

玄海原子力発電所3号炉

配管の技術評価書

[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号炉の配管のうち、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材料及び内部流体でグループ化し、同一グループ内の複数の機器の存在を考慮して、設置場所、重要度及び使用条件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。また、配管サポートについては配管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、サポートの種類が表3に示すように多種多様であり、かつそれぞれの配管にはそれらのサポートの何種類かのサポートが設置されていることを考慮し、独立してとりまとめている。本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考ええる。

なお、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。

本評価書では配管の材料等を基に、以下の5つに分類している。

- 1 ステンレス鋼配管
- 2 低合金鋼配管
- 3 炭素鋼配管
- 4 1次冷却材管
- 5 配管サポート

なお、1次冷却材管はステンレス鋼配管に属することになるが、安全上重要な機器であり、かつ補修・取替が容易ではない機器であることを考慮し、ステンレス鋼配管と分けて単独で評価している。

表 1 (1/5) 玄海 3 号炉 主要な配管

分離	基準	機器名称	選定基準				選定理由	
			重要度*1	設置場所	使用条件	最高使用温度 (°C)		
材料	内部流体		重要度*1	設置場所	運轉	最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)	
ステンレス鋼	1 次冷却材 ほう酸水	1 次冷却材管	PS-1、重 ^{*3}	屋内	連続	約17.2	約343	
		1 次冷却材系統配管*2	PS-1、重 ^{*3}		連続	約17.2	約360	
		化学体積制御系統配管*2	MS-1、重 ^{*3}		連続	約20.0	約343	
		使用済燃料ピット浄化冷却系統配管	MS-2、重 ^{*3}		連続	約 1.4	約 95	
		燃料取替用水系統配管	MS-1、重 ^{*3}		連続	約 1.4	約144	
		液体廃棄物処理系統配管 (ほう酸収集・処理)	高 ^{*4}		一時	約 2.1	約 95	
		1 次系試料採取系統配管	MS-1		連続	約17.2	約360	
		安全注入系統配管*2	MS-1、重 ^{*3}		一時	約20.0	約343	
		余熱除去系統配管*2	MS-1、重 ^{*3}		一時	約17.2	約343	
		原子炉格納容器スプレイ系統配管	MS-1、重 ^{*3}		一時	約 2.7	約150	
		濃縮廃液処理系統配管	高 ^{*4}	屋内	一時	約0.98	約120	
苛性ソーダ 溶液 蒸気		原子炉格納容器スプレイ系統配管 (苛性ソーダライン)	MS-1	屋内	一時	約 2.7	約150	
		主蒸気系統配管	高 ^{*4}	屋内	連続	約 8.2	約298	
		低温再熱蒸気系統配管	高 ^{*4}		連続	約 1.4	約200	
		第 7 抽気系統配管	高 ^{*4}		連続	約 3.4	約245	
		タービンドラフト蒸気系統配管	高 ^{*4}		連続	約 3.9	約255	
		補助蒸気系統配管	高 ^{*4}		連続	約 8.2	約298	
		第 6 抽気系統配管	高 ^{*4}	屋内外	連続	約 1.4	約200	
		2 次系ドレン系統配管	高 ^{*4}	屋 外	連続	大気圧	約165	

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：1 次冷却材系統内にラインが含有されるものうち、弁等で他系統と接続されるラインは他系統側の配管として評価する。また、1 次冷却材管は別に評価する

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

*4：最高使用温度が95°Cを超え、又は最高使用圧力が1,900kPa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

*5：余熱除去系統配管は、通常運轉時は使用されておらず定期検査時のみに通水されることから、環境条件（使用時の温度変動が急激かつ大きい）により経年劣化評価上厳しくなる可能性があるかと判断した

表 1 (2/5) 玄海 3 号炉 主要な配管

分離材料	基準内部流体	機器名称	選定基準				選定理由		
			重要度*1	設置場所	使用条件	最高使用温度(°C)			
ステンレス鋼	給水	蒸気発生器ブローダウン系統配管	MS-1	屋内	連続	約 8.2	約298	◎	
		安全注入系統配管 (給水)	重*3	屋内外	一時	大気圧	約 40		約 40
		余熱除去系統配管 (給水)	重*3		一時	約 1.5	約 95		
		原子炉格納容器スプレイ系統配管 (給水)	重*3		一時	約 2.7	約150		
		2次系復水系統配管	高*4		連続	約 4.1	約155		
		主給水系統配管*2	高*4		連続	約10.3	約200		
		補助給水系統配管	MS-1、重*3		一時	約12.7	約 40		
		2次系ドレン系統配管	高*4		連続	約 8.2	約298		
		気体廃棄物処理系統配管	PS-2		連続	約0.98	約400		
		原子炉補機冷却水系統配管 (空気)	重*3		一時	大気圧	約 40		
		1次系試料採取系統配管 (空気)	高*4、重*3		一時	約0.98	約144		
		制御用空気系統配管	MS-1、重*3		連続	約0.83	約144		
		制御用空気系統配管 (窒素)	重*3		一時	約0.98	約 50		
代替緊急時対策所加圧設備系統配管	重*3	一時	約 1.0		約 40				
使用済燃料ピット浄化冷却系統配管 (空気)	重*3	屋内外	大気圧	約 40					
タービン潤滑・制御油系統配管	油	屋内	連続	約16.2	約 75	◎			

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：2次系給水系統配管を含む

*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

*4：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

表 1 (3/5) 玄海 3 号炉 主要な配管

分離基準	機器名称	選定基準				選定	選定理由	
		重要度*1	設置場所	運転	最高使用圧力 (MPa [gage])			最高使用温度 (°C)
材料	内部流体							
低合金鋼	蒸気	高*2	屋内	連続	約 1.4	約200	◎	重要度
		高*2			約0.69	約175		
	給水	高*2	屋内外	連続	約 8.2	約298	◎	

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：最高使用温度が95°Cを超え、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

表 1 (4/5) 玄海 3 号炉 主要な配管

分離	基準		機器名称	重要度*1	選定基準			選定	選定理由	
	材料	内部流体			設置場所	運転	最高使用圧力 (MPa [gauge])			最高使用温度 (°C)
炭素鋼	蒸気	水	主蒸気系統配管	MS-1、重*2	屋内	連続	約 8.2	約298	◎	重要度
			高温再熱蒸気系統配管	高*3		連続	約 1.4	約298		
			低温再熱蒸気系統配管	高*3		連続	約 1.4	約200		
			第3 抽気系統配管	高*3		連続	約0.05	約115		
			第4 抽気系統配管	高*3		連続	約0.25	約180		
			第5 抽気系統配管	高*3		連続	約0.44	約225		
			第7 抽気系統配管	高*3		連続	約 3.4	約245		
			タービングラウンド蒸気系統配管	高*3		連続	約 8.2	約298		
			補助蒸気系統配管	MS-1		連続	約 8.2	約298		
			第6 抽気系統配管	高*3	屋外	連続	約 1.4	約200		
			2次系ドレン系統配管	高*3		連続	約 1.4	約200		
			蒸気発生器ブロウダウン系統配管	MS-1	屋内	連続	約 8.2	約298		
			原子炉格納容器スプレイ系統配管 (給水)	重*2		一時	約 1.5	約 95		
			2次系復水系統配管	高*3		連続	約 4.1	約200		
			補助給水系統配管	MS-1、重*2		一時	約12.7	約 40		
			補助蒸気系統配管	高*3		一時	約 1.8	約185		
			2次系ドレン系統配管	高*3	屋内外	連続	約 8.2	約298		
主給水系統配管*4	MS-1、重*2		連続	約10.3	約298	◎	重要度、 環境条件*5			

*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：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

*4：2次系給水系統配管を含む

*5：主給水系統配管は、環境条件（プラントの起動・停止時に内部流体の温度、圧力の変化の影響を受ける）により経年劣化評価上厳しくなる可能性があるると判断した

表 1 (5/5) 玄海 3 号炉 主要な配管

分離基準	機器名称	選定基準				選定	選定理由
		重要度*1	設置場所	運用	使用条件		
材料	内部流体	最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)		
炭素鋼	ヒドラン水	MS-1、重 ^{*2}	屋 内	連 続	約 1.4	約 144	◎ 重要度
	油	高 ^{*3}	屋 内	連 続	約 2.8	約 80	
窒 素	原子炉補機冷却水系統配管	重 ^{*2}	屋 内	一 時	約 0.98	約 95	◎ 重要度
	原子炉補機冷却水系統配管 (窒素)	MS-1		一 時	約 0.39	約 144	
空 気	格納容器減圧系統配管	重 ^{*2}	屋 内 外	一 時	大気圧	約 40	
	原子炉格納容器スプレイ系統配管 (空気)	重 ^{*2}		一 時	約 0.83	約 50	
炭酸ガス	制御用空気系統配管 (窒素)	重 ^{*2}	屋 内 外	一 時	大気圧	約 40	
	原子炉補機冷却水系統配管 (空気)	重 ^{*2}		一 時	約 10.8	約 40	
海水	消火装置系統配管	高 ^{*3}	屋 内 外	連 続	約 0.98	約 50	◎
	原子炉補機冷却海水系統配管	MS-1、重 ^{*2}		連 続	約 0.98	約 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

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

表 2 (1/2) 玄海 3 号炉 主要な配管の機能

配 管	機 能
1 次冷却材管 1 次冷却材系統配管	炉心で発生した熱を蒸気発生器で 2 次系に伝達する 1 次冷却材系統を構成する配管である。
化学体積制御系統配管	1 次冷却材系統の 1 次冷却材保有量を適正に調整し、1 次冷却材中の核分裂生成物、腐食生成物等の不純物を除去する化学体積制御系統を構成する配管である。
蒸気発生器ブローダウン系統配管	蒸気発生器 2 次側水の水質維持のために一部を復水器に回収するための蒸気発生器ブローダウン系統を構成する配管である。
使用済燃料ピット浄化冷却系統配管	使用済燃料ピット中の使用済燃料からの崩壊熱を除去し、使用済燃料ピット水の冷却を行うとともに、使用済燃料ピット、原子炉キャビティ及び燃料取替用水タンクのほう酸水を浄化するための使用済燃料ピット浄化冷却系統を構成する配管である。
燃料取替用水系統配管	燃料取替用水タンク水の浄化及び水温の維持並びに使用済燃料ピットの補給水としてほう酸水を補給するための燃料取替用水系統を構成する配管である。
原子炉補機冷却水系統配管	1 次系補機に冷却水を供給する原子炉補機冷却水系統を構成する配管である。
原子炉補機冷却海水系統配管	1 次系の系統及び補機において発生又は蓄積された熱を除去する原子炉補機冷却海水系統を構成する配管である。
液体廃棄物処理系統配管	液体の廃棄物を各処理装置へ供給する液体廃棄物処理系統を構成する配管である。
固体廃棄物処理系統配管	放射性の廃棄物を固体化し処理する固体廃棄物処理系統を構成する配管である。
気体廃棄物処理系統配管	窒素をカバーガスとする各タンクからのベントガス等の窒素廃ガス及び体積制御タンク等からページされる水素廃ガスを貯留し、放射能を減衰処理する気体廃棄物処理系統を構成する配管である。
1 次系試料採取系統配管	1 次冷却材の化学的性質及び放射性物質の種類と量を把握するための流体サンプルを採取する 1 次系試料採取系統を構成する配管である。
換気空調系統配管	原子炉補助建屋内等の換気空調を行う換気空調系統を構成する配管である。
安全注入系統配管	1 次冷却材喪失事故あるいは主蒸気管破断事故時等に、ほう酸水を原子炉容器に注入することにより炉心の冷却かつ負の反応度添加を行う安全注入系統を構成する配管である。
余熱除去系統配管	炉を停止した後に 1 次冷却材系統に残留している熱、炉心の崩壊熱及び 1 次冷却材系統を均一に冷却する目的で運転する 1 次冷却材ポンプの発生熱を除去し、1 次冷却材系統を降温させる余熱除去系統を構成する配管である。

表 2 (2/2) 玄海 3 号炉 主要な配管の機能

配 管	機 能
原子炉格納容器スプレイ系統配管	事故時における格納容器からの放射性物質の漏えいを最小にし公衆の安全を確保するための格納容器スプレイ系統を構成する配管である。
主蒸気系統配管	蒸気発生器にて発生した蒸気をタービンに送る主蒸気系統を構成する配管である。
高温再熱蒸気系統配管	湿分分離加熱器にて湿分を除去した加熱蒸気を低圧タービンへ供給するための高温再熱蒸気系統を構成する配管である。
低温再熱蒸気系統配管	高圧タービンからの排気を湿分分離加熱器へ供給するための低温再熱蒸気系統を構成する配管である。
第 3 抽気系統配管	低圧タービンからの抽気を低圧第 3 給水加熱器へ供給するための第 3 抽気系統を構成する配管である。
第 4 抽気系統配管	低圧タービンからの抽気を低圧第 4 給水加熱器へ供給するための第 4 抽気系統を構成する配管である。
第 5 抽気系統配管	低圧タービンからの抽気を低圧第 5 給水加熱器へ供給するための第 5 抽気系統を構成する配管である。
第 6 抽気系統配管	高圧タービンからの抽気を脱気器へ供給するための第 6 抽気系統を構成する配管である。
第 7 抽気系統配管	高圧タービンからの抽気を高圧第 7 給水加熱器及び湿分分離加熱器へ供給するための第 7 抽気系統を構成する配管である。
2 次系復水系統配管	復水器により回収された復水を脱気器へ供給するための 2 次系復水系統を構成する配管である。
2 次系ドレン系統配管	各加熱器より発生したドレンを移送、回収するための 2 次系ドレン系統を構成する配管である。
主給水系統配管	蒸気発生器の水位を維持するために復水を蒸気発生器に給水する主給水系統を構成する配管である。
補助給水系統配管	主給水が使用できない場合に補助給水を蒸気発生器に供給する補助給水系統を構成する配管である。
タービングランド蒸気系統配管	タービンのグランド部へ蒸気シールの蒸気を供給するためのタービングランド蒸気系統を構成する配管である。
制御用空気系統配管	清浄で乾燥した圧縮空気をタービン建屋、補助建屋及び格納容器内の空気作動弁等に供給する制御用空気系統を構成する配管である。
補助蒸気系統配管	スチームコンバータ等にて発生した蒸気を各装置に供給する補助蒸気系統を構成する配管である。
タービン潤滑・制御油系統配管	タービン潤滑・制御油を移送・回収するためのタービン潤滑・制御油系統を構成する配管である。

表3 玄海3号炉 配管サポートの機能

サポート名称	機能
アンカー	配管の全方向の変位及びモーメントを拘束する。
Uバンド	配管の全方向の変位を拘束する。
Uボルト	配管の軸直方向の変位を拘束する。
スライドサポート	配管の軸直方向の変位及び全方向のモーメントを拘束する。
レストレイント	配管の特定1方向の変位を拘束する。
スプリングハンガ	配管自重を支持する。
オイルスナバ	地震時に、配管の特定1方向の変位を拘束する。
メカニカルスナバ	地震時に、配管の特定1方向の変位を拘束する。

1 ステンレス鋼配管

[対象機器]

- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| ① 1次冷却材系統配管 | ⑱ 原子炉格納容器スプレイ系統配管（給水） |
| ② 化学体積制御系統配管 | ⑲ 原子炉格納容器スプレイ系統配管（苛性ソーダライン） |
| ③ 蒸気発生器ブローダウン系統配管 | ⑳ 主蒸気系統配管 |
| ④ 使用済燃料ピット浄化冷却系統配管 | ㉑ 低温再熱蒸気系統配管 |
| ⑤ 使用済燃料ピット浄化冷却系統配管（空気） | ㉒ 第6抽気系統配管 |
| ⑥ 燃料取替用水系統配管 | ㉓ 第7抽気系統配管 |
| ⑦ 原子炉補機冷却水系統配管（空気） | ㉔ 2次系復水系統配管 |
| ⑧ 液体廃棄物処理系統配管（ほう酸収集・処理） | ㉕ 2次系ドレン系統配管 |
| ⑨ 濃縮廃液処理系統配管 | ㉖ 主給水系統配管 |
| ⑩ 気体廃棄物処理系統配管 | ㉗ 補助給水系統配管 |
| ⑪ 1次系試料採取系統配管 | ㉘ タービングランド蒸気系統配管 |
| ⑫ 1次系試料採取系統配管（空気） | ㉙ 制御用空気系統配管 |
| ⑬ 安全注入系統配管 | ㉚ 制御用空気系統配管（窒素） |
| ⑭ 安全注入系統配管（給水） | ㉛ 補助蒸気系統配管 |
| ⑮ 余熱除去系統配管 | ㉜ タービン潤滑・制御油系統配管 |
| ⑯ 余熱除去系統配管（給水） | ㉝ 代替緊急時対策所加圧設備系統配管 |
| ⑰ 原子炉格納容器スプレイ系統配管 | |

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	5
2.1 構造、材料及び使用条件	5
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	33
3. 代表機器以外への展開	37
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	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	42

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ステンレス鋼配管（1次冷却材管を除く）の主な仕様を表1-1に示す。

これらの配管を内部流体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に示すステンレス鋼配管について、内部流体を分離基準として考えると、合計7つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 内部流体：1次冷却材・ほう酸水

このグループには、1次冷却材系統配管、化学体積制御系統配管、使用済燃料ピット浄化冷却系統配管、燃料取替用水系統配管、液体廃棄物処理系統配管（ほう酸収集・処理）、1次系試料採取系統配管、安全注入系統配管、余熱除去系統配管及び原子炉格納容器スプレイ系統配管が属するが、重要度が高く、環境条件（使用時の温度変動が急激かつ大きい）により経年劣化評価上厳しくなる可能性のある余熱除去系統配管を代表機器とする。

(2) 内部流体：廃液

このグループには、濃縮廃液処理系統配管のみが属するため、代表機器は濃縮廃液処理系統配管とする。

(3) 内部流体：苛性ソーダ溶液

このグループには、原子炉格納容器スプレイ系統配管（苛性ソーダライン）のみが属するため、代表機器は原子炉格納容器スプレイ系統配管（苛性ソーダライン）とする。

(4) 内部流体：蒸気

このグループには、主蒸気系統配管、低温再熱蒸気系統配管、第7抽気系統配管、タービングランド蒸気系統配管、補助蒸気系統配管、第6抽気系統配管及び2次系ドレン系統配管が属するが、屋外にも設置され使用条件が厳しい第6抽気系統配管を代表機器とする。

(5) 内部流体：給水

このグループには、蒸気発生器ブローダウン系統配管、安全注入系統配管（給水）、余熱除去系統配管（給水）、原子炉格納容器スプレイ系統配管（給水）、2次系復水系統配管、主給水系統配管、補助給水系統配管及び2次系ドレン系統配管が属するが、重要度が高い補助給水系統配管を代表機器とする。

(6) 内部流体：希ガス等・空気

このグループには、気体廃棄物処理系統配管、原子炉補機冷却水系統配管（空気）、1次系試料採取系統配管（空気）、制御用空気系統配管、制御用空気系統配管（窒素）、代替緊急時対策所加圧設備系統配管及び使用済燃料ピット浄化冷却系統配管（空気）が属するが、重要度が高い制御用空気系統配管を代表機器とする。

(7) 内部流体：油

このグループには、タービン潤滑・制御油系統配管のみが属するため、代表機器はタービン潤滑・制御油系統配管とする。

表1-1(1/2) 玄海3号炉 ステンレス鋼配管の主な仕様

分離基準	機器名称	選定基準				選定理由		
		重要度*1	設置場所	使用条件	最高使用温度(°C)			
内部流体	1次冷却材系統配管*2	PS-1、重*3	屋内	連続	約17.2	約360	選定	
	化学体積制御系統配管*2	MS-1、重*3		連続	約20.0	約343		
	使用済燃料ピット浄化冷却系統配管	MS-2、重*3		連続	約1.4	約95		
	燃料取替用水系統配管	MS-1、重*3		連続	約1.4	約144		
	液体廃棄物処理系統配管(ほう酸収集・処理)	高*4		一時	約2.1	約95		
	1次系試料採取系統配管	MS-1		連続	約17.2	約360		
	安全注入系統配管*2	MS-1、重*3		一時	約20.0	約343		
	余熱除去系統配管*2	MS-1、重*3		一時	約17.2	約343		
	原子炉格納容器スプレイ系統配管	MS-1、重*3		一時	約2.7	約150		
	濃縮廃液処理系統配管	高*4	屋内	一時	約0.98	約120		
	苛性ソーダ溶液	MS-1	屋内	一時	約2.7	約150		
	蒸気	主蒸気系統配管	高*4	屋内	連続	約8.2		約298
		低温再熱蒸気系統配管	高*4		連続	約1.4		約200
		第7抽気系統配管	高*4		連続	約3.4		約245
タービンラジント蒸気系統配管		高*4		連続	約3.9	約255		
補助蒸気系統配管		高*4		連続	約8.2	約298		
第6抽気系統配管		高*4	屋内外	連続	約1.4	約200		
2次系ドレン系統配管		高*4	屋内外	連続	大気圧	約165		
							◎ 屋外(一部)、使用条件	

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：1次冷却材系統内にラインが含まれるものうち、弁等で他系統と接続されるラインは他系統側の配管として評価する。また、1次冷却材管は別に評価する

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

*4：最高使用温度が95°Cを超え、又は最高使用圧力が1,900kPa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

*5：余熱除去系統配管は、通常運転時は使用されおらず定期検査時のみに通水されることから、環境条件(使用時の温度変動が急激かつ大きい)により経年劣化評価上厳しくなる可能性があるると判断した

表1-1(2/2) 玄海3号炉 ステンレス鋼配管の主な仕様

分離基準	機器名称	選定基準				選定理由
		重要度*1	設置場所	使用条件	最高使用温度(°C)	
内部流体			運転	最高使用圧力(MPa[gage])		
水	蒸気発生器ブローダウン系統配管	MS-1	連続	約 8.2	約298	
	安全注入系統配管 (給水)	重*3	一時	大気圧	約 40	
	余熱除去系統配管 (給水)	重*3	一時	約 1.5	約 95	
	原子炉格納容器スプレイ系統配管 (給水)	重*3	一時	約 2.7	約150	
	2次系復水系統配管	高*4	連続	約 4.1	約155	
	主給水系統配管*2	高*4	連続	約10.3	約200	
	補助給水系統配管	MS-1、重*3	一時	約12.7	約 40	重要度
	2次系ドレン系統配管	高*4	連続	約 8.2	約298	
	気体廃棄物処理系統配管	PS-2	連続	約0.98	約400	
	原子炉補機冷却水系統配管 (空気)	重*3	一時	大気圧	約 40	
希ガス等 空気	1次系試料採取系統配管 (空気)	高*4、重*3	一時	約0.98	約144	
	制御用空気系統配管	MS-1、重*3	連続	約0.83	約144	重要度
	制御用空気系統配管 (窒素)	重*3	一時	約0.98	約 50	
	代替緊急時対策所加圧設備系統配管	重*3	一時	約 1.0	約 40	
	使用済燃料ピット浄化冷却系統配管 (空気)	重*3	一時	大気圧	約 40	
	タービン潤滑・制御油系統配管	高*4	連続	約16.2	約 75	◎

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：2次系給水系統配管を含む

*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

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

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の7系統のステンレス鋼配管について技術評価を実施する。

- ① 余熱除去系統配管
- ② 濃縮廃液処理系統配管
- ③ 原子炉格納容器スプレイ系統配管（苛性ソーダライン）
- ④ 第6抽気系統配管
- ⑤ 補助給水系統配管
- ⑥ 制御用空気系統配管
- ⑦ タービン潤滑・制御油系統配管

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 余熱除去系統配管

(1) 構造

玄海3号炉の余熱除去系統配管は、母管にステンレス鋼を使用している。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の余熱除去系統配管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。

表2.1-1 玄海3号炉 余熱除去系統配管主要部位の使用材料

部 位	材 料
母 管	ステンレス鋼
小口径管台	ステンレス鋼
温度計ウェル	ステンレス鋼
フランジボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-2 玄海3号炉 余熱除去系統配管の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa [gage]
最高使用温度	約343℃
内 部 流 体	1次冷却材

2.1.2 濃縮廃液処理系統配管

(1) 構造

玄海3号炉の濃縮廃液処理系統配管は、母管にステンレス鋼及び耐食耐熱合金鋼を使用している。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の濃縮廃液処理系統配管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。

表2.1-3 玄海3号炉 濃縮廃液処理系統配管主要部位の使用材料

部 位	材 料
母 管	ステンレス鋼、耐食耐熱合金鋼
フランジボルト	ステンレス鋼、炭 素 鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-4 玄海3号炉 濃縮廃液処理系統配管の使用条件

最高使用圧力	約0.98MPa[gage]
最高使用温度	約120℃
内 部 流 体	廃 液

2.1.3 原子炉格納容器スプレイ系統配管（苛性ソーダライン）

(1) 構造

玄海3号炉の原子炉格納容器スプレイ系統配管（苛性ソーダライン）は、母管にステンレス鋼を使用している。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の原子炉格納容器スプレイ系統配管（苛性ソーダライン）主要部位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。

表2.1-5 玄海3号炉 原子炉格納容器スプレイ系統配管（苛性ソーダライン）
主要部位の使用材料

部 位	材 料
母 管	ステンレス鋼
小口径管台	ステンレス鋼
フランジボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-6 玄海3号炉 原子炉格納容器スプレイ系統配管（苛性ソーダライン）の
使用条件

最高使用圧力	約2.7MPa[gage]
最高使用温度	約150℃
内 部 流 体	苛性ソーダ溶液

2.1.4 第6抽気系統配管

(1) 構造

玄海3号炉の第6抽気系統配管は、母管にステンレス鋼を使用している。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の第6抽気系統配管主要部位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。

表2.1-7 玄海3号炉 第6抽気系統配管主要部位の使用材料

部 位	材 料
母 管	ステンレス鋼
小口径管台	ステンレス鋼

表2.1-8 玄海3号炉 第6抽気系統配管の使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa[gage]
最高使用温度	約200℃
内 部 流 体	蒸 気

2.1.5 補助給水系統配管

(1) 構造

玄海3号炉の補助給水系統配管は、母管にステンレス鋼を使用している。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の補助給水系統配管主要部位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。

表2.1-9 玄海3号炉 補助給水系統配管主要部位の使用材料

部 位	材 料
母 管	ステンレス鋼
小口径管台	ステンレス鋼
フランジボルト	炭 素 鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-10 玄海3号炉 補助給水系統配管の使用条件

最高使用圧力	約12.7MPa[gage]
最高使用温度	約40℃
内 部 流 体	給 水

2.1.6 制御用空気系統配管

(1) 構造

玄海3号炉の制御用空気系統配管は、母管にステンレス鋼を使用している。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の制御用空気系統配管主要部位の使用材料及び使用条件を表2.1-11及び表2.1-12に示す。

表2.1-11 玄海3号炉 制御用空気系統配管主要部位の使用材料

部 位	材 料
母 管	ステンレス鋼

表2.1-12 玄海3号炉 制御用空気系統配管の使用条件

最高使用圧力	約0.83MPa[gage]
最高使用温度	約144℃
内 部 流 体	空 気

2.1.7 タービン潤滑・制御油系統配管

(1) 構造

玄海3号炉のタービン潤滑・制御油系統配管は、母管にステンレス鋼を使用している。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉のタービン潤滑・制御油系統配管主要部位の使用材料及び使用条件を表2.1-13及び表2.1-14に示す。

表2.1-13 玄海3号炉 タービン潤滑・制御油系統配管主要部位の使用材料

部 位	材 料
母 管	ステンレス鋼
フランジボルト	低合金鋼
Oリング	消耗品・定期取替品

表2.1-14 玄海3号炉 タービン潤滑・制御油系統配管の使用条件

最高使用圧力	約16.2MPa[gage]
最高使用温度	約75℃
内 部 流 体	油

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

ステンレス鋼配管の機能である内部流体の流路形成機能を維持するためには、次の項目が必要である。

① バウンダリの維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

ステンレス鋼配管個々について、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（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2.2-3～表2.2-9に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-3～表2.2-9で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 母管の疲労割れ [余熱除去系統配管]

プラントの起動・停止時等に発生する内部流体の温度、圧力の変化により、疲労が蓄積する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2.2-3～表2.2-9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) 母管の高サイクル熱疲労割れ〔余熱除去系統配管〕

〔高低温水合流型疲労割れ〕

余熱除去冷却器出口配管とバイパス配管の合流部（高低温水合流部）は、局所的にバイパス配管からの高温水が流入し、複雑な流況による熱過渡を受け、疲労が蓄積されることから、高サイクル熱疲労割れが想定される。

高低温水合流部の高サイクル熱疲労割れに対しては、「(社)日本機械学会 配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針（JSME S 017-2003）」に基づき評価を実施した。

劣化が進展すると仮定した場合における運転開始後60年時点の疲労評価に用いた過渡回数を表2.2-1に示す。

評価結果を表2.2-2に示すが、許容値を満足する結果を得た。

なお、余熱除去冷却器出口配管とバイパス配管の合流部については、第10回定期検査時（2006年度）に取替えを行なった。

また、漏えい検査により機器の健全性を維持している。

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

表2.2-1 玄海3号炉 余熱除去系統配管の高低温水合流型疲労評価に用いた過渡回数

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°C/h）	7	36
停止（温度下降率55.6°C/h）	7	36
1次系漏えい試験	7	37

表2.2-2 玄海3号炉 余熱除去系統配管の高低温水合流型疲労評価結果

評 価 部 位	疲労累積係数 (許容値：1以下)
余熱除去冷却器出口・バイパスライン合流部	0.871

[弁グランドリーク型熱成層]

通常運転時使用されず、閉塞滞留部となる余熱除去系統配管の一部において、第1隔離弁にグランドリークが生じ、水平管部において熱成層が発生、消滅を繰り返すことにより高サイクル熱疲労割れ（弁グランドリーク型）が想定される。

しかしながら、隔離弁の分解点検を実施し、弁ディスク位置の調整により弁シート部の隙間を適正に管理していくことにより、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) 母管（内面）の応力腐食割れ〔余熱除去系統配管〕

1996年5月、米国セコイヤ(Sequoyah)発電所2号炉で、1次系水質環境下においても局所的に溶存酸素濃度が高くなる等の理由で内面からの応力腐食割れによる漏えいが発生していることから、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、高温で溶存酸素が高くなる可能性のある範囲の溶接部については、耐応力腐食割れ性に優れたSUS316系を使用している。

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

なお、溶接部を対象とした超音波探傷検査又は漏えい検査により機器の健全性を確認している。

(3) 溶接部の施工条件に起因する内面からの粒界割れ〔余熱除去系統配管〕

2020年8月、大飯3号炉において、加圧器スプレイ配管の1次冷却材管管台との溶接部近傍内面に亀裂が確認されている。調査の結果、「過大な溶接入熱」と「形状による影響」が重畳したことで表層近傍において特異な硬化が生じ、この特異な硬化が亀裂の発生に寄与したと推定された。亀裂は溶接熱影響部で粒界に沿って進展しており、粒界型応力腐食割れで進展したものと判断している。

一方、国内外のPWRプラントにおいて類似の事例は確認されておらず、玄海3、4号炉等において同様の事象発生の可能性があるかと推定された部位全てに対し追加検査が行われたが、亀裂は認められていない。これらの状況から、亀裂の発生は「過大な溶接入熱」と「形状による影響」が重畳した特異な事象と判断され、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、大飯3号炉で発生した事象は特異であるが、メカニズムが全て明らかになっていないことから、玄海3号炉で類似性の高い箇所に対しては第19回定期検査までの間、毎回検査を実施することとしている。また、第20回定期検査以降については、今後の知見拡充結果を踏まえて、供用期間中検査計画の検討を行う。

(4) 母管（外面）の応力腐食割れ [共通]

配管外面に大気中の海塩粒子等の塩分が付着した場合、塩化物イオンにより応力腐食割れが想定される。

しかしながら、塩分の付着の可能性がある配管については付着塩分濃度を測定し健全性を確認している。

また、巡視点検等で目視により塗装又は防水措置（保温）の状態を確認し、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。

さらに、塩化ビニールテープの熱分解により生じた塩化物イオンにより応力腐食割れが想定される。

しかしながら、配管外表面の残存テープ有無について目視確認及びテープ痕部の浸透探傷検査を実施し、健全性を確認している。これらの点検はすでに完了しており、今後、塩化ビニールテープの熱分解による外面からの応力腐食割れ発生の可能性はないと考える。

(5) フランジボルトの腐食（全面腐食）

[余熱除去系統配管、濃縮廃液処理系統配管、原子炉格納容器スプレイ系統配管（苛性ソーダライン）、補助給水系統配管、タービン潤滑・制御油系統配管]

フランジボルトは、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、タービン潤滑・制御油系統配管については、油雰囲気下にあり、腐食が発生し難い環境にある。

また、タービン潤滑・制御油系統配管以外の配管については、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。

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

(6) アルカリ環境下における内面からの応力腐食割れ

[原子炉格納容器スプレイ系統配管（苛性ソーダライン）]

原子炉格納容器スプレイ系統配管の一部の範囲については、内部流体が苛性ソーダ溶液であることから応力腐食割れが想定される。

しかしながら、図2.2-1に示すように苛性ソーダの濃度及び使用温度が低く、応力腐食割れが発生し難い環境にあることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

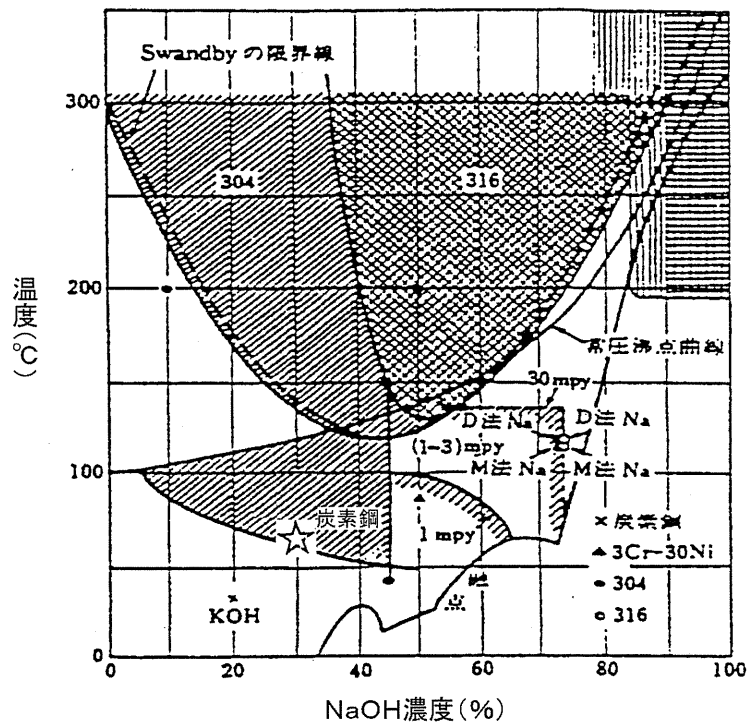


図2.2-1 SUS 304 / 316材のNaOH溶液中でのSCC感受性

[出典：大久保勝夫、徳永一弘：化学工学、40（1976）]

(☆：よう素除去薬品タンクの使用環境：65℃、30%を出典文献に追記)

(7) 小口径管台の高サイクル疲労割れ

[余熱除去系統配管、原子炉格納容器スプレイ系統配管（苛性ソーダライン）、第6抽気系統配管、補助給水系統配管]

1998年12月、大飯2号炉の余熱除去系統配管のドレン弁管台において、高サイクル疲労割れによる漏えいが発生している。この事象は、配管取替に伴いドレン管の口径を変更したことにより、余熱除去ポンプと共振が発生し、ドレン弁管台溶接部に応力集中が生じたものである。

しかしながら、玄海3号炉においては、必要な部位について振動計測に基づく応力評価等を行い、健全性を確認している。

また、振動の状態は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(8) 温度計ウエルの高サイクル疲労割れ [余熱除去系統配管]

1995年12月、もんじゅの温度計ウエルで流体振動による高サイクル疲労割れが発生している。この事象はプラント運転中に内部流体の流れによる流体振動を受け、流れ方向（抗力方向）に共振が発生し、温度計ウエルの付け根部に応力集中が生じたものである。

しかしながら、玄海3号炉の温度計ウエルは、旧原子力安全・保安院指示文書「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の改正に伴う電気事業法に基づく定期事業者検査の実施について（平成17・12・22原院第6号 NISA-163a-05-3）」に基づき「(社)日本機械学会 配管内円柱状構造物の流力振動評価指針 (JSME S 012-1998)」による評価を行い、問題としないことを確認しており、同様な設計方針に基づき施設されているその他の箇所についても同様と考える。

このような条件は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

ガスケット及びOリング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2.2-3 玄海3号炉 余熱除去系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定期 取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象							備 考
				摩 耗	肉 腐 食	割 れ		材 質 変 化		そ の 他	
						疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕	熱 時 効	劣 化		
バウンダリの維持	母 管		ステンレス鋼			○ ^{*1} △	△(内面) △(外面)			△ ^{*3}	*1: 高サイクル熱疲労割れ *2: 高サイクル疲労割れ *3: 溶接部の施工条件に起因する内面からの粒界割れ
	小口径管台		ステンレス鋼			▲ ^{*2}					
	温度計ウエル		ステンレス鋼			▲ ^{*2}					
	フランジボルト		低合金鋼		△						
	ガスケット	◎	—								

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着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2.2-4 玄海3号炉 濃縮廃液処理系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・定期取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象								備 考
				減 耗	肉 腐 食	割 れ	材 質 変 化		そ の 他			
							疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕		熱 時 効	劣 化	
バウンダリの維持	母 管		ステンレス鋼 耐食耐熱 合金鋼				△ △(外面)					
	フランジボルト		ステンレス鋼 炭素鋼		△							
	ガスケット	◎	—									

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-5 玄海3号炉 原子炉格納容器スプレイ系統配管（苛性ソーダライン）に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・定期取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象								備 考		
				摩 耗	腐 食	割 裂	割 れ		材 質 変 化		そ の 他			
							疲 勞 割 裂	応 力 腐 蝕	熱 時 効	劣 化				
													▲ (内面)	△ (外面)
バウンダリの維持	母 管		ステンレス鋼					▲ (内面) △ (外面)						*1：高サイクル疲労割れ
	小口径管台		ステンレス鋼			▲*1								
	フランジボルト		低合金鋼						△					
	ガスケット	◎	-											

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着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2.2-6 玄海3号炉 第6抽気系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・ 定期 取替品	材 料	経年劣化事象						備 考	
				減 肉		割 れ		材 質 変 化			そ の 他
				摩 耗	腐 食	疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕	熱 時 効	劣 化		
											割
バウンダリの維持	母 管		ステンレス鋼					△(外面)			*1：高サイクル疲労 割れ
	小口径管台		ステンレス鋼				▲ ^{*1}				

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着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2.2-8 玄海3号炉 制御用空気系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		材質変化		その他		
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化			
バウンダリの維持	母管		ステンレス鋼						△(外面)			

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-9 玄海3号炉 タービン潤滑・制御油系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定期 取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象							備 考
				減 肉		割 れ	材 質 変 化		そ の 他		
				摩 耗	腐 食		疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕		熱 時 効	
						△			△(外面)		
バウンダリの維持	母 管		ステンレス鋼								
	フランジボルト		低合金鋼		△						
	Oリング	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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 母管の疲労割れ〔余熱除去系統配管〕

a. 事象の説明

母管は、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。

b. 技術評価

① 健全性評価

母管の健全性評価にあたっては、以下に示す要領により応力算出並びに評価を行った。評価対象部位としては、1次冷却材管高温側余熱除去管台から原子炉格納容器貫通部までとした。

評価方法は、「(社)日本機械学会 設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007)」に規定されるクラス1配管の評価基準を適用した。

また、使用環境を考慮した疲労について、「(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。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

表2.3-1 (1/2) 玄海3号炉 余熱除去系統配管の疲労評価に用いた過渡回数

(1次冷却材管高温側余熱除去管台～余熱除去ポンプ入口内隔離弁)

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 (負荷上昇率5%/min)	201	884
負荷減少 (負荷減少率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次冷却材圧力は+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2.3-1 (2/2) 玄海3号炉 余熱除去系統配管の疲労評価に用いた過渡回数
(余熱除去ポンプ入口内隔離弁～原子炉格納容器貫通部)

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°C/h)	23	60
停止 (温度下降率55.6°C/h)	22	60
1次系漏えい試験	21	59

表2.3-2 玄海3号炉 余熱除去系統配管の疲労評価結果

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
余熱除去系統出口配管 (1次冷却材管高温側余熱除去管台～ 余熱除去ポンプ入口内隔離弁)	0.011	0.217
余熱除去系統出口配管 (余熱除去ポンプ入口内隔離弁～ 原子炉格納容器貫通部)	0.074	0.464

② 現状保全

母管の疲労割れに対しては、定期的に溶接部を対象とした超音波探傷検査又は浸透探傷検査を実施し、有意な欠陥がないことを確認している。

また、定期的に漏えい検査を実施し、健全性を確認している。

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

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、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。

現在実施している溶接部の超音波探傷検査等は疲労割れを検知可能であり、また、割れが発生するとすれば応力の観点から溶接部であると判断されることから、点検手法として適切である。さらに、疲労割れによる機器の健全性への影響は、漏えい検査により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

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

3. 代表機器以外への展開

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

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

- ① 1次冷却材系統配管
- ② 化学体積制御系統配管
- ③ 蒸気発生器ブローダウン系統配管
- ④ 使用済燃料ピット浄化冷却系統配管
- ⑤ 使用済燃料ピット浄化冷却系統配管（空気）
- ⑥ 燃料取替用水系統配管
- ⑦ 原子炉補機冷却水系統配管（空気）
- ⑧ 液体廃棄物処理系統配管（ほう酸収集・処理）
- ⑨ 気体廃棄物処理系統配管
- ⑩ 1次系試料採取系統配管
- ⑪ 1次系試料採取系統配管（空気）
- ⑫ 安全注入系統配管
- ⑬ 安全注入系統配管（給水）
- ⑭ 余熱除去系統配管（給水）
- ⑮ 原子炉格納容器スプレイ系統配管
- ⑯ 原子炉格納容器スプレイ系統配管（給水）
- ⑰ 主蒸気系統配管
- ⑱ 低温再熱蒸気系統配管
- ⑲ 第7抽気系統配管
- ⑳ 2次系復水系統配管
- ㉑ 2次系ドレン系統配管
- ㉒ 主給水系統配管
- ㉓ タービングランド蒸気系統配管
- ㉔ 制御用空気系統配管（窒素）
- ㉕ 補助蒸気系統配管
- ㉖ 代替緊急時対策所加圧設備系統配管

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 母管の疲労割れ

[1次冷却材系統配管、化学体積制御系統配管、1次系試料採取系統配管]

化学体積制御系統配管の充てん配管及び抽出配管については、温度変化と溶接部の応力集中の影響を考慮しても疲労割れが発生する可能性は小さい。

また、充てん配管及び抽出配管は、定期的に超音波探傷検査又は浸透探傷検査を実施し有意な欠陥のないことを確認しており、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。なお、予防保全の観点から、第11回定期検査時(2008年度)に充てん配管の一部を取り替えている。

1次系試料採取系統配管は、連続通水により温度変化の大きい熱過渡を受けないことから疲労が蓄積する可能性はなく、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断する。

1次冷却材系統配管のうち加圧器サージ配管及び加圧器スプレイ配管においては、以下のとおりプラントの通常運転操作において熱成層の発生、消滅が繰り返されることで疲労評価上厳しくなる可能性がある。

《加圧器サージ配管》

加圧器サージ流量の変動に伴って、加圧器内水と1次冷却材の温度差に起因して加圧器サージ配管に熱成層が発生する。熱成層が発生している状態から、加圧器サージ配管内にアウトサージ又はインサージの過渡が発生すると加圧器サージ配管内に温度差がなくなり、熱成層が消滅する。

《加圧器スプレイ配管》

加圧器スプレイ弁の開閉操作に伴い、加圧器直上部及び水平部配管において熱成層が発生、消滅する。加圧器スプレイ弁を閉じた状態ではバイパスラインに少量の流体が流れており、また、加圧器スプレイ配管内に流入した加圧器気相部流体との間で熱成層が発生し、加圧器スプレイ弁を開くと配管内は、スプレイ水で満たされるため熱成層が消滅する。

加圧器サージ配管及び加圧器スプレイ配管の評価方法は、「(社)日本機械学会 設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007)」のクラス1配管の評価基準を準用した。

また、使用環境を考慮した疲労について、「(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。

疲労評価に用いた過渡回数を表3.1-1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。

評価結果を表3.1-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

母管の疲労割れに対しては、定期的に溶接部を対象とした超音波探傷検査を実施し、有意な欠陥のないことを確認するとともに漏えい検査により健全性を確認している。

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

表3.1-1 玄海3号炉 1次冷却材系統配管の疲労評価に用いた過渡回数
(加圧器サージ配管及び加圧器スプレイ配管)

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°C/h)	23	60
停止 (温度下降率55.6°C/h)	22	60
負荷上昇 (負荷上昇率5%/min)	201	884
負荷減少 (負荷減少率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°C、低温側±2.4°C、1次冷却材圧力は+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3.1-2 玄海3号炉 1次冷却材系統配管の疲労評価結果

機 器	評価部位	疲 勞 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*1
1次冷却材系統配管	加圧器サージ配管	0.004	0.002
	加圧器スプレイ配管	0.011	0.105

*1：熱成層による発生応力を含めた解析結果であり、設計・建設規格に基づく疲労評価対象箇所と異なる

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 母管の腐食（エロージョン）

[蒸気発生器ブローダウン系統配管、2次系ドレン系統配管]

復水器に繋がる蒸気、凝縮水が流れる配管等では、高減圧部で流速が大きくなるため、エロージョンにより減肉が想定される。

エロージョンによる減肉は、流速、水質、温度、当該部の形状等の使用条件から発生する可能性は推定できるものの、個々の肉厚測定結果による進展評価以外に正確に定量的な評価を行うことは困難であるため、配管の減肉管理については減肉の可能性のある箇所の肉厚測定を行い、減肉の有無及び減肉率を判断し、寿命評価を実施することとしている。

配管減肉に対しては、減肉発生の知見及び調査結果に基づき作成した「原子力設備2次系配管肉厚の管理指針（PWR）」（平成2年5月）により、減肉の点検対象として主要点検部位（「日本機械学会 加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NG1-2006）」に定められた偏流発生部位及び下流範囲を含む部位）及びその他部位（主要点検部位以外の部位）について管理対象とし、超音波による肉厚測定を行いデータの蓄積を図ってきた。

また、美浜3号炉2次系配管破損事故（2004年8月）以降は、旧原子力安全・保安院指示文書「原子力発電工作物の保安のための点検、検査等に関する電気事業法施行規則の規定の解釈（内規）の制定について」（平成20・12・22原院第4号 NISA-163c-08-5）や日本機械学会の規格（加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NG1-2006））に定められた内容に従い、対象系統及び部位や実施時期等の考え方を「2次系配管肉厚管理指針」（社内文書）に反映し、これに基づき配管減肉の管理を実施している。

現状保全として、「2次系配管肉厚管理指針」（社内文書）に基づき、超音波厚さ計による肉厚計測を計画的に実施し、減肉の管理を行うことにより機能を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、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 母管の高サイクル熱疲労割れ〔化学体積制御系統配管〕

《弁シートリーク型熱成層》

化学体積制御系統配管接続部のうち、加圧器補助スプレイラインにおいては、隔離弁がリークした場合、逆止弁を通じて低温水が1次冷却材系統配管へ流入するため、高温の1次冷却材との混合により熱成層が発生し、成層界面が変動することにより疲労割れが想定される。

しかしながら、国内プラントにおける隔離弁の分解点検実績を基に保守的なリーク量を仮定しても熱成層の変動による影響は小さく、問題ないことを確認している。

また、加圧器補助スプレイ弁の分解点検により、弁リークの発生を防止することで、機器の健全性を維持している。

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

3.2.3 再生熱交換器胴側出口配管の高サイクル疲労割れ〔化学体積制御系統配管〕

2003年9月、泊2号炉の再生熱交換器胴側出口配管で高サイクル熱疲労による疲労割れが発生しているが、この事象は内筒付再生熱交換器特有のものである。玄海3号炉の再生熱交換器には内筒がなく、高温水と低温水の合流部が想定されないことから、疲労割れ発生の可能性は小さい。

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

なお、溶接部を対象とした超音波探傷検査により、機器の健全性を確認している。

3.2.4 母管（内面）の応力腐食割れ

〔1次冷却材系統配管、化学体積制御系統配管、安全注入系統配管〕

1996年5月、米国セコイヤ(Sequoyah)発電所2号炉で、1次系水質環境下においても局所的に溶存酸素濃度が高くなる等の理由で内面からの応力腐食割れによる漏えいが発生していることから、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、高温で溶存酸素が高くなる可能性のある範囲の溶接部については、耐応力腐食割れ性に優れたSUS316系を使用している。

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

なお、溶接部を対象とした超音波探傷検査又は漏えい検査により機器の健全性を確認している。

3.2.5 溶接部の施工条件に起因する内面からの粒界割れ

[1次冷却材系統配管、安全注入系統配管]

2020年8月、大飯3号炉において、加圧器スプレイ配管の1次冷却材管管台との溶接部近傍内面に亀裂が確認されている。調査の結果、「過大な溶接入熱」と「形状による影響」が重畳したことで表層近傍において特異な硬化が生じ、この特異な硬化が亀裂の発生に寄与したと推定された。亀裂は溶接熱影響部で粒界に沿って進展しており、粒界型応力腐食割れで進展したものと判断している。

一方、国内外のPWRプラントにおいて類似の事例は確認されておらず、玄海3、4号炉等において同様の事象発生の可能性があるとして推定された部位全てに対し追加検査が行われたが、亀裂は認められていない。これらの状況から、亀裂の発生は「過大な溶接入熱」と「形状による影響」が重畳した特異な事象と判断され、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、大飯3号炉で発生した事象は特異であるが、メカニズムが全て明らかになっていないことから、玄海3号炉で類似性の高い箇所に対しては第19回定期検査までの間、毎回検査を実施することとしている。また、第20回定期検査以降については、今後の知見拡充結果を踏まえて、供用期間中検査計画の検討を行う。

3.2.6 母管（外面）の応力腐食割れ〔共通〕

配管外面に大気中の海塩粒子等の塩分が付着した場合、塩化物イオンにより応力腐食割れが想定される。

しかしながら、塩分の付着の可能性がある配管については付着塩分濃度を測定し健全性を確認している。

また、巡視点検等で目視により塗装又は防水措置（保温）の状態を確認し、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。

さらに、塩化ビニールテープの熱分解により生じた塩化物イオンにより応力腐食割れが想定される。

しかしながら、配管外表面の残存テープ有無について目視確認及びテープ痕部の浸透探傷検査を実施し、健全性を確認している。これらの点検はすでに完了しており、今後、塩化ビニールテープの熱分解による外面からの応力腐食割れ発生の可能性はないと考える。

3.2.7 フランジボルトの腐食（全面腐食）

〔1次冷却材系統配管、化学体積制御系統配管、蒸気発生器ブローダウン系統配管、使用済燃料ピット浄化冷却系統配管、使用済燃料ピット浄化冷却系統配管（空気）、燃料取替用水系統配管、液体廃棄物処理系統配管（ほう酸収集・処理）、気体廃棄物処理系統配管、安全注入系統配管、安全注入系統配管（給水）、原子炉格納容器スプレイ系統配管、原子炉格納容器スプレイ系統配管（給水）、2次系ドレン系統配管、制御用空気系統配管（窒素）、補助蒸気系統配管、代替緊急時対策所加圧設備系統配管〕

フランジボルトは、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。

3.2.8 ヒートトレースの断線 [化学体積制御系統配管]

ヒートトレースは、ほう酸水の温度を維持するために設けられており、劣化による局部過熱を生じて導体が溶融し断線に至ることが想定される。

しかしながら、定期的な抵抗測定により、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。

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

3.2.9 小口径管台の高サイクル疲労割れ

[1次冷却材系統配管、化学体積制御系統配管、蒸気発生器ブローダウン系統配管、使用済燃料ピット浄化冷却系統配管、使用済燃料ピット浄化冷却系統配管（空気）、燃料取替用水系統配管、液体廃棄物処理系統配管（ほう酸収集・処理）、気体廃棄物処理系統配管、安全注入系統配管、安全注入系統配管（給水）、余熱除去系統配管（給水）、原子炉格納容器スプレイ系統配管、原子炉格納容器スプレイ系統配管（給水）、低温再熱蒸気系統配管、第7抽気系統配管、2次系復水系統配管、2次系ドレン系統配管、補助蒸気系統配管、代替緊急時対策所加圧設備系統配管]

1998年12月、大飯2号炉の余熱除去系統配管のドレン弁管台において、高サイクル疲労割れによる漏えいが発生している。この事象は、配管取替に伴いドレン管の口径を変更したことにより、余熱除去ポンプと共振が発生し、ドレン弁管台溶接部に応力集中が生じたものである。

しかしながら、玄海3号炉においては、必要な部位について振動計測に基づく応力評価等を行い、健全性を確認している。

また、振動の状態は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.10 温度計ウエルの高サイクル疲労割れ

[1次冷却材系統配管、化学体積制御系統配管、蒸気発生器ブローダウン系統配管、使用済燃料ピット浄化冷却系統配管、気体廃棄物処理系統配管、低温再熱蒸気系統配管、第7抽気系統配管、2次系復水系統配管、2次系ドレン系統配管、タービングラウンド蒸気系統配管、補助蒸気系統配管]

1995年12月、もんじゅの温度計ウエルで流体振動による高サイクル疲労割れが発生している。この事象は、プラント運転中に内部流体の流れによる流体振動を受け、流れ方向（抗力方向）に共振が発生し、温度計ウエルの付け根部に応力集中が生じたものである。

しかしながら、玄海3号炉の温度計ウエルは、旧原子力安全・保安院指示文書「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の改正に伴う電気事業法に基づく定期事業者検査の実施について（平成17・12・22原院第6号 NISA-163a-05-

3)」に基づき「(社)日本機械学会 配管内円柱状構造物の流力振動評価指針(JSME S 012-1998)」による評価を行い、問題とならないことを確認しており、同様な設計方針に基づき施設されているその他の箇所についても同様と考える。

このような条件は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2 低合金鋼配管

[対象機器]

- ① 低温再熱蒸気系統配管
- ② 2次系ドレン系統配管
- ③ タービンランド蒸気系統配管

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	7
3. 代表機器以外への展開	12
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	12
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	12

1. 対象機器及び代表機器の選定

玄海3号炉で使用されている主要な低合金鋼配管の主な仕様を表1-1に示す。

これらの配管を内部流体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に示す低合金鋼配管について、内部流体を分離基準として考えると、合計2つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 内部流体：蒸気

このグループには、低温再熱蒸気系統配管及びタービングランド蒸気系統配管が属するが、重要度が高い低温再熱蒸気系統配管を代表機器とする。

(2) 内部流体：給水

このグループには、2次系ドレン系統配管のみが属するため、代表機器は2次系ドレン系統配管とする。

表1-1 玄海3号炉 低合金鋼配管の主な仕様

分離基準	機器名称	選定基準				選定	選定理由
		重要度*1	使用条件				
内部流体	設置場所		運転	最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)		
蒸気	低温再熱蒸気系統配管	屋内	連続	約 1.4	約200	◎	重要度
	タービングラウンド蒸気系統配管						
給水	2次系ドレン系統配管	屋内外	連続	約 8.2	約298	◎	

*1：機能は最上位の機能を示す

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

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の2系統の低合金鋼配管について技術評価を実施する。

- ① 低温再熱蒸気系統配管
- ② 2次系ドレン系統配管

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 低温再熱蒸気系統配管

(1) 構造

玄海3号炉の低温再熱蒸気系統配管は、母管に低合金鋼を使用している。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の低温再熱蒸気系統配管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。

表2.1-1 玄海3号炉 低温再熱蒸気系統配管主要部位の使用材料

部 位	材 料
母 管	低合金鋼
小口径管台	低合金鋼
フランジボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-2 玄海3号炉 低温再熱蒸気系統配管の使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa[gage]
最高使用温度	約200℃
内 部 流 体	蒸 気

2.1.2 2次系ドレン系統配管

(1) 構造

玄海3号炉の2次系ドレン系統配管は、母管に低合金鋼を使用している。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の2次系ドレン系統配管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。

表2.1-3 玄海3号炉 2次系ドレン系統配管主要部位の使用材料

部 位	材 料
母 管	低合金鋼
小口径管台	低合金鋼、炭素鋼
フランジボルト	炭 素 鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-4 玄海3号炉 2次系ドレン系統配管の使用条件

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

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

低合金鋼配管の機能である内部流体の流路形成機能を維持するためには、次の項目が必要である。

① バウンダリの維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

低合金鋼配管個々について、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（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2.2-2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、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) 母管（外面）の腐食（全面腐食）[共通]

母管は低合金鋼であり、外面からの腐食が想定される。

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

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

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

(2) フランジボルトの腐食（全面腐食）[共通]

フランジボルトは、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。

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

(3) 小口径管台の高サイクル疲労割れ [共通]

1998年12月、大飯2号炉の余熱除去系統配管のドレン弁管台において、高サイクル疲労割れによる漏えいが発生している。この事象は配管取替に伴いドレン管の口径を変更したことにより余熱除去ポンプと共振が発生し、ドレン弁管台溶接部に応力集中が生じたものである。

しかしながら、玄海3号炉においては、必要な部位について振動計測に基づく応力評価等を行い、健全性を確認している。

また、振動の状態は経年的に変化するものではないことから、高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等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 低温再熱蒸気系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定期 取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象							備 考	
				減 肉		割 れ		材 質 変 化		そ の 他		
				摩 耗	腐 食	疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕	熱 時 効	劣 化			
												△ (外面)
バウンダリの維持	母 管		低合金鋼		△ (外面)							*1：高サイクル疲労 割れ
	小口径管台		低合金鋼			▲ ^{*1}						
	フランジボルト		低合金鋼		△							
	ガスケット	◎	—									

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

3. 代表機器以外への展開

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

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

① タービングランド蒸気系統配管

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 母管（外面）の腐食（全面腐食）

母管は低合金鋼であり、外面からの腐食が想定される。

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

また、巡視点検等で目視により塗装等の状態を確認し、はく離等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。

3.2.2 フランジボルトの腐食（全面腐食）

フランジボルトは、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。

3 炭素鋼配管

[対象機器]

- ① 蒸気発生器ブローダウン系統配管
- ② 原子炉補機冷却水系統配管
- ③ 原子炉補機冷却水系統配管（空気）
- ④ 原子炉補機冷却水系統配管（窒素）
- ⑤ 原子炉補機冷却海水系統配管
- ⑥ 格納容器減圧系統配管
- ⑦ 原子炉格納容器スプレイ系統配管（給水）
- ⑧ 原子炉格納容器スプレイ系統配管（空気）
- ⑨ 主蒸気系統配管
- ⑩ 高温再熱蒸気系統配管
- ⑪ 低温再熱蒸気系統配管
- ⑫ 第3抽気系統配管
- ⑬ 第4抽気系統配管
- ⑭ 第5抽気系統配管
- ⑮ 第6抽気系統配管
- ⑯ 第7抽気系統配管
- ⑰ 2次系復水系統配管
- ⑱ 2次系ドレン系統配管
- ⑲ 主給水系統配管
- ⑳ 補助給水系統配管
- ㉑ タービンランド蒸気系統配管
- ㉒ 制御用空気系統配管（窒素）
- ㉓ 補助蒸気系統配管
- ㉔ 消火装置系統配管
- ㉕ タービン潤滑・制御油系統配管

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	5
2.1 構造、材料及び使用条件	5
2.2 経年劣化事象の抽出	15
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	26
3. 代表機器以外への展開	29
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	29
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	30

1. 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炭素鋼配管の主な仕様を表1-1に示す。

これらの配管を内部流体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に示す炭素鋼配管について、内部流体を分離基準として考えると、合計5つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 内部流体：蒸気

このグループには、主蒸気系統配管、高温再熱蒸気系統配管、低温再熱蒸気系統配管、第3抽気系統配管、第4抽気系統配管、第5抽気系統配管、第7抽気系統配管、タービングランド蒸気系統配管、補助蒸気系統配管、第6抽気系統配管及び2次系ドレン系統配管が属するが、重要度が高い主蒸気系統配管を代表機器とする。

(2) 内部流体：給水

このグループには、蒸気発生器ブローダウン系統配管、原子炉格納容器スプレイ系統配管（給水）、2次系復水系統配管、補助給水系統配管、補助蒸気系統配管、2次系ドレン系統配管及び主給水系統配管が属するが、重要度が高く、環境条件（プラントの起動・停止時に内部流体の温度、圧力の変化の影響を受ける）により経年劣化評価上厳しくなる可能性のある主給水系統配管を代表機器とする。

(3) 内部流体：ヒドラジン水・油

このグループには、原子炉補機冷却水系統配管及びタービン潤滑・制御油系統配管が属するが、重要度が高い原子炉補機冷却水系統配管を代表機器とする。

(4) 内部流体：窒素・空気・炭酸ガス

このグループには、原子炉補機冷却水系統配管（窒素）、格納容器減圧系統配管、原子炉格納容器スプレイ系統配管（空気）、制御用空気系統配管（窒素）、原子炉補機冷却水系統配管（空気）及び消火装置系統配管が属するが、重要度が高い格納容器減圧系統配管を代表機器とする。

(5) 内部流体：海水

このグループには、原子炉補機冷却海水系統配管のみが属するため、代表機器は原子炉補機冷却海水系統配管とする。

表1-1(1/2) 玄海3号炉 炭素鋼配管の主な仕様

分離基準	機器名称	選定基準				選定理由			
		重要度*1	設置場所	使用条件	最高使用温度(°C)				
内部流体			運 転	最高使用圧力(MPa[gage])					
蒸 気	主蒸気系統配管	MS-1、重*2	屋 内	連 続	約 8.2	約298	◎ 重要度		
	高温再熱蒸気系統配管	高*3		連 続	約 1.4	約298			
	低温再熱蒸気系統配管	高*3		連 続	約 1.4	約200			
	第3抽気系統配管	高*3		連 続	約0.05	約115			
	第4抽気系統配管	高*3		連 続	約0.25	約180			
	第5抽気系統配管	高*3		連 続	約0.44	約225			
	第7抽気系統配管	高*3		連 続	約 3.4	約245			
	タービンブランド蒸気系統配管	高*3		連 続	約 8.2	約298			
	補助蒸気系統配管	MS-1		連 続	約 8.2	約298			
	第6抽気系統配管	高*3	屋 外	連 続	約 1.4	約200			
	2次系ドレン系統配管	高*3		連 続	約 1.4	約200			
	給 水	蒸気発生器ブロウダウン系統配管	MS-1	屋 内	連 続	約 8.2		約298	◎ 重要度、環境条件*5
		原子炉格納容器スプレイ系統配管(給水)	重*2		一 時	約 1.5		約 95	
2次系復水系統配管		高*3		連 続	約 4.1	約200			
補助給水系統配管		MS-1、重*2		一 時	約12.7	約 40			
補助蒸気系統配管		高*3		一 時	約 1.8	約185			
2次系ドレン系統配管		高*3	屋 内 外	連 続	約 8.2	約298			
主給水系統配管*4		MS-1、重*2		連 続	約10.3	約298			

*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原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器

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

*4：2次系給水系統配管を含む

*5：主給水系統配管は、環境条件（プラントの起動・停止時に内部流体の温度、圧力の変化の影響を受ける）により経年劣化評価上厳しくなる可能性がある
と判断した

表1-1(2/2) 玄海3号炉 炭素鋼配管の主な仕様

分離基準	機器名称	選定基準				選定	選定理由
		重要度*1	設置場所	使用条件	最高使用温度 (°C)		
内部流体				運 転	最高使用圧力 (MPa [gage])		
ヒドラン水 油	原子炉補機冷却水系統配管	MS-1、重*2	屋 内	連 続	約 1.4	約144	◎ 重要度
	タービン潤滑・制御油系統配管	高*3		連 続	約 2.8	約 80	
窒 素 空 気	原子炉補機冷却水系統配管 (窒素)	重*2	屋 内	一 時	約0.98	約 95	◎ 重要度
	格納容器減圧系統配管	MS-1		一 時	約0.39	約144	
	原子炉格納容器スプレイ系統配管 (空気)	重*2		一 時	大気圧	約 40	
	制御用空気系統配管 (窒素)	重*2		一 時	約0.83	約 50	
炭酸ガス	原子炉補機冷却水系統配管 (空気)	重*2	屋 内 外	一 時	大気圧	約 40	
	消火装置系統配管	高*3		一 時	約10.8	約 40	
海 水	原子炉補機冷却海水系統配管	MS-1、重*2	屋 内 外	連 続	約0.98	約 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

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

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の5系統の炭素鋼配管について技術評価を実施する。

- ① 主蒸気系統配管
- ② 主給水系統配管
- ③ 原子炉補機冷却水系統配管
- ④ 格納容器減圧系統配管
- ⑤ 原子炉補機冷却海水系統配管

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 主蒸気系統配管

(1) 構造

玄海3号炉の主蒸気系統配管は、母管に炭素鋼を使用している。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の主蒸気系統配管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。

表2.1-1 玄海3号炉 主蒸気系統配管主要部位の使用材料

部 位	材 料
母 管	炭 素 鋼
小口径管台	炭 素 鋼
温度計ウェル	ステンレス鋼
サンプルノズル	ステンレス鋼
フランジボルト	炭素鋼、低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-2 玄海3号炉 主蒸気系統配管の使用条件

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 主給水系統配管

(1) 構造

玄海3号炉の主給水系統配管は、母管に炭素鋼を使用している。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の主給水系統配管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。

表2.1-3 玄海3号炉 主給水系統配管主要部位の使用材料

部 位	材 料
母 管	炭 素 鋼
小口径管台	炭 素 鋼
温度計ウェル	ステンレス鋼
サンプルノズル	ステンレス鋼

表2.1-4 玄海3号炉 主給水系統配管の使用条件

最高使用圧力	約10.3MPa[gage]
最高使用温度	約298℃
内 部 流 体	給 水

2.1.3 原子炉補機冷却水系統配管

(1) 構造

玄海3号炉の原子炉補機冷却水系統配管は、母管に炭素鋼を使用している。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の原子炉補機冷却水系統配管主要部位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。

表2.1-5 玄海3号炉 原子炉補機冷却水系統配管主要部位の使用材料

部 位	材 料
母 管	炭 素 鋼
小口径管台	炭 素 鋼
温度計ウェル	ステンレス鋼
フランジボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-6 玄海3号炉 原子炉補機冷却水系統配管の使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa[gage]
最高使用温度	約144℃
内 部 流 体	ヒドラジン水

2.1.4 格納容器減圧系統配管

(1) 構造

玄海3号炉の格納容器減圧系統配管は、母管に炭素鋼を使用している。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の格納容器減圧系統配管主要部位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。

表2.1-7 玄海3号炉 格納容器減圧系統配管主要部位の使用材料

部 位	材 料
母 管	炭 素 鋼
小口径管台	炭 素 鋼
フランジボルト	炭素鋼、低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-8 玄海3号炉 格納容器減圧系統配管の使用条件

最高使用圧力	約0.39MPa[gage]
最高使用温度	約144℃
内 部 流 体	空 気

2.1.5 原子炉補機冷却海水系統配管

(1) 構造

玄海3号炉の原子炉補機冷却海水系統配管は、母管にライニング施工した炭素鋼を使用している。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の原子炉補機冷却海水系統配管主要部位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。

表2.1-9 玄海3号炉 原子炉補機冷却海水系統配管主要部位の使用材料

部 位	材 料
母 管	炭素鋼（ライニング）
小口径管台	炭素鋼（ライニング）
温度計ウェル	銅 合 金
フランジボルト	炭 素 鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-10 玄海3号炉 原子炉補機冷却海水系統配管の使用条件

最高使用圧力	約0.98MPa[gage]
最高使用温度	約50℃
内 部 流 体	海 水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

炭素鋼配管の機能である内部流体の流路形成機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① バウンダリの維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

炭素鋼配管個々について、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（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2.2-5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) 母管の疲労割れ [主給水系統配管]

プラントの起動・停止時等に発生する内部流体の温度及び圧力の変化により、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。

2.2.3 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) 母管の腐食（流れ加速型腐食）〔主蒸気系統配管、主給水系統配管〕

高温水又は二相流体を内包する炭素鋼配管では、エルボ部、分岐部、レギュレーサ部等の流れの乱れが起きる箇所、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

流れ加速型腐食による減肉は、流速、水質、温度、当該部の形状等の使用条件から発生する可能性は推定できるものの、個々の肉厚測定結果による進展評価以外に正確に定量的な評価を行うことは困難であるため、配管の減肉管理については減肉の可能性のある箇所の肉厚測定を行い、減肉の有無及び減肉率を判断し、寿命評価を実施することとしている。

配管減肉に対しては、減肉発生の見込み及び調査結果に基づき作成した「原子力設備 2次系配管肉厚の管理指針（PWR）」（平成2年5月）により、減肉の点検対象として主要点検部位（「日本機械学会 加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NG1-2006）」に定められた偏流発生部位及び下流範囲を含む部位）及びその他部位（主要点検部位以外の部位）について管理対象とし、超音波による肉厚測定を行いデータの蓄積を図ってきた。

また、美浜3号炉2次系配管破損事故（2004年8月）以降は、旧原子力安全・保安院指示文書「原子力発電工作物の保安のための点検、検査等に関する電気事業法施行規則の規定の解釈（内規）の制定について」（平成20・12・22原院第4号 NISA-163c-08-5）や日本機械学会の規格（加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NG1-2006））に定められた内容に従い、対象系統及び部位や

実施時期等の考え方を「2次系配管肉厚管理指針」(社内文書)に反映し、これに基づき配管減肉の管理を実施している。

現状保全として、「2次系配管肉厚管理指針」(社内文書)に基づき、超音波厚さ計による肉厚計測を計画的に実施し、減肉の管理を行うことにより機能を維持している。

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

(2) 母管(内面)の腐食(全面腐食)[原子炉補機冷却水系統配管]

母管は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、内部流体はヒドラジン水(防錆剤注入水)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、系統機器の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) 母管(内面)の腐食(全面腐食)[格納容器減圧系統配管]

母管は炭素鋼であり、内部流体は空気であるため、長期使用により腐食が想定される。

しかしながら、系統機器の分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

(4) 母管(内面)の腐食(全面腐食)[原子炉補機冷却海水系統配管]

原子炉補機冷却海水系統配管は内部流体が海水であり、内部にライニングを施工しているが、ライニングのはく離等により海水が接した場合は腐食が想定される。

しかしながら、ライニング点検(目視確認)を実施し、機器の健全性を維持している。

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

(5) 母管（外面）の腐食（全面腐食）[共通]

母管は炭素鋼であり、外面からの腐食が想定される。

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

また、巡視点検等で目視により塗装等の状態を確認し、はく離等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) フランジボルトの腐食（全面腐食）

[主蒸気系統配管、原子炉補機冷却水系統配管、格納容器減圧系統配管、原子炉補機冷却海水系統配管]

フランジボルトは、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。

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) 小口径管台の高サイクル疲労割れ [共通]

1998年12月、大飯2号炉の余熱除去系統配管のドレン弁管台において、高サイクル疲労割れによる漏えいが発生している。この事象は、配管取替に伴いドレン管の口径を変更したことにより余熱除去ポンプと共振が発生し、ドレン弁管台溶接部に応力集中が生じたものである。

しかしながら、玄海3号炉においては、必要な部位について振動計測に基づく応力評価等を行い、健全性を確認している。

また、振動の状態は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(8) 温度計ウェル等の高サイクル疲労割れ

[主蒸気系統配管、主給水系統配管、原子炉補機冷却水系統配管、原子炉補機冷却海水系統配管]

1995年12月、もんじゅの温度計ウェルで流体振動による高サイクル疲労割れが発生している。この事象は、プラント運転中に内部流体の流れによる流体振動を受け、流れ方向（抗力方向）に共振が発生し、温度計ウェルの付け根部に応力集中が生じたものである。

しかしながら、玄海3号炉の温度計ウェル及びサンプルノズルは、旧原子力安全・保安院指示文書「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の改正に伴う電気事業法に基づく定期事業者検査の実施について（平成17・12・22原院第6号 NISA-163a-05-3）」に基づき「(社)日本機械学会 配管内円柱状構造物の流力振動評価指針 (JSME S 012-1998)」による評価を行い、問題とならないことを確認しており、同様な設計方針に基づき施設されているその他の箇所についても同様と考える。このような条件は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

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 主蒸気系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定期 取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考										
				摩 耗	肉 腐 食	割 れ		材 質 変 化			そ の 他									
						疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕	熱 時 効	劣 化											
												疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕							
バウンダリの維持	母 管		炭 素 鋼	△ ^{*1} △(外面)																*1：流れ加速型腐食 *2：高サイクル疲労 割れ
	小口径管台		炭 素 鋼				▲ ^{*2}													
	温度計ウエル		ステンレス鋼					▲ ^{*2}												
	サンブルノズル		ステンレス鋼					▲ ^{*2}												
	フランジボルト		炭 素 鋼 低合金鋼		△															
	ガスケット		◎	—																

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着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 主給水系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定期 取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象							備 考	
				摩 耗	腐 食	割 れ		材 質 変 化		そ の 他		
						疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕	熱 時 効	劣 化			
												疲 勞 割 れ
バウンダリの維持	母 管		炭 素 鋼		△ ^{*1} △(外面)	○						*1：流れ加速型腐食 *2：高サイクル疲労 割れ
	小口径管台		炭 素 鋼			▲ ^{*2}						
	温度計ウエル		ステンレス鋼			▲ ^{*2}						
	サンプルノズル		ステンレス鋼			▲ ^{*2}						

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着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2.2-5 玄海3号炉 原子炉補機冷却海水系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定期 取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象							備 考		
				減 耗	肉 腐 食	割 れ		材 質 変 化		そ の 他			
						疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕	熱 時 効	劣 化				
												腐 食	疲 勞 割 れ
バウンダリの維持	母 管		炭 素 鋼 (ライニング)	△(内面) △(外面)									
	小口径管台		炭 素 鋼 (ライニング)		▲*1								
	温度計ウエル		銅 合 金			▲*1							
	フランジボルト		炭 素 鋼	△									
	ガスケット	◎	—										

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着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 母管の疲労割れ〔主給水系統配管〕

a. 事象の説明

母管は、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

母管の健全性評価にあたっては、以下に示す要領により応力算出並びに評価を行った。評価対象部位としては、原子炉格納容器貫通部から蒸気発生器給水管台までとした。

評価方法は、「(社)日本機械学会 設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007)」に規定されるクラス1配管の評価基準を準用した。

また、使用環境を考慮した疲労について、「(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。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

表2.3-1 玄海3号炉 主給水系統配管の疲労評価に用いた過渡回数
(原子炉格納容器貫通部～蒸気発生器給水管台)

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 (負荷上昇率5%/min)	201	884
負荷減少 (負荷減少率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
2次系漏えい試験	21*2	59*2

*1: 設計評価においては、1次冷却材温度は高温側±1.4℃、低温側±2.4℃、1次冷却材圧力は+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

*2: 1次系漏えい試験と同じ回数とした

表2.3-2 玄海3号炉 主給水系統配管の疲労評価結果

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
主給水系統配管 (原子炉格納容器貫通部～ 蒸気発生器給水管台)	0.002	0.016

② 現状保全

母管の疲労割れに対しては、定期的に漏えい検査を実施し、健全性を確認している。

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

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、疲労割れの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、疲労割れによる機器の健全性への影響は、漏えい検査により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

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

3. 代表機器以外への展開

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

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

- ① 蒸気発生器ブローダウン系統配管
- ② 原子炉補機冷却水系統配管（空気）
- ③ 原子炉補機冷却水系統配管（窒素）
- ④ 原子炉格納容器スプレイ系統配管（給水）
- ⑤ 原子炉格納容器スプレイ系統配管（空気）
- ⑥ 高温再熱蒸気系統配管
- ⑦ 低温再熱蒸気系統配管
- ⑧ 第3抽気系統配管
- ⑨ 第4抽気系統配管
- ⑩ 第5抽気系統配管
- ⑪ 第6抽気系統配管
- ⑫ 第7抽気系統配管
- ⑬ 2次系復水系統配管
- ⑭ 2次系ドレン系統配管
- ⑮ 補助給水系統配管
- ⑯ タービングラウンド蒸気系統配管
- ⑰ 制御用空気系統配管（窒素）
- ⑱ 補助蒸気系統配管
- ⑲ 消火装置系統配管
- ⑳ タービン潤滑・制御油系統配管

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 母管の腐食（流れ加速型腐食）

[低温再熱蒸気系統配管、第3抽気系統配管、第4抽気系統配管、第5抽気系統配管、タービンランド蒸気系統配管、補助蒸気系統配管、第6抽気系統配管、2次系ドレン系統配管、蒸気発生器ブローダウン系統配管、2次系復水系統配管]

高温水又は二相流体を内包する炭素鋼配管では、エルボ部、分岐部、レギュレーサ部等の流れの乱れが起きる箇所で、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

流れ加速型腐食による減肉は、流速、水質、温度、当該部の形状等の使用条件から発生する可能性は推定できるものの、個々の肉厚測定結果による進展評価以外に正確に定量的な評価を行うことは困難であるため、配管の減肉管理については減肉の可能性のある箇所の肉厚測定を行い、減肉の有無及び減肉率を判断し、寿命評価を実施することとしている。

配管減肉に対しては、減肉発生の知見及び調査結果に基づき作成した「原子力設備2次系配管肉厚の管理指針（PWR）」（平成2年5月）により、減肉の点検対象として主要点検部位（「日本機械学会 加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NG1-2006）」に定められた偏流発生部位及び下流範囲を含む部位）及びその他部位（主要点検部位以外の部位）について管理対象とし、超音波による肉厚測定を行いデータの蓄積を図ってきた。

また、美浜3号炉2次系配管破損事故（2004年8月）以降は、旧原子力安全・保安院指示文書「原子力発電工作物の保安のための点検、検査等に関する電気事業法施行規則の規定の解釈（内規）の制定について」（平成20・12・22原院第4号 NISA-163c-08-5）や日本機械学会の規格（加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NG1-2006））に定められた内容に従い、対象系統及び部位や実施時期等の考え方を「2次系配管肉厚管理指針」（社内文書）に反映し、これに基づき配管減肉の管理を実施している。

現状保全として、「2次系配管肉厚管理指針」（社内文書）に基づき、超音波厚さ計による肉厚計測を計画的に実施し、減肉の管理を行うことにより機能を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、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 母管（内面）の腐食（全面腐食）

[第7抽気系統配管、タービン潤滑・制御油系統配管、原子炉補機冷却水系統配管（窒素）、消火装置系統配管]

母管は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、内部流体が第7抽気系統配管は蒸気、タービン潤滑・制御油系統配管は油、原子炉補機冷却水系統配管（窒素）は窒素、消火装置系統配管は炭酸ガス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、開放点検時の目視確認又は系統機器の分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.3 母管（内面）の腐食（全面腐食）

[原子炉格納容器スプレイ系統配管（給水）、補助給水系統配管、原子炉格納容器スプレイ系統配管（空気）、制御用空気系統配管（窒素）、原子炉補機冷却水系統配管（空気）]

母管は炭素鋼であり、内部流体は給水（飽和溶存酸素濃度：最大約8ppm）、空気であるため、長期使用により腐食が想定される。

しかしながら、系統機器の分解点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。

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

3.2.4 母管（外面）の腐食（全面腐食）[共通]

母管は炭素鋼であり、外面からの腐食が想定される。

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

また、巡視点検等で目視により塗装等の状態を確認し、はく離等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 フランジボルトの腐食（全面腐食）

[蒸気発生器ブローダウン系統配管、原子炉補機冷却水系統配管（空気）、原子炉格納容器スプレイ系統配管（給水）、原子炉格納容器スプレイ系統配管（空気）、高温再熱蒸気系統配管、低温再熱蒸気系統配管、2次系復水系統配管、2次系ドレン系統配管、補助給水系統配管、タービンランド蒸気系統配管、制御用空気系統配管（窒素）、補助蒸気系統配管、消火装置系統配管、タービン潤滑・制御油系統配管]

フランジボルトは、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。

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

3.2.6 小口径管台の高サイクル疲労割れ

[蒸気発生器ブローダウン系統配管、原子炉補機冷却水系統配管（空気）、原子炉格納容器スプレイ系統配管（給水）、原子炉格納容器スプレイ系統配管（空気）、高温再熱蒸気系統配管、低温再熱蒸気系統配管、第3抽気系統配管、第4抽気系統配管、第5抽気系統配管、第6抽気系統配管、2次系復水系統配管、2次系ドレン系統配管、補助給水系統配管、タービングランド蒸気系統配管、補助蒸気系統配管、消火装置系統配管、タービン潤滑・制御油系統配管]

1998年12月、大飯2号炉の余熱除去系統配管のドレン弁管台において、高サイクル疲労割れによる漏えいが発生している。この事象は、配管取替に伴いドレン管の口径を変更したことにより余熱除去ポンプと共振が発生し、ドレン弁管台溶接部に応力集中が生じたものである。

しかしながら、玄海3号炉においては、必要な部位について振動計測に基づく応力評価等を行い、健全性を確認している。

また、振動の状態は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.7 温度計ウェル等の高サイクル疲労割れ

[高温再熱蒸気系統配管、低温再熱蒸気系統配管、第3抽気系統配管、第4抽気系統配管、第5抽気系統配管、2次系復水系統配管、2次系ドレン系統配管、タービングランド蒸気系統配管、消火装置系統配管、補助蒸気系統配管]

1995年12月、もんじゅの温度計ウェルで流体振動による高サイクル疲労割れが発生している。この事象は、プラント運転中に内部流体の流れによる流体振動を受け、流れ方向（抗力方向）に共振が発生し、温度計ウェルの付け根部に応力集中が生じたものである。

しかしながら、玄海3号炉の温度計ウェル及びサンプルノズルは、旧原子力安全・保安院指示文書「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の改正に伴う電気事業法に基づく定期事業者検査の実施について（平成17・12・22原院第6号 NISA-163a-05-3）」に基づき「(社)日本機械学会 配管内円柱状構造物の流力振動評価指針 (JSME S 012-1998)」による評価を行い、問題とならないことを確認しており、同様な設計方針に基づき施設されているその他の箇所について

も同様と考える。このような条件は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

4 1 次冷却材管

[対象機器]

- ① 1 次冷却材管

目 次

1. 対象機器	1
2. 1次冷却材管の技術評価	2
2.1 構造、材料及び使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	5
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	10

1. 対象機器

玄海3号炉で使用されている1次冷却材管の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 玄海3号炉 1次冷却材管の主な仕様

機器名称	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)
1次冷却材管	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. 1次冷却材管の技術評価

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 1次冷却材管

(1) 構造

1次冷却材管は原子炉容器、蒸気発生器及び1次冷却材ポンプ相互を連絡し、循環回路を形成している。1次冷却材管は直管部とエルボ部からなる母管と母管に取り付けられた複数の管台及び温度計ウェル等から構成されている。

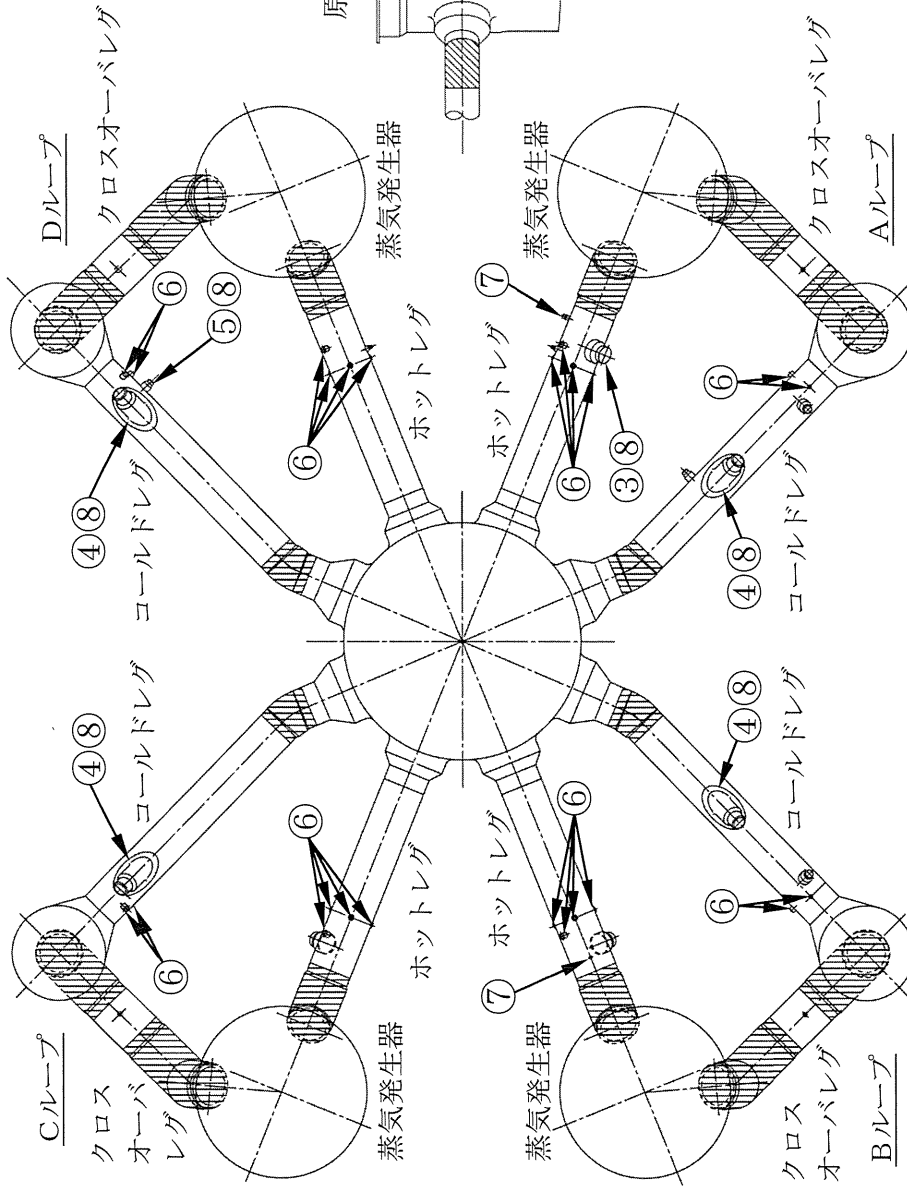
各グループでは、原子炉容器と蒸気発生器間をホットレグ、蒸気発生器と1次冷却材ポンプ間をクロスオーバーレグ、1次冷却材ポンプと原子炉容器間をコールドレグと呼んでいる。

玄海3号炉は4グループプラントであり、1次冷却材管の配置を図2.1-1に示す。

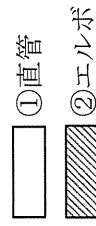
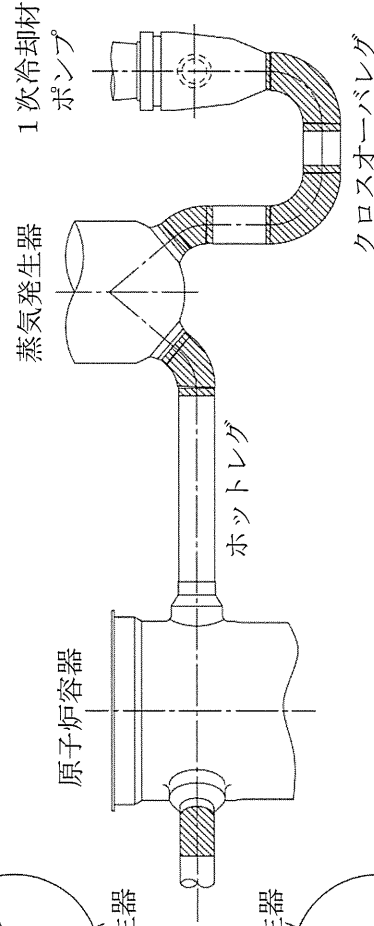
(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の1次冷却材管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。

1次冷却材ポンプ



1次冷却材ポンプ



No.	部 位
①	直 管
②	エ ル ボ
③	加圧器サージ管台
④	蓄圧タンク注入管台
⑤	充てん管台
⑥	温度計ウエル
⑦	サンプルノズル
⑧	サーマルスリーブ

1次冷却材ポンプ

1次冷却材ポンプ

図2.1-1 玄海3号炉 1次冷却材管配置図

表2.1-1 玄海3号炉 1次冷却材管の使用材料

部 位		材 料
母 管	直 管	ステンレス鋼鋳鋼
	エ ル ボ	ステンレス鋼鋳鋼
管 台	加圧器サージ管台	ステンレス鋼
	蓄圧タンク注入管台	ステンレス鋼
	充てん管台	ステンレス鋼
温度計ウエル		ステンレス鋼
サンプルノズル		ステンレス鋼
サーマルスリーブ		ステンレス鋼

表2.1-2 玄海3号炉 1次冷却材管の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa[gage]
最高使用温度	約343℃
1次冷却材流量	約 60×10^6 kg/h
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

1次冷却材管の機能である耐圧機能を維持するためには、次の項目が必要である。

① バウンダリの維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

1次冷却材管について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、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) 母管及び管台の疲労割れ

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る応力変動によって、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

(2) 母管の熱時効

母管に使用しているステンレス鋼（2相ステンレス鋼）は、高温での長時間の使用に伴い靱性の低下等、材料特性変化を起こすことから、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) 母管及び管台の応力腐食割れ

母管及び管台はステンレス鋼鋳鋼又はステンレス鋼を使用しており応力腐食割れが想定される。

しかしながら、定期検査時に飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）の流体が流入する際は流体温度が低い（最高でも80℃程度）ため、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。また、定期検査後のプラント起動時には1次冷却材中の溶存酸素濃度低減のための運転操作を実施するため、高温（100℃以上）で使用する場合は溶存酸素濃度が0.1ppm以下に低減された流体となっていることから応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

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

なお、溶接部を対象とした超音波探傷検査、浸透探傷検査又は漏えい検査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。

(2) 温度計ウェル及びサンプルノズルの高サイクル疲労割れ

1995年12月、もんじゅの温度計ウェルで流体振動による高サイクル疲労割れが発生している。この事象は、プラント運転中に内部流体の流れによる流体振動を受け、流れ方向（抗力方向）に共振が発生し、温度計ウェルの付け根部に応力集中が生じたものである。

しかしながら、玄海3号炉の温度計ウェル及びサンプルノズルは、保安院指示文書（平成17・12・22原院第6号 NISA-163a-05-3）に基づき「(社)日本機械学会 配管内円柱状構造物の流力振動評価指針（JSME S 012-1998）」による評価を行い、問題とならないことを確認しており、このような条件は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) サーマルスリーブの高サイクル疲労割れ

1981年7月、大飯2号炉の2点溶接タイプのサーマルスリーブで流体振動による高サイクル疲労割れが発生している。

しかしながら、玄海3号炉のサーマルスリーブは全て全周溶接タイプであり、2点溶接タイプに比べて発生応力が十分小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

図2.2-1にサーマルスリーブの構造を示す。

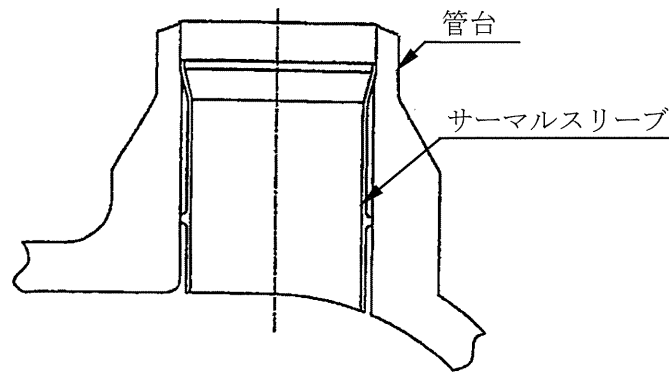


図2.2-1 玄海3号炉 サーマルスリーブ構造図

(4) 温度計ウェル等の応力腐食割れ

温度計ウェル、サンプルノズル及びサーマルスリーブはステンレス鋼を使用しており応力腐食割れが想定される。

しかしながら、定期検査時に飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）の流体が流入する際は流体温度が低い（最高でも80℃程度）ため、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。また、定期検査後のプラント起動時には1次冷却材中の溶存酸素濃度低減のための運転操作を実施するため、高温（100℃以上）で使用する場合は溶存酸素濃度が0.1ppm以下に低減された流体となっていることから応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、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 1次冷却材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 勞 割 れ	応 力 腐 蝕	熱 時 効	劣 化		
バウンダリの維持	直 管		ステンレス鋼鋳鋼			○	△	○			*1：高サイクル疲労 割れ
	エ ル ボ		ステンレス鋼鋳鋼			○	△	○			
	加 圧 器 サ ー ジ 管 台		ステンレス鋼			○	△				
	蓄 圧 タ ン ク 注 入 管 台		ステンレス鋼			○	△				
	充 て ん 管 台		ステンレス鋼			○	△				
	温 度 計 ウ ェ ル		ステンレス鋼			▲ ^{*1}	▲				
	サ ン プ ル ノ ズ ル		ステンレス鋼			▲ ^{*1}	▲				
	サ ー マ ル ス リ ー ブ		ステンレス鋼			▲ ^{*1}	▲				

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着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 母管及び管台の疲労割れ

a. 事象の説明

母管及び管台は、プラントの起動・停止時等に熱過渡を繰り返し受け、さらに管台は冷水注入による熱過渡を受けるため、疲労が蓄積する。

b. 技術評価

① 健全性評価

母管及び管台の健全性評価にあたっては、「(社)日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007) (JSME S NC1-2012)」及び「(社)日本機械学会 材料規格 (JSME S NJ1-2012)」に基づき評価を行った。

また、使用環境を考慮した疲労について、「(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。

評価点を図2.3-1に、疲労評価に用いた過渡回数を表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。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

表2.3-1 玄海3号炉 1次冷却材管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 時点の推定値
起動 (温度上昇率55.6°C/h)	23	60
停止 (温度下降率55.6°C/h)	22	60
負荷上昇 (負荷上昇率5%/min)	201	884
負荷減少 (負荷減少率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

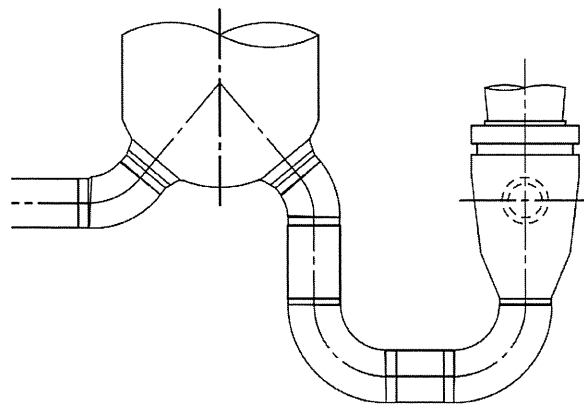
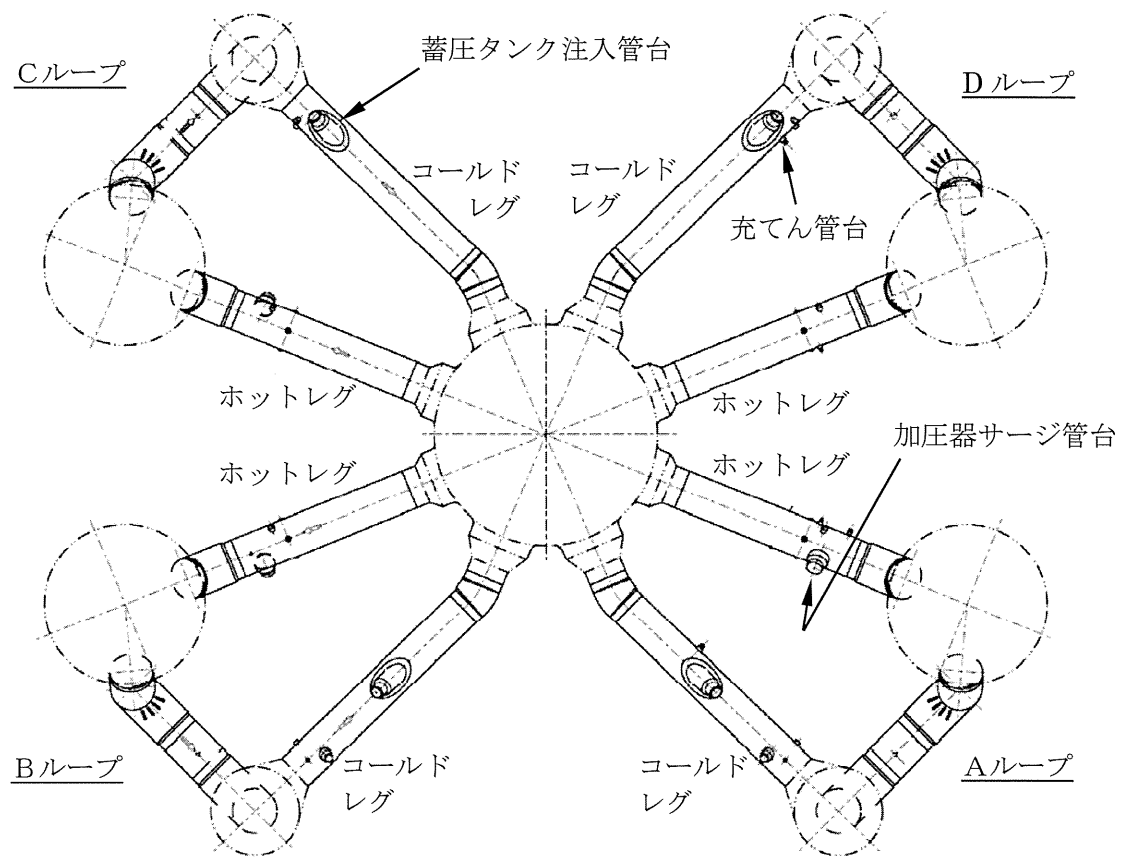
運転状態 II

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°C、低温側±2.4°C、1次冷却材圧力は+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 1次冷却材管 疲労評価結果

評価対象部位 (使用材料)	評価点	疲労累積係数 (許容値：1以下)	
		設計・建設規格 及び材料規格による 解析	環境疲労評価手法 による解析
ホットレグ (ステンレス鋼鋳鋼)	図2.3-1	0.001	0.010
クロスオーバーレグ (ステンレス鋼鋳鋼)		0.002	0.008
コールドレグ (ステンレス鋼鋳鋼)		0.001	0.005
加圧器サージ管台 (ステンレス鋼)		0.010	0.047
蓄圧タンク注入管台 (ステンレス鋼)		0.009	0.034
充てん管台 (ステンレス鋼)		0.003	0.023



クロスオーバーレグ

図2.3-1 玄海3号炉 1次冷却材管の疲労評価点

② 現状保全

母管及び管台の疲労割れに対しては、定期的に溶接部の超音波探傷検査又は浸透探傷検査を実施し、有意な欠陥のないことを確認している。また、定期的に漏えい検査を実施し健全性を確認している。さらに、高経年化技術評価に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。

現在実施している溶接部の超音波探傷検査等は疲労割れを検知可能であり、また、割れが発生するとすれば応力の観点から溶接部であると判断されることから、点検手法として適切である。さらに、疲労割れによる機器の健全性への影響は、漏えい検査により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

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

2.3.2 母管の熱時効

a. 事象の説明

母管に使用しているステンレス鋼は、オーステナイト相中に一部フェライト相を含む2相組織であるため、高温での長期の使用に伴い、時間とともにフェライト相内でより安定な組織形態へ移行しようとし、相分離が起こることにより、靱性の低下等、材料特性変化を起こす。

b. 技術評価

① 健全性評価

プラント長期間の運転中に熱時効を受けたステンレス鋼は、引張強さは増加するので材料強度の評価上の余裕は向上するが、材料の靱性が低下する。

ここでは、き裂の存在を仮定し、破壊力学的手法を用いて、ステンレス鋼の熱時効後の構造上の安全性を評価した。

初期き裂については、「(社)日本電気協会 原子力発電所配管破損防護設計技術指針 (JEAG4613-1998)」に準拠し、超音波探傷検査の検出能力を基に余裕を見込んで設定している。また、熱時効後の材料試験データを見ても延性安定き裂成長が認められるため、弾塑性破壊力学解析手法に基づき評価を行った。

熱時効による靱性低下への影響は、フェライト量が多いほど大きくなる。

また、使用条件としては、応力が大きいほど厳しくなることから、1次冷却材管として使用されているステンレス鋼の部位で、応力が最も大きいホットレグ直管とフェライト量^{*1}が最も多いSG入口50°エルボを評価部位として選定した。なお、エルボで応力が高くなると考えられる部位はSG入口50°エルボである。

ここで、1次冷却材管として使用されているステンレス鋼の部位と1次冷却材ポンプケーシング(吐出ノズル)を比較すると、表2.3-3に示すとおり、1次冷却材管(ホットレグ直管)の方が使用温度は高く、応力は大きい、フェライト量が少ない。このため、1次冷却材ポンプケーシングのフェライト量を考慮した1次冷却材管(ホットレグ直管)の熱時効評価を実施し、フェライト量が健全性に及ぼす影響を確認した。

具体的には、玄海3号炉評価対象部位の熱時効後の材料のき裂進展抵抗^{*2}(J_{mat})と構造系に作用する応力(重大事故等時^{*3}+地震動による荷重)か

ら算出されるき裂進展力 (J_{app}) を求めてその比較を行った。なお、供用状態 A、B の破壊力学評価結果は、より評価が厳しくなる重大事故等時の評価結果に包含される。

その結果、図 2.3-2 に示すように、運転開始後 60 年時点までの疲労き裂進展長さを考慮した評価用き裂*4 を想定しても、材料の J_{mat} と J_{app} との交点において、 J_{mat} の傾きが J_{app} の傾きを上回ることから*5、配管は不安定破壊することはなく、健全性評価上問題とならないと判断する。

*1: フェライト量は、製造時記録の材料成分を用いて「Standard Practice for Estimating Ferrite Content of Stainless Steel Castings Containing Both Ferrite and Austenite (ASTM A800/A800M-20)」に示される線図により決定した

*2: き裂進展抵抗は、電力共同研究「1次冷却材管等の時効劣化に関する研究 (STEP III) (その2)」(1998年度) で改良された脆化予測モデル (H3T モデル: Hyperbolic-Time, Temperature Toughness) を用いて、評価部位のフェライト量を基に、完全時効後の値 (飽和値) として決定した。また、予測の下限值 (-2σ) を採用した

*3: 重大事故等時におけるプラント条件 (ピーク温度 362°C、ピーク圧力 18.9MPa) を考慮した

*4: 表 2.3-1 に示す運転過渡及び地震動による運転開始後 60 年時点までの疲労き裂の進展を考慮しても、当該き裂は配管を貫通しない評価結果となったが、その後の弾塑性破壊力学解析においては、解析の簡便性のため、保守的に貫通き裂を想定した

*5: 初期き裂の想定、き裂進展、貫通き裂の想定及びき裂進展力は「(社) 日本電気協会 原子力発電所配管破損防護設計技術指針 (JEA4613-1998)」の評価手法に準拠した。そのため、き裂進展力の評価についても内圧、自重及び熱応力に加えて、地震を考慮した

表2.3-3 玄海3号炉 1次冷却材管と1次冷却材ポンプケーシングの評価条件の比較

評価部位	フェライト量 (%)	使用温度 (°C)	応力 (MPa)
1次冷却材管 (ホットレグ直管)	約 9.9 ^{*1}	約324.9	約174
1次冷却材ポンプ ケーシング (吐出ノズル)	約12.2	約289.2	約113

*1：1次冷却材管（ホットレグ直管）のフェライト量は約9.9%であるが、保守的に厳しい値である約12.2%として評価を実施した

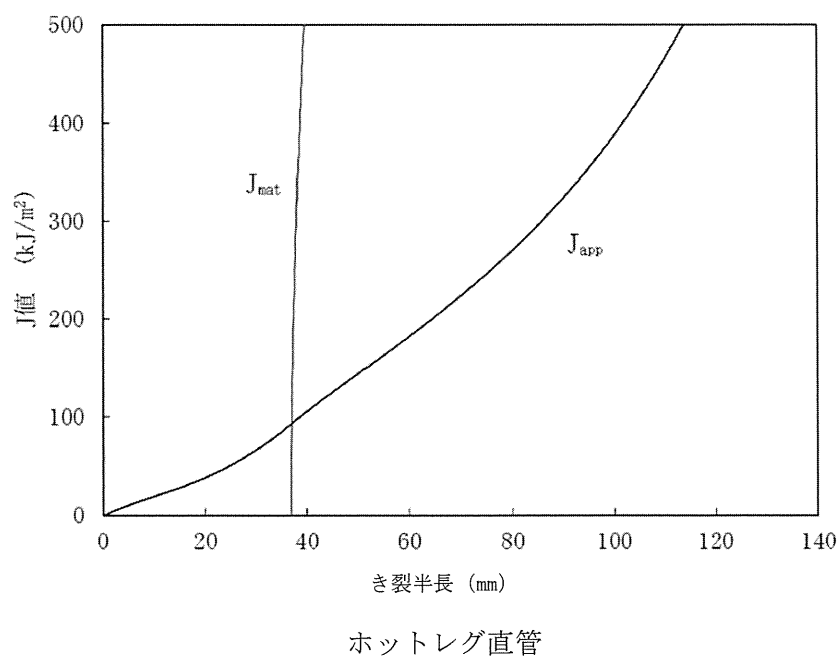


図2.3-2(1/3) 玄海3号炉 熱時効に対する破壊力学評価結果（重大事故等時^{*1}）

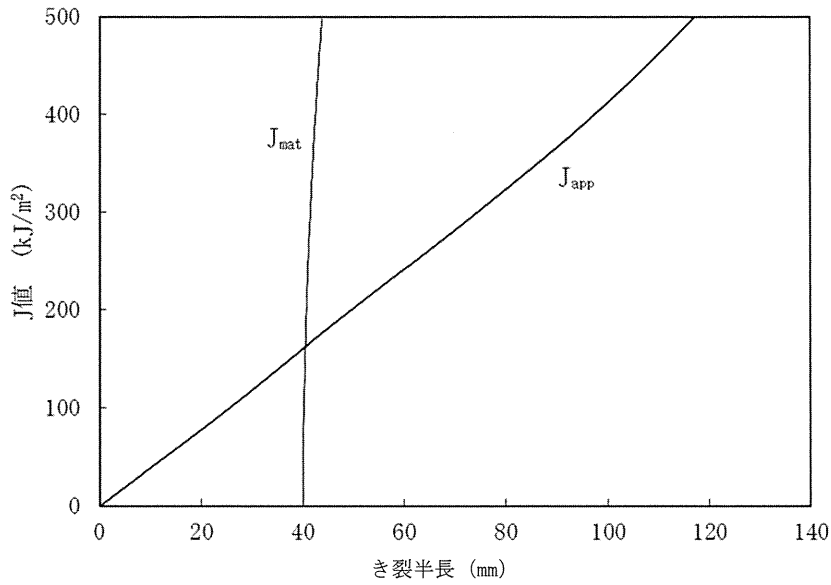


図2.3-2(2/3) 玄海3号炉 熱時効に対する破壊力学評価結果 (重大事故等時*1)

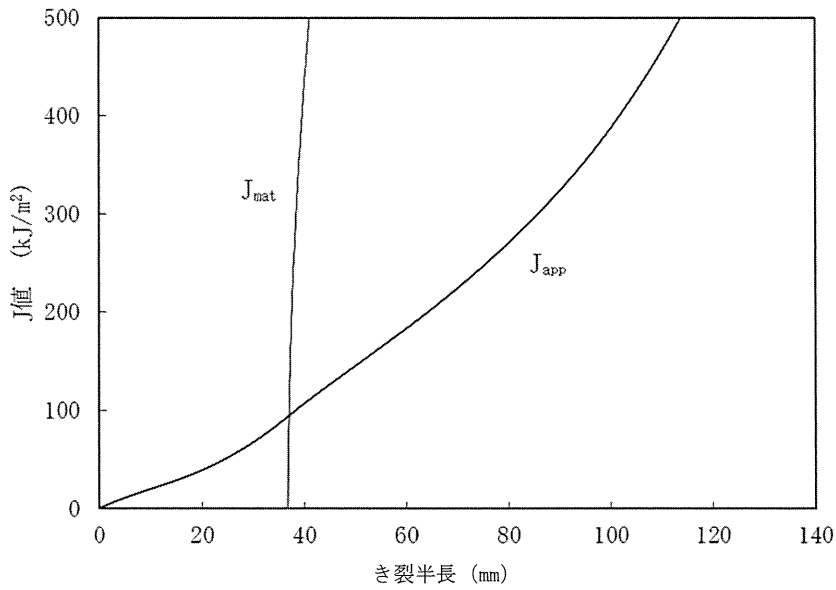


図2.3-2(3/3) 玄海3号炉 熱時効に対する破壊力学評価結果 (重大事故等時*1)

*1: 重大事故等時にき裂進展力が大きくなる部位の評価を実施した。また供用状態A、Bの破壊力学評価結果は、より評価が厳しくなる重大事故等時の評価結果(図2.3-2)に包含される

② 現状保全

母管の熱時効に対しては、定期的に溶接部の超音波探傷検査を実施し、評価で想定したき裂のないことを確認している。

また、定期的に漏えい検査を実施し、健全性を確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、母管の熱時効は高経年化対策上問題となる可能性はないと考える。

現在実施している溶接部の超音波探傷検査は内面からの割れを検知可能であり、また、割れが発生するとすれば応力の観点から溶接部であると判断されることから、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

母管の熱時効については、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。

5 配管サポート

[対象機器]

- ① アンカー
- ② Uバンド
- ③ Uボルト
- ④ スライドサポート
- ⑤ レストレイント
- ⑥ スプリングハンガ
- ⑦ オイルスナバ
- ⑧ メカニカルスナバ

目 次

1. 対象機器	1
2. 配管サポートの技術評価	2
2.1 構造及び材料	2
2.2 経年劣化事象の抽出	26
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	39

1. 対象機器

玄海3号炉で使用されている主要な配管サポートの主な仕様を表1-1に示す。

これらの配管サポートについては、型式ごとに各々対象とした。

表1-1 玄海3号炉 配管サポートの主な仕様

機器名称	仕様
アンカー	配管の全方向の変位及びモーメントを拘束する。
Uバンド	配管の全方向の変位を拘束する。
Uボルト	配管の軸直方向の変位を拘束する。
スライドサポート	配管の軸直方向の変位及び全方向のモーメントを拘束する。
レストレイント	配管の特定1方向の変位を拘束する。
スプリングハンガ	配管自重を支持する。
オイルスナバ	地震時に、配管の特定1方向の変位を拘束する。
メカニカルスナバ	地震時に、配管の特定1方向の変位を拘束する。

2. 配管サポートの技術評価

本章では、1章で対象とした以下の8種類の配管サポートについて、技術評価を実施する。

- ① アンカー
- ② Uバンド
- ③ Uボルト
- ④ スライドサポート
- ⑤ レストレイント
- ⑥ スプリングハンガ
- ⑦ オイルスナバ
- ⑧ メカニカルスナバ

2.1 構造及び材料

2.1.1 アンカー

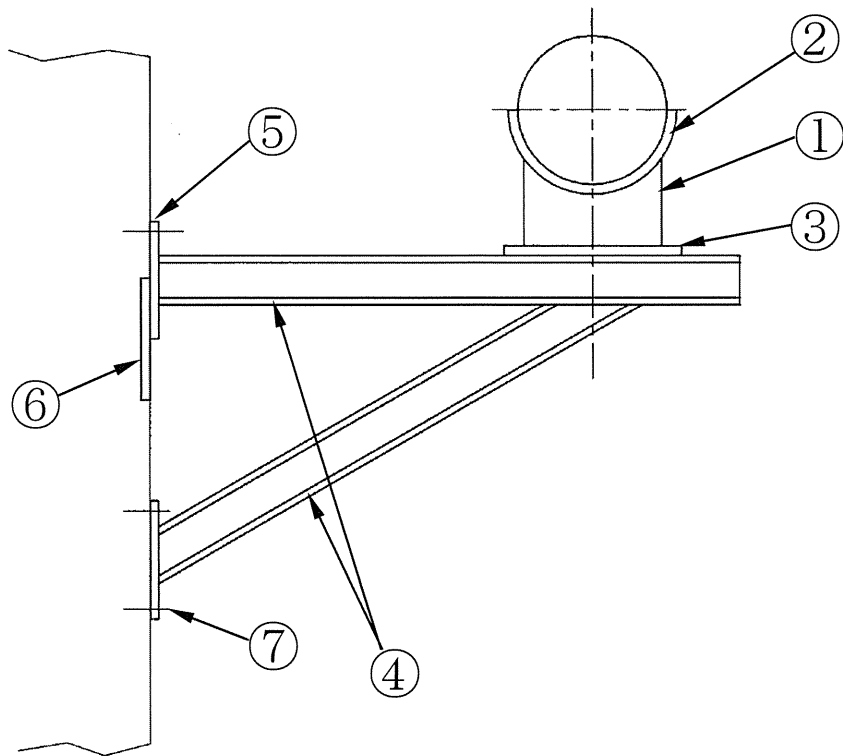
(1) 構造

アンカーは、配管の全方向の変位及びモーメントを拘束する構造である。

玄海3号炉のアンカーの構造図（概念図）を図2.1-1に示す。

(2) 材 料

玄海3号炉のアンカー主要部位の使用材料を表2.1-1に示す。



No.	部 位
①	ラ グ
②	パ ッ ド
③	プ レ ー ト
④	鋼 材
⑤	ベ ー ス プ レ ー ト
⑥	埋 込 金 物
⑦	基 礎 ボ ル ト (ケ ミ カ ル ア ン カ)

図2.1-1 玄海3号炉 配管サポート アンカー構造図 (概念図)

表2.1-1 玄海3号炉 配管サポート アンカー主要部位の使用材料

部 位	材 料
ラ グ	炭 素 鋼
パ ッ ド	ステンレス鋼
プレート	炭 素 鋼
鋼 材	炭 素 鋼
ベースプレート	炭 素 鋼
埋込金物	炭 素 鋼
基礎ボルト (ケミカルアンカ)	炭 素 鋼 不飽和ポリエステル樹脂 ビニルエステル樹脂 ビニルウレタン樹脂

2.1.2 Uバンド

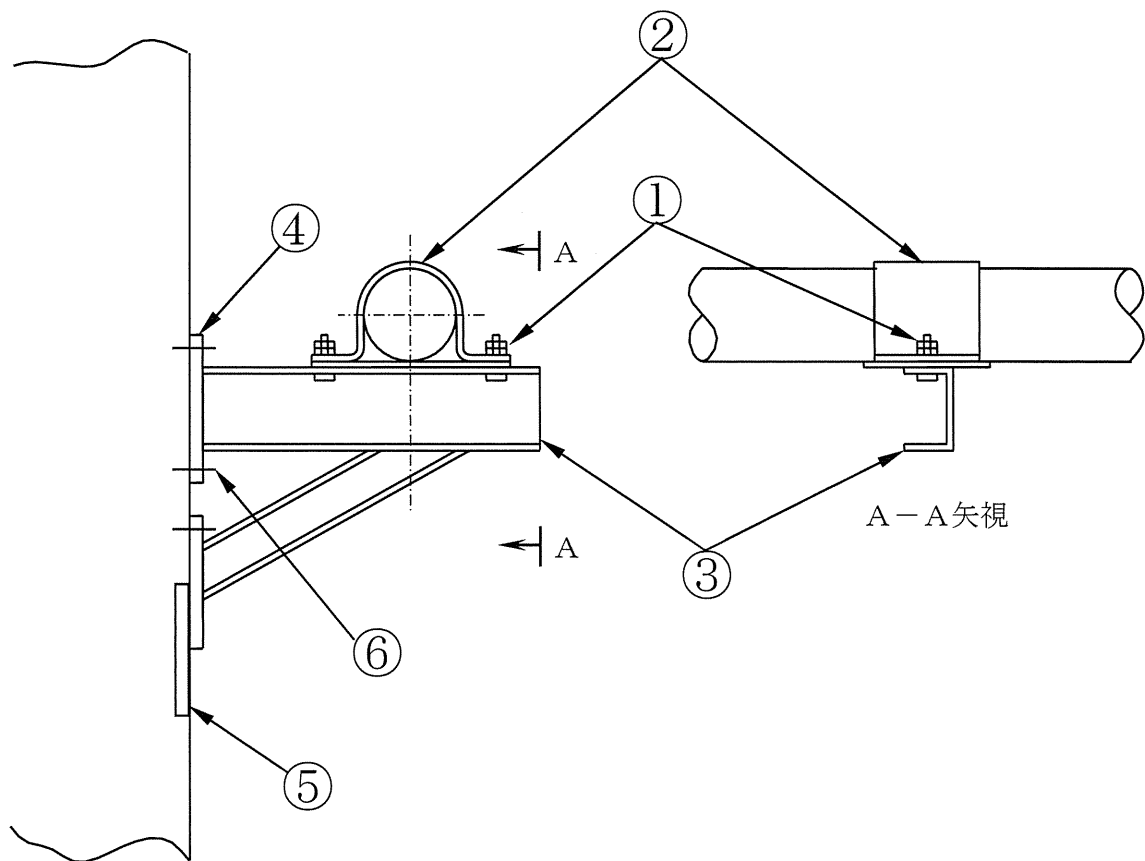
(1) 構造

Uバンドは、配管の全方向の変位を拘束する構造である。

玄海3号炉のUバンドの構造図（概念図）を図2.1-2に示す。

(2) 材料

玄海3号炉のUバンド主要部位の使用材料を表2.1-2に示す。



No.	部 位
①	ボルト、ナット
②	Uバンド本体
③	鋼 材
④	ベースプレート
⑤	埋込金物
⑥	基礎ボルト (メカニカルアンカ)

図2.1-2 玄海3号炉 配管サポート Uバンド構造図 (概念図)

表2.1-2 玄海3号炉 配管サポート Uバンド主要部位の使用材料

部 位	材 料
ボルト、ナット	炭素鋼
Uバンド本体	ステンレス鋼 炭素鋼
鋼 材	炭素鋼
ベースプレート	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼
基礎ボルト（メカニカルアンカ）	炭素鋼

2.1.3 Uボルト

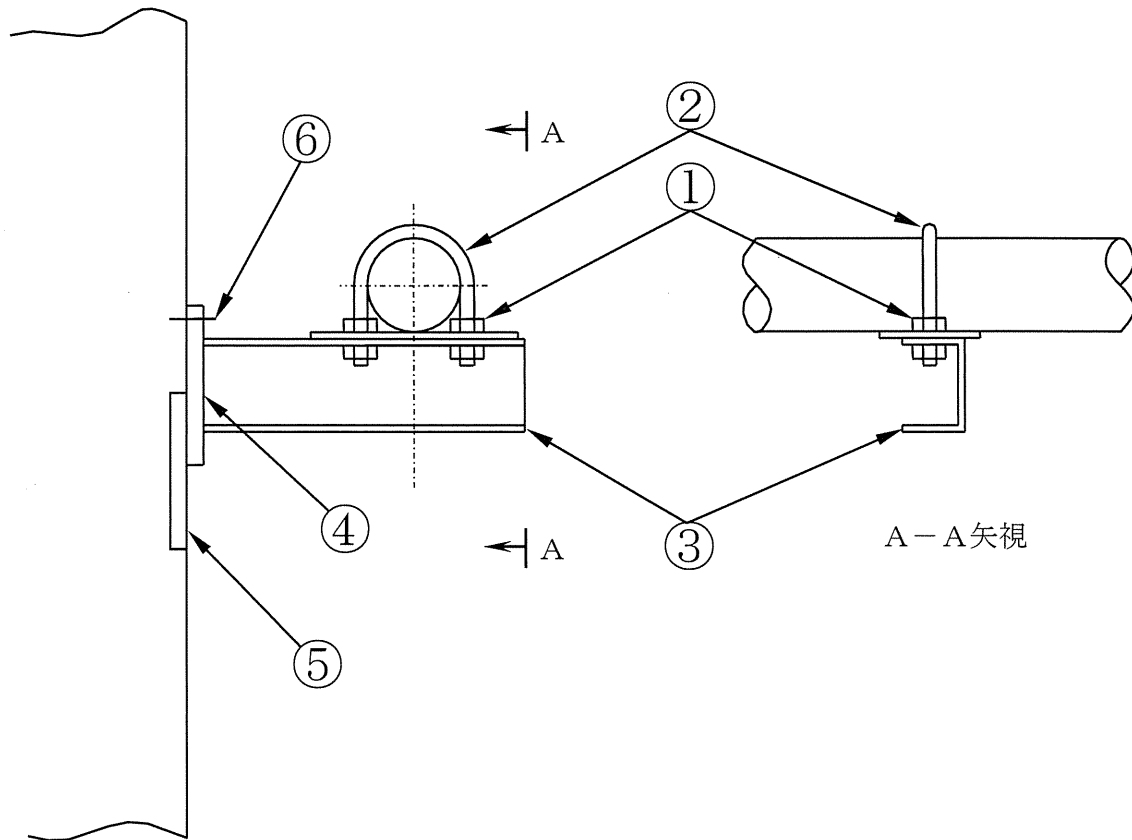
(1) 構造

Uボルトは、配管の軸直方向の変位を拘束する構造であり、配管との間に間隙を設け配管軸方向の変位を容易にしている。

玄海3号炉のUボルトの構造図（概念図）を図2.1-3に示す。

(2) 材料

玄海3号炉のUボルト主要部位の使用材料を表2.1-3に示す。



No.	部 位
①	ナ ッ ト
②	Uボルト本体
③	鋼 材
④	ベースプレート
⑤	埋込金物
⑥	基礎ボルト (メカニカルアンカ)
	基礎ボルト (ケミカルアンカ)

図2.1-3 玄海3号炉 配管サポート Uボルト構造図 (概念図)

表2.1-3 玄海3号炉 配管サポート Uボルト主要部位の使用材料

部 位	材 料
ナ ッ ト	ステンレス鋼 炭 素 鋼
Uボルト本体	ステンレス鋼 炭 素 鋼
鋼 材	炭 素 鋼
ベースプレート	炭 素 鋼
埋込金物	炭 素 鋼
基礎ボルト (メカニカルアンカ)	炭 素 鋼
基礎ボルト (ケミカルアンカ)	炭 素 鋼 不飽和ポリエステル樹脂 ビニルエステル樹脂 ビニルウレタン樹脂

2.1.4 スライドサポート

(1) 構造

スライドサポートは、配管の軸直方向の変位及び全方向のモーメントを拘束する構造である。

玄海3号炉のスライドサポートの構造図（概念図）を図2.1-4に示す。

(2) 材料

玄海3号炉のスライドサポート主要部位の使用材料を表2.1-4に示す。

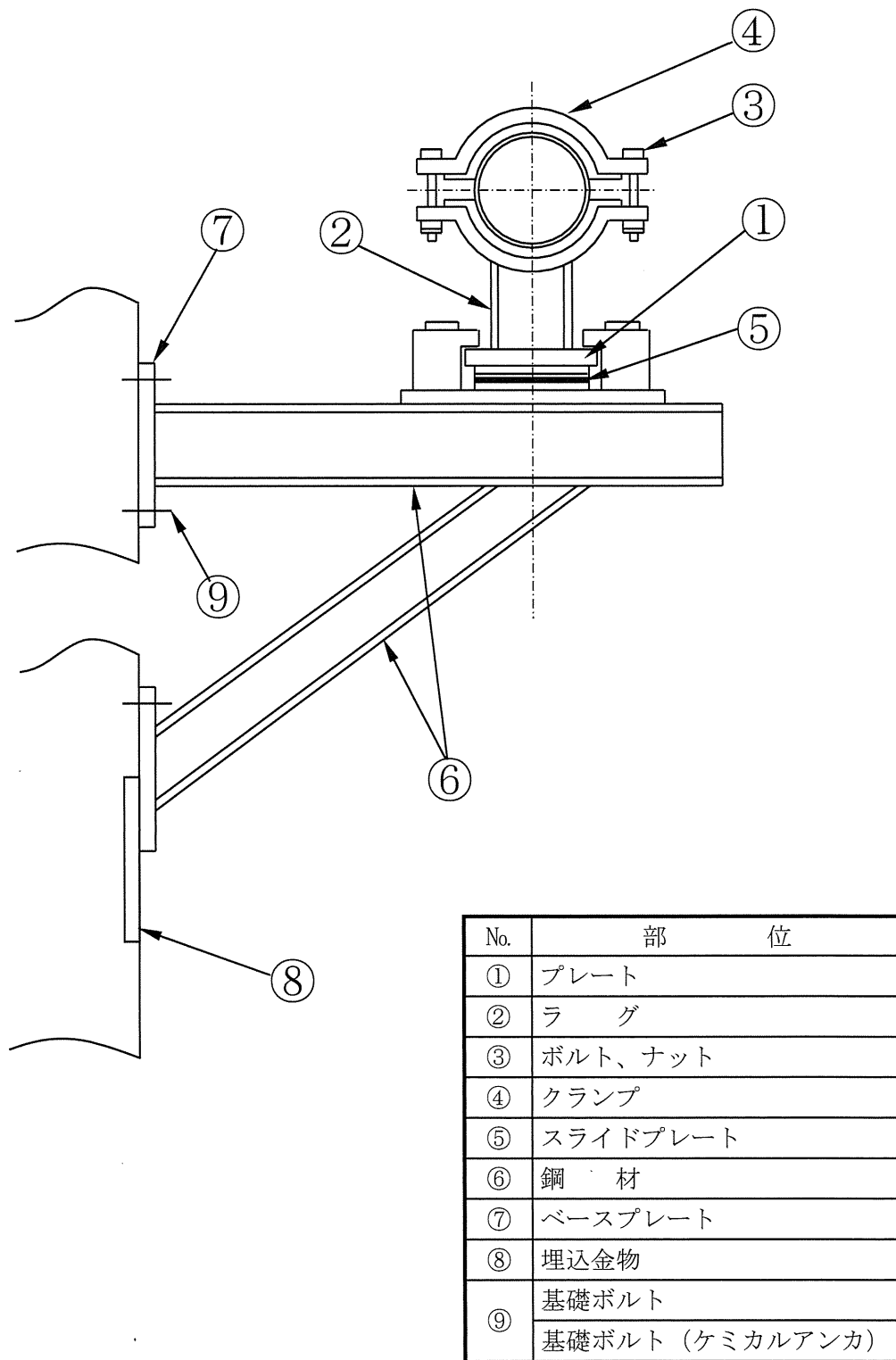


図2.1-4 玄海3号炉 配管サポート スライドサポート構造図 (概念図)

表2.1-4 玄海3号炉 配管サポート スライドサポート主要部位の使用材料

部 位	材 料
プレート	炭素鋼
ラ グ	炭素鋼
ボルト、ナット	炭素鋼
クランプ	炭素鋼
スライドプレート	ステンレス鋼+フッ素樹脂 炭素鋼+フッ素樹脂
鋼 材	炭素鋼
ベースプレート	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
基礎ボルト (ケミカルアンカ)	炭素鋼 ビニルエステル樹脂 ビニルウレタン樹脂

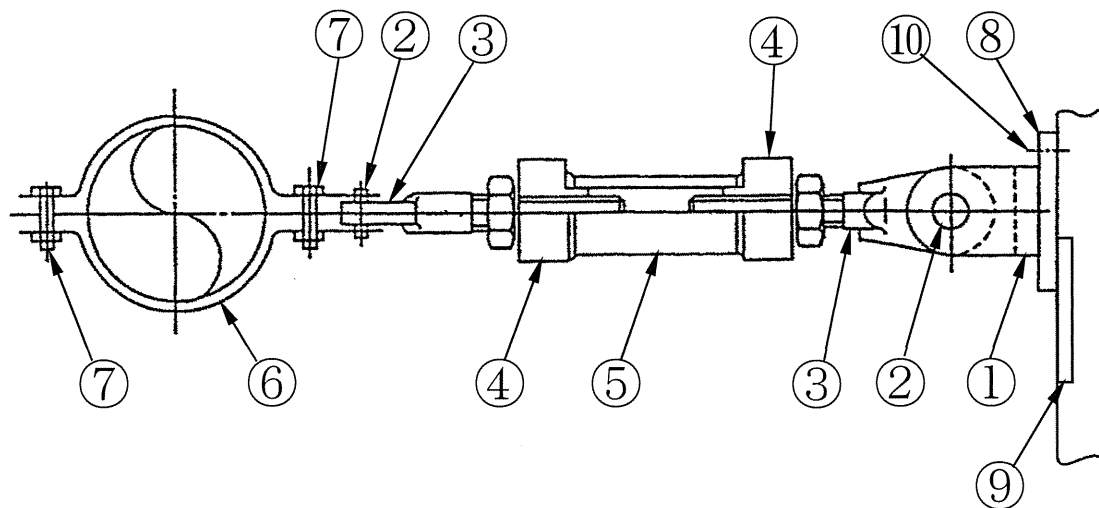
2.1.5 レストレイント

(1) 構造

レストレイントは、配管の特定1方向の変位を拘束する構造である。
玄海3号炉のレストレイントの構造図（概念図）を図2.1-5に示す。

(2) 材料

玄海3号炉のレストレイント主要部位の使用材料を表2.1-5に示す。



No.	部 位
①	ブラケット
②	ピ ン
③	スヘリカルアイボルト
④	アジャストナット
⑤	パ イ プ
⑥	パイプクランプ
⑦	ボルト、ナット
⑧	ベースプレート
⑨	埋込金物
⑩	基礎ボルト (メカニカルアンカ)
	基礎ボルト (ケミカルアンカ)

図2.1-5 玄海3号炉 配管サポート レストレイント構造図 (概念図)

表2.1-5 玄海3号炉 配管サポート・レストレイント主要部位の使用材料

部 位	材 料
ブラケット	炭素鋼
ピ ン	炭素鋼
スヘリカルアイボルト	炭素鋼
アジャストナット	炭素鋼
パイ プ	炭素鋼
パイプクランプ	炭素鋼
ボルト、ナット	炭素鋼
ベースプレート	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼
基礎ボルト（メカニカルアンカ）	炭素鋼
基礎ボルト（ケミカルアンカ）	炭素鋼 不飽和ポリエステル樹脂 ビニルエステル樹脂 ビニルウレタン樹脂

2.1.6 スプリングハンガ

(1) 構造

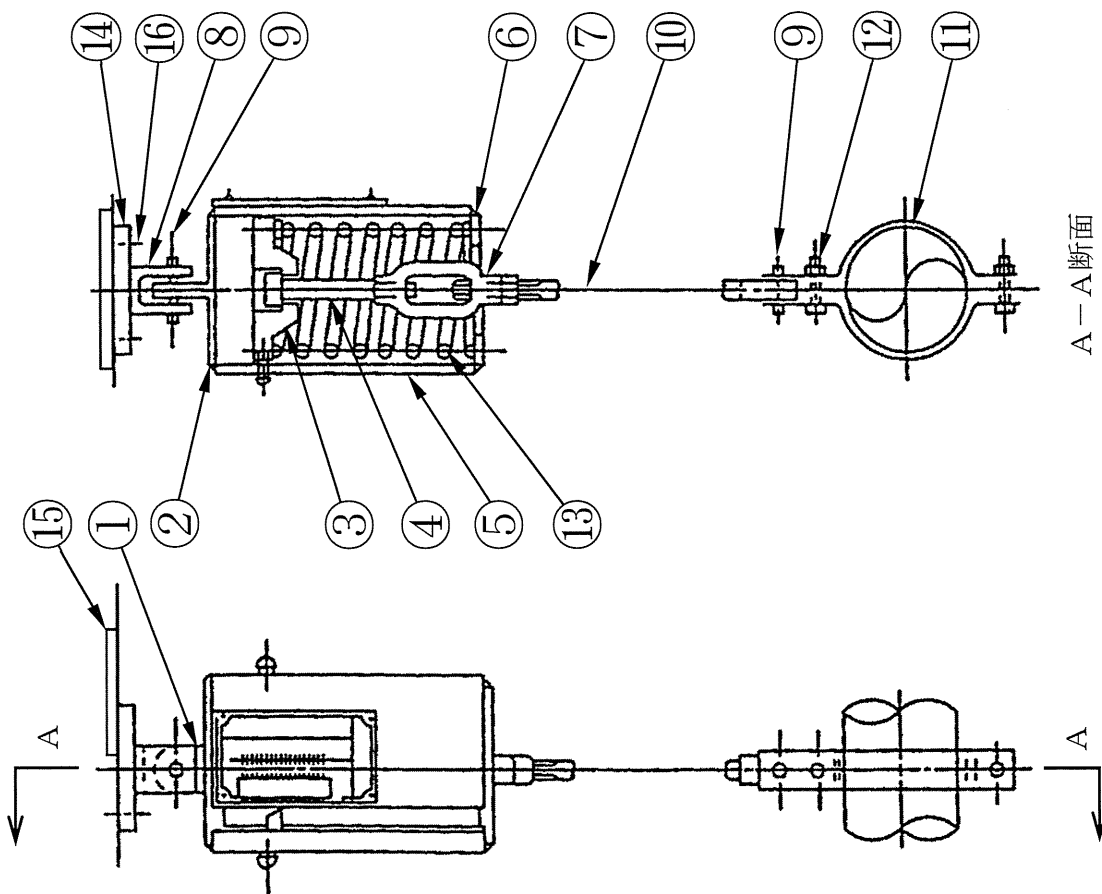
スプリングハンガは、配管自重を支持する構造である。

また、スプリングハンガはターンバックルを調整することによりばねの伸縮量を調整可能である。

玄海3号炉のスプリングハンガの構造図（概念図）を図2.1-6に示す。

(2) 材料

玄海3号炉のスプリングハンガ主要部位の使用材料を表2.1-6に示す。



No.	部 位
①	イーヤ
②	上部カバー
③	ピストンプレート
④	ハンガロッド
⑤	スプリングケース
⑥	下部カバー
⑦	ターンバックル
⑧	クレビスブラケット
⑨	ピ ン
⑩	アイボルト
⑪	パイプクランプ
⑫	ボルト、ナット
⑬	ば ね
⑭	ベースプレート
⑮	埋込金物
⑯	基礎ボルト (メカニカルアンカ)
⑰	基礎ボルト (ケミカルアンカ)

A-A断面

図2.1-6 玄海3号炉 配管サポート スプリングハンガ構造図 (概念図)

表2.1-6 玄海3号炉 配管サポート スプリングハンガ主要部位の使用材料

部 位	材 料
イ ー ヤ	炭 素 鋼
上部カバー	炭 素 鋼
ピストンプレート	炭 素 鋼
ハンガロッド	炭 素 鋼
スプリングケース	炭 素 鋼
下部カバー	炭 素 鋼
ターンバックル	炭 素 鋼
クレビスブラケット	炭 素 鋼
ピ ン	炭 素 鋼
アイボルト	炭 素 鋼
パイプクランプ	炭 素 鋼
ボルト、ナット	炭 素 鋼
ば ね	ばね鋼 ばね用オイルテンパー線
ベースプレート	炭 素 鋼
埋込金物	炭 素 鋼
基礎ボルト（メカニカルアンカ）	炭 素 鋼
基礎ボルト（ケミカルアンカ）	炭 素 鋼 不飽和ポリエステル樹脂 ビニルエステル樹脂

2.1.7 オイルスナバ

(1) 構造

オイルスナバは、地震時に配管の特定1方向の変位を拘束する構造である。
抵抗力発生媒体にオイルを使用している。

玄海3号炉のオイルスナバの構造図（概念図）を図2.1-7に示す。

(2) 材料

玄海3号炉のオイルスナバ主要部位の使用材料を表2.1-7に示す。

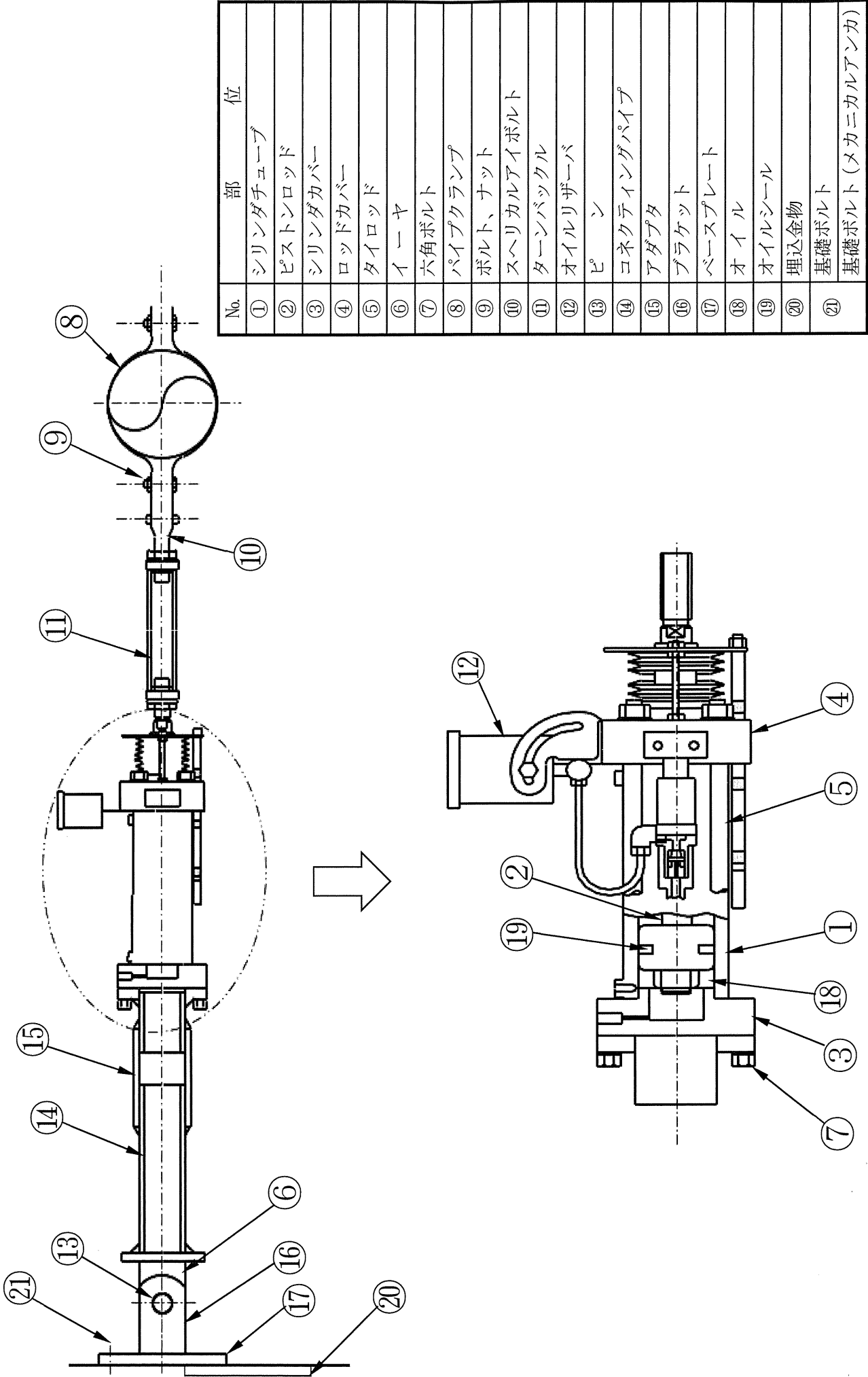


図2.1-7 玄海3号炉 配管サポート オイルスナバ構造図 (概念図)

表2.1-7 玄海3号炉 配管サポート オイルスナバ主要部位の使用材料

部 位	材 料
シリンダチューブ	炭素鋼
ピストンロッド	炭素鋼
シリンダカバー	炭素鋼
ロッドカバー	炭素鋼
タイロッド	炭素鋼
イ ー ヤ	炭素鋼
六角ボルト	低合金鋼
パイプクランプ	炭素鋼
ボルト、ナット	炭素鋼
スヘリカルアイボルト	炭素鋼
ターンバックル	炭素鋼
オイルリザーバ	ステンレス鋼
ピ ン	炭素鋼
コネクティングパイプ	炭素鋼
アダプタ	炭素鋼
ブラケット	炭素鋼
ベースプレート	炭素鋼
オ イ ル	消耗品・定期取替品
オイルシール	消耗品・定期取替品
埋込金物	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
基礎ボルト (メカニカルアンカ)	炭素鋼

2.1.8 メカニカルスナバ

(1) 構造

メカニカルスナバは、地震時に配管の特定1方向の変位を拘束する構造である。主要な構造は全て機械的な部位で構成されており、ボールナットにより往復運動（地震時の変位）を回転運動に変換することで抵抗力を発生する。

玄海3号炉のメカニカルスナバの構造図（概念図）を図2.1-8に示す。

(2) 材料

玄海3号炉のメカニカルスナバ主要部位の使用材料を表2.1-8に示す。

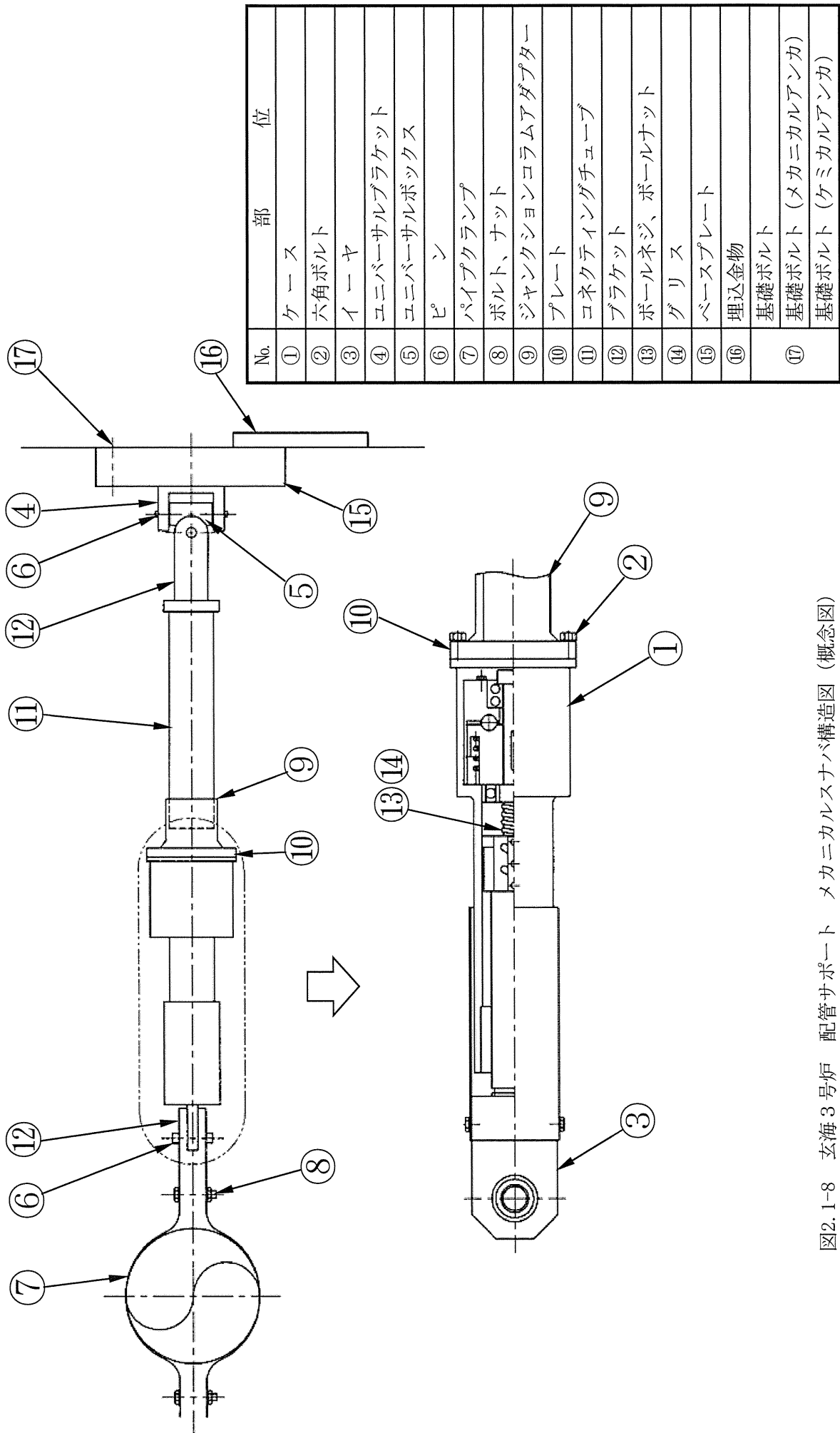


図2.1-8 玄海3号炉 配管サポータ メカニカルスナバ構造図 (概念図)

表2.1-8 玄海3号炉 配管サポート メカニカルスナバ主要部位の使用材料

部 位	材 料
ケ ー ス	炭 素 鋼
六角ボルト	低合金鋼
イ ー ヤ	炭 素 鋼
ユニバーサルブラケット	炭 素 鋼
ユニバーサルボックス	炭 素 鋼
ピ ン	炭 素 鋼
パイプクランプ	炭 素 鋼
ボルト、ナット	炭 素 鋼
ジャンクションコラムアダプター	炭 素 鋼
プレート	炭 素 鋼
コネクティングチューブ	炭 素 鋼
ブラケット	炭 素 鋼
ボールネジ、ボールナット	低合金鋼
グ リ ス	シリコン系オイル
ベースプレート	炭 素 鋼
埋込金物	炭 素 鋼
基礎ボルト	炭 素 鋼
基礎ボルト (メカニカルアンカ)	炭 素 鋼
基礎ボルト (ケミカルアンカ)	炭 素 鋼 不飽和ポリエステル樹脂 ビニルエステル樹脂 ビニルウレタン樹脂

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

配管サポートの機能を維持するためには、次の項目が必要である。

① 配管支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

配管サポート個々について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料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2.2-8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2.2-8で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) ラグとプレートの溶接部等のサポート取付部の疲労割れ

[アンカー、スライドサポート、レストレイント]

配管熱変位の拘束に伴う繰返し荷重により、取付部の溶接部に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。

2.2.3 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2.2-8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) ベースプレート、パイプクランプ等の腐食（全面腐食）[共通]

炭素鋼等を使用しているベースプレート、パイプクランプ等の配管サポート部位は腐食が想定される。

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

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

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

(2) ピン等摺動部材の摩耗

[Uボルト、スライドサポート、レストレイント、スプリングハンガ、オイルスナバ、メカニカルスナバ]

配管移動を許容するサポートの摺動部材は、配管熱移動や振動により摩耗が生じ、支持機能への影響が想定される。

しかしながら、巡視点検等で目視により摺動部又は支持状態に異常のないことを確認し、機器の健全性を維持している。

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

(3) スライドプレートのフッ素樹脂のはく離 [スライドサポート]

主蒸気管等の大口徑配管のスライドサポートのスライド部には、摩擦力を低減するために炭素鋼やステンレス鋼表面にフッ素樹脂加工したスライドプレートを使用しているが、高温条件下で長期にわたり使用した場合フッ素樹脂のはく離が生じ、スライド部の固着等により支持機能への影響が想定される。

しかしながら、巡視点検等で目視により動作状況に異常のないことを確認し、機器の健全性を維持している。

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

(4) ばねの変形（応力緩和） [スプリングハンガ]

スプリングハンガのばねは、配管の自重に相当する荷重が常時加わっており、長期間保持されることにより変形（応力緩和）が生じ、支持機能への影響が想定される。

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、巡視点検等で目視により動作状況に異常のないことを確認し、機器の健全性を確認している。

(5) グリスの劣化 [メカニカルスナバ]

メカニカルスナバのボールネジ部には、円滑な作動を確保するために潤滑剤としてグリスが塗布されている。このグリスが劣化し潤滑剤として機能しなくなった場合、ボールネジ部固着等により支持機能に影響が想定される。

しかしながら、熱によるグリスの劣化は、グリスの油分減少に伴い発生するものであるが、蒸発試験を実施した結果を用いて、60年間の油分減少量を外挿により推定した値は、安全側に設定した許容値に対して十分低いことを確認した。また、放射線によるグリスの劣化については、耐放射線試験を実施し、長期の運転を考慮しても特に問題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。

なお、巡視点検等で目視により動作状況に異常のないことを確認し、機器の健全性を確認している。

(6) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）及び樹脂の劣化 [共通]

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

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

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

(7) 埋込金物のコンクリート埋設部の腐食（全面腐食） [共通]

埋込金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

2.2.4 消耗品及び定期取替品

オイルスナバのオイル及びオイルシールは、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 配管サポート アンカー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		
				減摩	肉腐	割れ		熱時効	その他			
						疲労割れ	応力腐食割れ					
配管支持	ラゲ		炭素鋼		△		○				*1：大気接触部 *2：コンクリート埋設部 *3：樹脂の劣化	
	パッド		ステンレス鋼									
	プレート		炭素鋼		△							
	鋼材		炭素鋼		△							
	ベースプレート		炭素鋼		△							
	埋込金物			炭素鋼		△ ^{*1}						
				炭素鋼		▲ ^{*2}						
	基礎ボルト	ケミカルカ	炭素鋼 不飽和ポリエステル樹脂 ビニルエステル樹脂 ビニルクレタック樹脂		△					△ ^{*3}		

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着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 配管サポート Uバンド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 耗	肉 腐 食	割 れ		材 質 変 化	そ の 他			
						疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕 割 れ				熱 時 効	劣 化
配管支持	ボルト、ナット		炭素鋼		△						*1：大気接触部 *2：コンクリート埋設部	
	Uバンド本体		ステンレス鋼 炭素鋼		△							
	鋼 材		炭素鋼		△							
	ベースプレート		炭素鋼		△							
	埋込金物		炭素鋼		△ ^{*1} ▲ ^{*2}							
	基礎ボルト	メカニカルアサカ		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-3 玄海3号炉 配管サポート Uボルトに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定期 取替 品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考		
				減 耗	肉 食	割 れ		材 質 変 化	そ の 他			
						腐 食	疲 勞 割 れ				応 力 腐 蝕	熱 時 効
配管支持	ナ ッ ト		ステンレス鋼 炭 素 鋼	△							*1：大気接触部 *2：コンクリート埋設部 *3：樹脂の劣化	
	Uボルト本体		ステンレス鋼 炭 素 鋼	△								
	鋼 材		炭 素 鋼	△								
	ベースプレート		炭 素 鋼	△								
	埋込金物			炭 素 鋼	△ ^{*1} ▲ ^{*2}							
		メカニカルアノカ		炭 素 鋼	△							
	基礎ボルト			炭 素 鋼	△							
		ケミカルアノカ		炭 素 鋼 不飽和ポリエステル樹脂 ビニルエステル樹脂 ビニルケトン樹脂	△					△ ^{*3}		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-4 玄海3号炉 配管サポート スライドサポートに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定期 取 替 品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考		
				減 耗	肉 腐 食	割 れ		材 質 変 化	そ の 他			
						疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕				熱 時 効 劣 化	
配管支持	プレート		炭素鋼		△						*1:フッ素樹脂のはく離 *2: 大気接触部 *3: コンクリート埋設部 *4: 樹脂の劣化	
	ラ グ		炭素鋼		△	○						
	ボルト、ナット		炭素鋼		△							
	クランプ		炭素鋼		△							
	スライドプレート		ステンレス鋼 +フッ素樹脂 炭素鋼 +フッ素樹脂	△						△ ^{*1}		
	鋼 材		炭素鋼		△							
	ベースプレート		炭素鋼		△							
	埋込金物			炭素鋼		△ ^{*2} ▲ ^{*3}						
		スットボルト		炭素鋼		△						
	基礎ボルト	ケミカルカ		炭素鋼 ビニルエステル樹脂 ビニルエタン樹脂		△				△ ^{*4}		

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着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2.2-5 玄海3号炉 配管サポート レストレ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		
				減 耗		腐 食		割 れ			材 質 変 化	そ の 他
				摩 耗	腐 食	疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕	熱 時 効	劣 化			
配管支持	ブラケット		炭素鋼	△	△	○					*1：大気接触部 *2：コンクリート埋設部 *3：樹脂の劣化	
	ピン		炭素鋼	△								
	スヘリカルアイボルト		炭素鋼	△								
	アジャストナット		炭素鋼		△							
	パイプ		炭素鋼		△							
	パイプクランプ		炭素鋼	△								
	ボルト、ナット		炭素鋼		△							
	ベースプレート		炭素鋼		△							
	埋込金物			炭素鋼		△ ^{*1}						
		メカカルアンカ		炭素鋼		▲ ^{*2}						
	基礎ボルト			炭素鋼		△						
		ケカルアンカ		炭素鋼 不飽和ポリエステル樹脂 ビニルエステル樹脂 ビニルウレタン樹脂		△				△ ^{*3}		

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着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2.2-6 玄海3号炉 配管サポート スプリングハンガ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 耗	腐 食	割 れ		材 質 変 化	そ の 他			
						疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕				熱 時 効 劣 化	
配管支持	イ ー ヤ		炭 素 鋼	△	△						*1：変形 (応力緩和) *2：大気接触部 *3：コンクリート埋設部 *4：樹脂の劣化	
	上部カバー		炭 素 鋼		△							
	ピストンプレート		炭 素 鋼		△							
	ハンガロッド		炭 素 鋼		△							
	スプリングケース		炭 素 鋼		△							
	下部カバー		炭 素 鋼		△							
	ターンバックル		炭 素 鋼		△							
	クレビスブラケット		炭 素 鋼	△	△							
	ピ ン		炭 素 鋼	△	△							
	アイボルト		炭 素 鋼	△	△							
	パイプクランプ		炭 素 鋼	△	△							
	ボルト、ナット		炭 素 鋼		△							
	ば ね		ばね鋼 ばね用ステンレス		△					△ ^{*1}		
	ベースプレート		炭 素 鋼		△							
	埋込金物		炭 素 鋼		△ ^{*2}							
			炭 素 鋼		▲ ^{*3}							
	基礎ボルト	メカニカルシカ		炭 素 鋼		△						
ケミカルシカ			炭 素 鋼 不飽和ポリエステル樹脂 ビニルエステル樹脂		△				△ ^{*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）

表2.2-7(1/2) 玄海3号炉 配管サポート オイルスナバ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 耗	腐 食	割 れ		材 質 変 化			その他
						疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕	熱 時 効	劣 化		
配管支持	シリンダチューブ		炭素鋼	△	△						
	ピストンロッド		炭素鋼		△						
	シリンダカバナー		炭素鋼		△						
	ロッドカバナー		炭素鋼		△						
	タイロッド		炭素鋼		△						
	イーヤ		炭素鋼	△	△						
	六角ボルト		低合金鋼		△						
	パイプクランプ		炭素鋼	△	△						
	ボルト、ナット		炭素鋼		△						
	スヘリカルアイボルト		炭素鋼	△	△						
	ターンバックル		炭素鋼		△						
	オイルリザーバ		ステンレス鋼								
ピ ン		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2.2-7(2/2) 玄海3号炉 配管サポート オイルスナバ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 耗	肉 腐	割 れ		材 質 変 化		そ の 他			
						摩 耗	腐 食	疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕			熱 時 効	劣 化
配管支持	コネクティングパイプ		炭素鋼		△							*1：大気接触部 *2：コンクリート理設部	
	アダプタ		炭素鋼		△								
	ブラケット		炭素鋼	△	△								
	ベースプレート		炭素鋼		△								
	オイル	◎	—										
	オイルシール	◎	—										
	埋込金物			炭素鋼		△ ^{*1} ▲ ^{*2}							
		基礎ボルト		炭素鋼		△							
		メカニカルアンカ		炭素鋼		△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（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 ラグとプレートの溶接部等のサポート取付部の疲労割れ

[アンカー、スライドサポート、レストレイント]

a. 事象の説明

プラントの起動・停止時等に伴う配管内部流体の温度過渡により配管は熱変位する。配管熱変位を拘束するサポートは、配管熱変位の拘束に伴う繰返し荷重を受け、溶接部等において疲労が蓄積する可能性がある。

b. 技術評価

① 健全性評価

ラグとプレートの溶接部等のサポート取付部の健全性評価にあたっては、以下に示す要領により応力算出並びに評価を行った。

配管が受ける温度過渡回数が多く、大口径配管であるため大きな熱変位拘束荷重等が発生する余熱除去系統配管を代表とし、その中から、配管の全方向の変位及びモーメントを拘束するため、発生する応力が他の型式のサポートに比べて大きいと考えられるアンカーサポートについて応力評価を行った。

評価部位は、応力評価上最も厳しいと考えられる配管とパッドの溶接部、パッドとラグの溶接部及びラグとプレートの溶接部とした。

評価対象部位を図2.3-1に示す。

配管とパッド、パッドとラグ及びラグとプレートの溶接部に発生する応力については、配管系の3次元梁モデルを作成し、荷重を算出した上で、「(社)日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007)」等に基づき評価を実施した。

評価結果を表2.3-1に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

なお、スライドサポート及びレストレイントについては、一部拘束機能があるものの、主要な配管熱変位を拘束しない構造となっており、疲労割れが発生する可能性はないと考える。

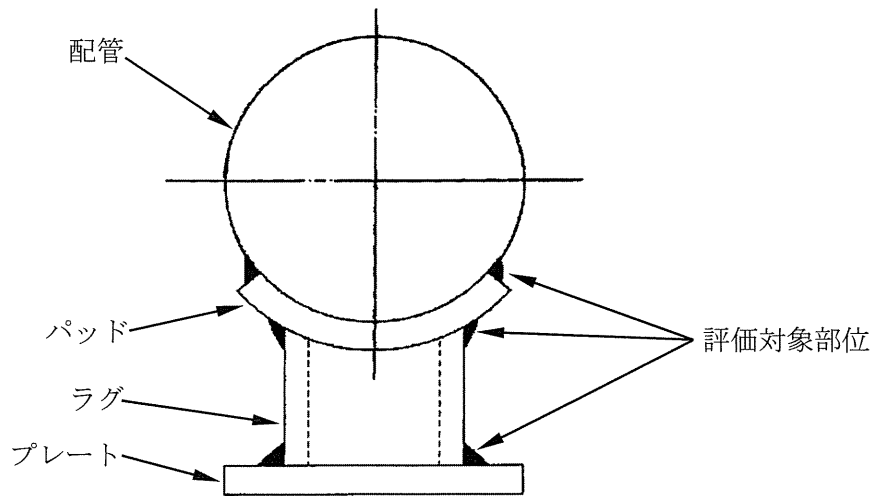


図2.3-1 玄海3号炉 配管サポート 応力評価対象配管サポートの構造（アンカー）
及び評価対象部位

表2.3-1 玄海3号炉 余熱除去系統配管 配管サポートの応力評価結果

評価部位	応力比 (発生応力/許容応力)
配管とパッドの溶接部	0.17
パッドとラグの溶接部	0.33
ラグとプレートの溶接部	0.29

② 現状保全

サポート取付部の疲労割れに対しては、クラス1、クラス2の配管サポートについては定期的に溶接部の浸透探傷検査又は目視確認にて有意な割れがないことを確認している。また、それ以外の配管のサポートは、巡視点検等で目視により支持状態に異常のないことを確認し、機器の健全性を維持している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、サポート取付部の疲労割れの可能性はないと考える。

疲労割れは、目視確認又は浸透探傷検査により検知可能であり、また、疲労割れが発生するとすれば溶接部であると判断されることから、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

ラグとプレートの溶接部等のサポート取付部の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。