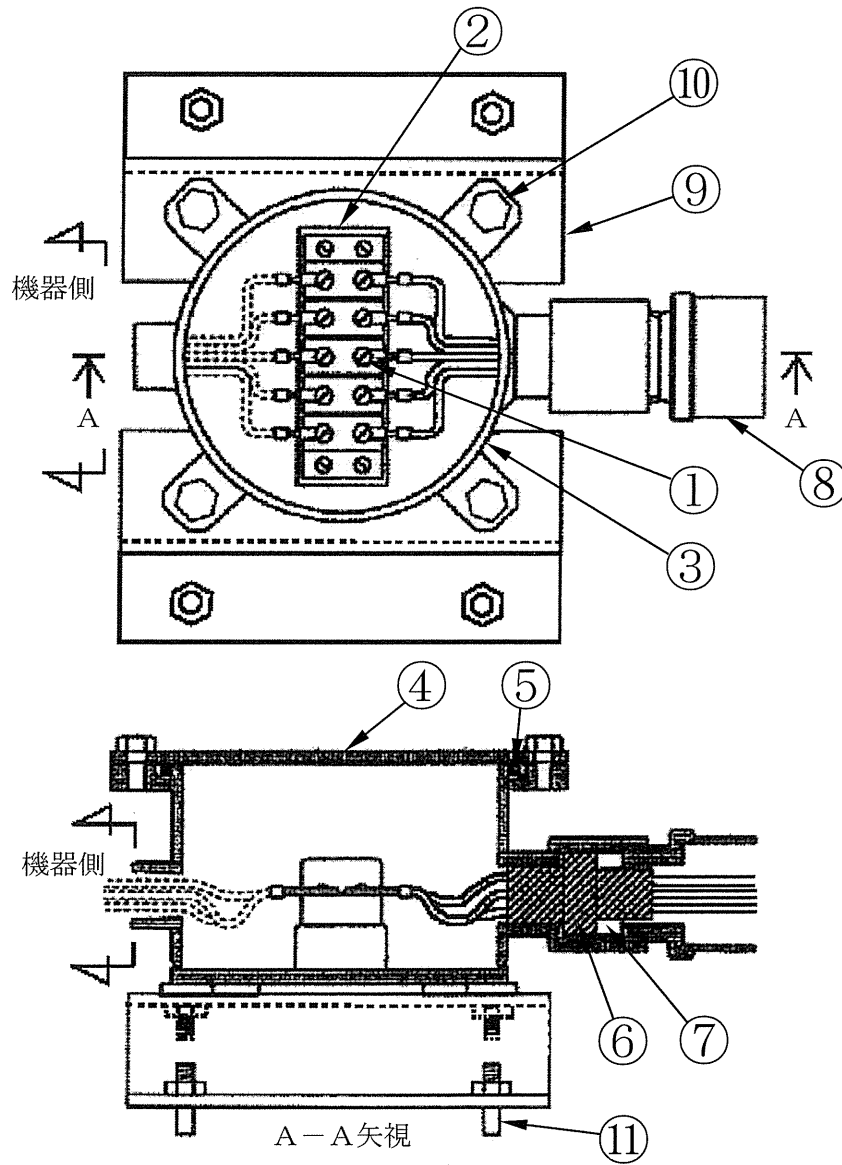
また、蓋板はOリングを挟み込んでねじ止めし、ケーブル貫通部はLCモールドを押え金具で押さえた後、ボックスコネクタにて締め込む構造となっている。

端子箱は、基礎ボルトで壁に取り付けられた架台に、取付ボルトで取り付けている。

川内2号炉の気密端子箱接続構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の気密端子箱接続の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部 位
①	端 子
②	端 子 台
③	端 子 箱
④	蓋 板
⑤	〇リング
⑥	LCモールド
⑦	押え金具
⑧	ボックスコネクタ
⑨	架 台
⑩	取付ボルト
⑪	基礎ボルト(メカニカルアンカ)

図2.1-1 川内2号炉 気密端子箱接続構造図

表2.1-1 川内2号炉 気密端子箱接続主要部位の使用材料

部 位		材 料
気密端子箱 構成品	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
支持組立品	架 台	炭 素 鋼
	取付ボルト	ステンレス鋼
	基礎ボルト（メカカルアソ）	炭 素 鋼

表2.1-2 川内2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
使用環境	原子炉格納容器内	原子炉格納容器内	原子炉格納容器内
周囲温度	約50℃*2	約127℃ （最高温度）	約138℃ （最高温度）
圧 力	約0.0098MPa[gage] 以下	約0.245MPa[gage] （最高圧力）	約0.350MPa[gage] （最高圧力）
放 射 線	0.35Gy/h*3	602kGy （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温度実測値（平均値の最大値）に余裕を加えた温度

*3：通常運転時の原子炉格納容器内気密端子箱接続周囲線量率実測値（平均値の最大値）に余裕を加えた線量率

2.1.2 直ジョイント

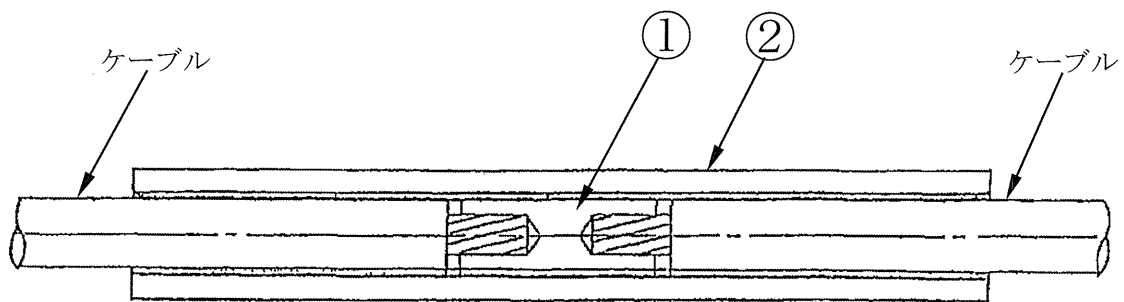
(1) 構造

川内2号炉に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及び絶縁を行う構造である。

川内2号炉の直ジョイント構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の直ジョイントの使用材料及び使用条件を表2.1-3及び表2.1-4に示す。



No.	部 位
①	隔壁付スリーブ
②	熱収縮チューブ

図2.1-2 川内2号炉 直ジョイント構造図

表2.1-3 川内2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 川内2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
使用環境	原子炉格納容器内	原子炉格納容器内	原子炉格納容器内
周囲温度	約50℃*2	約127℃ （最高温度）	約138℃ （最高温度）
圧 力	約0.0098MPa[gage] 以下	約0.245MPa[gage] （最高圧力）	約0.350MPa[gage] （最高圧力）
放 射 線	0.35Gy/h*3	602kGy （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温度実測値（平均値の最大値）に余裕を加えた温度

*3：通常運転時の原子炉格納容器内直ジョイント周囲線量率実測値（平均値の最大値）に余裕を加えた線量率

2.1.3 高圧コネクタ接続

(1) 構造

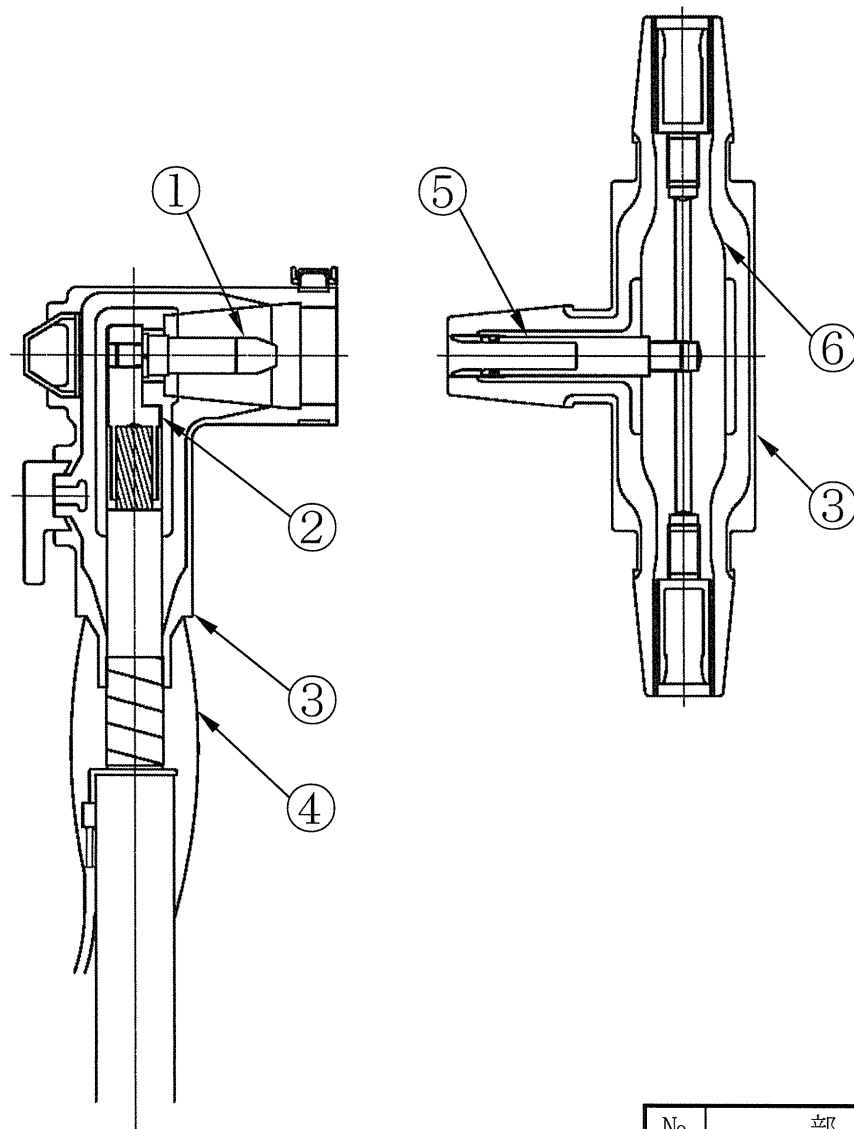
川内2号炉に使用している高圧コネクタ接続は、接続端子をソケットに差し込むことにより接続される構造となっている。

また、接続端子部及びソケット、導体は絶縁筒等の絶縁物により外部との絶縁を保っている。

川内2号炉の高圧コネクタ接続構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の高圧コネクタ接続の使用材料及び使用条件を表2.1-5及び表2.1-6に示す。



No.	部 位
①	接続端子
②	圧縮端子
③	絶縁筒
④	保護層
⑤	ソケット
⑥	導 体

図2.1-3 川内2号炉 高圧コネクタ接続構造図

表2.1-5 川内2号炉 高圧コネクタ接続主要部位の使用材料

部 位	材 料
接続端子	銅（銀メッキ）
圧縮端子	銅（銀メッキ）
絶縁筒	エチレンプロピレンゴム
保護層	エチレンプロピレンゴム+ビニル
ソケット	銅（銀メッキ）
導 体	銅

表2.1-6 川内2号炉 高圧コネクタ接続の使用条件

	通常運転時
使 用 環 境	原子炉格納容器外
周 囲 温 度	約40°C*1
放 射 線	$0.55 \times 10^{-3} \text{Gy/h}^{*2}$

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

*2：通常運転時の原子炉格納容器外の最大実測値

2.1.4 電動弁コネクタ接続

(1) 構造

川内2号炉に使用している電動弁コネクタ接続は、オスコンタクトとメスコンタクトを接続し、レセプタクルシエルの接続ナットを締め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、コンタクトは絶縁物により絶縁を保っている。

川内2号炉の電動弁コネクタ接続構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の電動弁コネクタ接続の使用材料及び使用条件を表2.1-7及び表2.1-8に示す。

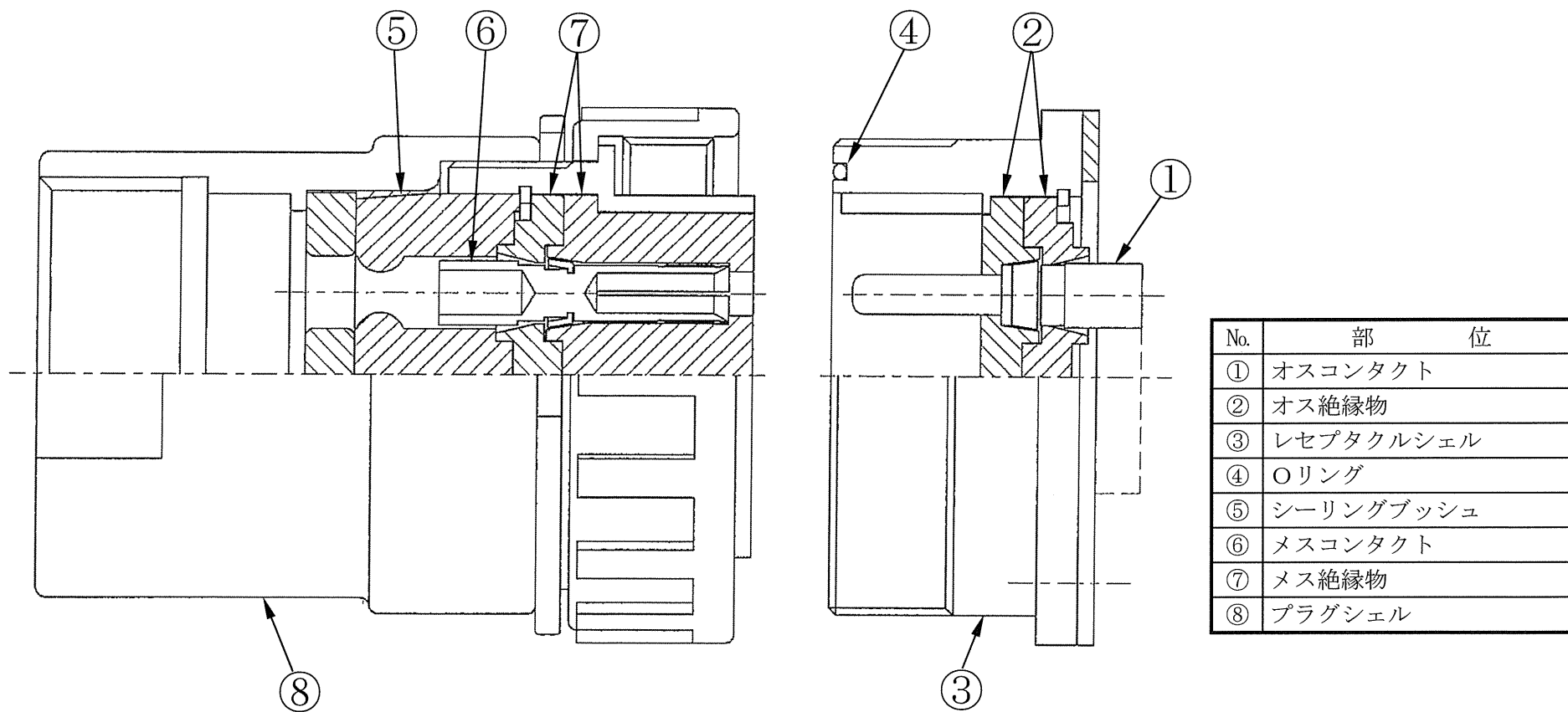


図2.1-4 川内2号炉 電動弁コネクタ接続構造図

表2.1-7 川内2号炉 電動弁コネクタ接続主要部位の使用材料

部 位	材 料
オスコンタクト	銅（銀メッキ）
オス絶縁物	ジアリルフタレート樹脂
レセプタクルシェル	アルミニウム合金
Oリング	エチレンプロピレンゴム
シーリングブッシュ	エチレンプロピレンゴム
メスコンタクト	銅（銀メッキ）
メス絶縁物	ジアリルフタレート樹脂
プラグシェル	アルミニウム合金

表2.1-8 川内2号炉 電動弁コネクタ接続の使用条件

	通常運転時
使 用 環 境	原子炉格納容器外
周 囲 温 度	約40℃*1
放 射 線	$0.55 \times 10^{-3} \text{Gy/h}^{*2}$

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

*2：通常運転時の原子炉格納容器外の最大実測値

2.1.5 三重同軸コネクタ接続

(1) 構造

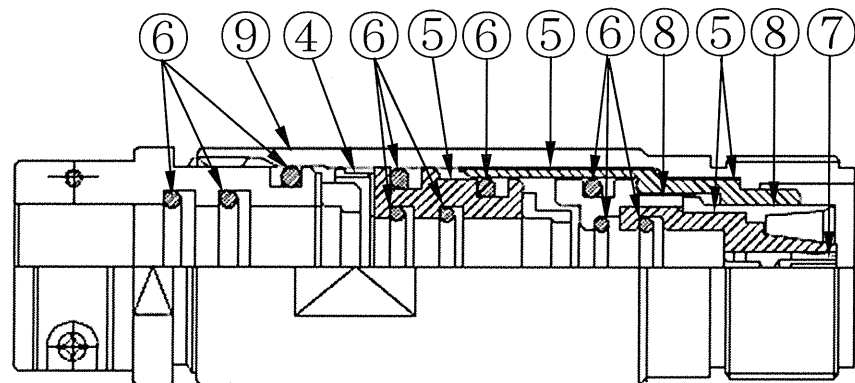
川内2号炉に使用している三重同軸コネクタ接続は、ピンコンタクトとソケットコンタクト及び1SコンタクトPと1SコンタクトJを接続し、プラグボディのカップリングナットを締め込むことにより接続部分が固定される構造となっている。

また、コンタクトは絶縁物により絶縁を保っている。

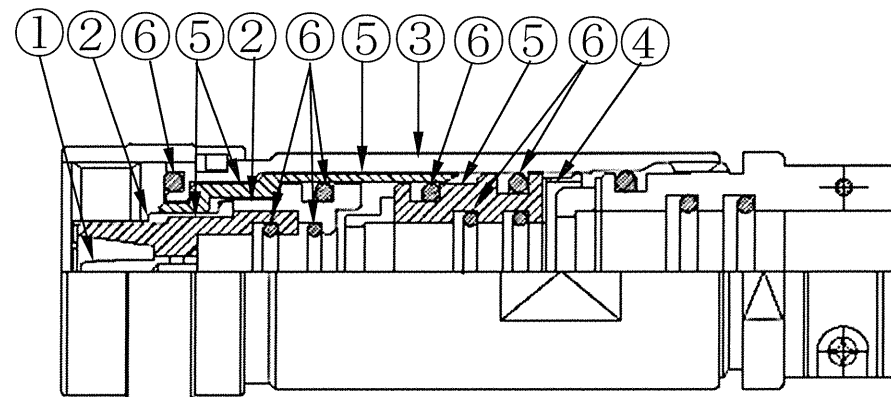
川内2号炉の三重同軸コネクタ接続構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の三重同軸コネクタ接続の使用材料及び使用条件を表2.1-9及び表2.1-10に示す。



ジャック



プラグ

No.	部 位
①	ピンコンタクト
②	1 S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	1 SコンタクトJ
⑨	ジャックボディ

図2.1-5 川内2号炉 三重同軸コネクタ接続構造図

表2.1-9 川内2号炉 三重同軸コネクタ接続主要部位の使用材料

部 位	材 料
ピンコンタクト	銅合金（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2.1-10 川内2号炉 三重同軸コネクタ接続の使用条件*1

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時
使用環境	原子炉格納容器内	原子炉格納容器内	原子炉格納容器内
周囲温度	約45℃*2	約127℃ (最高温度)	約138℃ (最高温度)
圧 力	約0.0098MPa[gage] 以下	約0.245MPa[gage] (最高圧力)	約0.350MPa[gage] (最高圧力)
放 射 線	5×10^{-3} Gy/h*3	602kGy (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周囲温度実測値（平均値の最大値）に余裕を加えた温度

*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周囲線量率実測値（平均値の最大値）に余裕を加えた線量率

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2つ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、各部位の構造、材料、使用条件及び現在までの運転経験等を考慮し、表2.2-1～表2.2-5に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1～表2.2-5で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 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]、絶縁筒 [高圧コネクタ接続]、絶縁物 [電動弁コネクタ接続及び三重同軸コネクタ接続] は有機物であり、熱的、電氣的及び環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

また、ケーブル接続部のOリング [気密端子箱接続、電動弁コネクタ接続及び三重同軸コネクタ接続]、LCモールド [気密端子箱接続]、絶縁筒、保護層 [高圧コネクタ接続] 及びシーリングブッシュ [電動弁コネクタ接続] は有機物であり、熱的、電氣的及び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～表2.2-5で△又は▲となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

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

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

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

(1) 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、定期的な計測制御系統設備の機能検査等により、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、定期的な目視確認により容易に状態の確認が可能であり、腐食が認められた場合には必要に応じて補修を実施することにより、機器の健全性を維持している。

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

(3) 架台の腐食（全面腐食）〔気密端子箱接続〕

架台は炭素鋼であり、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いる。また、定期的な目視確認により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修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。

(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共通であることから、機械設備の技術評価書のうち「基礎ボルト」にて評価を実施するものとし、本評価書には含めていない。

(5) 接続端子等の腐食（全面腐食）

〔高圧コネクタ接続、電動弁コネクタ接続、三重同軸コネクタ接続〕

接続端子、圧縮端子、ソケット〔高圧コネクタ接続〕、オスコンタクト及びメスコンタクト〔電動弁コネクタ接続〕、ピンコンタクト、1 S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、1 SコンタクトJ及びジャックボディ〔三重同軸コネクタ接続〕は銅もしくは銅合金であり、腐食が想定される。

しかしながら、錫メッキ、ニッケルメッキ、銀メッキ又は金メッキにより腐食を防止しており、定期的な目視確認又は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。

レセプタクルシェル及びプラグシェル〔電動弁コネクタ接続〕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、人工的に酸化皮膜を形成することにより腐食を防止している。また、定期的な目視確認で有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

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

(6) 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〕、隔壁付スリーブ〔直ジョイント〕は銅もしくは銅合金であり、腐食が想定される。

しかしながら、端子及び端子台は錫メッキ又はニッケルメッキにより腐食を防止している。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閉されており、腐食の可能性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 川内2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	架 台		炭素鋼				△			
	取付ボルト		ステンレス鋼							
	基礎ボルト（メカカルアンカ）		炭素鋼				△			

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-2 川内2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2.2-3 川内2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	接続端子		銅（銀メッキ）				△			
	圧縮端子		銅（銀メッキ）				△			
	絶縁筒		エチレンプロピレンゴム	○						
	保護層		エチレンプロピレンゴム +ビニル	○						
	ソケット		銅（銀メッキ）				△			
	導 体		銅							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-4 川内2号炉 電動弁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	オスコンタクト		銅（銀メッキ）				△			
	オス絶縁物		ジアリルフタレート樹脂	○						
	レセプタクルシェル		アルミニウム合金				△			
	○リング		エチレンプロピレンゴム	○						
	シーリングブッシュ		エチレンプロピレンゴム	○						
	メスコンタクト		銅（銀メッキ）				△			
	メス絶縁物		ジアリルフタレート樹脂	○						
	プラグシェル		アルミニウム合金				△			

○：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2.2-5 川内2号炉 三重同軸コネクタ接続に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	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）				△			
	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）				△			

○：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]、絶縁筒 [高圧コネクタ接続]、絶縁物 [電動弁コネクタ接続及び三重同軸コネクタ接続] は有機物であり、熱的、電氣的及び環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

また、ケーブル接続部のOリング [気密端子箱接続、電動弁コネクタ接続及び三重同軸コネクタ接続]、LCモールド [気密端子箱接続]、絶縁筒、保護層 [高圧コネクタ接続] 及びシーリングブッシュ [電動弁コネクタ接続] は有機物であり、熱的、電氣的及び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

気密端子箱接続、直ジョイント、電動弁コネクタ接続及び三重同軸コネクタ接続はIEEE Std. 323-1974「IEEE Standard for Qualifying Class IE Equipment for Nuclear Power Generating Stations」（以下、「IEEE Std.323-1974」という。）及び383-1974「IEEE Standard for Type Test of Class IE 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、実機同等品により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。

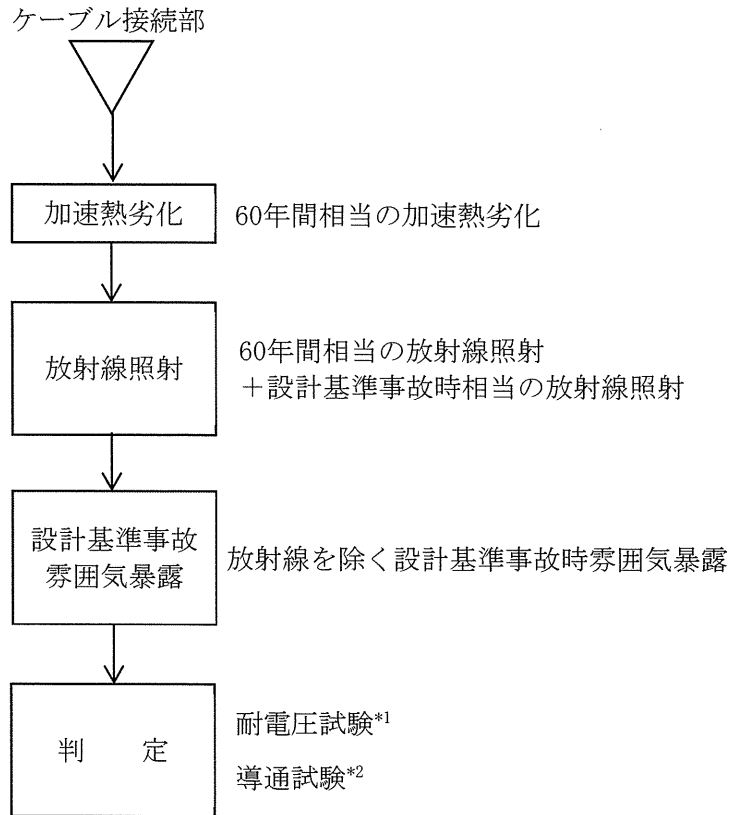
IEEE Std. 323-1974、383-1974に基づく試験手順を図2.3-1に示す。

ケーブル接続部の長期健全性試験条件並びに長期健全性試験結果を表2.3-1～表2.3-8に示す。

ここで、電動弁コネクタについては、絶縁物等の材料が同じ有機物である格納容器内電動弁コネクタの健全性評価結果に基づき評価を実施した。

この試験条件は、川内2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。

劣化試験後に、耐電圧試験又は導通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、川内2号炉で使用され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。



*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

- ・気密端子箱接続
- ・直ジョイント
- ・三重同軸コネクタ接続

*2 導通試験：試験後導通不良がないか調べる

- ・電動弁コネクタ接続

図2.3-1 ケーブル接続部の長期健全性試験手順

表2.3-1 気密端子箱接続の長期健全性試験条件（設計基準事故）*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 又は 設計基準事故時の環境条件
通常運転 相当	温度	121℃-7日	103℃-7日 (=50℃*2-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h)	185kGy*3
設計基準 事故相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h)	602kGy
	温度	最高温度：190℃	最高温度：約127℃
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]	最高圧力：約0.245MPa[gage]

*1：設計基準事故時における環境条件が厳しい原子炉格納容器内気密端子箱の使用条件を代表として記載

*2：原子炉格納容器内でのケーブル接続部の周囲温度（約50℃）として設定

*3： $0.35[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60[\text{y}] = 185\text{kGy}$

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 2.0kV 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（設計基準事故）*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 又は 設計基準事故時の環境条件
通常運転 相当	温度	121℃-7日	103℃-7日*3(=50℃*2-60年) 110℃-7日*4(=50℃*2-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	185kGy*5
設計基準 事故相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)	602kGy
	温度	最高温度：190℃	最高温度：約127℃
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]	最高圧力：約0.245MPa[gage]

*1：設計基準事故時における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：原子炉格納容器内でのケーブル接続部の周囲温度（約50℃）として設定

*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： $0.35[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60[\text{y}] = 185\text{kGy}$

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 2.6kV 5分	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、メーカーデータ]

表2.3-5 電動弁コネクタ接続の長期健全性評価試験条件故*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
通常運転 相当	温度	138℃-12.5日	86℃-12.5日*3 (=40℃*2-60年) 116℃-12.5日*4 (=40℃*2-60年)
	放射線 (集積線量)	700kGy (10kGy/h)	0.29kGy*5

*1：長期健全性評価試験は、絶縁材料、気密材料が同一で、設計基準事故を含めて評価した原子炉格納容器内電動弁コネクタにて実施した

*2：原子炉格納容器外でのケーブル接続部の周囲温度（約40℃）として設定

*3：Oリング等の気密材料に対する試験条件

*4：絶縁材料に対する試験条件

*5： $0.55 \times 10^{-3} [\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 0.29 \text{kGy}$

表2.3-6 電動弁コネクタ接続の長期健全性試験結果*1

項目	試験条件	判定
導通試験	通電が可能なこと	良

*1：長期健全性評価試験は、絶縁材料、気密材料が同一で、設計基準事故を含めて評価した原子炉格納容器内電動弁コネクタにて実施した

[出典：メーカーデータ]

表2.3-7 三重同軸コネクタ接続の長期健全性試験条件（設計基準事故）*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 又は 設計基準事故時の環境条件
通常運転 相当	温度	121℃-7日	96℃-7日*3(=45℃*2-60年) 65℃-7日*4(=45℃*2-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	2.7kGy*5
設計基準 事故相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)	602kGy
	温度	最高温度：190℃	最高温度：約127℃
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]	最高圧力：約0.245MPa[gage]

*1：設計基準事故時における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の使用条件を代表として記載

*2：原子炉格納容器内でのケーブル接続部の周囲温度（約45℃）として設定

*3：リング等の気密材料に対する試験条件

*4：絶縁材料に対する試験条件

*5： $5 \times 10^{-3} [\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 2.7 \text{kGy}$

表2.3-8 三重同軸コネクタ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	DC 3.0kV 1分	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]

また、重大事故等時雰囲気内で機能要求がある気密端子箱接続、直ジョイント及び三重同軸コネクタ接続については、重大事故等時雰囲気での健全性をあわせて評価した（表2.3-9～表2.3-14）。

この試験条件は、川内2号炉の実機環境に基づいて60年間の運転期間及び重大事故等を想定した劣化条件を包絡している。

劣化試験後に、耐電圧試験又は導通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、川内2号炉で使用されているケーブル接続部は、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。

表2.3-9 気密端子箱接続の長期健全性試験条件（重大事故等）*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 又は 重大事故等時の環境条件
通常運転 相当	温度	140℃-8h	128℃-8h (=50℃*2-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	185kGy*3
重大事故 等相当	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	500kGy
	温度	最高温度：150℃	最高温度：約138℃
	圧力	最高圧力：0.5MPa[gage]	最高圧力：約0.350MPa[gage]

*1：重大事故等時における環境条件が厳しい原子炉格納容器内気密端子箱の使用条件を代表として記載

*2：原子炉格納容器内でのケーブル接続部の周囲温度（約50℃）として設定

*3： $0.35[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60[\text{y}] = 185\text{kGy}$

表2.3-10 気密端子箱接続の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	AC 1.5kV 1分	良

[出典：電力共同委託「S A時の計装品の耐環境性能評価委託2014年度」]

表2.3-11 直ジョイントの長期健全性試験条件（重大事故等）*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 又は 重大事故等時の環境条件
通常運転 相当	温度	140℃-8h 140℃-21h	128℃-8h*3(=50℃*2-60年) 129℃-21h*4(=50℃*2-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	185kGy*5
重大事故 等相当	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	500kGy
	温度	最高温度：150℃	最高温度：約138℃
	圧力	最高圧力：0.5MPa[gage]	最高圧力：約0.350MPa[gage]

*1：重大事故等時における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：原子炉格納容器内でのケーブル接続部の周囲温度（約50℃）として設定

*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： $0.35[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60[\text{y}] = 185\text{kGy}$

表2.3-12 直ジョイントの長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	AC 1.5kV 1分	良

[出典：電力共同委託「SA時の計装品の耐環境性能評価委託2014年度」]

表2.3-13 三重同軸コネクタ接続の長期健全性試験条件（重大事故等）*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 又は 重大事故等時の環境条件
通常運転 相当	温度	113℃-255h	93℃-255h ^{*3} (=45℃ ^{*2} -60年) 64℃-255h ^{*4} (=45℃ ^{*2} -60年)
	放射線 (集積線量)	750kGy (10kGy/h以下)	2.7kGy ^{*5}
重大事故 等相当	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	500kGy
	温度	最高温度：150℃	最高温度：約138℃
	圧力	最高圧力：0.5MPa[gage]	最高圧力：約0.350MPa[gage]

*1：重大事故等時における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の使用条件を代表として記載

*2：原子炉格納容器内でのケーブル接続部の周囲温度（約45℃）として設定

*3：Oリング等の気密材料に対する試験条件

*4：絶縁材料に対する試験条件

*5： $5 \times 10^{-3} [\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 2.7 \text{kGy}$

表2.3-14 三重同軸コネクタ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	C-I間 DC3,000V 1分 I-O間 DC 500V 1分	良

[出典：電力共同委託「高レンジエリアモニタ及び三重同軸ケーブル・コネクタに関わる耐環境性能評価委託2014年度」]

また、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、長期の使用を考慮すると絶縁低下の可能性は否定できない。

② 現状保全

絶縁物等の絶縁低下に対して、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により、許容値以上であることを確認している。

制御・計装用ケーブル接続部については、定期的に計測制御系統設備の機能検査等により、系統機器の動作又は計器の指示等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。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、絶縁機能を維持できると判断する。

絶縁低下は、絶縁抵抗測定、系統機器の動作確認又は計器の指示値確認等で検知可能であり、点検手法として適切である。

また、高圧コネクタ接続について、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

絶縁物等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。

なお、より実機条件に即した電気・計装設備の長期健全性評価手法に関する検討が国プロジェクト「電気・計装設備の健全性評価技術調査研究」で実施されており、今後その成果の反映を検討していく。

また、高圧コネクタ接続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 一般端子接続
- ② 端子台接続
- ③ 複合同軸コネクタ接続
- ④ 三重同軸コネクタ接続（製造メーカーが異なる三重同軸コネクタ）

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.2.1 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であり、腐食が想定される。

しかしながら、金メッキ、銀メッキ、亜鉛メッキ又は錫メッキにより腐食を防止しており、系統機器点検時の目視確認又は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。

川内原子力発電所2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]

九州電力株式会社

川内 2 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 の機器及び常設重大事故等対処設備に属する機器を電圧区分、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、仕様の観点から代表機器を選定した。

これらの一覧を表 1 に、機能を表 2 に示す。

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

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

本評価書では電気設備の型式等を基に、以下の 4 つに分類している。

- 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

また、川内 1、2 号炉の共用設備のうち 1 号炉で設置されている電気設備については、「川内原子力発電所 2 号炉 共用設備（他号炉設備）の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含まれていない。

表 1 (1/4) 川内 2 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							選定	選定理由
			重要度*1	使用条件			内蔵遮断器				
電圧区分				運 転	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35	ば ね	2,000 1,200	40	◎	重要度
	重大事故等対処用変圧器受電盤 (1)	高圧閉鎖形 定格電流 1,200A	重*2	一 時	6,600	約40	ば ね	1,200	40		
	代替電源接続盤 (4)	屋内用壁掛盤 定格電流 350A	重*2	一 時	6,600	約35 約40	—	—	—		

*1：機能は最上位の機能を示す

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

表 1 (2/4) 川内 2 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			選定	選定理由
				重要度*1	使用条件			
種類	設置場所				運転	定格電圧*3 (V)		
乾式自冷式	屋内	動力変圧器 (安全系) (2)	2,300	MS-1、重*2	連続	6,600	約35	◎ 重要度
		重大事故等対処用変圧器盤 (1)	200	重*2	一時	6,600	約40	

*1：機能は最上位の機能を示す

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

*3：高圧側の電圧を示す

表 1 (3/4) 川内 2 号炉 主要な電気設備 パワーセンタ

機器名称 (群数)	仕様	重要度*1	使用条件			内蔵遮断器		
			運転	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35	ばね	3,000	65
							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及び構造物であることを示す

表1 (4/4) 川内2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)	選定基準					選定	選定理由
			仕様	重要度*1	使用条件				
電圧区分	設置場所				運転	定格使用電圧 (V)	周囲温度 (°C)		
低圧	屋内	原子炉コントロールセンタ (安全系) (4)	低圧閉鎖形 定格電流 800A	MS-1、重*2	連続	460	約35	◎	重要度 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		
		事故後サンプリングコントロールセンタ (1) *3	低圧閉鎖形 定格電流 600A	重*2	連続	460	約40		

*1：機能は最上位の機能を示す

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

*3：事故後サンプリングコントロールセンタのうちA系統のみ

表2 川内2号炉 主要な電気設備の機能

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（海水ポンプ等）及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	高圧側電圧（6.6kV）を低圧側電圧（460V）に降圧を行う。
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（制御用空気圧縮機用電動機等）及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 重大事故等対処用変圧器受電盤
- ③ 代替電源接続盤

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料及び使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	7
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	17
3. 代表機器以外への展開	24
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	24
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. 対象機器及び代表機器の選定

川内2号炉で使用されているメタルクラッド開閉装置（以下、「メタクラ」という。）の主な仕様を表1-1に示す。

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

1.1 グループ化の考え方及び結果

表1-1に示すメタクラについて、電圧区分及び設置場所の観点から1つのグループにまとめられる。

1.2 代表機器の選定

重要度の高いタクラ（安全系）を代表機器とする。

表1-1 川内2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							選定	選定理由
			重要度*1	使 用 条 件			内 蔵 遮 断 器				
				運 転	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35	ば ね	2,000 1,200	40	◎	重要度
	重大事故等対処用変圧器受電盤 (1)	高圧閉鎖形 定格電流 1,200A	重*2	一 時	6,600	約40	ば ね	1,200	40		
	代替電源接続盤 (4)	屋内用壁掛盤 定格電流 350A	重*2	一 時	6,600	約35 約40	—	—	—		

*1：機能は最上位の機能を示す

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

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の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、材料及び使用条件

2.1.1 メタクラ（安全系）

(1) 構造

川内2号炉のメタクラ（安全系）は、定格使用電圧6,900V、母線定格電流2,000Aの高圧閉鎖形である。

メタクラ（安全系）には真空遮断器を収納しており、電源回路の保護、制御のために計器用変流器、計器用変圧器等を備えている。

遮断器の投入は、ばね蓄勢用モータ（低圧モータ）により蓄勢された投入ばねによって行い、開放は投入時に蓄勢された引外しばねによって行う構造となっている。

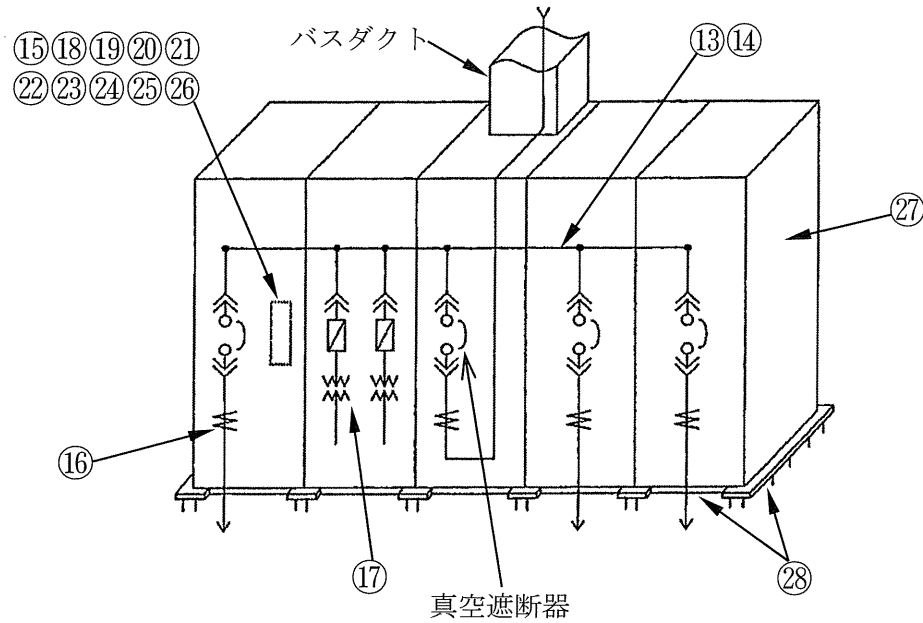
また、電流の遮断は、真空バルブ内で電極を引外すことにより生じるアークを拡散・消滅させることで行う。

メタクラ母線への電源供給はバスダクトにより行う。

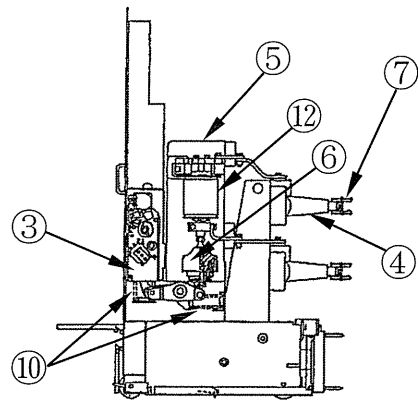
川内2号炉のメタクラ（安全系）構成図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

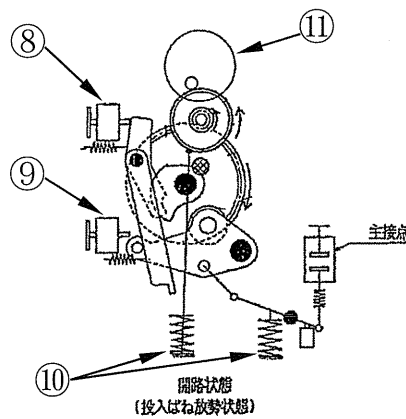
川内2号炉のメタクラ（安全系）の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



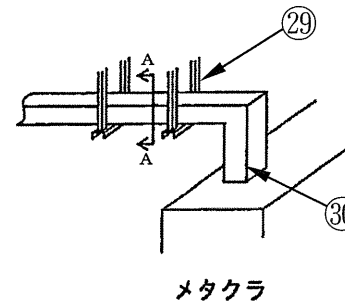
No.	部 位	No.	部 位
①	母線導体	⑩	ばね
②	外 被	⑪	ばね蓄勢用モータ(低圧モータ)
③	操作機構	⑫	真空バルブ
④	ブッシング	⑬	主回路導体
⑤	モールドフレーム	⑭	支持碍子
⑥	絶縁ロッド	⑮	操作スイッチ
⑦	一次コンタクト	⑯	指示計
⑧	投入コイル	⑰	計器用変圧器
⑨	引外しコイル	⑱	保護リレー(静止形)
⑩	ばね	⑲	指示計
⑪	ばね蓄勢用モータ(低圧モータ)	⑳	ロックアウトリレー
⑫	真空バルブ	㉑	補助継電器
⑬	主回路導体	㉒	表示灯
⑭	支持碍子	㉓	ノーヒューズブレーカ
⑮	操作スイッチ	㉔	タイマ
		㉕	ヒューズ
		㉖	電磁接触器
		㉗	筐 体
		㉘	埋込金物
		㉙	支持具
		㉚	取付ボルト



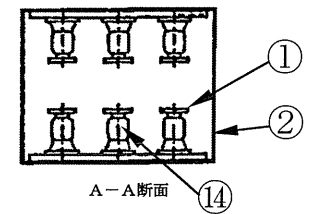
真空遮断器



真空遮断器操作機構



メタクラ



バスダクト

図2.1-1 川内2号炉 メタクラ(安全系)構成図

表2.1-1 川内2号炉 メタクラ（安全系）主要部位の使用材料

部 位		材 料
バスダクト	母線導体	アルミニウム
	外 被	炭 素 鋼
	支持碍子	磁 器
遮 断 器	操作機構	合 金 鋼
	ブッシング	エポキシ樹脂（B種絶縁）
	モールドフレーム	不飽和ポリエステル樹脂（B種絶縁）
	絶縁ロッド	エポキシ樹脂（B種絶縁）
	一次コンタクト	銅
	投入コイル	銅、ポリビニルホルマール（A種絶縁）
	引外しコイル	銅、ポリビニルホルマール（A種絶縁）
	ば ね	ばね用ステンレス鋼線 ばね用オイルテンパー線
	ばね蓄勢用モータ（低圧モータ）	銅、ポリアミドイミド（H種絶縁）
	真空バルブ	セラミックス、銅、銅合金
	盤構成成品	主回路導体
支持碍子		磁 器
操作スイッチ		銀、銅
計器用変流器（巻線形）		銅、ポリオレフィンゴム、ブチルゴム（A種絶縁）
計器用変流器（貫通形）		銅、エポキシ樹脂（A種絶縁）
計器用変圧器		銅、エポキシ樹脂（A種絶縁）
保護リレー（静止形）		消耗品・定期取替品
指 示 計		炭素鋼、プラスチック
ロックアウトリレー		消耗品・定期取替品
補助継電器		消耗品・定期取替品
表 示 灯		消耗品・定期取替品
ノーヒューズブレーカ		消耗品・定期取替品
タ イ マ		消耗品・定期取替品
ヒューズ		消耗品・定期取替品
電磁接触器		消耗品・定期取替品
支持組立品	筐 体	炭 素 鋼
	埋込金物	炭 素 鋼
	支 持 具	炭 素 鋼
	取付ボルト	炭 素 鋼

表2.1-2 川内2号炉 メタクラ（安全系）の使用条件

周 囲 温 度	約35℃*1
定 格 短 時 間 電 流	40kA 1秒
主回路温度上昇値 (最 大)	65℃
定 格 使 用 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3つの項目が必要である。

- ① 遮断機能の維持、通電・絶縁機能の維持
- ② 機器の保護・監視機能の維持
- 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

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（電圧、温度等）及び現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

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

(1) ばね蓄勢用モータ（低圧モータ）の絶縁低下

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

(2) 計器用変流器（巻線形）及び計器用変圧器の絶縁低下

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

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

(1) 母線導体の腐食（全面腐食）

バスダクト母線導体はアルミニウムであり、腐食が想定される。

しかしながら、アルミニウム表面はエポキシ樹脂で覆うことにより腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、定期的な目視確認により、機器の健全性を確認している。

(2) 外被の腐食（全面腐食）

外被は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

また、定期的な目視確認により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

(3) 操作機構の固着

遮断器の操作機構は、長期間の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、定期的に注油を行い、各部の目視確認及び動作確認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。

(4) モールドフレーム、絶縁ロッド及びブッシングの絶縁低下

遮断器のモールドフレーム、絶縁ロッド及びブッシングの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的及び環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、モールドフレーム等は絶縁性の高い不飽和ポリエステル樹脂又はエポキシ樹脂で形成されており、モールドフレーム等の耐熱温度130℃に対して、主回路導体の通電時の最大温度は100℃であることから絶縁低下の可能性は小さいと考える。

また、これまでに有意な絶縁低下は認められないこと、モールドフレーム等は盤に内蔵しているため、塵埃が付着しにくい環境にあり、有意な汚損、クラック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難い。

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

なお、定期的な絶縁抵抗測定及び目視確認により、機器の健全性を確認している。

(5) 一次コンタクトの摩耗

一次コンタクトは遮断器の出し入れに伴い、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難い。

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

なお、定期的な目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 投入コイル及び引外しコイルの絶縁低下

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

しかしながら、投入コイル及び引外しコイ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、投入コイル及び引外しコイルは連続運転ではなく、作動時間も1秒以下と短いことから、コイルの発熱による温度上昇は小さいと考えられ、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と考える。

また、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難い。

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

なお、定期的な絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(7) ばねの変形（応力緩和）

遮断器のばねは、投入状態又は開放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、定期的な遮断器の動作確認及び目視確認により、機器の健全性を確認している。

(8) 真空バルブの真空度低下

真空遮断器の真空バルブは、長期使用により、スローリーク等による真空度の低下が進行し、真空度が基準値以下となった場合、遮断不能に至ることが想定される。

しかしながら、定期的な真空度測定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。

(9) 主回路導体の腐食（全面腐食）

主回路導体はアルミニウムであり、腐食が想定される。

しかしながら、アルミニウム表面はエポキシ樹脂で覆うことにより腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、定期的な目視確認により、機器の健全性を確認している。

(10) 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、支持碍子は筐体内等に設置されているため、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難い。

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

なお、定期的な目視確認により、機器の健全性を確認している。

(11) 操作スイッチの導通不良

操作スイッチは、接点部分に浮遊塵埃が付着すること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、定期的な遮断器の動作確認により、機器の健全性を確認している。

(12) 指示計の特性変化

指示計は、長期間の使用に伴い特性変化が想定される。

しかしながら、指示計は、高い信頼性を有するものを選定し使用しており、また、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、急激な特性変化を起こす可能性は小さいと考える。

また、巡視点検等での目視確認により、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) 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、内外面は塗装により腐食を防止しており、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、定期的な目視確認により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

(14) 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、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、定期的な目視確認により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

(15) 支持具及び取付ボルトの腐食（全面腐食）

支持具及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、支持具及び取付ボルトは塗装により腐食を防止しており、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、定期的な目視確認により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

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。

(16) 真空バルブの接点の摩耗

真空バルブの接点は、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、10,000回の電流開閉においても有意な電極摩耗は認められておらず、また、運転時の作動回数は30回／年程度と少ないことから摩耗の可能性は小さいと考えられ、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

(17) 計器用変流器（貫通形）の絶縁低下

一次コイルと二次コイルがモールド（一体形成）されている形式の計器用変流器については、絶縁物が有機物であり、熱的、電氣的及び環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

しかしながら、計器用変流器は一次コイルのない貫通型計器用変流器であり、構造上空間により絶縁が確保されている。

また、二次コイルにかかる電圧は低く、通電電流による熱的影響も小さい。さらに、空調された屋内に設置されており、塵埃による絶縁低下の可能性も小さく、これまでに有意な絶縁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。

(18) 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については、コンクリートが中性化に至るには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 消耗品及び定期取替品

表示灯は動作確認の結果に基づき取り替えている消耗品である。

また、保護リレー（静止形）、補助継電器、ノーヒューズブレーカ、タイマ、ロックアウトリレー、ヒューズ及び電磁接触器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えを前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/2) 川内2号炉 メタクラ (安全系) に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	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	バスケット	母線導体		アルミニウム		△						*1：固着 *2：変形 (応力緩和) *3：真空度低下 *4：接点	
		外 被		炭 素 鋼		△							
		支持碍子		磁 器					△				
	遮断器	操作機構			合 金 鋼								△*1
		ブッシング			エポキシ樹脂 (B種絶縁)					△			
		モールドフレーム			不飽和ポリエステル樹脂 (B種絶縁)					△			
		絶縁ロッド			エポキシ樹脂 (B種絶縁)					△			
		一次コンタクト			銅	△							
		投入コイル			銅 ポリビニルホルマール (A種絶縁)					△			
		引外しコイル			銅 ポリビニルホルマール (A種絶縁)					△			
		ば ね			ばね用ステンレス鋼線 ばね用オイルテンパー線								△*2
		ばね蓄勢用モータ (低圧モータ)			銅 ポリアミドイミド (H種絶縁)					○			
		真空バルブ			セラミックス、銅、銅合金	▲*4							△*3
	主回路導体			アルミニウム		△							
	支持碍子			磁 器					△				

○：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) 川内2号炉 メタクラ (安全系) に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定期 取 替 品	材 料	経 年 劣 化 事 象							備 考	
				減 肉		割 れ		絶 縁	導 通	特 性		その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐蝕割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
機器の保護・監視機能の維持	操作スイッチ		銀、銅						△		*1：大気接触部 *2：コンクリート埋設部	
	計器用変流器（巻線形）		銅 ポリオレフィンゴム ブチルゴム （A種絶縁）					○				
	計器用変流器（貫通形）		銅 エポキシ樹脂 （A種絶縁）					▲				
	計器用変圧器		銅 エポキシ樹脂 （A種絶縁）					○				
	保護リレー（静止形）	◎	—									
	指 示 計		炭素鋼、プラスチック						△			
	ロックアウトリレー	◎	—									
	補助継電器	◎	—									
	表 示 灯	◎	—									
	ノーヒューズブレーカ	◎	—									
	タ イ マ	◎	—									
	ヒューズ	◎	—									
電磁接触器	◎	—										
機器の支持	筐 体		炭 素 鋼		△							
	埋込金物		炭 素 鋼		△ ^{*1} ▲ ^{*2}							
	支 持 具		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）

▲：高経年化対策上着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（低圧モータ）の絶縁低下

a. 事象の説明

ばね蓄勢用モータ（低圧モータ）の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的及び環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下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（低圧モータ）はメタクラ筐体内に設置されているため、塵埃及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、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（低圧モータ）の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、許容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（低圧モータ）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。

よって、現状保全を継続することで、健全性を維持できると考える。

c. 高経年化への対応

ばね蓄勢用モータ（低圧モータ）の絶縁低下については、引き続き定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

2.3.2 計器用変流器（巻線形）及び計器用変圧器の絶縁低下

a. 事象の説明

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

b. 技術評価

① 健全性評価

計器用変流器及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及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-1201-1996）」、「日本工業規格 計器用変成器—（標準用及び一般計測用）第1部：変流器（JIS C 1731-1:1998）」及び「日本工業規格 計器用変成器—（標準用及び一般計測用）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。

計器用変流器及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）」を実施した。

図2.3-1に示すように60年相当の課電劣化試験^{*1}及び熱サイクル試験^{*2}による健全性調査の結果、部分放電消滅電圧及び部分放電電荷量は基準値を満足しており、絶縁性能は維持できると評価できる。

*1：課電電圧の上昇及び下降の繰り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及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）の温度上昇及び下降による熱応力の機械的ストレスを模擬した試験

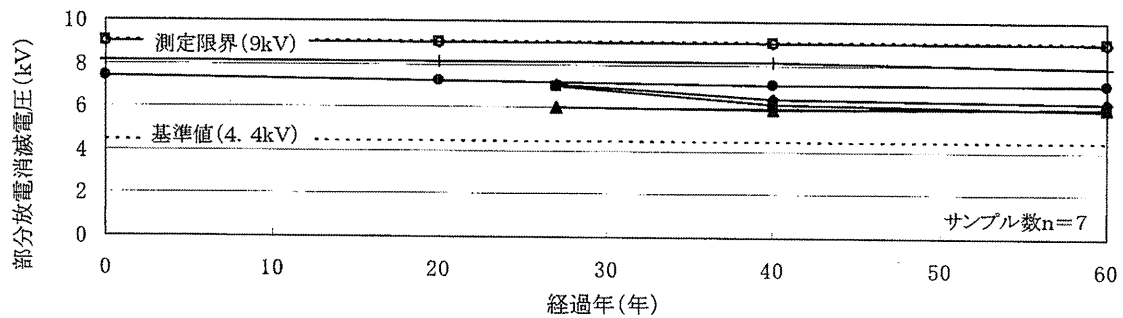


図2.3-1(1/8) 計器用変圧器の部分放電特性 (課電劣化試験による部分放電消滅電圧)
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価
 研究 (STEP2)」2001年度]

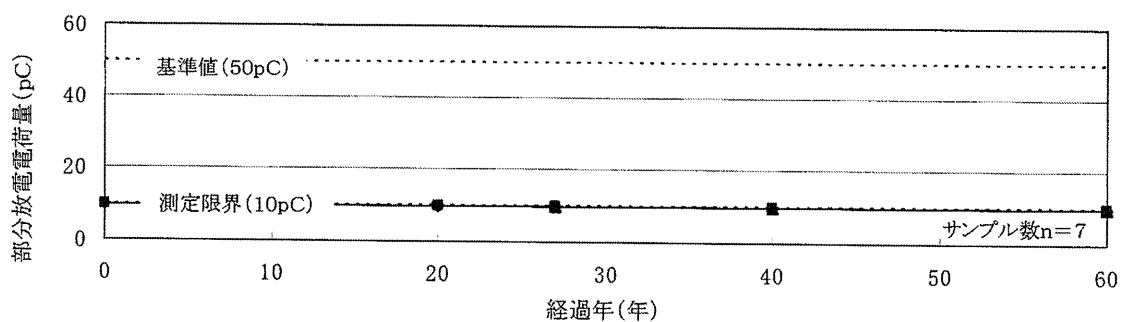


図2.3-1(2/8) 計器用変圧器の部分放電特性 (課電劣化試験による部分放電電荷量)
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価
 研究 (STEP2)」2001年度]

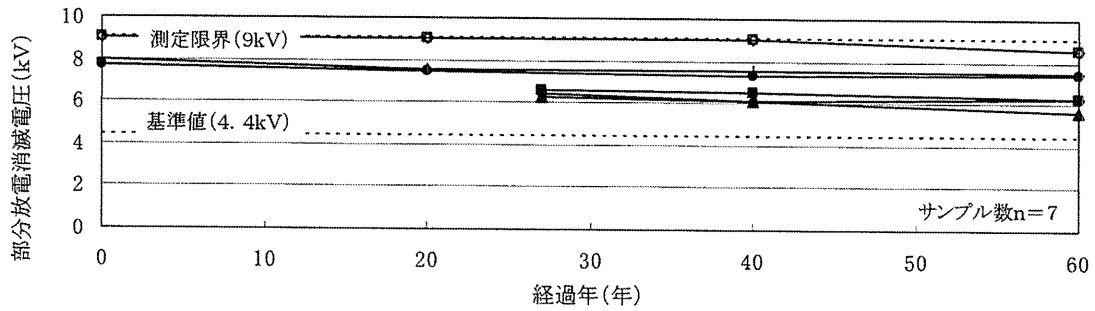


図2.3-1(3/8) 計器用変圧器の部分放電特性 (熱サイクル試験による部分放電消滅電圧)
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価
 研究 (STEP2)」2001年度]

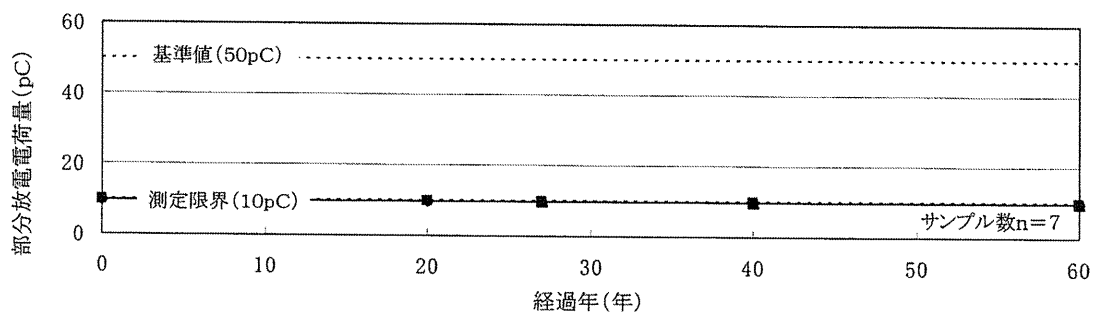


図2.3-1(4/8) 計器用変圧器の部分放電特性 (熱サイクル試験による部分放電電荷量)
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価
 研究 (STEP2)」2001年度]

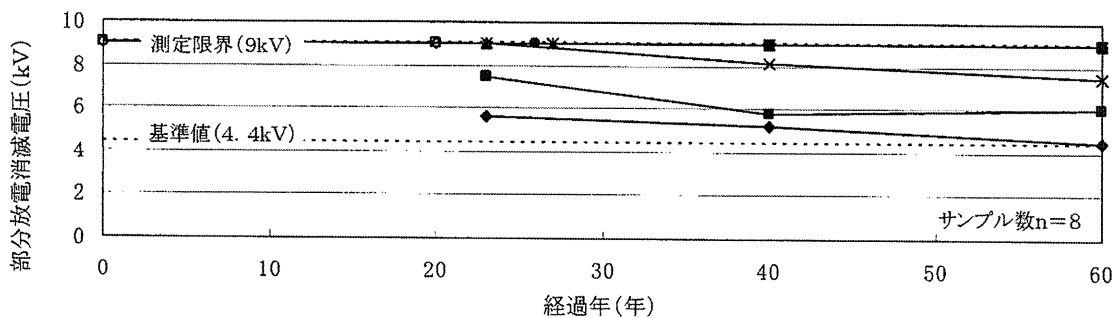


図2.3-1(5/8) 計器用変流器の部分放電特性（課電劣化試験による部分放電消滅電圧）
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価
 研究（STEP2）」2001年度]

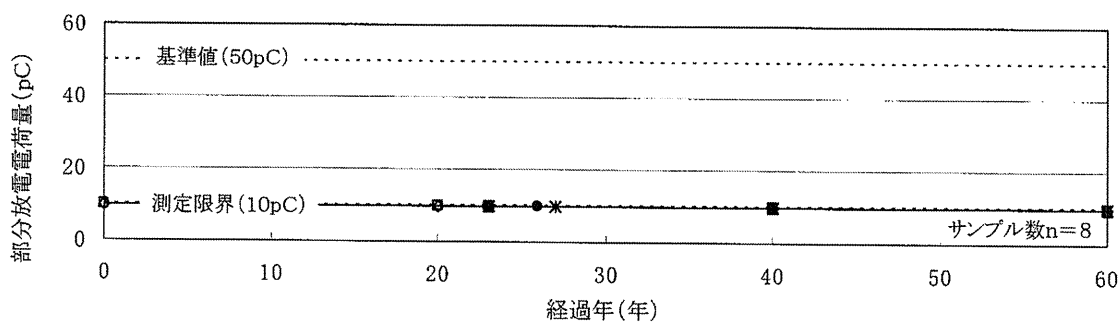


図2.3-1(6/8) 計器用変流器の部分放電特性（課電劣化試験による部分放電電荷量）
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価
 研究（STEP2）」2001年度]

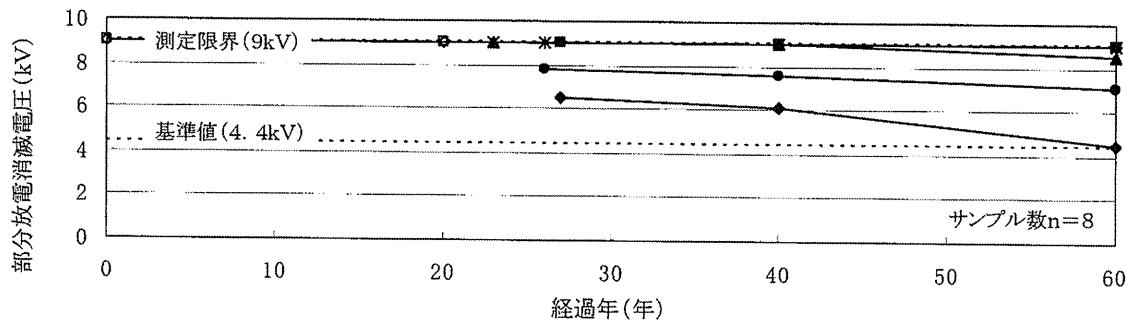


図2.3-1(7/8) 計器用変流器の部分放電特性 (熱サイクル試験による部分放電消滅電圧)
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価
 研究 (STEP2)」2001年度]

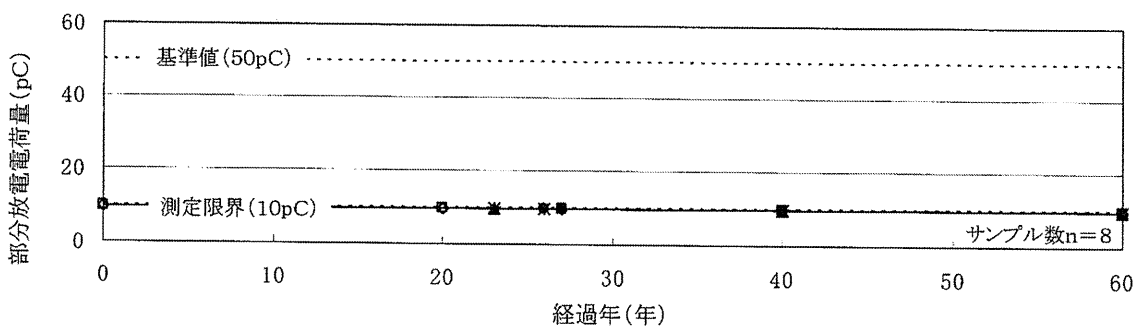


図2.3-1(8/8) 計器用変流器の部分放電特性 (熱サイクル試験による部分放電電荷量)
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価
 研究 (STEP2)」2001年度]

② 現状保全

計器用変流器及び計器用変圧器の絶縁低下に対しては、定期的に絶縁抵抗測定を行い、有意な絶縁低下がないことを確認している。

なお、計器用変流器及び計器用変圧器については、予防保全のため第22回定期検査時(2018年度)、第24回定期検査時(2020年度)に取替えを行っている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、計器用変流器及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。

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

計器用変流器及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 重大事故等対処用変圧器受電盤
- ② 代替電源接続盤

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（低圧モータ）の絶縁低下〔重大事故等対処用変圧器受電盤〕

ばね蓄勢用モータ（低圧モータ）の仕様、構造及び使用環境は代表機器と同様であり、健全性評価結果から判断して、絶縁低下の発生の可能性は小さいと考えるが、絶縁低下が生じる可能性は否定できない。

ばね蓄勢用モータ（低圧モータ）の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、許容値以上であることを確認している。

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。

よって、現状保全を継続することで、健全性を維持できると考える。

したがって、ばね蓄勢用モータ（低圧モータ）の絶縁低下については、引き続き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（巻線形）の絶縁低下〔重大事故等対処用変圧器受電盤〕

代表機器と同様に、計器用変流器の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的及び環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性が考えられるが、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。

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、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。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

3.2.1 操作機構の固着 [重大事故等対処用変圧器受電盤]

遮断器の操作機構は、長期間の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、定期的に注油を行い、各部の目視確認及び動作確認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。

3.2.2 モールドフレーム、絶縁ロッド及びブッシングの絶縁低下

[重大事故等対処用変圧器受電盤]

遮断器のモールドフレーム、絶縁ロッド及びブッシングの絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的及び環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、モールドフレーム等は絶縁性の高い不飽和ポリエステル樹脂又はエポキシ樹脂で形成されており、モールドフレーム等の耐熱温度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と考える。

また、これまでに有意な絶縁低下は認められないこと、モールドフレーム等は盤に内蔵しているため、塵埃が付着しにくい環境にあり、有意な汚損、クラック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難い。

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

なお、定期的な絶縁抵抗測定及び目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.3 一次コンタクトの摩耗 [重大事故等対処用変圧器受電盤]

一次コンタクトは遮断器の出し入れに伴い、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難い。

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

なお、定期的な目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.4 投入コイル及び引外しコイルの絶縁低下 [重大事故等対処用変圧器受電盤]

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

しかしながら、投入コイル及び引外しコイ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、投入コイル及び引外しコイルは連続運転ではなく、作動時間も1秒以下と短いことから、コイルの発熱による温度上昇は小さいと考えられ、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と考える。

また、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難い。

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

なお、定期的な絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

3.2.5 ばねの変形（応力緩和） [重大事故等対処用変圧器受電盤]

遮断器のばねは、投入状態又は開放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、定期的な遮断器の動作確認及び目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.6 真空バルブの真空度低下 [重大事故等対処用変圧器受電盤]

真空遮断器の真空バルブは、長期使用により、スローリーク等による真空度の低下が進行し、真空度が基準値以下となった場合、遮断不能に至ることが想定される。

しかしながら、定期的な真空度測定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。

3.2.7 主回路導体の腐食（全面腐食） [重大事故等対処用変圧器受電盤]

主回路導体は銅であり、腐食が想定される。

しかしながら、銅表面はエポキシ樹脂で覆うことにより腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、定期的な目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.8 支持碍子の絶縁低下 [重大事故等対処用変圧器受電盤]

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、支持碍子は筐体内等に設置されているため、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難い。

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

なお、定期的な目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.9 操作スイッチの導通不良 [重大事故等対処用変圧器受電盤]

操作スイッチは、接点部分に浮遊塵埃が付着すること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、定期的な遮断器の動作確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.10 筐体 [共通] 及び架台 [代替電源接続盤] の腐食 (全面腐食)

筐体及び架台は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

また、定期的な目視確認により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

3.2.11 埋込金物 (大気接触部) の腐食 (全面腐食) [重大事故等対処用変圧器受電盤]

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、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、定期的な目視確認により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

3.2.12 基礎ボルトの腐食 (全面腐食) 及び劣化 [代替電源接続盤]

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。また、ケミカルアンカには樹脂を使用しており、劣化が想定される。

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

2.2.3 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。

3.2.13 真空バルブの接点の摩耗 [重大事故等対処用変圧器受電盤]

真空バルブの接点は、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、10,000回の電流開閉においても有意な電極摩耗は認められておらず、また、運転時の作動回数は少ないことから摩耗の可能性は小さいと考えられ、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

3.2.14 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）

[重大事故等対処用変圧器受電盤]

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については、コンクリートが中性化に至るには長期間を要することから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2 動力変圧器

[対象機器]

- ① 動力変圧器（安全系）
- ② 重大事故等対処用変圧器盤

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料及び使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	6
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	11
3. 代表機器以外への展開	13
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	13
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	14

1. 対象機器及び代表機器の選定

川内2号炉で使用されている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、種類及び設置場所の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

表1-1に示す動力変圧器について、種類及び設置場所の観点から1つのグループにまとめられる。

1.2 代表機器の選定

重要度の高い動力変圧器（安全系）を代表機器とする。

表1-1 川内2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				選定	選定理由
				重要度*1	使用条件				
種類	設置場所				運転	定格電圧*3 (V)	周囲温度 (°C)		
乾式自冷式	屋内	動力変圧器 (安全系) (2)	2,300	MS-1、重*2	連続	6,600	約35	◎	重要度
		重大事故等対処用変圧器盤 (1)	200	重*2	一時	6,600	約40		

*1：機能は最上位の機能を示す

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

*3：高圧側の電圧を示す

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、材料及び使用条件

2.1.1 動力変圧器（安全系）

(1) 構造

川内2号炉の動力変圧器（安全系）は、容量2,300kVAの三相乾式変圧器であり、高圧側電圧6,600Vを低圧側電圧の460Vに変圧している。

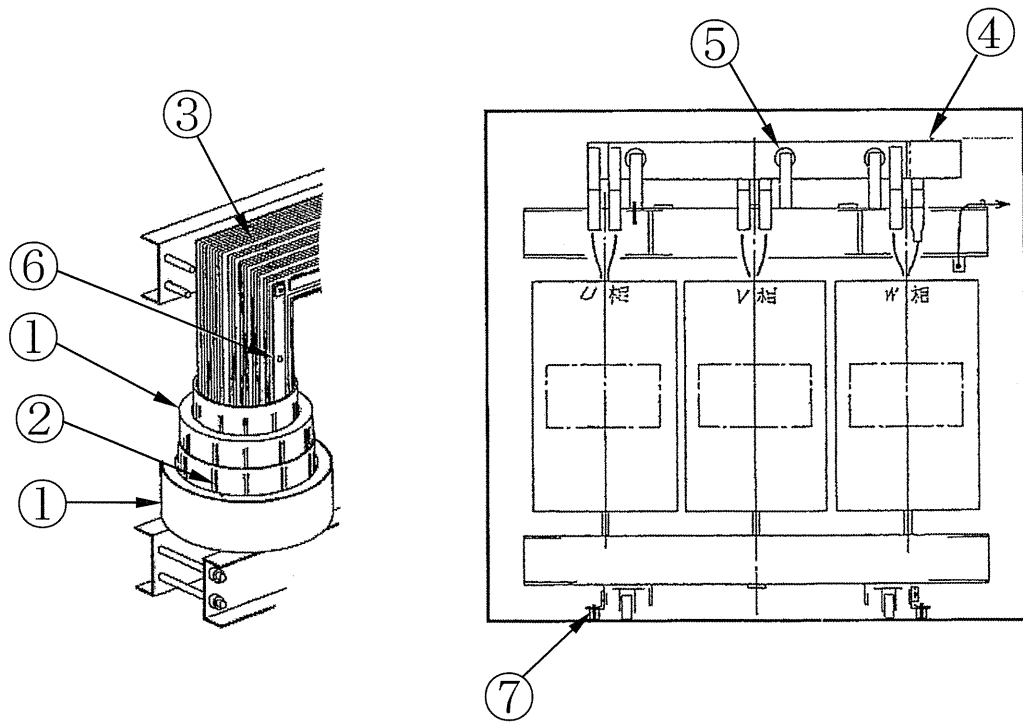
変圧器本体は電流回路となる巻線、磁気回路となる鉄心及び巻線の絶縁を保持する絶縁物から構成され、電磁誘導の原理に基づき電圧変成を行っている。

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。

川内2号炉の動力変圧器（安全系）構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の動力変圧器（安全系）の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部 位
①	コイル
②	垂直ダクト
③	鉄 心
④	接続銅板
⑤	銅板支持碍子
⑥	鉄心締付ボルト
⑦	基礎ボルト

図2.1-1 川内2号炉 動力変圧器（安全系）構造図

表2.1-1 川内2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
鉄心構成品	鉄 心	珪素鋼板
	鉄心締付ボルト	炭素鋼（亜鉛メッキ）
配線構成品	接続銅板	銅
支持組立品	銅板支持碍子	磁 器
	基礎ボルト	炭 素 鋼

表2.1-2 川内2号炉 動力変圧器（安全系）の使用条件

容 量	2,300kVA
周 囲 温 度	約35℃*1
高 圧 側 電 圧	6,600V
低 圧 側 電 圧	460V

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

動力変圧器（安全系）の機能である電圧変成機能を維持するためには、次の2つの項目が必要である。

- ① 磁気回路の維持、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

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（電圧、温度等）及び現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

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

(1) コイルの絶縁低下

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

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 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、電氣的及び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、垂直ダクトの耐熱温度は200℃であり、使用時の温度170℃に比して十分余裕がある。

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、定期的に絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(2) 鉄心のゆるみ

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、鉄心のゆるみが想定される。

しかしながら、締付ボルトには回り止めが施されており、また、これまでにゆるみは認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、定期的な目視確認により、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難い。

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

なお、定期的な目視確認により、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、長期間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の筐体内に設置されていることから汚損し難い環境にある。また、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難い。

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

なお、定期的な目視確認により、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、大気接触部は亜鉛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難い。

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

なお、代表として鉄心上部の枠締付ボルトの定期的な目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

表2.2-1 川内2号炉 動力変圧器（安全系）に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定期 取 替 品	材 料	経 年 劣 化 事 象								備 考
				減 肉		割 れ		絶 縁	導 通	特 性	その他	
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐蝕割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
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 (H種絶縁)					○				*1：ゆるみ
	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 (亜鉛メッキ)		△							
	基礎ボルト		炭 素 鋼		△							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 コイルの絶縁低下

a. 事象の説明

コイルに使用している絶縁物は、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、長期間の使用に伴い熱的、電氣的及び環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

動力変圧器（安全系）は空調された屋内に設置されており、環境変化は小さく、また、吸湿が発生し難い環境にある。

動力変圧器（安全系）の絶縁性能の長期特性については、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）。

川内2号炉の動力変圧器（安全系）のコイルは、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ポリアミド紙平角銅線を使用していることから、急激な絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、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、定期的な絶縁抵抗測定により、許容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、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。

よって、現状保全を継続することで、健全性を維持できると考える。

c. 高経年化への対応

コイルの絶縁低下については、引き続き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 重大事故等対処用変圧器盤

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、電氣的及び環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.2.1 鉄心のゆるみ

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、鉄心のゆるみが想定される。

しかしながら、鉄心は鉄心固定金具により固定されており、また、これまでにゆるみは認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、定期的な目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.2 接続端子部の腐食（全面腐食）

接続端子部は銅及びアルミニウムであり、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、メッキが健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、定期的な目視確認によりメッキの状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

3.2.3 支持碍子の絶縁低下

支持碍子は有機物であり、熱的、電氣的及び環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、支持碍子は屋内の筐体内に設置されていることから、塵埃、湿分等の付着は抑制されている。また、使用温度に対して支持碍子の耐熱温度は155℃と十分余裕を持った耐熱性を有していることから、絶縁低下の可能性は小さいと考える。

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、定期的な絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

3.2.4 操作スイッチの導通不良

操作スイッチは、接点部分に浮遊塵埃が付着すること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、定期的な動作確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.5 筐体及びチャンネルベースの腐食（全面腐食）

筐体及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、内外面は塗装により腐食を防止しており、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、定期的な目視確認により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

3.2.6 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、亜鉛メッキにより腐食を防止しており、メッキが健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、定期的な目視確認によりメッキの状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

3.2.7 基礎ボルトの腐食（全面腐食）及び劣化

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のうち「基礎ボルト」にて評価を実施するものとし、本評価書には含めていない。

3 パワーセンタ

[対象機器]

- ① パワーセンタ (安全系)

目 次

1. 対象機器	1
2. パワーセンタ（安全系）の技術評価	3
2.1 構造、材料及び使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	7
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	16

1. 対象機器

川内2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 川内2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	定格使用 電圧 (V)	周囲温度 (℃)	投入方式	定格電流(A) (最大)	遮断電流 (kA)
パワーセンタ(安全系) (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35	ばね	3,000	65
							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及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、材料及び使用条件

2.1.1 パワーセンタ（安全系）

(1) 構造

川内2号炉のパワーセンタ（安全系）は、定格使用電圧460V、母線定格電流3,000Aの低圧閉鎖形である。

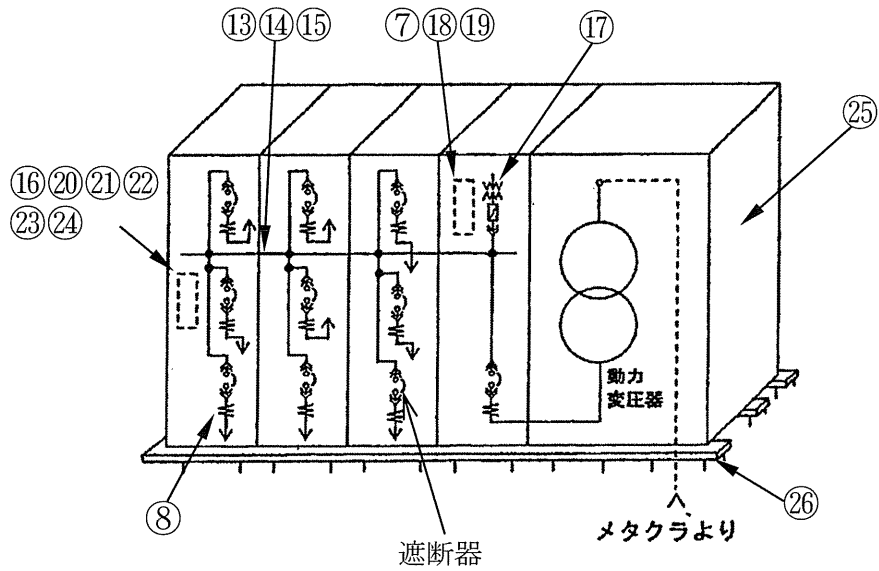
パワーセンタ（安全系）には気中遮断器を収納しており、電源回路の保護、制御のために計器用変流器、計器用変圧器等を備えている。

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

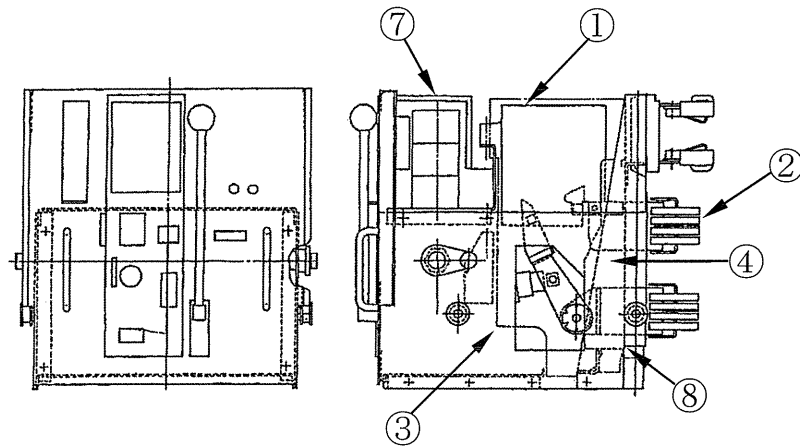
川内2号炉のパワーセンタ（安全系）構成図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

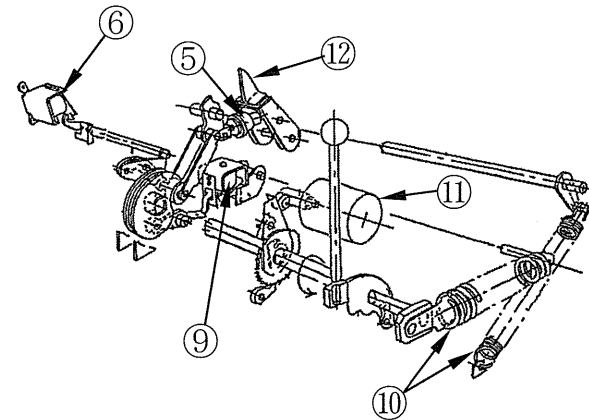
川内2号炉のパワーセンタ（安全系）の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部 位	No.	部 位
①	消弧室	⑭	支持碍子
②	一次ジャンクション	⑮	絶縁支持板
③	操作機構	⑯	操作スイッチ
④	絶縁ベース	⑰	計器用変圧器
⑤	絶縁リンク	⑱	指示計
⑥	引外しコイル	⑲	ロックアウトリレー
⑦	保護リレー (静止形)	⑳	補助継電器
⑧	計器用変流器	㉑	表示灯
⑨	投入コイル	㉒	ノーヒューズブレーカ
⑩	ばね	㉓	タイマ
⑪	ばね蓄勢用モータ (低圧モータ)	㉔	ヒューズ
⑫	接触子	㉕	筐体
⑬	主回路導体	㉖	埋込金物



遮断器



遮断器操作機構

図2.1-1 川内2号炉 パワーセンタ (安全系) 構成図

表2.1-1 川内2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	消 弧 室	炭 素 鋼
	一 次 ジ ャ ン ク シ ョ ン	銅
	操 作 機 構	炭 素 鋼
	絶 縁 ベ ー ス	ポ リ エ ス テ ル 樹 脂 (N 種 絶 縁)
	絶 縁 リ ン ク	ジ ア リ ル フ タ レ ー ト 樹 脂 (H 種 絶 縁)
	引 外 し コ イ ル	銅、ポ リ ビ ニ ル ホ ル マ ー ル (A 種 絶 縁)
	保 護 リ レ ー (静 止 形)	(ア ナ ログ 形) 銅、半 導 体 ホ ル マ ー ル 樹 脂 及 び フ ェ ノ ー ル 樹 脂 (A 種 絶 縁)
		(デ ジ タ ル 形) 消 耗 品 ・ 定 期 取 替 品
	計 器 用 変 流 器	銅、エ ポ キ シ 樹 脂 (A 種 絶 縁)
	投 入 コ イ ル	銅、ポ リ ビ ニ ル ホ ル マ ー ル (A 種 絶 縁)
	ば ね	合 金 鋼 オ イ ル テ ン パ ー 線 ピ ア ノ 線
	ば ね 蓄 勢 用 モ ー タ (低 圧 モ ー タ)	銅、ポ リ ア ミ ド イ ミ ド (H 種 絶 縁)
	接 触 子	銀 タ ン グ ス テ ン、銅
盤 構 成 品	主 回 路 導 体	ア ル ミ ニ ウ ム
	支 持 碍 子	エ ポ キ シ 樹 脂 (A 種 絶 縁)
	絶 縁 支 持 板	フ ェ ノ ー ル 樹 脂 (B 種 絶 縁)
	操 作 ス イ ッ チ	銀、銅
	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 及 び ク ラ フ ト 紙 (A 種 絶 縁)
	保 護 リ レ ー (静 止 形)	(デ ジ タ ル 形) 消 耗 品 ・ 定 期 取 替 品
	指 示 計	炭 素 鋼、プ ラ ス チ ッ ク 他
	ロ ッ ク ア ウ ト リ レ ー	消 耗 品 ・ 定 期 取 替 品
	補 助 継 電 器	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
支 持 組 立 品	筐 体	炭 素 鋼
	埋 込 金 物	炭 素 鋼

表2.1-2 川内2号炉 パワーセンタ（安全系）の使用条件

周 囲 温 度	約35℃*1
定 格 短 時 間 電 流	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3つの項目が必要である。

- ① 遮断機能の維持、通電・絶縁機能の維持
- ② 機器の保護・監視機能の維持
- 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

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（電圧、温度等）及び現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

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

(1) 保護リレー（静止形）の絶縁低下

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

(2) ばね蓄勢用モータ（低圧モータ）の絶縁低下

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

(3) 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、電氣的及び環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

(1) 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、消弧室が汚損し、消弧性能の低下が想定される。

しかしながら、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難い。

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

なお、定期的な目視確認により、機器の健全性を確認している。

(2) 一次ジャンクションの摩耗

一次ジャンクションは遮断器の出し入れに伴い、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難い。

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

なお、定期的な目視確認により、機器の健全性を確認している。

(3) 操作機構の固着

遮断器の操作機構は、長期間の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、定期的に注油を行い、各部の目視確認及び動作確認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。

(4) 絶縁リンク、絶縁ベース及び絶縁支持板の絶縁低下

絶縁リンク、絶縁ベース及び絶縁支持板は有機物であり、熱的、電氣的及び環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、絶縁リンク等は屋内の筐体内に設置されていることから、塵埃、湿分等の付着は抑制されている。また、主回路導体の通電時の最大温度100℃に対して、絶縁リンクの耐熱温度は180℃、絶縁支持板の耐熱温度は130℃、絶縁ベースの耐熱温度は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、定期的な絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(5) 投入コイル及び引外しコイルの絶縁低下

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

しかしながら、投入コイル及び引外しコイ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、投入コイル及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、コイルの絶縁は使用温度約60℃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と考える。

また、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難い。

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

なお、定期的な絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(6) 保護リレー（静止形）及び指示計の特性変化

保護リレー（静止形）及び指示計は、長期間の使用に伴い特性変化が想定される。

しかしながら、保護リレー（静止形）及び指示計は、高い信頼性を有するものを選定し使用しており、また、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、急激な特性変化を起こす可能性は小さいと考える。

また、マイグレーションによる基板中の回路間短絡及び半導体回路の断線については、製造段階で基板表面をコーティングしていること及び回路製作時スクリーニングにより製作不良に基づく回路電流集中が除かれていることから、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、定期的な校正試験又は巡視点検等での目視確認により、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) ばねの変形（応力緩和）

遮断器のばねは、投入状態又は開放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、定期的な遮断器の動作確認及び目視確認により、機器の健全性を確認している。

(8) 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難い。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目す

べき経年劣化事象ではない。

なお、定期的な目視確認により、機器の健全性を確認している。

(9) 主回路導体の腐食（全面腐食）

主回路導体はアルミニウムであり、腐食が想定される。

しかしながら、アルミニウム表面はエポキシ樹脂で覆うことにより腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、定期的な目視確認により、機器の健全性を確認している。

(10) 支持碍子の絶縁低下

支持碍子は有機物であり、熱的、電氣的及び環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、支持碍子は屋内の筐体内に設置されていることから、塵埃、湿分等の付着は抑制されている。また、主回路導体の通電時の最大温度100℃に対して、支持碍子の耐熱温度は105℃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、定期的な絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(11) 操作スイッチの導通不良

操作スイッチは接点部分に付着する浮遊塵埃により、導通不良が想定される。

しかしながら、操作スイッチの接点部分は盤内に収納されており、塵埃の付着により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、定期的な遮断器の動作確認により、機器の健全性を確認している。

(12) 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、内外面とも塗装により腐食を防止しており、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、定期的な目視確認により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

(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、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、定期的な目視確認により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

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（一体形成）されている形式の計器用変流器については、絶縁物が有機物であり、熱的、電氣的及び環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

しかしながら、計器用変流器は一次コイルのない貫通型計器用変流器であり、構造上空間により絶縁が確保されている。

また、二次コイルにかかる電圧は低く、通電電流による熱的影響も小さい。さらに、空調された屋内に設置されており、塵埃による絶縁低下の可能性も小さく、これまでに有意な絶縁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。

(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については、コンクリートが中性化に至るには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 消耗品及び定期取替品

表示灯は動作確認の結果に基づき取り替えている消耗品である。

また、保護リレー（静止形）、補助継電器、ノーヒューズブレーカ、ロックアウトリレー、タイマ及びヒューズ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えを前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

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

機能達成に必要な項目	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	消弧室		炭素鋼								△*3	*1: 固着 *2: 変形 (応力緩和) *3: 汚損	
	一次ジャンクション		銅	△									
	操作機構		炭素鋼								△*1		
	絶縁ベース		ポリエステル樹脂 (N種絶縁)					△					
	絶縁リンク		ジアリルフタレート樹脂 (H種絶縁)					△					
	引外しコイル		銅 ポリビニルホルマール (A種絶縁)					△					
	保護リレー (静止形)			(アナログ形) 銅、半導体 ホルマール樹脂及び フェノール樹脂 (A種絶縁)					○		△		
		◎		(デジタル形) —									
	計器用変流器		銅 エポキシ樹脂 (A種絶縁)					▲					
	投入コイル		銅 ポリビニルホルマール (A種絶縁)					△					
	ばね		合金鋼 オイルテンパー線 ピアノ線										△*2
	ばね蓄勢用モータ (低圧モータ)		銅 ポリアミドイミド (H種絶縁)						○				
接 触 子		銀タングステン、銅	△										

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着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) 川内2号炉 パワーセンタ (安全系) に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	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	主回路導体		アルミニウム		△							
	支持碍子		エポキシ樹脂 (A種絶縁)					△				
	絶縁支持板		フェノール樹脂 (B種絶縁)					△				
機器の保護・監 視機能の維持	操作スイッチ		銀、銅						△			*1：大気接触部 *2：コンクリート 埋設部
	計器用変流器		銅 エポキシ樹脂 (A種絶縁)					▲				
	計器用変圧器		銅 エポキシ樹脂及び クラフト紙 (A種絶縁)					○				
	保護リレー (静止形)	◎	(デジタル形) —									
	指 示 計		炭素鋼、プラスチック他							△		
	ロックアウトリレー	◎	—									
	補助継電器	◎	—									
	表 示 灯	◎	—									
	ノーヒューズブレーカ	◎	—									
	タ イ マ	◎	—									
	ヒューズ	◎	—									
機器の支持	筐 体		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

△：高経年化対策上着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 保護リレー（静止形）の絶縁低下

a. 事象の説明

保護リレー内部に使用されている入力トランスは有機物であり、熱的、電氣的及び環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

保護リレーは屋内に設置された筐体内に設置されているため、環境変化は小さく、また、塵埃が付着しにくい環境にある。

保護リレーの健全性評価として、同種の保護リレーの絶縁低下に対する評価試験を実施し、健全性を評価した。

図2.3-1では、コイル部絶縁の絶縁破壊電圧を示している。この評価からコイル部絶縁の絶縁破壊電圧の95%信頼区間下限が判定基準に達するまでの期間は約40年となるため、急激な絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、絶縁低下の可能性は否定できない。

なお、判定基準は、保護リレーのコイル部絶縁仕様の耐電圧であるAC2kV（電気学会 電気規格調査会標準規格 電力用保護継電器（JEC-2500-1987））としている。

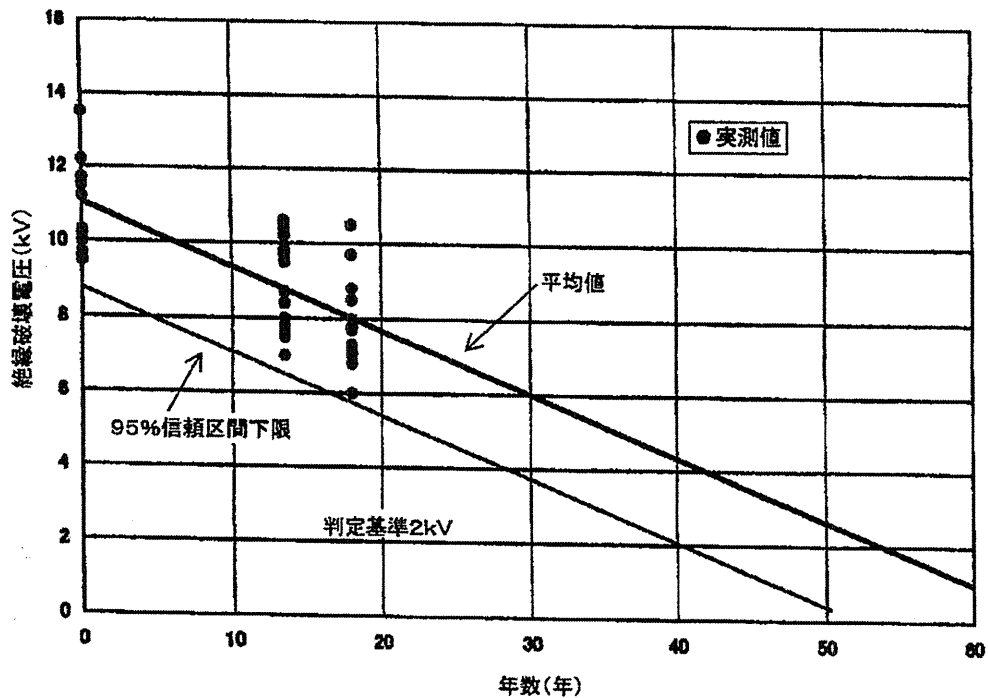


図2.3-1 保護リレーの絶縁破壊電圧と使用年数の関係

[出典：メーカーデータ]

② 現状保全

保護リレーの絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、許容値以上であることの確認を行っている。

また、絶縁抵抗測定結果に基づき、必要により取替えを実施していく。

なお、保護リレーについては、予防保全のため第17回定期検査時（2007年度）及び第18回定期検査時（2008年度）に取替えを行っている。

③ 総合評価

健全性評価結果及び取替実績から判断して、保護リレー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

保護リレーの絶縁低下については、引き続き定期的に絶縁抵抗測定を実施していくとともに、絶縁抵抗測定結果に基づき必要により取替えを実施していく。

2.3.2 ばね蓄勢用モータ（低圧モータ）の絶縁低下

a. 事象の説明

ばね蓄勢用モータ（低圧モータ）の絶縁物は有機物であり、熱的、電氣的及び環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

ばね蓄勢用モータ（低圧モータ）は屋内に設置されていることから、塵埃が付着しにくい環境にあり、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10秒以下と短いことから、モータの発熱による温度上昇は少ないと考える。

また、モータの絶縁は使用温度に比べて余裕のある絶縁種（H種：許容最高温度180℃）を選択して使用していることから、絶縁低下の発生の可能性は小さいと考えるが、絶縁低下の可能性は否定できない。

② 現状保全

ばね蓄勢用モータ（低圧モータ）の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、許容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（低圧モータ）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。

よって、現状保全を継続することで、健全性を維持できると考える。

c. 高経年化への対応

ばね蓄勢用モータ（低圧モータ）の絶縁低下については、引き続き定期的に絶縁抵抗測定を実施していく。

2.3.3 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、電氣的及び環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

パワーセンタ（安全系）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及び計器用変圧器の研究結果（詳細は「電気設備の技術評価書 メタクラ計器用変流器及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（安全系）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、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、有意な絶縁低下がないことを確認している。

なお、計器用変圧器については、予防保全のため第22回定期検査時（2018年度）及び第24回定期検査時（2020年度）に取替えを行っている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、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。

よって、現状保全を継続することで、健全性を維持できると考える。

c. 高経年化への対応

計器用変圧器の絶縁低下については、引き続き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 事故後サンプリングコントロールセンタ

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料及び使用条件	3
2.2 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	11
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	11

1. 対象機器及び代表機器の選定

川内2号炉で使用されている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、電圧区分及び設置場所の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

表1-1に示すコントロールセンタについて、電圧区分及び設置場所の観点から1つのグループにまとめられる。

1.2 代表機器の選定

重要度が高く、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 川内2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)	選定基準				選定	選定理由
			仕様	重要度*1	使用条件			
電圧区分	設置場所				運 転	定格使用 電圧 (V)		
低 圧	屋 内	原子炉コントロールセンタ (安全系) (4)	低圧閉鎖形 定格電流 800A	MS-1、重*2	連 続	460	約35	◎ 重要度 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	
		事故後サンプリングコントロールセンタ (1)*3	低圧閉鎖形 定格電流 600A	重*2	連 続	460	約40	

*1：機能は最上位の機能を示す

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

*3：事故後サンプリングコントロールセンタのうちA系統のみ

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、材料及び使用条件

2.1.1 原子炉コントロールセンタ（安全系）

(1) 構造

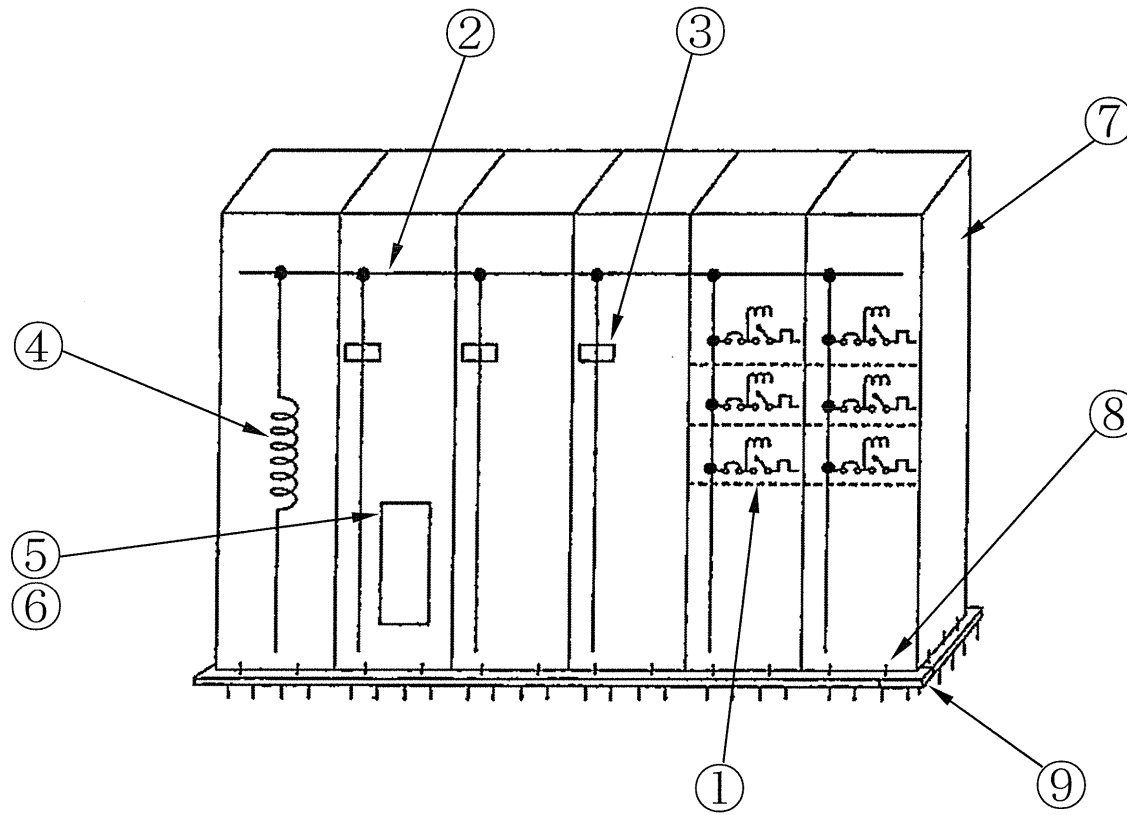
川内2号炉の原子炉コントロールセンタ（安全系）は、定格電圧460V、定格電流800Aの低圧閉鎖形である。

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

川内2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) 材料及び使用条件

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



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

図2.1-1 川内2号炉 原子炉コントロールセンタ（安全系）構成図

表2.1-1 川内2号炉 原子炉コントロールセンタ（安全系）主要部位の使用材料

部 位		材 料
盤内構成品	開閉装置（ノーヒューズブレーカ、サーマルリレー、電磁接触器、ヒューズ、補助継電器）	消耗品・定期取替品
	主回路導体	銅（錫メッキ）
	母線支え	不飽和ポリエステル樹脂（B種絶縁）
	限流リアクトル	銅、絶縁物（ガラステープ）（F種絶縁） スペーサ（ガラスエポキシ）（F種絶縁） 絶縁円板（ガラスエポキシ）（F種絶縁）
	表示灯	消耗品・定期取替品
	タイマ	消耗品・定期取替品
支持組立品	筐 体	炭 素 鋼
	取付ボルト	炭素鋼（亜鉛メッキ）
	埋込金物	炭 素 鋼

表2.1-2 川内2号炉 原子炉コントロールセンタ（安全系）の使用条件

周 围 温 度	約35℃*1
定格短時間電流	14kA 1秒
主回路温度上昇値 （最 大）	45℃
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

コントロールセンタの機能である補機への給電機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① 遮断機能の維持、通電・絶縁機能の維持
- ② 機器の保護・監視機能の維持
- 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

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（電圧、温度等）及び現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

(1) 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難い。

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

なお、定期的な目視確認により、機器の健全性を確認している。

(2) 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、電氣的及び環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、主回路導体を支持する母線支えは、不飽和ポリエステル樹脂であり、主回路導体の通電時の最大温度80℃に対して、母線支えの耐熱温度は130℃と十分裕度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。また、母線支えは筐体内に設置されており、塵埃、湿分等の付着による絶縁低下については発生の可能性は小さく、これまでに有意な絶縁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。

なお、定期的な絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(3) 限流リアクトルの腐食（全面腐食）

限流リアクトルは銅であり、腐食が想定される。

しかしながら、ガラステープで覆うことにより腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、定期的な目視確認により、機器の健全性を確認している。

(4) 限流リアクトルの絶縁低下

限流リアクトルは熱的、電氣的及び環境的要因による絶縁低下が想定される。

しかしながら、限流リアクトルはガラステープで絶縁した銅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。限流リアクトルは通常運転時の温度約90℃に対して、十分な耐熱温度155℃を有している。また、限流リアクトルは筐体内に設置されていることから、塵埃、湿分等の付着は抑制されている。このため、限流リアクトルについては、絶縁低下が生じる可能性は小さい。

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

なお、定期的な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、塗装により腐食を防止しており、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、定期的な目視確認により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

(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、亜鉛メッキにより腐食を防止しており、メッキが健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、定期的な目視確認によりメッキの状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

(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、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、定期的な目視確認により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

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については、コンクリートが中性化に至るには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 消耗品及び定期取替品

表示灯は動作確認の結果に基づき取り替えている消耗品である。

また、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、ヒューズ及び補助継電器）及びタイマについては定期取替品であるため、長期使用はせず取替えを前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 川内2号炉 原子炉コントロールセンタ（安全系）に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・定期取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象								備 考
				減 肉		割 れ		絶 縁	導 通	特 性	その他	
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐蝕割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
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、補助継電器)	◎	—									*1：大気接触部 *2：コンクリート埋設部
	主回路導体		銅 (錫メッキ)		△							
	母線支え		不飽和ポリエステル樹脂 (B種絶縁)					△				
機器の保護・監視 機能の維持	限流リアクトル		銅 絶縁物 (ガラスエポキシ) (F種絶縁) スペーサ (ガラスエポキシ) (F種絶縁) 絶縁円板 (ガラスエポキシ) (F種絶縁)		△				△			
		表示灯	◎	—								
		タイマ	◎	—								
機器の支持	筐 体		炭素鋼		△							
	取付ボルト		炭素鋼 (亜鉛メッキ)		△							
	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 事故後サンプリングコントロールセンタ

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

3.2.1 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難い。

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

なお、定期的な目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.2 母線支えの絶縁低下 [共通]

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

しかしながら、主回路導体を支持する母線支えは、不飽和ポリエステル樹脂又はガラスポリエステルであり、主回路導体の通電時の最大温度85℃に対して、母線支えの耐熱温度はディーゼル発電機コントロールセンタ130℃、事故後サンプリングコントロールセンタ155℃と十分裕度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。また、母線支えは筐体内に設置されており、塵埃、湿分等の付着による絶縁低下については発生の可能性は小

さく、これまでに有意な絶縁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。

なお、定期的な絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

3.2.3 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、塗装により腐食を防止しており、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、定期的な目視確認により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

3.2.4 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、亜鉛メッキにより腐食を防止しており、メッキが健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、定期的な目視確認によりメッキの状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

3.2.5 埋込金物（大気接触部）の腐食（全面腐食）〔共通〕

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

また、定期的な目視確認により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

3.2.6 基礎ボルトの腐食（全面腐食）及び劣化

〔ディーゼル発電機コントロールセンタ〕

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。また、ケミカルアンカには樹脂を使用しており、劣化が想定される。

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

2.2.3 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。

3.2.7 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）[共通]

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部については、コンクリートが中性化に至るには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。

川内原子力発電所 2 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]

九州電力株式会社

川内2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の機器及び常設重大事故等対処設備に属する機器を選定した。

これらの一覧を表1に、機能を表2に示す。

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

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

本評価書ではタービン及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 タービン動主給水ポンプ駆動タービン
- 4 タービン動補助給水ポンプタービン
- 5 主油ポンプ
- 6 調速装置・保安装置

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、タービンの主要弁及び一般弁は「弁の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含まれていない。

表1 川内2号炉 主要なタービン及び付属機器

型 式	機 器 名 称 (台 数)	重要度*1
タービン	高圧タービン (1)	高*2
	低圧タービン (3)	高*2
	タービン動主給水ポンプ駆動タービン (2)	高*2
	タービン動補助給水ポンプタービン (1)	MS-1、重*3
	付 属 機 器	主油ポンプ (1)
	調速装置・保安装置 (1)	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、又は最高使用圧力が1,900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器

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

表2 川内2号炉 主要なタービン及び付属機器の機能

機器名称	機 能
高圧タービン	発電を行うため発電機を駆動する。
低圧タービン	
タービン動主給水ポンプ駆動タービン	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させる。
タービン動補助給水ポンプタービン	事故時等の炉心停止後初期の炉心崩壊熱を除去するため、補助給水を蒸気発生器2次側へ供給する補助給水ポンプを駆動する。
主油ポンプ	タービン運転中に必要な潤滑油及び制御油をタービン潤滑・制御油系統へ供給する。
調速装置・保安装置	タービンの回転速度あるいは負荷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。

1 高圧タービン

[対象機器]

- ① 高圧タービン

目 次

1. 対象機器	1
2. 高圧タービンの技術評価	2
2.1 構造、材料及び使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	8

1. 対象機器

川内2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 川内2号炉 高圧タービンの主な仕様

機器名称 (台数)	仕様 (出力× 定格回転数) (kW×rpm)	重要度*1	使用条件			
			運 転	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)	約890,000*4 ×約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、又は最高使用圧力が1,900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器

*3：主蒸気止め弁前の蒸気条件

*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、材料及び使用条件

2.1.1 高圧タービン

(1) 構造

川内2号炉の高圧タービンは、複流型タービンである。

蒸気は内部車室に接続されている4本の主蒸気入口管より高圧タービンに流入し、内部車室の中央で2つに分かれ、動翼、静翼を通過後両端の車室下半部にある排気口より排出される。

高圧タービン外部車室には炭素鋼鋳鋼、内部車室及び翼環にはステンレス鋼鋳鋼を使用し、それぞれは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。

静翼にはステンレス鋼を使用し、内部車室及び翼環に固定されている。

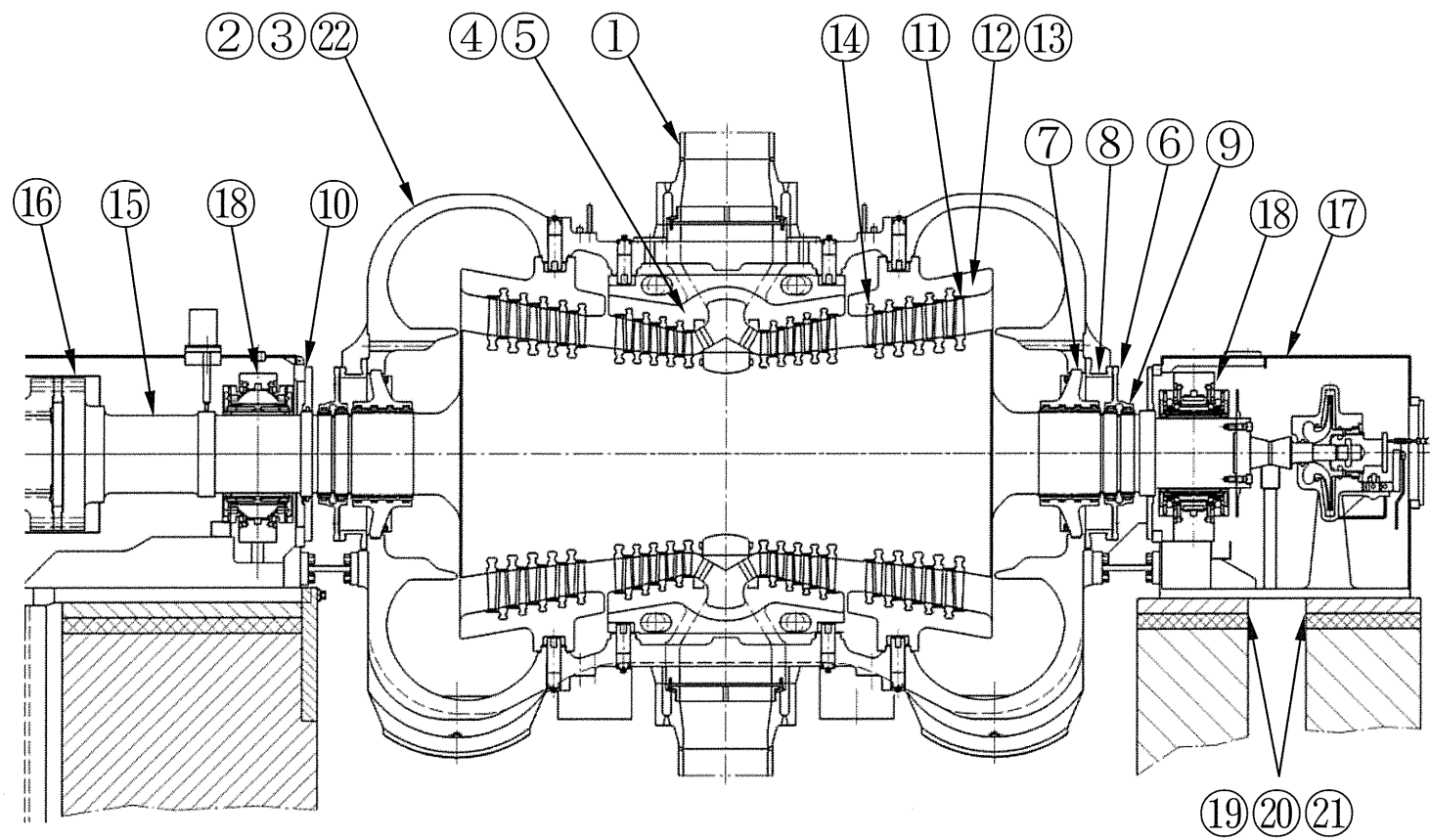
高圧タービン車軸は、低合金鋼を使用しており、2個のジャーナル軸受により支えられている。

高圧タービン外部車室両端面の車軸貫通部には、アウターグランド本体及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。

川内2号炉の高圧タービンの構造図を図2.1-1に示す。

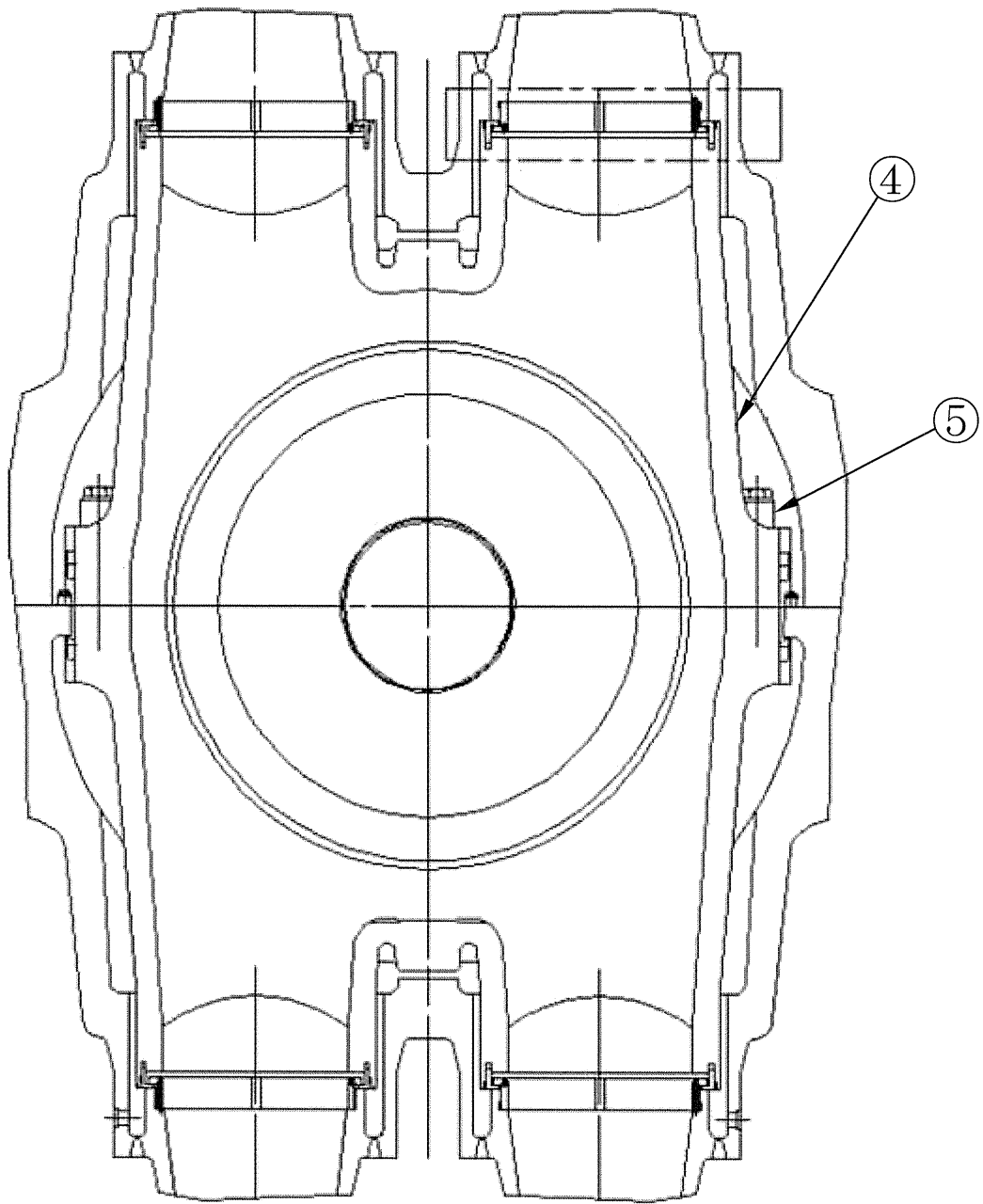
(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の高圧タービンの使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部 位
①	主蒸気入口管
②	外部車室
③	外部車室ボルト
④	内部車室
⑤	内部車室ボルト
⑥	アウターグランド本体
⑦	インナーグランド本体
⑧	ダイヤモンドリング
⑨	グランドシールリング
⑩	油止輪
⑪	動 翼
⑫	翼 環
⑬	翼環ボルト
⑭	静 翼
⑮	車 軸
⑯	カップリングボルト
⑰	軸 受 台
⑱	ジャーナル軸受 (すべり)
⑲	台 板
⑳	キ ー
㉑	基礎ボルト
㉒	車室支えボルト

図2.1-1(1/3) 川内2号炉 高圧タービン構造図



No.	部 位
④	内部車室
⑤	内部車室ボルト

図2.1-1(2/3) 川内2号炉 高圧タービン 内部車室構造図

No.	部 位
⑥	アウターグランド本体
⑦	インナーグランド本体
⑧	ダイヤフラムリング
⑨	グランドシールリング

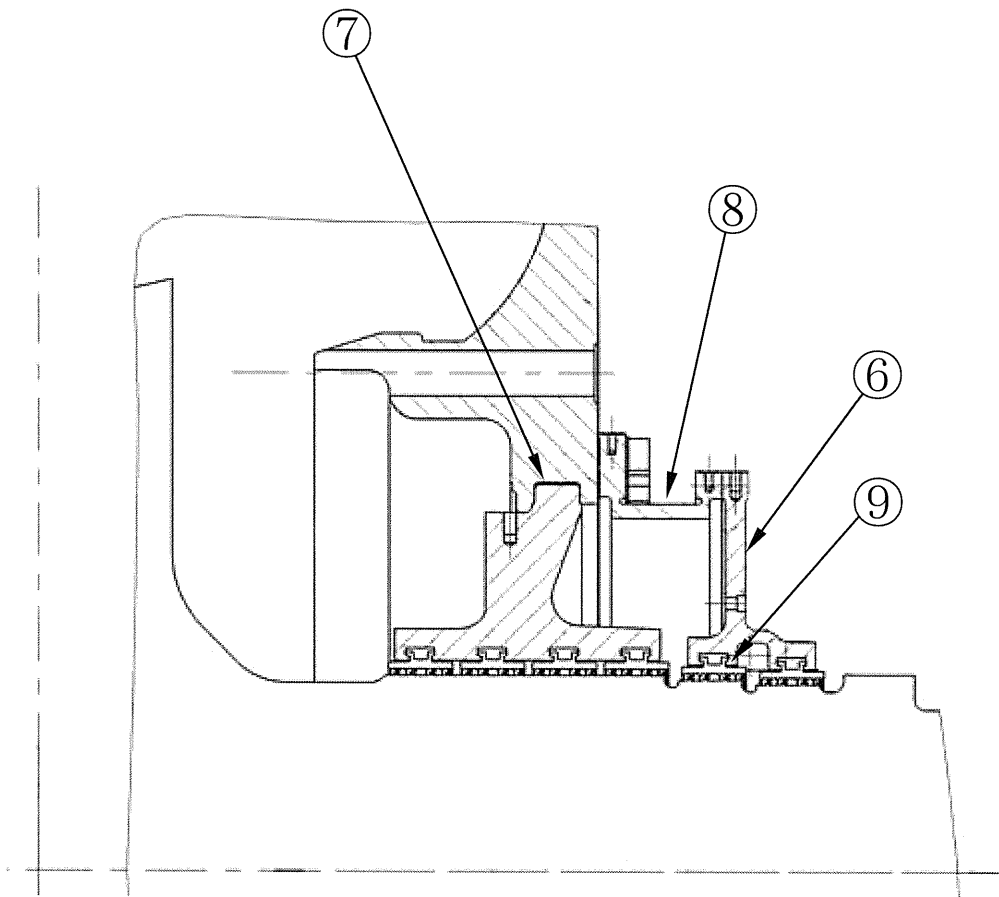


図2.1-1(3/3) 川内2号炉 高圧タービン アウターグランド本体及びインナーグランド
本体構造図

表2.1-1 川内2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
外部車室		炭素鋼鋳鋼
外部車室ボルト		低合金鋼
内部車室		ステンレス鋼鋳鋼
内部車室ボルト		ステンレス鋼
アウターグラウンド本体		ステンレス鋼鋳鋼
インナーグラウンド本体		ステンレス鋼鋳鋼
ダイヤフラムリング		ステンレス鋼鋳鋼
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		ステンレス鋼鋳鋼
翼環ボルト		ステンレス鋼
静 翼	第1段	ステンレス鋼
	第2～10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
ジャーナル軸受 (すべり)		炭素鋼鋳鋼 (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 川内2号炉 高圧タービンの使用条件

最高使用圧力 *1	約7.5MPa[gage]
最高使用温度 *1	約291℃
定格回転数	約1,800rpm
内部流体	蒸気

*1：主蒸気止め弁前の蒸気条件

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

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3つ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）及び現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

(1) 主蒸気入口管及び外部車室の外面からの腐食（全面腐食）

主蒸気入口管及び外部車室は炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であり、外面からの腐食が想定される。

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

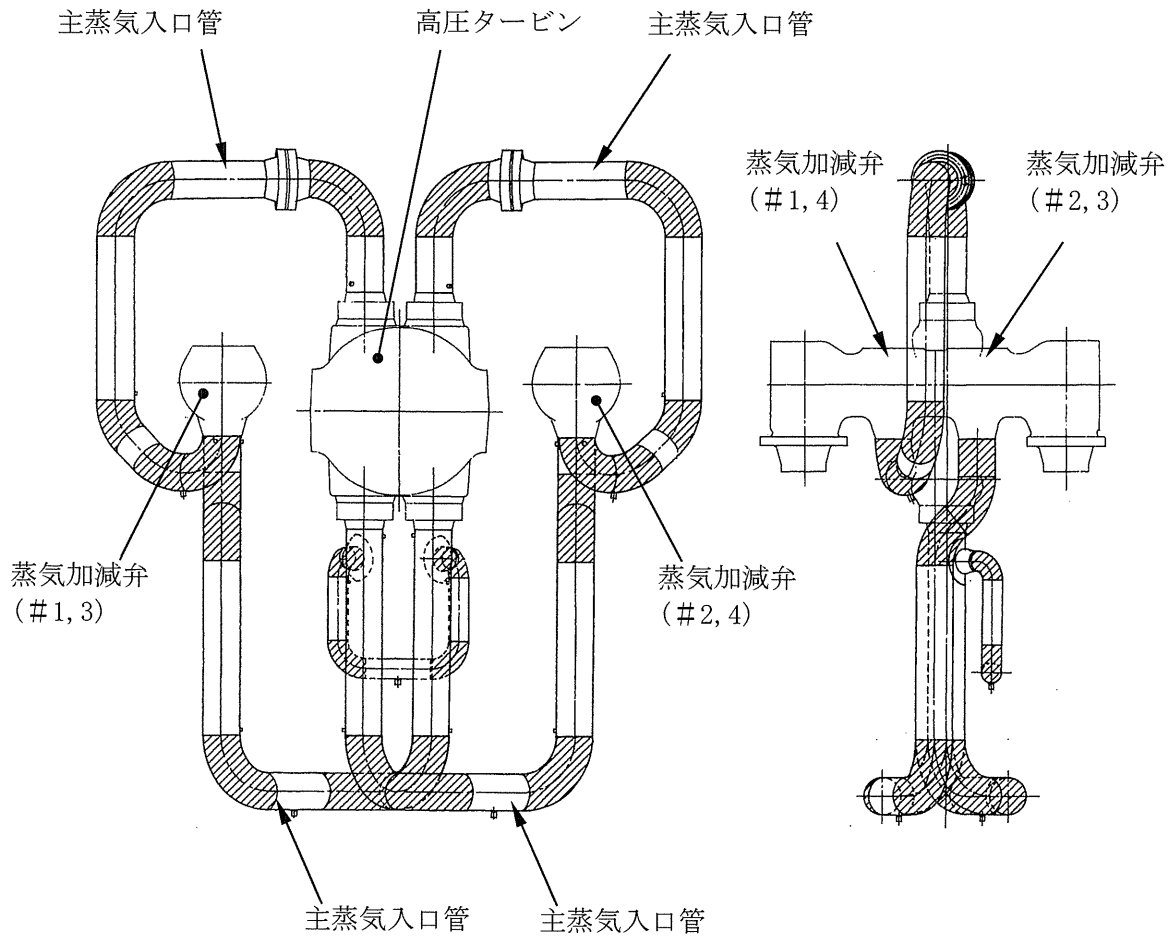
また、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(2) 主蒸気入口管及び外部車室の腐食（流れ加速型腐食）

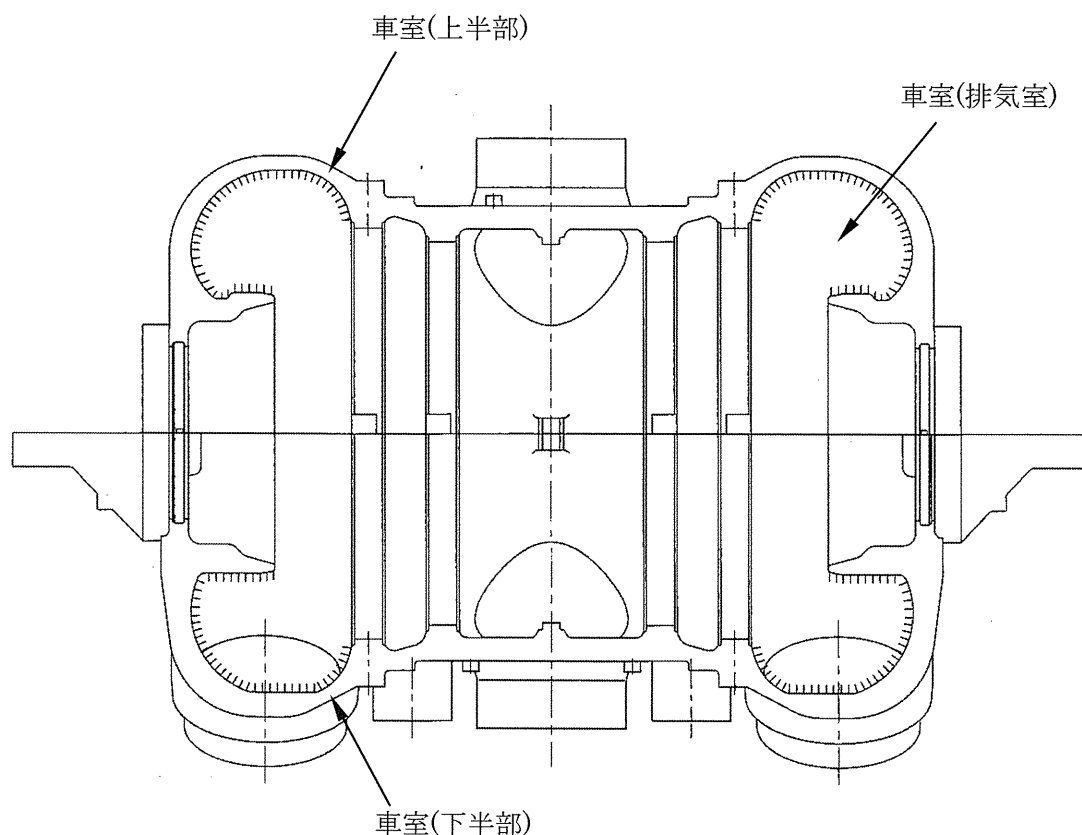
主蒸気入口管及び外部車室は、炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であり、湿り蒸気流に常時さらされているため、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

主蒸気入口管及び車室の流れ加速型腐食発生想定部位をそれぞれ図2.2-1及び図2.2-2に示す。



//// : 流れ加速型腐食発生想定部位

図2.2-1 川内2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



//// : 流れ加速型腐食発生想定部位

図2.2-2 川内2号炉 高圧タービン 外部車室の流れ加速型腐食発生想定部位

主蒸気入口管及び外部車室については、流れ加速型腐食による減肉が想定される。流れ加速型腐食による減肉の進行程度は流速、水質、温度、当該部の形状等の使用条件に影響され、流れ加速型腐食について一律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対しては、「配管肉厚管理要領書」(社内文書)に基づき、超音波厚さ計による肉厚計測を計画的に実施し、肉厚計測に基づく余寿命評価から適切な時期・頻度で検査又は取替時期を設定している。

また、外部車室については、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) 主蒸気入口管及び外部車室の疲労割れ

主蒸気入口管及び外部車室は、起動・停止及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、疲労割れが発生し難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(4) 外部車室の変形

外部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、分解点検時の水平継手面の間隙計測及び必要に応じて当た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) 外部車室ボルトの腐食（全面腐食）

外部車室ボルトは、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難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 内部車室、翼環、アウターグランド本体、インナーグランド本体及びダイヤフラムリングの腐食（流れ加速型腐食）

内部車室、翼環、アウターグランド本体、インナーグランド本体及びダイヤフラムリングは湿り蒸気雰囲気で使用され、流れ加速型腐食による減肉が想定される。

しかしながら、耐食性に優れたステンレス鋼鋳鋼を使用しており、流れ加速型腐食が発生する可能性は小さい。また、これまでに有意な減肉は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 内部車室の疲労割れ

内部車室は、起動・停止及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、疲労割れが発生し難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(8) 内部車室の変形

内部車室は温度差により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間隙計測により、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) 内部車室ボルト及び翼環ボルトの応力腐食割れ

内部車室ボルト及び翼環ボルトは、応力集中部であるネジ部を有しており、また、湿り蒸気雰囲気下で使用しているため、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、内部車室ボルト及び翼環ボルトには応力腐食割れ感受性が小さいステンレス鋼を使用しており、締付時は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。

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

なお、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。

(10) 油止輪、カップリングボルト及び台板の腐食（全面腐食）

油止輪及び台板は炭素鋼、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、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

一方、油止輪の内面及びカップリングボルトについては、油雰囲気下であり、腐食が発生し難い環境にあり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(11) 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、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、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(12) 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難い環境であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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。

(13) 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され、流れ加速型腐食による減肉が想定される。

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難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(14) 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、高平均応力下において繰り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、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。

(15) 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、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、高圧タービン車軸は、降伏応力の低い低合金鋼を使用しており、応力腐食割れに対する感受性が低い。また、運転中に発生する応力は、応力腐食割れが発生する応力よりも低い。

以上より、高圧タービン車軸の応力腐食割れに対する感受性は低く、発生の可能性は小さいと判断する。

さらに、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。

(16) 軸受台の腐食（全面腐食）

軸受台は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

一方、軸受台内面については、油霧囲気下であり腐食が発生し難い環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(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、長時間の使用により摩耗、はく離が想定される。

しかしながら、ジャーナル軸受ホワイトメタルの摩耗に対しては、分解点検時の目視確認、車軸と軸受内面の間隙計測により、はく離についても定期的に目視確認、ホワイトメタル部の浸透探傷検査及び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) 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難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

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

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

(20) キーの摩耗

軸受台がタービンの起動・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定期的に注入されており、摩耗が発生し難い環境である。

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。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

グランドシールリングは、分解点検時の目視確認又は間隙計測により状態を確認し、取り替えている消耗品であり、長期使用はせず取替えを前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 川内2号炉 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	応力腐蝕割れ	熱時効	劣 化		
バウンダリの維持	主蒸気入口管		炭 素 鋼		△ ^{*1} △(外面)	△				*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	
	外部車室		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △(外面)	△			△ ^{*2}		
	外部車室ボルト		低合金鋼		△						
	内部車室		ステンレス鋼鋳鋼		△ ^{*1}	△			△ ^{*2}		
	内部車室ボルト		ステンレス鋼				△				
	アウトターグラウンド本体		ステンレス鋼鋳鋼		△ ^{*1}						
	インナーグラウンド本体		ステンレス鋼鋳鋼		△ ^{*1}						
	ダイヤフラムリング		ステンレス鋼鋳鋼		△ ^{*1}						
	グラウンドシールリング	◎	—								
	油 止 輪		炭 素 鋼		△(外面) △(内面)						
発電機駆動力の確保	動 翼		ステンレス鋼			△ ^{*3}					
	翼 環		ステンレス鋼鋳鋼		△ ^{*1}						
	翼環ボルト		ステンレス鋼				△				
	静 翼		ステンレス鋼								
	車 軸		低合金鋼	△	△ ^{*1}	△ ^{*3}	△				
	カップリングボルト		低合金鋼		△						
	軸 受 台		炭 素 鋼		△(外面) △(内面)						
	ジャーナル軸受(すべり)		炭素鋼鋳鋼(ホワイトメタル)	△					△ ^{*4}		
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）

▲：高経年化対策上着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 低圧タービン

[対象機器]

- ① 低圧タービン

目 次

1. 対象機器	1
2. 低圧タービンの技術評価	2
2.1 構造、材料及び使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	9

1. 対象機器

川内2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 川内2号炉 低圧タービンの主な仕様

機器名称 (台数)	仕様 (出力× 定格回転数) (kW×rpm)	重要度*1	使用条件			
			運 転	最高使用圧力*3 (MPa[gage])	最高使用温度*3 (°C)	湿り度*3 (%)
低圧タービン (3)	約890,000*4 ×約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°Cを超え、又は最高使用圧力が1,900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器

*3：低圧タービン入口の蒸気条件

*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、材料及び使用条件

2.1.1 低圧タービン

(1) 構造

川内2号炉の低圧タービンは、複流型タービンであり、第1低圧タービンから第3低圧タービンまで3基設置している。

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し、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。

低圧タービン車室は外部車室、内部車室及び翼環で構成され、炭素鋼、炭素鋼鋳鋼、ステンレス鋼及びステンレス鋼鋳鋼を使用しており、それぞれは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。

上流段静翼にはステンレス鋼を使用し、翼環に固定されている。上流側は通常運転中は乾き蒸気雰囲気である。また、下流段静翼にはステンレス鋼及びステンレス鋼鋳鋼を使用し、翼根リングに固定されている。

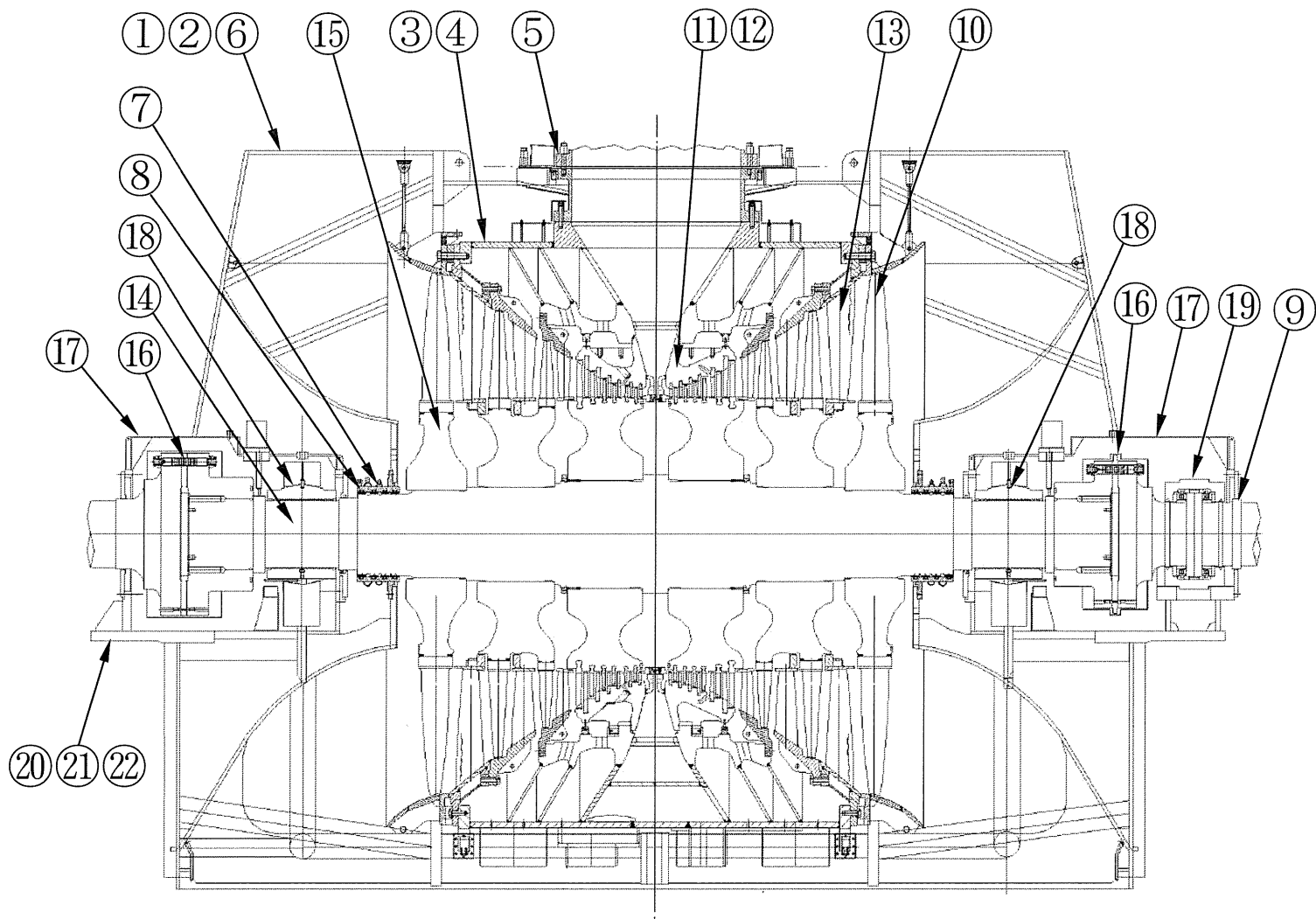
低圧タービン車軸は低合金鋼を使用しており、2個のジャーナル軸受により支えられている。また、スラスト軸受は第1低圧タービンと第2低圧タービン間に1個設置されている。

低圧タービン車室両端面の車軸貫通部には、グランド本体が設けられており、グランドシールリングにより大気流入を防いでいる。

川内2号炉の低圧タービンの構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の低圧タービンの使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部 位
①	外部車室
②	外部車室ボルト
③	内部車室
④	内部車室ボルト
⑤	クロスオーバパイプアダプタ
⑥	大気放出板
⑦	グラウンド本体
⑧	グラウンドシールリング
⑨	油 止 輪
⑩	動 翼
⑪	翼 環
⑫	翼環ボルト
⑬	静 翼
⑭	車 軸
⑮	円 板
⑯	カップリングボルト
⑰	軸 受 箱
⑱	ジャーナル軸受 (すべり)
⑲	スラスト軸受 (すべり)
⑳	台 板
㉑	ライナー
㉒	基礎ボルト

図2.1-1(1/4) 川内2号炉 低圧タービン構造図 (第2低圧タービンの例)

No.	部 位
①	外部車室
②	外部車室ボルト
③	内部車室
④	内部車室ボルト

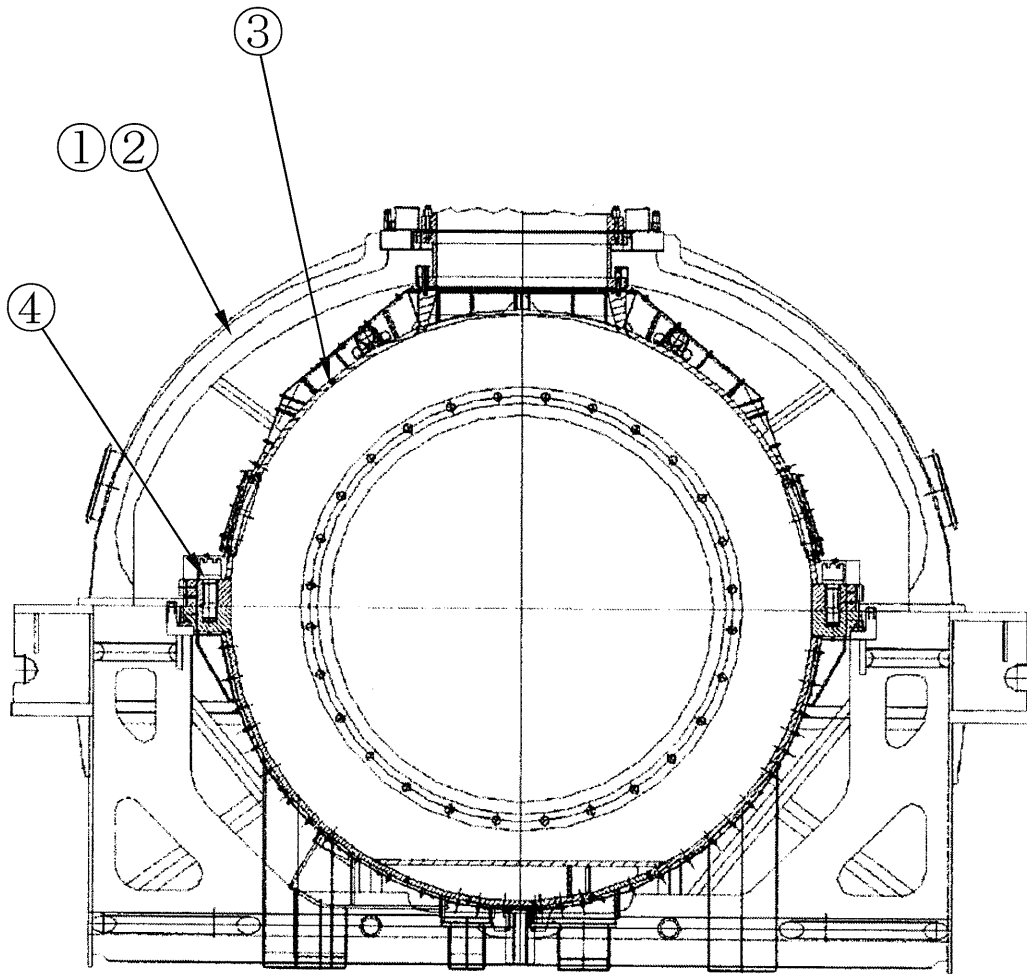


図2.1-1(2/4) 川内2号炉 低圧タービン 外部車室、内部車室構造図

No.	部 位
⑦	グランド本体
⑧	グランドシールリング

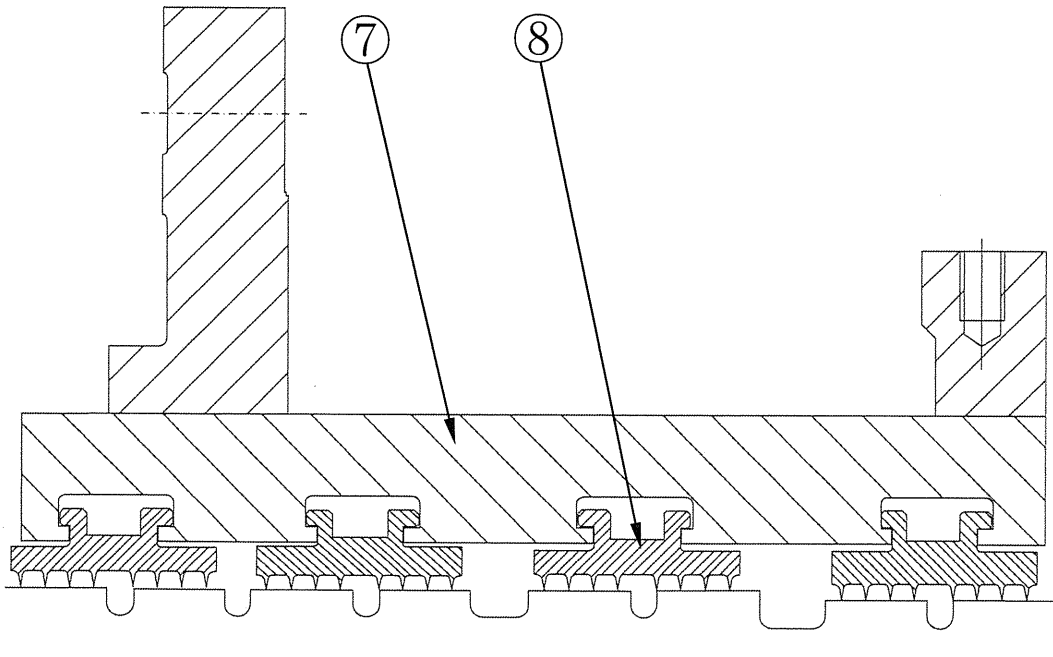
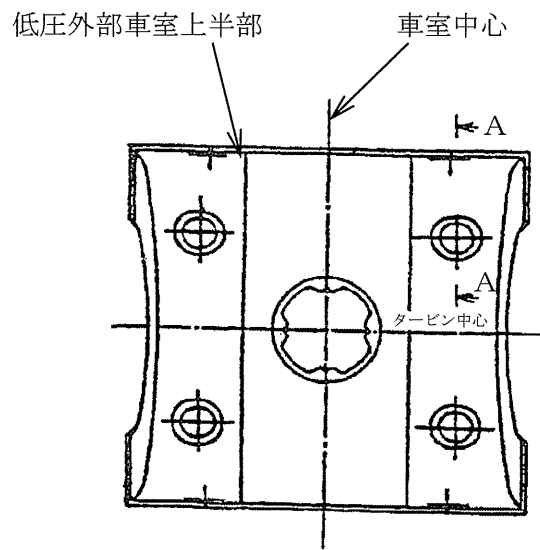


図2.1-1(3/4) 川内2号炉 低圧タービン グランド本体構造図



配置図

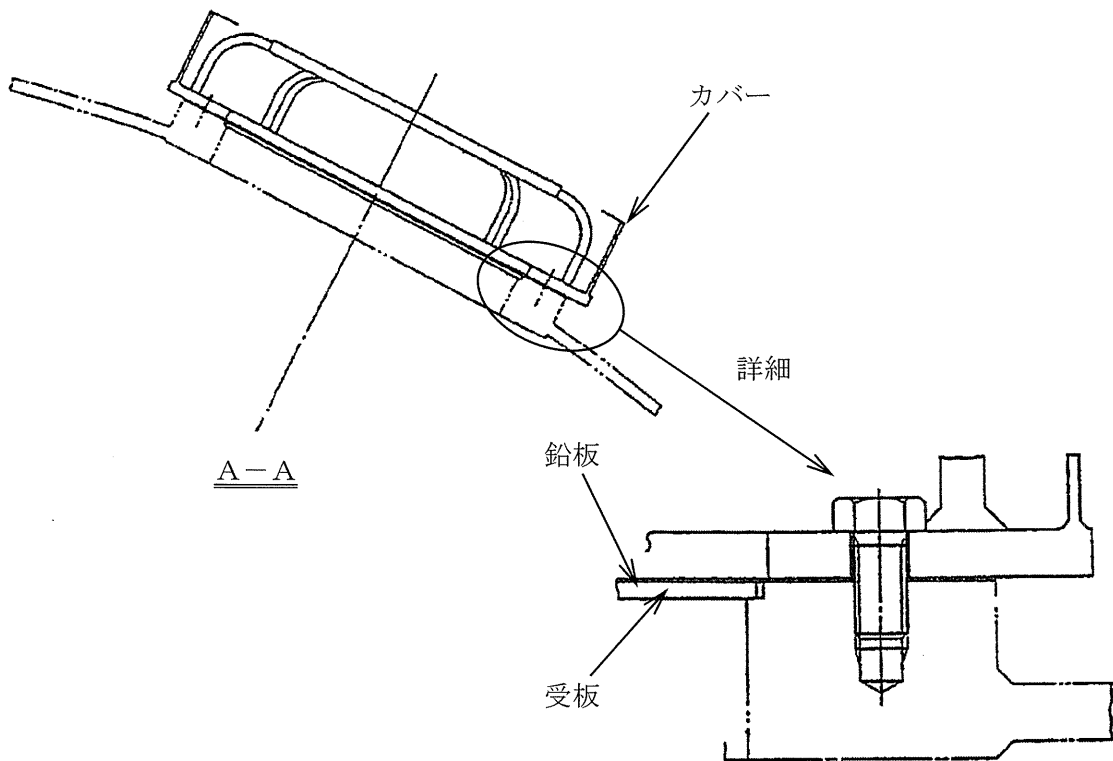


図2.1-1(4/4) 川内2号炉 低圧タービン 大気放出板構造図

表2. 1-1(1/2) 川内2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
内部車室		炭 素 鋼 炭素鋼鋳鋼 ステンレス鋼
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
油 止 輪		炭 素 鋼
動 翼		ステンレス鋼
翼 環		ステンレス鋼鋳鋼
翼環ボルト		ステンレス鋼
静 翼	第1～6段翼	ステンレス鋼
	第7段翼	ステンレス鋼鋳鋼
	第8、9段翼	ステンレス鋼
	第7、8段 翼根リング	ステンレス鋼鋳鋼
	第9段 翼根リング	炭素鋼（ニッケル基合金）
車 軸		低合金鋼
円 板		低合金鋼
カップリングボルト		低合金鋼

表2.1-1(2/2) 川内2号炉 低圧タービン主要部位の使用材料

部 位	材 料
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)	炭素鋼鋳鋼 (ホワイトメタル)
台 板	炭 素 鋼
ライナー	炭 素 鋼
基礎ボルト	炭 素 鋼

表2.1-2 川内2号炉 低圧タービンの使用条件

最高使用圧力*1	約1.4MPa[gage]
最高使用温度*1	約291℃
定格回転数	約1,800rpm
内 部 流 体	蒸 気

*1：低圧タービン入口の蒸気条件

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

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3つ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）及び現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

(1) 外部車室の外表面からの腐食（全面腐食）

外部車室は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

(2) 外部車室の腐食（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、流れ加速型腐食により減肉する可能性がある。

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、フランジ面からの大気流入により、ボルトの腐食が想定される。

しかしながら、締付管理によりフランジ面から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難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(4) 内部車室の腐食（流れ加速型腐食）

内部車室は炭素鋼、炭素鋼鋳鋼及びステンレス鋼であり、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) 内部車室の疲労割れ

内部車室は、起動・停止及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、疲労割れが発生し難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 内部車室の変形

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難い。

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

なお、分解点検時に水平継手面間隙計測や目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 内部車室ボルトの腐食（全面腐食）

内部車室ボルトは、低合金鋼であり腐食が想定される。

しかしながら、蒸気中の溶存酸素濃度が低いことから腐食が発生し難い環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

(8) クロスオーバーパイプアダプタの腐食（全面腐食）

クロスオーバーパイプアダプタは炭素鋼であり、かつ外側は湿り蒸気雰囲気下で使用しており、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難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(9) グランド本体の腐食（流れ加速型腐食）

グランド本体は炭素鋼であり、蒸気に常時さらされているため、流れ加速型腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(10) 軸受箱及びグランド本体（外面）の腐食（全面腐食）

軸受箱及びグランド本体は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、軸受箱内面については、油雰囲気下であり腐食が発生し難い環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

(11) 油止輪、カップリングボルト及び台板の腐食（全面腐食）

油止輪及び台板は炭素鋼、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、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

一方、内面及びカップリングボルトについては油雰囲気下であり腐食が発生し難い環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(12) 動翼の腐食（エロージョン）

最終段動翼群は流入する湿り蒸気流に常時さらされているため、蒸気中に含まれた水滴によるエロージョンが想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(13) 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、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や磁粉探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(14) 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、耐食性に優れたステンレス鋼鋳鋼を使用しており、流れ加速型腐食が発生する可能性は小さい。また、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(15) 翼環ボルトの応力腐食割れ

翼環ボルトは、応力集中部であるネジ部を有しており、また、湿り蒸気雰囲気下で使用しているため、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、翼環ボルトには応力腐食割れ感受性が小さいステンレス鋼を使用しており、締付時は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。

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

なお、分解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) 静翼の腐食（流れ加速型腐食）

静翼の翼根リングは湿り蒸気雰囲気で使用され、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、翼根リングはステンレス鋼鋳鋼又は炭素鋼を使用し、炭素鋼部分にはニッケル基合金を塗布しており、優れた耐食性を有している。

また、これまでに有意な流れ加速型腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(17) 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難い環境であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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。

(18) 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され、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難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(19) 車軸の高サイクル疲労割れ

タービンの運転時には車軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下で繰り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、タービン設計時には高サイクル疲労を考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

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

なお、分解点検時の応力集中部に対する目視確認や超音波探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(20) 円板の応力腐食割れ

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、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。

円板は低合金鋼であり、比較的発生応力の高い翼溝部を有している。また、湿り蒸気雰囲気下で使用しているため、応力腐食割れが発生する可能性がある。

しかしながら、円板には降伏応力の低い低合金鋼を使用しており、応力腐食割れに対する感受性が低い。また、運転中に発生する応力は、応力腐食割れが発生する応力よりも低く、製作時の熱処理により、表面に圧縮残留応力を付与し、応力腐食割れの発生を抑制している。

さらに、分解点検時の目視確認及び翼溝部端面の磁粉探傷検査を実施し、機器の健全性を維持している。

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

(21) ジャーナル軸受及びスラスト軸受ホワイトメタルの摩耗、はく離

ジャーナル軸受及びスラスト軸受のホワイトメタルは、長時間の使用により摩耗、はく離が想定される。

しかしながら、ジャーナル軸受及びスラスト軸受ホワイトメタルの摩耗に対しては、分解点検時の目視確認及び車軸と軸受内面の間隙計測により、はく離についても、分解点検時の目視確認、ホワイトメタル部の浸透探傷検査及び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。

(22) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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。

(23) ライナーの摩耗

軸受箱がプラントの起動・停止による温度変化により台板上をスライドするため、軸受箱に固定されたライナーの摩耗が想定される。

しかしながら、ライナー部分における運転時の軸受箱の熱移動量が小さく、また、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。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

グランドシールリングは、分解点検時の目視確認又は間隙計測結果により状態を確認し、取り替えている消耗品であり、大気放出板は分解点検時に取り替えている消耗品である。それぞれ、長期使用はせず取替えを前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 川内2号炉 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	応力腐蝕割れ	熱時効	劣 化		
バウンダリの維持	外部車室		炭 素 鋼		△*1(内面) △(外面)						*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
	外部車室ボルト		低合金鋼		△						
	内部車室		炭 素 鋼 炭素鋼鋳鋼 ステンレス鋼		△*1	△				△*2	
	内部車室ボルト		低合金鋼		△						
	クロスハブパイプアダプタ		炭 素 鋼		△						
	大気放出板	◎	—								
	グラント本体		炭 素 鋼		△*1(内面) △(外面)						
	グラントシールリング	◎	—								
	油 止 輪		炭 素 鋼		△						
発電機駆動力 の確保	動 翼		ステンレス鋼		△*5	△*3					
	翼 環		ステンレス鋼鋳鋼		△*1						
	翼環ボルト		ステンレス鋼				△				
	静 翼	翼		ステンレス鋼 ステンレス鋼鋳鋼							
		翼根リング		ステンレス鋼鋳鋼 炭 素 鋼 (ニッケル基合金)		△*1					
	車 軸		低合金鋼	△	△*1	△*3					
	円 板		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)	△						△*4	
	スラスト軸受 (すべり)		炭素鋼鋳鋼 (ホワイトメタル)	△						△*4	
機器の支持	台 板		炭 素 鋼		△						
	ライナー		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（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 タービン動主給水ポンプ 駆動タービン

[対象機器]

- ① タービン動主給水ポンプ駆動タービン

目 次

1. 対象機器	1
2. タービン動主給水ポンプ駆動タービンの技術評価	2
2.1 構造、材料及び使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	6

1. 対象機器

川内2号炉で使用されているタービン動主給水ポンプ駆動タービンの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 川内2号炉 タービン動主給水ポンプ駆動タービンの主な仕様

機器名称 (台数)	仕 様 (出力×定格回転数) (kW×rpm)	重要度*1	使 用 条 件		
			運 転	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
タービン動 主給水ポンプ 駆動タービン (2)	約5,300×約4,600	高*2	連 続	約7.5	約291

*1：機能は最上位の機能を示す

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

2. タービン動主給水ポンプ駆動タービンの技術評価

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 タービン動主給水ポンプ駆動タービン

(1) 構造

川内2号炉のタービン動主給水ポンプ駆動タービンは、タービン動主給水ポンプ駆動源の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駆動タービンに流入し、各段を経て車室下半部にある排気口から復水器に至る。

車室はステンレス鋼鋳鋼及び炭素鋼製であり、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、ノズル室はステンレス鋼鋳鋼、ステンレス鋼、炭素鋼鋳鋼及び炭素鋼が使用されており車室に固定されている。仕切板はステンレス鋼が使用されており、基礎に支持された車室に支持されている。

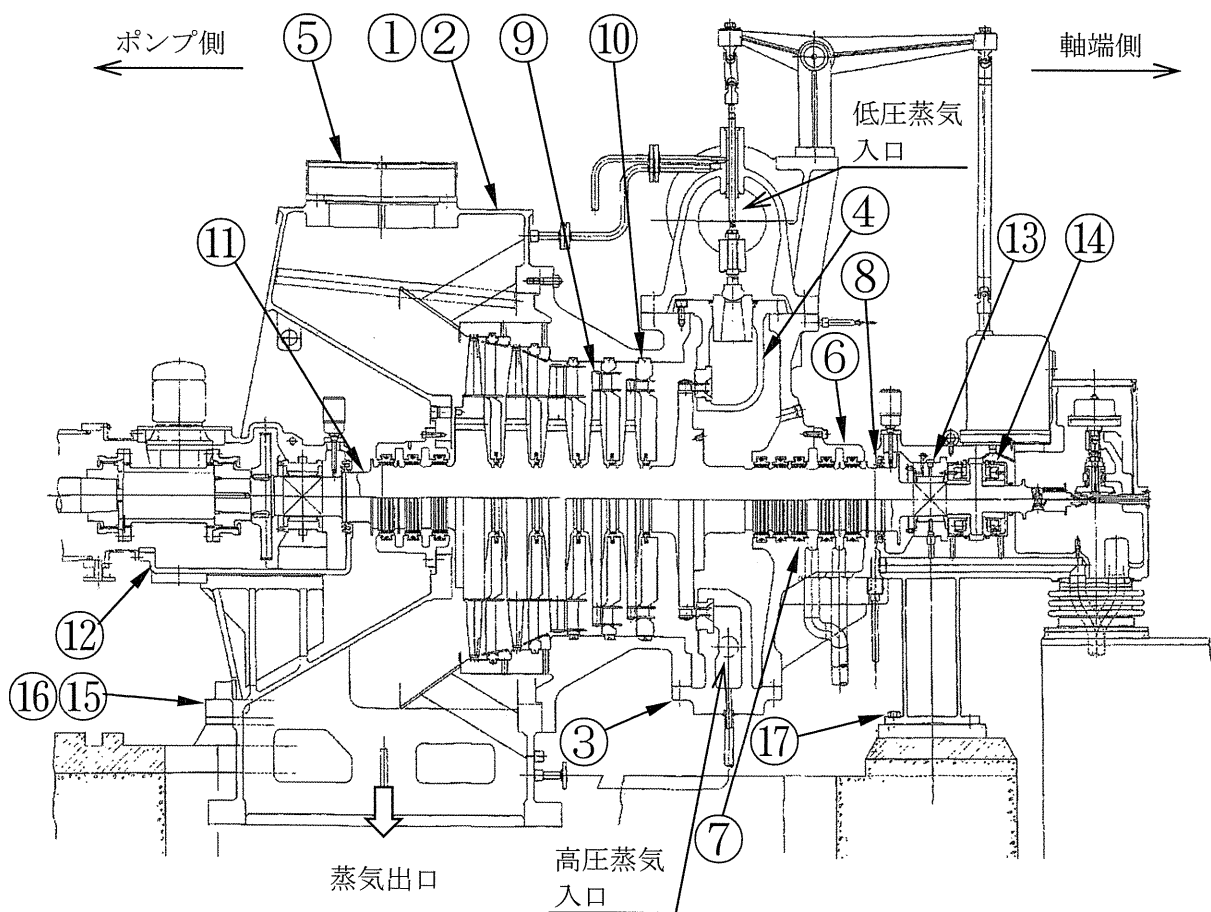
車軸には低合金鋼を使用しており、2個の軸受により支えられている。また、車軸端部にスラスト軸受を設置している。

車室両端面の車軸貫通部にはグランド本体が設けられており、グランドシールリングにより蒸気流出及び大気流入を防止している。

川内2号炉のタービン動主給水ポンプ駆動タービンの構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉のタービン動主給水ポンプ駆動タービンの使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部 位	No.	部 位
①	車 室	⑪	車 軸
②	車室ボルト	⑫	軸 受 台
③	高圧ノズル室 (第1段ノズルを含む)	⑬	ジャーナル軸受 (すべり)
④	低圧ノズル室 (第1段ノズルを含む)	⑭	スラスト軸受 (すべり)
⑤	大気放出板	⑮	台 板
⑥	グラウンド本体	⑯	キ ー
⑦	グラウンドシールリング	⑰	基礎ボルト
⑧	オイルシールリング		
⑨	動 翼		
⑩	仕切板 (ノズルを含む)		

図2.1-1 川内2号炉 タービン動主給水ポンプ駆動タービン構造図

表2. 1-1 川内2号炉 タービン動主給水ポンプ駆動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 (第1段ノズルを含む)		ステンレス鋼 ステンレス鋼
低圧ノズル室 (第1段ノズルを含む)		炭素鋼 炭素鋼 ステンレス鋼
大気放出板		消耗品・定期取替品
グラウンド本体		ステンレス鋼 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 (ステライト肉盛)
仕切板 (ノズルを含む)		ステンレス鋼
車 軸		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)
台 板		炭素鋼
キ ー		炭素鋼
基礎ボルト		炭素鋼

表2.1-2 川内2号炉 タービン動主給水ポンプ駆動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4,600rpm
内部流体	蒸気

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

タービン動主給水ポンプ駆動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3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② ポンプ駆動力の確保
- 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

タービン動主給水ポンプ駆動タービンについて、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）及び現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

(1) 車室及びグラウンド本体の外表面からの腐食（全面腐食）

車室及びグラウンド本体の炭素鋼使用部位については、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、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

(2) 車室、低圧ノズル室及びグランド本体の腐食（流れ加速型腐食）

車室の炭素鋼使用部位については、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、低圧ノズル室及び軸端側グランド本体は、乾き蒸気雰囲気腐食が発生し難い環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。また、ポンプ側グランド本体はステンレス鋼であり優れた耐食性を有していることから、流れ加速型腐食が発生する可能性は小さい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、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・停止時及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ことから、疲労割れが発生し難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(4) 車室の変形

車室はステンレス鋼及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、わずかなひずみの発生が想定される。

しかしながら、分解点検時の水平継手面の間隙計測、また必要に応じて水平継手面の修正加工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。

(5) 車室ボルトの腐食（全面腐食）

車室ボルトは、低合金鋼及び炭素鋼であり、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難い。

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

なお、分解点検時等の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 動翼の腐食（エロージョン）

動翼第5、6段は湿り蒸気雰囲気で使用されるため、蒸気中の水滴による衝撃で、翼入口先端部がエロージョンにより減肉が想定される。

動翼第5、6段に流入する蒸気の湿り度が大きく、かつ周方向速度も大きいため、動翼先端部の減肉が大きくなることが考えられ、減肉の進行によりステライトのはく離が想定される。

しかしながら、エロージョンについては、分解点検時の目視確認により、ステライト板ろう付部に対しては目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を維持している。

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

(7) 動翼の高サイクル疲労割れ

タービン運転時に固有振動数の低い動翼群が運転中に共振に近い状態になった場合、動翼の応力集中部に高サイクル疲労割れが想定される。

1981年11月に美浜1号炉の低圧タービン第6段動翼において、高サイクル疲労割れが発生している。

しかしながら、動翼設計時に流体力と共振した場合でも十分な安全率を有する設計としており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

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

なお、分解点検時の応力集中部に対する目視確認や磁粉探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(8) 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難い環境であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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。

(9) 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難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(10) 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や目視による確認）及び試運転時における振動確認（変位の測定等）並びに分解点検時の応力集中部に対する目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(11) 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、分解点検時の車軸翼溝部端面の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。

(12) 軸受台及び台板の腐食（全面腐食）

軸受台及び台板は炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であり、腐食が想定される。

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

また、巡視点検等で目視により塗装の状態を確認し、はく離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、軸受台内面については、油雰囲気下で腐食が発生し難い環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(13) ジャーナル軸受及びスラスト軸受ホワイトメタルの摩耗、はく離

ジャーナル軸受及びスラスト軸受のホワイトメタルは、長時間の使用により摩耗、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、車軸と軸受内面の間隙計測や軸表面の当たり幅の確認により、はく離については、分解点検時の目視確認及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。

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

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

(15) キーの摩耗

車室がタービンの起動・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、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。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

大気放出板は分解点検時に取り替えている消耗品であり、グランドシールリング及びオイルシールリングは、分解点検時の目視確認又は間隙計測の結果に基づき取り替えている消耗品である。それぞれ、長期使用はせず取替えを前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/2) 川内2号炉 タービン動主給水ポンプ駆動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 炭素鋼		△*1 △(外面)	△				△*2	*1：流れ加速型腐食 *2：変形 *3：エロージョン *4：高サイクル疲労割れ *5：はく離
	車室ボルト		低合金鋼、炭素鋼		△						
	高圧ノズル室 (第1段ノズルを含む)		ステンレス鋼 ステンレス鋼								
	低圧ノズル室 (第1段ノズルを含む)		炭素鋼 炭素鋼 ステンレス鋼		△*1						
	大気放出板	◎	—								
	グラウンド本体		ステンレス鋼 炭素鋼		△*1 △(外面)						
	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								
		第5、6段	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)		△*3	△*4					
	仕切板(ノズルを含む)		ステンレス鋼								
	車 軸		低合金鋼	△	△*1	△*4	△				
	軸 受 台		炭素鋼 炭素鋼		△(内面) △(外面)						
	ジャーナル軸受(すべり)		炭素鋼 (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	

△：高経年化対策上着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) 川内2号炉 タービン動主給水ポンプ駆動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		
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（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）

4 タービン動補助給水ポンプタービン

[対象機器]

- ① タービン動補助給水ポンプタービン

目 次

1. 対象機器	1
2. タービン動補助給水ポンプタービンの技術評価	2
2.1 構造、材料及び使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	9

1. 対象機器

川内2号炉で使用されているタービン動補助給水ポンプタービンの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 川内2号炉 タービン動補助給水ポンプタービンの主な仕様

機器名称 (台数)	仕 様 (出力×定格回転数) (kW×rpm)	重要度*1	使 用 条 件		
			運 転	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
タービン動 補助給水ポンプ タービン (1)	約810×約5,500	MS-1、重*2	一 時	約7.5	約291

*1：機能は最上位の機能を示す

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

2. タービン動補助給水ポンプタービンの技術評価

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 タービン動補助給水ポンプタービン

(1) 構造

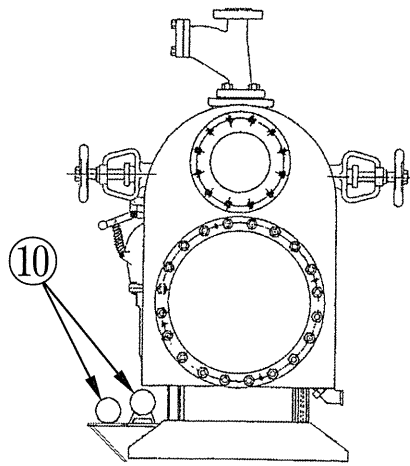
川内2号炉のタービン動補助給水ポンプタービンは、タービン動補助給水ポンプ駆動源の横型単段式であり、円板には低合金鋼、動翼にはステンレス鋼を使用している。

また、ガバナ弁、圧力調整器、オイルリレー及びオーバースピードガバナ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が設置されている。油圧ユニットの主油ポンプは、歯車を介して伝達される主軸の回転力により駆動する。さらに補助油ポンプ、非常用油ポンプ及びオイルクーラで構成する外部油圧ユニットを設置している。補助油ポンプ及び非常用油ポンプはポンプ待機中にガバナ調速機構の作動油を供給し、オイルクーラは軸受油を冷却している。

川内2号炉のタービン動補助給水ポンプタービンの構造図を図2.1-1～図2.1-3に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉のタービン動補助給水ポンプタービンの使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



A 視

No.	部 位
①	主 軸
②	円 板
③	油圧ユニットケーシング
④	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
⑩	外部油圧ユニット

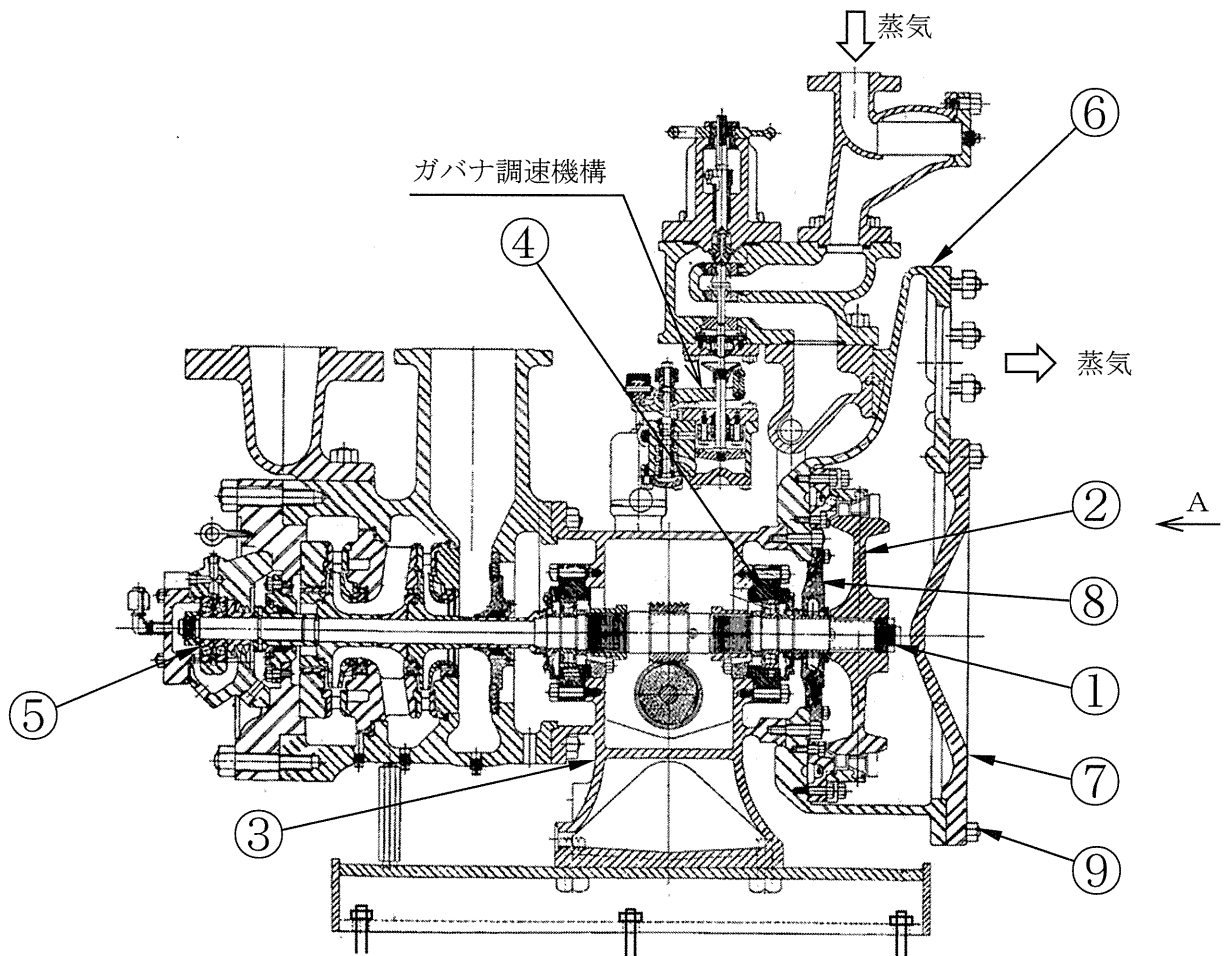
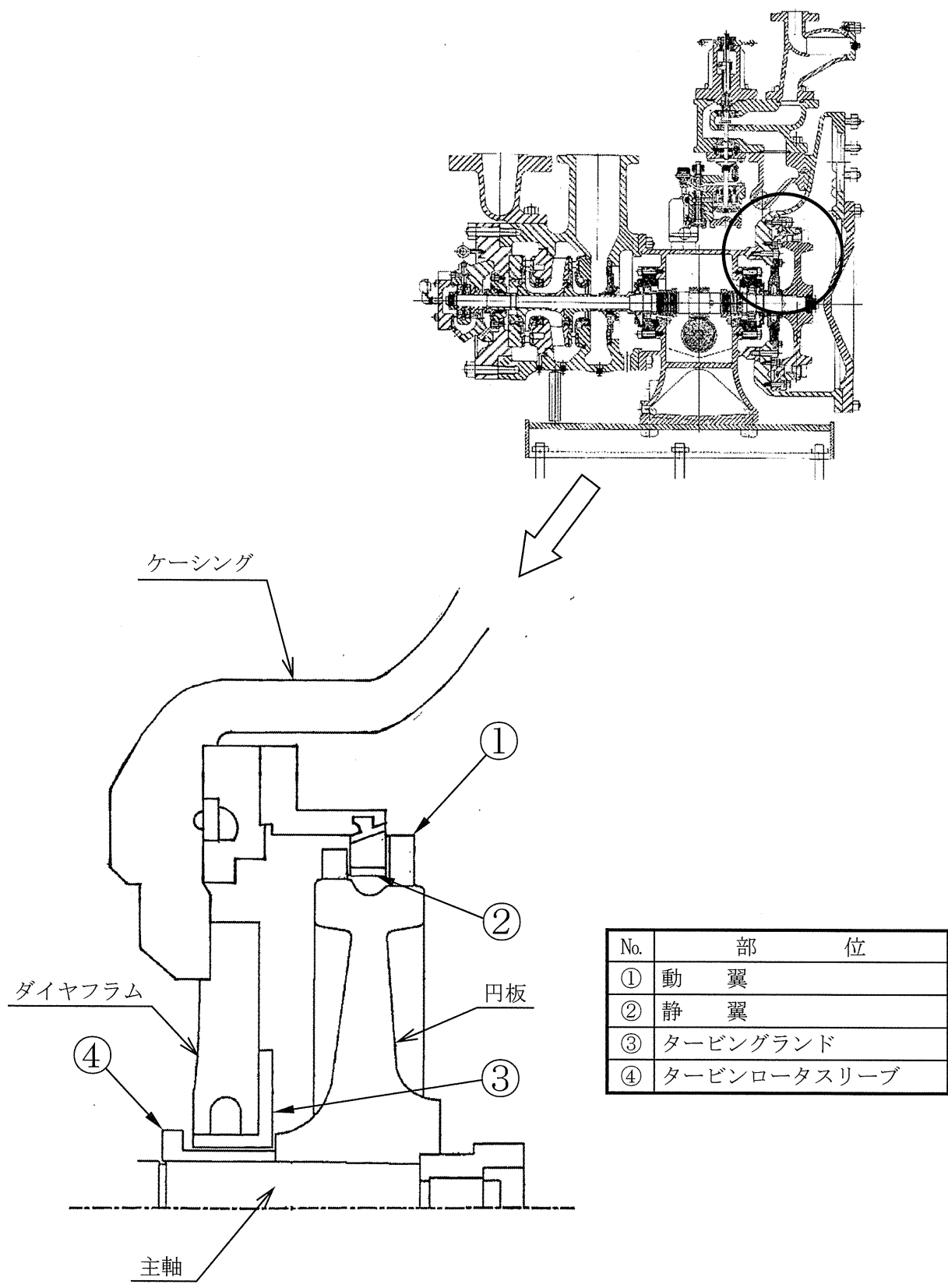
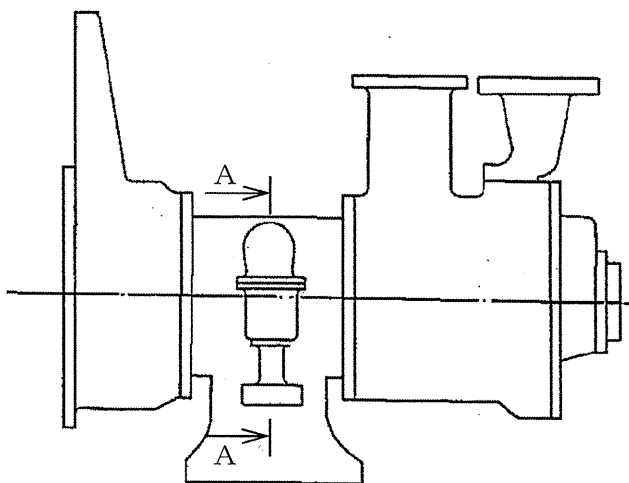


図2.1-1(1/2) 川内2号炉 タービン動補助給水ポンプタービン構造図



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2.1-1(2/2) 川内2号炉 タービン動補助給水ポンプタービン構造図



No.	部 位
①	油圧ユニット 主油ポンプ歯車
②	油圧ユニット 主油ポンプ軸受 (ころがり)
③	油圧ユニット 駆動用歯車
④	油圧ユニット 駆動軸軸受 (ころがり)

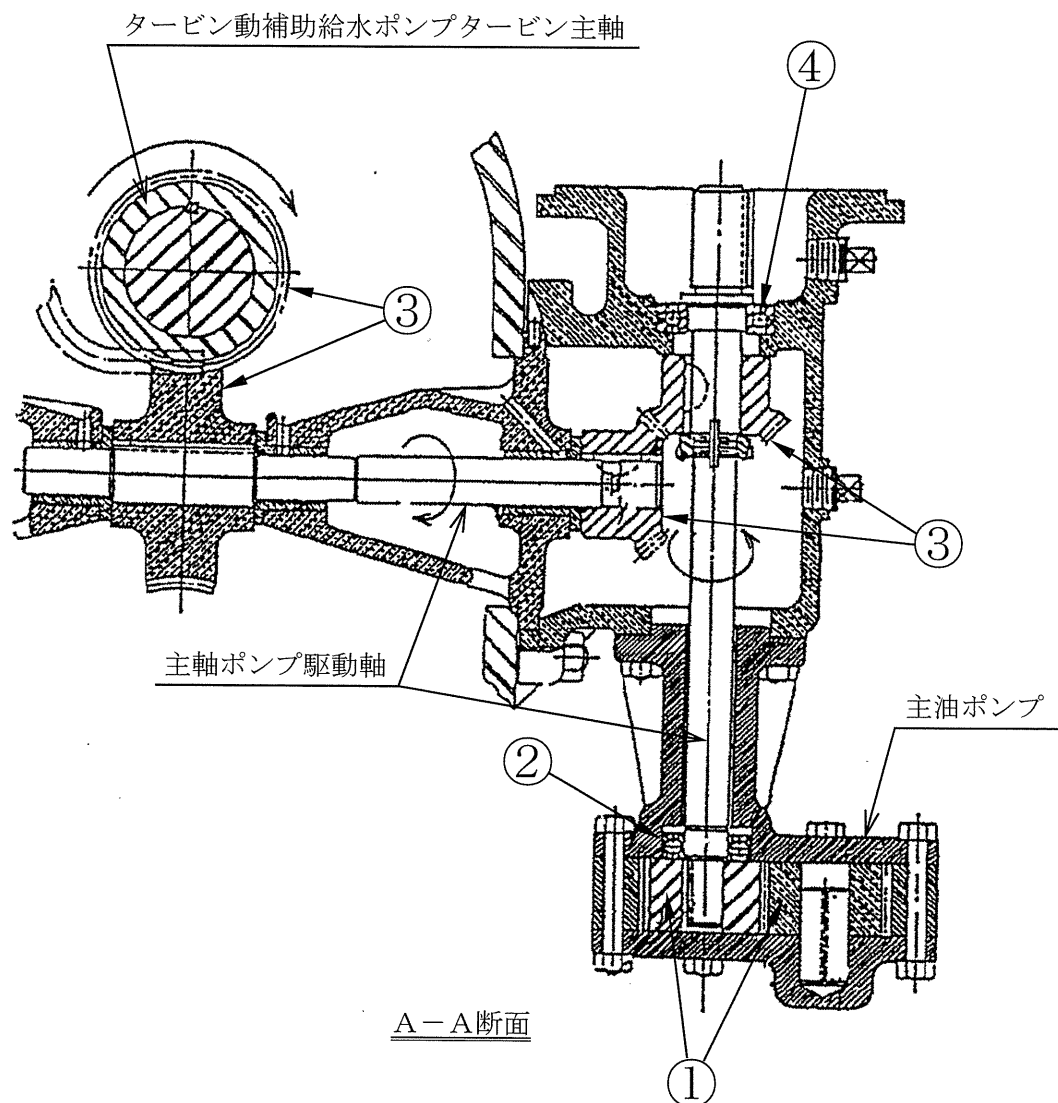
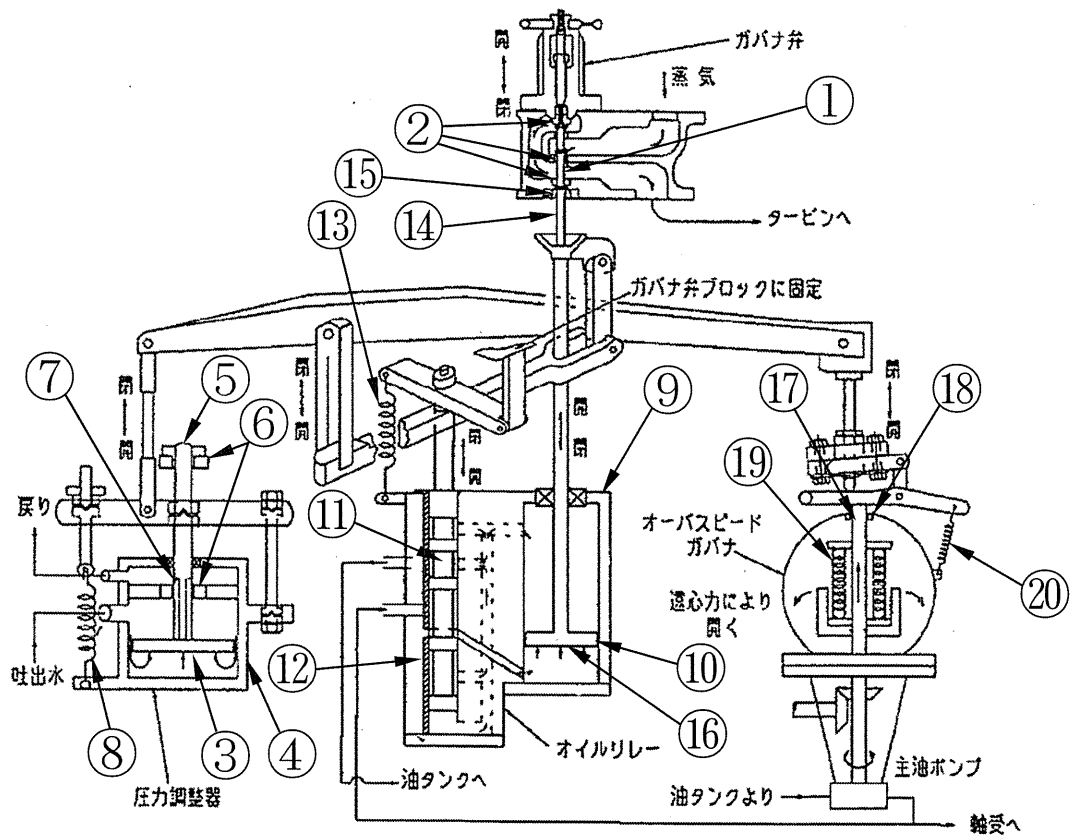


図2.1-2 川内2号炉 タービン動補助給水ポンプタービン
油圧ユニット 主油ポンプ構造図



No.	部 位	No.	部 位
①	ガバナ弁弁棒	⑪	オイルリレーパイロットスピンドル
②	ガバナ弁ガイド、シート	⑫	オイルリレーパイロットブッシュ
③	圧力調整器ピストン	⑬	オイルリレースプリング
④	圧力調整器シリンダ	⑭	オイルリレースピンドル
⑤	圧力調整器スピンドル	⑮	オイルリレーブッシュ
⑥	圧力調整器ガイド	⑯	オイルリレーピストン
⑦	圧力調整器ブッシュ	⑰	オーバースピードガバナスピンドル
⑧	圧力調整器スプリング	⑱	オーバースピードガバナブッシュ
⑨	オイルリレーシリンダ	⑲	ガバナスプリング
⑩	オイルリレーピストンリング	⑳	トリップラッチスプリング

図2.1-3 川内2号炉 タービン動補助給水ポンプタービン
ガバナ調速機構構造図 (概念図)

表2.1-1(1/2) 川内2号炉 タービン動補助給水ポンプタービン主要部位の使用材料

	部 位	材 料
本 体	主 軸	低合金鋼
	円 板	低合金鋼
	油圧ユニットケーシング	炭素鋼鋳鋼
	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
	動 翼	ステンレス鋼
	静 翼	ステンレス鋼
	タービングランド	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 主油ポンプ	油圧ユニット主油ポンプ歯車	銅合金、炭素鋼
	油圧ユニット主油ポンプ軸受 （ころがり）	消耗品・定期取替品
	油圧ユニット駆動用歯車	銅合金、炭素鋼、低合金鋼
	油圧ユニット駆動軸軸受 （ころがり）	消耗品・定期取替品
ガバナ調速機構	ガバナ弁弁棒	ステンレス鋼
	ガバナ弁ガイド、シート	ステンレス鋼
	圧力調整器ピストン	銅 合 金
	圧力調整器シリンダ	銅 合 金
	圧力調整器スピンドル	ステンレス鋼
	圧力調整器ガイド	銅合金、ステンレス鋼
	圧力調整器ブッシュ	ステンレス鋼
	圧力調整器スプリング	炭 素 鋼

表2.1-1(2/2) 川内2号炉 タービン動補助給水ポンプタービン主要部位の使用材料

部 位		材 料
ガバナ调速機構	オイルリレーシリンダ	鋳 鉄
	オイルリレーピストンリング	銅 合 金
	オイルリレーパイロットスピンドル	ステンレス鋼
	オイルリレーパイロットブッシュ	銅 合 金
	オイルリレースプリング	ステンレス鋼
	オイルリレースピンドル	ステンレス鋼
	オイルリレーブッシュ	銅 合 金
	オイルリレーピストン	鋳 鉄
	オーバスピードガバナスピンドル	ステンレス鋼
	オーバスピードガバナブッシュ	銅 合 金
	ガバナスプリング	炭 素 鋼
	トリップラッチスプリング	ステンレス鋼
外部油圧ユニット		銅合金、鋳鉄

表2.1-2 川内2号炉 タービン動補助給水ポンプタービンの使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa[gage]
最高使用温度	約291℃
内 部 流 体	蒸 気

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

タービン動補助給水ポンプタービンの機能であるポンプ駆動機能を維持するためには、次の2つ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）及び現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 主軸の摩耗

ころがり軸受を使用しているタービン動補助給水ポンプタービンについては、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隙間が生じ、運転中にフレットニ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難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

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

(3) 円板の応力腐食割れ

円板は低合金鋼であり、湿り蒸気雰囲気下で使用されているため、円板の翼溝部及びキー溝部に応力腐食割れが想定される。

しかしながら、翼溝部の発生応力は、0.2%耐力と比較しても約1/3程度と小さく、円板と主軸は中心穴のテーパ形状によるはめあいにより結合されていることからキー溝部に過大な応力が発生しない構造となっている。

また、分解点検時に円板への動翼取付け状況及び応力集中部に対する目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を維持している。

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

(4) 油圧ユニットケーシング及び外部油圧ユニットの腐食（全面腐食）

油圧ユニットケーシング及び外部油圧ユニットは、炭素鋼鋳鋼、銅合金及び鋳鉄であり、腐食が想定される。

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

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

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(5) 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、圧力調整器、オイルリレー及びオーバースピードガバナの摺動部に摩耗が想定される。

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難い。

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

なお、分解点検時の寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(6) ばねの変形（応力緩和）

オイルリレースプリング、圧力調整器スプリング、ガバナスプリング及びトリップラッチスプリングは、ある一定の応力状態にて長時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、起動試験時のガバナ弁動作状態確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 油圧ユニット主油ポンプ歯車及び駆動用歯車の摩耗

油圧ユニットの主油ポンプは、駆動用歯車を介して主軸の回転力により駆動されており、また主油ポンプも歯車ポンプであるため、歯車に摩耗が想定される。

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、摩耗が発生し難い環境である。

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。

(8) ケーシング、ケーシングカバー及びダイヤフラムの腐食（全面腐食）

ケーシング及びケーシングカバーは、低合金鋼鋳鋼又は炭素鋼であり外面からの腐食が想定される。

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

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

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

一方、ケーシング、ケーシングカバー及び炭素鋼鋳鋼製のダイヤフラムの内面については、湿り蒸気雰囲気中の長期間の使用によ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難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(9) ケーシング、ケーシングカバー及びダイヤフラムの疲労割れ

ケーシング、ケーシングカバー及びダイヤフラムは、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、疲労割れが発生し難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(10) 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難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

軸受（ころがり）、スラスト軸受（ころがり）、タービングランド、タービンロータスリーブ、油圧ユニット主油ポンプ軸受（ころがり）及び油圧ユニット駆動軸軸受（ころがり）は分解点検時に取り替えている消耗品であり、長期使用はせず取替えを前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/2) 川内2号炉 タービン動補助給水ポンプタービンに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定期 取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考		
				減 肉		割 れ		材質変化			その他	
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣 化			
ポンプ駆動力の確保	本 体		主 軸	低合金鋼	△		△*1				*1：高サイクル疲労割れ *2：変形（応力緩和）	
			円 板	低合金鋼				△				
			油圧ユニットケーシング	炭素鋼鋳鋼		△(内面) △(外面)						
			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							
	ガバナ调速機構			ガバナ弁弁棒	ステンレス鋼	△						
				ガバナ弁ガイド、シート	ステンレス鋼	△						
				圧力調整器ピストン	銅合金	△						
				圧力調整器シリンダ	銅合金	△						
				圧力調整器ピストンバルブ	ステンレス鋼	△						
				圧力調整器ガイド	銅合金、ステンレス鋼	△						
				圧力調整器ワッシュ	ステンレス鋼	△						
				圧力調整器スプリング	炭素鋼							△*2
				オイルレシリンダ	鋳鉄	△						
				オイルレピストンシリンダ	銅合金	△						
				オイルレピストンバルブ	ステンレス鋼	△						
				オイルレピストンワッシュ	銅合金	△						
				オイルレススプリング	ステンレス鋼							△*2
				オイルレスピストンバルブ	ステンレス鋼	△						
				オイルレワッシュ	銅合金	△						
				オイルレピストン	鋳鉄	△						
				オーバーピストンガイドガバナピストンバルブ	ステンレス鋼	△						
				オーバーピストンガイドガバナワッシュ	銅合金	△						
				ガバナスプリング	炭素鋼							△*2
				トリップラッチスプリング	ステンレス鋼							△*2
	外部油圧ユニット		銅合金、鋳鉄		△(内面) △(外面)							

△：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2.2-1(2/2) 川内2号炉 タービン動補助給水ポンプタービンに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定期 取 替 品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考	
				減 肉		割 れ		材質変化			その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣 化		
ポンプ駆動力 の確保	油圧ユニット 主油ポンプ	油圧ユニット主油ポンプ 歯車	銅合金、炭素鋼	△							
		油圧ユニット主油ポンプ 軸受(ころがり)	◎	—							
		油圧ユニット駆動用歯車		銅合金、炭素鋼 低合金鋼	△						
		油圧ユニット駆動軸 軸受(ころがり)	◎	—							
バウンダリの 維持	本 体	ケーシング	低合金鋼鋳鋼		△(内面) △(外面)	△					
		ケーシングカバー		炭 素 鋼		△(内面) △(外面)	△				
		ダイヤフラム		炭素鋼鋳鋼		△	△				
		ケーシングボルト		低合金鋼		△					
		タービンガイド	◎	—							
		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）

5 主油ポンプ

[対象機器]

- ① 主油ポンプ

目 次

1. 対象機器	1
2. 主油ポンプの技術評価	2
2.1 構造、材料及び使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	5

1. 対象機器

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

2. 主油ポンプの技術評価

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 主油ポンプ

(1) 構造

川内2号炉の主油ポンプは、横置単段うず巻形ポンプである。

主油ポンプは、蒸気タービンの運転に伴い、主油タンクより吸い込んだ油を軸受油系統、高圧油系統、オートストップ油系統及び水素密封油系統へ送油する。

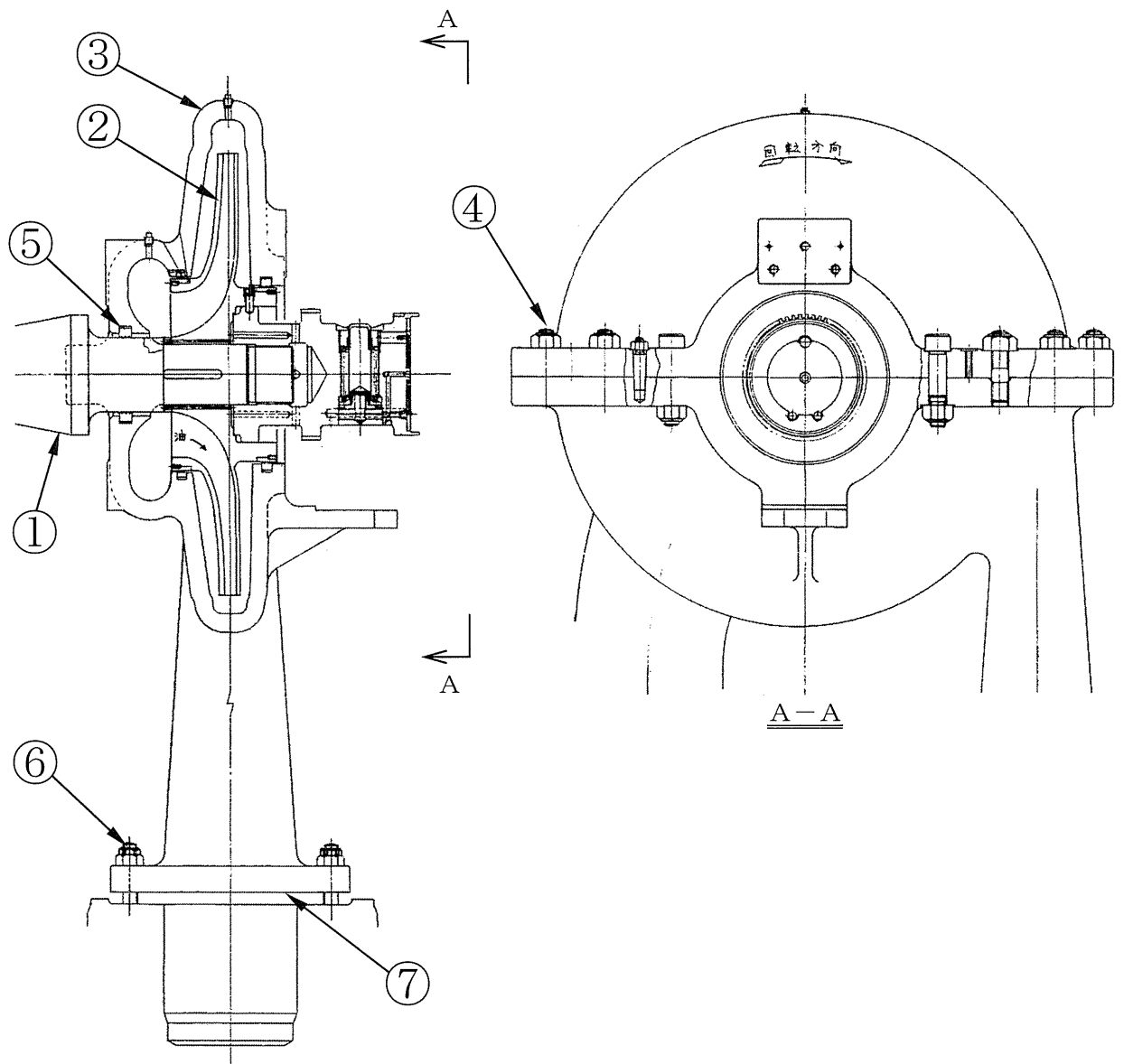
また、主軸には低合金鋼、羽根車にはステンレス鋼鑄鋼、ケーシングには炭素鋼鑄鋼をそれぞれ使用している。

主軸は高圧タービン軸に取り付けられており、これに羽根車を取り付けている。ケーシングは高圧タービン軸受台に取り付けられており、ケーシング両端には、異物進入防止のため油切りを設置している。

川内2号炉の主油ポンプの構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

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



No.	部 位
①	主 軸
②	羽 根 車
③	ケーシング
④	ケーシングボルト
⑤	油 切 り
⑥	ケーシング取付ボルト
⑦	中間リング

図2.1-1 川内2号炉 主油ポンプ構造図

表2.1-1 川内2号炉 主油ポンプ主要部位の使用材料

部 位	材 料
主 軸	低合金鋼
羽 根 車	ステンレス鋼鋳鋼
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
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 川内2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供給機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

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

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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（圧力、温度等）及び現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 主軸及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及び中間リングは低合金鋼、炭素鋼鋳鋼及び炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、主油ポンプは軸受台内に設置されており、内外面ともに油又は油雰囲気下で腐食が発生し難い環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(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、高平均応力下において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、分解点検時の応力集中部に対する目視確認により、機器の健全性を確認している。

(3) 羽根車の腐食（キャビテーション）

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

しかしながら、ポンプ及び機器配置の設計時にはキャビテーションを考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

油切りは、分解点検時の目視確認及び寸法計測の結果に基づき取り替えている消耗品であり、長期使用はせず取替えを前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 川内2号炉 主油ポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定期 取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象							備 考
				減 肉		割 れ		材質変化		その他	
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣 化		
ポンプの容量一 揚程確保	主 軸		低合金鋼		△	△*1					*1：高サイクル疲労 割れ *2：キャビテーション
	羽 根 車		ステンレス鋼鋳鋼		△*2						
バウンダリの維持	ケーシング		炭素鋼鋳鋼		△						
	ケーシングボルト		低合金鋼		△						
	油 切 り	◎	—								
機器の支持	ケーシング取付ボルト		低合金鋼		△						
	中間リング		炭 素 鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

6 調速装置・保安装置

[対象機器]

- ① 調速装置
- ② 保安装置

目 次

1. 対象機器	1
2. 調速装置・保安装置の技術評価	2
2.1 構造、材料及び使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	14

1. 対象機器

川内2号炉で使用されている調速装置・保安装置の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 川内2号炉 調速装置・保安装置の主な仕様

機器名称 (台数)	仕様 (型式)	重要度*1	使用条件		
			運転	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
調速装置 (1)	電気油圧式	高*2	連続	約16.2	約75
保安装置 (1)	機械油圧式	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°Cを超え、又は最高使用圧力が1,900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器

2. 調速装置・保安装置の技術評価

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 調速装置

(1) 構造

川内2号炉の調速装置は、電気油圧式でありタービン軸から電気信号として検出した回転数により、弁開度指令信号を各弁のアクチュエータへ送り、高圧油供給ユニットから供給された高圧油を用いてアクチュエータの開度を調整する。

高圧油供給ユニットは、EHガバナ油タンク、EH用油冷却器、高圧油ポンプ、高圧油ポンプアンロード弁、EH高圧油リリース弁及びEHアキュムレータタンクの機器から構成される。

川内2号炉の調速装置の系統図及び構造図を図2.1-1及び図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の調速装置の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。

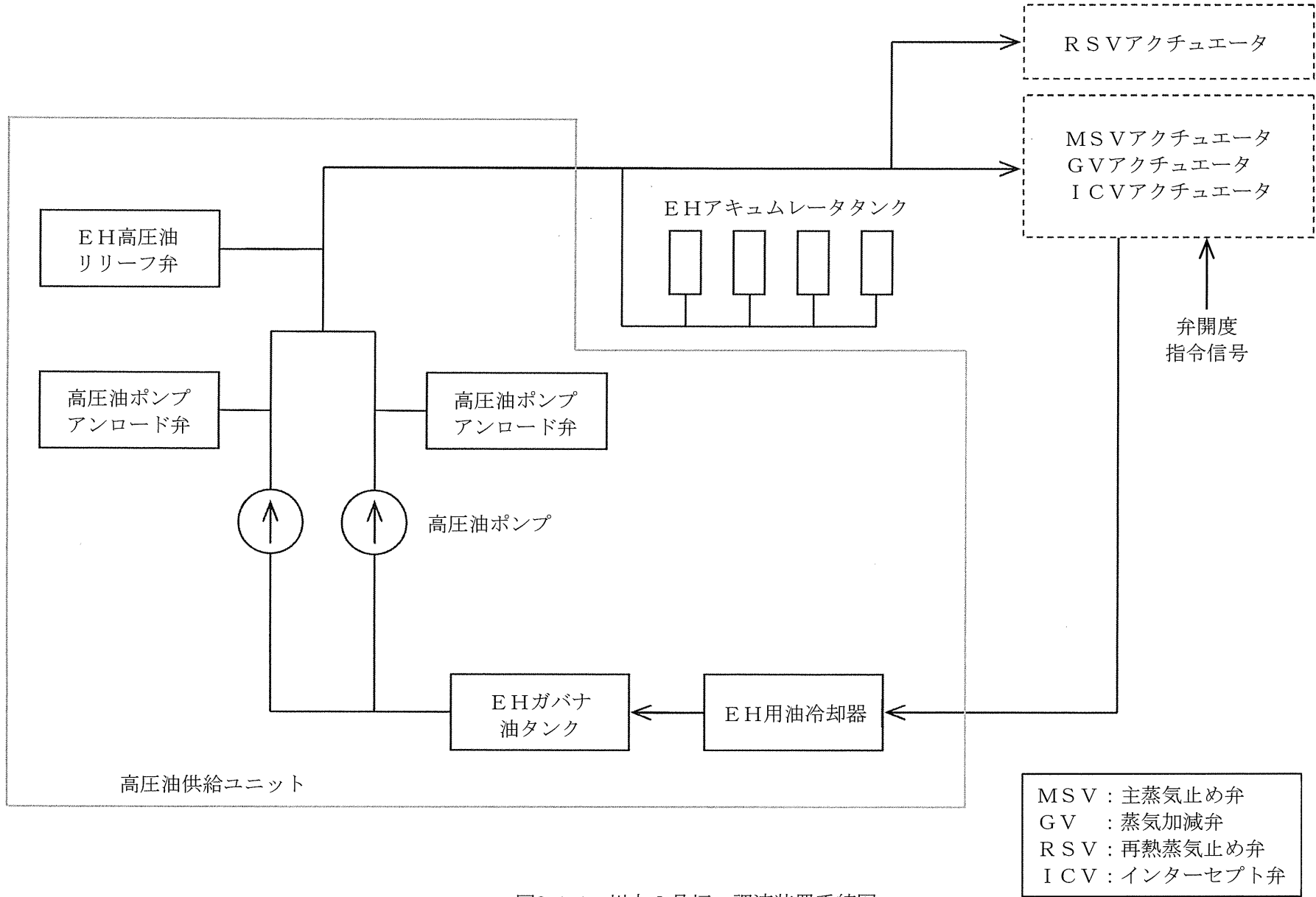
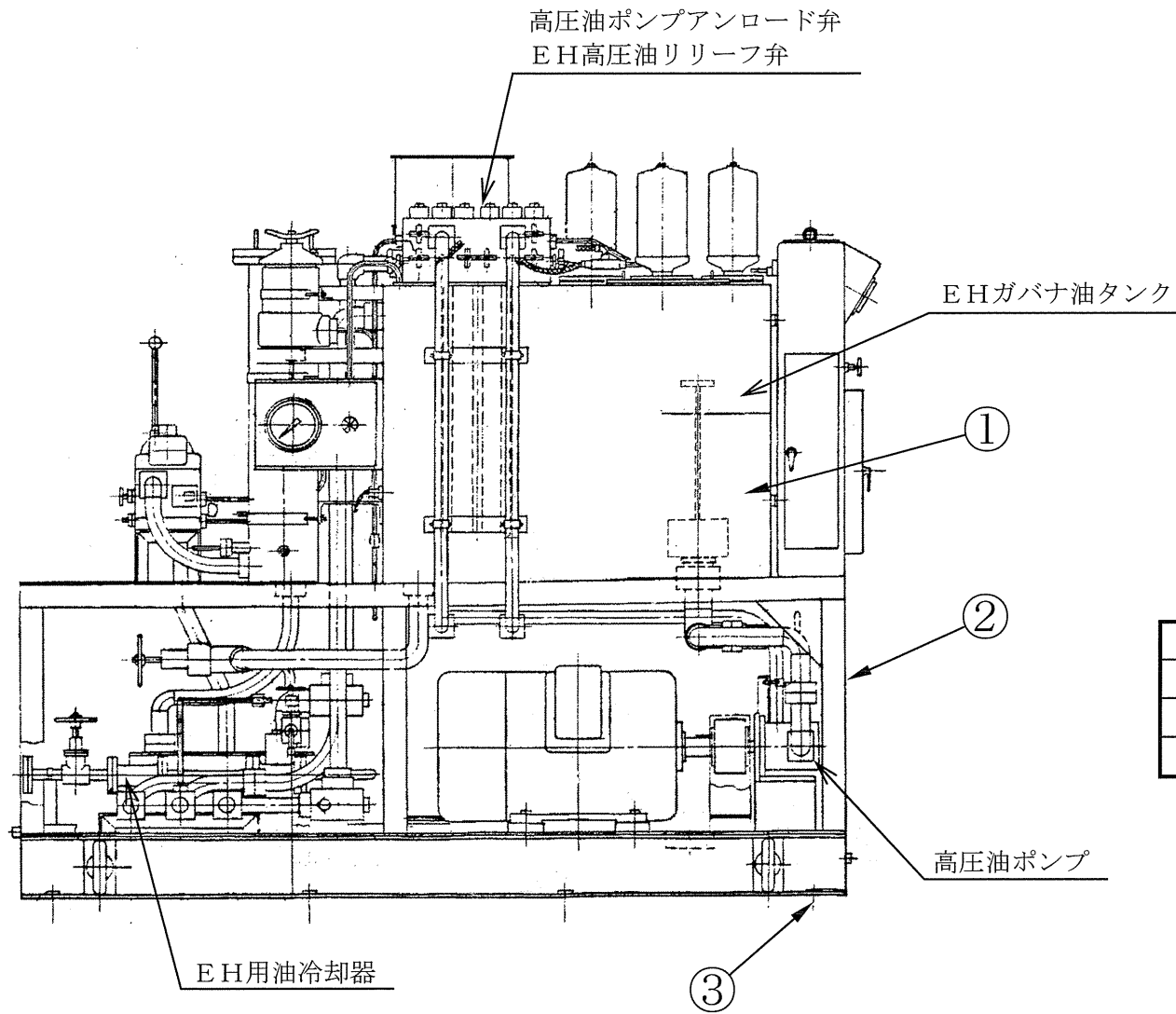


図2.1-1 川内2号炉 調速装置系統図



No.	部 位
①	胴 板
②	架 台
③	基礎ボルト

図2.1-2(1/5) 川内2号炉 高压油供給ユニット構造図

No.	部 位
④	ケーシング
⑤	コアアセンブリ

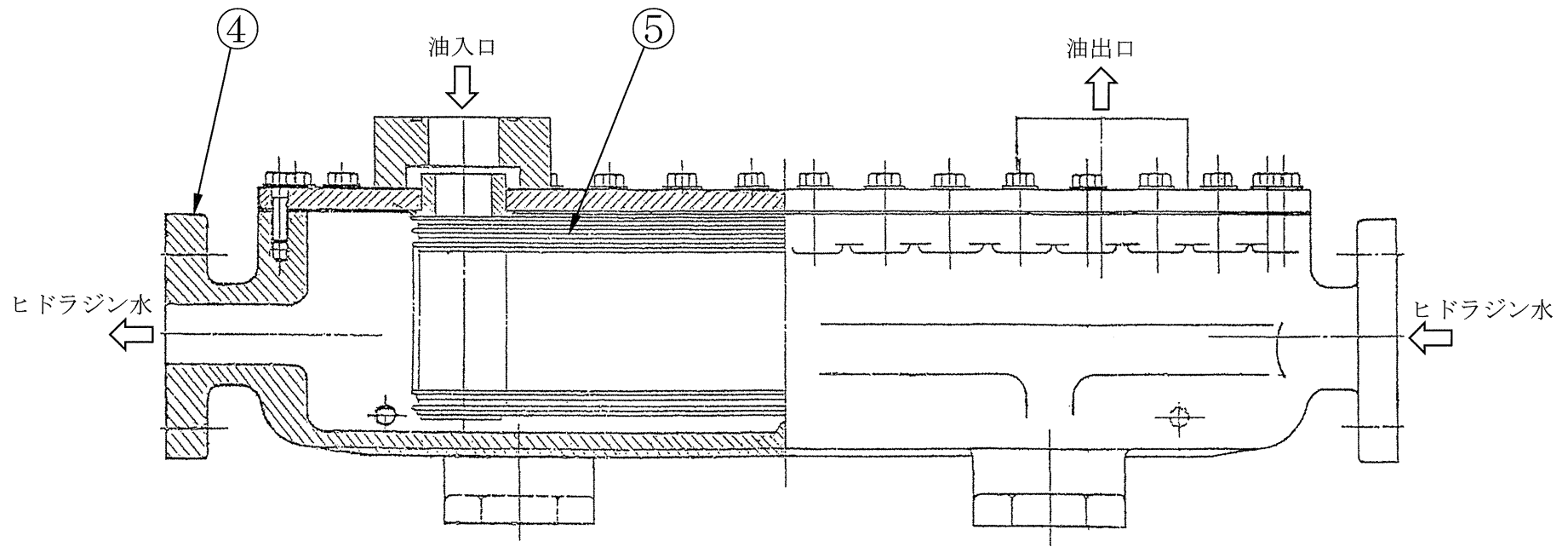
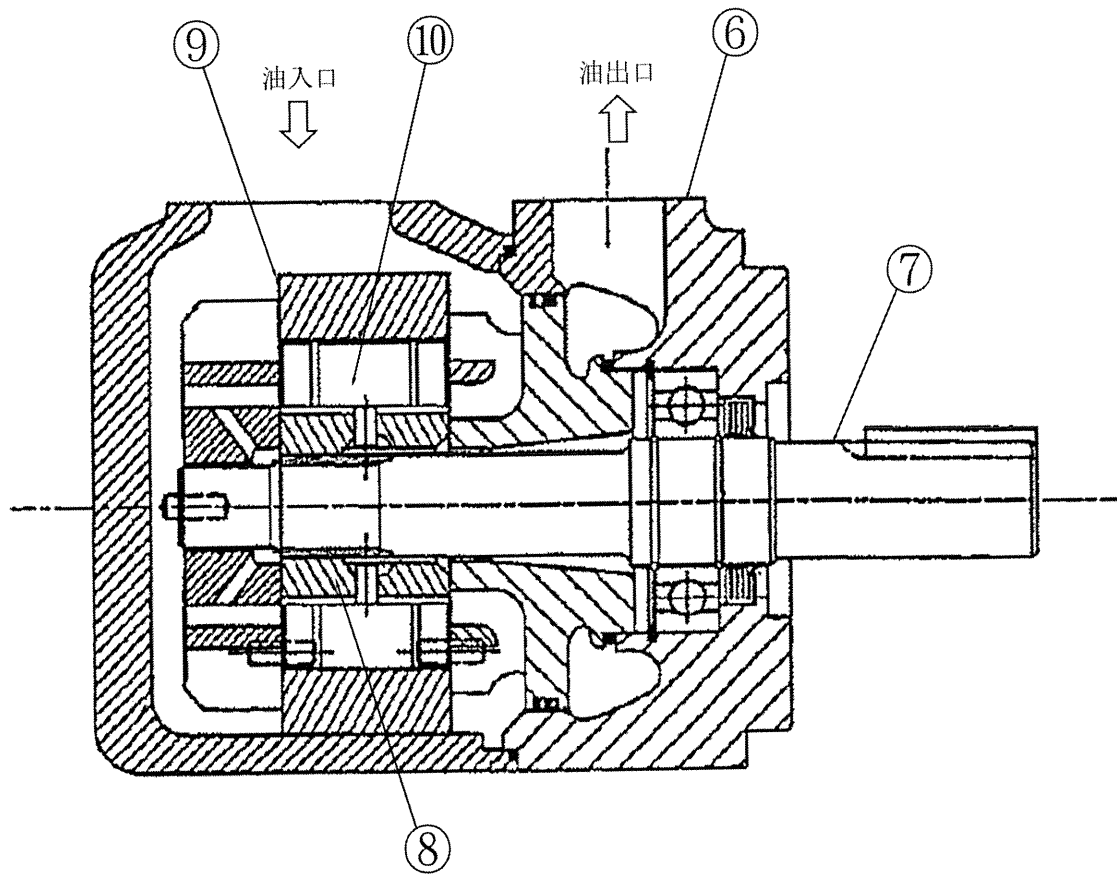
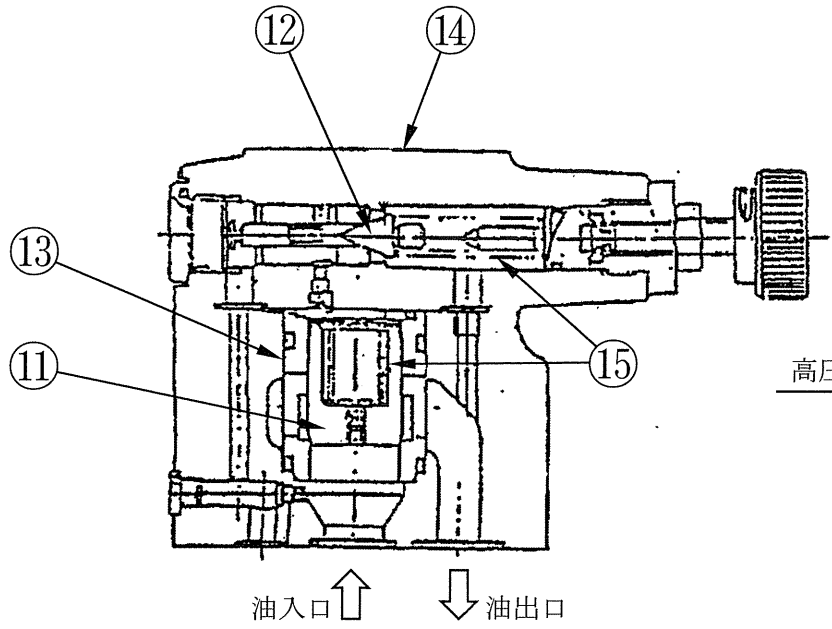


図2.1-2(2/5) 川内2号炉 EH用油冷却器構造図



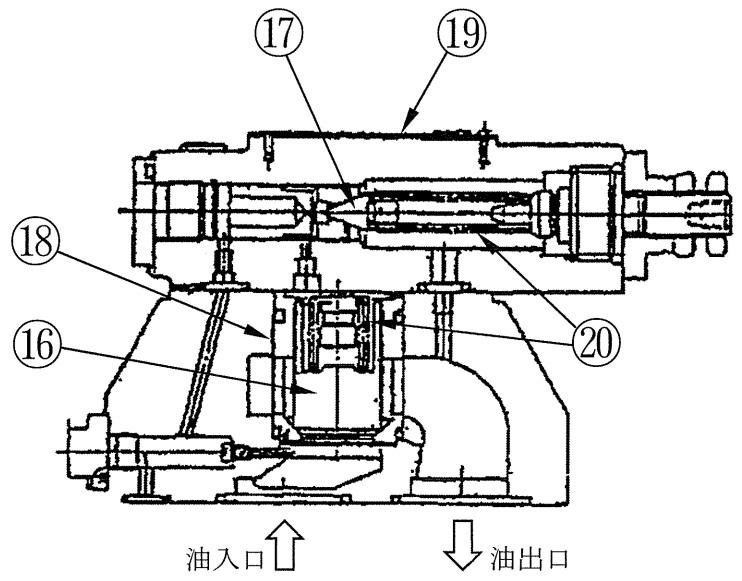
No.	部 位
⑥	ケーシング
⑦	主 軸
⑧	ロータ
⑨	カムリング
⑩	ベーン

図2.1-2(3/5) 川内2号炉 高圧油ポンプ構造図



高圧油ポンプアンロード弁

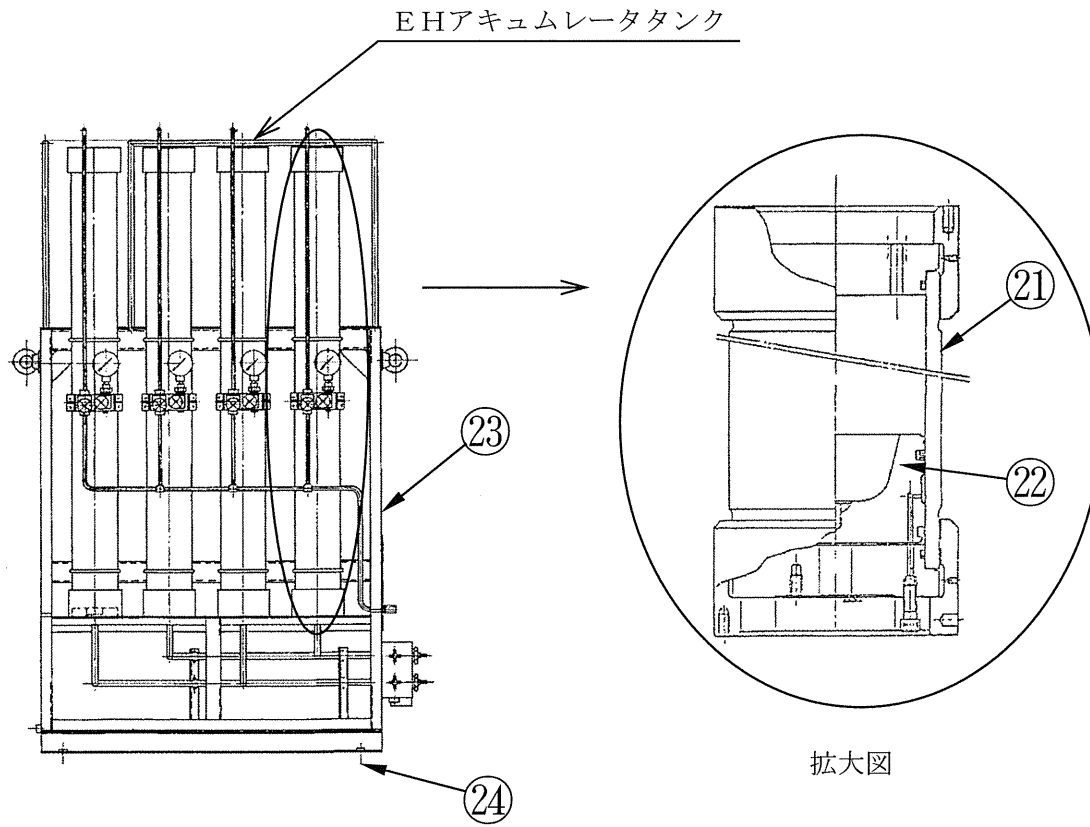
No.	部 位
⑪	プランジャ
⑫	ポペット
⑬	ブッシュ
⑭	ケーシング
⑮	ばね



E H高圧油リリーフ弁

No.	部 位
⑯	プランジャ
⑰	ポペット
⑱	ブッシュ
⑲	ケーシング
⑳	ばね

図2.1-2(4/5) 川内2号炉 高圧油ポンプアンロード弁及びEH高圧油リリーフ弁構造図



No.	部 位
⑪	チューブ
⑫	ピストン
⑬	スタンド
⑭	基礎ボルト

図2.1-2(5/5) 川内2号炉 EHアキュムレータタンク構造図

表2.1-1 川内2号炉 調速装置主要部位の使用材料

部 位	材 料	
E Hガバナ油タンク	胴 板	ステンレス鋼
高圧油供給ユニット	架 台	炭 素 鋼
	基礎ボルト	炭 素 鋼
E H用油冷却器	ケーシング	ステンレス鋼
	コアアセンブリ	ステンレス鋼
高圧油ポンプ	ケーシング	鋳 鉄
	主 軸	低合金鋼
	ロ ー タ	低合金鋼
	カムリング	消耗品・定期取替品
	ベ ー ン	消耗品・定期取替品
高圧油ポンプアンロード弁	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
E H高圧油リリーフ弁	プランジャ	低合金鋼
	ポペット	低合金鋼
	ブッシュ	低合金鋼
	ケーシング	鋳 鉄
	ば ね	ピアノ線
E Hアキュムレータタンク	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 川内2号炉 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

2.1.2 保安装置

(1) 構造

川内2号炉の保安装置は、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させる保護装置として設置されている。

過速度トリップ装置は、機械油圧式でありタービン速度がトリップ設定値に達した場合に、タービンを安全に停止させる機能を有し、タービン軸端部に設置した過速度トリップ装置遮断子が過速度時の遠心力で軸円周方向へ飛び出すことにより、過速度トリップ装置トリガーが押され、非常遮断用ピストン弁が動作することで、主蒸気止め弁、蒸気加減弁、再熱蒸気止め弁及びインターセプト弁が閉止して蒸気タービンが停止する。

また、過速度トリップ装置以外の復水器真空低下トリップ装置・軸受油圧低下トリップ装置及びスラスト軸受トリップ装置の動作時には、過速度トリップ装置もトリップ状態となり、全弁閉止にて蒸気タービンが停止する。

川内2号炉の保安装置の系統図及び構造図を図2.1-3及び図2.1-4に示す。

(2) 材料及び使用条件

川内2号炉の保安装置の使用材料及び使用条件を表2.1-3及び表2.1-4に示す。

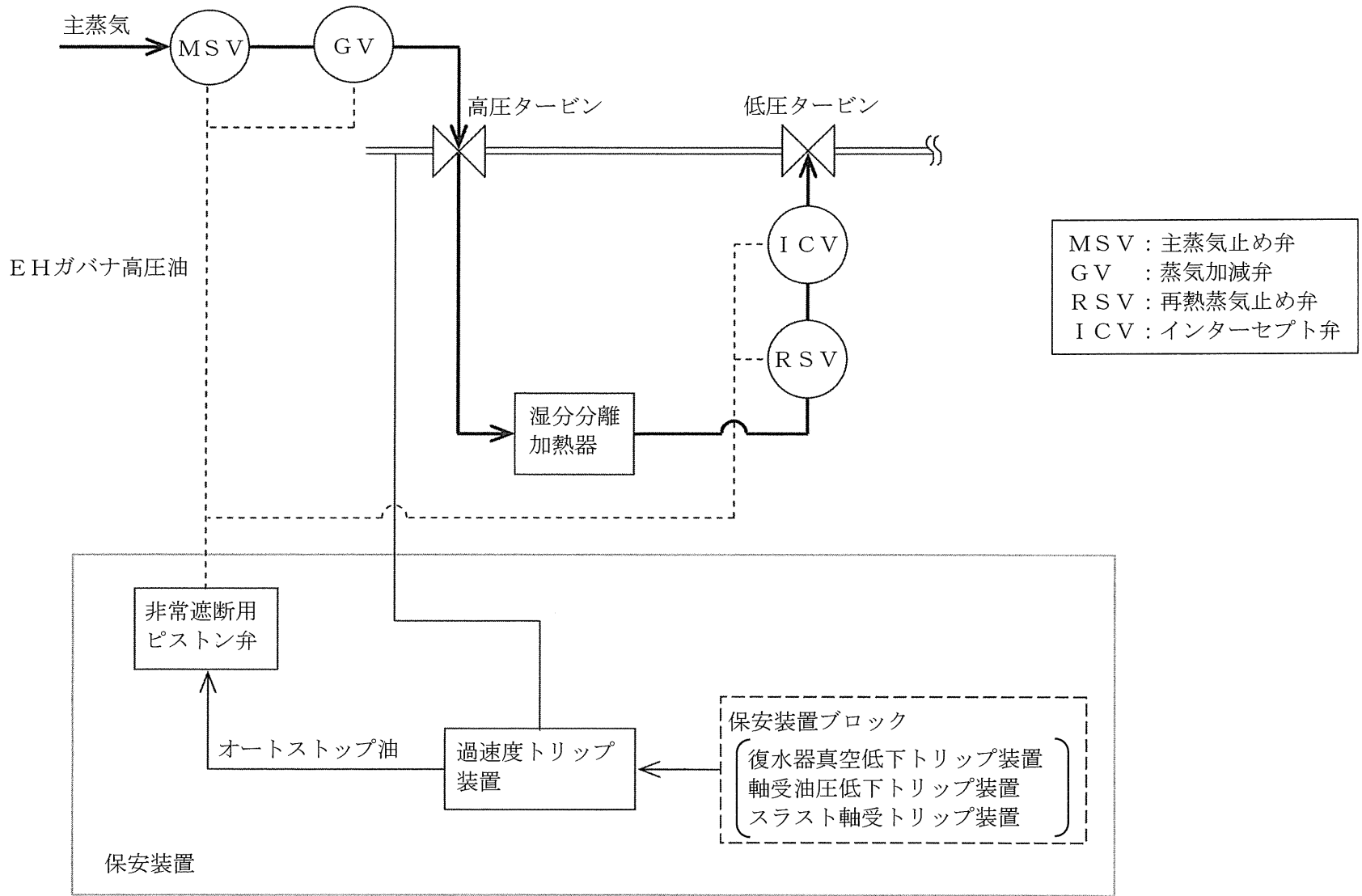
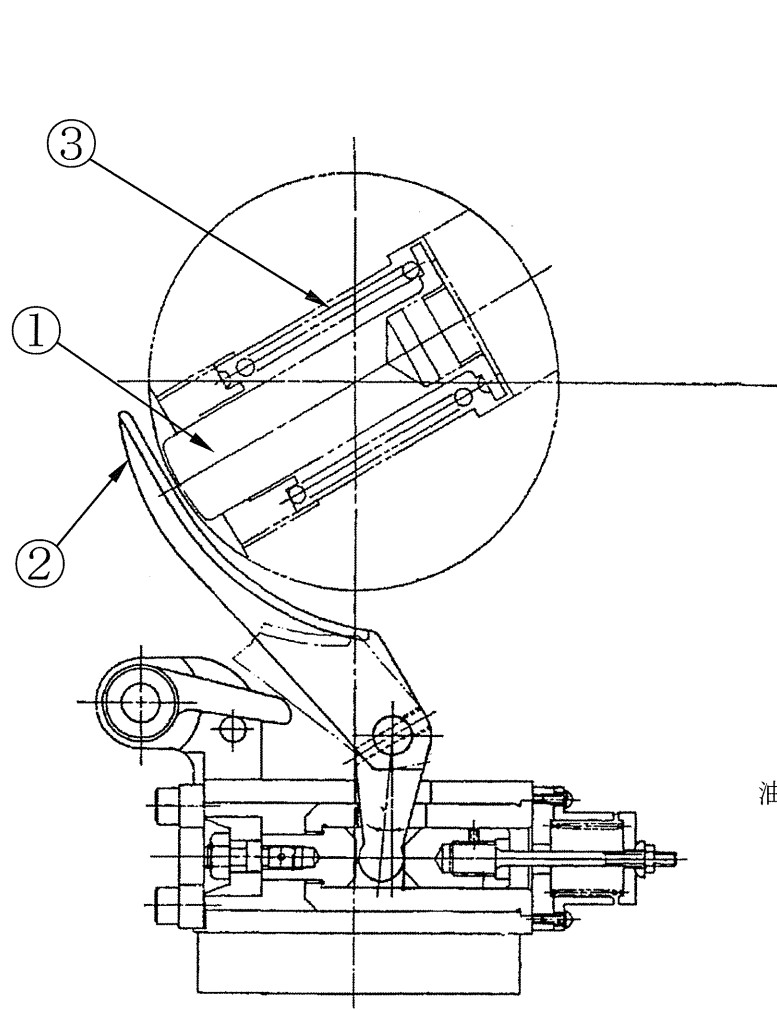
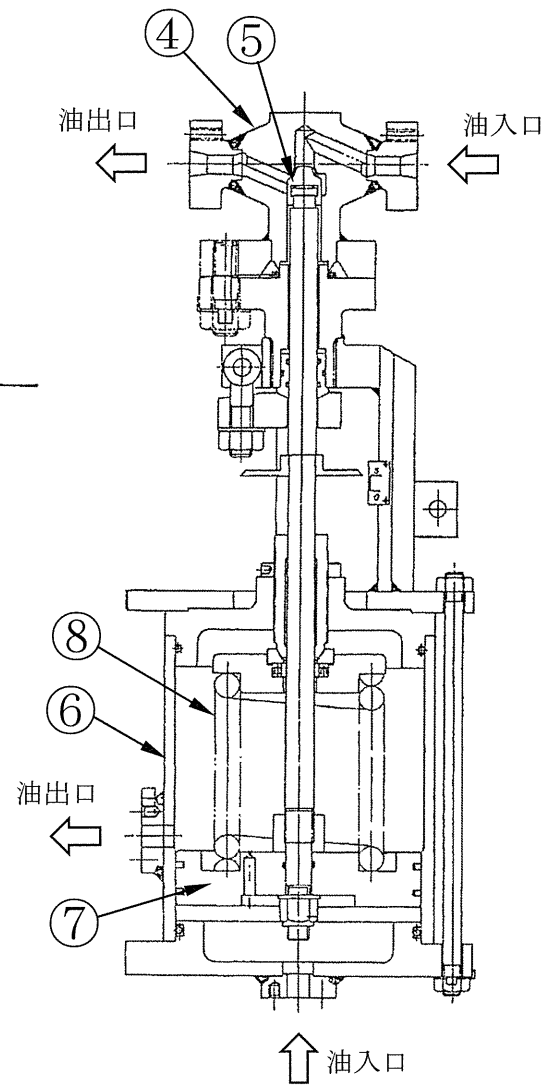


図2.1-3 川内2号炉 保安装置系統図



過速度トリップ装置



非常遮断用ピストン弁

No.	部 位
①	遮断子
②	トリガー
③	ばね

No.	部 位
④	弁箱 (弁座一体)
⑤	弁 体
⑥	シリンダ
⑦	ピストン
⑧	ばね

図2.1-4 川内2号炉 保安装置構造図

表2.1-3 川内2号炉 保安装置主要部位の使用材料

部 位	材 料	
過速度トリップ装置	遮断子	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
	トリガー	低合金鋼
	ばね	ばね鋼
非常遮断用ピストン弁	弁箱 (弁座一体)	炭素鋼鋳鋼 (ステライト肉盛)
	弁 体	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
	シリンダ	炭 素 鋼
	ピストン	鋳 鉄
	ばね	ばね鋼

表2.1-4 川内2号炉 保安装置の使用条件

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

調速装置の機能である制御機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① 制御機能の維持
- ② バウンダリの維持
- ③ 機器の支持

また、保安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 保護機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

調速装置・保安装置について、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）及び現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1及び表2.2-2に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

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及び表2.2-2で△となっているもの）については想定される経年劣化事象であるが、

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) ケーシング及びチューブの腐食（全面腐食）〔調速装置〕

高圧油ポンプ、高圧油ポンプアンロード弁及びEH高圧油リリーフ弁のケーシング並びにEHアキュムレータタンクのチューブは鋳鉄又は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(2) 主軸及びロータ等の腐食（全面腐食）〔調速装置〕

高圧油ポンプの主軸及びロータ並びに高圧油ポンプアンロード弁及びEH高圧油リリース弁のプランジャ、ポペット及び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、油霧囲気下で腐食が発生し難い環境にあり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(3) プランジャ、ポペット及びブッシュの摩耗〔調速装置〕

高圧油ポンプアンロード弁及びEH高圧油リリース弁のプランジャ、ポペット及びブッシュは、弁の開閉により摺動面、シート面に摩耗が想定される。

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難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(4) チューブ及びピストンの摩耗〔調速装置〕

EHアキュムレータタンクのチューブ及びピストンの摺動部は、ピストンの動作による摩耗が想定される。

しかしながら、チューブには硬質クロムメッキを施し、ピストンには耐摩耗性に優れた材料を使用し、耐摩耗性を向上させるとともに、摺動部に潤滑油を注入することで摩耗を防止しており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(5) ばねの変形（応力緩和）〔共通〕

高圧油ポンプアンロード弁、EH高圧油リリース弁、過速度トリップ装置及び非常遮断用ピストン弁に使用されているばねは長時間圧縮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、定期的な作動確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 架台及びスタンドの腐食（全面腐食）〔調速装置〕

高圧油供給ユニット架台及びEHアキュムレータタンク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、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

(7) 遮断子及びトリガーの摩耗〔保安装置〕

過速度トリップ装置の遮断子及びトリガーは、動作による摩耗が想定される。

しかしながら、遮断子はステライトの肉盛を施し、トリガー表面は高周波焼入れにより、耐摩耗性を向上させており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認及び寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(8) トリガーの腐食（全面腐食）〔保安装置〕

過速度トリップ装置のトリガーは低合金鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、油霧囲気下で腐食が発生し難い環境にあり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(9) 弁箱、シリンダ及びピストンの腐食（全面腐食）〔保安装置〕

非常遮断用ピストン弁の弁箱、シリンダ及びピストンは炭素鋼、炭素鋼及び鋳鉄であり、腐食が想定される。

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

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

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(10) 弁体及び弁箱弁座部の摩耗 [保安装置]

非常遮断用ピストン弁の弁体及び弁箱弁座部は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、弁体及び弁箱弁座部には耐摩耗性に優れたステライトを肉盛しており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(11) シリンダ及びピストンの摩耗 [保安装置]

非常遮断用ピストン弁のシリンダ及びピストンは、弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、内部流体が油であるため摩耗が発生し難い環境であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認及び寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(12) 基礎ボルトの腐食（全面腐食） [調速装置]

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、機械設備の技術評価書のうち「基礎ボルト」にて評価を実施するものとし、本評価書には含めていない。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

高圧油ポンプのカムリング及びベーンは、分解点検時の目視確認の結果に基づき取り替えている消耗品であり、長期使用はせず取替えを前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1(1/2) 川内2号炉 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	EH用油冷却器	ケーシング		ステンレス鋼							*1：変形 (応力緩和)	
		コアアセンブリ		ステンレス鋼								
	高圧油ポンプ	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	◎	—								
		ベ ー ン	◎	—								
		高圧油ポンプアンロード弁	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								△*1

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/2) 川内2号炉 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	EH高圧油 リリーフ弁	プランジャ		低合金鋼	△	△					*1：変形 (応力緩和)	
		ポペット		低合金鋼	△	△						
		ブッシュ		低合金鋼	△	△						
		ケーシング		鋳 鉄		△						
		ば ね		ピアノ線						△*1		
	EHアキュム レータタンク	チューブ		炭 素 鋼	△	△						
		ピストン		アルミニウム 合金鋳物	△							
バウンダリ の維持	EHガバナ 油タンク	胴 板		ステンレス鋼								
機器の支持	高圧油供給 ユニット	架 台		炭 素 鋼		△						
		基礎ボルト		炭 素 鋼		△						
	EHアキュム レータタンク	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）

表2.2-2 川内2号炉 保安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	応力腐蝕割れ	熱時効	劣 化		
保護機能の維持	過速度トリップ装置	遮断子		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△						*1：変形 (応力緩和) *2：弁座部	
		トリガー		低合金鋼	△	△						
		ばね		ばね鋼						△*1		
	非常遮断用ピストン弁	弁箱（弁座一体）		炭素鋼鋳鋼 (ステライト肉盛)	△*2	△						
		弁 体		ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	△							
		シリンダ		炭素鋼	△	△						
		ピストン		鋳 鉄	△	△						
		ばね		ばね鋼						△*1		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

川内原子力発電所 2 号炉

コンクリート構造物及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]

九州電力株式会社

本評価書は、川内2号炉における主要なコンクリート構造物及び鉄骨構造物の高経年化に係わる技術評価についてまとめたものである。

川内2号炉におけるコンクリート構造物及び鉄骨構造物のうち、安全上重要な構造物（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におけるPS-1、2（異常発生防止系-クラス1、2）及びMS-1、2（異常影響緩和系-クラス1、2）に該当する構造物、又は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（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におけるPS-3（異常発生防止系-クラス3）及びMS-3（異常影響緩和系-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）、安全上重要な構造物及び高温・高圧の環境下にある機器を支持する構造物のうち火災防護設備に属する構造物、浸水防護施設に属する構造物、常設重大事故等対処設備及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。

コンクリート構造物及び鉄骨構造物に対して、安全上及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）及び耐火機能（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、代表構造物の内、使用環境、使用条件、重要度により評価対象とする構造物を選定し、技術評価を実施している。本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考えられる。

1 コンクリート構造物及び鉄骨構造物

目 次

1. 対象構造物及び代表構造物	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	8
2.1 構造、材料、使用条件	8
2.2 経年劣化事象の抽出	12
2.3 高経年化対策上着目すべき構造物・経年劣化事象の技術評価	20
3. グループ内全構造物への展開	40

1. 対象構造物及び代表構造物

川内2号炉におけるコンクリート構造物及び鉄骨構造物のうち、安全上重要な構造物及び高温・高圧の環境下にある機器を支持する構造物（火災防護設備に属する構造物、浸水防護施設に属する構造物を含む）、常設重大事故等対処設備及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。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、「重要度分類指針」という。）におけるPS-1、2（異常発生防止系ークラス1、2）及びMS-1、2（異常影響緩和系ークラス1、2）に該当する構造物、又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、「重要度分類指針」におけるPS-3（異常発生防止系ークラス3）及び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 内部コンクリート
- ③ 原子炉格納施設基礎
- ④ 原子炉補助建屋
- ⑤ 燃料取扱建屋
- ⑥ 廃棄物処理建屋
- ⑦ タービン建屋
- ⑧ 取水構造物（海水管ダクト含む）
- ⑨ 脱気器基礎
- ⑩ スチームコンバータ装置基礎
- ⑪ 非常用ディーゼル発電用燃料油貯油槽基礎（燃料油貯蔵タンク基礎含む）
- ⑫ 復水タンク基礎（配管ダクト含む）
- ⑬ 燃料取替用水タンク基礎（配管ダクト含む）
- ⑭ 原子炉補助建屋水密扉
- ⑮ 海水ポンプエリア防護壁
- ⑯ 海水ポンプエリア水密扉
- ⑰ 貯留堰
- ⑱ 大容量空冷式発電機基礎（燃料タンク基礎含む）
- ㉑ 緊急時対策所

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1.2-1に示すとおり、使用条件等により、以下を代表構造物として選定した。

(1) コンクリート構造物

- ① 外部遮蔽壁
- ② 内部コンクリート
- ③ 原子炉格納施設基礎
- ④ 原子炉補助建屋
- ⑤ タービン建屋（タービン架台）
- ⑥ 取水構造物

(2) 鉄骨構造物

- ① 内部コンクリート（鉄骨部）
- ② 燃料取扱建屋（鉄骨部）
- ③ タービン建屋（鉄骨部）