

玄海原子力発電所 3 号炉

熱交換器の技術評価書

[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号炉の熱交換器のうち、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型式、内部流体及び材料でグループ化し、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、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。

本評価書では熱交換器の型式等を基に、以下の4つに分類している。

- 1 多管円筒形熱交換器
- 2 蒸気発生器
- 3 直接接触式熱交換器
- 4 2重管式熱交換器

なお、蒸気発生器は多管円筒形熱交換器に属することになるが、構造の複雑さと安全上重要な機器であり、かつ補修・取替が容易でないことを考慮し、多管円筒形熱交換器と分けて単独で評価している。

また、蒸気発生器の基礎部は「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 玄海 3 号炉 主要な熱交換器

型式	分離基準			機器名称 (台数)	重要度 ^{*1}	選定基準			選定理由		
	内部流体 (管側/胴側)	材板	材水室			伝熱管	運転	使用条件 (管側/胴側) 最高使用圧力 (MPa [gauge])		最高使用温度 (°C)	
多管円筒形 U字管式	1次冷却材/ 1次冷却材	ステンレス鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	再生熱交換器 (1)	MS-1、重 ^{*6}	連続	約20.0 / 約17.2	約343 / 約343	◎	
		炭素鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	非再生冷却器 (1)	PS-2	連続	約4.5 / 約1.4	約200 / 約95		
	1次冷却材、 ほう酸水/ ヒドラジン水	炭素鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	格納容器スプレイ冷却器 (2)	MS-1、重 ^{*6}	一時	約2.7 / 約1.4	約150 / 約95		
		炭素鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	封水冷却器 (1)	PS-2	連続	約0.98 / 約1.4	約95 / 約95		
		炭素鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	余熱除去冷却器 (2)	MS-1、重 ^{*6}	一時	約4.5 / 約1.4	約200 / 約95	◎	重要度 温度、圧力
多管円筒形 直管式	海水/ ヒドラジン水	炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	余熱抽出冷却器 (1)	PS-2	一時	約17.2 / 約1.4	約343 / 約95	◎	
		炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	湿分離加熱器 (2)	高 ^{*2}	連続	約8.2 ^{*5} / 約1.4	約298 ^{*5} / 約298	◎	温度、圧力
	給水/ 蒸気・給水	炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	高圧第7給水加熱器 (2)	高 ^{*2}	連続	約10.3 / 約2.9	約235 / 約235		
		炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	低圧第1給水加熱器 (3)	高 ^{*2}	連続	約4.1 / 約0.10	約80 / 約80		
		炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	低圧第2給水加熱器 (3)	高 ^{*2}	連続	約4.1 / 約0.10	約85 / 約85		
多管円筒形 U字管式	海水/ ヒドラジン水	炭素鋼	炭素鋼	銅合金	低圧第3給水加熱器 (2)	高 ^{*2}	連続	約4.1 / 約0.05	約115 / 約115		
		炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	低圧第4給水加熱器 (2)	高 ^{*2}	連続	約4.1 / 約0.25	約140 / 約180		
	給水/蒸気	炭素鋼	炭素鋼	銅合金	低圧第5給水加熱器 (2)	高 ^{*2}	連続	約4.1 / 約0.44	約155 / 約225		
		炭素鋼	炭素鋼	銅合金	原子炉補機冷却水冷却器 (2)	MS-1、重 ^{*7}	連続	約0.7 / 約1.4	約50 / 約95	◎	
		炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	グラント蒸気復水器 (1)	高 ^{*2}	連続	約1.3 / 約0	約80 / 約155	◎	
2重管式	1次冷却材/ ヒドラジン水	低合金鋼	低合金鋼	ニッケル 基合金	蒸気発生器本体 (4)	PS-1、重 ^{*6}	連続	約17.2 / 約8.2	約343 / 約298	◎	
		炭素鋼	炭素鋼	炭素鋼	脱気器 (1)	高 ^{*2}	連続	約1.4 ^{*3,4}	約200 ^{*3,4}	◎	
	給水/蒸気	炭素鋼	炭素鋼	炭素鋼	Aサンプリング冷却器 (1)	高 ^{*2}	連続	約17.2 / 約1.4	約360 / 約95	◎	
直管式	1次冷却材/ ヒドラジン水	ステンレス鋼	炭素鋼	炭素鋼	Bサンプリング冷却器 (1)	MS-2	連続	約17.2 / 約1.4	約360 / 約95	◎	重要度
		炭素鋼	炭素鋼	炭素鋼	脱ガス冷却器 (2)	高 ^{*2}	一時	約0.98 / 約1.4	約400 / 約95		
	給水/ ヒドラジン水	炭素鋼	炭素鋼	炭素鋼	ブローダウンサンプリング冷却器 (4)	高 ^{*2}	連続	約8.2 / 約1.4	約298 / 約95	◎	

*1：機能は最上位の機能を示す
 *2：最高使用温度が95°Cを超え、又は最高使用圧力が1,900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器
 *3：加熱器側
 *4：タンク側
 *5：2段階加熱器の使用条件を示す
 *6：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
 *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 (A号機)であることを示す

表2 玄海3号炉 主要な熱交換器の機能

熱 交 換 器	機 能
再生熱交換器	1次冷却材系統の抽出水と充てん水の間で熱交換を行い系統からの熱損失を低減させるための熱交換器である。
非再生冷却器	再生熱交換器を通過した抽出水を下流に設置されている脱塩塔が使用できる温度まで冷却するための熱交換器である。
格納容器スプレイ冷却器	事故時再循環時の再循環スプレイ水を冷却するための熱交換器である。
封水冷却器	1次冷却材ポンプからの封水戻り、余剰抽出冷却器からの抽出水を体積制御タンクの通常温度まで冷却するための熱交換器である。
余熱除去冷却器	事故時には再循環水の冷却用熱交換器として、起動停止時には原子炉の崩壊熱除去用熱交換器として用いられる。
余剰抽出冷却器	通常の抽出系統が使用できない場合、余剰抽出系統により抽出する1次冷却材ポンプ封水を確保するための熱交換器である。
湿分分離加熱器	高圧タービンから出た蒸気の湿分を除去し、さらに加熱させるための熱交換器である。
高圧第7給水加熱器	脱気器から送水される給水を高圧タービン抽気により加熱するための熱交換器である。
低圧第1給水加熱器	復水器から送水される給水を低圧タービン抽気により加熱するための熱交換器である。
低圧第2給水加熱器	低圧第1給水加熱器から送水される給水を低圧タービン抽気により加熱するための熱交換器である。
低圧第3給水加熱器	低圧第2給水加熱器から送水される給水を低圧タービン抽気により加熱するための熱交換器である。
低圧第4給水加熱器	低圧第3給水加熱器から送水される給水を低圧タービン抽気により加熱するための熱交換器である。
低圧第5給水加熱器	低圧第4給水加熱器から送水される給水を低圧タービン抽気により加熱するための熱交換器である。
原子炉補機冷却水冷却器	1次系の各機器を冷却して温度が上昇した冷却水(ヒドラジン水)を、海水によって冷却するための熱交換器である。
グラウンド蒸気復水器	タービンのグラウンド部をシールするために使用されている蒸気を給水により凝縮するための熱交換器である。
蒸気発生器本体	原子炉内で発生した熱エネルギーを蒸気に変えてタービン系へ送る役目を持った熱交換器である。
脱気器	高圧タービン抽気により給水を直接加熱し、給水中の非凝縮ガス(酸素等)を分離除去する熱交換器である。
Aサンプル冷却器	1次冷却系統から抽出した高温の試料を冷却するための熱交換器である。
Bサンプル冷却器	1次冷却系統から抽出した高温の試料を冷却するための熱交換器である。
廃ガス冷却器	1次系補機類から排出された排ガスを冷却するための熱交換器である。
ブローダウンサンプル冷却器	蒸気発生器2次側器内水から抽出した高温の試料を冷却するための熱交換器である。

1 多管円筒形熱交換器

[対象機器]

- ① 再生熱交換器
- ② 非再生冷却器
- ③ 格納容器スプレイ冷却器
- ④ 封水冷却器
- ⑤ 余熱除去冷却器
- ⑥ 余剰抽出冷却器
- ⑦ 湿分分離加熱器
- ⑧ 高圧第 7 給水加熱器
- ⑨ 低圧第 1 給水加熱器
- ⑩ 低圧第 2 給水加熱器
- ⑪ 低圧第 3 給水加熱器
- ⑫ 低圧第 4 給水加熱器
- ⑬ 低圧第 5 給水加熱器
- ⑭ 原子炉補機冷却水冷却器
- ⑮ グランド蒸気復水器

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	4
2.1 構造、材料及び使用条件	4
2.2 経年劣化事象の抽出	22
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	37
3. 代表機器以外への展開	41
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	41
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	42

1. 対象機器及び代表機器の選定

玄海3号炉で使用されている主要な多管円筒形熱交換器（蒸気発生器を除く）の主な仕様を表1-1に示す。

これらの熱交換器を、型式、内部流体及び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に示す熱交換器は、伝熱管の形状からU字管式と直管式に分類されるが、さらに内部流体・材料を分離基準として考えると、表1-1に示すとおり、合計6つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

- (1) 型式：U字管式、内部流体：（管側）1次冷却材（胴側）1次冷却材

このグループには再生熱交換器のみが属するため、代表機器は再生熱交換器とする。

- (2) 型式：U字管式、内部流体：（管側）1次冷却材、ほう酸水（胴側）ヒドラジン水

このグループには非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、封水冷却器、余熱除去冷却器及び余剰抽出冷却器が属するが、重要度、温度及び圧力の高い余熱除去冷却器を代表機器とする。

- (3) 型式：U字管式、内部流体：（管側）蒸気（胴側）蒸気

このグループには湿分分離加熱器のみが属するため、代表機器は湿分分離加熱器とする。

- (4) 型式：U字管式、内部流体：（管側）給水（胴側）蒸気・給水

このグループには高圧第7給水加熱器、低圧第1給水加熱器、低圧第2給水加熱器、低圧第3給水加熱器、低圧第4給水加熱器及び低圧第5給水加熱器が属するが、高温、高圧となる高圧第7給水加熱器を代表機器とする。

- (5) 型式：直管式、内部流体：（管側）海水（胴側）ヒドラジン水

このグループには原子炉補機冷却水冷却器のみが属するため、代表機器は原子炉補機冷却水冷却器とする。

(6) 型式：直管式、内部流体：(管側) 給水 (胴側) 蒸気

このグループにはランド蒸気復水器のみが属するため、代表機器はランド蒸気復水器とする。

表 1-1 玄海 3 号炉 多管円筒形熱交換器の主な仕様

型式	分離基準			機器名称 (台数)	選定基準			選定理由		
	内部流体 (管側/胴側)	材料			重要度*1	運転	使用条件 (管側/胴側)			
		胴板	水室				伝熱管		最高使用圧力 (MPa [gauge])	最高使用温度 (°C)
U字管式	1次冷却材/ 1次冷却材	ステンレス鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	MS-1、重*4	連続	約20.0 / 約17.2	約343 / 約343	◎	
		炭素鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	PS-2	連続	約4.5 / 約1.4	約200 / 約95		
	1次冷却材、 ほう酸水/ ヒドラジン水	炭素鋼		炭素鋼	格納容器スプレー冷却器 (2)	MS-1、重*4	一時	約2.7 / 約1.4	約150 / 約95	◎
					封水冷却器 (1)	PS-2	連続	約0.98 / 約1.4	約95 / 約95	
					余熱除去冷却器 (2)	MS-1、重*4	一時	約4.5 / 約1.4	約200 / 約95	
		余熱抽出冷却器 (1)	PS-2	一時	約17.2 / 約1.4	約343 / 約95				
		湿分離加熱器 (2)	高*2	連続	約8.2*3 / 約1.4	約298*3 / 約298				
		高圧第7給水加熱器 (2)	高*2	連続	約10.3 / 約2.9	約235 / 約235				
	直管式	海水/ ヒドラジン水	炭素鋼	炭素鋼	低圧第1給水加熱器 (3)	高*2	連続	約4.1 / 約0.10	約80 / 約80	◎
					低圧第2給水加熱器 (3)	高*2	連続	約4.1 / 約0.10	約85 / 約85	
低圧第3給水加熱器 (2)		高*2	連続	約4.1 / 約0.05	約115 / 約115					
低圧第4給水加熱器 (2)		高*2	連続	約4.1 / 約0.25	約140 / 約180					
低圧第5給水加熱器 (2)		高*2	連続	約4.1 / 約0.44	約155 / 約225					
原子炉補機冷却水冷却器 (2)		MS-1、重*5	連続	約0.7 / 約1.4	約50 / 約95					
グラウンド蒸気復水器 (1)		高*2	連続	約1.3 / 約0	約80 / 約155					
給水/蒸気		炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼						

*1: 機能は最上位の機能を示す

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

*3: 2段階加熱器の使用条件を示す

*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

*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 (A号機) 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6種類の熱交換器について技術評価を実施する。

- ① 再生熱交換器
- ② 余熱除去冷却器
- ③ 湿分分離加熱器
- ④ 高圧第7給水加熱器
- ⑤ 原子炉補機冷却水冷却器
- ⑥ グランド蒸気復水器

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 再生熱交換器

(1) 構造

玄海3号炉の再生熱交換器は、横置3胴U字管式の熱交換器であり、各胴は3個独立しており、互いに連絡管により結ばれている。

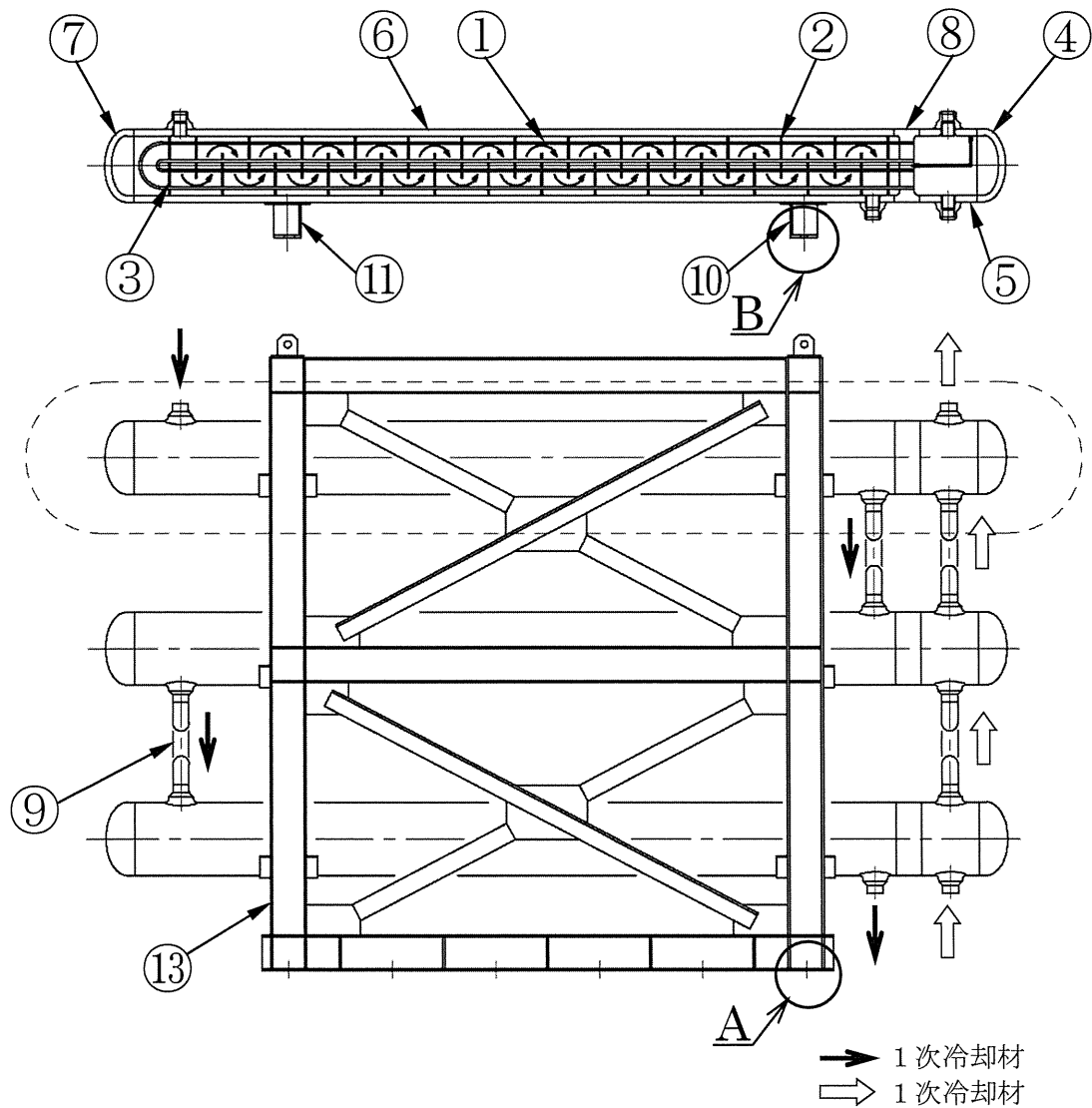
各胴及び連絡管は全て溶接構造である。

伝熱管、管側耐圧構成品及び胴側耐圧構成品にはステンレス鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。

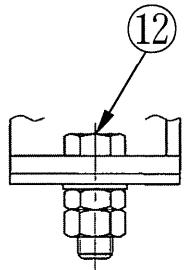
玄海3号炉の再生熱交換器の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

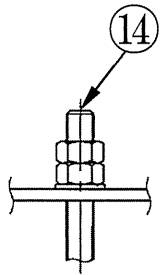
玄海3号炉の再生熱交換器の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



→ 1次冷却材
 ⇨ 1次冷却材



B部取付ボルト詳細



A部基礎ボルト詳細

No.	部 位
①	伝熱管
②	邪魔板
③	支持板
④	管側鏡板
⑤	管側胴板
⑥	胴側胴板
⑦	胴側鏡板
⑧	管 板
⑨	連絡管
⑩	支持脚
⑪	支持脚 (スライド脚)
⑫	取付ボルト
⑬	架 台
⑭	基礎ボルト

図 2.1-1 玄海3号炉 再生熱交換器構造図

表 2.1-1 玄海3号炉 再生熱交換器主要部位の使用材料

部 位		材 料
熱交換伝熱構成品	伝熱管	ステンレス鋼
流路構成品	邪魔板	ステンレス鋼
	支持板	ステンレス鋼
管側耐圧構成品	管側鏡板	ステンレス鋼
	管側胴板	ステンレス鋼
胴側耐圧構成品	胴側胴板	ステンレス鋼
	胴側鏡板	ステンレス鋼
管側/胴側 バウンダリ構成品	管 板	ステンレス鋼
管側/胴側 耐圧構成品	連絡管	ステンレス鋼
支持構造物組立品	支持脚 支持脚(スライド脚)	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼
	架 台 基礎ボルト	炭素鋼

表 2.1-2 玄海3号炉 再生熱交換器の使用条件

最高使用圧力	(管側) 約20.0MPa[gage]	(胴側) 約17.2MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約343℃	(胴側) 約343℃
内 部 流 体	(管側) 1次冷却材	(胴側) 1次冷却材

2.1.2 余熱除去冷却器

(1) 構造

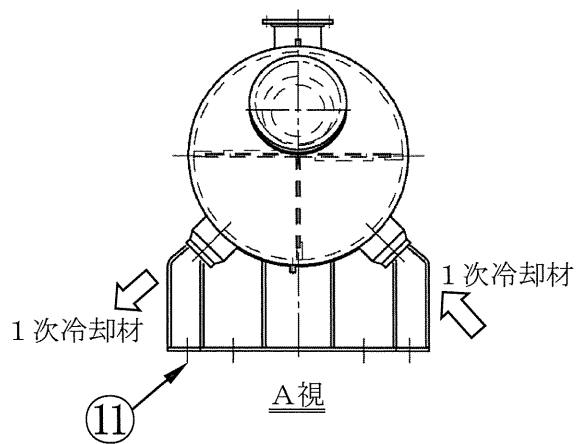
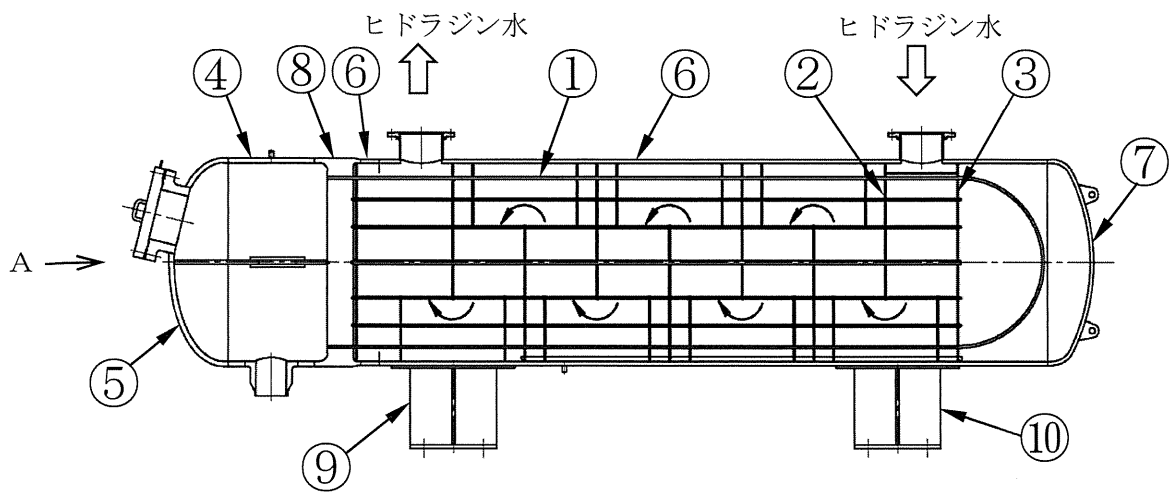
玄海3号炉の余熱除去冷却器は、横置U字管式の熱交換器であり、伝熱管にはステンレス鋼を使用しており、1次冷却材、ヒドラジン水（防錆剤注入水）に接液している。

管側耐圧構成品にはステンレス鋼、胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、それぞれ1次冷却材、ヒドラジン水（防錆剤注入水）に接液している。

玄海3号炉の余熱除去冷却器の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の余熱除去冷却器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	伝熱管
②	邪魔板
③	支持板
④	管側胴板
⑤	管側鏡板
⑥	胴側胴板
⑦	胴側鏡板
⑧	管 板
⑨	支持脚
⑩	支持脚 (スライド脚)
⑪	基礎ボルト

図 2.1-2 玄海 3 号炉 余熱除去冷却器構造図

表 2.1-3 玄海 3 号炉 余熱除去冷却器主要部位の使用材料

部 位		材 料
熱交換伝熱構成品	伝熱管	ステンレス鋼
流路構成品	邪魔板	ステンレス鋼
	支持板	ステンレス鋼
管側耐圧構成品	管側胴板 管側鏡板	ステンレス鋼
胴側耐圧構成品	胴側胴板 胴側鏡板	炭素鋼
管側/胴側 バウンダリ構成品	管 板	ステンレス鋼
支持構造物組立品	支持脚 支持脚 (スライド脚)	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼 低合金鋼

表 2.1-4 玄海 3 号炉 余熱除去冷却器の使用条件

最高使用圧力	(管側) 約4.5MPa[gage]	(胴側) 約1.4MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約200℃	(胴側) 約95℃
内 部 流 体	(管側) 1次冷却材	(胴側) ヒドラジン水

2.1.3 湿分分離加熱器

(1) 構造

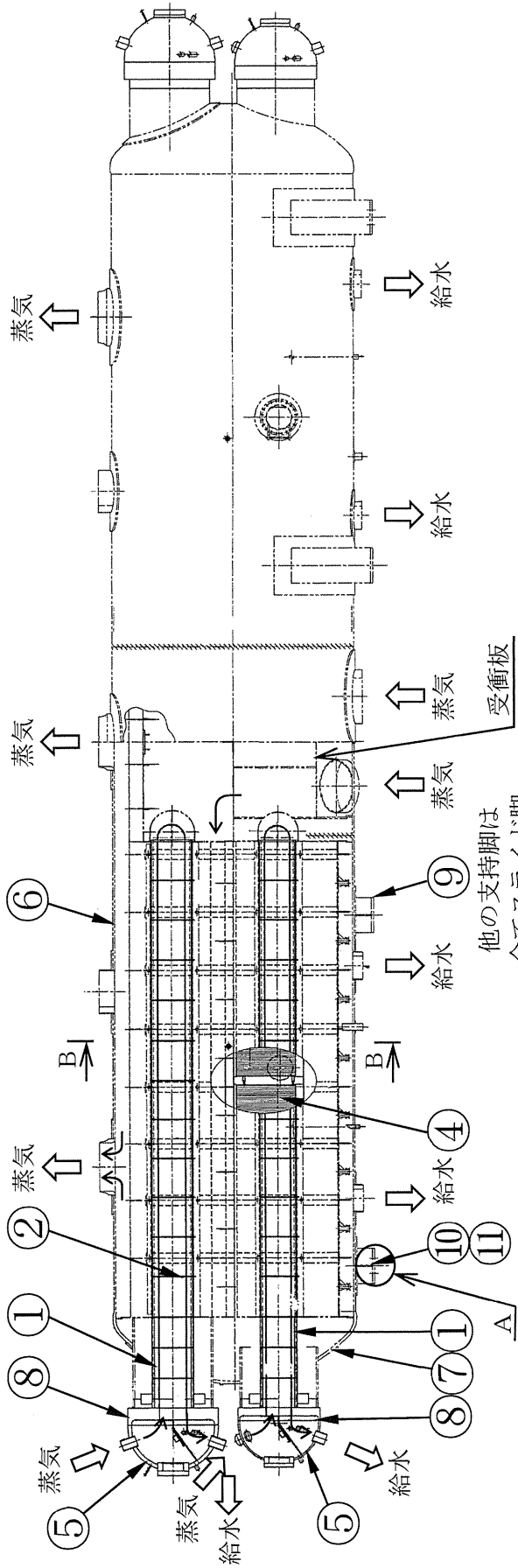
玄海3号炉の湿分分離加熱器は、横置2段加熱U字管式の熱交換器であり、湿分分離加熱器は加熱管部、加熱蒸気室部、胴部及び湿分分離部により構成されている。

加熱管にはステンレス鋼を使用しており、蒸気に接している。管側耐圧構成品及び胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、それぞれ蒸気に接している。また、高圧タービン排気の湿分を除去する湿分分離器にはステンレス鋼を使用している。

玄海3号炉の湿分分離加熱器の構造図を図2.1-3に示す。

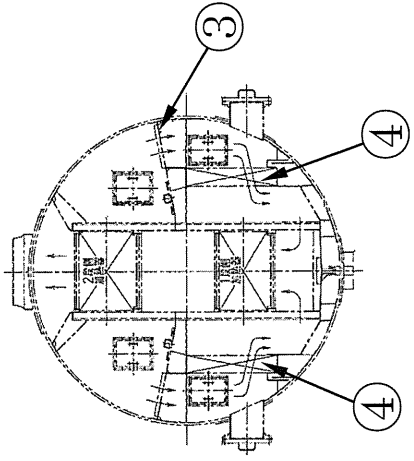
(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の湿分分離加熱器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。

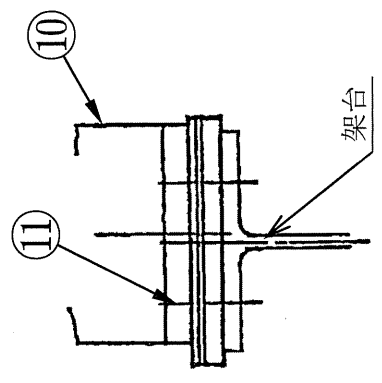


他の支持脚は
全てスライド脚

No.	部 位
①	加熱管
②	支持板
③	マニホールド
④	湿分離器
⑤	蒸気室鏡板
⑥	胴
⑦	胴鏡板
⑧	蒸気室管板
⑨	支持脚
⑩	支持脚 (スライド脚)
⑪	取付ボルト



断面B-B



A部 取付ボルト詳細

図 2.1-3 玄海 3 号炉 湿分離加熱器構造図

表 2.1-5 玄海 3 号炉 湿分分離加熱器主要部位の使用材料

部 位		材 料
熱交換伝熱構成品	加 熱 管	ステンレス鋼
流路構成品	支 持 板	炭 素 鋼
	マニホールド	炭 素 鋼
	湿分分離器	ステンレス鋼
管側耐圧構成品	蒸気室鏡板	炭 素 鋼
胴側耐圧構成品	胴	炭素鋼（ステンレス鋼内張り）
	胴 鏡 板	炭 素 鋼
管側/胴側 バウンダリ構成品	蒸気室管板	炭素鋼（ニッケル基合金肉盛）
支持構造物組立品	支 持 脚 支持脚（スライド脚）	炭 素 鋼
	取付ボルト	低合金鋼

表 2.1-6 玄海 3 号炉 湿分分離加熱器の使用条件

最高使用圧力	(管側) 約3.4MPa[gage] ^{*1} 約8.2MPa[gage] ^{*2}	(胴側) 約1.4MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約298℃ ^{*1} 約298℃ ^{*2}	(胴側) 約298℃
内 部 流 体	(管側) 蒸 気	(胴側) 蒸 気

*1：1 段側加熱器

*2：2 段側加熱器

2.1.4 高圧第7給水加熱器

(1) 構造

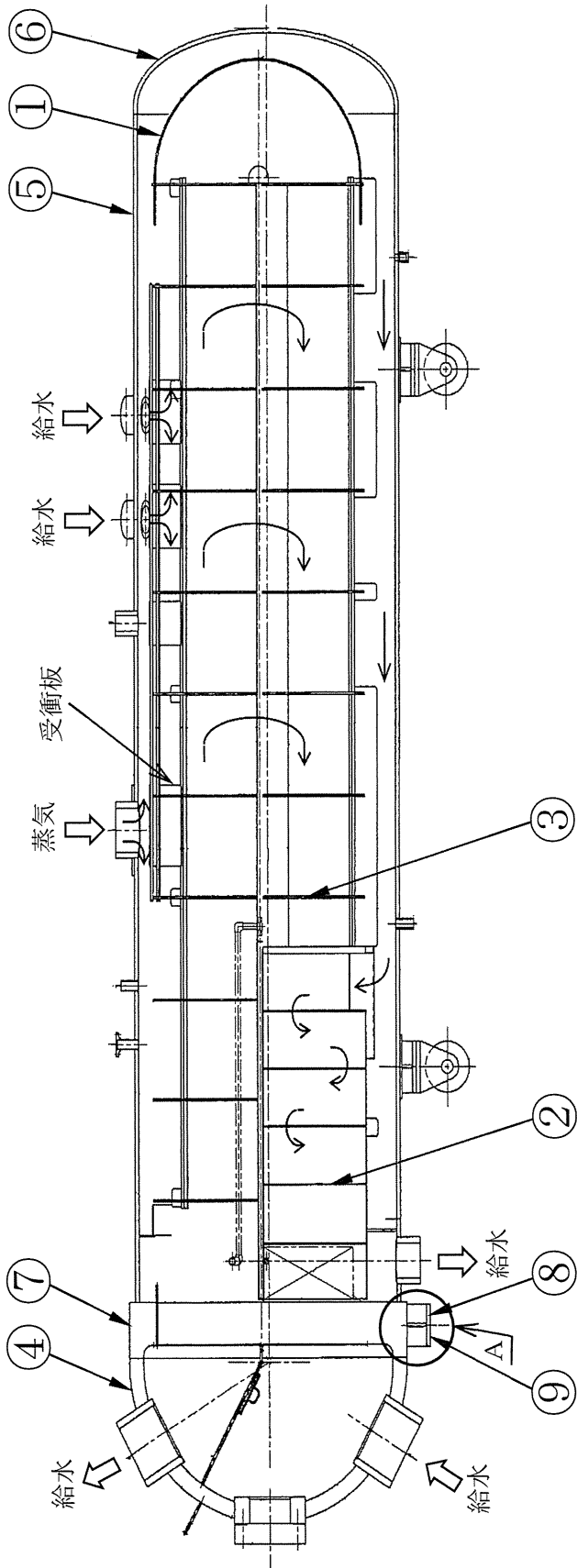
玄海3号炉の高圧第7給水加熱器は、横置U字管式の熱交換器であり、加熱管にはステンレス鋼を使用し、給水、蒸気に接液している。

管側耐圧構成品及び胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、それぞれ給水、蒸気に接液している。

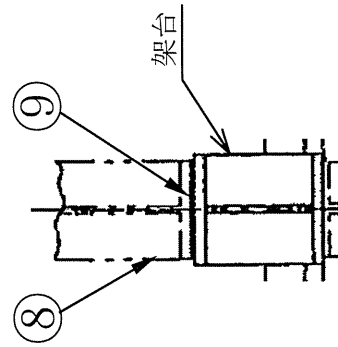
玄海3号炉の高圧第7給水加熱器の構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の高圧第7給水加熱器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	加 熱 管
②	邪 魔 板
③	支 持 板
④	水 室 鏡 板
⑤	胴
⑥	胴 側 鏡 板
⑦	管 板
⑧	支 持 脚
⑨	取 付 ボ ル ト



A部 取付ボルト詳細

図 2.1-4 玄海 3 号 炉 高 圧 第 7 給 水 加 熱 器 構 造 図

表 2.1-7 玄海 3 号炉 高圧第 7 給水加熱器主要部位の使用材料

部 位		材 料
熱交換伝熱構成品	加 熱 管	ステンレス鋼
流路構成品	邪 魔 板	炭 素 鋼
	支 持 板	炭 素 鋼
管側耐圧構成品	水室鏡板	炭 素 鋼
胴側耐圧構成品	胴 胴側鏡板	炭 素 鋼
管側/胴側 バウンダリ構成品	管 板	炭素鋼（ステンレス鋼肉盛）
支持構造物組立品	支 持 脚	炭 素 鋼
	取付ボルト	低合金鋼

表 2.1-8 玄海 3 号炉 高圧第 7 給水加熱器の使用条件

最高使用圧力	(管側) 約10.3MPa[gage]	(胴側) 約2.9MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約235℃	(胴側) 約235℃
内 部 流 体	(管側) 給 水	(胴側) 蒸気・給水

2.1.5 原子炉補機冷却水冷却器

(1) 構造

玄海3号炉の原子炉補機冷却水冷却器は、横置直管式の熱交換器であり、伝熱管には銅合金を使用しており、海水、ヒドラジン水（防錆剤注入水）に接液している。

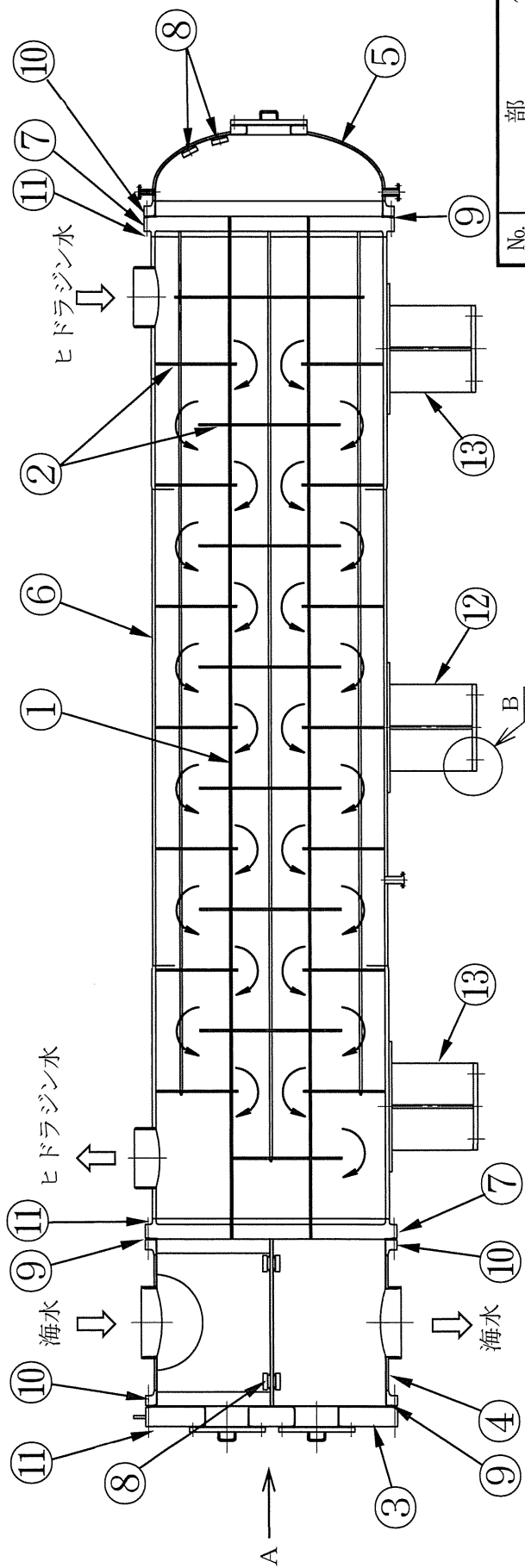
胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、ヒドラジン水（防錆剤注入水）に接液している。

海水に接液する管側耐圧構成品には、ライニングされた炭素鋼を使用している。

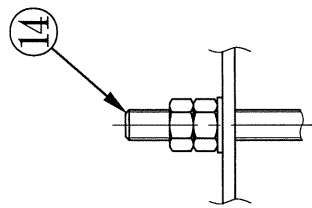
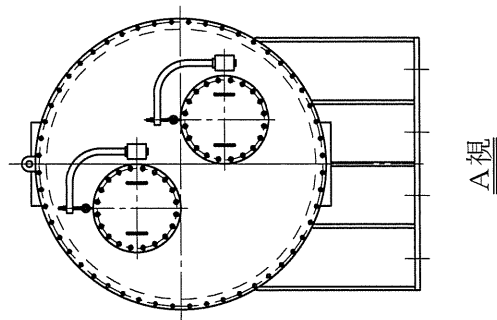
玄海3号炉の原子炉補機冷却水冷却器の構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の原子炉補機冷却水冷却器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。



No.	部 位
①	伝熱管
②	邪魔板
③	管側平板
④	管側胴板
⑤	管側鏡板
⑥	胴側胴板
⑦	管 板
⑧	防食亜鉛板
⑨	ガスケット
⑩	管側フランジ
⑪	フランジボルト
⑫	支持脚
⑬	支持脚 (スライド脚)
⑭	基礎ボルト



B 部基礎ボルト詳細

図 2.1-5 玄海 3 号炉 原子炉補機冷却水冷却器構造図

表 2.1-9 玄海3号炉 原子炉補機冷却水冷却器主要部位の使用材料

部 位		材 料
熱交換伝熱構成品	伝熱管	銅合金
流路構成品	邪魔板	炭素鋼
管側耐圧構成品	管側平板 管側胴板 管側鏡板	炭素鋼（ライニング）
胴側耐圧構成品	胴側胴板	炭素鋼
管側/胴側 バウンダリ構成品	管板	炭素鋼（銅合金内張り）
	防食亜鉛板	消耗品・定期取替品
	ガスケット	消耗品・定期取替品
管側フランジ 構成品	管側フランジ	炭素鋼（ライニング）
	フランジボルト	低合金鋼
支持構造物組立品	支持脚 支持脚（スライド脚）	炭素鋼
	基礎ボルト	低合金鋼

表 2.1-10 玄海3号炉 原子炉補機冷却水冷却器の使用条件

最高使用圧力	(管側) 約0.7MPa[gage]	(胴側) 約1.4MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約50℃	(胴側) 約95℃
内部流体	(管側) 海水	(胴側) ヒドラジン水

2.1.6 グランド蒸気復水器

(1) 構造

玄海3号炉のグランド蒸気復水器は、横置直管式の熱交換器であり、冷却管にはステンレス鋼を使用しており、給水、蒸気に接液している。

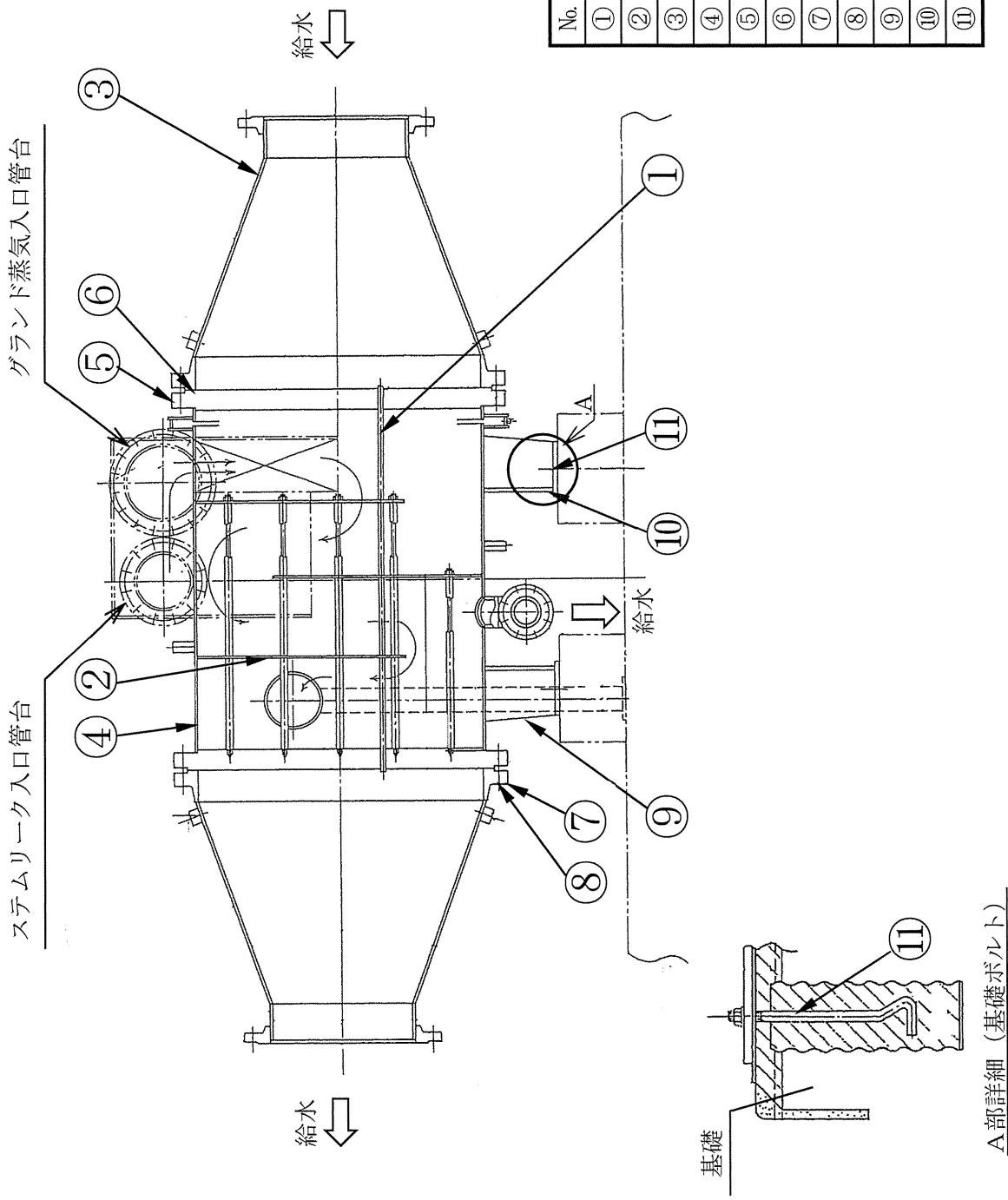
管側耐圧構成品及び胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、それぞれ給水、蒸気に接液している。

給水の流れが単流であり、また水の流れを円滑にするため、水室は両側共円錐形となっている。

玄海3号炉のグランド蒸気復水器の構造図を図2.1-6に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉のグランド蒸気復水器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。



No.	部 位
①	冷却管
②	邪魔板
③	水室
④	胴板
⑤	管板
⑥	ガスケット
⑦	水室フランジ
⑧	フランジボルト
⑨	支持脚
⑩	支持脚 (スライド脚)
⑪	基礎ボルト

図 2.1-6 玄海 3 号炉 グラント蒸気復水器構造図

表 2.1-11 玄海3号炉 グランド蒸気復水器主要部位の使用材料

部 位		材 料
熱交換伝熱構成品	冷 却 管	ステンレス鋼
流路構成品	邪 魔 板	炭 素 鋼
管側耐圧構成品	水 室	炭 素 鋼
胴側耐圧構成品	胴 板	炭 素 鋼
管側/胴側 バウンダリ構成品	管 板	炭 素 鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
フランジ構成品	水室フランジ	炭 素 鋼
	フランジボルト	炭 素 鋼
支持構造物組立品	支 持 脚 支持脚 (スライド脚)	炭 素 鋼
	基礎ボルト	炭 素 鋼

表 2.1-12 玄海3号炉 グランド蒸気復水器の使用条件

最高使用圧力	(管側) 約1.3MPa[gage]	(胴側) 約 0MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約80℃	(胴側) 約155℃
内 部 流 体	(管側) 給 水	(胴側) 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

多管円筒形熱交換器の機能である熱除去機能(冷却器の場合)及び加熱機能(加熱器の場合)を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① 伝熱性能の確保
- ② バウンダリの維持
- ③ 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

多管円筒形熱交換器個々について、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2.2-6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2.2-6で○となっているもの)としては以下の事象がある。

(1) 管板の疲労割れ [再生熱交換器、余熱除去冷却器]

再生熱交換器及び余熱除去冷却器はプラントの起動・停止時等に発生する内部流体のステップ状の大きな温度変化により、材料に疲労が蓄積することから、特に胴板等の他の構成部材に比べて肉厚が大きい管板部においては、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2.2-6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) 伝熱管（加熱管、冷却管を含む）の摩耗及び高サイクル疲労割れ [共通]

管内流体及び胴側流体により伝熱管振動が発生した場合、支持板等で伝熱管に摩耗又は高サイクル疲労割れが想定される。

また、管外表面を流れる流体による振動で伝熱管の強度上想定される振動形態としては、カルマン渦による振動と流力弾性振動がある。

しかしながら、開放点検時の渦流探傷検査又は漏えい検査により、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。

- (2) 伝熱管（加熱管、冷却管を含む）の内面からの腐食（流れ加速型腐食）
[再生熱交換器、余熱除去冷却器、湿分分離加熱器、高圧第7給水加熱器、グラ
ンド蒸気復水器]

伝熱管は、内部流体により流れ加速型腐食の発生が想定される。

しかしながら、耐流れ加速型腐食性に優れたステンレス鋼の伝熱管を使用し
ており、流れ加速型腐食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、開放点検時の渦流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) 伝熱管の内面からの腐食（流れ加速型腐食）[原子炉補機冷却水冷却器]

原子炉補機冷却水冷却器の伝熱管は銅合金であり、内部流体による流れ加速型
腐食により減肉が想定される。

銅合金は腐食電位の高い貴な金属であり、耐食性が良いが、高速の流水中で使
用すると、流れ加速型腐食が発生することがある。

原子炉補機冷却水冷却器は管側流体が海水であるため、貝等の異物の付着によ
り局所的に流速が増大し、流れ加速型腐食が発生する場合があるが、貝等の混入
物の大きさ、形態及び付着状態は不確定であることから、流速と腐食量について、
一律で定量的な評価は困難である。

しかしながら、開放点検時の渦流探傷検査により、機器の健全性を維持してい
る。

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

- (4) 伝熱管（加熱管、冷却管を含む）の外面からの腐食（流れ加速型腐食）〔共通〕
伝熱管は、管外流体により流れ加速型腐食の発生が想定される。

しかしながら、再生熱交換器、余熱除去冷却器、湿水分離加熱器、高圧第7給水加熱器及びグラント蒸気復水器の伝熱管については、耐流れ加速型腐食性に優れたステンレス鋼であることから、外面からの流れ加速型腐食が発生する可能性は小さい。

原子炉補機冷却水冷却器については、管外流体の流速が十分に遅いことから、外面からの流れ加速型腐食が発生する可能性は小さい。

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

なお、開放点検時の渦流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。

- (5) 伝熱管等ステンレス鋼使用部位の応力腐食割れ

〔再生熱交換器、余熱除去冷却器、湿水分離加熱器、高圧第7給水加熱器、グラント蒸気復水器〕

ステンレス鋼の伝熱管等は、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、水質を適切に管理しているため、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

余熱除去冷却器については、定期検査時は飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）の流体が流入するが、その際は流体温度が低い（最高80℃程度）ため、この場合も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し、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ため、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、開放点検時の渦流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。

(6) 伝熱管（加熱管、冷却管を含む）のスケール付着

[再生熱交換器、余熱除去冷却器、湿分分離加熱器、高圧第7給水加熱器、グラウンド蒸気復水器]

管側・胴側流体の不純物持ち込みによるスケール付着が発生し、伝熱性能に影響を及ぼすことが想定される。

しかしながら、内部流体は、1次冷却材、ほう酸水、給水、蒸気及びヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、適切な水質管理により不純物の流入は抑制されていることから、スケール付着の可能性は小さい。また、渦流探傷検査実施前の洗浄や運転中の流体温度及び流量等のパラメータの監視により、機器の健全性を維持している。

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

(7) 伝熱管のスケール付着 [原子炉補機冷却水冷却器]

管側・胴側流体の不純物持ち込みによるスケール付着が発生し、伝熱性能に影響を及ぼすことが想定される。

しかしながら、開放点検時の洗浄により、機器の健全性を維持している。

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

(8) 胴側耐圧構成品等の腐食（流れ加速型腐食）

[湿分分離加熱器、高圧第7給水加熱器、グラウンド蒸気復水器]

2相流体を内包する胴板等の炭素鋼使用部位には、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、開放点検時の目視確認又は肉厚測定により、有意な減肉がないことを確認し、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。

- (9) 管側耐圧構成品等の腐食（流れ加速型腐食）[湿分分離加熱器]
湿分を含む蒸気が管側内部を流れる場合、蒸気室鏡板等の炭素鋼使用部位には、流れ加速型腐食により減肉が想定される。
しかしながら、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
- (10) 管側耐圧構成品等の腐食（流れ加速型腐食）
[高圧第7給水加熱器、グランド蒸気復水器]
管側耐圧構成品等は炭素鋼であり、腐食が想定される。
しかしながら、高圧第7給水加熱器及びグランド蒸気復水器の内部流体はpH等を管理した脱気水で内面の腐食が発生し難い環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。
なお、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。
- (11) 管側耐圧構成品等の海水による腐食（異種金属接触腐食を含む）
[原子炉補機冷却水冷却器]
原子炉補機冷却水冷却器は管側流体が海水であり、管板に使用している銅合金が長期使用により腐食が想定される。
また、原子炉補機冷却水冷却器の炭素鋼使用部位には、海水接液面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炭素鋼に海水が接した場合、管板が炭素鋼+銅合金クラッドであるため、炭素鋼に異種金属接触腐食が想定される。
しかしながら、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を維持している。
したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(12) 胴板等の外面からの腐食（全面腐食）

[余熱除去冷却器、湿分分離加熱器、高圧第7給水加熱器、原子炉補機冷却水冷却器、グラウンド蒸気復水器]

胴板、鏡板、管板、フランジ等は炭素鋼であり、外面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗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。

(13) フランジボルトの腐食（全面腐食）

[原子炉補機冷却水冷却器、グラウンド蒸気復水器]

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、開放点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

(14) 連絡管の疲労割れ [再生熱交換器]

1999年7月に敦賀2号炉の再生熱交換器連絡管、2003年9月に泊2号炉の再生熱交換器胴側出口配管において、温度の異なる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。

しかしながら、この事象は内筒付再生熱交換器特有のものであり、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、連絡管溶接部については、超音波探傷検査及び漏えい検査により、機器の健全性を確認している。

(15) 支持脚等の腐食（全面腐食）〔共通〕

支持脚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、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。

(16) 支持脚（スライド脚）の腐食（全面腐食）

〔再生熱交換器、余熱除去冷却器、湿分分離加熱器、原子炉補機冷却水冷却器、グラウンド蒸気復水器〕

横置の熱交換器である再生熱交換器、余熱除去冷却器、湿分分離加熱器、原子炉補機冷却水冷却器及びグラウンド蒸気復水器には、支持脚（スライド脚）が設置されているが、スライド部は炭素鋼であり、長期使用により、腐食による固着が想定される。

しかしながら、巡視点検等で目視によりスライド部に異常のないことを確認し、機器の健全性を維持している。

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

(17) 取付ボルトの腐食（全面腐食）

〔再生熱交換器、湿分分離加熱器、高圧第7給水加熱器〕

取付ボルトは炭素鋼又は低合金鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

(18) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

[再生熱交換器、余熱除去冷却器、原子炉補機冷却水冷却器、グラント蒸気復水器]

基礎ボルトは炭素鋼又は低合金鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、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。

(19) 胴側耐圧構成品等の腐食（全面腐食）

[余熱除去冷却器、原子炉補機冷却水冷却器]

胴側耐圧構成品等は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、余熱除去冷却器及び原子炉補機冷却水冷却器の内部流体は、ヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、内面の腐食が発生し難い環境であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

防食亜鉛板及びガスケットは開放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 再生熱交換器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考
				減肉		割れ		その他		
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐蝕	材質変化	劣化	
伝熱性能の確保	伝熱管		ステンレス鋼	△ ^{*1}	△ ^{*2} (内面) △ ^{*2} (外面)	△ ^{*1}	△		△ ^{*3}	*1：摩耗・高サイクル疲労割れ *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着 *4：スライド下部の腐食
	邪魔板		ステンレス鋼				△			
	支持板		ステンレス鋼				△			
バウンダリの維持	管側鏡板		ステンレス鋼				△			
	管側胴板		ステンレス鋼				△			
	胴側胴板		ステンレス鋼				△			
	胴側鏡板		ステンレス鋼				△			
	管板		ステンレス鋼			○	△			
	連絡管		ステンレス鋼			△	△			
	支持脚		炭素鋼		△					
機器の支持	支持脚(スライド脚)		炭素鋼		△ ^{*4} △					
	取付ボルト		炭素鋼		△					
	架台		炭素鋼		△					
	基礎ボルト		炭素鋼		△					

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着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 余熱除去冷却器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定期取 替 品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考	
				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		
伝熱性能の確保	伝熱管		ステンレス鋼	△ ^{*1}	△ ^{*2} (内面) △ ^{*2} (外面)	△ ^{*1}	△			△ ^{*3}	*1：摩耗・高サイクル疲労 割れ *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着 *4：スライド部の腐食
	邪魔板		ステンレス鋼				△				
	支持板		ステンレス鋼					△			
	管側胴板 管側鏡板		ステンレス鋼					△			
バウンダリの維持	胴側胴板		炭素鋼		▲(内面) △(外面)						
	胴側鏡板		炭素鋼		▲(内面) △(外面)						
	管 板		ステンレス鋼			○	△				
	支持脚		炭素鋼		△						
機器の支持	支持脚(スライド脚)		炭素鋼		△ ^{*1} △						
	基礎ボルト		炭素鋼 低合金鋼		△						

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

▲：高経年化対策上着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 湿分離加熱器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・ 定期 取替 品	材 料	経年劣化事象						備考		
				減 耗		腐 食	割 れ		材 質 変 化		そ の 他	
				摩 耗	△*1		疲 勞 割 れ	△*1				応 力 腐 蝕
伝熱性能の確保	加熱管		ステンレス鋼	△*1	△*2(内面) △*2(外面)		△*1	△			△*3	*1：摩耗・高サイクル疲労 割れ *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着 *4：スライド部の腐食
	支持板		炭素鋼		△*2							
	マニホールド		炭素鋼		△*2							
	湿分離器		ステンレス鋼					△				
バウンダリの維持	蒸気室鏡板		炭素鋼		△*2(内面) △(外面)							
	胴		炭素鋼 (ステンレス鋼内張り)		△*2(内面) △(外面)			△ (ステンレス鋼 内張り)				
	胴鏡板		炭素鋼		△*2(内面) △(外面)							
	蒸気室管板		炭素鋼 (ニッケル基合金肉盛)		△*2(内面) △(外面)							
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△							
	支持脚(スライド脚)		炭素鋼		△*1 △							
	取付ボルト		低合金鋼		△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-4 玄海3号炉 高圧第7給水加熱器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・ 定期取 替品	材 料	経年劣化事象						備考	
				減 肉		割 れ		劣 化			そ の 他
				摩 耗	腐 食	疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕	熱 時 効	材 質 変 化		
伝熱性能の確保	加熱管		ステンレス鋼	△ ^{*1}	△ ^{*2} (内面) △ ^{*2} (外面)	△ ^{*1}	△			△ ^{*3}	*1：摩耗・高圧力疲労 割れ *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着
	邪魔板		炭素鋼		△ ^{*2}						
	支持板		炭素鋼		△ ^{*2}						
バウンダリの維持	水室鏡板		炭素鋼		△ ^{*2} (内面) △ ^{*2} (外面)						
	胴		炭素鋼		△ ^{*2} (内面) △ ^{*2} (外面)						
	胴側鏡板		炭素鋼		△ ^{*2} (内面) △ ^{*2} (外面)						
	管板		炭素鋼 (ダブルス鋼肉盛)		△ ^{*2} (内面) △ ^{*2} (外面)						
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	取付ボルト		低合金鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-5 玄海3号炉 原子炉補機冷却水冷却器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減耗	肉食	割れ		劣化			その他
						疲労割れ	応力腐蝕	熱時効	材質変化		
伝熱性能の確保	伝熱管		銅合金	△ ^{*1}	△ ^{*2} (内面) △ ^{*2} (外面)	△ ^{*1}				△ ^{*3}	*1：摩耗・高サイクル疲労割れ *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着 *4：異種金属接触腐食を含む *5：スライド部の腐食
	邪魔板		炭素鋼		▲						
バウンダリの維持	管側平板		炭素鋼 (ライニング)		△ ^{*4} (内面) △ ^{*4} (外面)						
	管側胴板		炭素鋼 (ライニング)		△ ^{*4} (内面) △ ^{*4} (外面)						
	管側鏡板		炭素鋼 (ライニング)		△ ^{*4} (内面) △ ^{*4} (外面)						
	胴側胴板		炭素鋼		▲ △ ^{*4} (内面) △ ^{*4} (外面)						
	管板		炭素鋼 (銅合金内張り)		△ ^{*4} (内面) △ ^{*4} (外面)						
機器の支持	防食亜鉛板	◎	—								
	ガスケット	◎	—								
	管側フランジ		炭素鋼 (ライニング)		△ ^{*1} (内面) △ ^{*1} (外面)						
	フランジボルト		低合金鋼		△						
	支持脚		炭素鋼		△						
	支持脚(スライド脚)		炭素鋼		△ ^{*5} △						
	基礎ボルト		低合金鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（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 グラント蒸気復水器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定期取 替品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考	
				摩 耗	腐 食	割 れ		材 質 変 化			そ の 他
						△ ^{*1}	△ ^{*2} (内面) △ ^{*2} (外面)	疲労割れ △ ^{*1}	応力腐食割れ △		
伝熱性能の確保	冷却管		ステンレス鋼	△ ^{*1}	△ ^{*2} (内面) △ ^{*2} (外面)	△ ^{*1}	△			△ ^{*3}	*1：摩耗・高サイクル疲労割れ *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着 *4：スライド部の腐食
	邪魔板		炭素鋼		△ ^{*2}						
	水室		炭素鋼		△ ^{*2} (内面) △(外面)						
	胴板		炭素鋼		△ ^{*2} (内面) △(外面)						
	管板		炭素鋼		△ ^{*2} (内面) △(外面)						
機器の支持	ガスケット	◎	—								
	水室フランジ		炭素鋼		△ ^{*2} (内面) △(外面)						
	フランジボルト		炭素鋼		△						
	支持脚		炭素鋼		△						
	支持脚(スライド脚)		炭素鋼		△ ^{*4} △						
基礎ボルト		炭素鋼		△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 管板の疲労割れ〔再生熱交換器、余熱除去冷却器〕

a. 事象の説明

管板は、プラントの起動・停止時等に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

管板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)」に基づき評価を行った。

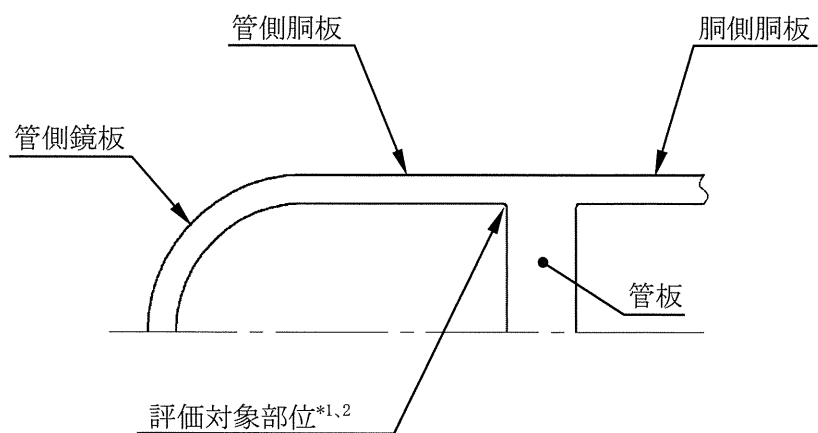
管板に発生する応力については、2次元FEMモデルを作成し評価することとし、「(社) 日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007)」及び「ASME Sec. III Appendix A-8000」に基づき疲労評価を行った。

また、使用環境を考慮した疲労については、「(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。

評価対象部位を図2.3-1及び図2.3-2に、疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1及び表2.3-2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。

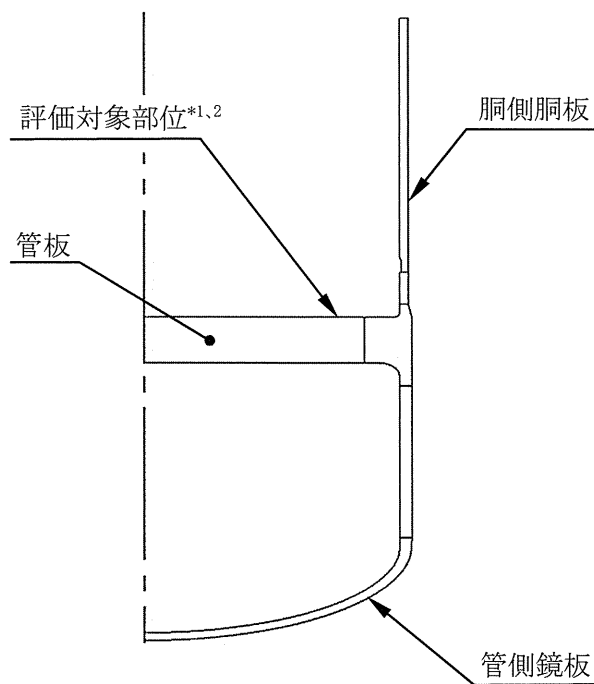
評価結果を表2.3-3に示すが、許容値を満足する結果が得られている。



*1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位 (最大)

*2 : 「環境疲労評価手法」に基づく疲労評価対象部位 (最大) (接液部が対象)

図2.3-1 玄海3号炉 再生熱交換器 管板の疲労評価対象部位



*1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位 (最大)

*2 : 「環境疲労評価手法」に基づく疲労評価対象部位 (最大) (接液部が対象)

図2.3-2 玄海3号炉 余熱除去冷却器 管板の疲労評価対象部位

表 2.3-1 玄海3号炉 再生熱交換器 管板の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 時点の推定値
起 動	23	60
停 止	22	60
抽出ラインの隔離及び復帰	0	7
充てんラインの隔離及び復帰（保守）	0	2
充てんラインの隔離及び復帰（安全注入時）	0	6
充てん流量50%の減少及び復帰	292	888
充てん流量50%の増加及び復帰	202	919
抽出流量37.5%の減少及び復帰	22	60
抽出流量60%の増加及び復帰	289	884

表 2.3-2 玄海3号炉 余熱除去冷却器 管板の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 時点の推定値
起 動	23	60
停 止	22	60
1次系漏えい試験	21	59

表 2.3-3 玄海3号炉 再生熱交換器、余熱除去冷却器の疲労評価結果

評価対象	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
再生熱交換器	管板部	0.074	0.097
余熱除去冷却器	管板部	0.022	0.032

② 現状保全

管板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、疲労割れについては、漏えい検査で健全性を確認可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

再生熱交換器及び余熱除去冷却器の管板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 非再生冷却器
- ② 格納容器スプレイ冷却器
- ③ 封水冷却器
- ④ 余剰抽出冷却器
- ⑤ 低圧第1給水加熱器
- ⑥ 低圧第2給水加熱器
- ⑦ 低圧第3給水加熱器
- ⑧ 低圧第4給水加熱器
- ⑨ 低圧第5給水加熱器

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 管板の疲労割れ [共通]

プラントの起動・停止時等に発生する内部流体のステップ状の大きな温度変化を受ける再生熱交換器及び余熱除去冷却器の疲労評価結果では、表2.3-3に示すように許容値に対して十分余裕がある。

代表機器以外の多管円筒形熱交換器については、熱疲労割れが問題となるようなステップ状の大きな温度変化を受けないことから、高経年化対策上有意な事象ではなく、代表機器以外への展開は不要である。

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 伝熱管（加熱管を含む）の摩耗及び高サイクル疲労割れ [共通]

管内流体及び胴側流体により伝熱管振動が発生した場合、支持板等で伝熱管に摩耗又は高サイクル疲労割れが想定される。

管外表面を流れる流体による振動で伝熱管の強度上想定される振動形態としては、カルマン渦による振動と流力弾性振動がある。

しかしながら、現状保全として、開放点検時の渦流探傷検査又は漏えい試験等により、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、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 伝熱管（加熱管を含む）の内面からの腐食（流れ加速型腐食） [共通]

伝熱管は内部流体により、流れ加速型腐食の発生が想定される。

しかしながら、耐流れ加速型腐食性に優れたステンレス鋼の伝熱管を使用しているため、流れ加速型腐食が発生する可能性は小さい。

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

なお、開放点検時の渦流探傷検査又は漏えい試験等により、機器の健全性を確認している。

3.2.3 伝熱管（加熱管を含む）の外面からの腐食（流れ加速型腐食）[共通]

伝熱管は管外流体により、流れ加速型腐食の発生が想定される。

しかしながら、耐流れ加速型腐食性に優れたステンレス鋼の伝熱管を使用しているため、外面からの流れ加速型腐食が発生する可能性は小さい。

また、低圧第1給水加熱器、低圧第2給水加熱器、低圧第3給水加熱器、低圧第4給水加熱器及び低圧第5給水加熱器については、系外からの流体流入部で伝熱管の流れ加速型腐食の発生が懸念されるが、同部位には受衝板（ステンレス鋼）を設け系外からの流体が直接伝熱管に当たらない構造としている。

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。

なお、開放点検時の渦流探傷検査又は漏えい試験等により、機器の健全性を確認している。

3.2.4 伝熱管等ステンレス鋼使用部位の応力腐食割れ [共通]

ステンレス鋼の伝熱管等は、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、水質を適切に管理しているため、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、開放点検時の渦流探傷検査又は漏えい試験等により、機器の健全性を確認している。

3.2.5 伝熱管（加熱管を含む）のスケール付着 [共通]

管側・胴側流体の不純物持ち込みによるスケール付着が発生し、伝熱性能に影響を及ぼすことが想定される。

しかしながら、内部流体は1次冷却材、ほう酸水、給水、蒸気及びヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、適切な水質管理により不純物の流入は抑制されていることから、スケール付着の可能性は小さい。また、渦流探傷検査実施前の洗浄や運転中の流体温度及び流量等のパラメータの監視により、機器の健全性を維持している。

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

3.2.6 胴側耐圧構成品等の腐食（流れ加速型腐食）

[低圧第1給水加熱器、低圧第2給水加熱器、低圧第3給水加熱器、低圧第4給水加熱器、低圧第5給水加熱器]

2相流体を内包する胴板等の炭素鋼使用部位には、流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、開放点検時の肉厚測定により、減肉進行程度を把握し、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。

3.2.7 管側耐圧構成品等の腐食（流れ加速型腐食）

[低圧第1給水加熱器、低圧第2給水加熱器、低圧第3給水加熱器、低圧第4給水加熱器、低圧第5給水加熱器]

管側耐圧構成品等は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、内部流体はpH等を管理した脱気水であり、内面の腐食が発生し難い環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.8 胴側耐圧構成品等の腐食（全面腐食）

[非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、封水冷却器、余剰抽出冷却器]

胴側耐圧構成品等は炭素鋼であり、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であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.9 胴板等の外面からの腐食（全面腐食）〔共通〕

胴板、鏡板、管板及びフランジは炭素鋼であり、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。

3.2.10 フランジボルトの腐食（全面腐食）

〔非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、封水冷却器、余剰抽出冷却器〕

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、開放点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

3.2.11 支持脚の腐食（全面腐食）[共通]

支持脚は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、封水冷却器、余剰抽出冷却器、低圧第3給水加熱器、低圧第4給水加熱器及び低圧第5給水加熱器については、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

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

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

また、低圧第1給水加熱器及び低圧第2給水加熱器については、復水器内に支持脚があるが、復水器内はpH等を管理した脱気水（蒸気）であるため、腐食が発生し難い環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、定期的に目視により塗装の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

3.2.12 支持脚（スライド脚）の腐食（全面腐食）

[非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、封水冷却器、低圧第1給水加熱器、低圧第2給水加熱器]

いずれの熱交換器においても、支持脚（スライド脚）は炭素鋼であり、長期使用により、腐食による固着が想定される。

しかしながら、非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器及び封水冷却器については、巡視点検等で目視によりスライド部に異常のないことを確認し、機器の健全性を維持している。

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

また、低圧第1給水加熱器及び低圧第2給水加熱器は復水器内に支持脚（スライド脚）があるが、復水器内はpH等を管理した脱気水（蒸気）であるため、腐食が発生し難い環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、低圧第1給水加熱器及び低圧第2給水加熱器についても、定期的に目視によりスライド部に異常のないことを確認し、機器の健全性を確認している。

3.2.13 取付ボルトの腐食（全面腐食）[共通]

取付ボルトは炭素鋼又は低合金鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

3.2.14 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

[非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、封水冷却器、余剰抽出冷却器]

基礎ボルトは炭素鋼又は低合金鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、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 蒸気発生器

[対象機器]

- ① 蒸気発生器本体

目 次

1. 対象機器	1
2. 蒸気発生器本体の技術評価	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
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	21

1. 対象機器

玄海3号炉で使用されている蒸気発生器本体の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 玄海3号炉 蒸気発生器本体の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件(1次側/2次側)		
		運 転	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
蒸気発生器本体 (4)	PS-1、重*2	連 続	約17.2/約8.2	約343/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ことを示す

2. 蒸気発生器本体の技術評価

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 蒸気発生器本体

(1) 構造

玄海3号炉の蒸気発生器本体は、たて置きU字管式熱交換器である。

蒸気発生器伝熱管には690系ニッケル基合金を使用しており、1次冷却材、給水に接液している。1次側耐圧構成品である1次側鏡板にはステンレス鋼、管板1次側面にはニッケル基合金を内張りしており、1次冷却材に接液している。2次側耐圧構成品である2次側胴板には低合金鋼を使用しており、給水に接液している。

玄海3号炉の蒸気発生器本体の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の蒸気発生器本体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	蒸気発生器伝熱管
②	管支持板
③	伝熱管振止め金具
④	冷却材出入口管台セーフエンド
⑤	1次側鏡板
⑥	1次側マンホール
⑦	管 板
⑧	ガスケット (1次側マンホール)
⑨	仕 切 板
⑩	蒸気出口管台
⑪	給水入口管台
⑫	2次側胴板
⑬	フローストリクタベンチュリー
⑭	検査用穴
⑮	2次側マンホール
⑯	ガスケット (2次側マンホール、検査用穴)
⑰	気水分離器
⑱	湿分分離器
⑲	給水リング (Jチューブ)
⑳	サーマルスリーブ
㉑	マンホール用ボルト

(注) 冷却材出入口管台セーフエンド④と1次側マンホール⑥及び仕切板⑨の位置関係は正確ではない(冷却材入口管台と出口管台を分ける位置に仕切板があるのが正しい)。ただし、断面図上で正確に記述すると④、⑥及び⑨のいずれかがない図となるので、ここでは便宜上左図のように記述している。

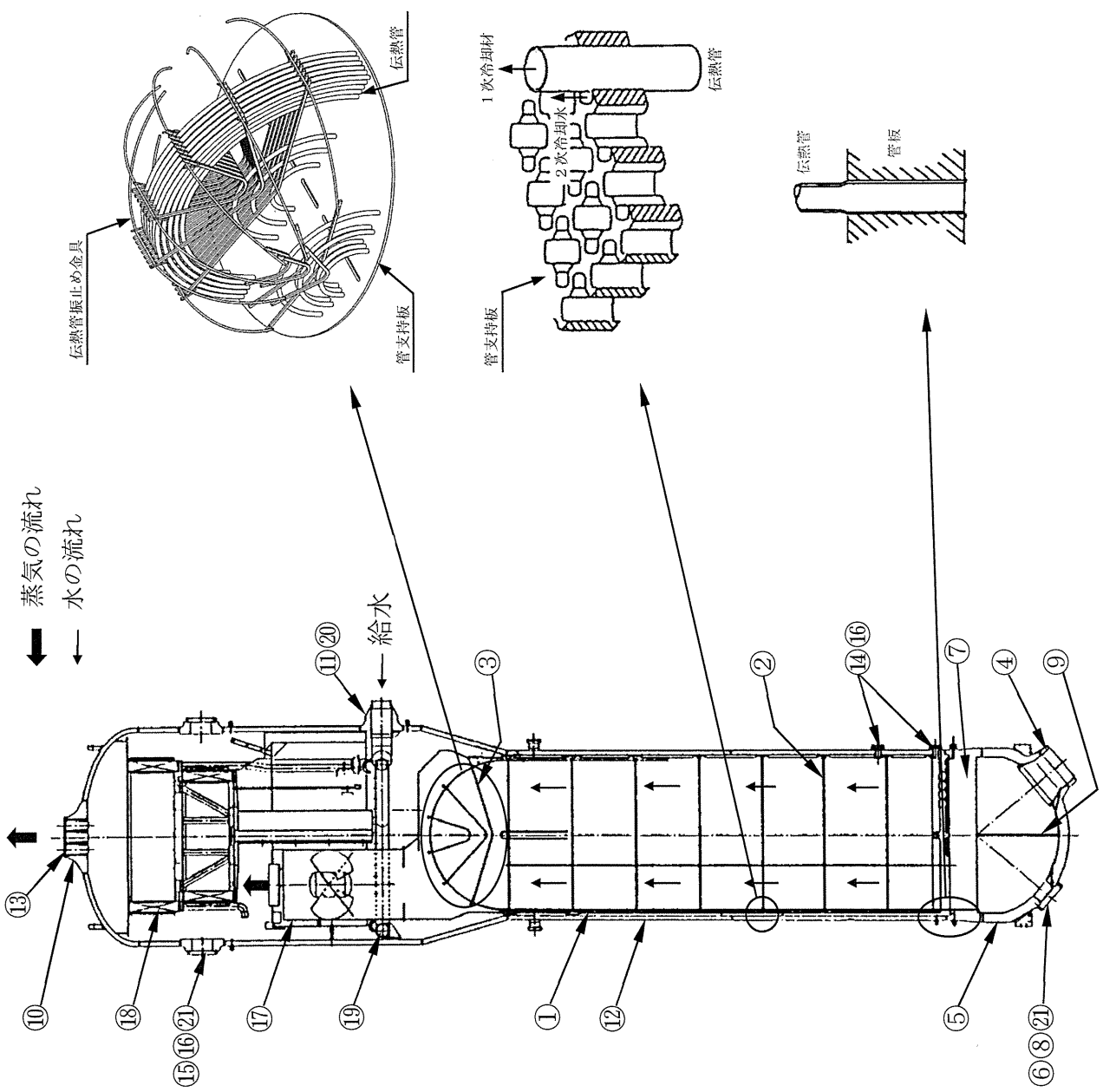


図 2.1-1 玄海 3 号炉 蒸気発生器本体構造図

表 2.1-1 玄海 3 号炉 蒸気発生器本体主要部位の使用材料

部 位		材 料	
1 次側／2 次側 バウンダリ 構成品	熱交換伝熱 構成品	蒸気発生器伝熱管	690系ニッケル基合金（特殊熱処理材）
	1 次側／2 次側 バウンダリ 構成品	管 板	低合金鋼 600系ニッケル基合金（内張り）
1 次側構成品	1 次側耐圧 構成品	冷却材出入口管台 セーフエンド	ステンレス鋼 600系ニッケル基合金（溶接金属）
		1 次側鏡板	低合金鋼 ステンレス鋼（内張り）
		1 次側マンホール	低合金鋼 ステンレス鋼（インサートプレート）
		マンホール用ボルト	低合金鋼
		ガスケット （1 次側マンホール）	消耗品・定期取替品
	1 次側流路 構成品	仕 切 板	600系ニッケル基合金
2 次側構成品	伝熱管支持 構成品	管支持板	ステンレス鋼
		伝熱管振止め金具 （A V B）	ステンレス鋼
	2 次側耐圧 構成品	蒸気出口管台	低合金鋼
		給水入口管台	低合金鋼
		2 次側胴板	低合金鋼
		フローリストリクタ ベンチュリー	600系ニッケル基合金
		検査用穴	低合金鋼
		2 次側マンホール	低合金鋼
		マンホール用ボルト	低合金鋼
		ガスケット（2 次側マ ンホール、検査用穴）	消耗品・定期取替品
	気水分離構成品	気水分離器	炭 素 鋼 低合金鋼
		湿分分離器	炭 素 鋼
	給水内管構成品	給水リング （J チューブ）	炭 素 鋼 低合金鋼
		サーマルスリーブ	炭 素 鋼

表2.1-2 玄海3号炉 蒸気発生器本体の使用条件

	1次側	2次側
最高使用圧力	約17.2MPa[gage]	約8.2MPa[gage]
最高使用温度	約343℃	約298℃
内部流体	1次冷却材	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

蒸気発生器本体の機能である伝熱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 伝熱性能の確保
- ② バウンダリの維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

蒸気発生器本体について、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2.2-2に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-2で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 管板及び給水入口管台の疲労割れ

プラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材又は給水の温度、圧力及び流量変化により、材料に疲労が蓄積することから、熱過渡が厳しい、あるいは構造不連続で応力が大きい管板廻り及び給水入口管台においては、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2.2-2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) 蒸気発生器伝熱管の損傷

蒸気発生器伝熱管においては、これまでの国内外でのトラブル経験から、図2.2-1に示すような経年劣化事象が想定される。損傷モードごとに以下に事象の説明を行う。

① 伝熱管振止め金具（AVB：Anti Vibration Bar）部摩耗

伝熱管振止め金具による蒸気発生器伝熱管の支持が不十分な場合、蒸気発生器伝熱管の外面を流れる流体によって蒸気発生器伝熱管が振動し、伝熱管振止め金具と接触を繰り返すことにより生じる2次側表面からの摩耗減肉が発生する可能性がある。

しかしながら、従来2本組伝熱管振止め金具に対し、玄海3号炉の蒸気発生器本体では3本組伝熱管振止め金具を採用しており、蒸気発生器伝熱管の支持状態は向上している。

曲げ半径の大きい蒸気発生器伝熱管において、3本組伝熱管振止め金具の場合、2点以上の非接触部が存在すると、流力弾性振動が発生し、伝熱管振止め金具部に摩耗減肉が発生する可能性は否定できないが、伝熱管振止め金具の板厚を大きくし、挿入時隙間管理を行っていることから、摩耗減肉が発生する可能性は小さい。

② 粒界腐食割れ (IGA : Inter Granular Attack)

管支持板クレビス部等で2次冷却水中の遊離アルカリの濃縮と酸化銅等による酸化性雰囲気重畳し、2次側表面からの結晶粒界に沿った割れを伴う腐食が発生する可能性がある。

しかしながら、玄海3号炉の蒸気発生器本体では、蒸気発生器伝熱管材料に耐粒界腐食割れ性に優れた690系ニッケル基合金(特殊熱処理材)を使用し、管支持板穴形状は管支持板クレビス部での不純物濃縮対策としてBEC穴(Broached Egg Crate)を採用していることから、粒界腐食割れが発生する可能性は小さい。

③ ピットィング (孔食)

管板上のスラッジ堆積部において、酸化銅等による酸化性雰囲気下で塩化物が濃縮し、2次側表面からの局所的な腐食が発生する可能性がある。

しかしながら、現状の水質環境下よりも塩化物イオン濃度を高くした厳しい条件下で、実機模擬スラッジによる腐食電位を測定したところ、腐食電位上昇はわずかであることから、ピットィングが発生する可能性は小さい。

④ 管板直上部腐食損傷

拡張による残留応力と管板2次側上面のスラッジ堆積部での腐食環境の重畳により、2次側表面から損傷する可能性があり、海外のキスロール^(注)、爆発拡張等の600系ニッケル基合金プラントにおいて、高温側管板直上部2次側表面に周方向損傷等が報告されている。

原因は、キスロールプラントについてはショットブラスト材の炭素鋼が管板上で堆積して腐食し、体積膨張を起こしたことに伴うデンティングにより高応力となり、応力腐食割れが発生したと推定されている。

また、爆発拡張等のプラントについては、拡張による残留応力及びスラッジ堆積部での腐食環境が重畳したことによるものと推定されている。

なお、国内の600系ニッケル基合金プラントでは、これまでの渦流探傷検査で同損傷は認められていない。

玄海3号炉は、690系ニッケル基合金(特殊熱処理材)を使用しており、材料の耐食性向上、流動改善(水流の抵抗を減少させ低流速領域を減少させるとともに、低流速領域をSGブローダウン取出口に近づけてスラッジの排出を促す)によるスラッジ堆積防止を行っており、かつ液圧拡張により拡張

境界部の応力を低減させていることから、腐食が発生する可能性は小さい。

(注) キスロールはフラマトム製蒸気発生器で一時期使用されていた拡管手法であり、ローラで2段拡管を行い、1段目の拡管境界部を管板上面に、2段目の拡管境界部を管板内におくものである。

⑤ フレッシング疲労

伝熱管振止め金具の挿入不足により、蒸気発生器伝熱管の外表面を流れる流体によって蒸気発生器伝熱管が振動し、最上段管支持板部等で2次側表面からフレッシングによる疲労損傷が発生する可能性がある。

しかしながら、仮に流力弾性振動が発生し、伝熱管振止め金具部の摩耗減肉が発生した場合、現状減肉の補修基準である20%の減肉による隙間増加を考慮しても、伝熱管支持板部での発生応力は小さく、フレッシング疲労による破断が発生する可能性は小さい。

⑥ 管板拡管部及び拡管境界部応力腐食割れ (SCC : Stress Corrosion Cracking)

製作時の拡管による残留応力と運転中の作用応力が重畳することにより1次側表面からの応力腐食割れが発生する可能性がある。

しかしながら、応力腐食割れは、材料・応力・環境の3要因により発生し、運転時間の経過に伴い顕在化してくる時間依存型の損傷であるが、玄海3号炉では690系ニッケル基合金(特殊熱処理材)採用による耐応力腐食割れ性の向上を図り、また液圧拡管を採用し、ローラ拡管と比較して残留応力低減を行っていることから、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

⑦ 小曲げUベンド部応力腐食割れ (SCC)

製作時の小半径Uベンド曲げ加工に伴う高残留応力と運転中の作用応力が重畳することにより1次側表面から応力腐食割れが発生する可能性がある。

しかしながら、応力腐食割れは、材料・応力・環境の3要因により発生し、運転時間の経過に伴い顕在化してくる時間依存型の損傷であるが、玄海3号炉では、690系ニッケル基合金(特殊熱処理材)採用による耐応力腐食割れ性向上とともに応力除去焼鈍を実施して、残留応力をほぼゼロに抑えている。また、内圧及び熱伸び差による作用応力も小さく、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

⑧ デンティング

炭素鋼製管支持板の管支持板クレビス部において腐食が発生すると、その腐食生成物は元の炭素鋼より体積が増大する。この腐食生成物の成長により蒸気発生器伝熱管が徐々に圧迫され変形する可能性がある。

管支持板クレビス部の腐食生成物の成長については、管支持板材料、形状及び水質環境によって発生条件が異なる。また、腐食は水質環境中の塩化物イオン濃度に依存するが、現状のAVT（All Volatile Treatment：全揮発性薬品処理）環境下では炭素鋼製管支持板のドリル穴の場合でも、運転開始後60年時点での予想される腐食量はわずかである。玄海3号炉ではそれよりも腐食量の少ないステンレス鋼製管支持板のBEC穴を採用していること、国内の取替え前蒸気発生器（炭素鋼製管支持板とドリル穴の組合せ）でも発生していないことも勘案して、デンティングが発生する可能性は小さい。

⑨ 管支持板直下部摩耗

2020年11月、高浜4号炉において、管支持板直下部の伝熱管外面にスケールによる摩耗減肉が確認されている。本事象は、伝熱管下部の表面に生成された稠密層が主体のスケールが、プラント起動・停止に伴いはく離したものが運転中の上昇流で管支持板下面に留まり、伝熱管に繰り返し接触したことで摩耗減肉が発生したものと推定している。

しかしながら、玄海3号炉については、2次側水質はAVT（All Volatile Treatment：全揮発性薬品処理）で管理しており、給水のpHを8.7～9.5と適切な管理により鉄持込量を抑制するとともに、第14回定期検査時（2019年度）及び第16回定期検査時（2021年度）に希薄薬液洗浄（ASCA(Advanced Scale Conditioning Agent)）を実施している。

また、玄海3号炉の鉄持込量については、高浜4号炉の鉄持込量と比較して小さいことを確認している。今後は適切な水質管理で鉄持込量を抑制し、スケールの稠密層が厚く成長するような鉄持込量に至っていないことを監視することとしているため、スケールによる摩耗減肉が発生する可能性は小さい。

また、蒸気発生器伝熱管に対しては、定期的に全数渦流探傷検査を実施し、健全性を維持している。さらに、定期的にスラッジランシングを実施し、管板上のスラッジ除去を実施しており、加えて第14回定期検査時(2019年度)及び第16回定期検査時(2021年度)に希薄薬液洗浄(ASCA)を実施している。

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

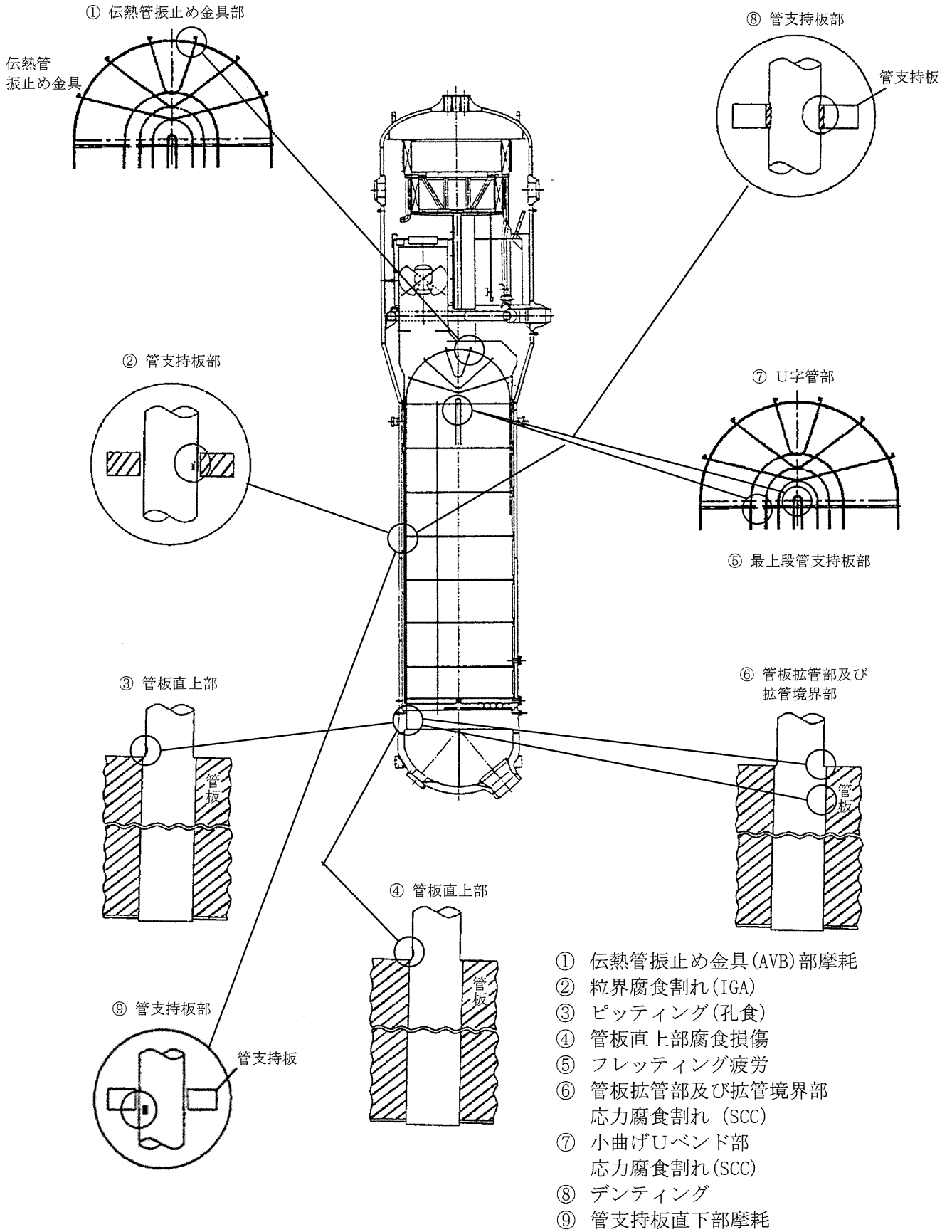


図 2.2-1 玄海 3 号炉 蒸気発生器伝熱管の損傷が想定される部位

(2) 蒸気発生器伝熱管の管板クレビス部応力腐食割れ

蒸気発生器伝熱管は全厚液圧拵管としており、管板クレビス部で応力腐食割れが発生する可能性はない。

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、開放点検時の渦流探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(3) 蒸気発生器伝熱管のスケール付着

2次側の流体の不純物持ち込みによるスケール付着が発生し、伝熱性能に影響を及ぼすことが想定される。

しかしながら、プラント運転中の温度や圧力等のパラメータ監視により、機器の健全性を維持している。

また、スケール除去のため、第14回定期検査時（2019年度）及び第16回定期検査時（2021年度）に希薄薬液洗浄（ASCA）を実施している。

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

(4) 管支持板穴へのスケール付着

海外では、B E C (Broached Egg Crate)型管支持板を採用しているプラントにおいて、上部管支持板B E C穴の流路部分でスケール付着による閉塞によって蒸気発生器本体の2次側水位の上下動が発生し、これを抑制するために出力を低下させたと報告されており、玄海3号炉においても同一構造の管支持板を採用していることから、スケール付着による閉塞が想定される。

しかしながら、プラント運転中の蒸気発生器広域水位の監視により、機器の健全性を維持している。

また、スケール除去のため、第14回定期検査時（2019年度）及び第16回定期検査時（2021年度）に希薄薬液洗浄（ASCA）を実施している。

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

(5) 冷却材出入口管台セーフエンドの応力腐食割れ

2007年9月、美浜2号炉のA-蒸気発生器本体冷却材入口管台セーフエンド（ステンレス鋼製）内面において、非常に軽微な粒界割れが管台と溶接部境界近傍の機械加工部において確認されている。

割れの起点は確認できていないが、製作時入口管台とセーフエンド溶接近傍の内面の極表層部において高い残留応力が発生し、溶接部近傍において運転中に粒界割れが進展したものと推定されており、これまでの研究ではPWR環境中の冷間加工層で応力腐食割れ発生は確認されていないが、硬さの上昇とともに進展速度が増加することがわかっている。また、硬さの上昇とともに応力腐食割れ発生の感受性も高まることから、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、玄海3号炉の冷却材出入口管台については、第11回定期検査時（2008年度）に渦流探傷検査により有意な欠陥がないことの確認及び超音波ショットピーニング（応力緩和）を施工しており、応力腐食割れが発生する可能性はないと考える。

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、冷却材出入口管台の応力腐食割れに対しては、機器点検時に溶接部の超音波探傷検査及び浸透探傷検査により有意な欠陥がないことを確認し、漏えい検査により耐圧部の健全性を確認している。

(6) 600系ニッケル基合金使用部位の応力腐食割れ

600系ニッケル基合金使用部位には、PWR 1次系水質環境下では応力腐食割れが想定される。

600系ニッケル基合金のPWR 1次系水質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、塩化物イオン等の化学成分及び温度が重要となる。しかし、PWRの1次冷却材は、水素注入や脱塩処理により、溶存酸素濃度、塩化物イオン濃度等を極力低減している。このことから、環境要因としては温度が重要となり、温度が高いほど応力腐食割れ発生時間が短くなる。

600系ニッケル基合金の応力腐食割れについて、現状知見を踏まえて使用部位の応力・温度条件をもとに評価を行った結果を表2.2-1に示す。

冷却材出入口管台については、第11回定期検査時（2008年度）に予防保全措置として渦流探傷検査を実施し、異常のないことを確認した上で、超音波ショットピーニング（応力緩和）を施工している。その他の部位については、他プラントの蒸気発生器を1994年に取り替えた際の取替前機器に対する点検では有意な欠陥は認められていないことから、応力腐食割れが問題となる可能性は小さいと考える。

また、冷却材出入口管台については、定期的に溶接部の超音波探傷検査及び浸透探傷検査を、管板1次側内張り及び仕切板については定期的に目視確認を実施し、有意な割れのないことを確認している。また、漏えい検査を実施し、耐圧部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。

表2.2-1 玄海3号炉 蒸気発生器 600系ニッケル基合金の応力腐食割れ健全性評価

区分	部 位	実機運転条件		トラブル事例	総合評価	健全性評価	点検、検査実績
		温度	応力				
母材	水室仕切板 (仕切バー、当板を含む)	高	低	無	③	発生の可能性は小さい。	定期検査時(水室内作業時)に目視確認。異常認められず。
溶接部	管板1次側内張り (伝熱管と管板の溶接(管板側)含む)	高	低	無	③	発生の可能性は小さい。	他プラントにおいて浸透探傷検査。異常認められず。 ^{*1}
	管板と仕切バーの溶接	高	低	無 ^{*2}	②	SCC発生の可能性が生じるのは長時間運転経過後である。	他プラントにおいて浸透探傷検査。異常認められず。 ^{*1}
	水室鏡と仕切板の溶接		低				
	管板と仕切バーの溶接部における管板1次側内張り	高	低	無 ^{*2}	③	発生の可能性は小さい。	他プラントにおいて浸透探傷検査。異常認められず。 ^{*1}
	伝熱管と管板の溶接(伝熱管側)	高	低	無	③	発生の可能性は小さい。	他プラントにおいて浸透探傷検査。異常認められず。 ^{*1}
	冷却材出入口管台肉盛	高	低 ^{*3}	無	③	第11回定期検査時(2008年度)に超音波ショットピーニングによる予防保全措置を実施。発生の可能性は十分低い。	第11回定期検査時(2008年度)に渦流探傷検査。異常認められず。
冷却材出入口管台とセーフエンドの溶接	高	低 ^{*3}	無	③	第11回定期検査時(2008年度)に超音波ショットピーニングによる予防保全措置を実施。発生の可能性は十分低い。	第11回定期検査時(2008年度)に渦流探傷検査。異常認められず。	

(総合評価)

- ① 高温度、高応力の部位
- ② 低温度、高応力又は高温度、低応力であるが、温度/応力のどちらかの条件が厳しい部位
- ③ 低温度、高応力又は高温度、低応力の部位
- ④ ①、②、③以外の部位

*1: 他プラントの取替前蒸気発生器による調査結果

*2: 海外(仏国プラント)において1991~2007年の間に合計72基のSG水室仕切板の検査が実施され、うち900MWeループプラントの10基のSGでPWSCCを検出しているが、発生部位は仕切バーと仕切板の溶接部と報告されている(国内プラントには当該溶接部はない)

*3: 当該部には超音波ショットピーニングを施工しており、応力は緩和されていると考えられる

(7) 2次側構成品の腐食（流れ加速型腐食を含む）

2次側構成品のうち、炭素鋼又は低合金鋼を使用している蒸気出口管台、給水入口管台、2次側胴板、検査用穴、2次側マンホール、気水分離器、湿水分離器、給水リング（Jチューブ）及びサーマルスリーブは腐食が想定される。また、蒸気あるいは水が衝突する部位や局所的に流速の速くなる部位では、腐食が加速されること（流れ加速型腐食）により、減肉が想定される。

しかしながら、2次側水質はAVT（All Volatile Treatment：全揮発性薬品処理）で管理しており、溶存酸素濃度を5ppb以下、pH8.7～9.5と腐食防止の観点から適切に管理しており、AVT環境下における運転開始後60年時点での予想される腐食量は約73 μ m〔「原子力発電所水質等環境管理技術信頼性実証試験に関する調査報告書」（財）発電設備技術検査協会〕となり、腐食量としては無視できるものである。

また、運転時間10万時間を経過した他プラントの旧蒸気発生器において、腐食の可能性のある炭素鋼製の湿水分離器の調査を行った結果、断面のマクロ観察によっても腐食等は認められておらず、健全な状態を確認している。

一方、流れ加速型腐食については、温度や流速が大きく影響し、厳しいと考えられるのは蒸気出口管台、給水入口管台、気水分離器のJチューブからの給水が当たる部位、給水リング、給水リングのJチューブ及びサーマルスリーブである。

気水分離器等については炭素鋼であり、流れ加速型腐食の発生の可能性は否定できないが、目視確認では有意な腐食は認められていないことから、急激な流れ加速型腐食により機器の健全性に影響を与える可能性は小さい。

また、給水リングのJチューブ等に用いている低合金鋼は、実機使用温度220℃程度では、耐流れ加速型腐食性に優れており、給水リングのJチューブ等の低合金鋼使用部位では流れ加速型腐食により機器の健全性に影響を与える可能性は小さい。

蒸気出口管台については、管台内部には耐流れ加速型腐食性に優れた600系ニッケル基合金のフローリストリクタベンチュリーが取り付けられており、流れ加速型腐食により機器の健全性に影響を与える可能性は小さい。

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、2次側構成品に対しては、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(8) マンホール用ボルトの腐食（全面腐食）

マンホール用ボルトは、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。

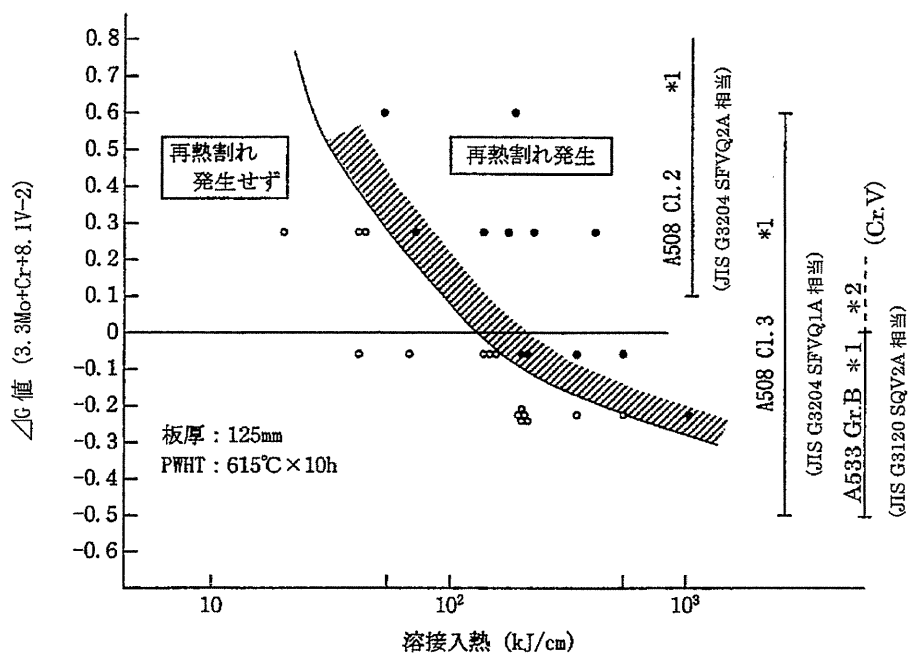
なお、開放点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

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。

(9) 1次側低合金鋼部の内張り下層部のき裂

1次側鏡板及び管板には低合金鋼を用いており、ステンレス鋼及びニッケル基合金の内張りを施している。一部の低合金鋼（SA508 C1.2）では大入熱溶接を用いた内張りで溶接後熱処理が行われると局部的にき裂が発生することが米国P V R C（Pressure Vessel Research Council）の研究により確認されている。これは内張り施工の際、6本の溶接ワイヤーで同時に溶接したために大入熱になったものである。

玄海3号炉においては図2.2-2に示すように材料の化学成分（ ΔG 値）を踏まえ溶接入熱を管理し溶接を実施しており、き裂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。



*1：規格成分による計算値
*2：規格成分外の Cr. V を加えた計算値

図 2.2-2 再熱割れ発生に及ぼす ΔG 値及び溶接入熱の影響

[出典：三菱重工技報 Vol.14 No.1 (1977-1)]

2.2.4 消耗品及び定期取替品

ガスケットは開放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 2.2-2 玄海3号炉 蒸気発生器本体に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・定期取替	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 割 れ	熱 時 効	劣 化		
伝熱性能の確保	蒸気発生器伝熱管 ^{*A}		690系ニッケル基合金 (特殊熱処理材)	△ ^{*1,*2}	△ ^{*3}	△ ^{*4}	△ ^{*5,*11,*12}		△ ^{*6,*7}	*1:伝熱管振止め金具(AVB)部摩擦 *2:管支持板直下部摩擦 *3:粒界腐食割れ ピッティング 管板直上部腐食損傷	
	管支持板 ^{*C}		ステンレス鋼	△ ^{*1}					△ ^{*7}		
バウダリ ¹ の維持	伝熱管振止め金具 ^{*C}		ステンレス鋼								
	冷却材出入口管台 セーフエント ^{*B}		ステンレス鋼 (600系 ² ニッケル基合金 ³ 合金 ⁴)				△(ステンレス鋼) △(ニッケル基合金)				
	1次側鏡板 ^{*B}		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り)						▲ ^{*9}	*4:フリップ ⁵ 疲労割れ *5:クビ ⁶ 部応力腐食割れ	
	1次側マンホール ^{*B}		低合金鋼 (インサート ⁷ プレート)							*6:デンディング *7:スケール付着	
	管 板 ^{*A}		低合金鋼 (600系 ² ニッケル基合金 ³ 内張り)		△	○	△ ^{*8}		▲ ^{*9}	*8:内張り部応力腐食割れ *9:内張り下層部の割れ	
	マンホール用ボルト ^{*B,*C}		低合金鋼		△					*10:流れ加速型腐食	
	ガスケット ^{*B,*C}	◎	—							*11:管板 ⁸ 管部及び ⁹ 管 境 ¹⁰ 部 ¹¹ 応力腐食割れ	
	仕 切 板 ^{*B}		600系ニッケル基合金				△			*12:小曲げ ¹² ペン ¹³ 部 応力腐食割れ	
	蒸気出口管台 ^{*C}		低合金鋼		△ ^{*10}					*A:1次側/2次側バウ ダリ ¹⁴ 構成 ¹⁵ 品	
	給水入口管台 ^{*C}		低合金鋼		△ ^{*10}	○				*B:1次側 ¹⁶ 構成 ¹⁷ 品 *C:2次側 ¹⁸ 構成 ¹⁹ 品	
2次側胴板 ^{*C}		低合金鋼		△ ^{*10}							
フローリストリクタベンチュリー ^{*C}		600系ニッケル基合金									
検査用穴 ^{*C}		低合金鋼		△							
2次側マンホール ^{*C}		低合金鋼		△							
気水分離器 ^{*C}		炭素鋼 低合金鋼		△ ^{*10}							
湿水分離器 ^{*C}		炭素鋼		△ ^{*10}							
給水リング(Jチューブ) ^{*C}		炭素鋼 低合金鋼		△ ^{*10}							
サーマルスリーブ ^{*C}		炭素鋼		△ ^{*10}							

○：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 管板及び給水入口管台の疲労割れ

a. 事象の説明

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

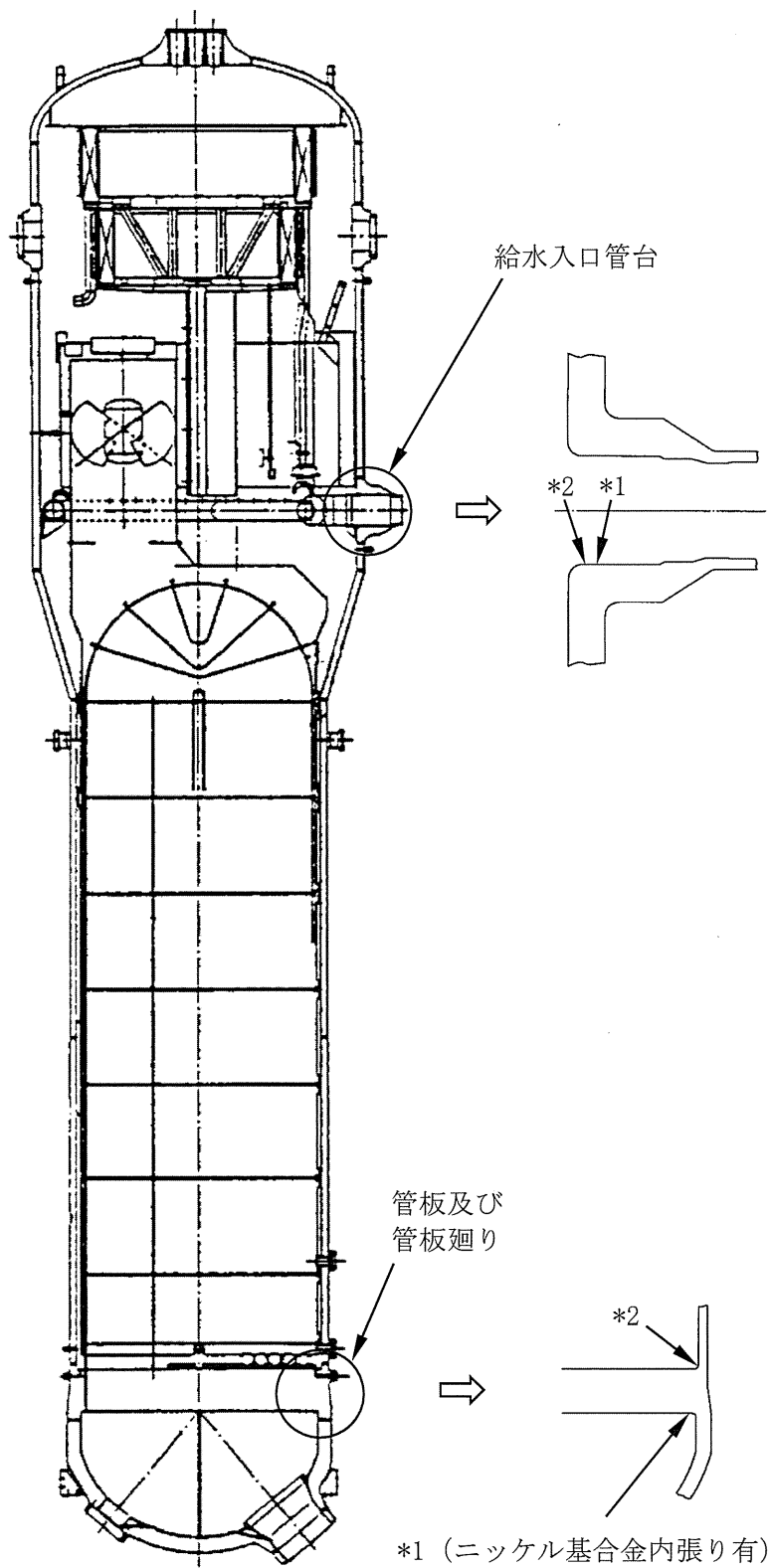
① 健全性評価

熱過渡が厳しい、あるいは構造不連続で応力が大きい管板廻り及び給水入口管台を対象として「(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。なお、管板穴部については、ASME Section. III Appendix A-8000と同様の手法で応力強さを補正しており、補正データはW. J. O' Donnellの論文から引用した。(参考文献：W. J. O' Donnell, "A Study of Perforated Plates with Square Penetration Patterns," Welding Research Council Bulletin 124, 1967)

また、使用環境を考慮した疲労については、「(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。さらに、給水入口管台では、熱成層の影響を考慮して評価した。

疲労評価対象部位を図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。



*1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位 (最大)

(非接液部の場合は () 内に理由を記載)

*2 : 「環境疲労評価手法」に基づく疲労評価対象部位 (最大) (接液部が対象)

図 2.3-1 玄海 3 号炉 蒸気発生器本体管板及び給水入口管台の疲労評価対象部位

表2.3-1 玄海3号炉 蒸気発生器本体管板及び給水入口管台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℃/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Ⅰにおける冷水注入*3	—	1340

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
2次系漏えい試験	—	59*2
運転状態Ⅱにおける冷水注入*3	—	90

*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

*3：蒸気発生器給水入口管台固有の過渡である

表2.3-2 玄海3号炉 蒸気発生器本体管板及び給水入口管台の疲労割れ疲労評価結果

評価対象部位 (使用材料)	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
管板廻り (低合金鋼) (ニッケル基合金内張り)	0.154	0.164*1
給水入口管台 (低合金鋼)	0.168	0.446*2

*1：高温水環境にあり、かつ疲労評価上最も厳しい箇所について評価を実施しており、設計・建設規格の疲労評価対象箇所と異なる

*2：熱成層による発生応力を含めた解析結果であり、3次元有限要素法を用いた評価である。また、熱成層を考慮した応力評価の結果、最も厳しい箇所について評価しており、設計・建設規格の疲労評価対象箇所と異なる

② 現状保全

管板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を実施し、有意な欠陥がないことを確認している。管板の内張りについては、定期的に見視確認により、有意な欠陥のないことを確認している。また、管板、給水入口管台については、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、疲労割れが発生する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、疲労割れについては超音波探傷検査等により、管板の内張りの欠陥については有意な異常（はがれ、膨れ、変形、変色等）のないことを見視確認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

管板及び給水入口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。

3 直接接触式熱交換器

[対象機器]

① 脱気器

目 次

1. 対象機器	1
2. 脱気器の技術評価	2
2.1 構造、材料及び使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	5

1. 対象機器

玄海3号炉で使用されている脱気器の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 玄海3号炉 脱気器の主な仕様

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)
脱気器 (1)	高*2	連 続	約1.4	約200

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：最高使用温度が95°Cを超え、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. 脱気器の技術評価

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 脱気器

(1) 構造

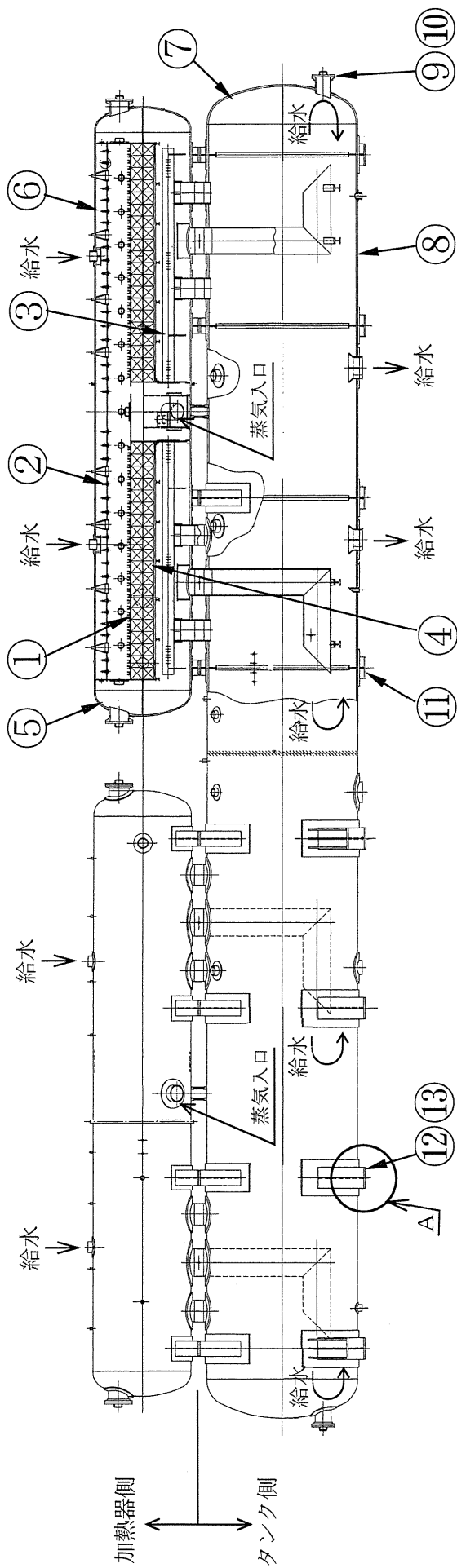
玄海3号炉の脱気器は、給水と蒸気との直接接触式熱交換器とタンクがあり、直接接触式熱交換器をタンクの上に設置している。

トレイ及びスプレイ弁にはステンレス鋼を使用し、給水、蒸気に接液している。また、加熱器耐圧構成品、タンク耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、給水、蒸気に接液している。

玄海3号炉の脱気器の構造図を図2.1-1に示す。

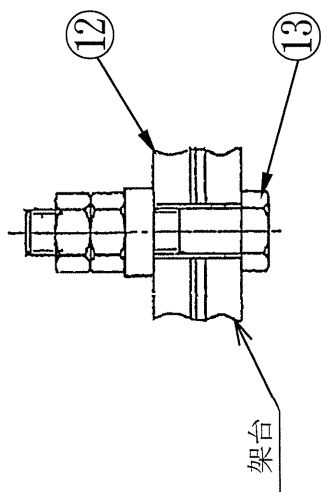
(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の脱気器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。



他の支持脚は全てスライド脚

No.	部 位	位
①	トレイ	
②	スプレイ弁	
③	蒸気噴出管	
④	グレーチング	
⑤	鏡板 (加熱器側)	
⑥	胴板 (加熱器側)	
⑦	鏡板 (タンク側)	
⑧	胴板 (タンク側)	
⑨	マンホール蓋	
⑩	ガスケット	
⑪	支持脚	
⑫	支持脚 (スライド脚)	
⑬	取付ボルト	



A部 取付ボルト詳細

図2.1-1 玄海3号炉 脱気器構造図

表2.1-1 玄海3号炉 脱気器主要部位の使用材料

部 位		材 料
熱交換伝熱構成品	ト レ イ	ステンレス鋼
	スプレイ弁	ステンレス鋼
流路構成品	蒸気噴出管	炭素鋼 ステンレス鋼
	グレーチング	炭素鋼
加熱器耐圧構成品	鏡 板 胴 板	炭素鋼
タンク耐圧構成品	鏡 板 胴 板	炭素鋼
	マンホール蓋	炭素鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
支持構造物組立品	支 持 脚 支持脚 (スライド脚)	炭素鋼
	取付ボルト	低合金鋼

表2.1-2 玄海3号炉 脱気器の使用条件

	加熱器側	タンク側
最高使用圧力	約1.4MPa[gage]	約1.4MPa[gage]
最高使用温度	約200℃	約200℃
内 部 流 体	給水・蒸気	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

脱気器の機能である加熱・脱気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 伝熱性能の確保
- ② バウンダリの維持
- ③ 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

脱気器について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、応力、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) スプレイ弁の摩耗

脱気器に流入した給水は、スプレイ弁により上部から脱気器内にスプレイされる。スプレイ弁は給水が流入することにより、弁前後の差圧が生じ作動する。この作動により、弁棒の摺動部に摩耗が想定される。

しかしながら、主にユニット起動・停止時のみの摺動であり、摩耗が生じる可能性は小さい。

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

なお、定期的に動作確認を行い機器の健全性を確認している。

(2) スプレイ弁の腐食（流れ加速型腐食）

スプレイ弁にて給水が連続的に脱気器内にスプレイされることにより、給水がスプレイされる弁部に流れ加速型腐食が想定される。

しかしながら、スプレイ弁は耐流れ加速型腐食性に優れたステンレス鋼を使用しており、腐食が発生する可能性は小さい。

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

なお、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(3) 耐圧構成品等の腐食（流れ加速型腐食）

蒸気噴出管、グレーチング及び胴板等耐圧構成品は炭素鋼であり、蒸気流動による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、開放点検時の目視確認により、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) 胴板等耐圧構成品の外表面からの腐食（全面腐食）

脱気器は屋外に設置しており、炭素鋼を使用している胴板等耐圧構成品は、外表面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装や防水措置（保温）により腐食を防止しており、塗装や防水措置（保温）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や防水措置（保温）の状態を確認し、はく離等が認められた場合は必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

(5) 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。

(6) 支持脚（スライド脚）の腐食（全面腐食）

脱気器は横置きであり、支持脚（スライド脚）が設置されているが、スライド部は炭素鋼であり、長期使用により、腐食による固着が想定される。

しかしながら、プラント起動時に目視によりスライド部が正常に作動していることを確認し、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。

(7) 取付ボルトの腐食（全面腐食）

取付ボルトは低合金鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

2.2.4 消耗品及び定期取替品

ガスケットは開放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 脱気器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・定期取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象							備 考	
				減 肉		割 れ		材 質 変 化		そ の 他		
				摩 耗	腐 食	疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕	熱 時 効	劣 化			
伝熱性能の確保	トレイ		ステンレス鋼									*1：流れ加速型腐食 *2：スライド部の腐食
	スプレイ弁		ステンレス鋼	△	△*1							
	蒸気噴出管		炭素鋼 ステンレス鋼		△*1							
	グレーチング		炭素鋼		△*1							
	加熱器鏡板・胴板		炭素鋼		△*1(内面) △(外面)							
バウンダリの維持	タンク鏡板・胴板		炭素鋼		△*1(内面) △(外面)							
	マンホール蓋		炭素鋼		△*1(内面) △(外面)							
	ガスケット	◎	-									
	支持脚		炭素鋼		△							
	支持脚(スライド脚)		炭素鋼		△*2 △							
機器の支持	取付ボルト		低合金鋼		△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

4 2重管式熱交換器

[対象機器]

- ① Aサンプル冷却器
- ② Bサンプル冷却器
- ③ 廃ガス冷却器
- ④ ブローダウンサンプル冷却器

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料及び使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	7
3. 代表機器以外への展開	11
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	11
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	11

1. 対象機器及び代表機器の選定

玄海3号炉で使用されている主要な2重管式熱交換器の主な仕様を表1-1に示す。

これらの熱交換器を型式及び材料の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

表1-1に示す熱交換器について、型式及び材料の観点から1つのグループにまとめられる。

1.2 代表機器の選定

重要度が高いBサンプル冷却器を代表機器とする。

表1-1 玄海3号炉 2重管式熱交換器の主な仕様

型式	分離基準		機器名称 (台数)	選定基準			選定理由	
	内部流体 (管側/胴側)	材質		重要度*1	使用条件(管側/胴側)			
		胴管			伝熱管	運転		最高使用圧力 (MPa[gage])
2重管式	1 次冷却材/ ヒドラジン水	ステンレス鋼	ステンレス鋼	高*2	約17.2/約1.4	約360/約95	◎ 重要度	
		ステンレス鋼			約17.2/約1.4	約360/約95		
	希ガス等/ ヒドラジン水	MS-2		高*2	約0.98/約1.4	約400/約95		
		高*2		約8.2/約1.4	約298/約95			

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：最高使用温度が95°Cを超え、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重管式熱交換器について技術評価を実施する。

① Bサンプル冷却器

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 Bサンプル冷却器

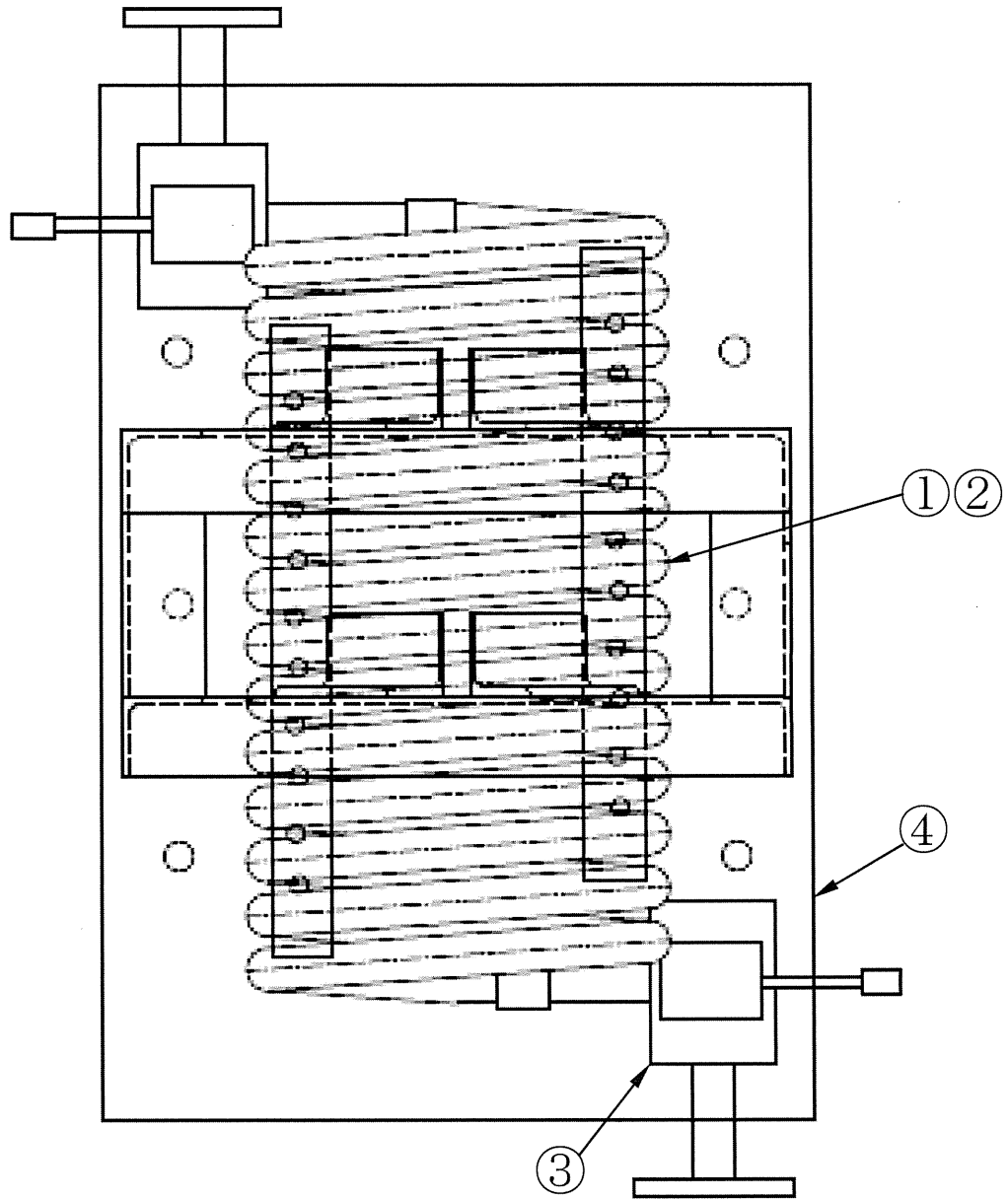
(1) 構造

玄海3号炉のBサンプル冷却器は、2重管式熱交換器であり、冷却水を保有する胴管（冷却水コイル）とその中へ浸漬される伝熱管（サンプルコイル）で構成しており、それぞれ、ステンレス鋼を使用している。

玄海3号炉のBサンプル冷却器の構造図を図2.1-1に示す。

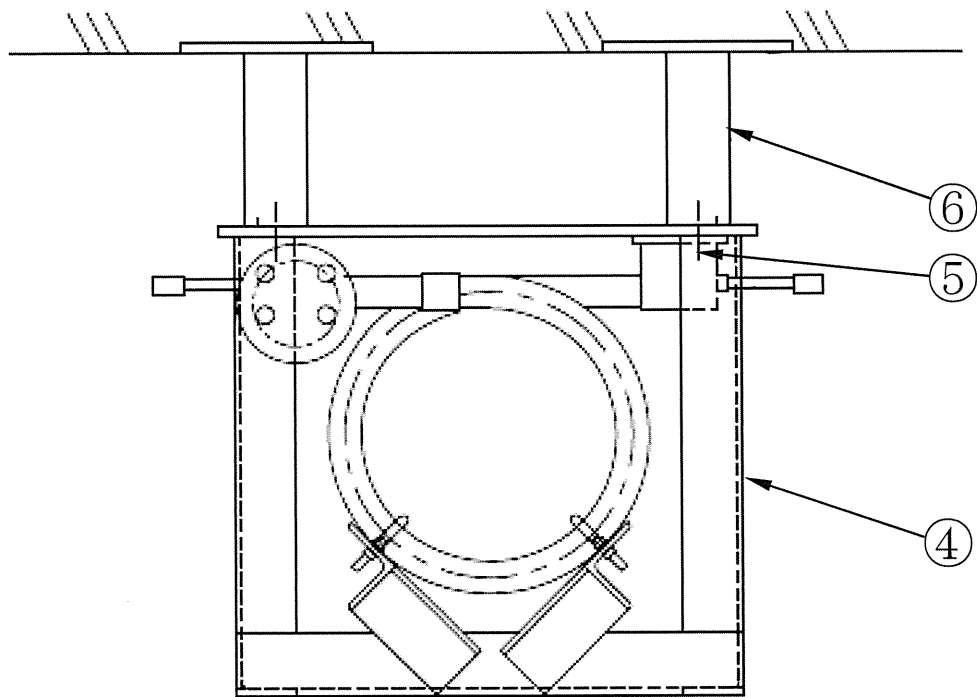
(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉のBサンプル冷却器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	伝熱管 (サンプルコイル)
②	胴管 (冷却水コイル)
③	支持金物
④	台 座

図2.1-1(1/2) 玄海3号炉 Bサンプル冷却器構造図



No.	部 位
④	台 座
⑤	取付ボルト
⑥	取付ベース

図2.1-1(2/2) 玄海3号炉 Bサンプル冷却器構造図

表2.1-1 玄海3号炉 Bサンプル冷却器主要部位の使用材料

部 位		材 料
熱交換伝熱構成品	伝熱管 (サンプルコイル)	ステンレス鋼
胴側耐圧構成品	胴 管 (冷却水コイル)	ステンレス鋼
支持構造物	支持金物	ステンレス鋼
	台 座	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼
	取付ベース	炭素鋼

表2.1-2 玄海3号炉 Bサンプル冷却器の使用条件

最高使用圧力	(伝熱管) 約17.2MPa[gage]	(胴管) 約1.4MPa[gage]
最高使用温度	(伝熱管) 約360℃	(胴管) 約95℃
内 部 流 体	(伝熱管) 1次冷却材	(胴管) ヒドラジン水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

Bサンプル冷却器の機能である熱除去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 伝熱性能の確保
- ② バウンダリの維持
- ③ 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

Bサンプル冷却器について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、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) 台座等の腐食（全面腐食）

台座、取付ボルト及び取付ベースは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗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。

(2) 伝熱管及び胴管の腐食（流れ加速型腐食）

伝熱管及び胴管は内部流体により、流れ加速型腐食による減肉が想定される。

しかしながら、伝熱管及び胴管は耐流れ加速型腐食性に優れたステンレス鋼を使用しており、流れ加速型腐食が発生する可能性は小さい。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 伝熱管の高サイクル疲労割れ

内部流体により振動が発生した場合、伝熱管に高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、構造上、伝熱管と接触する部位がなく、有意な振動が発生する可能性はない。

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。

(4) 伝熱管の応力腐食割れ

伝熱管はステンレス鋼であり、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、内部流体である1次冷却材の水質を溶存酸素濃度0.1ppm以下に管理しており、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(5) 伝熱管のスケール付着

流体の不純物持ち込みによるスケール付着が発生し、伝熱性能に影響を及ぼすことが想定される。

しかしながら、伝熱管の内部流体は1次冷却材、胴管の内部流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、適切な水質管理により不純物の流入は抑制されていることから、スケール付着の可能性は小さい。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

表 2.2-1 玄海3号炉 B サンプル冷却器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定期 取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考	
				減 耗	肉 腐 食	割 れ		材 質 変 化			そ の 他
						疲 勞 割 れ	応 力 腐 食 割 れ	熱 時 効	劣 化		
伝熱性能の確保	伝熱管 (サンプルコイル)		ステンレス鋼		▲*1	▲*2	▲			▲*3	*1：流れ加速型腐食 *2：高サイクル疲労割れ *3：スケール付着
バウンダリの維持	銅管 (冷却水コイル)		ステンレス鋼		▲*1						
機器の支持	支持金物		ステンレス鋼								
	台 座		炭素鋼		△						
	取付ボルト		炭素鋼		△						
	取付ベース		炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

3. 代表機器以外への展開

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

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

- ① Aサンプル冷却器
- ② 廃ガス冷却器
- ③ ブローダウンサンプル冷却器

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 台座及び取付ボルトの腐食（全面腐食）

[Aサンプル冷却器、ブローダウンサンプル冷却器]

台座及び取付ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、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。

3.2.2 取付ベースの腐食（全面腐食）〔共通〕

取付ベースは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗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。

3.2.3 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔廃ガス冷却器〕

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。

3.2.4 伝熱管及び胴管の腐食（流れ加速型腐食）〔共通〕

伝熱管及び胴管は内部流体により、流れ加速型腐食による減肉が想定される。

しかしながら、伝熱管及び胴管は耐流れ加速型腐食性に優れたステンレス鋼を使用しており、流れ加速型腐食が発生する可能性は小さい。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.5 伝熱管の高サイクル疲労割れ〔共通〕

内部流体により振動が発生した場合、伝熱管に高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、構造上、伝熱管と接触する部位がなく、有意な振動が発生する可能性はない。

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。

3.2.6 伝熱管の応力腐食割れ [共通]

伝熱管はステンレス鋼であり、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、内部流体は溶存酸素濃度0.1ppm以下に管理された1次冷却材、給水、希ガスであり、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.7 伝熱管のスケール付着 [共通]

流体の不純物持ち込みによるスケール付着が発生し、伝熱性能に影響を及ぼすことが想定される。

しかしながら、伝熱管の内部流体は1次冷却材、給水、希ガス、胴管の内部流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、適切な水質管理により不純物の流入は抑制されていることから、スケール付着の可能性は小さい。

したがって、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。