

3 特殊弁

[対象機器]

- 3.1 主蒸気止め弁
- 3.2 蒸気加減弁
- 3.3 インターセプト弁・再熱蒸気止め弁
- 3.4 タービン動主給水ポンプ駆動タービン蒸気止め弁・蒸気加減弁

3. 1 主蒸気止め弁

[対象機器]

- ① 主蒸気止め弁

目 次

1. 対象機器	1
2. 主蒸気止め弁の技術評価	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

玄海3号炉で使用されている主蒸気止め弁の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 玄海3号炉 主蒸気止め弁の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件	
		最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
主蒸気止め弁 (4)	高*2	約8.2	約298

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：最高使用温度が95°Cを超え、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. 主蒸気止め弁の技術評価

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 主蒸気止め弁

(1) 構造

玄海3号炉の主蒸気止め弁はダブルプラグ型弁であり、高圧タービン入口に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）、弁体を作動させる作動部（弁棒）、弁棒を水平移動させる駆動装置部（閉鎖ばね、アクチュエータ、リミットスイッチ）及び弁本体を支える支持部（支持脚、基礎ボルト）からなる。

弁箱及び弁蓋は炭素鋼鋳鋼又は炭素鋼、弁体及び弁座にはステンレス鋼を使用しており、蒸気に接している。

玄海3号炉の主蒸気止め弁の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の主蒸気止め弁主要部位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。

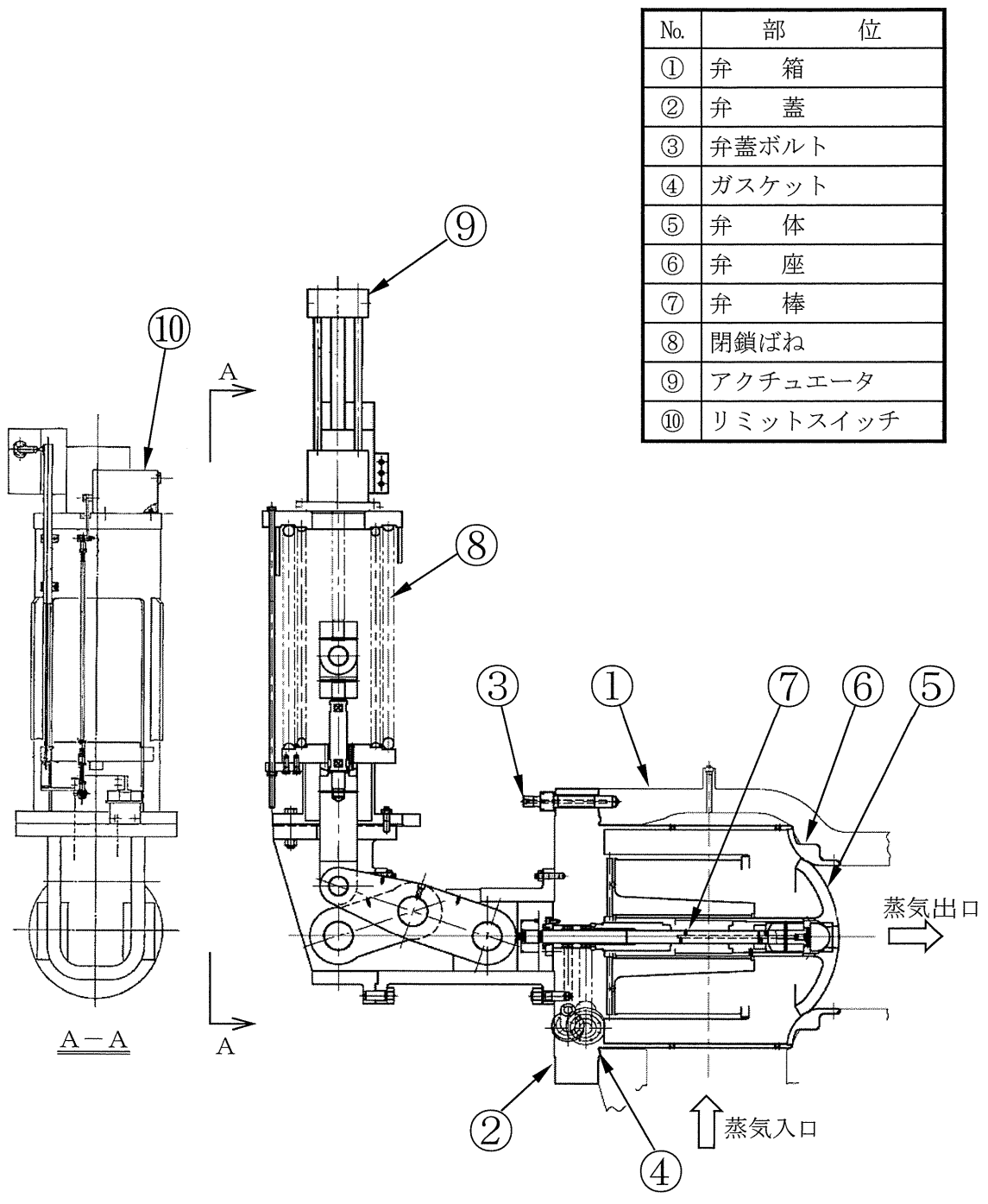
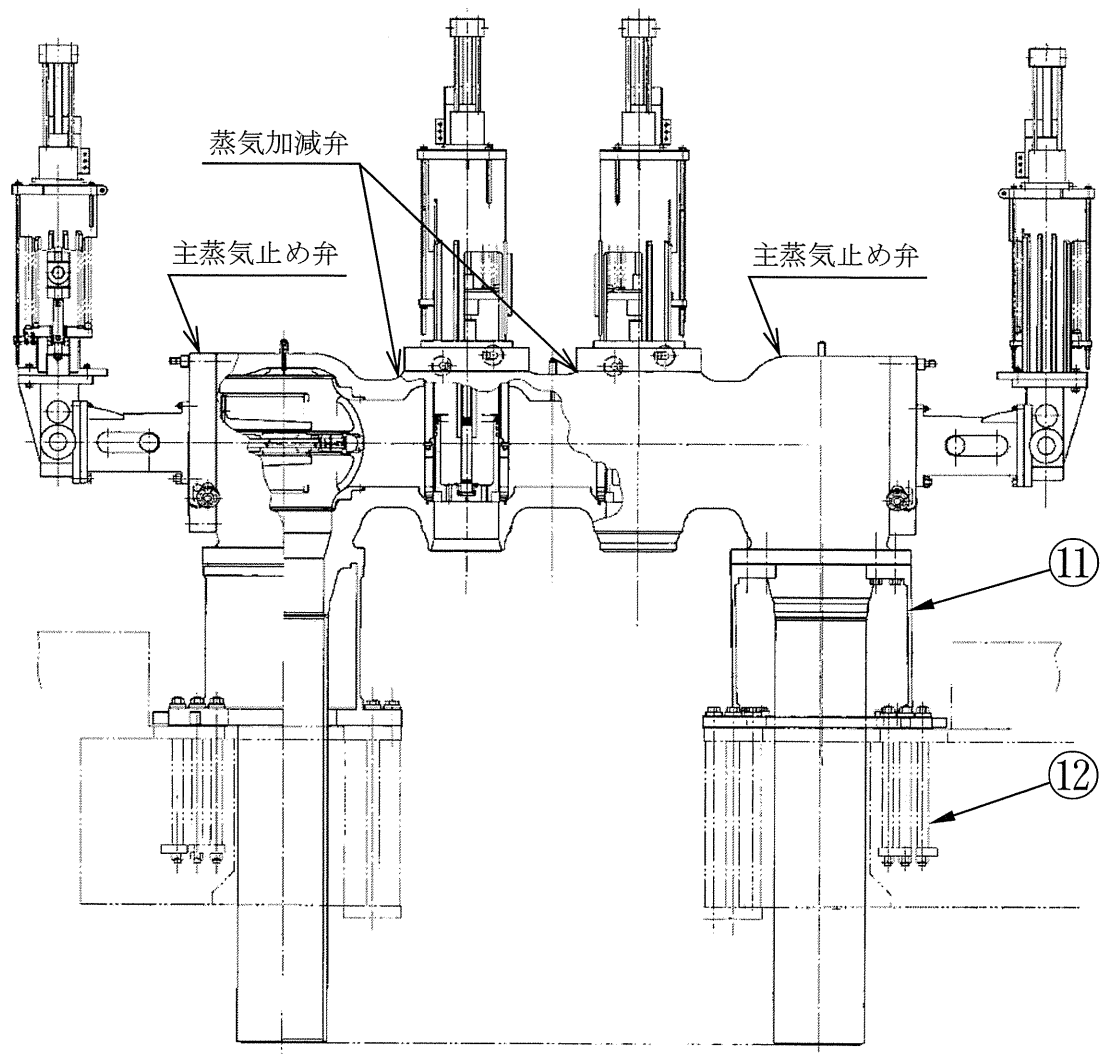


図2.1-1(1/2) 玄海3号炉 主蒸気止め弁構造図



No.	部 位
⑪	支持脚
⑫	基礎ボルト

図2.1-1(2/2) 玄海3号炉 主蒸気止め弁構造図

表2.1-1 玄海3号炉 主蒸気止め弁主要部位の使用材料

部 位	材 料
弁 箱	炭素鋼鋳鋼
弁 蓋	炭 素 鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
弁 体	ステンレス鋼
弁 座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)
弁 棒	ステンレス鋼
閉鎖ばね	ばね 鋼
アクチュエータ	炭素鋼、鋳鉄 ステンレス鋼、銅合金鋳物
リミットスイッチ	消耗品・定期取替品
支 持 脚	炭 素 鋼
基礎ボルト	炭 素 鋼

表2.1-2 玄海3号炉 主蒸気止め弁の使用条件

最高使用圧力	約8.2MPa[gage]
最高使用温度	約298℃
内 部 流 体	蒸 気

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

主蒸気止め弁の機能である耐圧、開閉及び遮断機能を維持するためには、次の4つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持
- ④ 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

主蒸気止め弁について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、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) 弁箱、弁蓋及び弁棒の腐食（流れ加速型腐食及びエロージョン）

弁箱及び弁蓋は炭素鋼鋳鋼又は炭素鋼であり、内部流体が蒸気であるため、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

また、弁棒の高減圧部では、エロージョンによる減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認又は寸法計測により、機器の健全性を維持している。

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

(2) 弁箱、弁蓋（外面）の腐食（全面腐食）

弁箱及び弁蓋は炭素鋼鋳鋼又は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）

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

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

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) 弁体、弁座（シート面）の摩耗

弁体及び弁座シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、アクチュエータのダッシュポット部で減速し衝撃力を和らげており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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、浸透探傷検査及び当たり確認により、機器の健全性を確認している。

(5) 弁体の疲労割れ

弁体の応力集中部においては、急閉時に発生する弁体と弁座との衝突により、材料に疲労が蓄積することから、疲労割れが想定される。

しかしながら、主蒸気止め弁は、アクチュエータで減速し衝撃力を和らげ、発生応力が小さくなる様に設計上の考慮をしている。

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

なお、分解点検時の目視確認及び浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(6) 弁棒の摩耗

弁棒の摺動部は弁の開閉動作による摩耗が想定される。

しかしながら、弁棒の摺動部には窒化により表面を硬化して耐摩耗性を考慮しており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認及び間隙計測により、機器の健全性を確認している。

(7) 閉鎖ばねの変形（応力緩和）

閉鎖ばねは弁の開閉の繰り返し及び弁全開位置での荷重が加わった状態で長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲内であり、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、当該ばねは同等以下の環境で使用しており、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、分解点検時の目視確認及び作動確認により、機器の健全性を確認している。

(8) アクチュエータの摩耗

弁の開閉動作により、アクチュエータの摺動部には摩耗が想定される。

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

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。

(9) アクチュエータの腐食（全面腐食）

アクチュエータは炭素鋼又は鋳鉄等であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、内面については内部流体が油で腐食が発生し難い環境にあり、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。

(10) 支持脚の腐食（全面腐食）

支持脚は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

(11) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

2.2.4 消耗品及び定期取替品

ガスケットは分解点検時に取り替えている消耗品であり、また、リミットスイッチ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 玄海3号炉 主蒸気止め弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・定期取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考	
				減 肉		割 れ		材質変化			その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣 化		
バウンダリの維持	弁 箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △(外面)					*1：流れ加速型腐食 *2：エロージョン *3：変形（応力緩和）	
	弁 蓋		炭 素 鋼		△ ^{*1} △(外面)						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁 体		ステンレス鋼	△		△					
	弁 座		ステンレス鋼 (セライト肉盛)	△							
	弁 棒		ステンレス鋼	△	△ ^{*2}						
	閉鎖ばね		ばね鋼						△ ^{*3}		
	アクチュエータ		炭素鋼、鋳鉄 ステンレス鋼 銅合金鋳物	△	△						
	リミットスイッチ	◎	—								
機器の支持	支 持 脚		炭 素 鋼		△						
	基礎ボルト		炭 素 鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

3. 2 蒸気加減弁

[対象機器]

- ① 蒸気加減弁

目 次

1. 対象機器	1
2. 蒸気加減弁の技術評価	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

玄海3号炉で使用されている蒸気加減弁の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 玄海3号炉 蒸気加減弁の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件	
		最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
蒸気加減弁 (4)	高*2	約8.2	約298

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：最高使用温度が95°Cを超え、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. 蒸気加減弁の技術評価

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 蒸気加減弁

(1) 構造

玄海3号炉の蒸気加減弁はバランスタイプ式弁であり、主蒸気止め弁の下流に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（主弁、弁体、弁体ボルト、マフラ）、主弁を作動させる作動部（弁棒）及び弁棒を上下移動させる駆動装置部（閉鎖ばね、アクチュエータ）からなる。

弁箱及び弁蓋は炭素鋼鋳鋼又は炭素鋼、主弁及びマフラはステンレス鋼、弁体には炭素鋼を使用しており、蒸気に接している。

玄海3号炉の蒸気加減弁の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の蒸気加減弁主要部位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	弁箱（弁座と一体）
②	弁 蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	主 弁
⑥	弁 体
⑦	弁体ボルト
⑧	弁 棒
⑨	マ フ ラ
⑩	閉鎖ばね
⑪	アクチュエータ

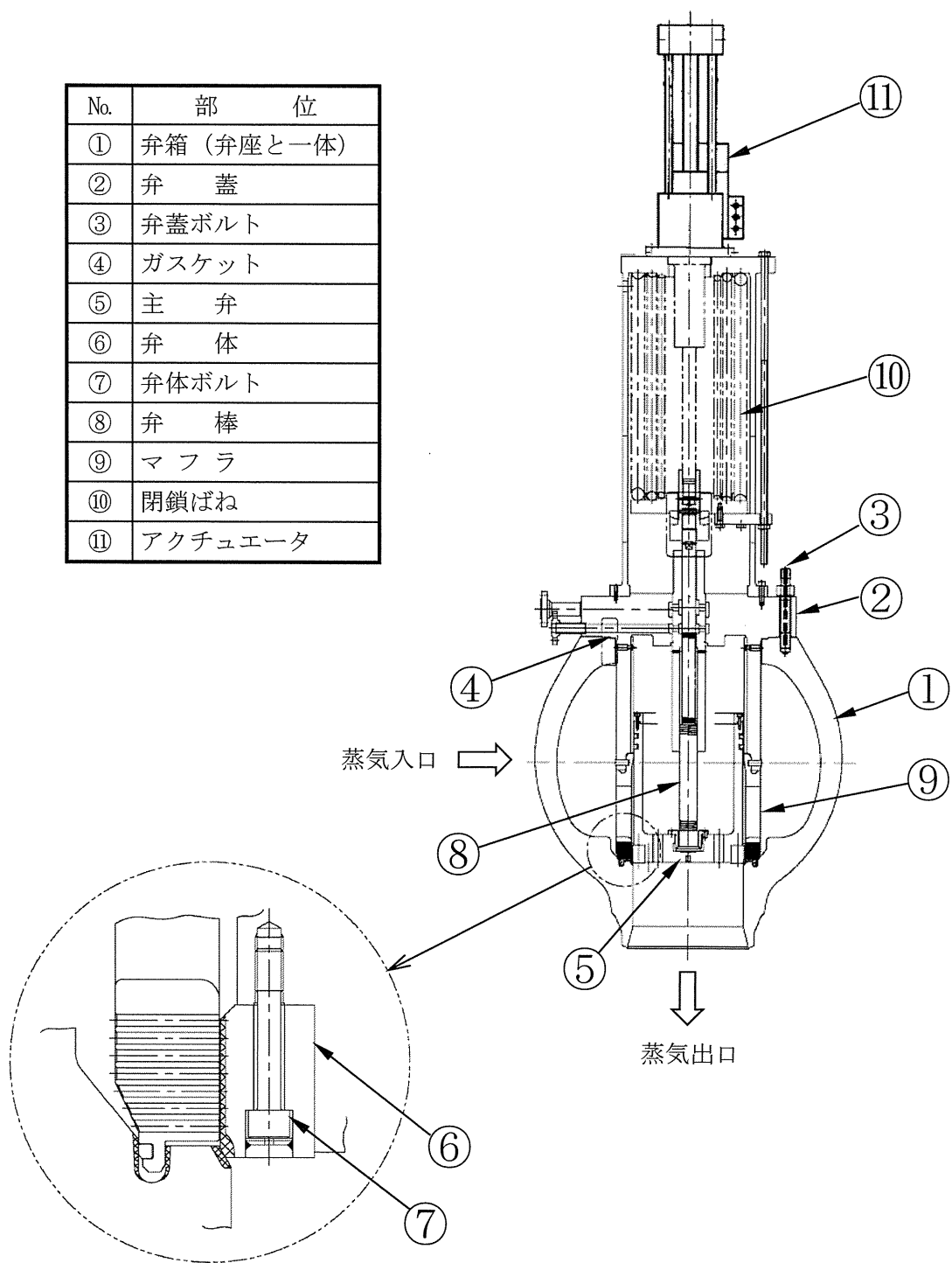


図2.1-1 玄海3号炉 蒸気加減弁構造図

表2.1-1 玄海3号炉 蒸気加減弁主要部位の使用材料

部 位	材 料
弁 箱 (弁座と一体)	炭素鋼・鋳鋼 (ステンレス鋼肉盛)
弁 蓋	炭 素 鋼
弁蓋ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
主 弁	ステンレス鋼
弁 体	炭素鋼 (ステライト肉盛)
弁体ボルト	ステンレス鋼
弁 棒	ステンレス鋼
マ フ ラ	ステンレス鋼
閉鎖ばね	ば ね 鋼
アクチュエータ	炭素鋼、鋳鉄 ステンレス鋼、銅合金鋳物

表2.1-2 玄海3号炉 蒸気加減弁の使用条件

最高使用圧力	約8.2MPa[gage]
最高使用温度	約298℃
内 部 流 体	蒸 気

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

蒸気加減弁の機能である耐圧、開閉及び流量制御機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

蒸気加減弁について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、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) 弁箱、弁蓋及び弁棒の腐食（流れ加速型腐食及びエロージョン）

弁箱及び弁蓋は炭素鋼鋳鋼又は炭素鋼であり、内部流体が蒸気であるため、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

また、弁棒の高減圧部では、エロージョンによる減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認又は寸法計測により、機器の健全性を維持している。

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

(2) 弁箱、弁蓋（外面）の腐食（全面腐食）

弁箱及び弁蓋は炭素鋼鋳鋼又は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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) 弁蓋ボルトの腐食（全面腐食）

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

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

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) 弁体、弁箱弁座部（シート面）の摩耗

弁体及び弁箱弁座部シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、弁体及び弁箱弁座部には、それぞれ耐摩耗性に優れたステライト又はステンレス鋼を肉盛しており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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、浸透探傷検査又は磁粉探傷検査及び当たり確認により、機器の健全性を確認している。

(5) 弁体の腐食（流れ加速型腐食）

マフラ穴からの噴流による流れ加速型腐食対策として弁体外周はステライト肉盛を施しているが、ステライト肉盛のない弁体下面については、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時に目視確認及び弁体下面の深さ計測を実施し、腐食進行程度の把握を行うことにより、機器の健全性を維持している。

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

(6) 弁棒の摩耗

弁棒の摺動部は弁の開閉動作による摩耗が想定される。

しかしながら、弁棒の摺動部には窒化により表面を硬化して耐摩耗性を考慮しており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認及び間隙計測により、機器の健全性を確認している。

(7) 閉鎖ばねの変形（応力緩和）

閉鎖ばねは弁の開閉の繰り返し及び弁全開位置での荷重が加わった状態で長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲内であり、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、当該ばねは同等以下の環境で使用しており、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、分解点検時の目視確認及び作動確認により、機器の健全性を確認している。

(8) アクチュエータの摩耗

弁の開閉動作により、アクチュエータの摺動部には摩耗が想定される。

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

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。

(9) アクチュエータの腐食（全面腐食）

アクチュエータは炭素鋼又は鋳鉄等であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、内面については内部流体が油で腐食が発生し難い環境にあり、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。

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

(10) 弁体ボルトの応力腐食割れ

弁体ボルトの座面コーナ部及びねじ部の応力集中部は、内部流体によるボルトの応力腐食割れが想定される。

しかしながら、弁体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、締付時はトルク管理をしているため過大な応力とならないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

ガスケットは分解点検時に取り替えている消耗品であり、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 玄海3号炉 蒸気加減弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・定期取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考	
				減 肉		割 れ		材質変化			その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣 化		
バウンダリの維持	弁 箱 (弁座と一体)		炭素鋼鋳鋼 (ステンレス鋼肉盛)	△*2	△*1 △(外面)					*1：流れ加速型腐食 *2：シート面 *3：エロージョン *4：変形（応力緩和）	
	弁 蓋		炭 素 鋼		△*1 △(外面)						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	主 弁		ステンレス鋼								
	弁 体		炭 素 鋼 (セライト肉盛)	△	△*1						
	弁体ボルト		ステンレス鋼				▲				
	弁 棒		ステンレス鋼	△	△*3						
	マ フ ラ		ステンレス鋼								
	閉鎖ばね		ばね 鋼						△*4		
	アクチュエータ		炭素鋼、鋳鉄 ステンレス鋼 銅合金鋳物	△	△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着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. 3 インターセプト弁・再熱蒸気止め弁

[対象機器]

- ① インターセプト弁
- ② 再熱蒸気止め弁

目 次

1. 対象機器	1
2. インターセプト弁の技術評価	2
2.1 構造、材料及び使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	5

1. 対象機器

玄海3号炉で使用されているインターセプト弁及び再熱蒸気止め弁の主な仕様を表1-1に示す。

インターセプト弁と再熱蒸気止め弁は同一条件、型式であることから、インターセプト弁を対象機器として技術評価を実施する。

表1-1 玄海3号炉 インターセプト弁及び再熱蒸気止め弁の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件	
		最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
インターセプト弁 (6)	高*2	約1.4	約298
再熱蒸気止め弁 (6)	高*2	約1.4	約298

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：最高使用温度が95°Cを超え、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. インターセプト弁の技術評価

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 インターセプト弁

(1) 構造

玄海3号炉のインターセプト弁はバタフライ式弁であり、低圧タービン入口に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、ガスケット、ベローズシール）、流体を仕切る隔離部（弁体）、弁体を作動させる作動部（弁棒、軸受）及び弁棒を回転させる駆動装置部（閉鎖ばね、アクチュエータ）からなる。

弁箱は炭素鋼、弁体には低合金鋼を使用しており、蒸気に接している。

玄海3号炉のインターセプト弁の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉のインターセプト弁主要部位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。

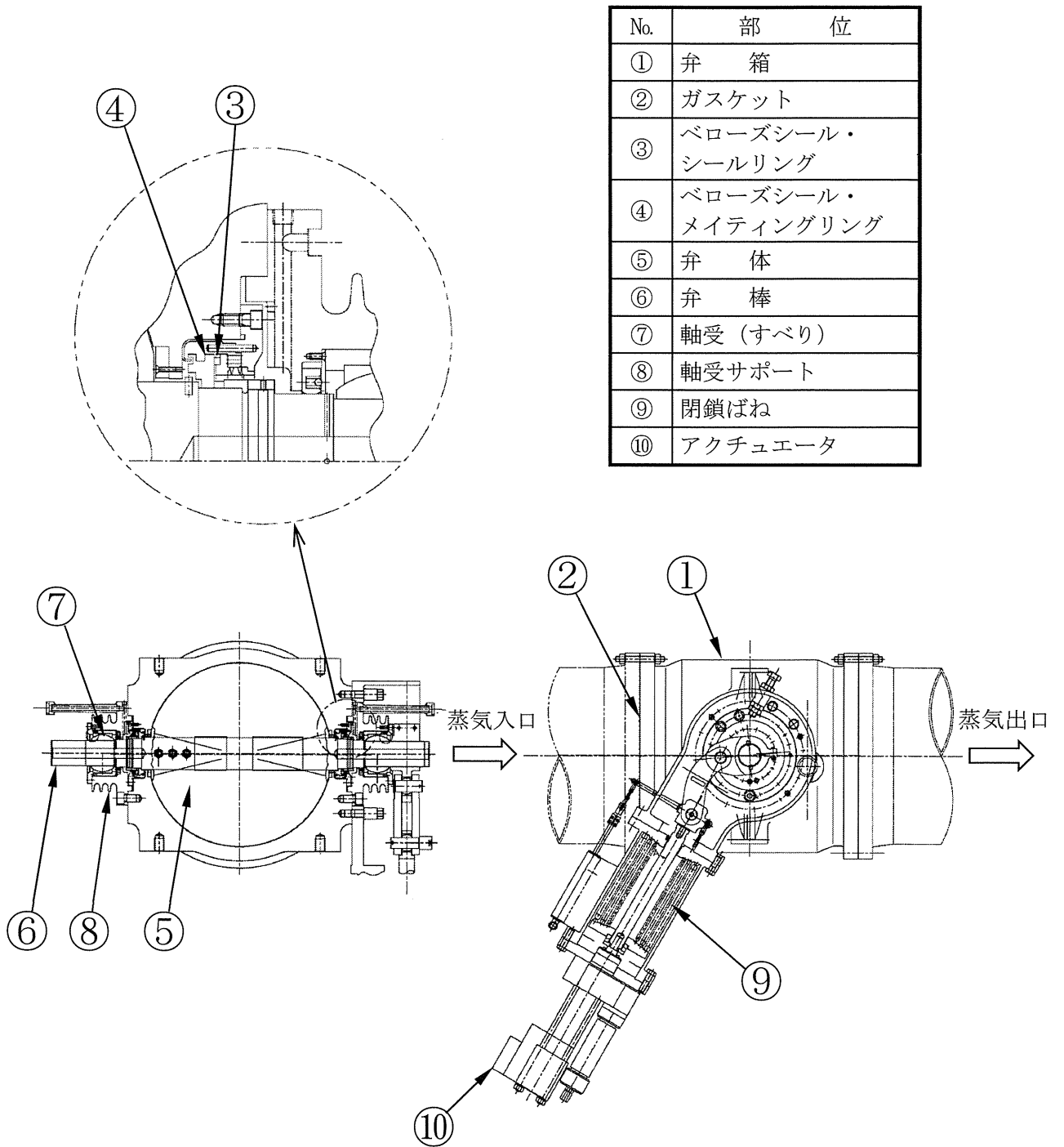


図2.1-1 玄海3号炉 インターセプト弁構造図

表2.1-1 玄海3号炉 インターセプト弁主要部位の使用材料

部 位	材 料
弁 箱	炭素鋼鋳鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
ベローズシール・ シールリング	消耗品・定期取替品
ベローズシール・ メイティングリング	消耗品・定期取替品
弁 体	低合金鋼
弁 棒	低合金鋼
軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
軸受サポート	炭素鋼鋳鋼
閉鎖ばね	ばね 鋼
アクチュエータ	炭素鋼、鋳鉄 ステンレス鋼、銅合金鋳物

表2.1-2 玄海3号炉 インターセプト弁の使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa[gage]
最高使用温度	約298℃
内 部 流 体	蒸 気

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

インターセプト弁の機能である耐圧、開閉及び負荷遮断時の蒸気流量調整機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

インターセプト弁について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、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) 弁箱の腐食（流れ加速型腐食）

弁箱は炭素鋼鋳鋼であり、内部流体が蒸気であるため、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、蒸気は乾き蒸気であり、これまでに有意な減肉は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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弁体と弁箱の間隙計測により、機器の健全性を確認している。

(2) 弁箱（外面）及び軸受サポートの腐食（全面腐食）

弁箱及び軸受サポート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、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) 弁棒の摩耗

弁棒は開閉に伴う軸保持部との摺動により摩耗が想定される。

しかしながら、摺動相手の軸受部は、潤滑性の良いブッシュを使用しており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認及び間隙計測により、機器の健全性を確認している。

(4) 弁棒の腐食（全面腐食）

弁棒は低合金鋼であり、弁棒貫通部からの漏えいにより、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、ペローズシールにより内部流体はシールされており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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) 閉鎖ばねの変形（応力緩和）

閉鎖ばねは弁の開閉の繰り返し及び弁全開位置での荷重が加わった状態で長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲内であり、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、当該ばねは同等以下の環境で使用しており、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、分解点検時の目視確認及び作動確認により、機器の健全性を確認している。

(6) アクチュエータの摩耗

弁の開閉動作により、アクチュエータの摺動部には摩耗が想定される。

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

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。

(7) アクチュエータの腐食（全面腐食）

アクチュエータは炭素鋼又は鋳鉄等であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、内面については内部流体が油で腐食が発生し難い環境にあり、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。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

ガスケットは分解点検時に取り替えている消耗品であり、ベローズシール・シールリング、ベローズシール・メイティングリング及び軸受（すべり）は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 玄海3号炉 インターセプト弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定期 取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考	
				減 肉		割 れ		材質変化			その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐蝕割れ	熱時効	劣 化		
バウンダリの維持	弁 箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △(外面)					*1：流れ加速型腐食 *2：変形（応力緩和）	
	ガスケット	◎	—								
	ベローズシール・ シールリング	◎	—								
	ベローズシール・ メイティングリング	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁 体		低合金鋼								
	弁 棒		低合金鋼	△	△						
	軸受（すべり）	◎	—								
	軸受サポート		炭素鋼鋳鋼		△						
	閉鎖ばね		ばね鋼						△ ^{*2}		
	アクチュエータ		炭素鋼、鋳鉄 ステンレス鋼 銅合金鋳物	△	△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

3. 4 タービン動主給水ポンプ
駆動タービン
蒸気止め弁・蒸気加減弁

[対象機器]

- ① タービン動主給水ポンプ駆動タービン
高圧蒸気止め弁・蒸気加減弁
- ② タービン動主給水ポンプ駆動タービン
低圧蒸気止め弁・蒸気加減弁

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蒸気止め弁・蒸気加減弁の技術評価	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	12

1. 対象機器

玄海3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蒸気止め弁・蒸気加減弁の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 玄海3号炉 タービン動主給水ポンプ駆動タービン
蒸気止め弁・蒸気加減弁の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件	
		最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
タービン動主給水ポンプ 駆動タービン 高圧蒸気止め弁 (2)	高*2	約8.2	約298
タービン動主給水ポンプ 駆動タービン 高圧蒸気加減弁 (2)	高*2	約8.2	約298
タービン動主給水ポンプ 駆動タービン 低圧蒸気止め弁 (2)	高*2	約1.4	約298
タービン動主給水ポンプ 駆動タービン 低圧蒸気加減弁 (2)	高*2	約1.4	約298

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：最高使用温度が95°Cを超え、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蒸気止め弁・蒸気加減弁の技術評価

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高圧蒸気止め弁・蒸気加減弁

(1) 構造

a. タービン動主給水ポンプ駆動タービン高圧蒸気止め弁

玄海3号炉のタービン動主給水ポンプ駆動タービン高圧蒸気止め弁はプラグ式弁であり、タービン動主給水ポンプ駆動タービンの入口に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（主弁、弁体、弁座）、主弁を作動させる作動部（弁棒）及び弁棒を水平移動させる駆動装置部（シリンダ、ピストン、ピストンリング、ピストンロッド、ブッシュ、閉鎖ばね、油管）からなる。

弁箱及び弁蓋は炭素鋼鋳鋼、主弁、弁体及び弁座にはステンレス鋼を使用しており、蒸気に接している。

b. タービン動主給水ポンプ駆動タービン高圧蒸気加減弁

玄海3号炉のタービン動主給水ポンプ駆動タービン高圧蒸気加減弁はプラグ式弁であり、高圧蒸気止め弁の下流に設置されており、高圧蒸気止め弁と弁箱を共有している。

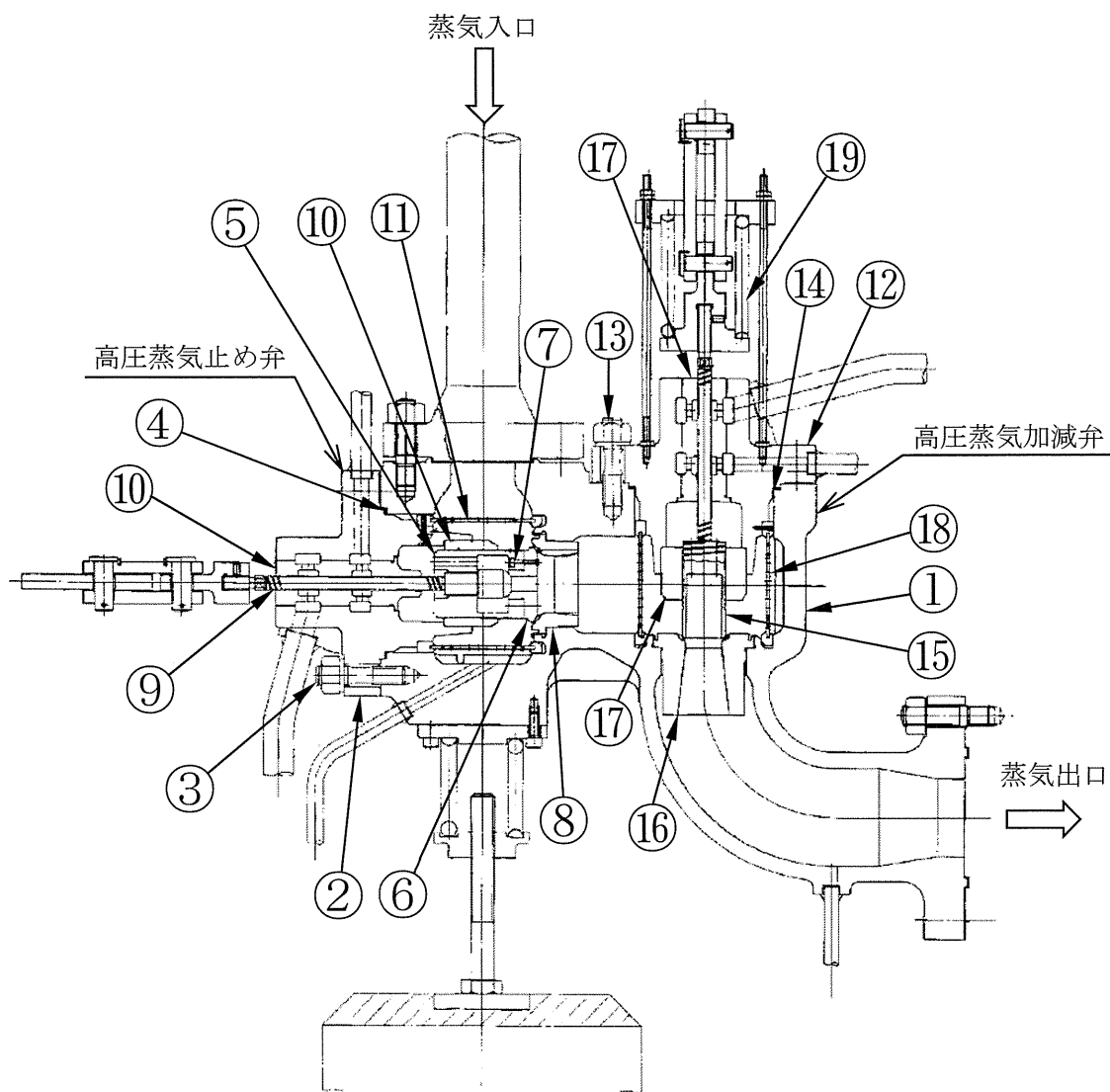
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）、弁体を作動させる作動部（弁棒、閉鎖ばね）及び弁棒を上下移動させる駆動装置部（シリンダ、ピストン、ピストンリング、ピストンロッド、ブッシュ、油管）からなる。

弁箱及び弁蓋は炭素鋼鋳鋼、弁体及び弁座にはステンレス鋼を使用しており、蒸気に接している。

玄海3号炉のタービン動主給水ポンプ駆動タービン高圧蒸気止め弁・蒸気加減弁の構造図を図2.1-1に示す。

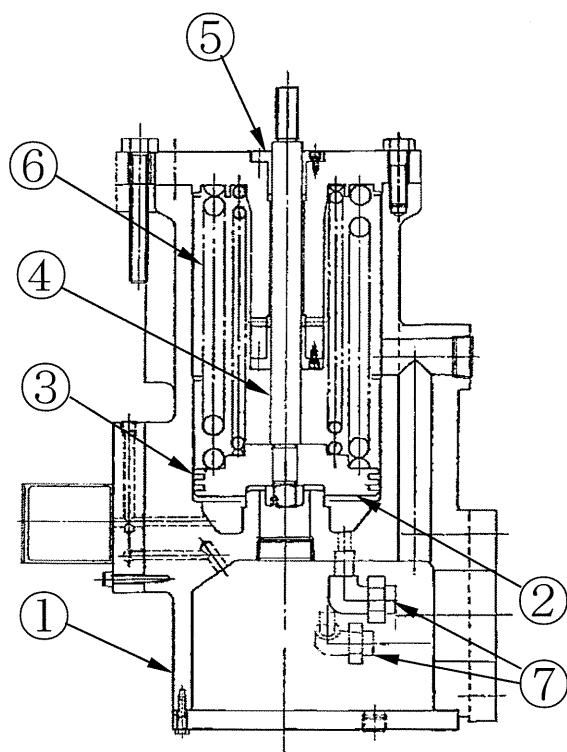
(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉のタービン動主給水ポンプ駆動タービン高圧蒸気止め弁・蒸気加減弁主要部位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。

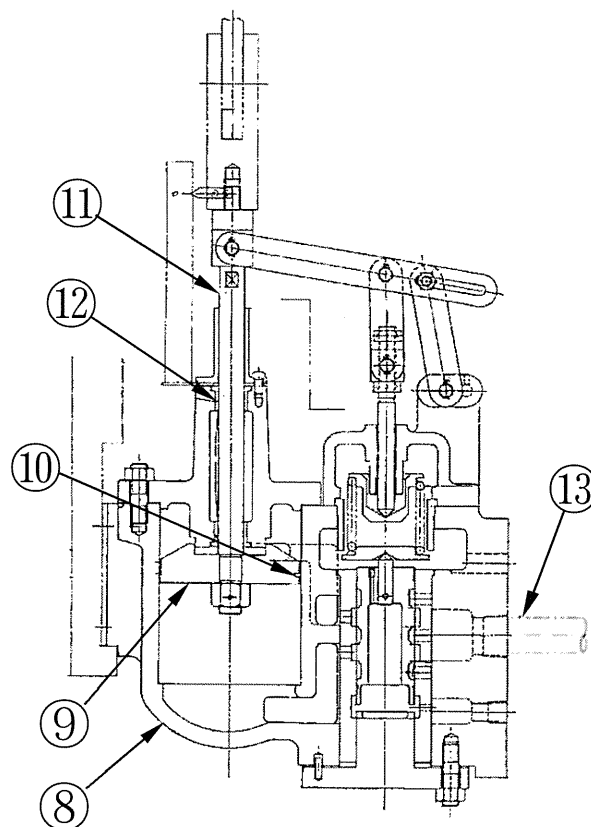


高圧蒸気止め弁		高圧蒸気加減弁	
No.	部 位	No.	部 位
①	弁箱 (高圧蒸気加減弁弁箱と一体)	⑫	弁 蓋
②	弁 蓋	⑬	弁蓋ボルト
③	弁蓋ボルト	⑭	ガスケット
④	ガスケット	⑮	弁体 (弁棒と一体)
⑤	主 弁	⑯	弁 座
⑥	弁 体	⑰	ブッシュ
⑦	弁体ボルト	⑱	ストレーナ
⑧	弁 座		
⑨	弁 棒		
⑩	ブッシュ		
⑪	ストレーナ		

図2.1-1 (1/2) 玄海3号炉 タービン動主給水ポンプ駆動タービン
高圧蒸気止め弁・蒸気加減弁構造図



高圧蒸気止め弁駆動装置



高圧蒸気加減弁駆動装置

高圧蒸気止め弁駆動装置		高圧蒸気加減弁駆動装置	
No.	部 位	No.	部 位
①	シリンダ	⑧	シリンダ
②	ピストン	⑨	ピストン
③	ピストンリング	⑩	ピストンリング
④	ピストンロッド	⑪	ピストンロッド
⑤	ブッシュ	⑫	ブッシュ
⑥	閉鎖ばね	⑬	油 管
⑦	油 管		

図2.1-1 (2/2) 玄海3号炉 タービン動主給水ポンプ駆動タービン
高圧蒸気止め弁・蒸気加減弁駆動装置構造図

表2.1-1 玄海3号炉 タービン動主給水ポンプ駆動タービン

高圧蒸気止め弁・蒸気加減弁主要部位の使用材料

部 位		材 料	
高 圧 蒸 気 止 め 弁	弁箱（高圧蒸気加減弁弁箱と一体）	炭素鋼鋳鋼	
	弁 蓋	炭素鋼鋳鋼	
	弁蓋ボルト	低合金鋼	
	ガスケット	消耗品・定期取替品	
	主 弁	ステンレス鋼	
	弁 体	ステンレス鋼	
	弁体ボルト	消耗品・定期取替品	
	弁 座	ステンレス鋼（ステライト肉盛）	
	弁 棒	ステンレス鋼	
	ブッシュ	低合金鋼	
	ストレーナ	ステンレス鋼	
	駆動装置	シリンダ	炭素鋼鋳鋼
		ピストン	炭 素 鋼
		ピストンリング	铸 鉄
ピストンロッド		炭 素 鋼	
ブッシュ		铸 鉄	
閉鎖ばね		ばね鋼	
油 管		炭 素 鋼	
高 圧 蒸 気 加 減 弁	弁 蓋	炭素鋼鋳鋼	
	弁蓋ボルト	低合金鋼	
	ガスケット	消耗品・定期取替品	
	弁体（弁棒と一体）	ステンレス鋼	
	弁 座	ステンレス鋼（ステライト肉盛）	
	ブッシュ	低合金鋼	
	ストレーナ	ステンレス鋼	
	閉鎖ばね	ばね鋼	
	駆動装置	シリンダ	铸 鉄
		ピストン	炭 素 鋼
		ピストンリング	铸 鉄
		ピストンロッド	炭 素 鋼
		ブッシュ	铸 鉄
		油 管	ステンレス鋼

表2.1-2 玄海3号炉 タービン動主給水ポンプ駆動タービン
高圧蒸気止め弁・蒸気加減弁の使用条件

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

2.1.2 タービン動主給水ポンプ駆動タービン低圧蒸気止め弁・蒸気加減弁

(1) 構造

a. タービン動主給水ポンプ駆動タービン低圧蒸気止め弁

玄海3号炉のタービン動主給水ポンプ駆動タービン低圧蒸気止め弁はプラグ式弁であり、タービン動主給水ポンプ駆動タービンの入口に設置されている。

弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（弁箱、弁蓋、弁蓋ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）、弁体を作動させる作動部（弁棒）及び弁棒を上下移動させる駆動装置部（シリンダ、ピストン、ピストンリング、ピストンロッド、ブッシュ、閉鎖ばね、油管）からなる。

弁箱及び弁蓋は炭素鋼鋳鋼、弁体は低合金鋼、弁座にはステンレス鋼を使用しており、蒸気に接している。

b. タービン動主給水ポンプ駆動タービン低圧蒸気加減弁

玄海3号炉のタービン動主給水ポンプ駆動タービン低圧蒸気加減弁はプラグ式弁であり、低圧蒸気止め弁の下流に設置されている。

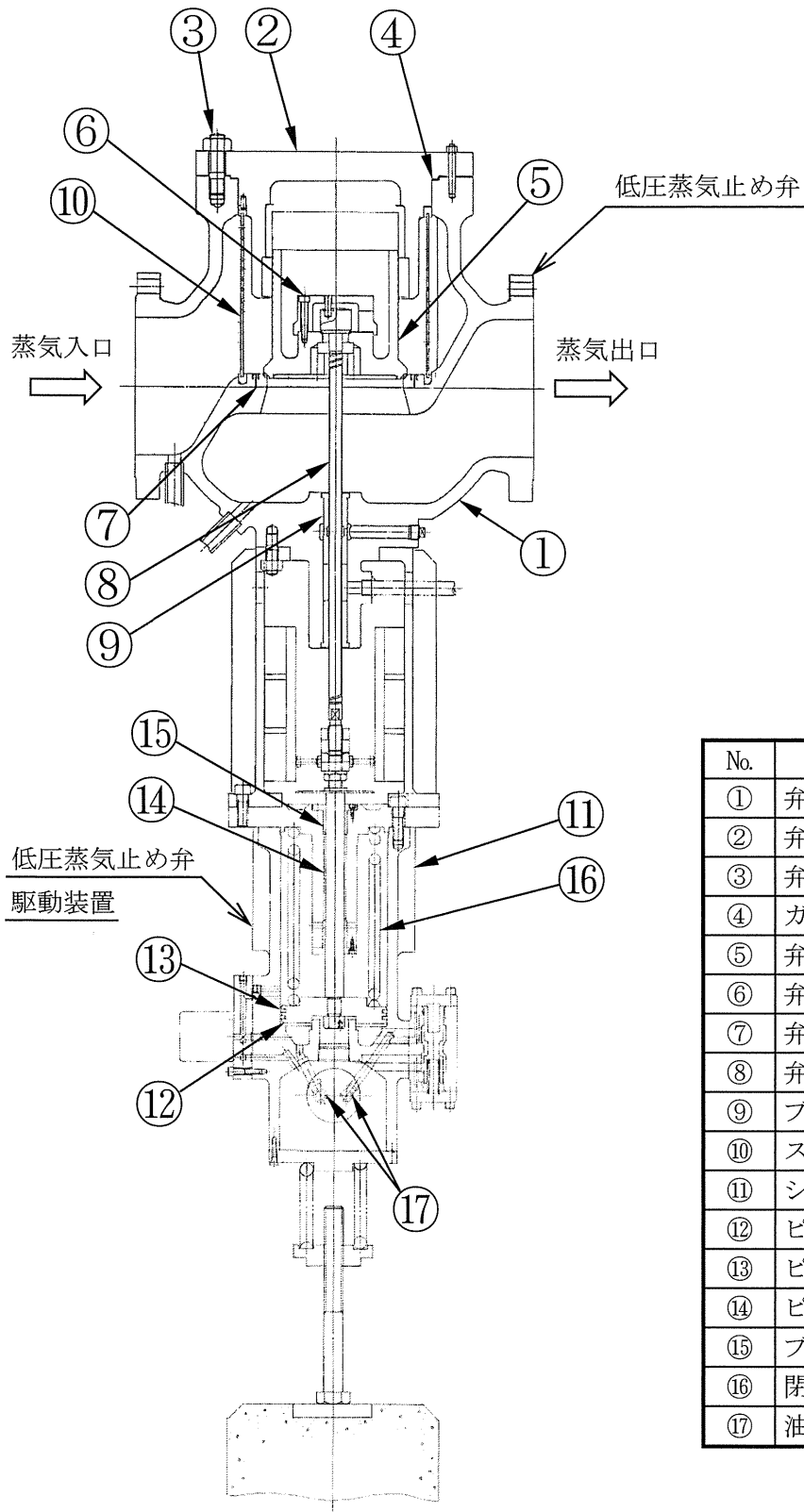
弁本体は流体を内包するバウンダリを構成する耐圧部（蒸気室、蒸気室ボルト、ガスケット）、流体を仕切る隔離部（弁体、弁座）、弁体を作動させる作動部（弁棒、弁揚板）及び弁棒を上下移動させる駆動装置部（シリンダ、ピストン、ピストンリング、ピストンロッド、ブッシュ）からなる。

蒸気室は炭素鋼鋳鋼、弁体及び弁座にはステンレス鋼を使用しており、蒸気に接している。

玄海3号炉のタービン動主給水ポンプ駆動タービン低圧蒸気止め弁・蒸気加減弁の構造図を図2.1-2及び図2.1-3に示す。

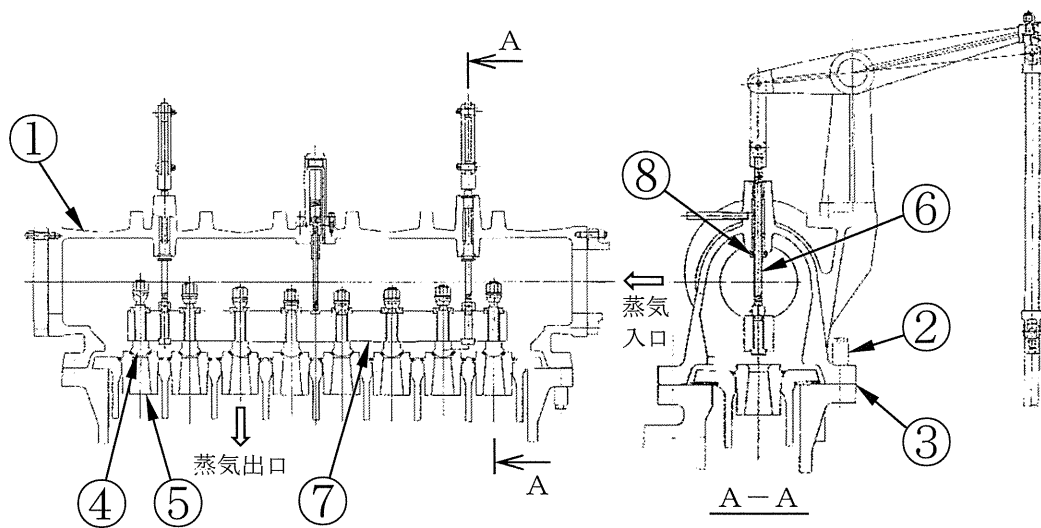
(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉のタービン動主給水ポンプ駆動タービン低圧蒸気止め弁・蒸気加減弁主要部位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。

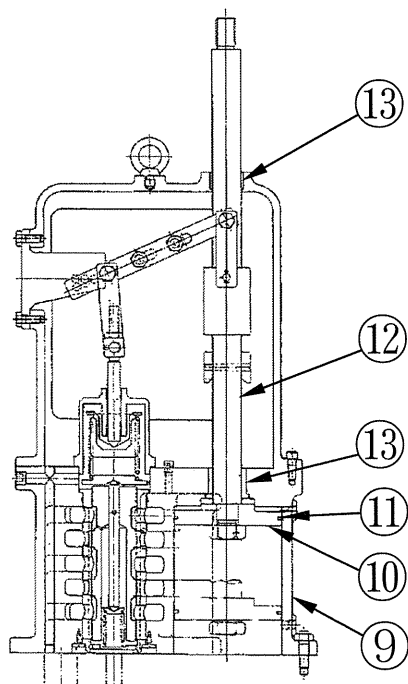


No.	部 位
①	弁 箱
②	弁 蓋
③	弁蓋ボルト
④	ガスケット
⑤	弁 体
⑥	弁体ボルト
⑦	弁 座
⑧	弁 棒
⑨	ブッシュ
⑩	ストレーナ
⑪	シリンダ
⑫	ピストン
⑬	ピストンリング
⑭	ピストンロッド
⑮	ブッシュ
⑯	閉鎖ばね
⑰	油 管

図2.1-2 玄海3号炉 タービン動主給水ポンプ駆動タービン
低圧蒸気止め弁、駆動装置構造図



低圧蒸気加減弁



低圧蒸気加減弁駆動装置

No.	部 位
①	蒸気室
②	蒸気室ボルト
③	ガスケット
④	弁 体
⑤	弁 座
⑥	弁 棒
⑦	弁 揚 板
⑧	ブッシュ
⑨	シリンダ
⑩	ピストン
⑪	ピストンリング
⑫	ピストンロッド
⑬	ブッシュ

図2.1-3 玄海3号炉 タービン動主給水ポンプ駆動タービン
低圧蒸気加減弁、駆動装置構造図

表2.1-3 玄海3号炉 タービン動主給水ポンプ駆動タービン

低圧蒸気止め弁・蒸気加減弁主要部位の使用材料

部 位		材 料	
低 圧 蒸 気 止 め 弁	弁 箱	炭素鋼铸鋼	
	弁 蓋	炭素鋼铸鋼	
	弁蓋ボルト	低合金鋼	
	ガスケット	消耗品・定期取替品	
	弁 体	低合金鋼 (ステライト肉盛)	
	弁体ボルト	低合金鋼	
	弁 座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	
	弁 棒	ステンレス鋼	
	ブッシュ	低合金鋼	
	ストレーナ	ステンレス鋼	
	駆動装置	シリンダ	炭素鋼铸鋼
		ピストン	炭 素 鋼
		ピストンリング	铸 鉄
ピストンロッド		炭 素 鋼	
ブッシュ		铸 鉄	
閉鎖ばね		ばね鋼	
油 管		炭 素 鋼	
低 圧 蒸 気 加 減 弁	蒸 気 室	炭素鋼铸鋼	
	蒸気室ボルト	低合金鋼	
	ガスケット	消耗品・定期取替品	
	弁 体	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	
	弁 座	ステンレス鋼 (ステライト肉盛)	
	弁 棒	ステンレス鋼	
	弁 揚 板	炭 素 鋼	
	ブッシュ	低合金鋼	
	駆動装置	シリンダ	铸 鉄
		ピストン	炭 素 鋼
		ピストンリング	铸 鉄
ピストンロッド		炭 素 鋼	
ブッシュ		鋼 (テフロン)、銅合金铸物	

表2.1-4 玄海3号炉 タービン動主給水ポンプ駆動タービン
低圧蒸気止め弁・蒸気加減弁の使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa[gage]
最高使用温度	約298℃
内部流体	蒸気

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

タービン動主給水ポンプ駆動タービン蒸気止め弁・蒸気加減弁の機能である耐圧、開閉及び流量制御機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 閉止機能の維持
- ③ 作動機能の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

タービン動主給水ポンプ駆動タービン蒸気止め弁・蒸気加減弁について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器ごとに表2.2-1～表2.2-4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～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) 弁箱、弁蓋、蒸気室及び弁揚板の腐食（流れ加速型腐食）[共通]

弁箱、弁蓋、蒸気室及び弁揚板は炭素鋼鋳鋼又は炭素鋼であり、内部流体が蒸気であるため、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(2) 弁箱、弁蓋及び蒸気室（外面）の腐食（全面腐食）[共通]

弁箱、弁蓋及び蒸気室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、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) 弁蓋ボルト、蒸気室ボルトの腐食（全面腐食）[共通]

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

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

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(4) 弁体及び弁座（シート面）の摩耗 [共通]

弁体及び弁座シート面は弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、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、浸透探傷検査及び当たり確認により、機器の健全性を確認している。

(5) 弁体ボルトの腐食（流れ加速型腐食）

[タービン動主給水ポンプ駆動タービン低圧蒸気止め弁]

弁体ボルトは低合金鋼であり、内部流体が蒸気であるため、内部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、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) 主弁、弁棒及びブッシュの摩耗 [共通]

主弁、弁棒及びブッシュの摺動部は、弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、摺動部は窒化又は焼入れにより表面を硬化しており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認及び間隙計測により、機器の健全性を確認している。

(7) ブッシュの腐食（全面腐食） [共通]

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、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) 閉鎖ばねの変形（応力緩和）

[タービン動主給水ポンプ駆動タービン低圧蒸気加減弁を除く弁]

閉鎖ばねは弁の開閉の繰り返し及び弁全開位置での荷重が加わった状態で長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲内であり、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、当該ばねは同等以下の環境で使用しており、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、分解点検時の目視確認及び作動確認により、機器の健全性を確認している。

(9) 駆動装置シリンダ等の摩耗 [共通]

駆動装置のシリンダ、ピストンリング、ピストンロッド及びブッシュの摺動部は、弁の開閉による摩耗が想定される。

しかしながら、摺動部は油雰囲気下で使用されており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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間隙計測により、機器の健全性を確認している。

(10) 駆動装置シリンダ等の腐食（全面腐食）[共通]

駆動装置シリンダ等は炭素鋼、炭素鋼、炭素鋼、铸铁又は銅合金鋳物であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、内面については油雰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。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

ガスケットは分解点検時に取り替えている消耗品であり、また、タービン動主給水ポンプ駆動タービン高圧蒸気止め弁の弁体ボルトは目視確認の結果に基づき取り替えている消耗品である。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 玄海3号炉 タービン動主給水ポンプ駆動タービン高圧蒸気止め弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・定期取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考	
				減 肉		割 れ		材質変化			その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐蝕	熱時効	劣 化		
バウンダリの維持	弁箱(高圧蒸気加減弁弁箱と一体)		炭素鋼鋳鋼		△*1 △(外面)					*1: 流れ加速型腐食 *2: 変形(応力緩和)	
	弁 蓋		炭素鋼鋳鋼		△*1 △(外面)						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	主 弁		ステンレス鋼	△							
	弁 体		ステンレス鋼	△							
	弁体ボルト	◎	—								
	弁 座		ステンレス鋼 (ステイト肉盛)	△							
	弁 棒		ステンレス鋼	△							
	ブッシュ		低合金鋼	△	△						
	ストレーナ		ステンレス鋼								
	駆動装置シリンダ		炭素鋼鋳鋼	△	△						
	駆動装置ピストン		炭 素 鋼		△						
	駆動装置ピストリング		鋳 鉄	△	△						
	駆動装置ピストロッド		炭 素 鋼	△	△						
駆動装置ブッシュ		鋳 鉄	△	△							
駆動装置閉鎖ばね		ばね鋼						△*2			
駆動装置油管		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 玄海3号炉 タービン動主給水ポンプ駆動タービン高圧蒸気加減弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・定期取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考	
				減 肉		割 れ		材質変化			その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐蝕割れ	熱時効	劣 化		
バウンダリの維持	弁 蓋		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △(外面)						*1：流れ加速型腐食 *2：シート面 *3：弁棒部 *4：変形（応力緩和）
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁体(弁棒と一体)		ステンレス鋼	△ ^{*2,3}							
	弁 座		ステンレス鋼 (ステイト肉盛)	△							
	ブッシュ		低合金鋼	△	△						
	ストレーナ		ステンレス鋼								
	閉鎖ばね		ばね鋼							△ ^{*4}	
	駆動装置シリンダ		鋳 鉄	△	△						
	駆動装置ピストン		炭 素 鋼		△						
	駆動装置 ^レ ストリング ^ク		鋳 鉄	△	△						
	駆動装置 ^レ ストロット ^ク		炭 素 鋼	△	△						
	駆動装置ブッシュ		鋳 鉄	△	△						
駆動装置油管		ステンレス鋼									

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-3 玄海3号炉 タービン動主給水ポンプ駆動タービン低圧蒸気止め弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・定期取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考	
				減 肉		割 れ		材質変化			その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐蝕割れ	熱時効	劣 化		
バウンダリの維持	弁 箱		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △(外面)					*1：流れ加速型腐食 *2：変形（応力緩和）	
	弁 蓋		炭素鋼鋳鋼		△ ^{*1} △(外面)						
	弁蓋ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁 体		低合金鋼 (スライト肉盛)	△							
	弁体ボルト		低合金鋼		△ ^{*1}						
	弁 座		ステンレス鋼 (スライト肉盛)	△							
	弁 棒		ステンレス鋼	△							
	ブッシュ		低合金鋼	△	△						
	ストレーナ		ステンレス鋼								
	駆動装置シリンダ		炭素鋼鋳鋼	△	△						
	駆動装置ピストン		炭 素 鋼		△						
	駆動装置ピストリング		鋳 鉄	△	△						
	駆動装置ピストロッド		炭 素 鋼	△	△						
	駆動装置ブッシュ		鋳 鉄	△	△						
	駆動装置閉鎖ばね		ばね鋼						△ ^{*2}		
駆動装置油管		炭 素 鋼		△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-4 玄海3号炉 タービン動主給水ポンプ駆動タービン低圧蒸気加減弁に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定期 取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考	
				減 肉		割 れ		材質変化			その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐蝕	熱時効	劣 化		
バウンダリの維持	蒸気室		炭素鋼鋳鋼		△*1 △(外面)					*1：流れ加速型腐食	
	蒸気室ボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								
閉止機能の維持 作動機能の維持	弁 体		ステンレス鋼 (ストレイト肉盛)	△							
	弁 座		ステンレス鋼 (ストレイト肉盛)	△							
	弁 棒		ステンレス鋼	△							
	弁 揚 板		炭 素 鋼		△*1						
	ブッシュ		低合金鋼	△	△						
	駆動装置シリンダ		鋳 鉄	△	△						
	駆動装置ピストン		炭 素 鋼		△						
	駆動装置ピストリング		鋳 鉄	△	△						
	駆動装置ピストロッド		炭 素 鋼	△	△						
駆動装置ブッシュ		鋼(テフロン) 銅合金鋳物	△	△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

玄海原子力発電所3号炉

炉内構造物の技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

九州電力株式会社

玄海3号炉で使用されている炉内構造物の高経年化に係る技術評価についてまとめたものである。

表1に評価対象部位を示す。

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。

また、制御棒は「機械設備の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含まれていない。

表1 評価対象部位一覧

部 位 名 称	重 要 度*1
上部炉心板	PS-1、重*2
上部炉心支持柱	PS-1、重*2
上部炉心支持板	PS-1、重*2
下部炉心板	PS-1、重*2
下部炉心支持柱	PS-1、重*2
下部炉心支持板	PS-1、重*2
炉 心 槽	PS-1、重*2
ラジアルキー	—*3
上部燃料集合体案内ピン	PS-1
下部燃料集合体案内ピン	PS-1
制御棒クラスタ案内管	MS-1
支持ピン	MS-1
炉心バッフル	PS-1
炉心バッフル取付板	PS-1
バッフルフォーマボルト	PS-1
バレルフォーマボルト	PS-1
炉内計装用シングルチューブ	PS-2
熱遮蔽体	PS-1
熱遮蔽体固定用ボルト	PS-1
押えリング	PS-1

*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：安全重要度分類上、性能に関する規定は特にはないが、炉内構造物一式として他部位とあわせて評価する

1 炉内構造物

目 次

1. 対象機器	1
2. 炉内構造物の技術評価	2
2.1 構造、材料及び使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	19
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	31

1. 対象機器

玄海3号炉で使用されている炉内構造物の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 玄海3号炉 炉内構造物の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件		
		運 転	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
炉内構造物 (1)	PS-1、重*2	連 続	約17.2	約343

*1：機能は最上位の機能を示す

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

2. 炉内構造物の技術評価

2.1 構造、材料及び使用条件

(1) 構造

玄海3号炉の炉内構造物は、炉心の支持、1次冷却材の流路形成・配分等の機能を有し、上部炉内構造物と下部炉内構造物とに分かれている。それぞれ一体として原子炉容器から取り外すことができる構造となっている。

炉内構造物は大部分がステンレス鋼であり、一部ニッケル基合金を用いている。

上部炉内構造物と下部炉内構造物は燃料集合体を上下からはさむ形で支持しており、それら自身は原子炉容器フランジ部で、押えリングをはさむ形で支持されている。

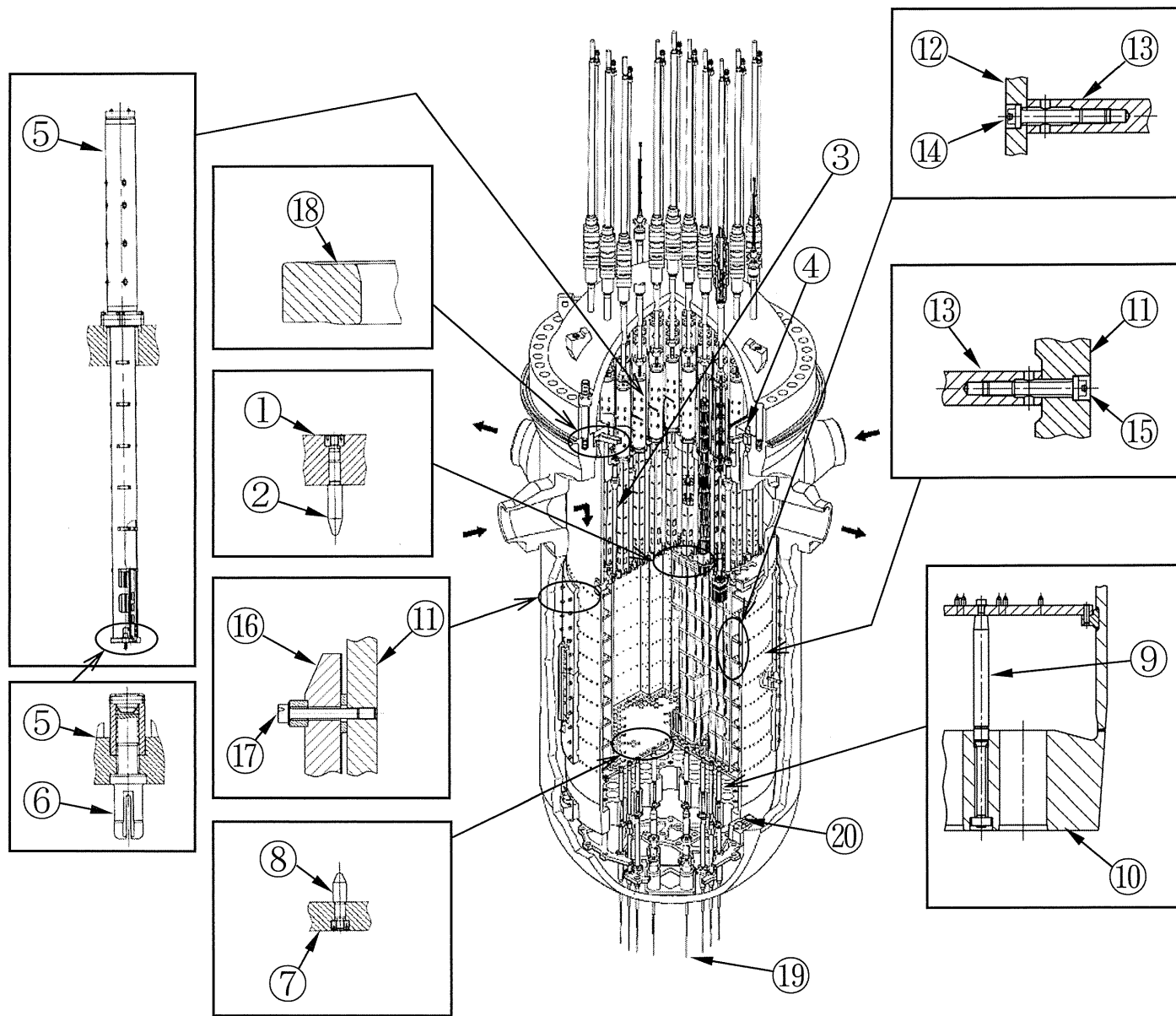
上部炉内構造物は、上部炉心支持板、上部炉心支持柱及び上部炉心板の組立体である上部炉心支持構造物に、制御棒クラスタ案内管等の構造物を取り付けられたものである。制御棒クラスタ案内管は上部炉心支持板にボルト固定され、支持ピンが上部炉心板にはまり込む構造となっている。

下部炉内構造物は、炉心槽、下部炉心支持板、下部炉心支持柱及び下部炉心板の組立体である下部炉心支持構造物に、炉心バップル、熱遮蔽体等が取り付けられたものである。

玄海3号炉の炉内構造物の構造を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の炉内構造物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
(上部炉内構造物)	
①	上部炉心板
②	上部燃料集合体案内ピン
③	上部炉心支持柱
④	上部炉心支持板
⑤	制御棒クラスタ案内管
⑥	支持ピン
(下部炉内構造物)	
⑦	下部炉心板
⑧	下部燃料集合体案内ピン
⑨	下部炉心支持柱
⑩	下部炉心支持板
⑪	炉 心 槽
⑫	炉心バップル
⑬	炉心バップル取付板
⑭	バップルフォーマボルト
⑮	バレルフォーマボルト
⑯	熱遮蔽体
⑰	熱遮蔽体固定用ボルト
(その他)	
⑱	押えリング
⑲	炉内計装用シンプルチューブ
⑳	ラジアルキー

図2.1-1(1/14) 玄海3号炉 炉内構造物全体図

No.	部 位
①	上部炉心板
②	上部燃料集合体案内ピン
③	上部炉心支持柱
④	上部炉心支持板
⑤	制御棒クラスタ案内管
⑥	支持ピン

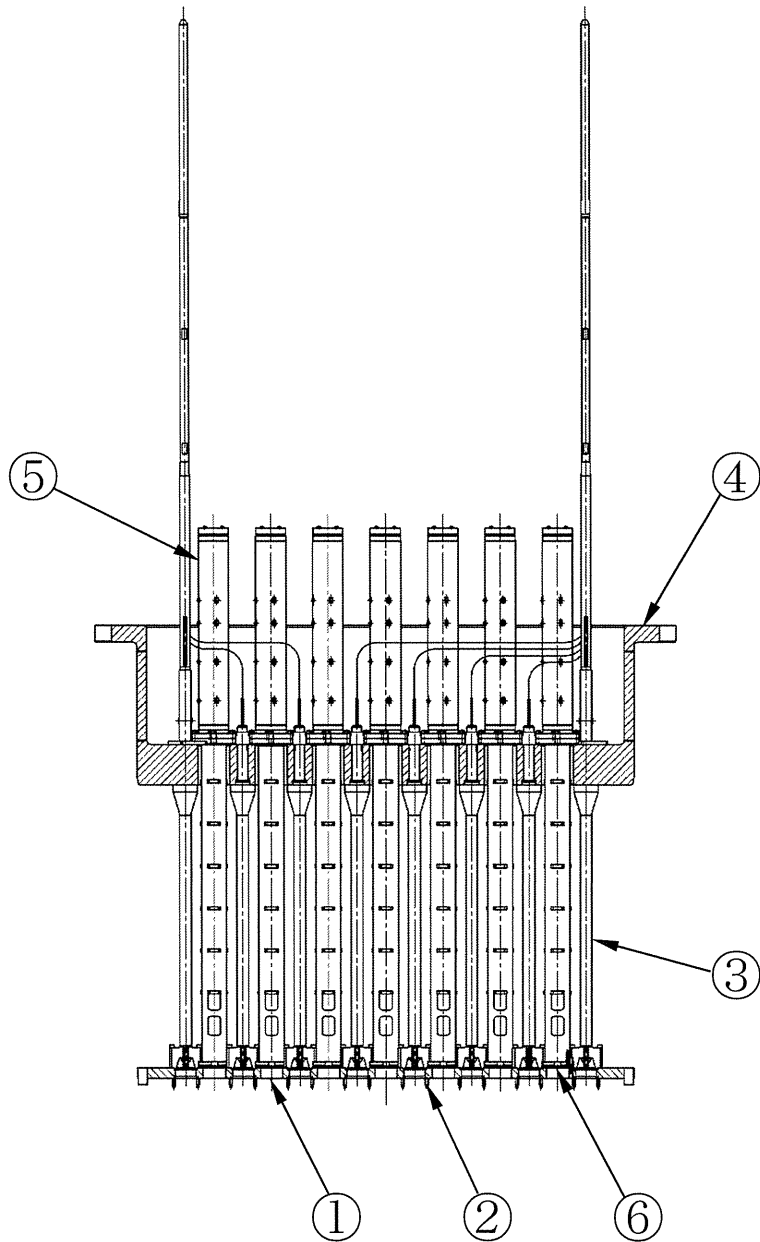


図2.1-1(2/14) 玄海3号炉 炉内構造物 上部炉内構造物構造図

No.	部 位
①	上部炉心板
②	上部燃料集合体案内ピン

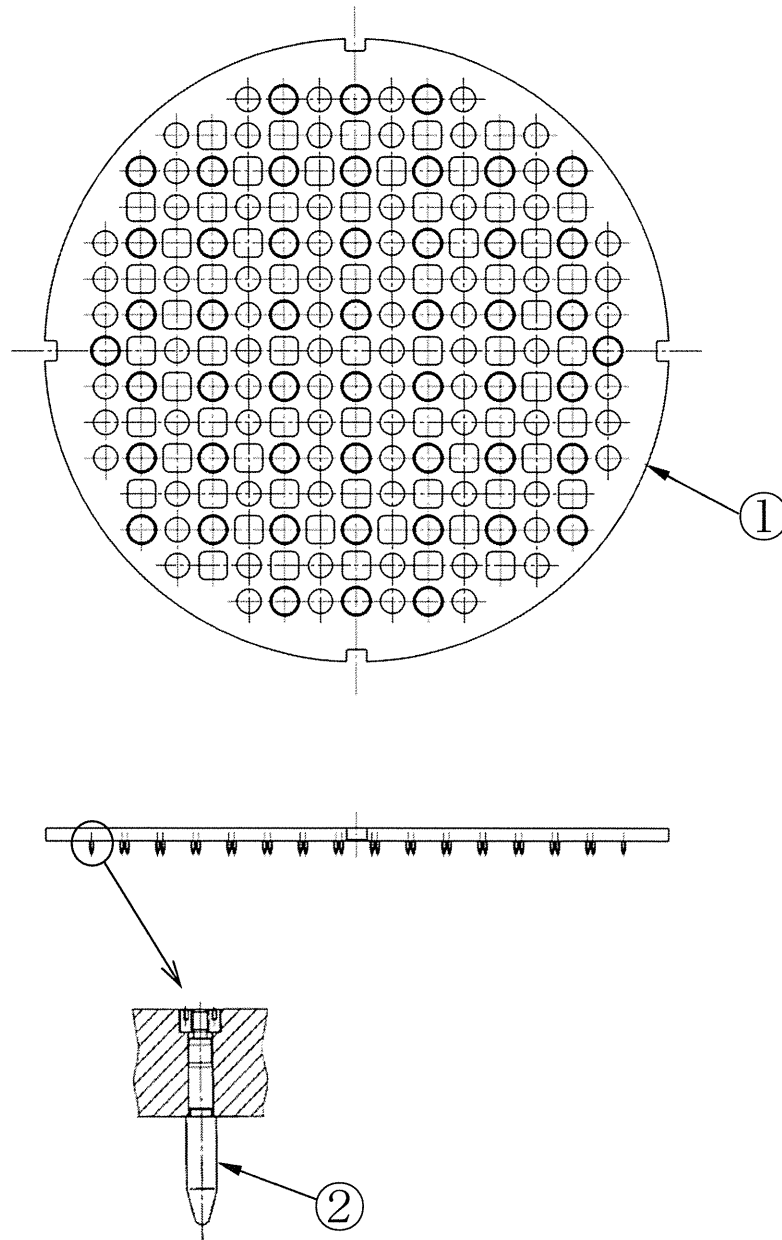


図2.1-1(3/14) 玄海3号炉 炉内構造物 上部炉心板組立図

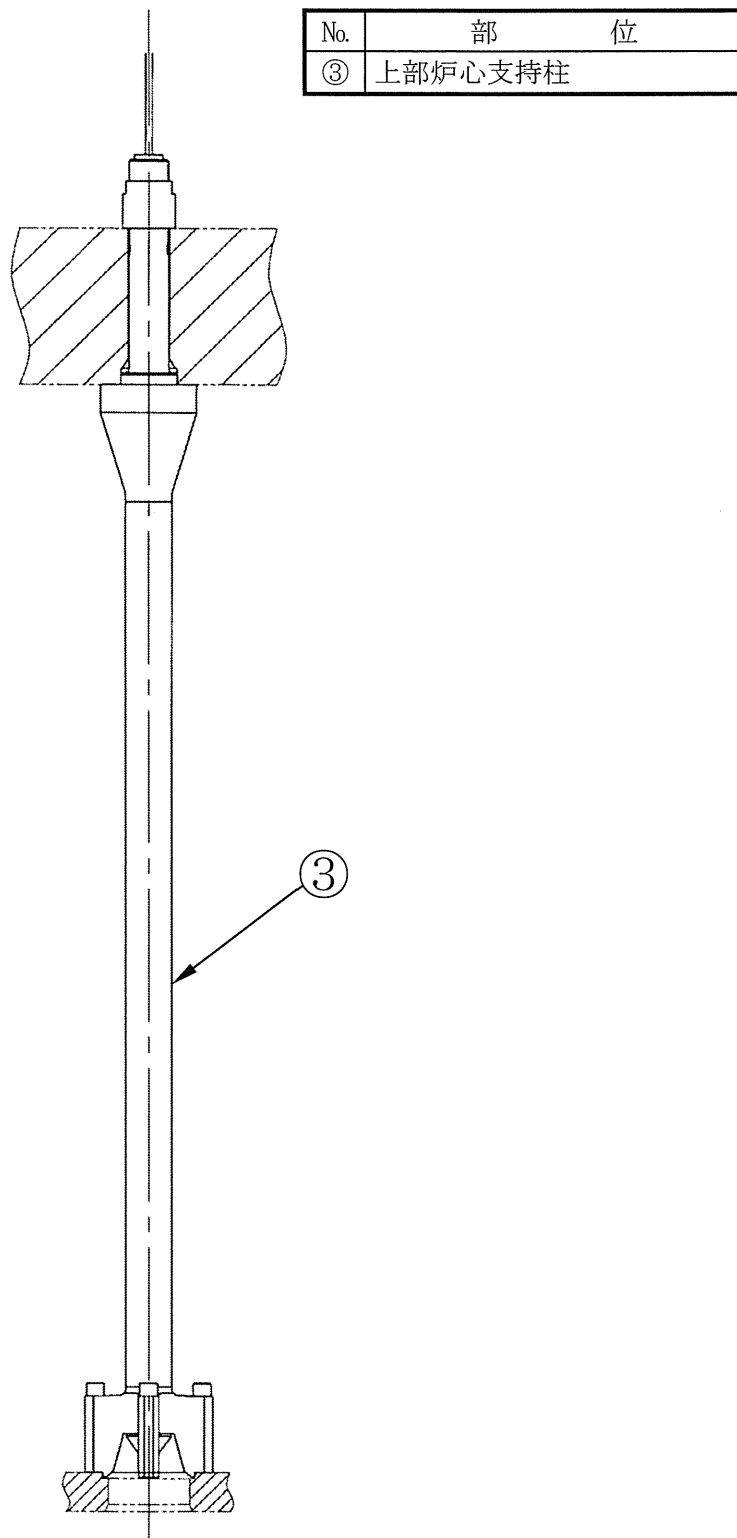


图2.1-1(4/14) 玄海3号炉 炉内构造物 上部炉心支持柱组立图

No.	部	位
④	上部炉心支持板	

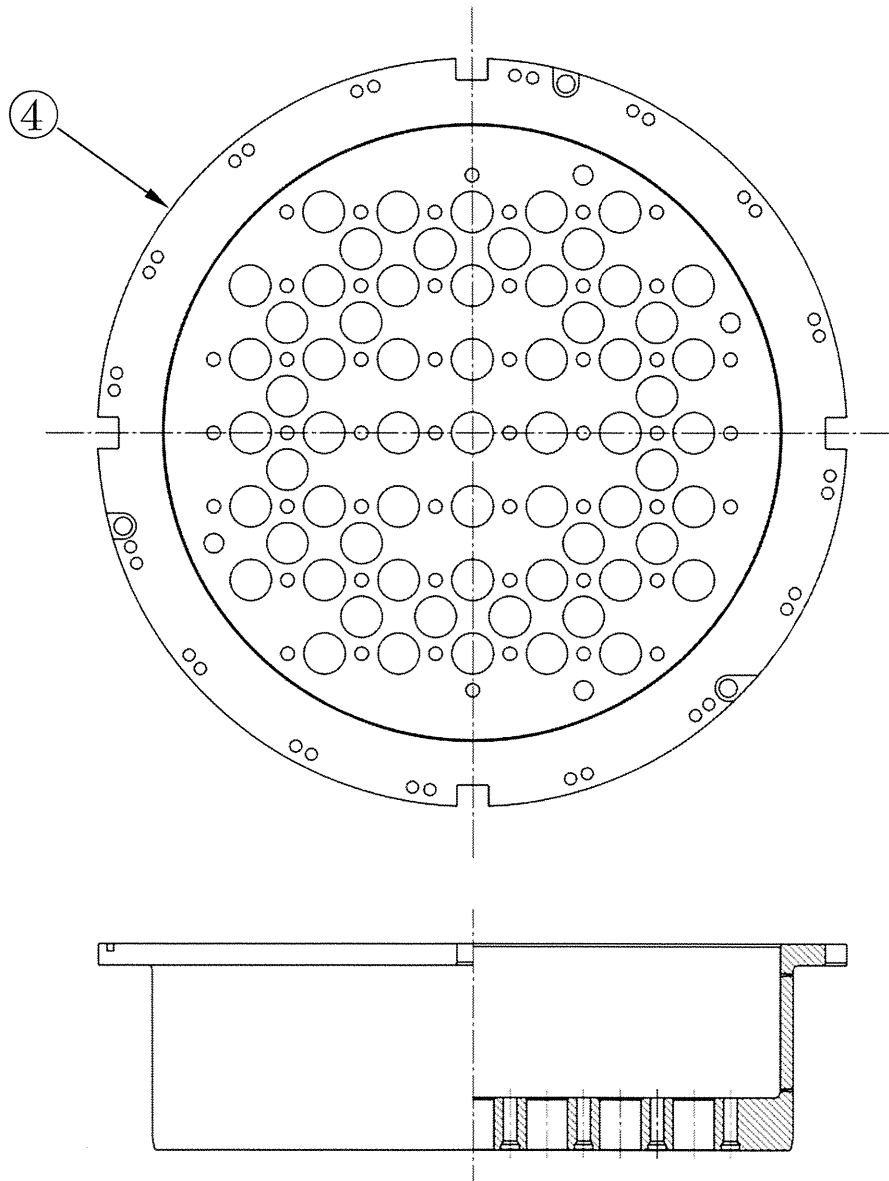
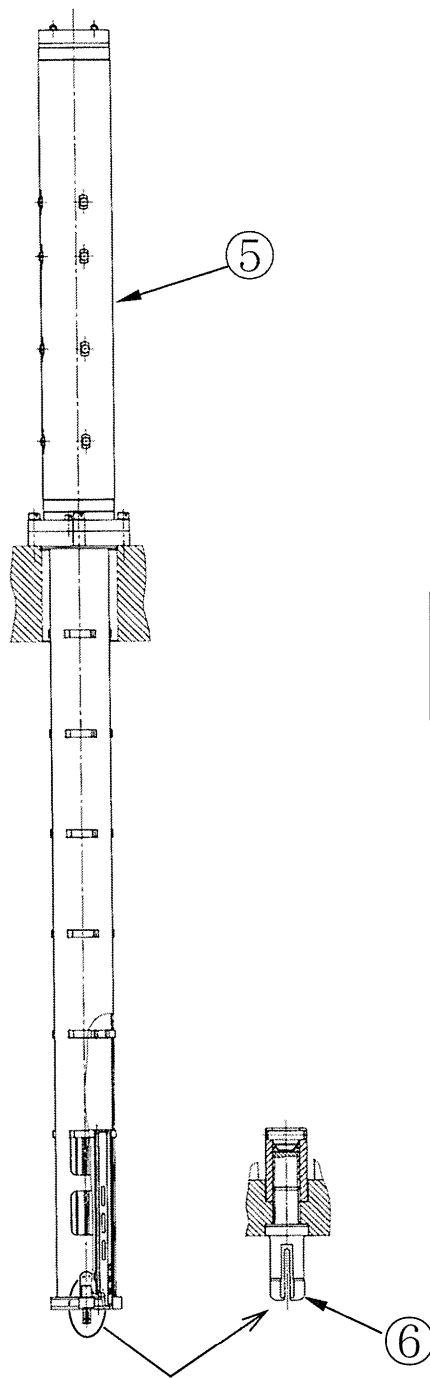


图2.1-1(5/14) 玄海3号炉 炉内构造物 上部炉心支持板组立图



No.	部 位
⑤	制御棒クラスター案内管
⑥	支持ピン

図2.1-1(6/14) 玄海3号炉 炉内構造物 制御棒クラスター案内管組立図

No.	部 位
⑦	下部炉心板
⑧	下部燃料集合体案内ピン
⑨	下部炉心支持柱
⑩	下部炉心支持板
⑪	炉 心 槽
⑫	炉心バップル
⑬	炉心バップル取付板
⑭	バップルフォーマボルト
⑮	バレルフォーマボルト
⑯	熱遮蔽体
⑰	熱遮蔽体固定用ボルト
⑳	ラジアルキー

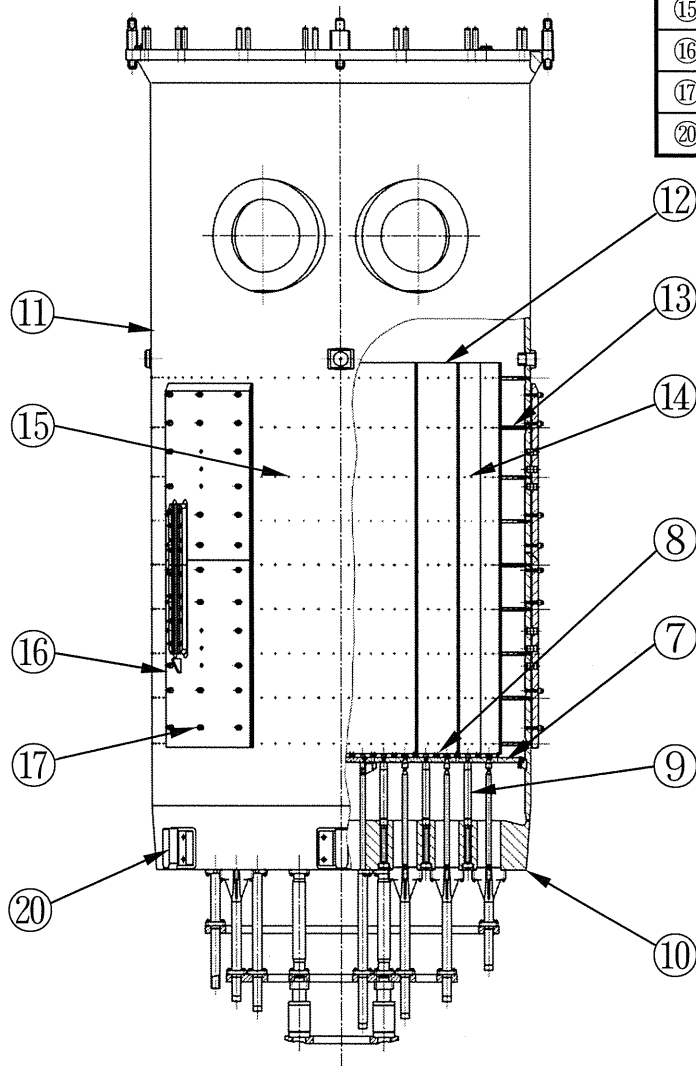


図2.1-1(7/14) 玄海3号炉 炉内構造物 下部炉内構造物構造図

No.	部 位
⑦	下部炉心板
⑧	下部燃料集合体案内ピン

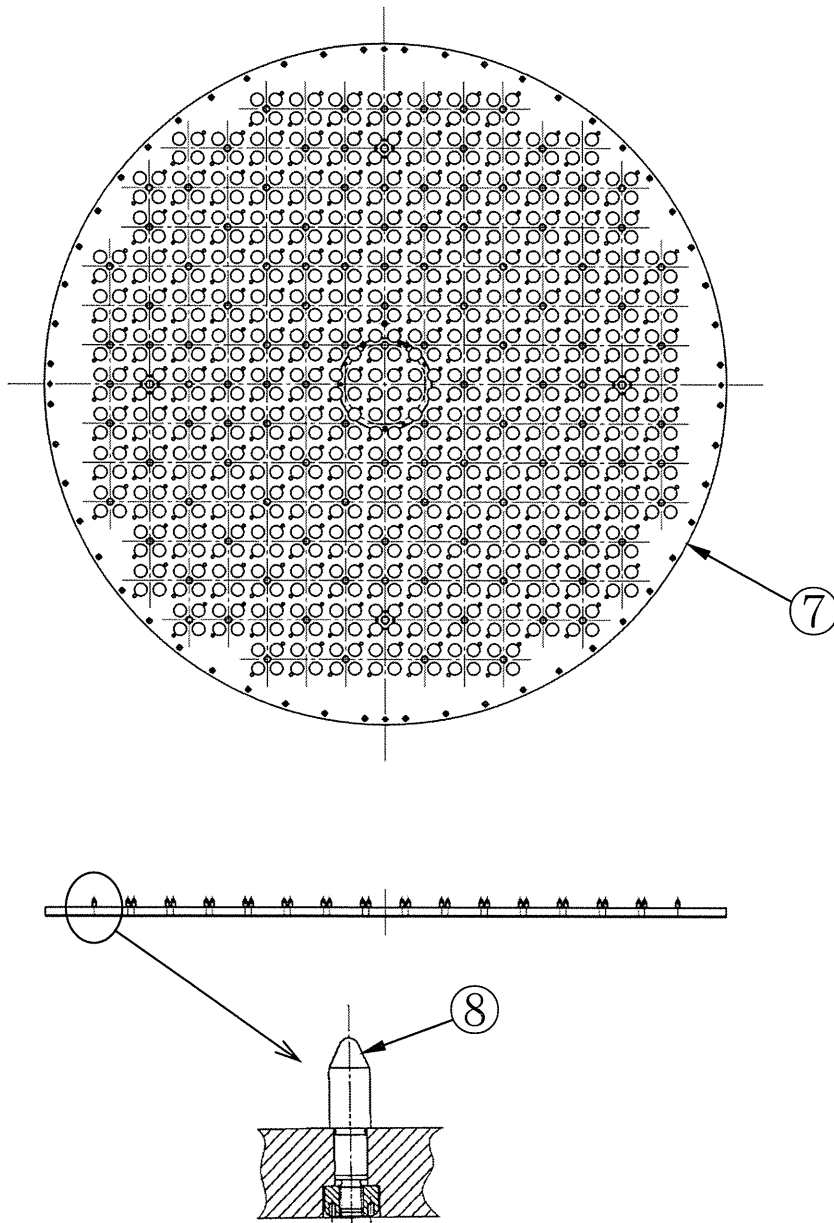


図2.1-1(8/14) 玄海3号炉 炉内構造物 下部炉心板組立図

No.	部 位
⑨	下部炉心支持柱

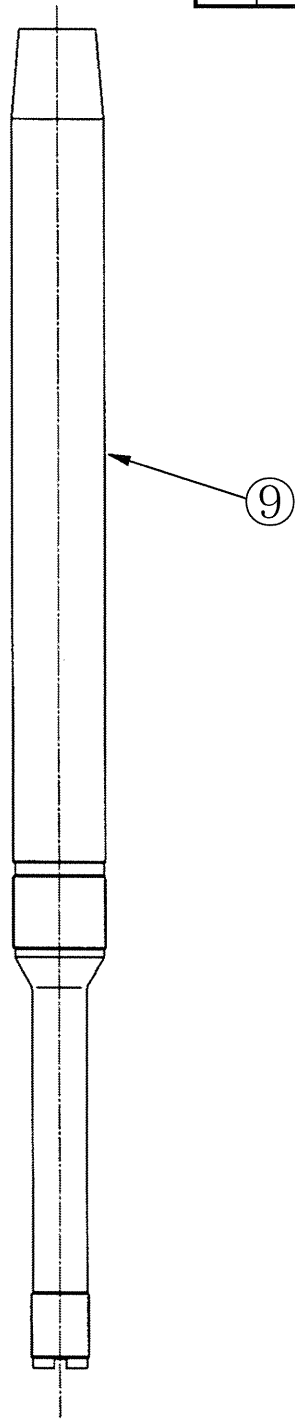


图2.1-1(9/14) 玄海3号炉 炉内构造物 下部炉心支持柱组立图

No.	部 位
⑦	下部炉心板
⑨	下部炉心支持柱
⑩	下部炉心支持板
⑪	炉 心 槽

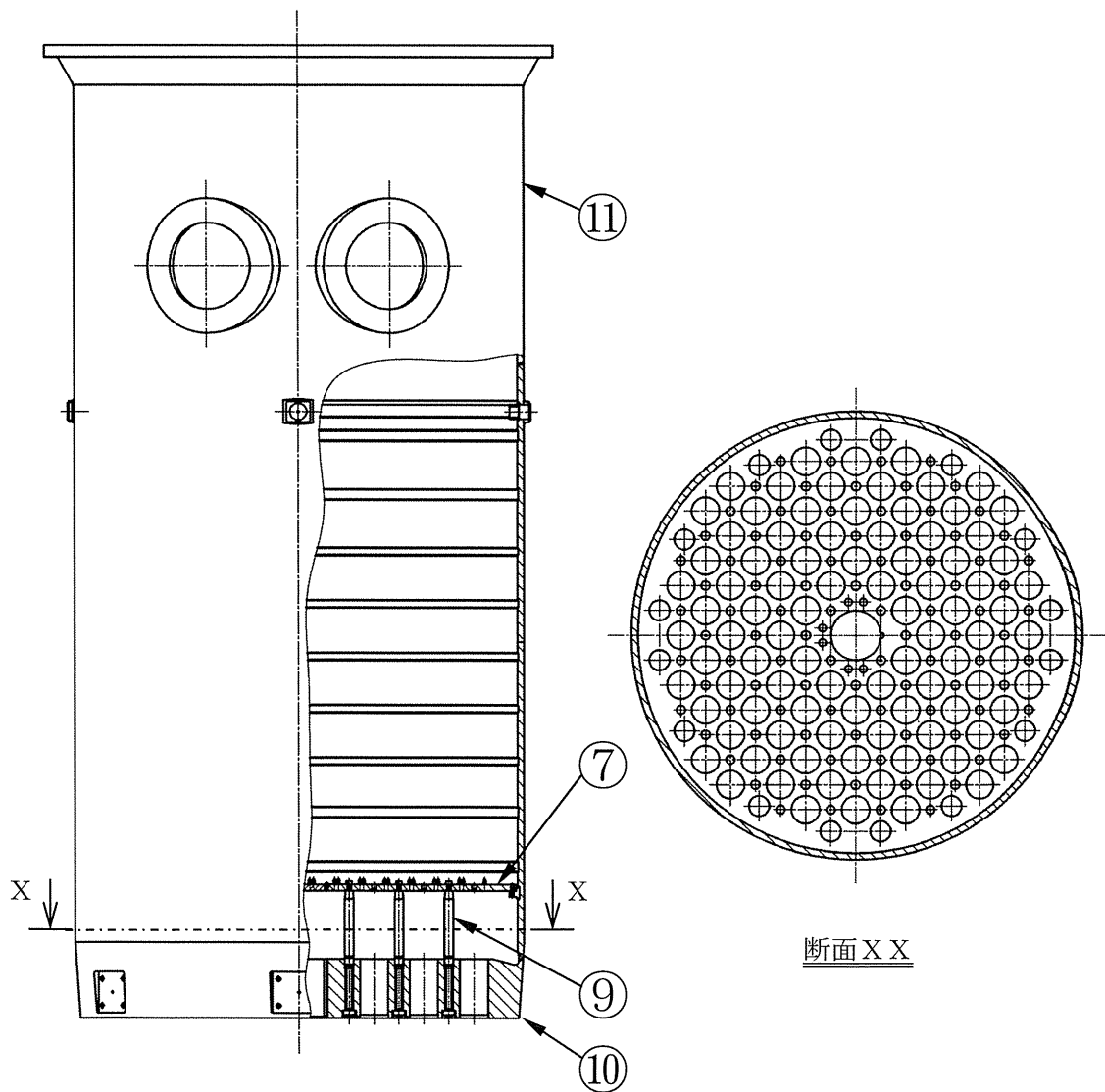
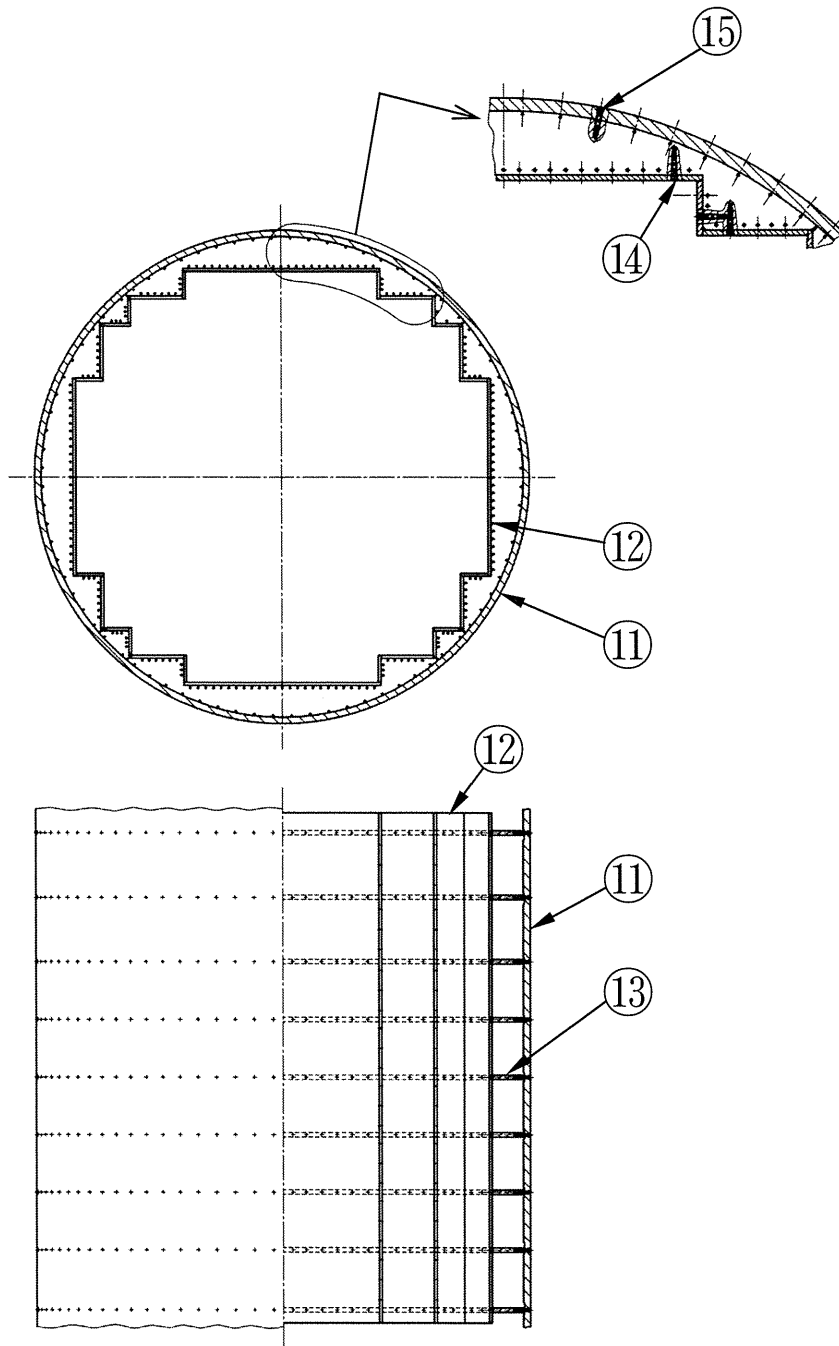


图2.1-1(10/14) 玄海3号炉 炉内构造物 炉心槽组立图



No.	部 位
⑪	炉 心 槽
⑫	炉心バップル
⑬	炉心バップル取付板
⑭	バップルフォーマボルト
⑮	バレルフォーマボルト

図2.1-1(11/14) 玄海3号炉 炉内構造物 炉心バップル組立図

No.	部 位
⑪	炉 心 槽
⑯	熱 遮 蔽 体
⑰	熱 遮 蔽 体 固 定 用 ボ ル ト

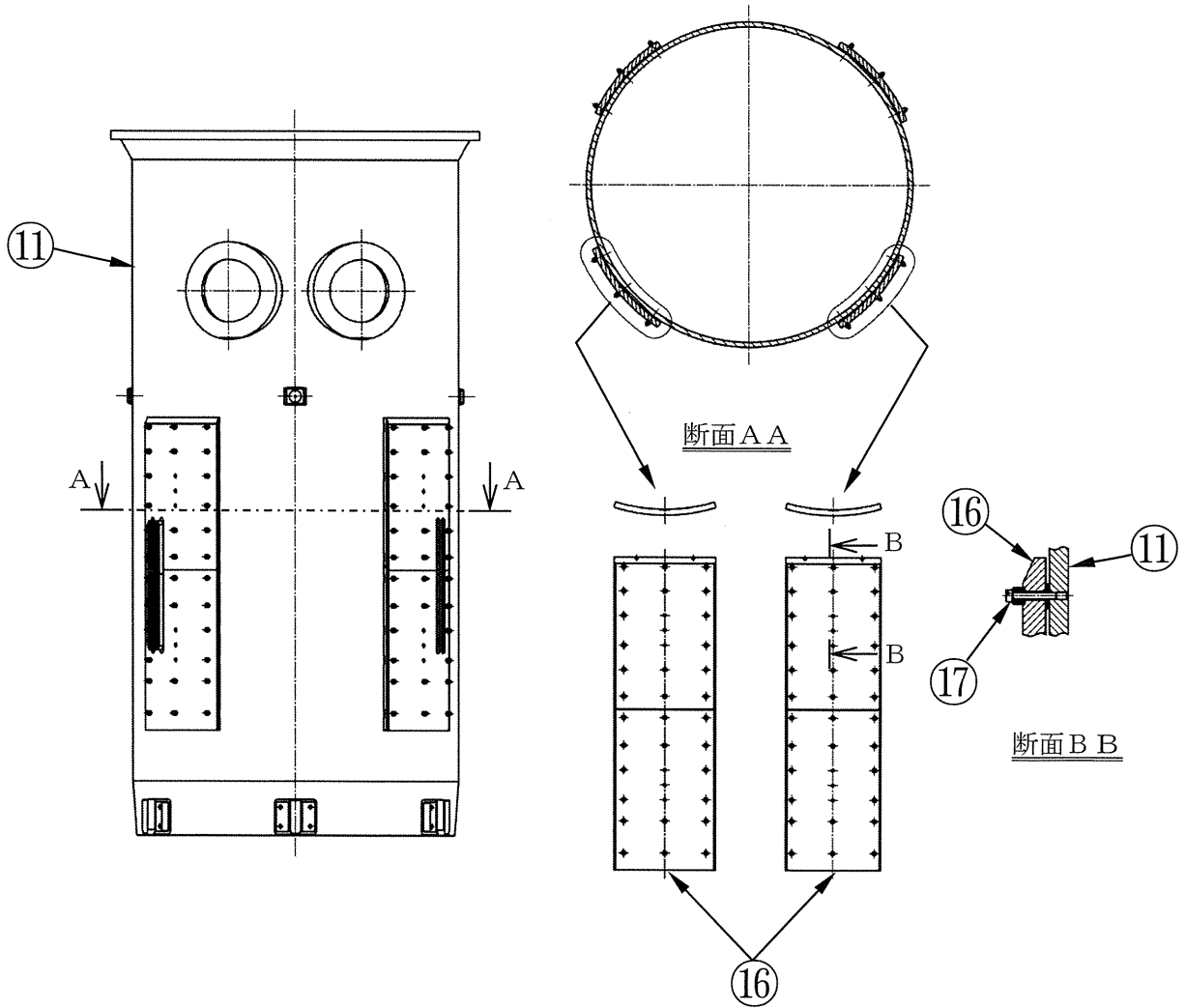
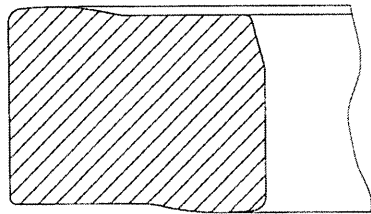
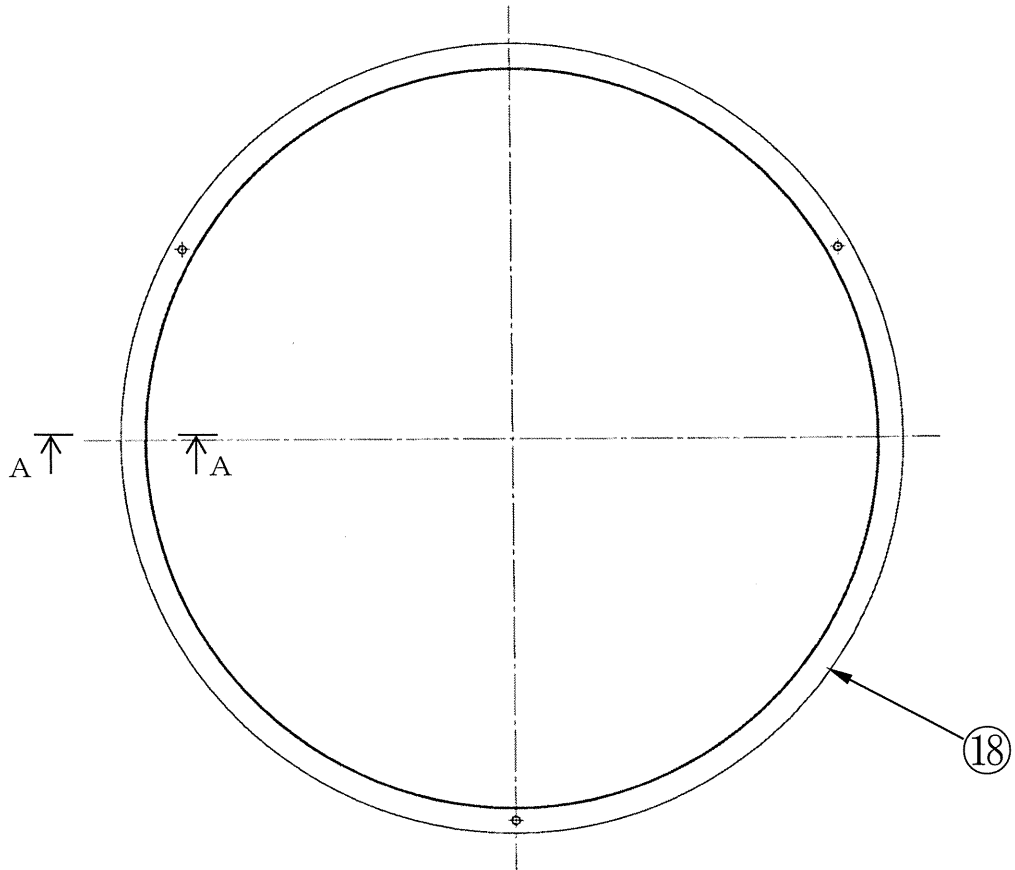


図2.1-1(12/14) 玄海3号炉 炉内構造物 熱遮蔽体組立図



断面AA

No.	部 位
⑱	押えリング

図2.1-1(13/14) 玄海3号炉 炉内構造物 押えリング

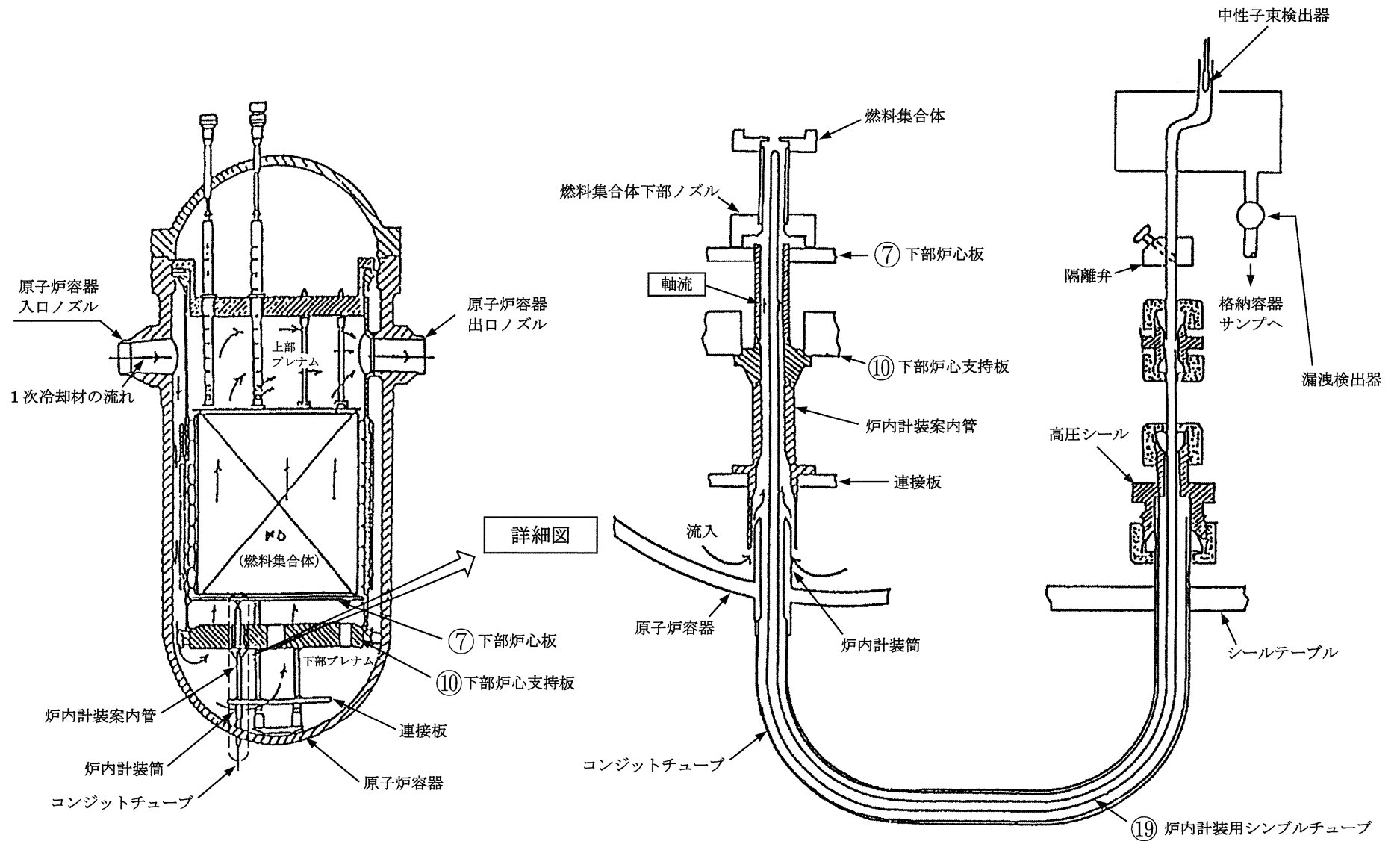


図2.1-1(14/14) 炉内計装用シンプルチューブ概念図

表2.1-1 玄海3号炉 炉内構造物主要部位の使用材料

部 位	材 料
上部炉心板	ステンレス鋼
上部炉心支持柱	ステンレス鋼
上部炉心支持板	ステンレス鋼
下部炉心板	ステンレス鋼
下部炉心支持柱	ステンレス鋼
下部炉心支持板	ステンレス鋼
炉 心 槽	ステンレス鋼
ラジアルキー	ステンレス鋼
上部燃料集合体案内ピン	ステンレス鋼
下部燃料集合体案内ピン	ステンレス鋼
制御棒クラスタ案内管	ステンレス鋼
支持ピン	ニッケル基合金
炉心バッフル	ステンレス鋼
炉心バッフル取付板	ステンレス鋼
バッフルフォーマボルト	ステンレス鋼
バレルフォーマボルト	ステンレス鋼
炉内計装用シンプルチューブ	ステンレス鋼
熱遮蔽体	ステンレス鋼
熱遮蔽体固定用ボルト	ステンレス鋼
押えリング	ステンレス鋼

表2.1-2 玄海3号炉 炉内構造物の使用条件

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

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

炉内構造物の機能である、

- ・ 炉心、すなわち燃料集合体の支持及び位置決め
- ・ 制御棒クラスタの位置決め、案内及び保護
- ・ 1次冷却材の流路形成及び流量の適正配分
- ・ 炉内計装の通路形成、支持及び保護
- ・ 原子炉容器に対する中性子しゃへい

を維持するためには、次の6つの項目が必要である。

- ① 炉心支持及び炉心位置決め部材信頼性の維持
- ② 制御棒クラスタ案内構造信頼性の維持
- ③ 1次冷却材流路形成構成部材信頼性の維持
- ④ 炉内計装案内構造部材信頼性の維持
- ⑤ 中性子しゃへい構造信頼性の維持
- ⑥ 機器の支持構造信頼性の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

炉内構造物について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）及び現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

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

(1) 炉心支持構造物の疲労割れ

プラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材の温度、圧力及び流量変化により疲労が蓄積する可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

(2) ステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れ

仏国における1988年のブジェー（Bugey）発電所2号炉及びその後の類似プラントにおいて確認されたバッフルフォーマボルトの損傷事例及び1998年に米国で確認された同様の事例より、高照射領域にある高応力のステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れの可能性が考えられるため、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

(1) 上部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の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玄海3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、 $6.5 MPa\sqrt{m}$ 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 $51 MPa\sqrt{m}$ 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。

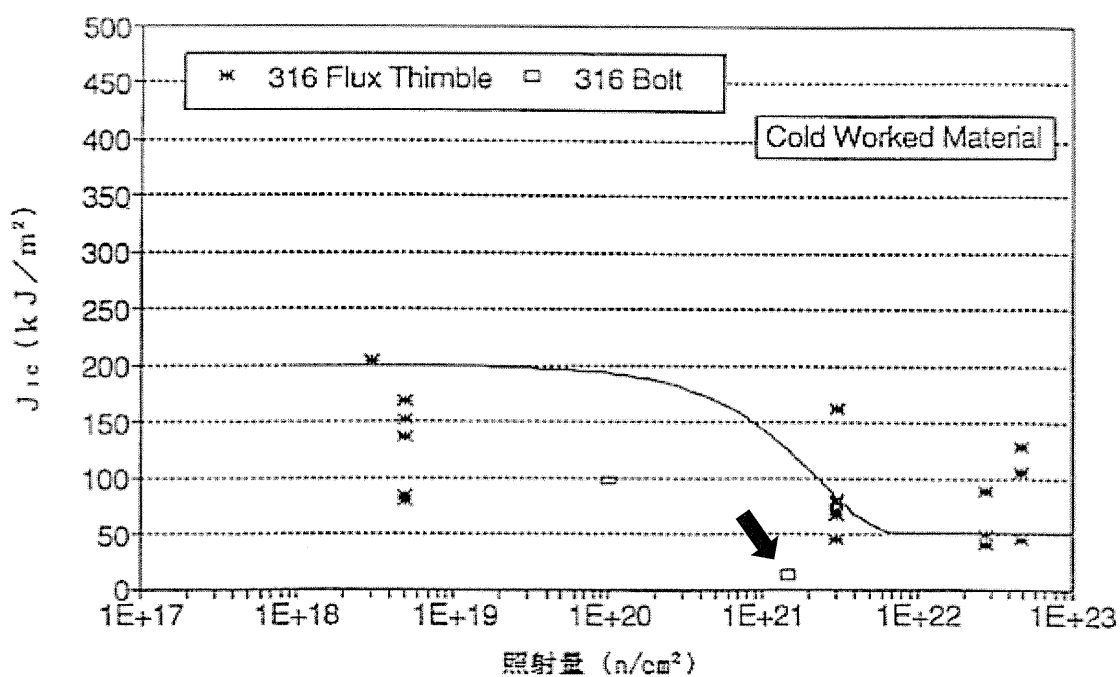


図2.2-1 破壊靱性値 J_{1c} と照射量の関係

[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」]

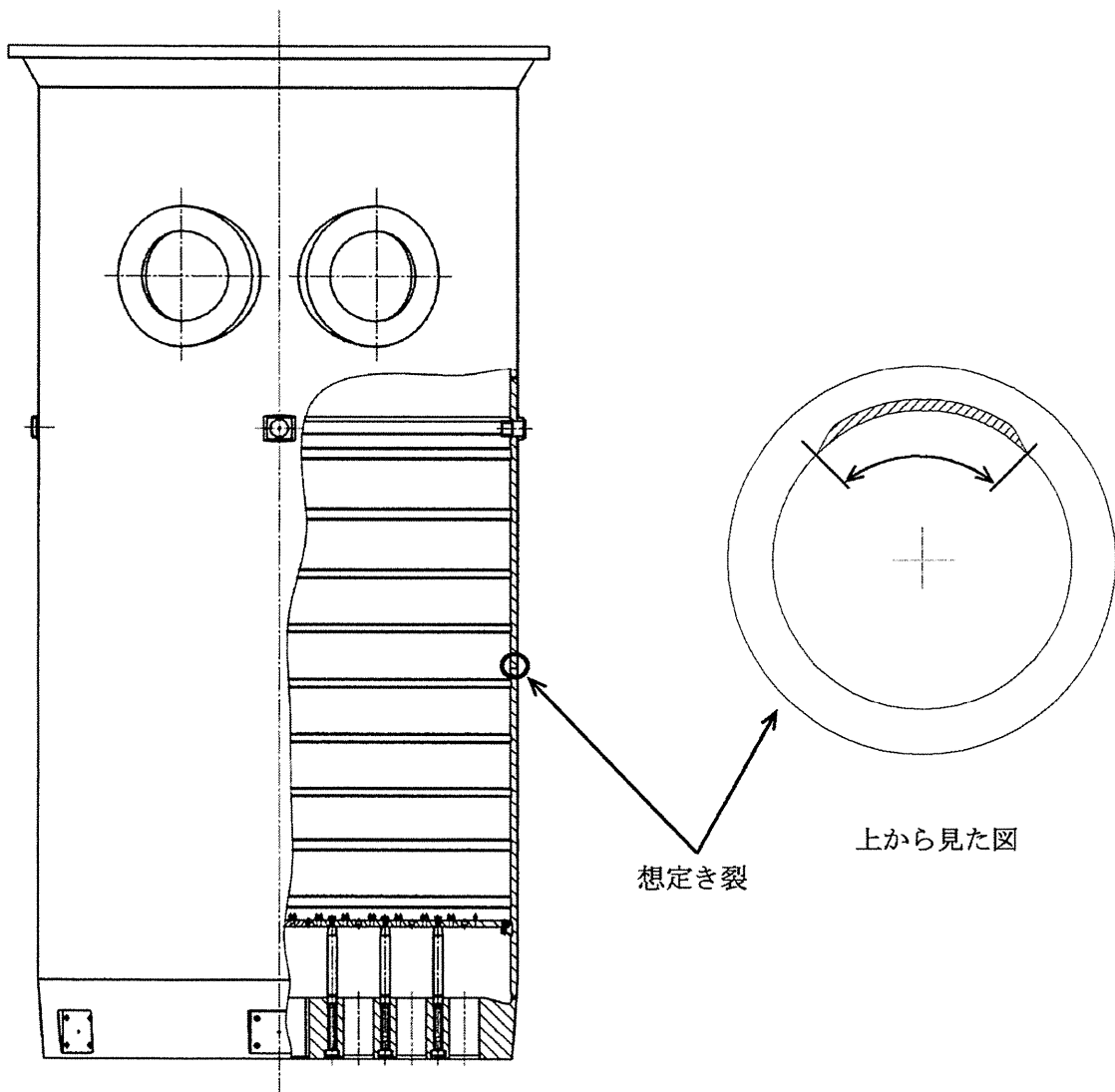


図2.2-2 玄海3号炉 炉心槽ステンレス鋼の中性子照射による靱性低下想定き裂

(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。

玄海3号炉は第16回定期検査時（2021年度～2022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、玄海3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65万時間と評価される。一方、2022年1月時点の運転実績は約15.6万時間である。

以上より、玄海3号炉の制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗が制御棒の案内機能に影響を及ぼす可能性はないと考える。

また、制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗による制御棒の案内機能への影響は、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25万時間での摩耗計測を実施予定である。

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

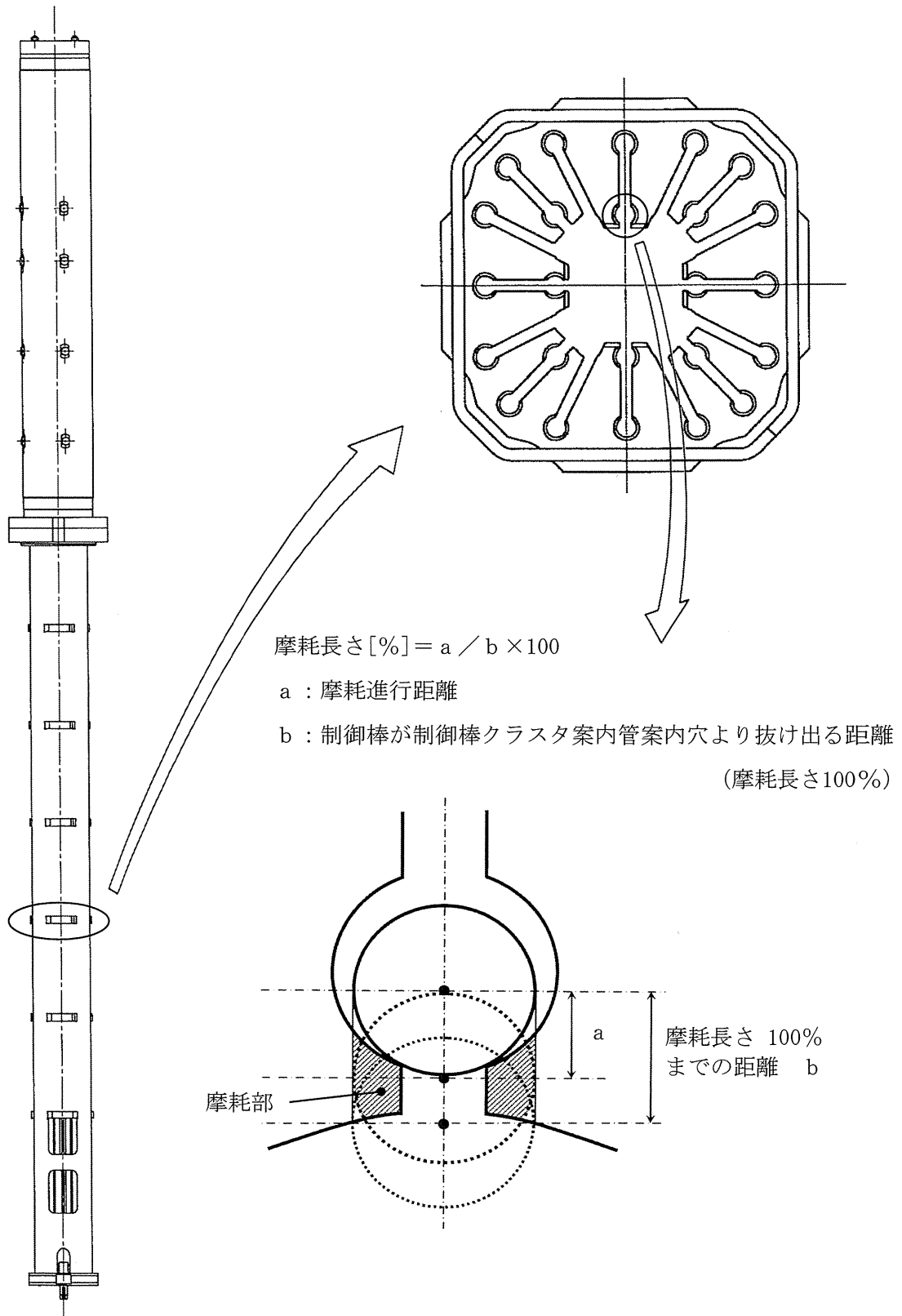


図2.2-3 玄海3号炉 制御棒クラスタ案内管（案内板）摩耗長さ

(5) 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、玄海3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。

(6) 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2.2-4)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することとしている。

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

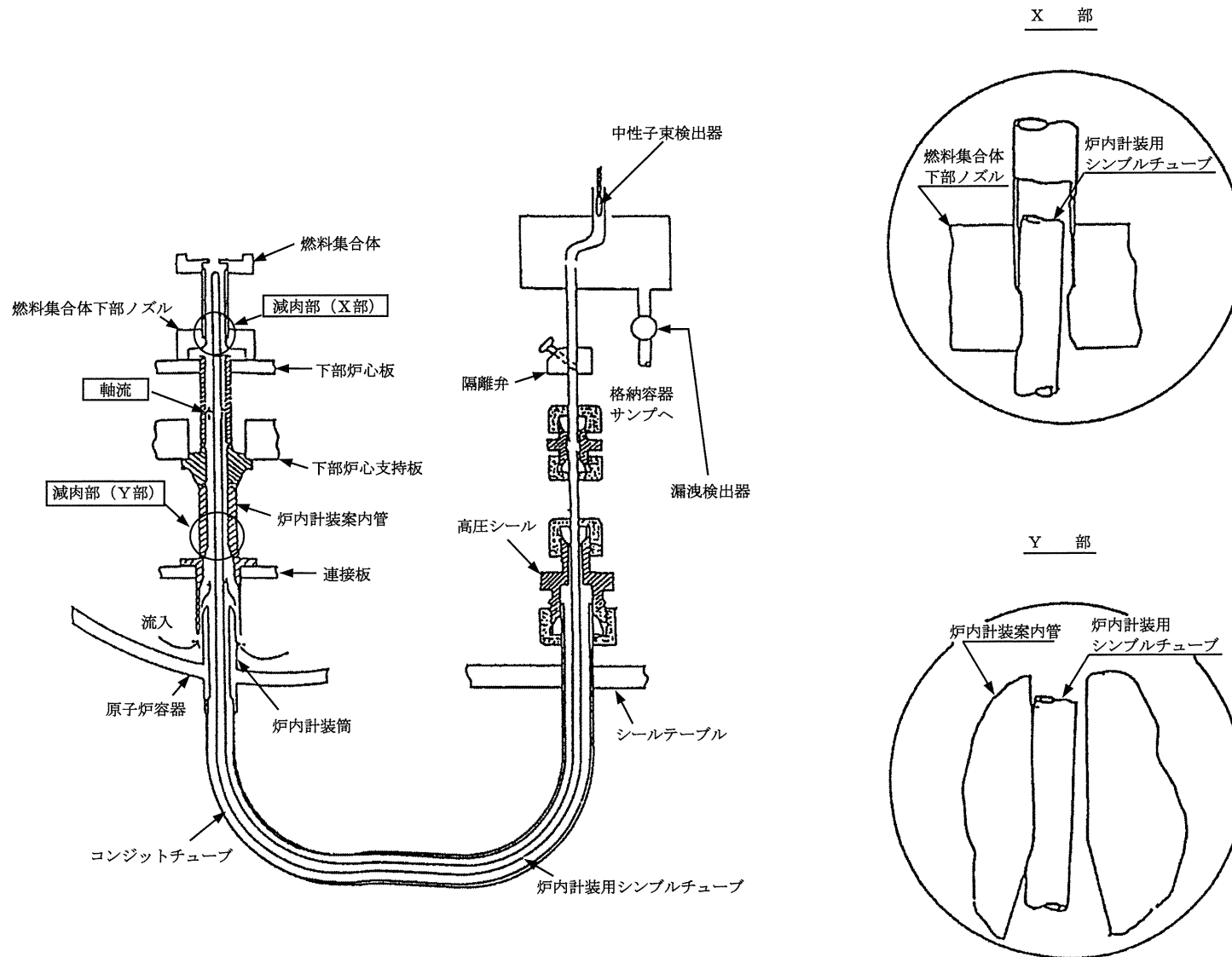


図2.2-4 炉内計装用シンプルチューブ減肉部位及び形状概念図

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。

(7) 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。

(8) 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。

(9) 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 玄海3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
	上部炉心支持柱		ステンレス鋼			○ △ ^{*1}	△				*2：高サイクル熱疲労割れ
	上部炉心支持板		ステンレス鋼			○ △ ^{*2}	△				*3：照射誘起型応力腐食割れ
	下部炉心板		ステンレス鋼			○	○ ^{*3} △				*4：中性子照射による靱性低下
	下部炉心支持柱		ステンレス鋼			○	○ ^{*3} △				*5：照射スウェリング
	下部炉心支持板		ステンレス鋼			○	△				*6：照射クリープ
	炉 心 槽		ステンレス鋼			○ △ ^{*1,2}	○ ^{*3} △		△ ^{*4}	▲ ^{*6}	*7：変形（応力緩和）
	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	炉心バッフル		ステンレス鋼				○ ^{*3} △			▲ ^{*5}	
	炉心バッフル取付板		ステンレス鋼				○ ^{*3} △				
	バッフルフォーマボルト		ステンレス鋼				○ ^{*3} △			▲ ^{*6}	
	パ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	炉内計装用シングルチューブ		ステンレス鋼	△			△				
中性子しゃへい構造信頼性の維持	熱遮蔽体		ステンレス鋼				○ ^{*3} △				
	熱遮蔽体固定用ボルト		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。

疲労評価に用いた推定過渡回数を表2.3-1に示す。なお、2018年度末までの運転実績に基づき推定した2019年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的*に設定した過渡回数とした。

*：評価条件として、2019年度以降の過渡発生頻度は実績の1.5倍以上を想定した。

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。

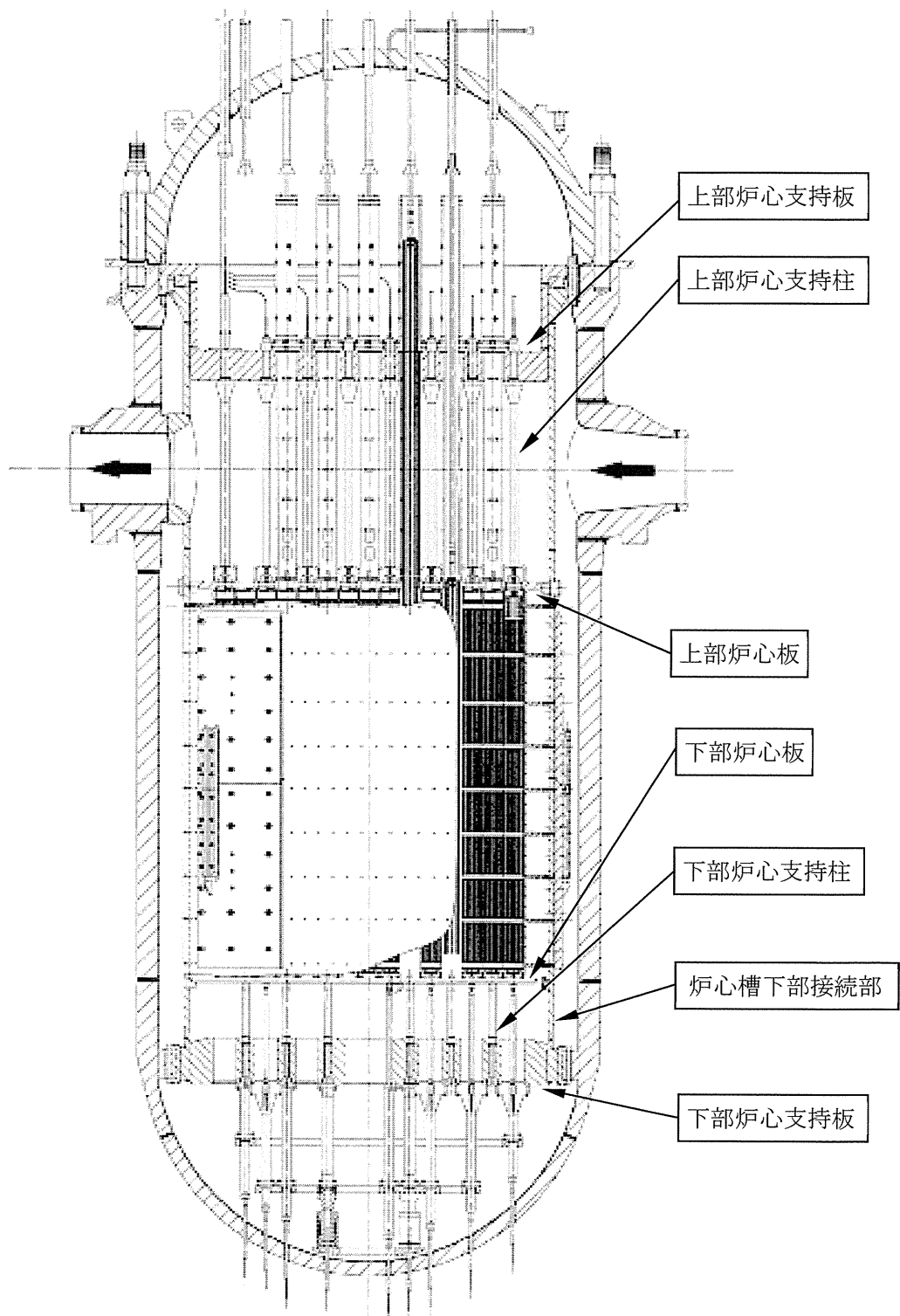


図2.3-1 玄海3号炉 炉心支持構造物の疲労評価対象部位

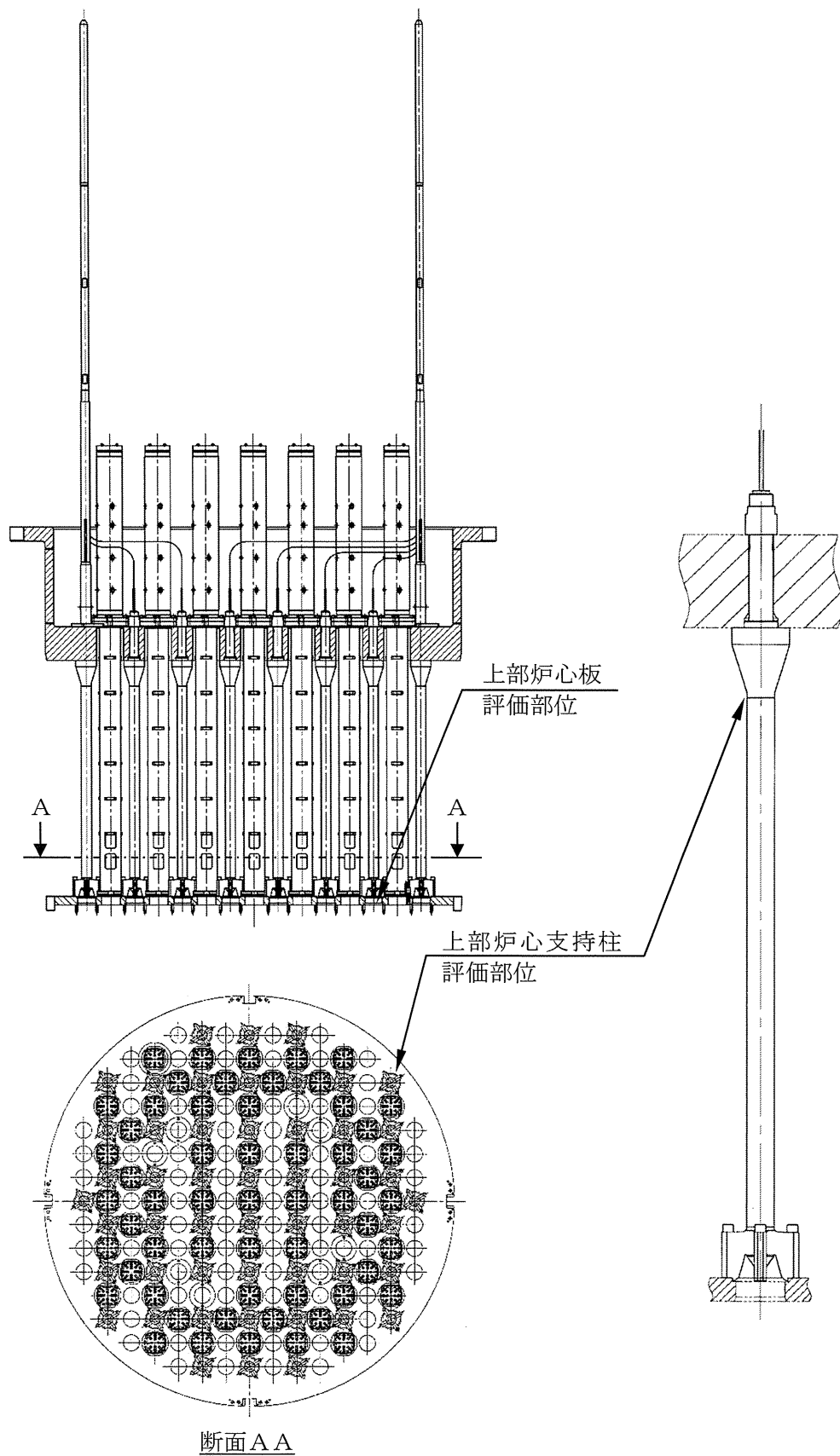


図2.3-2 玄海3号炉 上部炉心支持柱及び上部炉心板疲労評価対象部位

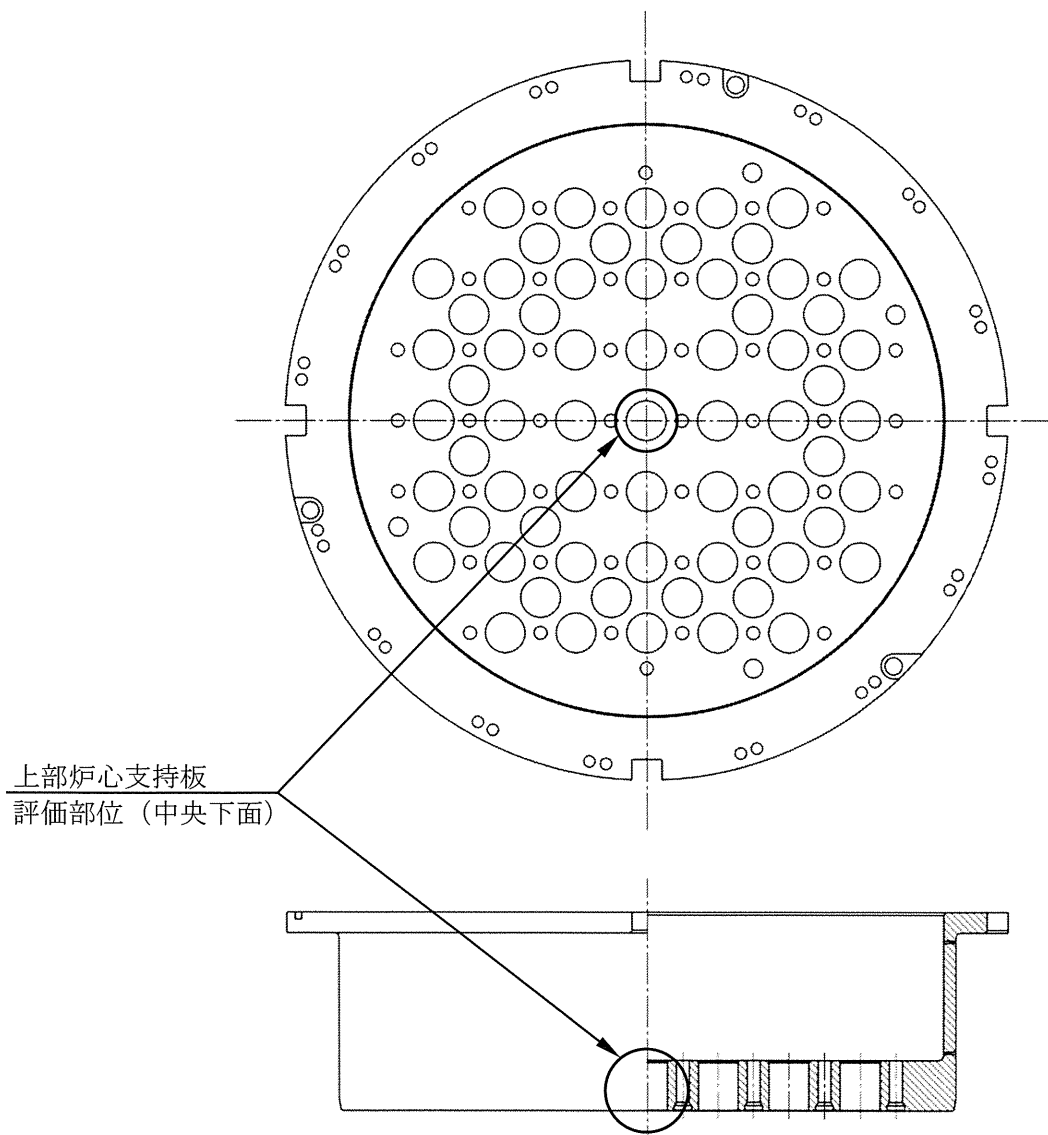


図2.3-3 玄海3号炉 上部炉心支持板の疲労評価対象部位

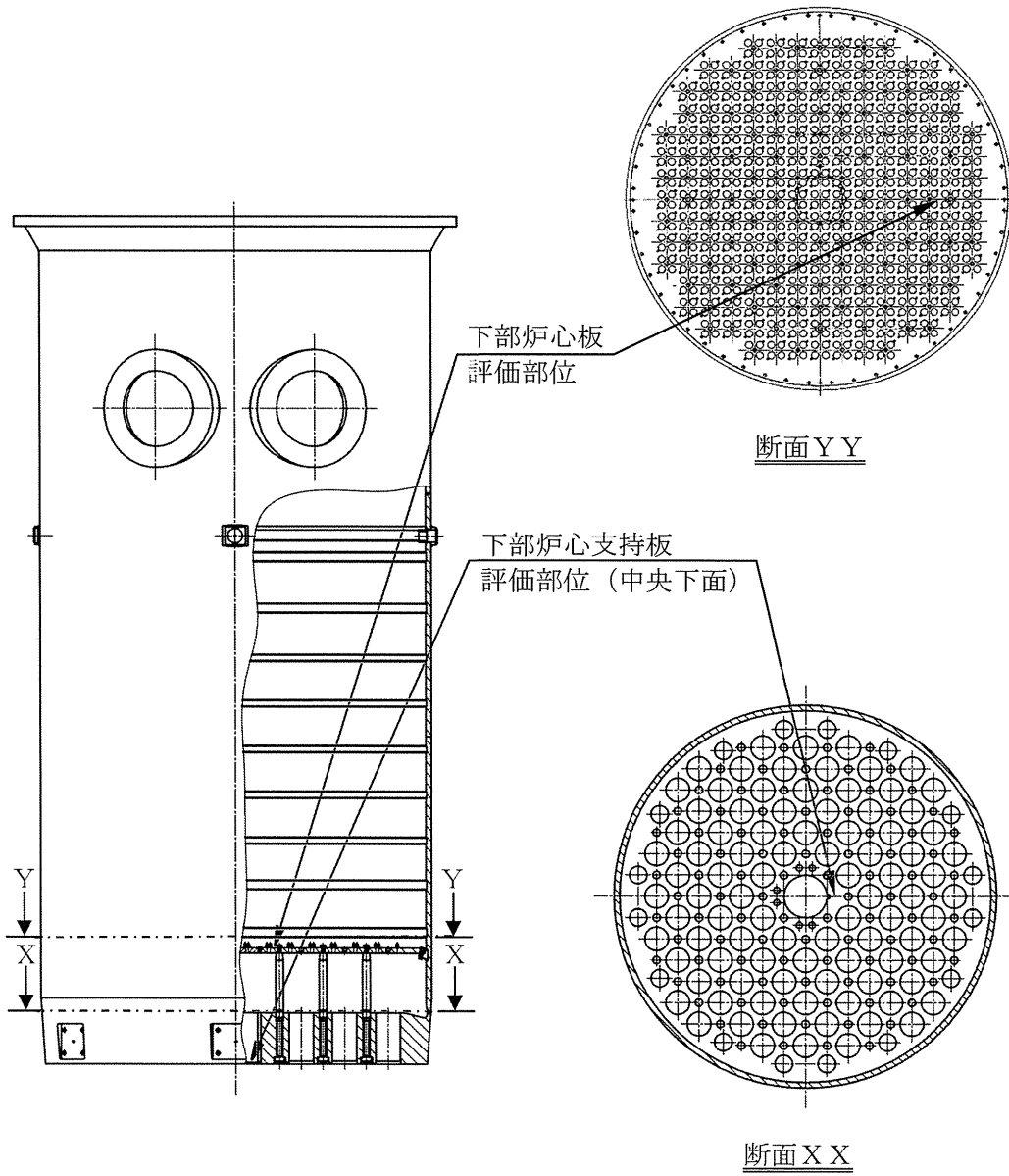


图2.3-4 玄海3号炉 下部炉心支持板及び下部炉心板疲劳評価対象部位

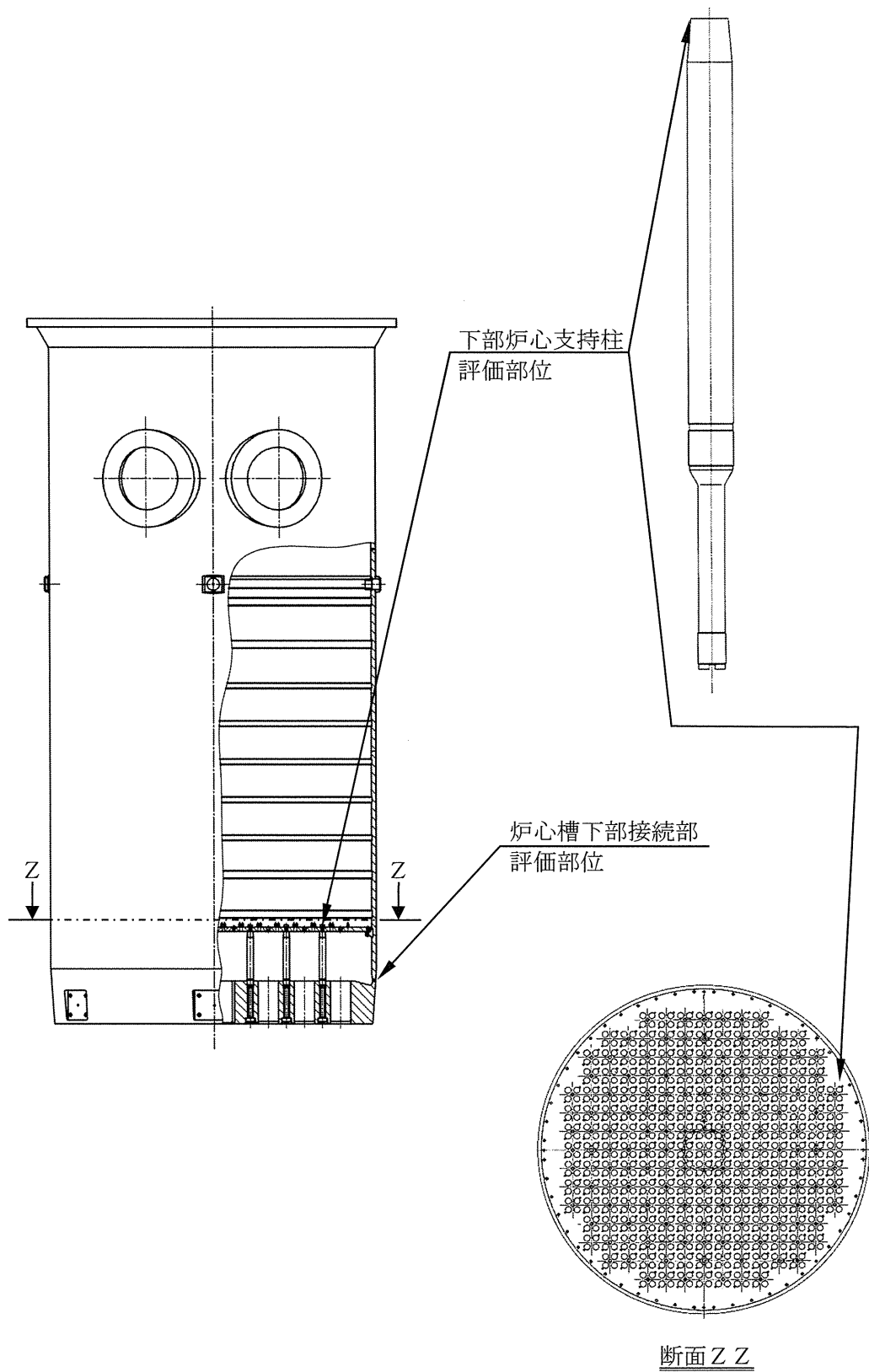


图2.3-5 玄海3号炉 下部炉心支持柱及び炉心槽下部接続部疲労評価対象部位

表2.3-1 玄海3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	
	2019年3月末時点	運転開始後60年 時点での推定値
起動 (温度上昇率55.6℃/h)	23	60
停止 (温度下降率55.6℃/h)	22	60
負荷上昇 (温度上昇率5%/min)	201	884
負荷減少 (温度減少率5%/min)	193	876
90%から100%へのステップ状負荷上昇	2	4
100%から90%へのステップ状負荷減少	2	4
100%からの大きいステップ状負荷減少	1	4
定常負荷運転時の変動*1	—	—
燃料交換	15	68
0%から15%への負荷上昇	24	64
15%から0%への負荷減少	17	57
1 ループ停止 / 1 ループ起動		
I) 停 止	0	2
II) 起 動	0	2

運転状態 II

過 渡 項 目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年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	7
外部電源喪失	1	5
1次冷却材流量の部分喪失	0	2
100%からの原子炉トリップ		
I) 不注意な冷却を伴わないトリップ	1	8
II) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2
III) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	2
1次冷却系の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	3
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	0	2
タービン回転試験	6	6
1次系漏えい試験	21	59

*1: 設計評価においては、1次冷却材温度は高温側±1.4℃、低温側±2.4℃、1次冷却材圧力+0.39MPa、-0.29MPa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 玄海3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	0.004	0.029
上部炉心支持柱	0.001	0.001
上部炉心板	0.001	0.003
下部炉心板	0.001	0.002
下部炉心支持柱	0.003	0.028
下部炉心支持板	0.001	0.007
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 2020 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。また、MOX 燃料装荷時の中性子束は保守的に MOX 燃料装荷前までの実績炉心の中性子束の 1.2 倍として評価している。

これにより、バッフルフォーマボルト、炉心槽及びバレルフォーマボルトについては、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性に対して特に検討を要すると考えられる。

バッフルフォーマボルト、炉心槽及びバレ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。

○ 下部炉心板、熱遮蔽体固定用ボルト

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、熱遮蔽体

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年時点でのボルトの損傷本数は管理損傷ボルト数（全体の20%）以下であり、安全に関わる機能を維持できることから、炉心の健全性に影響を与える可能性は小さいと考える。

バレルフォーマボルト及び炉心槽については、中性子照射量、応力の観点及び初期型2ループプラントの応力履歴により、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性を評価した。

バレルフォーマボルト及び炉心槽の運転開始後60年時点の中性子照射量は、バツルフォーマボルトが照射誘起型応力腐食割れの発生により損傷する可能性がある中性子照射量を下回っている。

バレルフォーマボルトの応力については、玄海3号炉のバレルフォーマボルトは初期型2ループプラントに比べ長尺化、首下形状変更による応力改善が行われており、応力は初期型2ループプラントに比べ小さい。

炉心槽の応力については、溶接部に初期型2ループプラントと同程度の残留応力が発生するが、初期型2ループプラントと同様の傾向を示すと考えられる。

また、初期型2ループプラントのバレルフォーマボルト及び炉心槽の応力履歴は、シンプルチューブ材のIASCC発生しきい線を超えていない。

したがって、バレルフォーマボルト及び炉心槽においての照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さいと考えられる。

表2.3-3(1/2) 玄海3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]		
バップルフォーマボルト	約1×10 ²³	大 〔縮付+熱曲げ〕 +照射スウェリング〕	約325	有	発生の可能性有り。炉心バップ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。
炉心バップル	約1×10 ²³	小 (熱応力)	約325	無	バップルフォーマボルトよりも応力レベルが小さいため、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。
炉心バップル取付板	約1×10 ²³	小 (熱応力)	約325	無	バップルフォーマボルトよりも応力レベルが小さいため、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。
バレルフォーマボルト	約1×10 ²²	大 (縮付+熱曲げ)	約325	無	応力レベルは大きいですが、バップルフォーマボルトよりも中性子照射量が小さいため、バップ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2×10 ²²	大*3 (溶接部) (溶接残留応力)	約325	無	溶接残留応力が存在し応力レベルは大きいですが、バップルフォーマボルトよりも中性子照射量が小さいため、バップ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2×10 ²¹	小 (縮付け)	約325	無	バップ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、バップ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2×10 ²¹	小 (熱応力)	約325	無	バップ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体固定用ボルトは、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体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ですが、(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) 玄海3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1×10 ²²	小 (締付け)	約289	無	バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量、応力レベル及び温度が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
下部炉心板	約1×10 ²²	大 (熱応力)	約289	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及び温度が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
下部炉心支持柱	約5×10 ²¹	中 (曲げ)	約289	無	バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量、応力レベル及び温度が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
熱遮蔽体	約7×10 ²¹	小 (熱応力)	約289	無	バッフルフォーマボルトよりも中性子照射量、応力レベル及び温度が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。
熱遮蔽体固定用ボルト	約7×10 ²¹	大 (締付+熱曲げ)	約289	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及び温度が小さいため、バッフルフォーマボルトに比べて発生の可能性は小さい。

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

*2：応力レベルは各部位の最大応力値を示す

応力レベル 大：> S_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体固定用ボルトは、初期締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体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

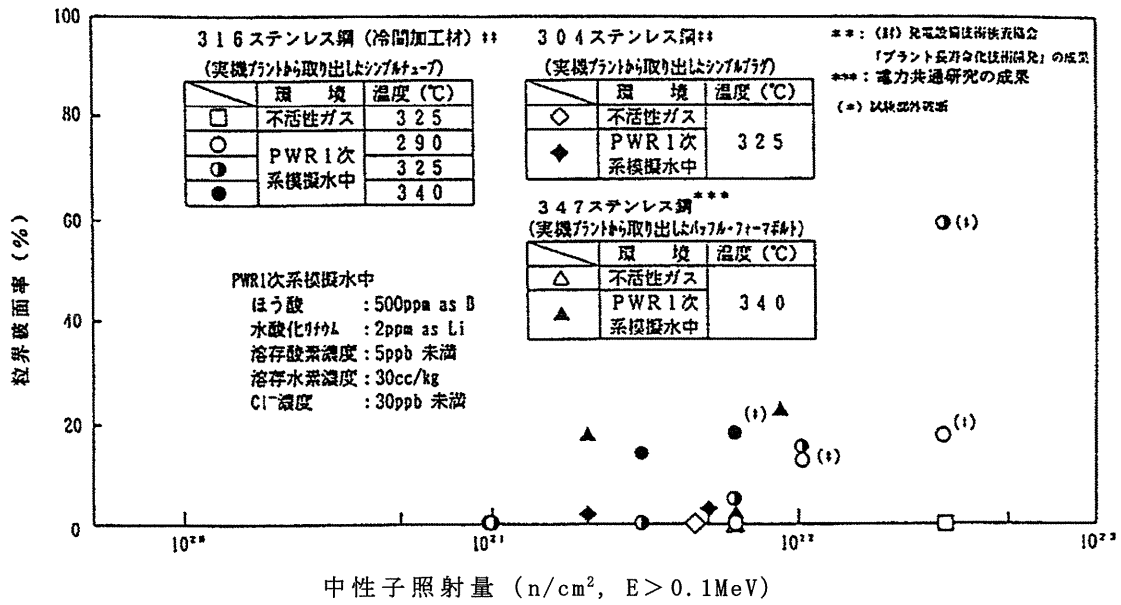


図2.3-6 粒界破面率と照射量の関係

[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」]

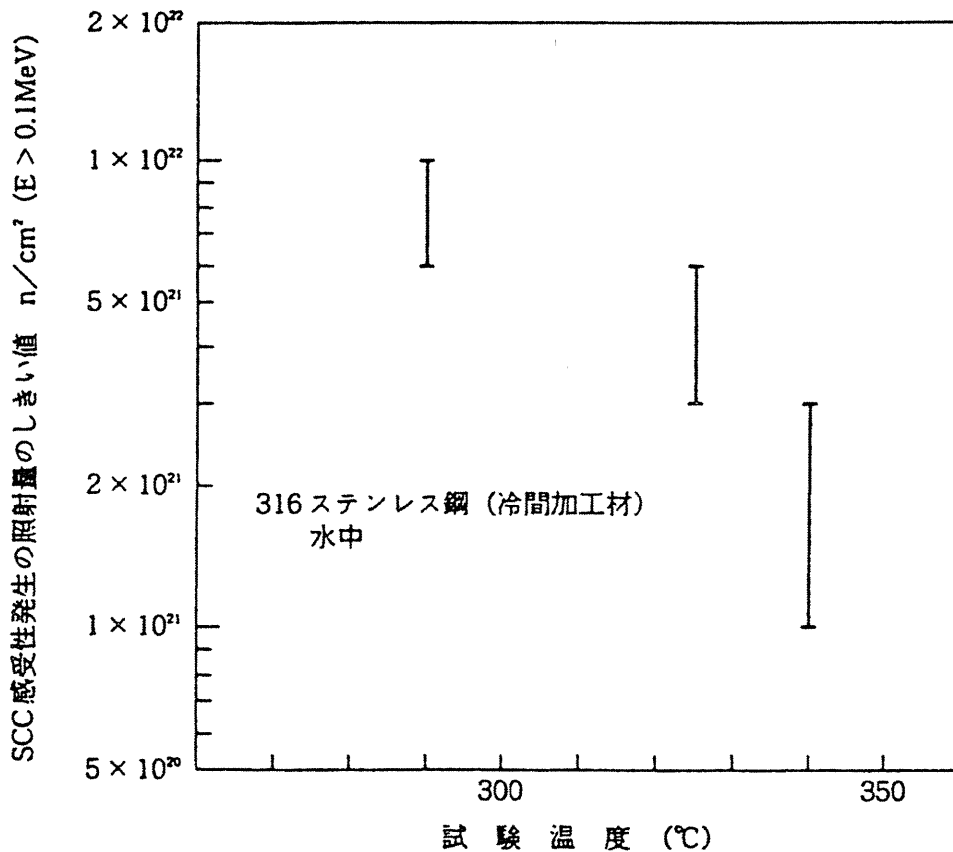


図2.3-7 応力腐食割れ (SCC) 感受性発生の中性子照射量のしきい値と試験温度の関係

[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」]

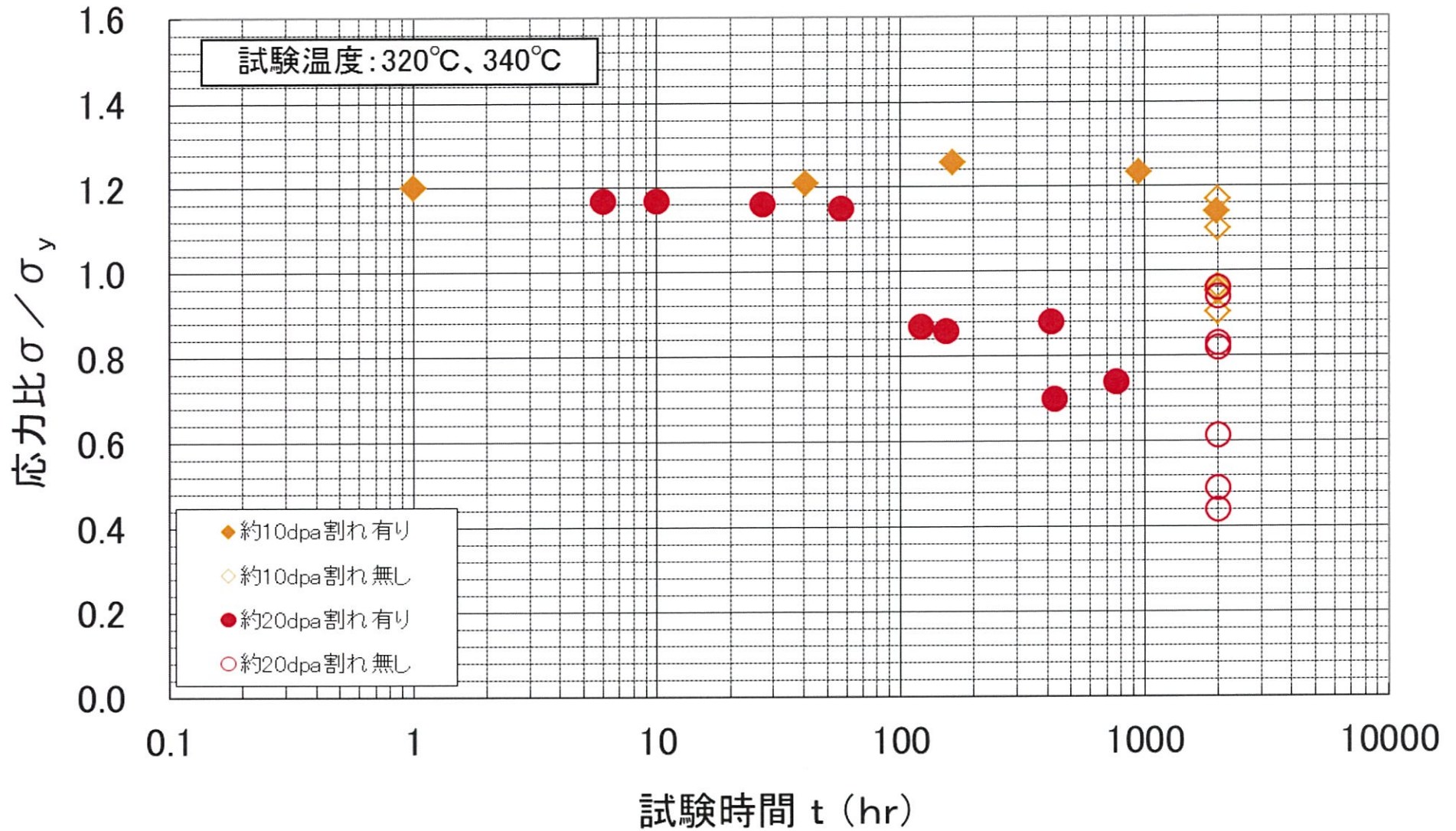


図2.3-8 定荷重応力腐食割れ試験結果 (316ステンレス鋼 (冷間加工材)、 $>1.5 \times 10^{22}$ n/cm²)

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

(バッフルフォーマボルトデータのみプロット)]

② 現状保全

炉内構造物のステンレス鋼の照射誘起型応力腐食割れについては、定期的に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、照射誘起型応力腐食割れの発生が否定できないと考えられる。

ただし、「(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。なお、「(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。

上記を踏まえ、(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年時点でのボルトの損傷本数は管理損傷ボルト数(全体の20%)以下であり、安全に関わる機能を維持できることから、炉心の健全性に影響を与える可能性は小さいと考える。

バッフルフォーマボルト以外の部位については、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。

玄海原子力発電所3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

玄海3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、玄海1号炉、2号炉、3号炉及び4号炉の共用設備のうち1号炉、2号炉及び4号炉で設置されているケーブルについては、「玄海原子力発電所3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) 玄海 3 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	架橋ポリエチレン	難燃高圧 CSHV 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	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	FPTF ケーブル	制御・計装		○	MS-1	○		TFEP 樹脂*7	◎	
同 軸	架橋ポリエチレン	難燃三重同軸ケーブル 1	計 装	○*3,4	○	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	○		MS-1 重*9	○		内部：架橋ポリエチレン 外部：ETF E樹脂*8		

*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：TFEP 樹脂：四フッ化エチレン・プロピレン共重合樹脂

*8：ETF E樹脂：四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂

*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) 玄海 3 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：特殊耐熱ビニル 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 に示す玄海 3 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 S H V 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ル
- (2) 難燃 P H 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ル
- (3) 難燃 S H V V 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ル
- (4) F P T F 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

S H V : 特殊耐熱ビニル

P : エチレンプロピレンゴム

F P : 四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂

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、(3) 難燃 S H V V ケーブル=難燃 S H V S H V 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 S H V V 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CSHV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

玄海3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 玄海3号炉 高压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	
難燃高压CSHV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

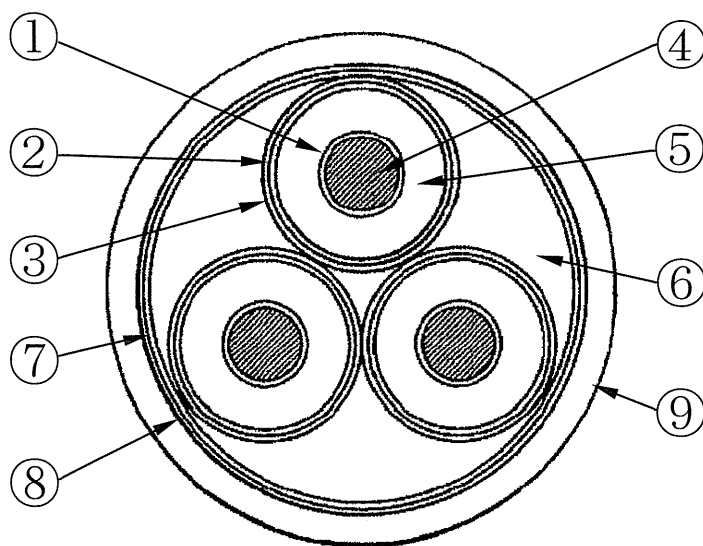
(1) 構造

玄海3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。

玄海3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

玄海3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 玄海3号炉 難燃高圧C SHVケーブル構造図

表2.1-1 玄海3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	ポリエステル不織布、カーボン含有架橋ポリエチレン
外部半導電層	ポリエステル不織布、カーボン含有架橋ポリエチレン
遮へい層	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
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 玄海3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℃*1
放 射 線	$0.072 \times 10^{-3} \text{Gy/h}^{*2}$

*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実測値（複数の実測値のうち最大のもの）

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。

また、機器点検時の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。

表2.2-1 玄海3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		ポリエステル不織布、カーボン含有架橋ポリエチレン						*1：水トリー劣化を含む *2：劣化
	外部半導電層		ポリエステル不織布、カーボン含有架橋ポリエチレン						
	遮へい層		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						
	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

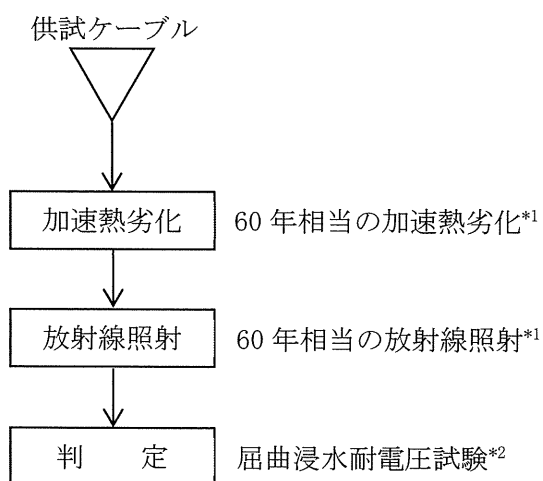
ケーブルの長期間の経年劣化を考慮した必要性能の評価方法は、IEEE Std. 323-1974「IEEE Standard for Qualifying Class IE Equipment for Nuclear Power Generating Stations」及び383-1974「IEEE Standard for Type Test of Class IE Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations」の規格を根幹に、我が国のケーブル耐環境試験方法推奨案として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CSHV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、玄海3号炉の実機環境に基づいて60年間の運転期間を想定した劣化条件を包絡している。

難燃高圧CSHVケーブルの長期健全性試験条件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、玄海3号炉の難燃高圧CSHVケーブルは、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。



*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 S H Vケーブルの長期健全性試験条件

	試験条件	60年間の通常運転時の 使用条件に基づく劣化条件
温 度	120℃-18日	96℃-18日 (=60℃*1-60年)
放 射 線 (集積線量)	500kGy (2.62kGy/h)	37.9Gy*2

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度（約40℃）に通電による温度上昇と余裕を加えた温度

*2：通常運転時の原子炉格納容器外の実測値（複数の実測値のうち最大のもの）から算出した集積線量 $(0.072 \times 10^{-3} [\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 37.9\text{Gy})$

[出典（試験条件）：メーカーデータ]

表2.3-2 難燃高圧C S H Vケーブルの長期健全性試験結果

項 目	試 験 条 件	判 定
屈 曲 浸 水 耐 電 圧 試 験	供試体外径 : 59mm マンドレル径 : 1,100mm 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、絶縁抵抗測定及びケーブル絶縁診断で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

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

玄海3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を目視確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、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 S H V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、絶縁抵抗測定及びケーブル絶縁診断で検知可能であり、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 S H Vケーブル（製造メーカーが異なる難燃高圧C S H 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及びケーブル絶縁診断により、管理範囲に収まっていることを確認している。

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。

また、機器点検時の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。

2 低圧ケーブル

[対象機器]

- ① 難燃PHケーブル
- ② 難燃SHVVケーブル
- ③ 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	7
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	12
3. 代表機器以外への展開	27
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	27
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	28

1. 対象機器及び代表機器の選定

玄海3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3つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 絶縁体材料：難燃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。

(2) 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。

(3) 絶縁体材料：四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂

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

表1-1 玄海3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										
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*7	○	○	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*7	○	○	難燃低塩酸特殊耐熱ビニル	◎	
FEP樹脂*5	FPTFケーブル	制御・計装		○	MS-1	○		TFE樹脂*6	◎	

*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：TFE樹脂：四フッ化エチレン・プロピレン共重合樹脂

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

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の3種類のケーブルについて技術評価を実施する。

- ① 難燃PHケーブル
- ② 難燃SHVVケーブル
- ③ FPTFケーブル

2.1 構造、材料及び使用条件

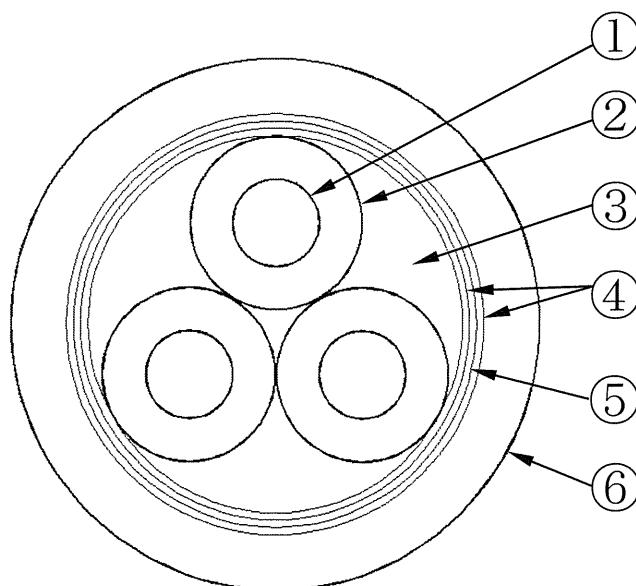
(1) 構造

玄海3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。

玄海3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

玄海3号炉の難燃PHケーブル、難燃SHVVケーブル及びFPTFケーブルの使用材料及び使用条件を表2.1-1～表2.1-6に示す。



No.	部 位
①	導 体
②	絶 縁 体
③	介 在
④	テ ー プ
⑤	遮へい層
⑥	シ ー ス

図2.1-1 玄海3号炉 代表的な低圧ケーブル構造図

表2.1-1 玄海3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2.1-2 玄海3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144℃*4 (最高温度)	約144℃*4 (最高温度)
圧 力	約0.0098MPa[gage] 以下	約0.392MPa[gage]*4 (最高圧力)	約0.444MPa[gage]*4 (最高圧力)
放 射 線	0.3Gy/h*3	824kGy*5 (最大集積線量)	500kGy*4 (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ケーブル布設エリアの周囲温度実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）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ケーブル布設エリアの周囲線量率実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた線量率

*4：新規制基準への適合性確認のための工事計画認可申請書「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」記載値

*5：IEEEに記載された、典型的なPWRプラントにおける事故時照射量を基に、玄海3号炉の原子炉出力及び原子炉格納容器自由体積から算出した値

表2.1-3 玄海3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2.1-4 玄海3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	$0.072 \times 10^{-3} \text{Gy/h}^{*2}$	$0.15 \times 10^{-3} \text{Gy/h}^{*3}$

*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実測値（複数の実測値のうち最大のもの）

*3：新規制基準への適合性確認のための工事計画認可申請書「安全設備及び重大事故等
 対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」記載値

表2.1-5 玄海3号炉 F P T F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	プラスチックテープ
遮へい層	銅線編組（錫メッキ）
シ ー ス	四フッ化エチレン・プロピレン共重合樹脂

表2.1-6 玄海3号炉 F P T F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24℃*2

*1：中央制御室、リレー室でのみ使用

*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2.2-3に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1～表2.2-3で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 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2.2-3で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 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。

また、系統機器の動作確認又は絶縁抵抗測定により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、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 玄海3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2.2-2 玄海3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2.2-3 玄海3号炉 F P T F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		プラスチックテープ						
	遮へい層		銅線編組（錫メッキ）						
	シ ー ス		四フッ化エチレン・プロピレン共重合樹脂					△*1	

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 絶縁体の絶縁低下 [共通]

a. 事象の説明

絶縁体は有機物であり、熱的、電氣的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。

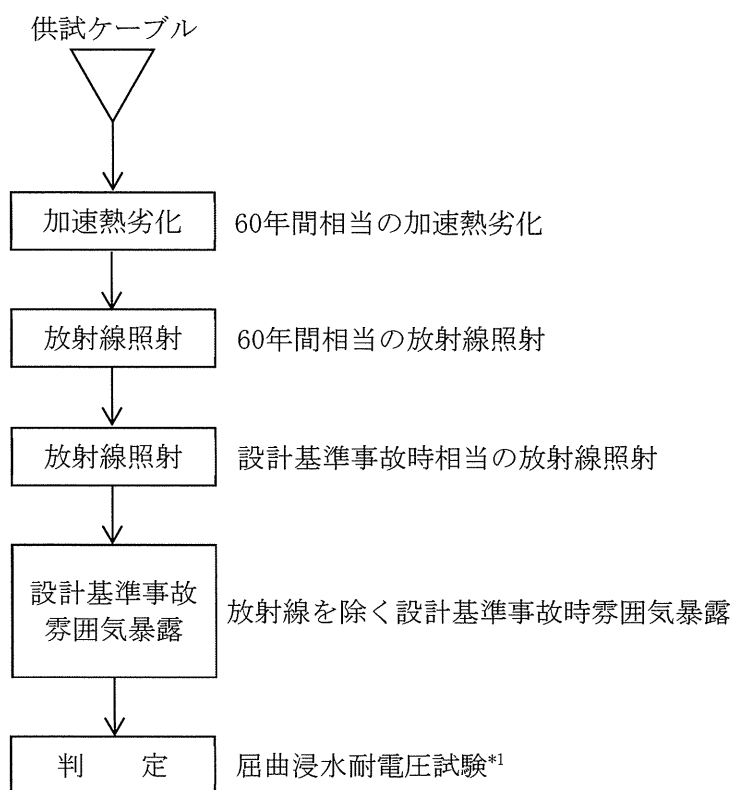
設計基準事故時雰囲気内で機能要求がある難燃PHケーブルの電気学会推奨案に基づく試験手順及び判定方法を図2.3-1に示す。

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

難燃PHケーブルの長期健全性試験条件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。

試験条件は、玄海3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、玄海3号炉の難燃PHケーブルは、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。



*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 難燃PHケーブルの長期健全性試験手順

表2.3-1 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	111℃-9日 (=56℃*2-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (7.3kGy/h)	158kGy*3
設計基準 事故相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (7.3kGy/h)	824kGy
	温度	最高温度：190℃	最高温度：約144℃
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]	最高圧力：約0.392MPa[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：通常運転時の原子炉格納容器内難燃PHケーブル布設エリア（通電による温度上昇を考慮するケーブルトレイ部）の周囲温度実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた温度（約38℃）に通電による温度上昇と余裕を加えた温度

*3：通常運転時の原子炉格納容器内難燃PHケーブル布設エリアの周囲線量率実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた線量率から算出した集積線量 $(0.3[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60[\text{y}] = 158\text{kGy})$

[出典（試験条件）：九州電力研究データ]

表2.3-2 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

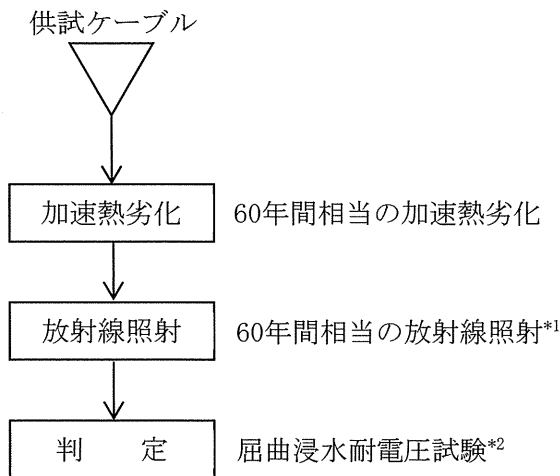
[出典：九州電力研究データ]

次に、難燃SHVVケーブル及びFPTF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FPTF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FPTF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2.3-3～表2.3-6に示す。

試験条件は、玄海3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、玄海3号炉の難燃SHVVケーブル及びFPTF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：FPTFケーブルは中央制御室及びリレー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、FPTFケーブルの長期健全性試験手順

表2.3-3 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	128℃-14日 (=65℃*1-60年)
放 射 線 (集積線量)	500kGy (9.51kGy/h)	37.9Gy*2

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度（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

*2：通常運転時の原子炉格納容器外の実測値（複数の実測値のうち最大のもの）から算
出した集積線量 $(0.072 \times 10^{-3} [\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 37.9\text{Gy})$

[出典（試験条件）：メーカーデータ]

表2.3-4 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2.3-5 F P T F 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	200℃-56日	188℃-56日 (=30℃*1-60年)

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度（約24℃）に余裕を加えた温度として設定

[出典（試験条件）：九州電力研究データ]

表2.3-6 F P T F 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 : 18.0mm マンドレル径 : 360mm 絶縁厚さ : 0.25mm 課電電圧 : 0.96kV/5分間	良

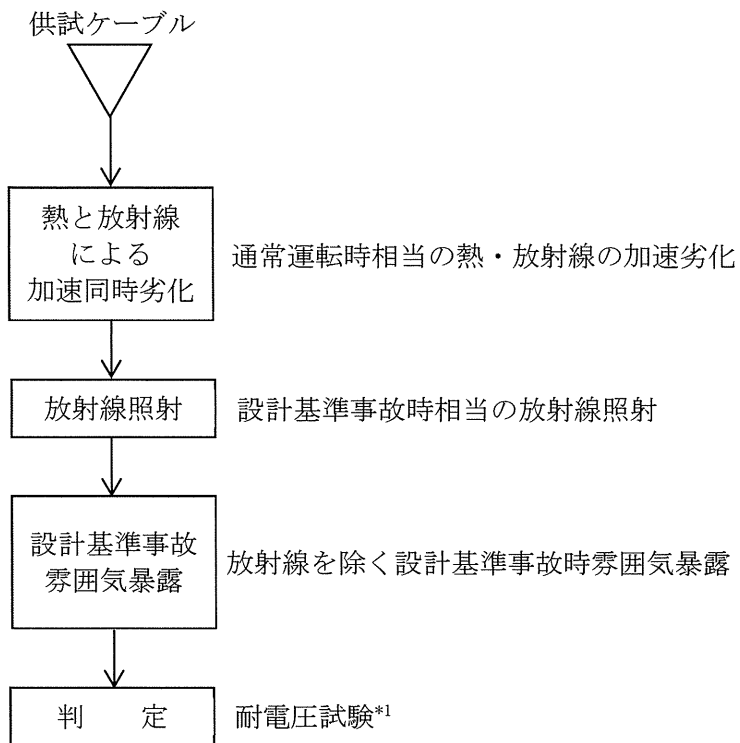
[出典：九州電力研究データ]

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を図2.3-3にACA試験条件並びにACA試験結果を表2.3-7及び表2.3-8にACAガイドに基づく実布設環境での長期健全性評価結果を表2.3-9に示す。

ACAガイドに基づく評価の結果、玄海3号炉のループ室内以外に布設されている難燃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が、ループ室内に布設されている難燃PHケーブルについては60年間の供用を想定すると絶縁低下の可能性は否定できないが、評価期間に至る前に取替等の措置を講じることで、絶縁体の絶縁低下により、機器の健全性に影響を与えるものは無いと考える。



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

図2.3-3 難燃PHケーブルのACAガイドに基づく試験手順

表2.3-7 難燃PHケーブルのACA試験条件

		試験条件
通常運転相当	温度放射線	100℃-94.8Gy/h-4,003h
設計基準事故相当	放射線(集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)
	温度	最高温度：190℃
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]

[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2.3-8 難燃PHケーブルのACA試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	課電電圧：1,500V/1分間	良

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

表2.3-9 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		使用ケーブル	評価期間 [年]*1	備考
	温度 [℃]	放射線量率 [Gy/h]			
ループ室	45	0.3	難燃PHケーブル	48*2	
加圧器上部	45	5×10 ⁻³	難燃PHケーブル	129*2	
通路部	45	5×10 ⁻³	難燃PHケーブル	129*2	
通路部ケーブルトレイ内	56*3	1×10 ⁻³	難燃PHケーブル	64*2	
主蒸気管室	50	—	難燃PHケーブル	102*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

*3：通常運転時の原子炉格納容器内難燃PHケーブル布設エリア（ケーブルトレイ部）の周囲温度実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた温度（約38℃）に通電による温度上昇と余裕を加えた温度

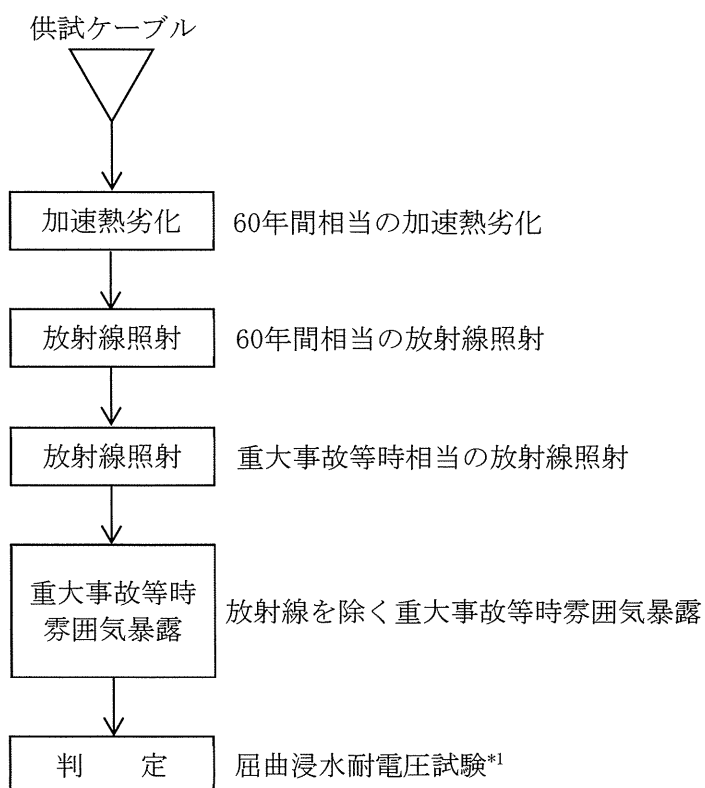
さらに、重大事故等時雰囲気内で機能要求がある難燃PHケーブル及び難燃SHVVケーブルについては、重大事故等時雰囲気内での健全性をあわせて評価した。

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2.3-10～表2.3-13に示す。

試験条件は、玄海3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。

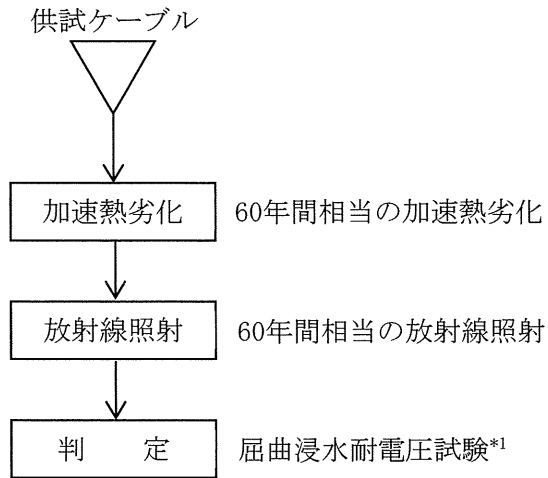
評価の結果、玄海3号炉の難燃PHケーブル及び難燃SHVVケーブルは、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。



*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の状態で、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 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2.3-10 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℃-11h	137℃-11h (=56℃*1-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	158kGy*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144℃
	圧力	最高圧力：0.5MPa[gage]	最高圧力：約0.444MPa[gage]

*1：通常運転時の原子炉格納容器内難燃PHケーブル布設エリア（通電による温度上昇を考慮するケーブルトレイ部）の周囲温度実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた温度（約38℃）に通電による温度上昇と余裕を加えた温度

*2：通常運転時の原子炉格納容器内難燃PHケーブル布設エリアの周囲線量率実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた線量率から算出した集積線量（0.3[Gy/h]×（24×365.25）[h/y]×60[y]=158kGy）

[出典（試験条件）：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2.3-11 難燃PHケーブルの長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
屈曲浸水 耐電圧試験	供試体外径：11.5mm マンドレル径：供試体外径の約40倍 絶縁厚さ：0.8mm 課電電圧：2.6kV/5分間	良

[出典：電力共同委託「SA時の計装品の耐環境性能評価委託2014年度」]

表2.3-12 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)	37.93Gy 37.9Gy*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周囲温度実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた温度（約30℃）

*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：通常運転時の原子炉格納容器外の実測値（複数の実測値のうち最大のもの）から算出した集積線量（ $0.072 \times 10^{-3} [\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 37.9\text{Gy}$ ）

*4：重大事故等時の使用済燃料ピット周辺での放射線量

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

[出典（試験条件）：メーカーデータ]

表2.3-13 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難燃PHケーブル、難燃SHVVケーブル及びFPTF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。

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

難燃PHケーブル、難燃SHVVケーブル及び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. 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SHVV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

事故時雰囲気では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等を実施していく。

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 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。

また、系統機器の動作確認又は絶縁抵抗測定により、機器の健全性を維持している。

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

3 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

玄海3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1を代表機器とする。

表1-1 玄海3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											
架橋ポリエチレン	難燃三重同軸ケーブル1	計装	○*2,3	○	MS-1重*5	○		架橋ポリエチレン	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	○		MS-1重*5	○		架橋ポリエチレン	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1

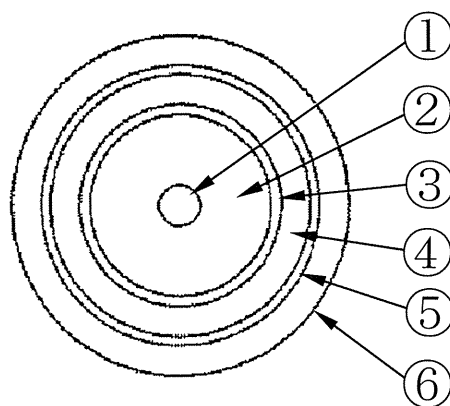
(1) 構造

玄海3号炉に使用している難燃三重同軸ケーブル1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。

玄海3号炉の難燃三重同軸ケーブル1構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の難燃三重同軸ケーブル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。



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 玄海3号炉 難燃三重同軸ケーブル1構造図

表2.1-1 玄海3号炉 難燃三重同軸ケーブル1 主要部位の使用材料

部 位	材 料
内部導体	銅（錫メッキ）
絶縁体	架橋ポリエチレン
外部導体	銅線編組（錫メッキ）
内部シース	架橋ポリエチレン
遮へい体	銅線編組（錫メッキ）
外部シース	難燃架橋ポリエチレン

表2.1-2 玄海3号炉 難燃三重同軸ケーブル1 の使用条件*1

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時
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144℃*4 (最高温度)	約144℃*4 (最高温度)
圧 力	約0.0098MPa[gage] 以下	約0.392MPa[gage]*4 (最高圧力)	約0.444MPa[gage]*4 (最高圧力)
放 射 線	0.3Gy/h*3	824kGy*5 (最大集積線量)	500kGy*4 (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1 布設エリアの周囲温度実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）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1 布設エリアの周囲線量率実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた線量率

*4：新規基準への適合性確認のための工事計画認可申請書「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」記載値

*5：IEEEに記載された、典型的なPWRプラントにおける事故時照射量を基に、玄海3号炉の原子炉出力及び原子炉格納容器自由体積から算出した値

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

難燃三重同軸ケーブル1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（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。

また、機器点検時の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。

表2.2-1 玄海3号炉 難燃三重同軸ケーブル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	
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		難燃架橋ポリエチレン					△*1	

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 絶縁体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

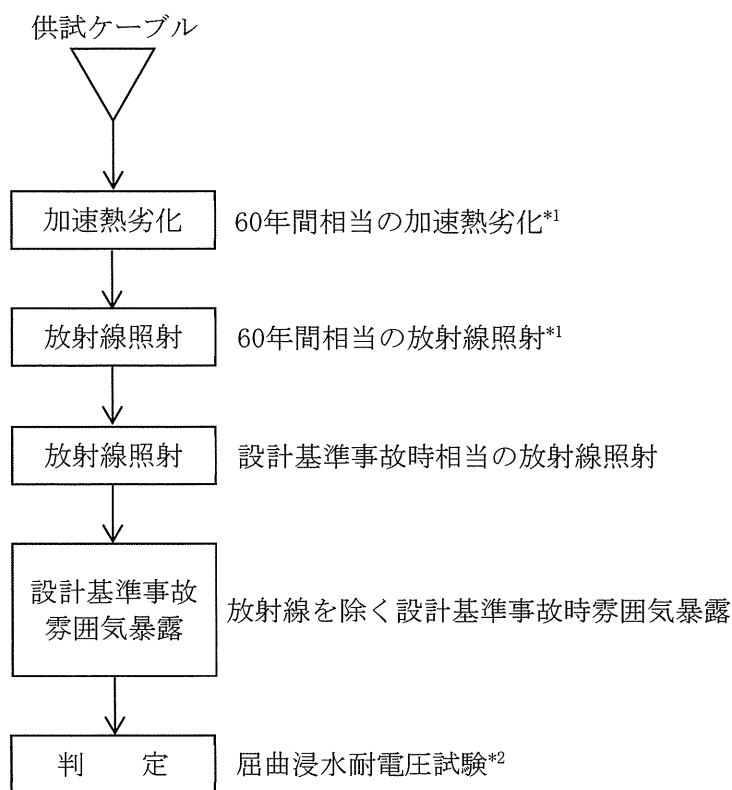
ケーブルの長期間の経年劣化を考慮した必要性能の評価方法は I E E E S t d . 3 2 3 - 1 9 7 4 「IEEE Standard for Qualifying Class IE Equipment for Nuclear Power Generating Stations」及び383-1974 「IEEE Standard for Type Test of Class IE Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations」の規格を根幹に、我が国のケー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1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1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1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、玄海3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、玄海3号炉の難燃三重同軸ケーブル1は、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。



*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1の長期健全性試験手順

表2.3-1 難燃三重同軸ケーブル1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 (7.49kGy/h以下)	158kGy*2
設計基準 事故相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (7.49kGy/h以下)	824kGy
	温度	最高温度：190℃	最高温度：約144℃
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]	最高圧力：約0.392MPa[gage]

*1：通常運転時の原子炉格納容器内難燃三重同軸ケーブル1 布設エリアの周囲温度実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた温度

*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1 布設エリアの周囲線量率実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた線量率から算出した集積線量（0.3[Gy/h]×（24×365.25）[h/y]×60[y]=158kGy）

[出典（試験条件）：メーカーデータ]

表2.3-2 難燃三重同軸ケーブル1の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
屈曲浸水 耐電圧試験	供試体外径：11.7mm マンドレル径：500mm 絶縁厚さ：2.9mm 課電電圧：9.7kV/5分間	良

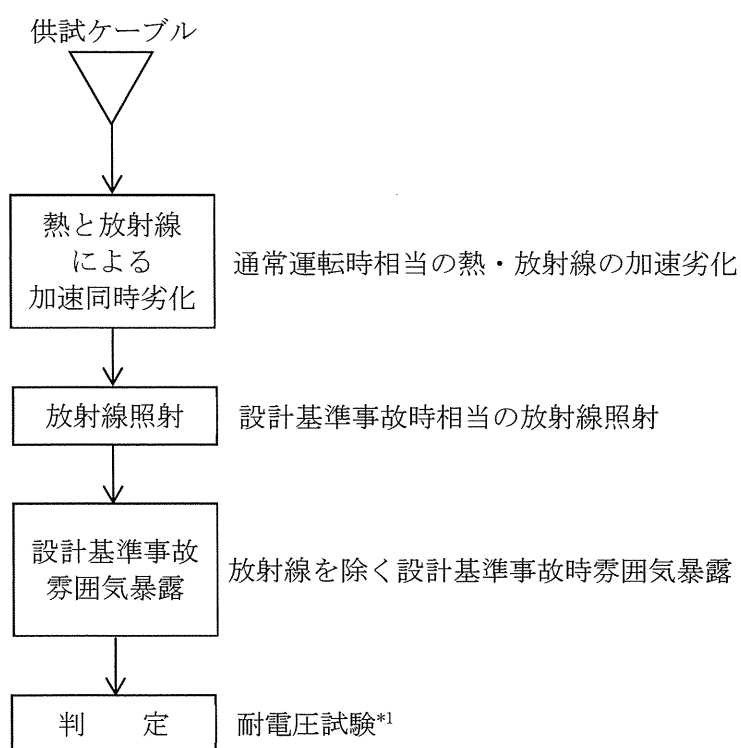
[出典：メーカーデータ]

また、設計基準事故時雰囲気内で機能要求があるケーブルについては、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1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を図2.3-2にACA試験条件並びにACA試験結果を表2.3-3及び表2.3-4にACAガイドに基づく実布設環境での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、玄海3号炉の難燃三重同軸ケーブル1は、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。



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

図2.3-2 難燃三重同軸ケーブル1のACAガイドに基づく試験手順

表2.3-3 難燃三重同軸ケーブル1のACA試験条件

		試験条件
通常運転相当	温度放射線	100℃-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℃
	圧力	最高圧力:0.41MPa[gage]

[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2.3-4 難燃三重同軸ケーブル1のACA試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	課電電圧:AC10kV/1分間(C-1S) AC 2kV/1分間(1S-2S)	良

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

表2.3-5 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*1		評価期間 [年]*2
	温度 [℃]	放射線量率 [Gy/h]	
加圧器上部	45	5×10^{-3}	154*3
通路部	45	5×10^{-3}	154*3

*1:事故時機能要求のあるケーブルの実布設環境条件

*2:稼働率100%での評価期間

*3:時間依存データの重ね合わせ手法により評価

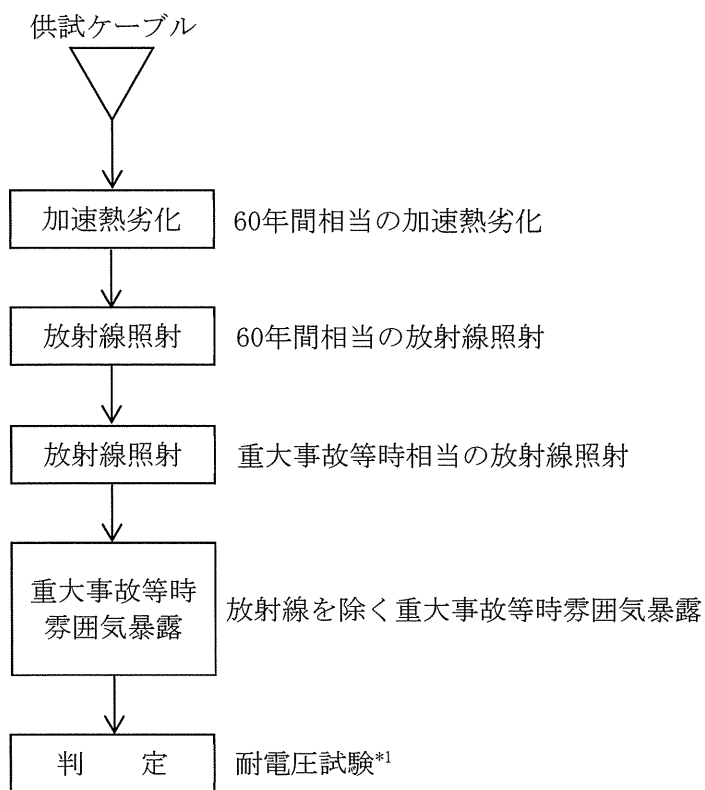
さらに、重大事故等時雰囲気内で機能要求のある難燃三重同軸ケーブル1については、重大事故等時雰囲気での健全性をあわせて評価した。

難燃三重同軸ケーブル1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1の長期健全性試験条件並びに長期健全性試験結果を表2.3-6及び表2.3-7に示す。

なお、この試験条件は、玄海3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、玄海3号炉の難燃三重同軸ケーブル1は、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できると判断する。



*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1の長期健全性試験手順

表2.3-6 難燃三重同軸ケーブル1の長期健全性試験条件*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	113℃-255h	80℃-255h (=45℃*2-60年)
	放射線 (集積線量)	750kGy (10kGy/h以下)	158kGy*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144℃
	圧力	最高圧力：0.5MPa[gage]	最高圧力：約0.444MPa[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

*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1布設エリアの周囲温度実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）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1布設エリアの周囲線量率実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた線量率から算出した集積線量（0.3[Gy/h]×（24×365.25）[h/y]×60[y]=158kGy）

[出典（試験条件）：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」]

表2.3-7 難燃三重同軸ケーブル1の長期健全性試験結果

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

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

② 現状保全

絶縁体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2

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2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2の絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、難燃三重同軸ケーブル2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。

また、機器点検時の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。

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	8
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	8

1. 対象機器及び代表機器の選定

玄海3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2を代表機器とする。

表1-1 玄海3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		○	特殊耐熱ビニル	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 2

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 2

(1) 構造

玄海3号炉で使用している難燃光ファイバケーブル2は、光ファイバ心線、補強繊維、コード外被、介在紐、テンションメンバ、押えテープ及びシースで構成されている。

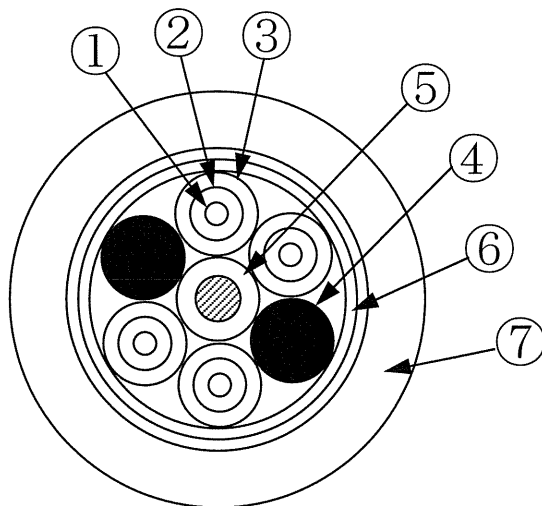
このうちケーブルの伝送機能は、光ファイバ心線を外的な力及び透湿から保護するコード外被、シースにより保たれている。

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

玄海3号炉の難燃光ファイバケーブル2の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉で使用されている難燃光ファイバケーブル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	光ファイバ心線
②	補強繊維
③	コード外被
④	介在紐
⑤	テンションメンバ
⑥	押えテープ
⑦	シース

図2.1-1 玄海3号炉 難燃光ファイバケーブル2の構造図

表2.1-1 玄海3号炉 難燃光ファイバケーブル2 主要部位の使用材料

部 位	材 料
光ファイバ心線	石英ガラス（コア、クラッド）、 シリコン+ポリアミド（被覆）
補強繊維	アラミド繊維
コード外被	難燃低塩酸ビニル
介在紐	難燃低塩酸ビニル紐
テンションメンバ	鋼（亜鉛メッキ）、プラスチック（被覆）
押えテープ	プラスチック
シ ー ス	難燃低塩酸ビニル、アルミラミネートテープ

表2.1-2 玄海3号炉 難燃光ファイバケーブル2 の使用条件*1

使 用 環 境	原子炉格納容器外
周 囲 温 度	約24℃*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2の主な機能である計測制御信号の伝達機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 伝送光量の維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

難燃光ファイバケーブル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く、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。

また、本ケーブルの伝送光量は常時監視することにより、機器の健全性を維持している。

なお、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。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、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 玄海3号炉 難燃光ファイバケーブル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	
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
			シリコン+ポリアミド (被覆)					△*1	
	補強繊維		アラミド繊維						
	コード外被		難燃低塩酸ビニル					△*1	
	介在紐		難燃低塩酸ビニル紐						
	テンションメンバ		鋼 (亜鉛メッキ)、プラスチック (被覆)						
	押えテープ		プラスチック						
	シ ー ス		難燃低塩酸ビニル、アルミラミネートテープ					△*1	

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 (日常劣化管理事象)

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1
- 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

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

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象でない事象

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 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1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く、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。

また、本ケーブルの伝送光量は常時監視することにより、機器の健全性を維持している。

なお、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。

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

5 ケーブルトレイ等

[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

玄海3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 玄海3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

玄海3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。

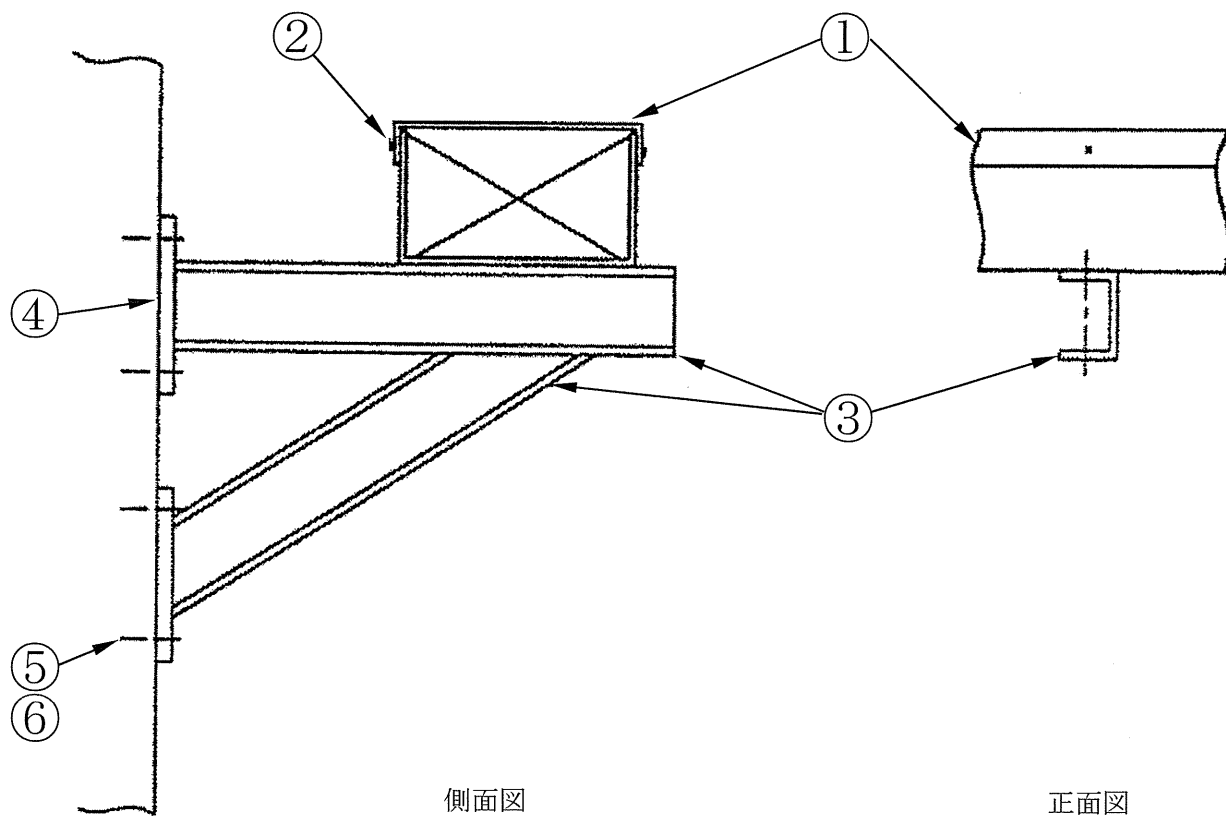
また、ベースプレートは、基礎ボルトあるいは埋込金物への溶接にて支持する構造としている。

玄海3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

玄海3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、屋内及び屋外に設置している。



側面図

正面図

No.	部 位
①	ケーブルトレイ (本体)
②	取付ボルト
③	鋼 材
④	ベースプレート
⑤	基礎ボルト (メカニカルアンカ)
⑥	埋込金物

図2.1-1 玄海3号炉 ケーブルトレイ構造図の例

表2.1-1 玄海3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

玄海3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。

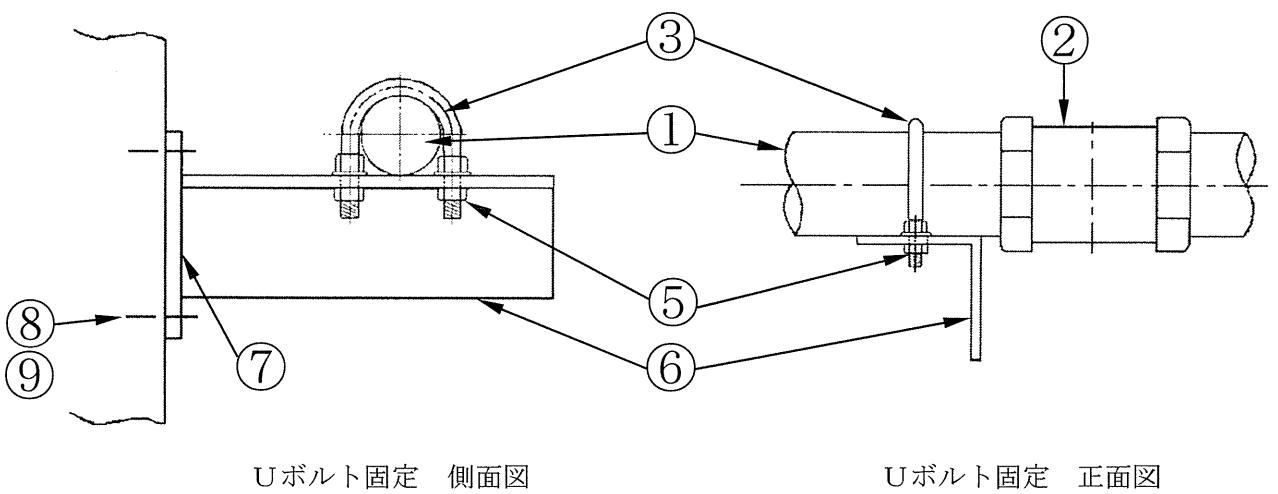
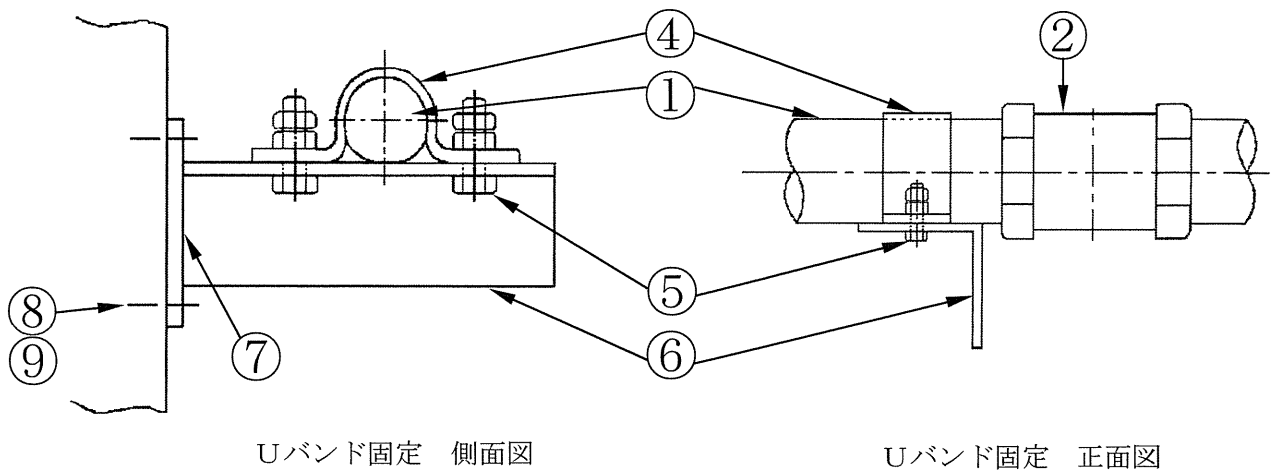
なお、電線管（本体）をコンクリートに直接埋設する構造もある。

玄海3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

玄海3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 玄海3号炉 電線管構造図の例

表2.1-2 玄海3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 玄海3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 玄海3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	応力腐蝕割れ	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
	カップリング		炭素鋼 (亜鉛メッキ)		△*1 ▲*2						*2: 内面からの腐食
	Uボルト		炭素鋼		△						*3: 大気接触部
	Uバンド		炭素鋼		△						*4: コンクリート埋設部
	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 1
- ⑦ 電動弁コネクタ接続 2
- ⑧ 加圧器ヒータコネクタ接続
- ⑨ 三重同軸コネクタ接続
- ⑩ 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

玄海3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1、電動弁コネクタ接続2及び加圧器ヒータ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電動弁コネクタ接続1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 玄海3号炉 ケーブル接続部の主な仕様

分離基準 型式	機器名称	選 定 基 準				選定	選定理由	
		用途	使用環境		重要度*1			事故時 雰囲気仕様
			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)	
	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1	電力・制御	○*2	○*2	MS-1、重*4	○	◎ 使用環境 (事故時雰囲気仕様)	
	電動弁コネクタ接続2	電力・制御		○	MS-1、重*4			
	加圧器ヒータコネクタ 接続	電力	○		MS-2			
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1
- 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

玄海3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。

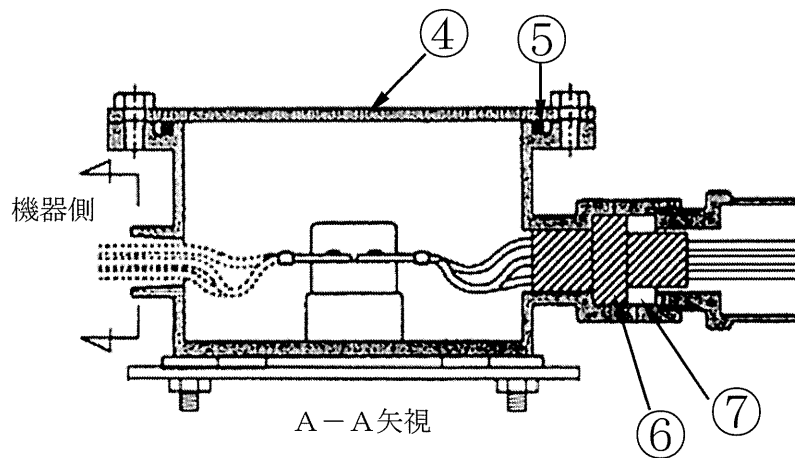
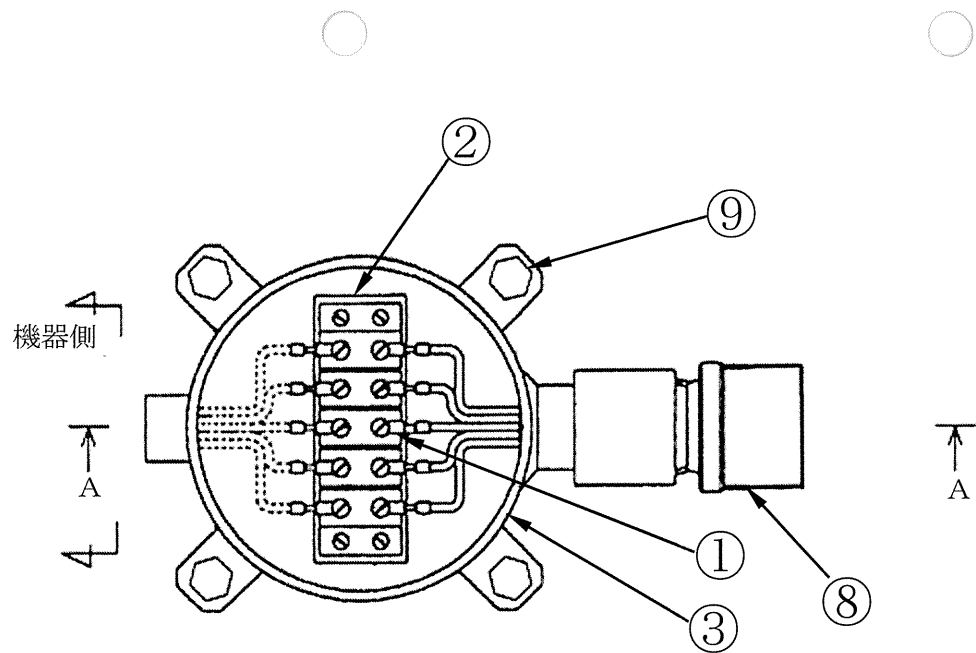
また、蓋板はOリングを挟み込んでねじ止めし、ケーブル貫通部はLCモールドを押え金具で押さえた後、ボックスコネクタにて締め込む構造となっている。

端子箱は、基礎ボルトで壁に取り付けられている。

玄海3号炉の気密端子箱接続構造図の例を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3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	基礎ボルト (メカニカルアンカ)

図2.1-1 玄海3号炉 気密端子箱接続構造図の例

表2.1-1 玄海3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
	〇リング	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	基礎ボルト（メカカルソカ）	炭 素 鋼

表2.1-2 玄海3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45℃*2	約144℃*4 (最高温度)	約144℃*4 (最高温度)
圧 力	約0.0098MPa[gage] 以下	約0.392MPa[gage]*4 (最高圧力)	約0.444MPa[gage]*4 (最高圧力)
放 射 線	0.3Gy/h*3	824kGy*5 (最大集積線量)	500kGy*4 (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設置エリアの周囲温度実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）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設置エリアの周囲線量率実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた線量率
- *4：新規制基準への適合性確認のための工事計画認可申請書「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」記載値
- *5：IEEEに記載された、典型的なPWRプラントにおける事故時照射量を基に、玄海3号炉の原子炉出力及び原子炉格納容器自由体積から算出した値

2.1.2 直ジョイント

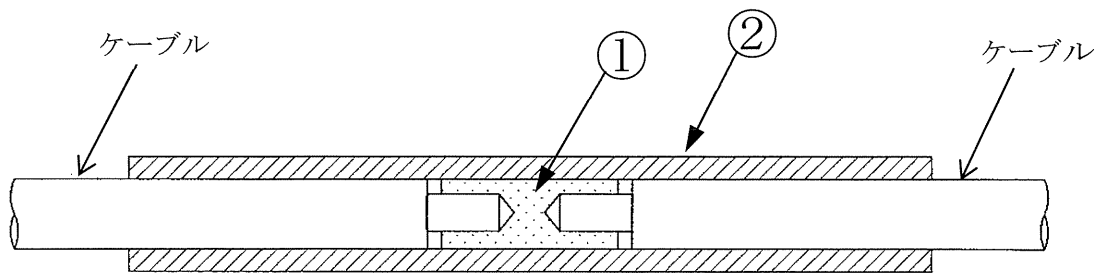
(1) 構造

玄海3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。

玄海3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

玄海3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 玄海3号炉 直ジョイント構造図

表2.1-3 玄海3号炉 直ジョイント主要部位の使用材料

部 位	材 料
隔壁付スリーブ	銅（錫メッキ）
熱収縮チューブ	難燃架橋ポリエチレン

表2.1-4 玄海3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45℃*2	約144℃*4 (最高温度)	約144℃*4 (最高温度)
圧 力	約0.0098MPa[gage] 以下	約0.392MPa[gage]*4 (最高圧力)	約0.444MPa[gage]*4 (最高圧力)
放 射 線	0.3Gy/h*3	824kGy*5 (最大集積線量)	500kGy*4 (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設置エリアの周囲温度実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）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設置エリアの周囲線量率実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた線量率

*4：新規制基準への適合性確認のための工事計画認可申請書「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」記載値

*5：IEEEに記載された、典型的なPWRプラントにおける事故時照射量を基に、玄海3号炉の原子炉出力及び原子炉格納容器自由体積から算出した値

2.1.3 高圧コネクタ接続

(1) 構造

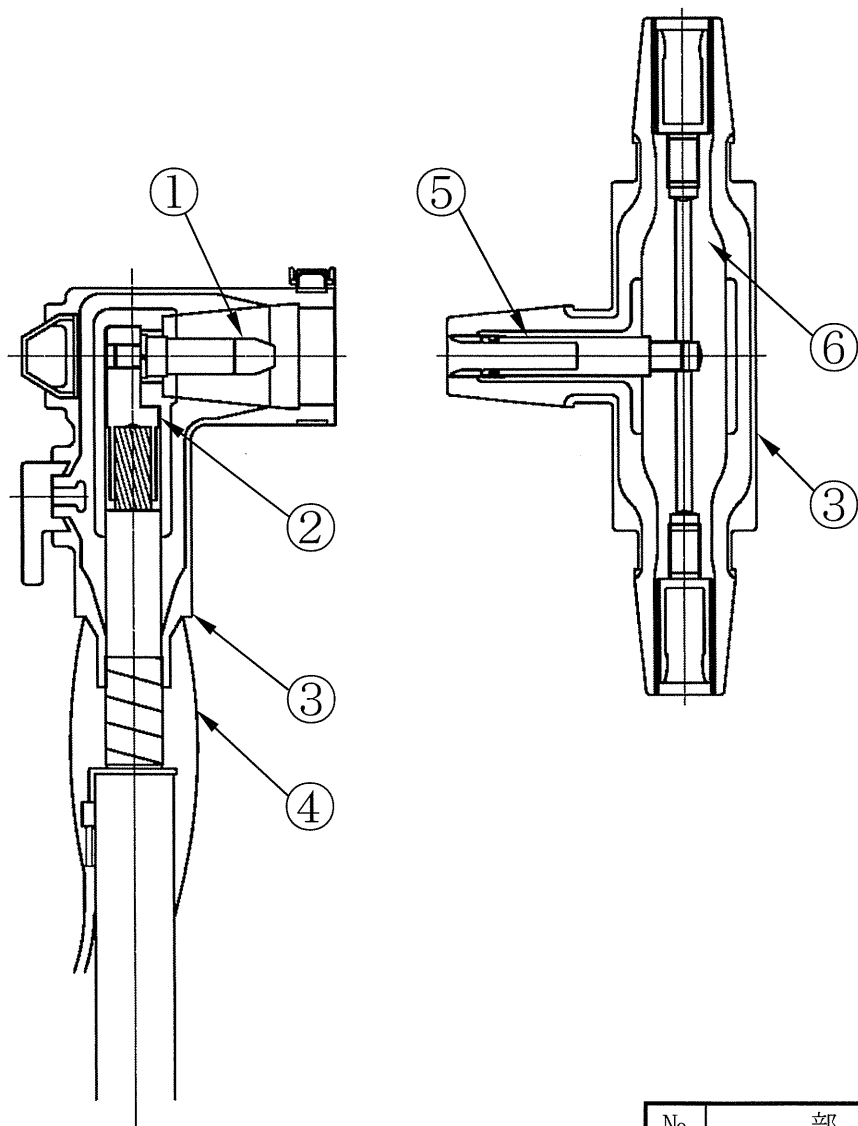
玄海3号炉に使用している高圧コネクタ接続は、接続端子をソケットに差し込むことにより接続される構造となっている。

また、接続端子部、ソケット及び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。

玄海3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

玄海3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 玄海3号炉 高圧コネクタ接続構造図

表2.1-5 玄海3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 玄海3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℃*1
放射線	$0.072 \times 10^{-3} \text{Gy/h}^{*2}$

*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実測値（複数の実測値のうち最大のもの）

2.1.4 電動弁コネクタ接続1

(1) 構造

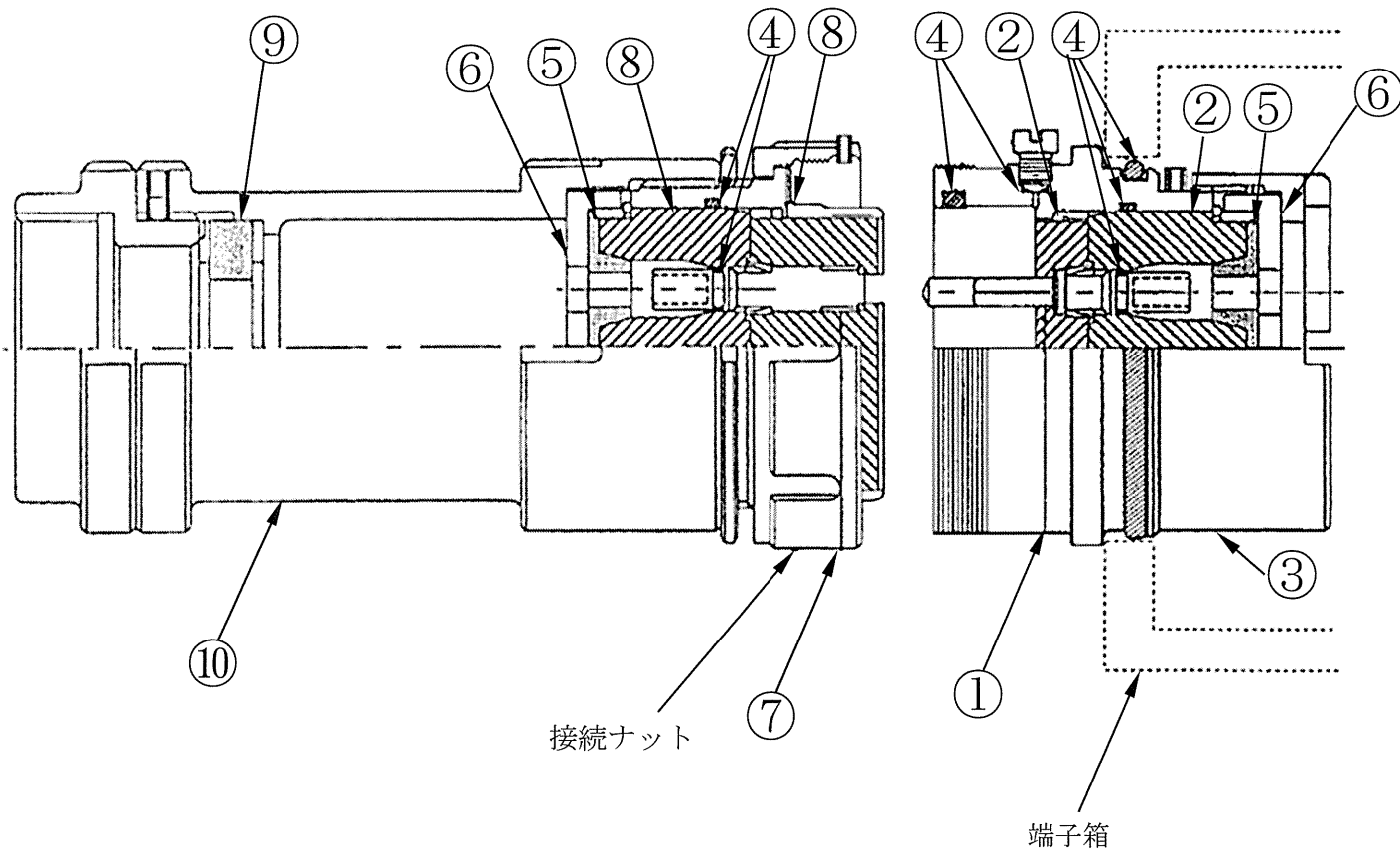
玄海3号炉に使用している電動弁コネクタ接続1は、オスコンタクトとメスコ
ンタクトを接続し、レセプタクルシェルの接続ナットを締め込むことにより接続
部分が固定される構造となっている。

また、コンタクトは絶縁物により絶縁を保っている。

玄海3号炉の電動弁コネクタ接続1構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の電動弁コネクタ接続1の使用材料及び使用条件を表2.1-7及び表
2.1-8に示す。



No.	部 位
①	オスコンタクト
②	オス絶縁物
③	レセプタクルシェル
④	Oリング
⑤	シーリングブッシュ
⑥	シーリングワッシャ
⑦	メスコンタクト
⑧	メス絶縁物
⑨	ゴムブッシュ
⑩	プラグシェル

図2.1-4 玄海3号炉 電動弁コネクタ接続1構造図

表2.1-7 玄海3号炉 電動弁コネクタ接続1 主要部位の使用材料

部 位	材 料
オスコンタクト	銅（金メッキ）
オス絶縁物	ジアリルフタレート樹脂
レセプタクルシエル	銅合金（ニッケルメッキ）
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
シーリングワッシャ	銅合金（ニッケルメッキ）
メスコンタクト	銅（金メッキ）
メス絶縁物	ジアリルフタレート樹脂
ゴムブッシュ	エチレンプロピレンゴム
プラグシエル	銅合金（ニッケルメッキ）

表2.1-8 玄海3号炉 電動弁コネクタ接続1 の使用条件*1

	通常運転時	設計基準事故時
使用環境	原子炉格納容器内	原子炉格納容器内
周囲温度	約45℃*2	約144℃*4 (最高温度)
圧 力	約0.0098MPa[gage] 以下	約0.392MPa[gage]*4 (最高圧力)
放 射 線	0.2Gy/h*3	824kGy*5 (最大集積線量)

*1：環境条件が厳しい原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続1の使用条件を代表として記載

*2：通常運転時の原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続1設置エリアの周囲温度実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた温度

*3：通常運転時の原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続1設置エリアの周囲線量率実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた線量率

*4：新規制基準への適合性確認のための工事計画認可申請書「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」記載値

*5：IEEEに記載された、典型的なPWRプラントにおける事故時照射量を基に、玄海3号炉の原子炉出力及び原子炉格納容器自由体積から算出した値

2.1.5 三重同軸コネクタ接続

(1) 構造

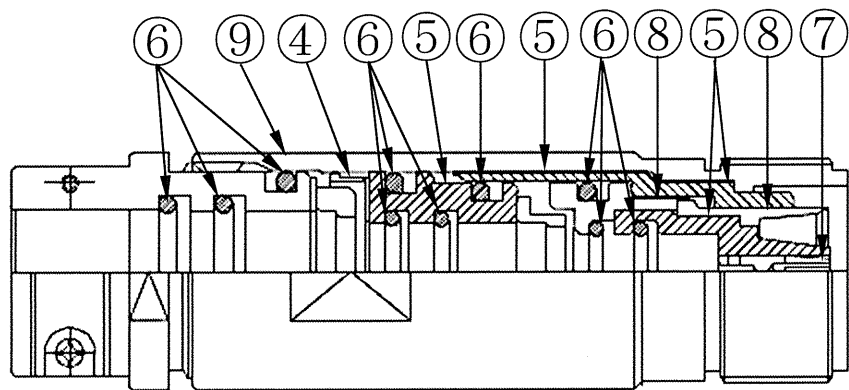
玄海3号炉に使用している三重同軸コネクタ接続は、ピンコンタクトとソケットコンタクト及び1SコンタクトPと1SコンタクトJを接続し、プラグボディのカップリングナットを締め込むことにより接続部分が固定される構造となっている。

また、コンタクトは絶縁物により絶縁を保っている。

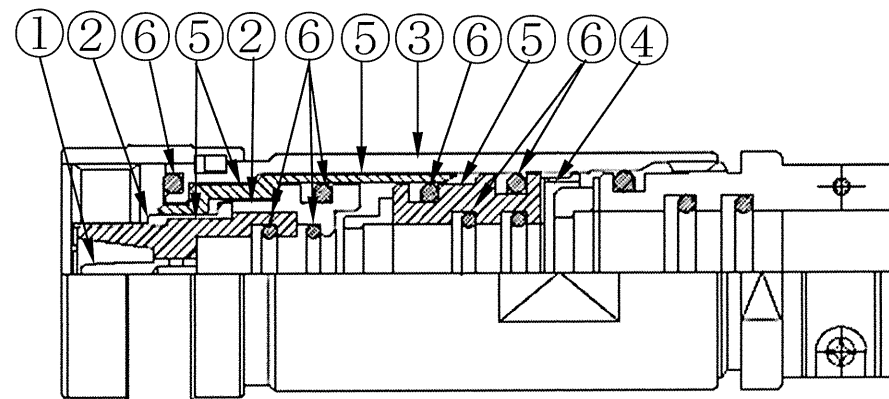
玄海3号炉の三重同軸コネクタ接続構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3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 玄海3号炉 三重同軸コネクタ接続構造図

表2.1-9 玄海3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 玄海3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144℃ ^{*4} (最高温度)	約144℃ ^{*4} (最高温度)
圧 力	約0.0098MPa[gage] 以下	約0.392MPa[gage] ^{*4} (最高圧力)	約0.444MPa[gage] ^{*4} (最高圧力)
放射線	5×10 ⁻³ Gy/h ^{*3}	824kGy ^{*5} (最大集積線量)	500kGy ^{*4} (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設置エリアの周囲温度実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）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設置エリアの周囲線量率実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた線量率

*4：新規制基準への適合性確認のための工事計画認可申請書「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」記載値

*5：IEEEに記載された、典型的なPWRプラントにおける事故時照射量を基に、玄海3号炉の原子炉出力及び原子炉格納容器自由体積から算出した値

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

ケーブル接続部の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、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2.2-5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1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1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]、シーリングブッシュ及びゴムブッシュ [電動弁コネクタ接続1] 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) 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。

(4) 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1、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、レセプタクルシェル、シーリングワッシャ、メスコンタクト、プラグシェル〔電動弁コネクタ接続1〕、ピンコンタクト、1SコンタクトP、プラグボディ、割りリング、ソケットコンタクト、1SコンタクトJ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、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系統機器の動作確認若しくは計器の指示値等に異常がないこと及び絶縁抵抗測定により、機器の健全性を維持している。

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

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

(5) 端子等の腐食（全面腐食）〔気密端子箱接続、直ジョイント〕

端子、端子台〔気密端子箱接続〕、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 玄海3号炉 気密端子箱接続に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定 期 取 替 品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考
				絶縁低下	導通不良	減 肉		割 れ	その他	
						摩 耗	腐 食			
通電・絶縁機能の維持	端 子		銅 (錫メッキ)				▲			
	端子台		磁器、銅合金 (ニッケルメッキ)	△			▲			
	端子箱		ステンレス鋼							
	蓋 板		ステンレス鋼							
	Oリング		エチレンプロピレンゴム	○						
	LCモールド		エチレンプロピレンゴム、 銅	○						
	押え金具		ステンレス鋼							
	ボックスコネクタ		銅 合 金				△			
機器の支持	基礎ボルト (マニカアソカ)		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 玄海3号炉 直ジョイントに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定 期 取 替 品	材 料	経 年 劣 化 事 象					備 考	
				絶縁低下	導通不良	減 肉		割 れ		その他
						摩 耗	腐 食			
通電・絶縁機能の維持	隔壁付スリーブ		銅（錫メッキ）				▲			
	熱収縮チューブ		難燃架橋ポリエチレン	○						

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

表2.2-3 玄海3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 玄海3号炉 電動弁コネクタ接続1に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・定期取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象					備 考	
				絶縁低下	導通不良	減 肉		割 れ		その他
						摩 耗	腐 食			
通電・絶縁機能の維持	オスコンタクト		銅（金メッキ）				△			
	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		銅合金（ニッケルメッキ）				△			
	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	○						
	シーリングワッシャ		銅合金（ニッケルメッキ）				△			
	メスコンタクト		銅（金メッキ）				△			
	メス絶縁物		ジアリルフタレート樹脂	○						
	ゴムブッシュ		エチレンプロピレンゴム	○						
	プラグシェル		銅合金（ニッケルメッキ）				△			

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-5 玄海3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1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1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]、シーリングブッシュ及びゴムブッシュ [電動弁コネクタ接続1] 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

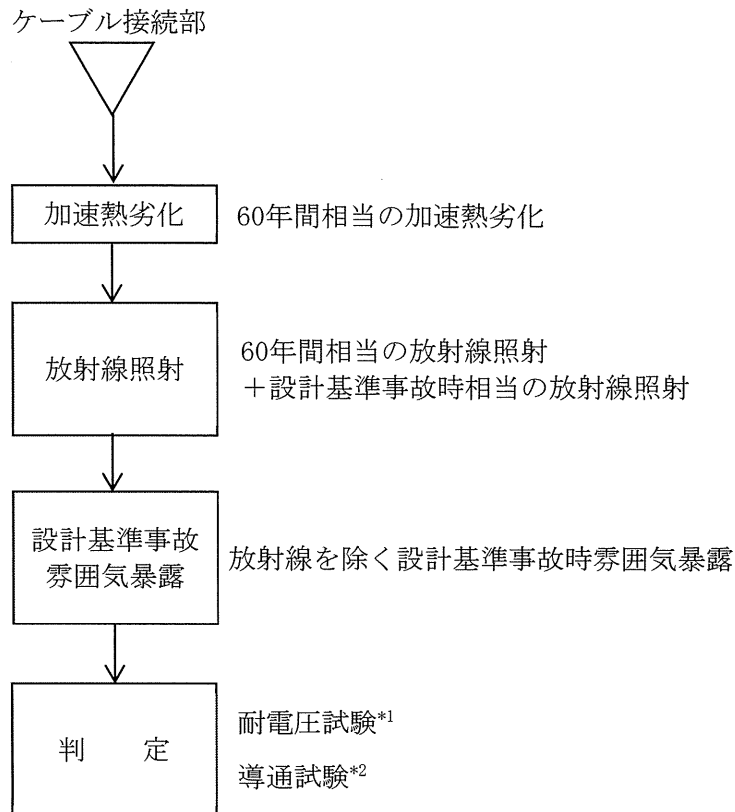
気密端子箱接続、直ジョイント、電動弁コネクタ接続1及び三重同軸コネクタ接続はIEEE Std. 323-1974「IEEE Standard for Qualifying Class IE Equipment for Nuclear Power Generating Stations」(以下、「IEEE Std. 323-1974」という。)及び383-1974「IEEE Standard for Type Test of Class IE Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations」(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。

この試験条件は、玄海3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、玄海3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、絶縁破壊が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 1

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)	158kGy*3
設計基準 事故相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h)	824kGy
	温度	最高温度：190℃	最高温度：約144℃
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]	最高圧力：約0.392MPa[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外気密端子箱接続設置エリアの周囲温度実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）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設置エリアの周囲線量率実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた線量率から算出した集積線量 $(0.3[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60[\text{y}] = 158\text{kGy})$

[出典（試験条件）：メーカーデータ]

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	110℃-7日 (=50℃*2-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	158kGy*3
設計基準 事故相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)	824kGy
	温度	最高温度：190℃	最高温度：約144℃
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]	最高圧力：約0.392MPa[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：通常運転時の原子炉格納容器内外直ジョイント設置エリアの周囲温度実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）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設置エリアの周囲線量率実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた線量率から算出した集積線量
 $(0.3[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 158\text{kGy})$

[出典（試験条件）：メーカーデータ]

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：メーカーデータ]

表2.3-5 電動弁コネクタ接続1の長期健全性評価試験条件（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	138℃-12.5日	99℃-12.5日*3 (=50℃*2-60年) 131℃-12.5日*4 (=50℃*2-60年)
	放射線 (集積線量)	700kGy (10kGy/h)	106kGy*5
設計基準 事故相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h)	824kGy
	温度	最高温度：215℃	最高温度：約144℃
	圧力	最高圧力：0.496MPa[gage]	最高圧力：約0.392MPa[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電動弁コネクタ接続1の使用条件を代表として記載
- *2：通常運転時の原子炉格納容器内外電動弁コネクタ接続1設置エリアの周囲温度実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた温度
- *3：Oリング等の気密材料の60年間の通常運転時の劣化条件を試験条件と比較するための12.5日間換算値
- *4：絶縁材料の60年間の通常運転時の劣化条件を試験条件と比較するための12.5日間換算値
- *5：通常運転時の原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続1設置エリアの周囲線量率実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた線量率から算出した集積線量（0.2[Gy/h]×（24×365.25）[h/y]×60[y]=106kGy）

[出典（試験条件）：メーカーデータ]

表2.3-6 電動弁コネクタ接続1の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
導通試験	通電が可能なこと	良

[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)	824kGy
	温度	最高温度：190℃	最高温度：約144℃
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]	最高圧力：約0.392MPa[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：通常運転時の原子炉格納容器内三重同軸コネクタ接続設置エリアの周囲温度実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた温度

*3：Oリング等の気密材料の60年間の通常運転時の劣化条件を試験条件と比較するための7日間換算値

*4：絶縁材料の60年間の通常運転時の劣化条件を試験条件と比較するための7日間換算値

*5：通常運転時の原子炉格納容器内三重同軸コネクタ接続設置エリアの周囲線量率実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた線量率から算出した集積線量（ $5 \times 10^{-3} [\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}] = 2.7 \text{kGy}$ ）

[出典（試験条件）：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2.3-8 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、玄海3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、玄海3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)	158kGy*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144℃
	圧力	最高圧力：0.5MPa[gage]	最高圧力：約0.444MPa[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：通常運転時の原子炉格納容器内外気密端子箱接続設置エリアの周囲温度実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）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設置エリアの周囲線量率実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた線量率から算出した集積線量 $(0.3[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60[\text{y}]) = 158\text{kGy}$

[出典（試験条件）：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2.3-10 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「SA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℃-21h	129℃-21h (=50℃*2-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	158kGy*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144℃
	圧力	最高圧力：0.5MPa[gage]	最高圧力：約0.444MPa[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：通常運転時の原子炉格納容器内外直ジョイント設置エリアの周囲温度実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）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布設エリアの周囲線量率実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた線量率から算出した集積線量
 $(0.3[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60[\text{y}] = 158\text{kGy})$

[出典（試験条件）：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2.3-12 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144℃
	圧力	最高圧力：0.5MPa[gage]	最高圧力：約0.444MPa[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：通常運転時の原子炉格納容器内三重同軸コネクタ接続設置エリアの周囲温度実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた温度

*3：Oリング等の気密材料の60年間の通常運転時の劣化条件を試験条件と比較するための255時間換算値

*4：絶縁材料の60年間の通常運転時の劣化条件を試験条件と比較するための255時間換算値

*5：通常運転時の原子炉格納容器内三重同軸コネクタ接続設置エリアの周囲線量率実測値（複数の実測値の平均値のうち最大のもの）に余裕を加えた線量率から算出した集積線量 $(5 \times 10^{-3} [\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25) [\text{h/y}] \times 60 [\text{y}]) = 2.7 \text{kGy}$

[出典（試験条件）：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」]

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 電動弁コネクタ接続2
- ④ 加圧器ヒータコネクタ接続
- ⑤ 複合同軸コネクタ接続
- ⑥ 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。

玄海原子力発電所3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

玄海3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、使用条件等の観点から代表機器を選定した。

これらの一覧を表1に、機能を表2に示す。

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

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

本評価書では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

表 1 (1/4) 玄海 3 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				
				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 1,200A	MS-1、重*2	連 続	6,900	約35	ば ね	1,200	63	◎	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	44		
	代替電源接続盤 1 (1)	屋外用壁掛盤 定格電流 600A	重*2	一 時	6,600	約40	—	—	—		
	代替電源接続盤 2 (1)	屋内用壁掛盤 定格電流 600A	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

表 1 (2/4) 玄海 3 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) (4)	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)	300	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) 玄海 3 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) (4)	気中遮断器内蔵 低圧閉鎖形 母線定格電流 3,000A	MS-1、重*2	連 続	460	約35	ば ね	3,000	65
							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) 玄海 3 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)		
低圧	屋内	原子炉コントロールセンタ (安全系) (8)	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 400A	MS-1	連続	460	約40	
		加圧器後備ヒータグループコントロールセンタ (4)	低圧閉鎖形 定格電流 600A	MS-2	連続	460	約35	
		発電機受電盤 (2)	低圧閉鎖形 定格電流 800A	重*2	一時	220	約24	
		重大事故等対処用分電盤 (1)	低圧閉鎖形 定格電流 600A	重*2	一時	460	約40	
		常設電動注入ポンプ電源切替盤 (1)	屋内壁掛形 定格電流 400A	重*2	一時	440	約40	

*1：機能は最上位の機能を示す

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

表2 玄海3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 1
- ④ 代替電源接続盤 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	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

玄海3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

重要度の高いメタクラ（安全系）を代表機器とする。

表1-1 玄海3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 1,200A	MS-1、重*2	連続	6,900	約35	ばね	1,200	63	◎	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	44		
	代替電源接続盤 1 (1)	屋外用壁掛盤 定格電流 600A	重*2	一時	6,600	約40	—	—	—		
	代替電源接続盤 2 (1)	屋内用壁掛盤 定格電流 600A	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

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

玄海3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1,200Aの高圧閉鎖形である。

メタクラ（安全系）にはガス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。

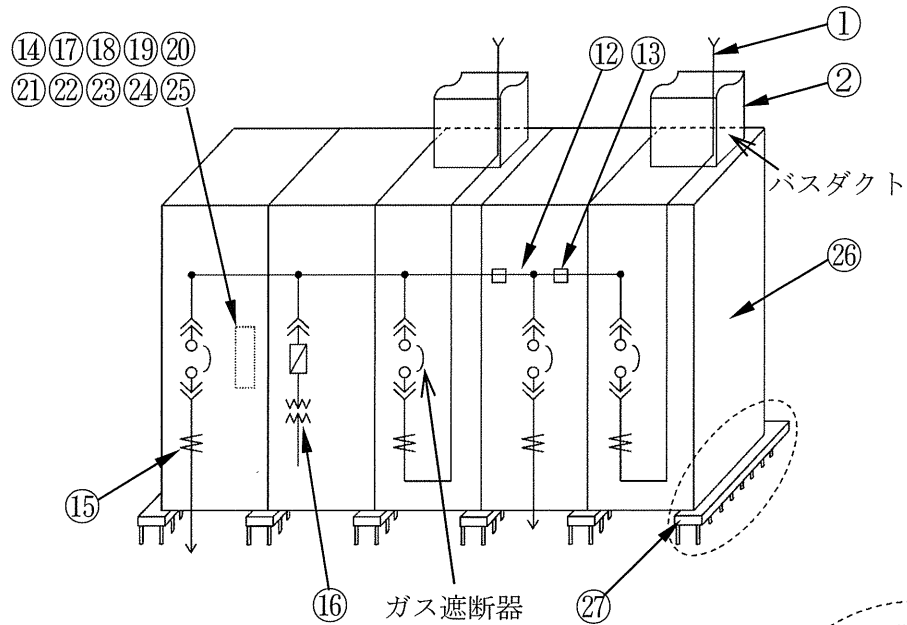
遮断器の投入は、ばね蓄勢用モータ（低圧モータ）により蓄勢された投入ばねによって行い、開放は投入時に蓄勢された引外しばねによって行う構造となっている。

また、電流の遮断は、接触子の開放により生じるアークに圧縮したSF₆ガスを吹き付けることにより行う。

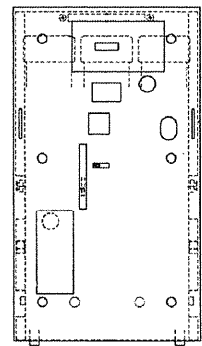
玄海3号炉のメタクラ（安全系）構成図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

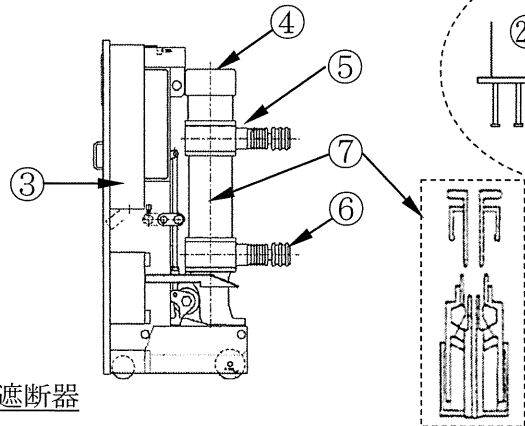
玄海3号炉のメタクラ（安全系）の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



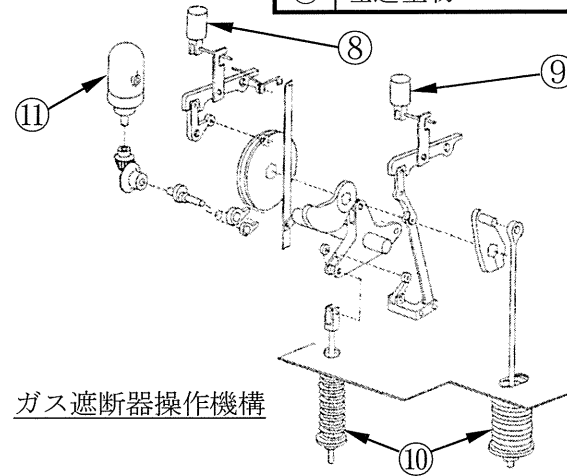
No.	部 位	No.	部 位
①	母線導体	⑭	操作スイッチ
②	外 被	⑮	計器用変流器
③	操作機構	⑯	計器用変圧器
④	消 弧 室	⑰	保護リレー (静止形)
⑤	ブッシング	⑱	指 示 計
⑥	一次ジャンクション	⑲	ロックアウトリレー
⑦	接 触 子	⑳	補助継電器
⑧	投入コイル	㉑	表 示 灯
⑨	引外しコイル	㉒	ノーヒューズブレーカ
⑩	ば ね	㉓	タ イ マ
⑪	ばね蓄勢用モータ (低圧モータ)	㉔	ヒューズ
⑫	主回路導体	㉕	電磁接触器
⑬	支持碍子	㉖	筐 体
		㉗	埋込金物



ガス遮断器



詳細



ガス遮断器操作機構

図 2.1-1 玄海 3号炉 メタクラ (安全系) 構成図

表2.1-1 玄海3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	アルミニウム合金
	外 被	炭 素 鋼
遮 断 器	操作機構	合 金 鋼
	消 弧 室	アルミニウム合金
	ブッシング	エポキシ樹脂（B種絶縁）
	一次ジャンクション	銅
	接 触 子	銀、銅タングステン
	投入コイル	銅、ポリビニルホルマール（A種絶縁）
	引外レコイル	銅、ポリビニルホルマール（A種絶縁）
	ば ね	ばね 鋼
	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）
盤構成品	主回路導体	アルミニウム合金、銅
	支持碍子	磁 器
	操作スイッチ	銀、銅
	計器用変流器（巻線形）	銅、ポリオレフィンゴム系液状ゴム（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

表2.1-2 玄海3号炉 メタクラ（安全系）の使用条件

周 围 温 度	約35℃*1
定格短時間耐電流	63kA 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）個々について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（電圧、温度等）及び現在までの運転経験を考慮し、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合金であり、腐食が想定される。

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

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）

バスダクト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) 消弧室の汚損

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

しかしながら、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

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

(5) ブッシングの絶縁低下

遮断器の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、ブッシングは絶縁性の高いエポキシ樹脂で形成されており、ブッシングの耐熱温度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、ブッシング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。

(6) 一次ジャンクションの摩耗

遮断器の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。

(7) 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、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) 投入コイル及び引外しコイルの絶縁低下

遮断器の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。

(9) 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。

(10) 主回路導体の腐食（全面腐食）

主回路導体はアルミニウム合金及び銅であり、腐食が想定される。

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

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) 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。

(12) 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。

(13) 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。

(14) 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。

(15) 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。

(16) 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。

(17) 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）、ロックアウトリレー、補助継電器、ノーヒューズブレーカ、タイマ、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) 玄海3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		アルミニウム合金		△						*1：固着 *2：汚損 *3：変形 (応力緩和)	
		外 被		炭 素 鋼		△							
	遮 断 器	操作機構			合 金 鋼								△ ^{*1}
		消 弧 室			アルミニウム合金								△ ^{*2}
		ブッシング			エポキシ樹脂 (B種絶縁)					△			
		一次ジャンクシ ョ ン			銅	△							
		接 触 子			銀、銅タングステン	△							
		投入コイル			銅 ポリビニルホルマ ル (A種絶縁)					△			
		引外しコイル			銅 ポリビニルホルマ ル (A種絶縁)					△			
		ば ね			ばね鋼								△ ^{*3}
		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)					○			
		主回路導体			アルミニウム合金 銅		△						
	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）

表2.2-1(2/2) 玄海3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		
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 系液状ゴム （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}							

○：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

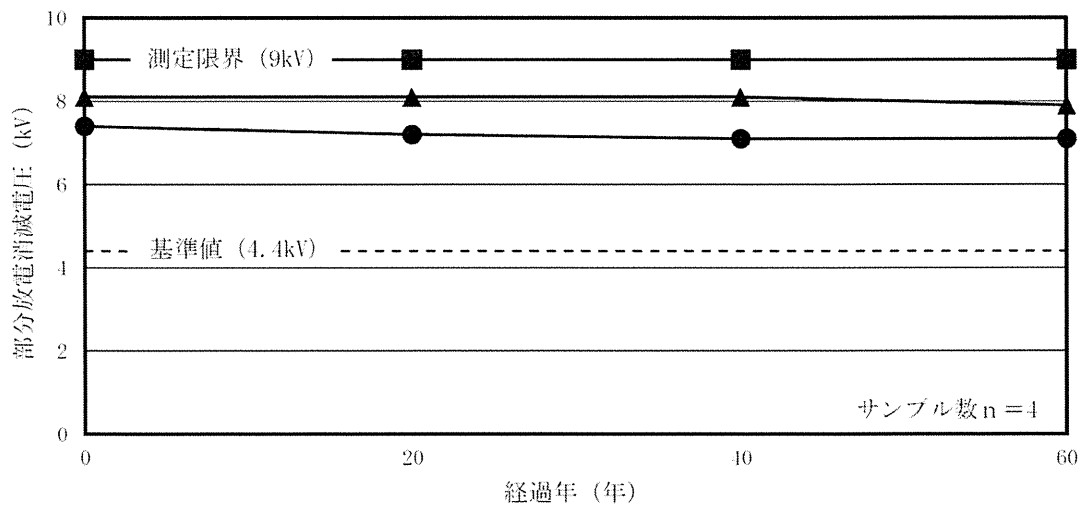


図2.3-1(1/8) 計器用変圧器の部分放電特性 (課電劣化試験による部分放電消滅電圧)
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価
 研究 (STEP2)」2001年度]

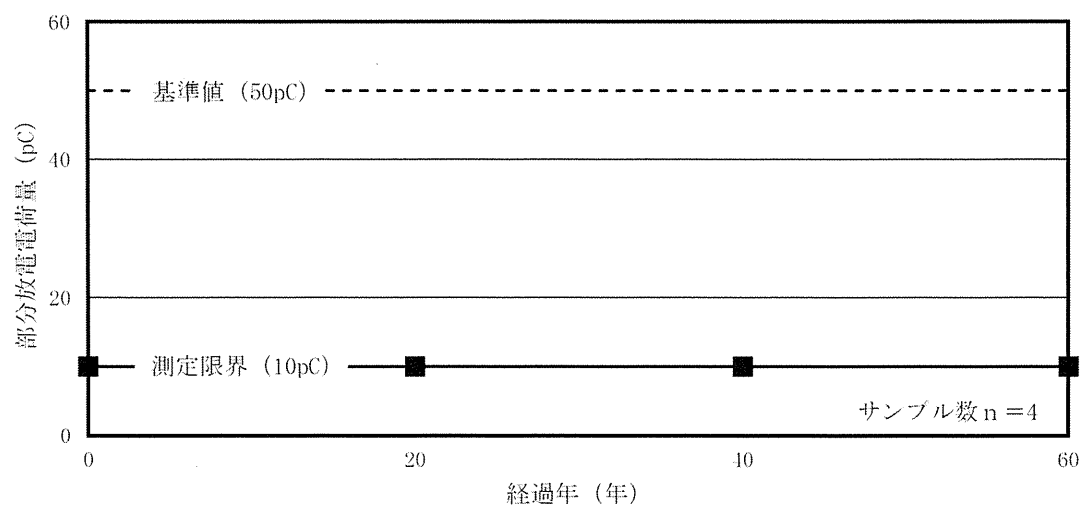


図2.3-1(2/8) 計器用変圧器の部分放電特性 (課電劣化試験による部分放電電荷量)
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価
 研究 (STEP2)」2001年度]

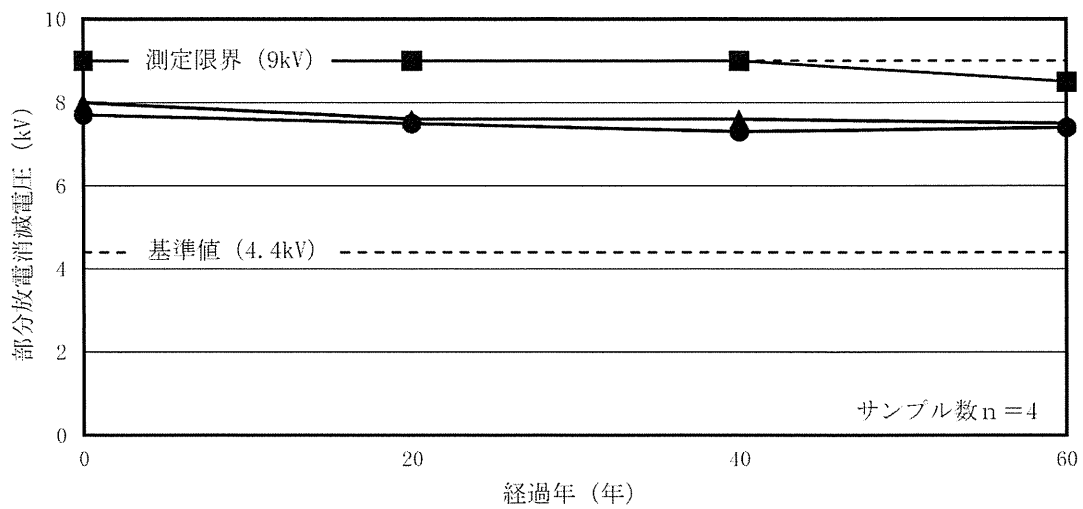


図2.3-1(3/8) 計器用変圧器の部分放電特性(熱サイクル試験による部分放電消滅電圧)
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価
 研究 (STEP2)」2001年度]

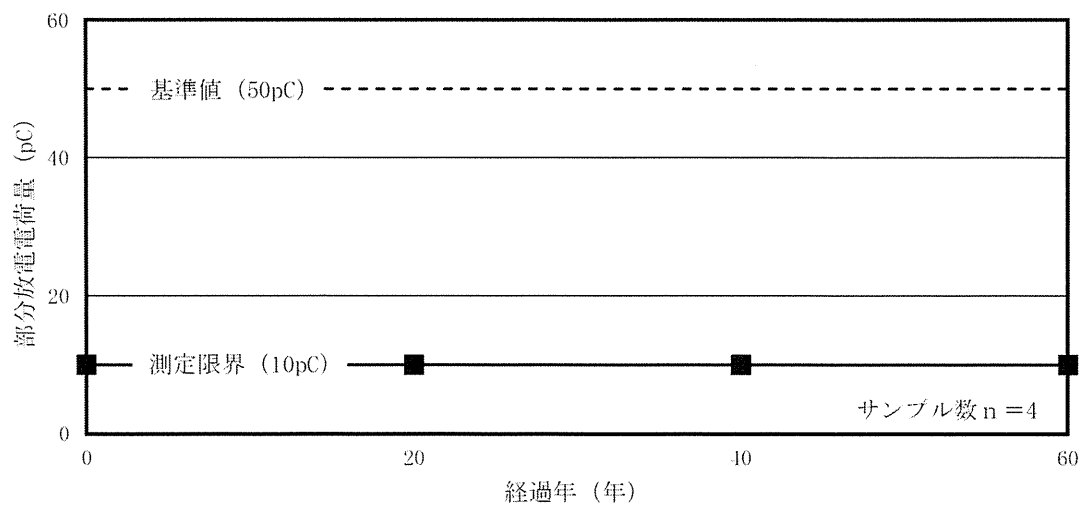


図2.3-1(4/8) 計器用変圧器の部分放電特性(熱サイクル試験による部分放電電荷量)
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価
 研究 (STEP2)」2001年度]

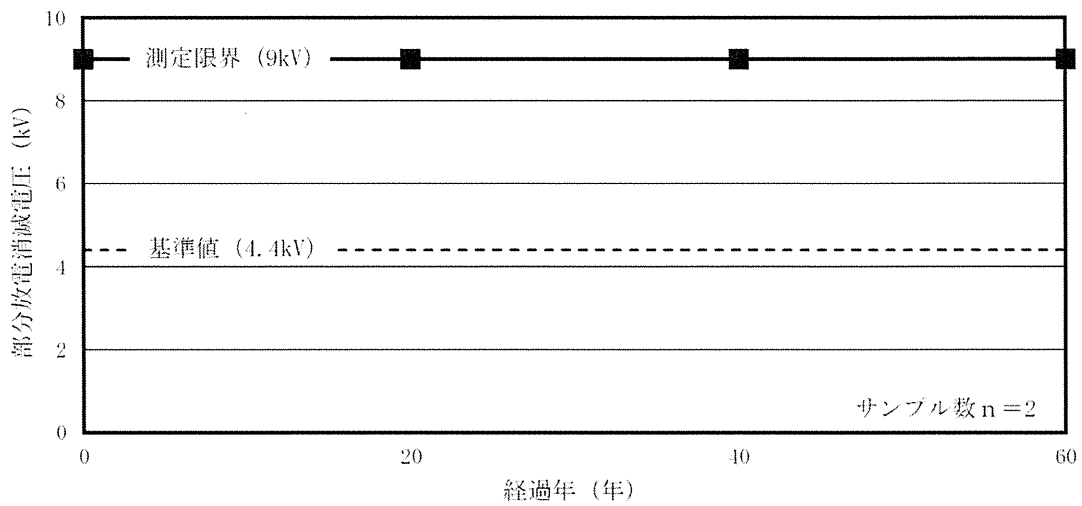


図2.3-1(5/8) 計器用変流器の部分放電特性（課電劣化試験による部分放電消滅電圧）
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価
 研究（STEP2）」2001年度]

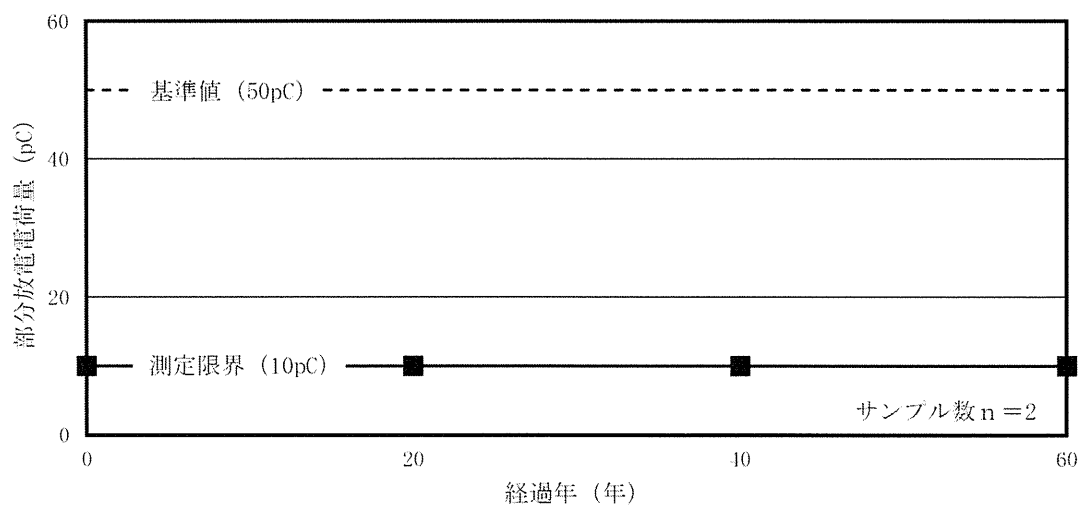


図2.3-1(6/8) 計器用変流器の部分放電特性（課電劣化試験による部分放電電荷量）
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価
 研究（STEP2）」2001年度]

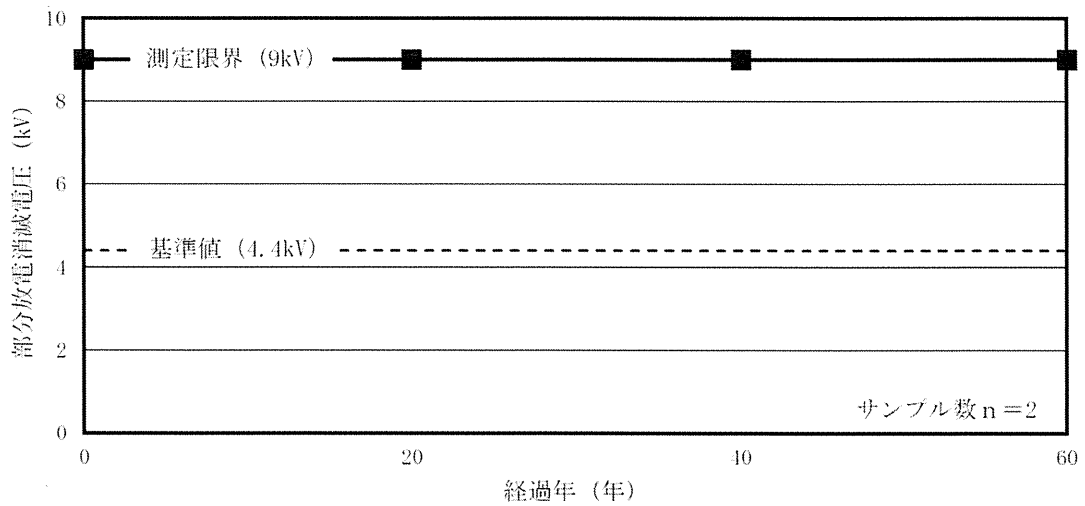


図2.3-1(7/8) 計器用変流器の部分放電特性 (熱サイクル試験による部分放電消滅電圧)
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価
 研究 (STEP2)」2001年度]

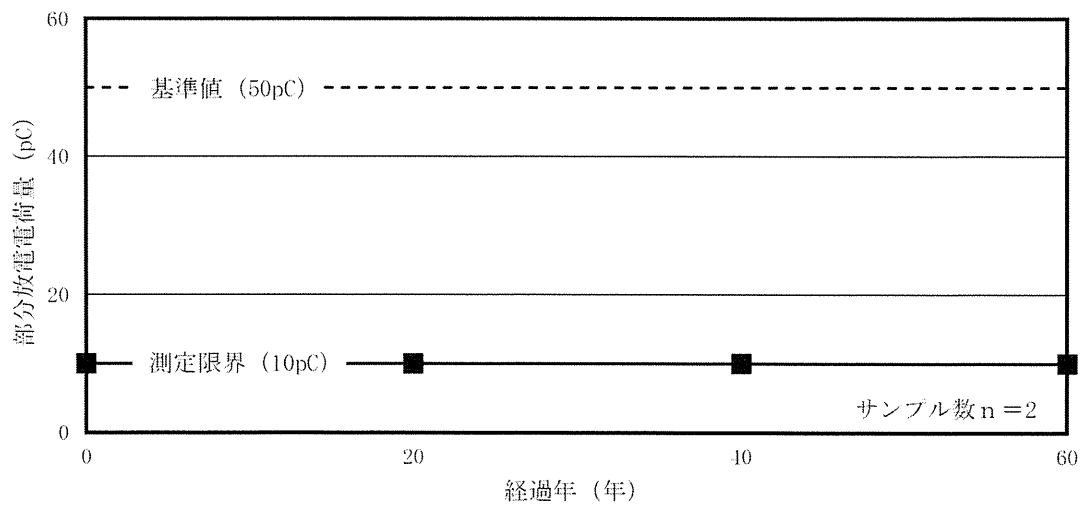


図2.3-1(8/8) 計器用変流器の部分放電特性 (熱サイクル試験による部分放電電荷量)
 [出典：電力共通研究「原子力発電所における電気・計装品の健全性評価
 研究 (STEP2)」2001年度]

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。

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 1
- ③ 代替電源接続盤 2

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）の絶縁仕様はH種であり、使用環境等は代表機器と同様であることから、絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、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 モールドフレーム及び絶縁ロッドの絶縁低下

[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及び絶縁ロッド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、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、通電時の支持碍子部の温度は、支持碍子の耐熱温度(90℃)以下となることを試験にて確認しているため、絶縁低下の可能性は低いと考える。

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。

3.2.9 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 1、代替電源接続盤 2] 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 取付ボルトの腐食（全面腐食）〔重大事故等対処用変圧器受電盤〕

取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、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。

3.2.13 基礎ボルトの腐食（全面腐食）及び劣化

〔代替電源接続盤1、代替電源接続盤2〕

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。

3.2.14 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。

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。

2.2.3 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。

3.2.15 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

玄海3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 玄海3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
種類	設置場所			重要度*1	使用条件				
					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) (4)	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)	300	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

玄海3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。

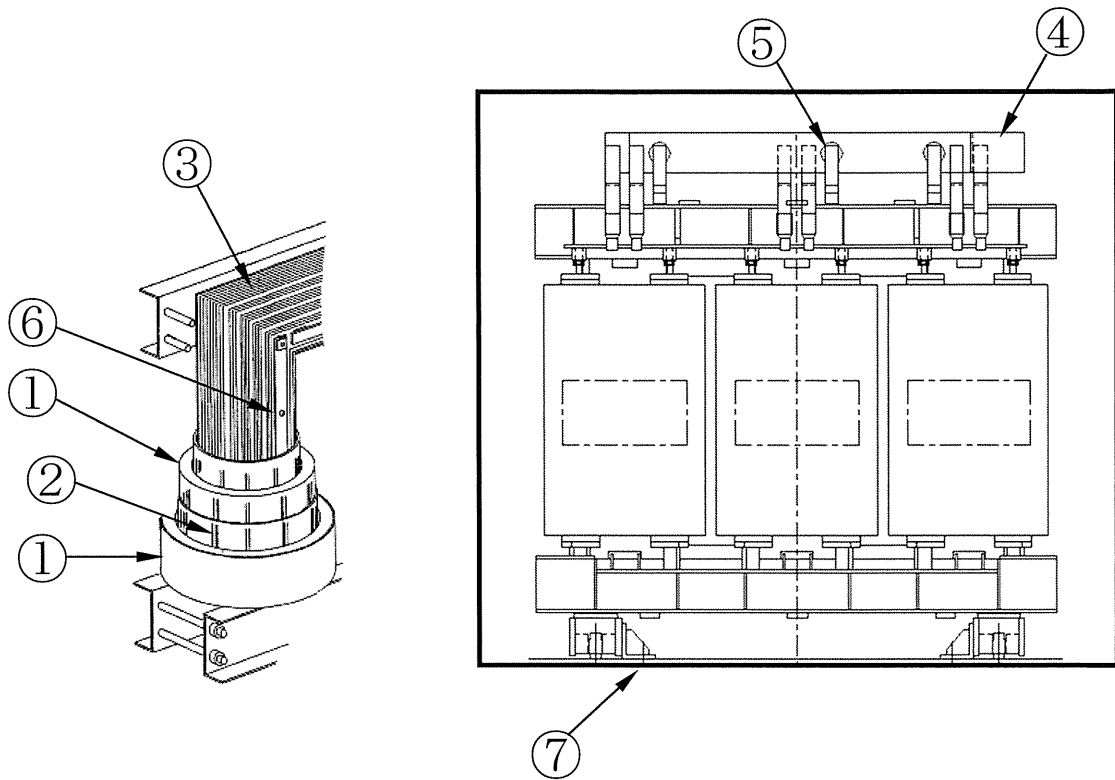
変圧器本体は電流回路となる巻線と、磁気回路となる鉄心及び巻線の絶縁を保持する絶縁物から構成され、電磁誘導の原理に基づき電圧変成を行っている。

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。

玄海3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

玄海3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	取付ボルト

図2.1-1 玄海3号炉 動力変圧器（安全系）構造図

表2.1-1 玄海3号炉 動力変圧器（安全系）主要部位の使用材料

部 位		材 料
巻線構成成品	コイル	銅、ポリアミド紙（H種絶縁）
	垂直ダクト	ポリエステルガラス
鉄心構成成品	鉄 心	珪素鋼板
	鉄心締付ボルト	炭素鋼（亜鉛メッキ）
配線構成成品	接続銅板	銅
支持組立品	銅板支持碍子	磁 器
	取付ボルト	炭素鋼（亜鉛メッキ）

表2.1-2 玄海3号炉 動力変圧器（安全系）の使用条件

容 量	2,300kVA
周 围 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) 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。

表2.2-1 玄海3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	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
磁気回路の維持 通電・絶縁機能の維持	コイル		銅 ポリアミド紙 (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)		△							
	取付ボルト		炭素鋼 (亜鉛メッキ)		△							

○：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 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）。

玄海3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	17

1. 対象機器

玄海3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 玄海3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 (°C)	投入方式	定格電流(A) (最大)	遮断電流 (kA)
パワーセンタ (安全系) (4)	気中遮断器内蔵 低圧閉鎖形 母線定格電流 3,000A	MS-1、重*2	連 続	460	約35	ば ね	3,000	65
							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

玄海3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。

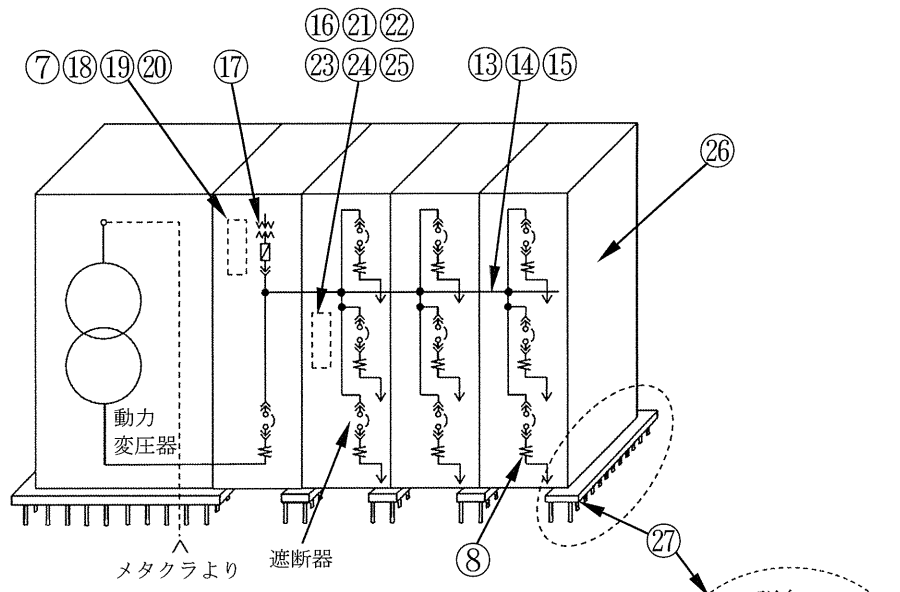
パワーセンタ（安全系）には気中遮断器を収納しており、電源回路の保護、制御のために計器用変流器、計器用変圧器等を備えている。

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。

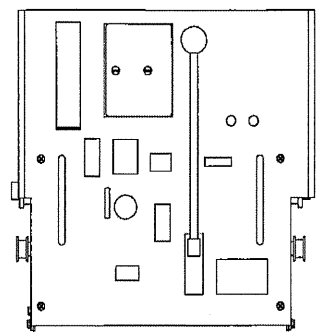
玄海3号炉のパワーセンタ（安全系）構成図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

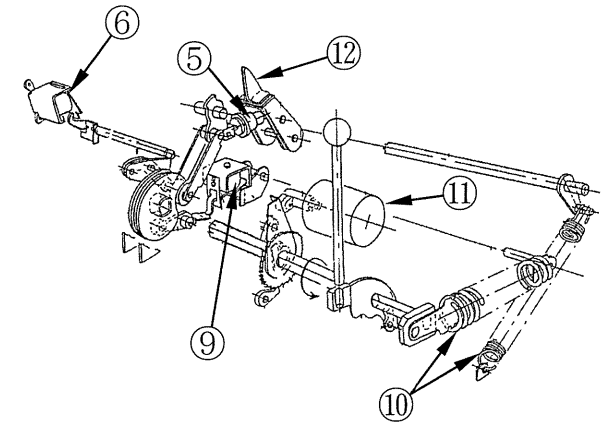
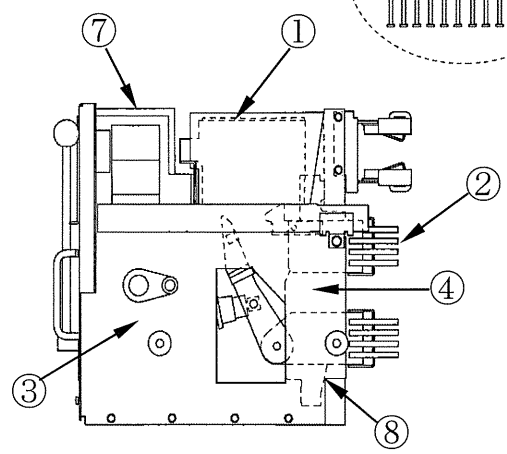
玄海3号炉のパワーセンタ（安全系）の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部 位	No.	部 位
①	消弧室	⑮	絶縁支持板
②	一次ジャンクション	⑯	操作スイッチ
③	操作機構	⑰	計器用変圧器
④	絶縁ベース	⑱	ロックアウトリレー
⑤	絶縁リンク	⑲	電磁接触器
⑥	引外しコイル	⑳	制御用変圧器
⑦	保護リレー (静止形)	㉑	補助継電器
⑧	計器用変流器	㉒	表示灯
⑨	投入コイル	㉓	ノーヒューズブレーカ
⑩	ばね	㉔	タイマ
⑪	ばね蓄勢用モータ (低圧モータ)	㉕	ヒューズ
⑫	接触子	⑳	筐 体
⑬	主回路導体	㉗	埋込金物
⑭	支持碍子		



遮断器



遮断器操作機構

図2.1-1 玄海3号炉 パワーセンタ (安全系) 構成図

表2.1-1 玄海3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 ポリエステル樹脂（B種絶縁）
	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
盤構成成品	主回路導体	銅、アルミニウム合金
	支持碍子	エポキシ樹脂
	絶縁支持板	フェノール樹脂
	操作スイッチ	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
	ロックアウトリレー	消耗品・定期取替品
	電磁接触器	消耗品・定期取替品
	制御用変圧器	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 玄海3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 容 量	50kA 0.5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

遮断器の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) 絶縁ベース、絶縁リンク及び絶縁支持板の絶縁低下

遮断器の絶縁ベース、絶縁リンク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、絶縁ベース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、絶縁ベースの耐熱温度は200℃、絶縁リンクの耐熱温度は180℃、絶縁支持板の耐熱温度は130℃と十分余裕を持った耐熱性を有していることから、絶縁低下の可能性は小さいと考える。

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

なお、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

遮断器の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）の特性変化

保護リレー（静止形）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）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、定期的な校正試験により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、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）

主回路導体は銅及びアルミニウム合金であり、腐食が想定される。

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

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、通電時の支持碍子部の温度は、支持碍子の耐熱温度(90℃)以下となることを試験にて確認しているため、絶縁低下の可能性は低いと考える。

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、電磁接触器、制御用変圧器、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) 玄海3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								△ ^{*1}	*1：汚損 *2：固着 *3：変形 (応力緩和)
	一次ジャンクション		銅	△								
	操作機構		炭素鋼								△ ^{*2}	
	絶縁ベース		ポリエステル樹脂 (N種絶縁)					△				
	絶縁リンク		ジアリルアクリレート樹脂 (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 ポリエステル樹脂 (B種絶縁)					○		△		
	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								△ ^{*3}	
	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	△								
	主回路導体		銅、アルミニウム合金		△							
	支持碍子		エポキシ樹脂					△				
絶縁支持板		フェノール樹脂					△					

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 (日常劣化管理事象)

▲：高経年化対策上着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) 玄海3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		
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) —									
	ロックアウトリレー	◎	—									
	電磁接触器	◎	—									
	制御用変圧器	◎	—									
	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。

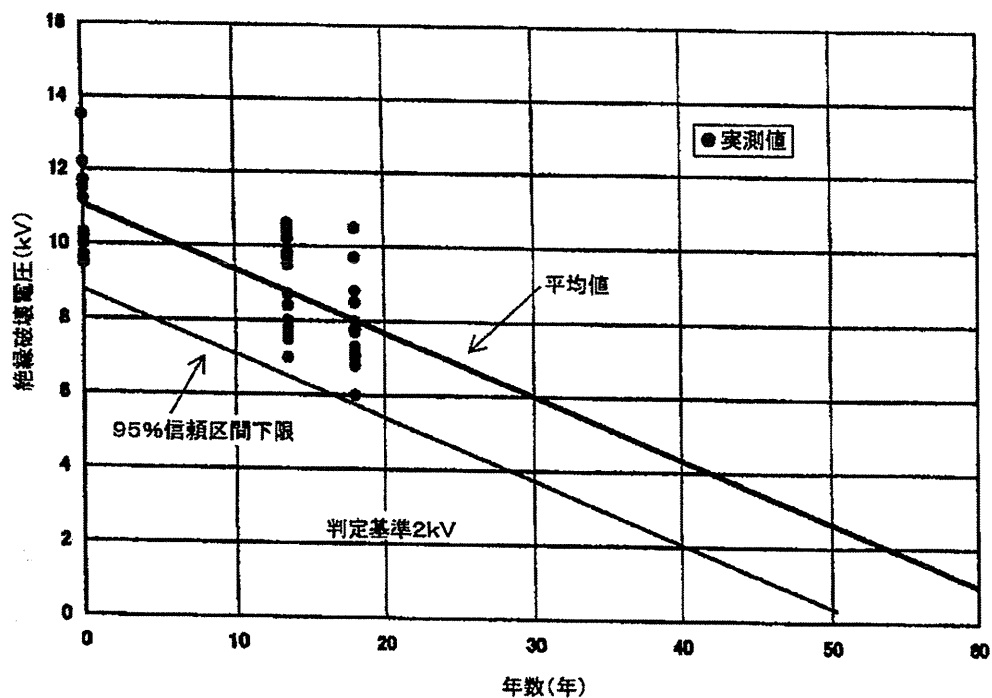


図2.3-1 保護リレーの絶縁破壊電圧と使用年数の関係

[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。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、保護リレー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

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14回定期検査時(2019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 加圧器後備ヒータグループコントロールセンタ
- ④ 発電機受電盤
- ⑤ 重大事故等対処用分電盤
- ⑥ 常設電動注入ポンプ電源切替盤

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
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

玄海3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 玄海3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) (8)	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 400A	MS-1	連続	460	約40	
		加圧器後備ヒータグループコントロールセンタ (4)	低圧閉鎖形 定格電流 600A	MS-2	連続	460	約35	
		発電機受電盤 (2)	低圧閉鎖形 定格電流 800A	重*2	一時	220	約24	
		重大事故等対処用分電盤 (1)	低圧閉鎖形 定格電流 600A	重*2	一時	460	約40	
		常設電動注入ポンプ電源切替盤 (1)	屋内壁掛形 定格電流 400A	重*2	一時	440	約40	

*1：機能は最上位の機能を示す

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

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の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

玄海3号炉の原子炉コントロールセンタ（安全系）は、定格使用電圧460V、定格電流800Aの低圧閉鎖形である。

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、CLN限流装置等で構成されている。

玄海3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

玄海3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。

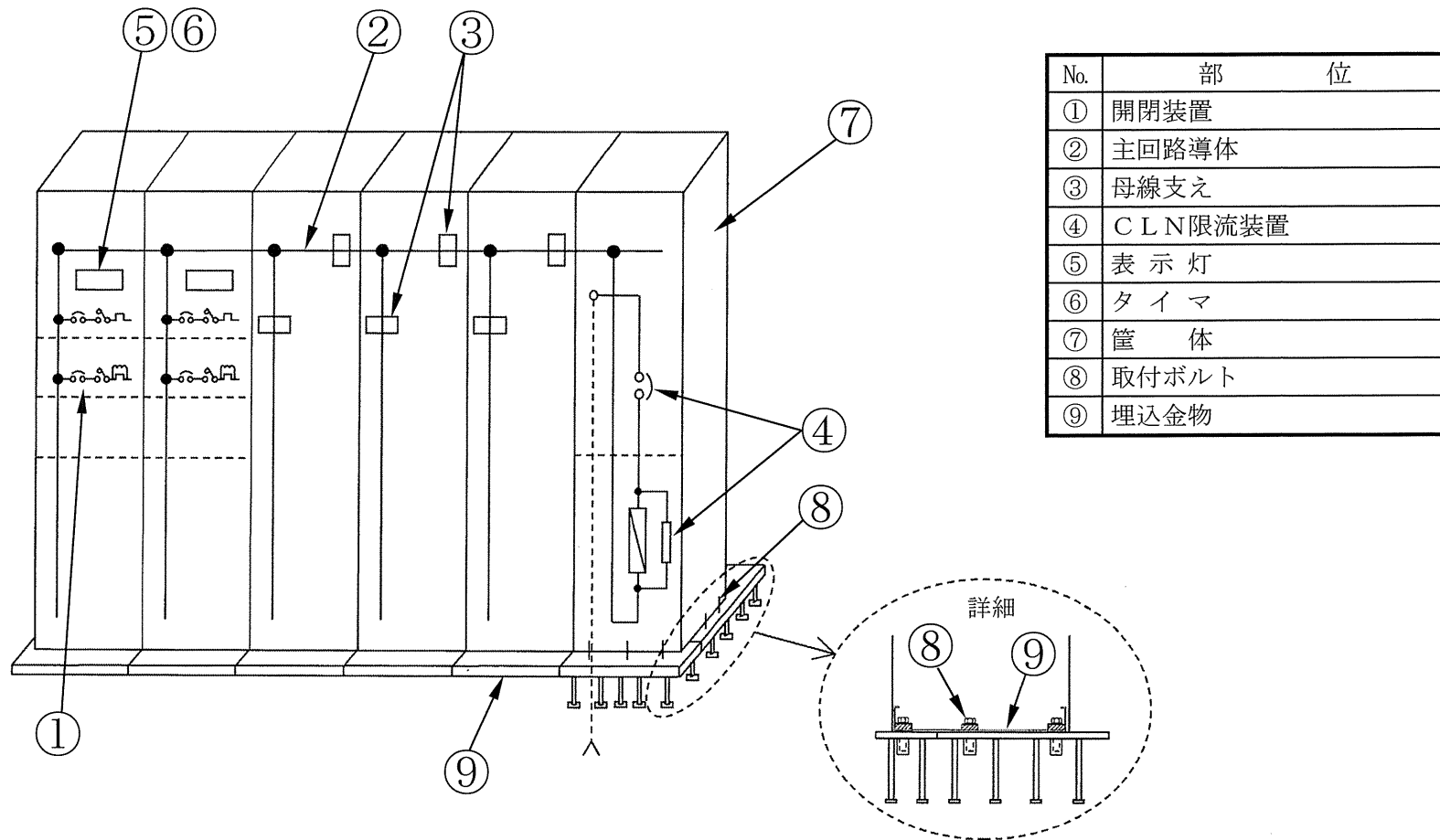


図2.1-1 玄海3号炉 原子炉コントロールセンタ（安全系）構成図

表2.1-1 玄海3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）
	CLN限流装置	金属ナトリウム、クローム銅棒、ステンレス鋼、磁器
	表示灯	消耗品・定期取替品
	タイマ	消耗品・定期取替品
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 玄海3号炉 原子炉コントロールセンタ（安全系）の使用条件

周 囲 温 度	約35℃*1
定格短時間電流容量	18kA 1秒
主回路温度上昇値 （最 大）	65℃
定 格 使 用 電 圧	460V

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

原子炉コントロールセンタ（安全系）の機能である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100℃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) C L N限流装置の絶縁低下

C L N限流装置に使用している絶縁物は無機物の磁器であり、経年劣化の可能性はない。

なお、長期の使用においては表面の汚損による絶縁低下が想定される。

しかしながら、C L N限流装置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。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、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) 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。

(5) 取付ボルトの腐食（全面腐食）

取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、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。

(6) 埋込金物（大気接触部）の腐食（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗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。

(7) 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部については、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 玄海3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	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
遮断機能の維持 通電・絶縁機能の 維持	開閉装置 (ノーヒューズブレーカ、サーマルリレー、電磁接触器、ヒューズ、補助継電器)	◎	—									*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	C L N限流装置		金属ナトリウム、 クロム銅棒、 ステンレス鋼、 磁 器					△				
	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 加圧器後備ヒータグループコントロールセンタ
- ③ 発電機受電盤
- ④ 重大事故等対処用分電盤
- ⑤ 常設電動注入ポンプ電源切替盤

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）[常設電動注入ポンプ電源切替盤を除く共通]

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 [常設電動注入ポンプ電源切替盤を除く共通]

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であり、主回路導体の通電時の最大温度は100℃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。

3.2.3 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）

[常設電動注入ポンプ電源切替盤を除く共通]

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 架台の腐食（全面腐食）[常設電動注入ポンプ電源切替盤]

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。

3.2.7 基礎ボルトの腐食（全面腐食）[常設電動注入ポンプ電源切替盤]

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、機械設備の技術評価書のうち「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。

3.2.8 埋込金物（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）

[常設電動注入ポンプ電源切替盤を除く共通]

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。