

玄海原子力発電所3号炉

ポンプの技術評価書

[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号炉のポンプのうち、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、材料等でグループ化し、同一グループ内の複数の機器の存在を考慮して、重要度、温度等の観点から代表機器を選定した。

これらの一覧を表1に、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。

本評価書ではポンプの型式等を基に、以下の2つに分類している。

- 1 ターボポンプ
- 2 1次冷却材ポンプ

なお、1次冷却材ポンプは斜流ポンプであり、ターボポンプ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・取替が容易でないことを考慮し、ターボポンプと分けて単独で評価している。

また、タービン動補助給水ポンプ及びタービン動主給水ポンプにおけるタービンは「タービン設備の技術評価書」にて、ポンプ用電動機は「ポンプ用電動機の技術評価書」にて、1次冷却材ポンプの基礎部は「機械設備の技術評価書」にて、ポンプに含まれる配管及び弁は「配管の技術評価書」及び「弁の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含まれていない。

表 1 玄海3号炉 主要なポンプ

分離基準		機器名称 (台数)		選定基準			選定理由
型式	内部流体	材料	重要度*4	運転	最高使用圧力 (MPa [gauge])	最高使用温度 (°C)	
ターボポンプ たて置斜流形	海水	ステンレス鋼	MS-1、重*6	連続	約10.98	約50	◎
ターボポンプ よこ置うす巻形	1次冷却材 ほう酸水	低合金鋼*1	MS-1、重*7	連続	約20.0	約95	◎
			MS-1、重*7	一時	約16.7	約150	
ターボポンプ たて置斜流形	1次冷却材 ほう酸水	ステンレス鋼	MS-1、重*7	連続 (余熱除去時) 一時 (低圧注入時)	約4.5	約200	◎
			MS-1、重*7	一時	約2.7	約150	
			MS-2	連続	約1.4	約95	
			MS-1、重*7	連続	約1.4	約95	
			MS-1、重*6	連続	約1.4	約95	◎
			高*5	一時	約10.69	約100	
			MS-1、重*7	一時	約12.1	約40	
ターボポンプ たて置斜流形	給水	ステンレス鋼	MS-1、重*7	一時	約12.7	約40	◎
			高*5	一時	約10.3	約200	
			高*5	連続	約10.3	約200	
			高*5	連続	約4.1	約80	
			高*5	連続	約2.0	約200	
			重*7	一時	約2.1	約40	
			高*5	一時	約3.6	約200	
ターボポンプ たて置斜流形	給水	炭素鋼*3	高*5	連続	約4.1	約200	◎
			高*5	連続	約2.8	約115	
			PS-1、重*7	連続	約17.2	約343	◎

*1：ケーシングは低合金鋼（内面ステンレス鋼内張り）、主軸はステンレス鋼、羽根車はステンレス鋼

*2：ケーシングは炭素鋼、主軸はステンレス鋼、羽根車はステンレス鋼

*3：ケーシングは炭素鋼、主軸はステンレス鋼、羽根車はステンレス鋼

*4：機能は最上位の機能を示す

*5：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

*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（A号機、B号機）

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

表 2 (1/2) 玄海 3 号炉 主要なポンプの機能

ポ ン プ	機 能
海水ポンプ	1、2次系熱交換器等へ冷却水として海水を送る。
充てんポンプ	1次冷却材系統より取り出された1次冷却材を、体積制御タンクより再び1次冷却材系統に送る。
高圧注入ポンプ	事故時の炉心冷却のため、燃料取替用水タンクのほう酸水を炉心に注入する。
余熱除去ポンプ	炉を停止した後の1次冷却材系統顕熱、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。 また、冷却材喪失事故時には安全注入系統の作動と平行して燃料取替用水タンクのほう酸水を炉心に注入する。
格納容器スプレイポンプ	事故時の格納容器内圧上昇緩和、抑制のためほう酸水を格納容器内にスプレイする。
燃料取替用水ポンプ	燃料取替用水タンクのほう酸の浄化・温度維持のため、ほう酸水を循環させる。
ほう酸ポンプ	1次冷却材中のほう酸濃度を調整することを目的として、ほう酸水を充てんポンプ吸込側へ供給する。
原子炉補機冷却水ポンプ	1次冷却材系、非常用炉心冷却系及び余熱除去系等で発生した熱を除去するため、冷却水としてヒドラジン水を循環させる。
1次系補助蒸気復水ポンプ	1次系で使用された補助蒸気の復水を復水回収タンク、又はスチームコンバータへ送水する。
タービン動補助給水ポンプ	事故時等の炉心停止後初期の炉心崩壊熱を除去するため、補助給水を蒸気発生器2次側へ供給する。
電動補助給水ポンプ	事故時等の炉心停止後初期の炉心崩壊熱を除去するため、補助給水を蒸気発生器2次側へ供給する。
電動主給水ポンプ	脱気器タンクの給水を蒸気発生器へ送水する。
タービン動主給水ポンプ	脱気器タンクの給水を蒸気発生器へ送水する。
復水ブースタポンプ	復水フィルタからの復水を復水系統へ送水する。
湿分分離器ドレンポンプ	湿分分離器ドレンを脱気器へ送水する。
常設電動注入ポンプ	重大事故等時に原子炉容器内に送水、又は、原子炉格納容器内へのスプレイ水を送水する。

表 2 (2/2) 玄海 3 号炉 主要なポンプの機能

ポ ン プ	機 能
電動主給水ポンプ用 給水ブースタポンプ	電動主給水ポンプの有効吸込ヘッドを確保する。
タービン動主給水ポンプ用 給水ブースタポンプ	タービン動主給水ポンプの有効吸込ヘッドを確保する。
低圧給水加熱器ドレンポンプ	低圧給水加熱器ドレンを復水系統へ送水する。
1 次冷却材ポンプ	原子炉で発生した熱エネルギーを蒸気発生器へ運ぶために、1 次冷却材を強制循環させる。

1 ターボポンプ

[対象機器]

- ① 海水ポンプ
- ② 充てんポンプ
- ③ 高圧注入ポンプ
- ④ 余熱除去ポンプ
- ⑤ 格納容器スプレイポンプ
- ⑥ 燃料取替用水ポンプ
- ⑦ ほう酸ポンプ
- ⑧ 原子炉補機冷却水ポンプ
- ⑨ 1次系補助蒸気復水ポンプ
- ⑩ タービン動補助給水ポンプ
- ⑪ 電動補助給水ポンプ
- ⑫ 電動主給水ポンプ
- ⑬ タービン動主給水ポンプ
- ⑭ 復水ブースタポンプ
- ⑮ 湿分分離器ドレンポンプ
- ⑯ 常設電動注入ポンプ
- ⑰ 電動主給水ポンプ用給水ブースタポンプ
- ⑱ タービン動主給水ポンプ用給水ブースタポンプ
- ⑲ 低圧給水加熱器ドレンポンプ

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	27
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	43
3. 代表機器以外への展開	46
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	46
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	47

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ターボポンプ（1次冷却材ポンプを除く）の主な仕様を表1-1に示す。

これらのポンプを型式、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に示すターボポンプについて、型式、内部流体及び材料を分離基準として考えると、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：たて置斜流形、内部流体：海水、材料：ステンレス鋼鋳鋼

このグループには海水ポンプのみが属するため、代表機器は海水ポンプとする。

- (2) 型式：よこ置うず巻形、内部流体：1次冷却材及びほう酸水、材料：低合金鋼

このグループには充てんポンプ及び高圧注入ポンプが属するが、圧力が高い充てんポンプとする。

- (3) 型式：よこ置うず巻形、内部流体：1次冷却材及びほう酸水、材料：ステンレス鋼鋳鋼

このグループには余熱除去ポンプ、格納容器スプレイポンプ、燃料取替用水ポンプ及びほう酸ポンプが属するが、重要度、温度及び圧力の高い余熱除去ポンプを代表機器とする。

- (4) 型式：よこ置うず巻形、内部流体：ヒドラジン水、材料：炭素鋼鋳鋼

このグループには原子炉補機冷却水ポンプのみが属するため、代表機器は原子炉補機冷却水ポンプとする。

- (5) 型式：よこ置うず巻形、内部流体：給水及び純水、材料：炭素鋼鑄鋼及びステンレス鋼鑄鋼

このグループには1次系補助蒸気復水ポンプ、タービン動補助給水ポンプ、電動補助給水ポンプ、電動主給水ポンプ、タービン動主給水ポンプ、復水ブースタポンプ、湿分分離器ドレンポンプ及び常設電動注入ポンプが属するが、重要度及び圧力が高い電動補助給水ポンプを代表機器とする。

- (6) 型式：たて置うず巻形、内部流体：給水、材料：炭素鋼

このグループには電動主給水ポンプ用給水ブースタポンプ、タービン動主給水ポンプ用給水ブースタポンプ及び低圧給水加熱器ドレンポンプが属するが、圧力が高いタービン動主給水ポンプ用給水ブースタポンプを代表機器とする。

表1-1 玄海3号炉 ターボポンプの主な仕様

型式	分離基準		機器名称 (台数)	重要度 ^{*4}	選定基準			選定理由
	内部流体	材料			運転	最高使用圧力 (MPa [gauge])	最高使用温度 (°C)	
たて置 斜流形	海水	ステンレス鋼	海水ポンプ (4)	MS-1、重 ^{*6}	連続	約0.98	約50	◎
			充てんポンプ (3)	MS-1、重 ^{*7}	連続	約20.0	約95	
よこ置 うず巻形	1次冷却材 ほう酸水	低合金鋼 ^{*1}	高圧注入ポンプ (2)	MS-1、重 ^{*7}	一時	約16.7	約150	◎
			余熱除去ポンプ (2)	MS-1、重 ^{*7}	連続 (余熱除去時) 一時 (低圧注入時)	約4.5	約200	
たて置 うず巻形	ヒドラジン水	ステンレス鋼	格納容器スプレイポンプ (2)	MS-1、重 ^{*7}	一時	約2.7	約150	◎
			燃料取替用水ポンプ (2)	MS-2	連続	約1.4	約95	
			ほう酸ポンプ (2)	MS-1、重 ^{*7}	連続	約1.4	約95	
			原子炉補機冷却水ポンプ (4)	MS-1、重 ^{*6}	連続	約1.4	約95	
			1次系補助蒸気復水ポンプ (4)	高 ^{*5}	一時	約0.69	約100	
			タービン動補助給水ポンプ (1)	MS-1、重 ^{*7}	一時	約12.1	約40	
			電動補助給水ポンプ (2)	MS-1、重 ^{*7}	一時	約12.7	約40	
			電動主給水ポンプ (1)	高 ^{*5}	一時	約10.3	約200	
			タービン動主給水ポンプ (2)	高 ^{*5}	連続	約10.3	約200	
			復水ブースタポンプ (3)	高 ^{*5}	連続	約4.1	約80	
たて置 うず巻形	給水	炭素鋼 ^{*3}	湿分離器ドレンポンプ (2)	高 ^{*5}	連続	約2.0	約200	◎
			常設電動注入ポンプ (1)	重 ^{*7}	一時	約2.1	約40	
			電動主給水ポンプ用 給水ブースタポンプ (1)	高 ^{*5}	一時	約3.6	約200	
			タービン動主給水ポンプ用 給水ブースタポンプ (2)	高 ^{*5}	連続	約4.1	約200	
			低圧給水加熱器ドレンポンプ (2)	高 ^{*5}	連続	約2.8	約115	

*1: ケーシングは低合金鋼 (内面ステンレス鋼張り)、主軸はステンレス鋼、羽根車はステンレス鋼

*2: ケーシングは炭素鋼、主軸はステンレス鋼、羽根車はステンレス鋼

*3: ケーシングは炭素鋼、主軸はステンレス鋼、羽根車はステンレス鋼

*4: 機能は最上位の機能を示す

*5: 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

*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 (A号機、B号機)

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

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の6種類のポンプについて技術評価を実施する。

- ① 海水ポンプ
- ② 充てんポンプ
- ③ 余熱除去ポンプ
- ④ 原子炉補機冷却水ポンプ
- ⑤ 電動補助給水ポンプ
- ⑥ タービン動主給水ポンプ用給水ブースタポンプ

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 海水ポンプ

(1) 構造

玄海3号炉の海水ポンプは、たて置単段の斜流形である。

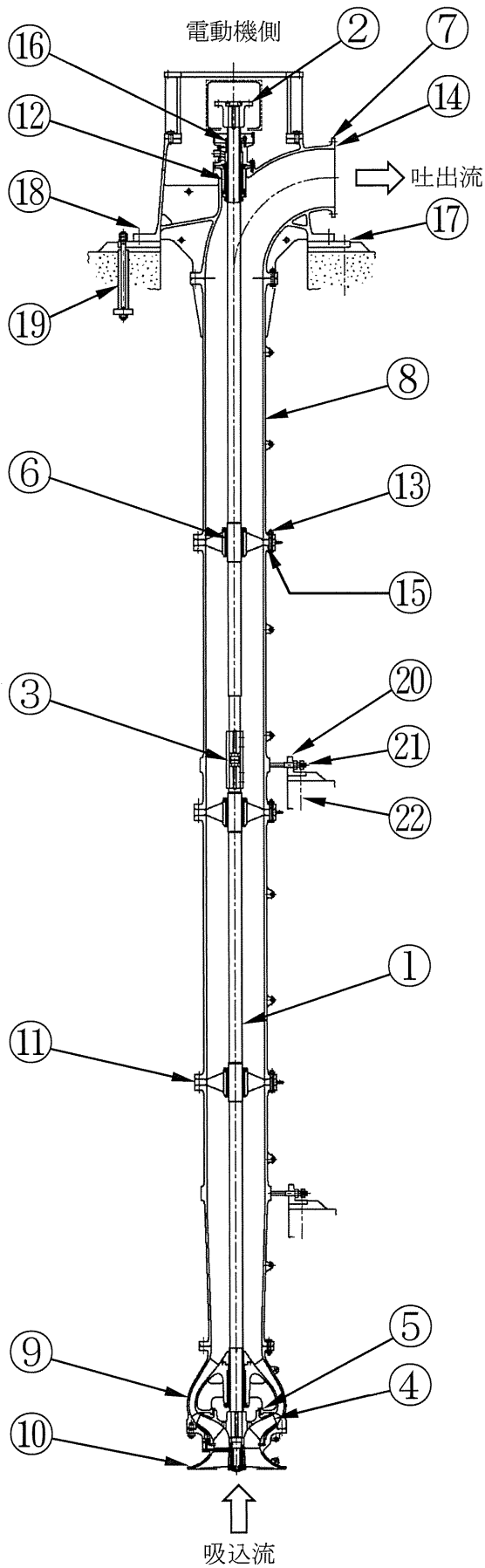
主軸、羽根車、吐出管及び案内羽根には耐食ステンレス鋼又は耐食ステンレス鋼鋳鋼を使用しており、それぞれ海水に接液している。

軸封部には、海水の漏れを防止するため、グランドパッキンを使用している。

玄海3号炉の海水ポンプの構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の海水ポンプの使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



No.	部 位
①	主 軸
②	軸 継 手
③	中間軸継手
④	羽 根 車
⑤	ケーシングリング
⑥	水中軸受 (すべり)
⑦	吐出曲管
⑧	吐 出 管
⑨	案内羽根
⑩	吸 込 口
⑪	中間軸受箱
⑫	軸 受 箱
⑬	ケーシングボルト
⑭	ガスケット
⑮	Ｏリング
⑯	グランドパッキン
⑰	据 付 板
⑱	取付ボルト
⑲	基礎ボルト
⑳	振れ止め台
㉑	振れ止めボルト
㉒	振れ止め台用基礎ボルト

*
*
*
*
*
*

* : ケーシング組立品の構成品

図2.1-1 玄海3号炉 海水ポンプ構造図

表2.1-1 玄海3号炉 海水ポンプ主要部位の使用材料

部 位	材 料
主 軸	耐食ステンレス鋼
軸 継 手	炭 素 鋼
中間軸継手	耐食ステンレス鋼
羽 根 車	耐食ステンレス鋼鋳鋼
ケーシングリング	消耗品・定期取替品
水中軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
吐出曲管	耐食ステンレス鋼鋳鋼
吐 出 管	耐食ステンレス鋼鋳鋼
案内羽根	耐食ステンレス鋼鋳鋼
吸 込 口	耐食ステンレス鋼鋳鋼
中間軸受箱	耐食ステンレス鋼鋳鋼
軸 受 箱	耐食ステンレス鋼鋳鋼
ケーシングボルト	ステンレス鋼 耐食ステンレス鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
Ｏリング	消耗品・定期取替品
グランドパッキン	消耗品・定期取替品
据 付 板	ステンレス鋼
取付ボルト	ステンレス鋼
基礎ボルト	ステンレス鋼
振れ止め台	ステンレス鋼鋳鋼
振れ止めボルト	ステンレス鋼
振れ止め台用基礎ボルト	ステンレス鋼

表2.1-2 玄海3号炉 海水ポンプの使用条件

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

2.1.2 充てんポンプ

(1) 構造

玄海3号炉の充てんポンプは、よこ置多段のうず巻形である。

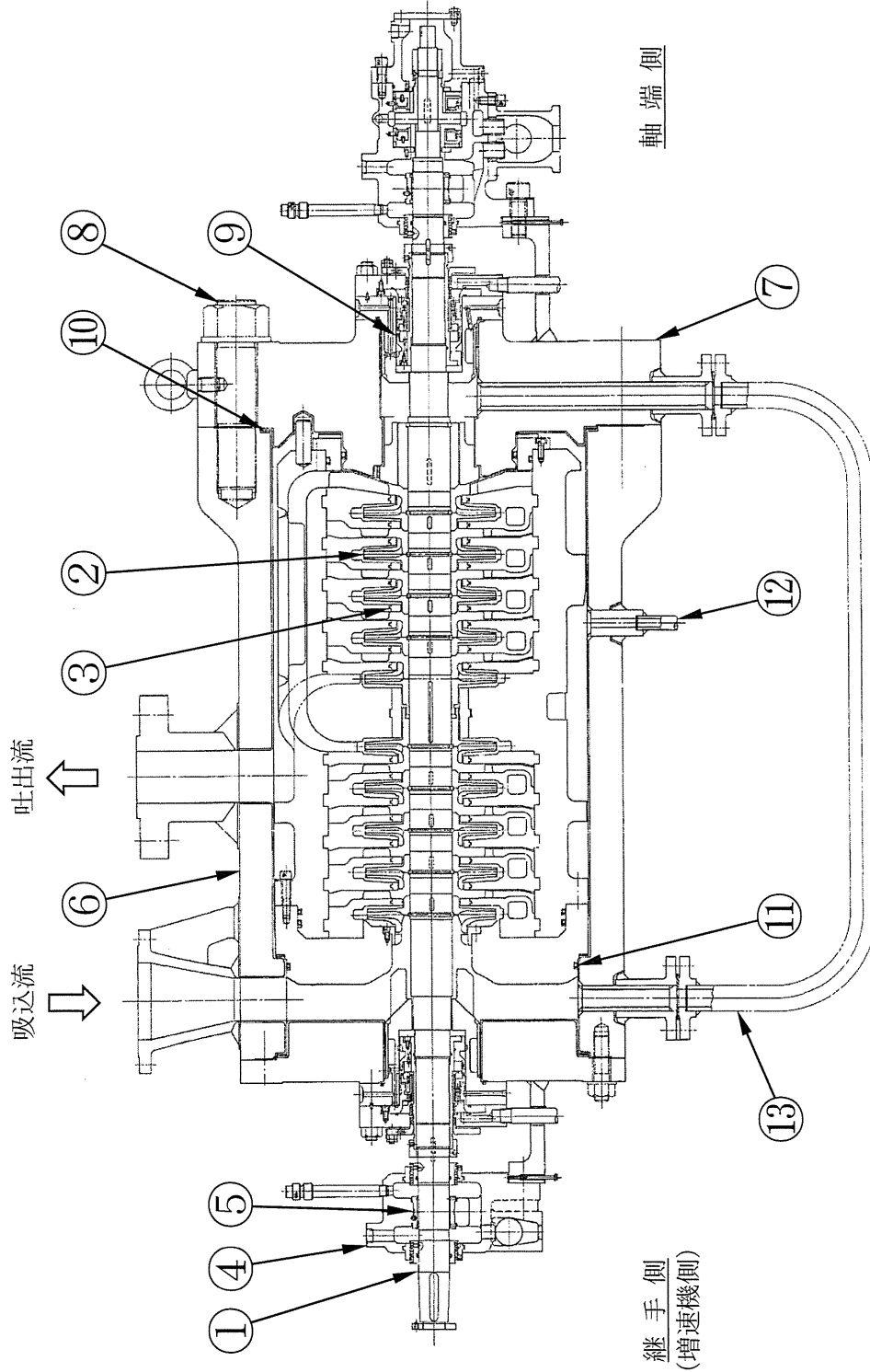
主軸にはステンレス鋼、羽根車にはステンレス鋼鋳鋼、ケーシング等には低合金鋼を使用しており、それぞれ1次冷却材に接液している。

軸封部には、1次冷却材の漏れを防止するため、メカニカルシールを使用している。

玄海3号炉の充てんポンプの構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の充てんポンプ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	位
①	主 軸	
②	羽 根 車	
③	ケーシングリング	
④	軸 受 箱	
⑤	軸受 (すべり)	
⑥	ケーシング	
⑦	ケーシングカバー	
⑧	ケーシングボルト	
⑨	メカニカルシール	
⑩	ガスケット	
⑪	Oリング	
⑫	ケーシングドレン管	
⑬	バランス管	

図2.1-2(1/3) 玄海3号炉 充てんポンプ構造図

No.	部 位
⑭	軸 継 手 (ポンプ側)
⑮	軸 継 手 (電動機側)
⑯	メカニカルシールクローラ
⑰	潤滑油ユニット
⑱	台 板
⑲	取付ボルト
⑳	基礎ボルト

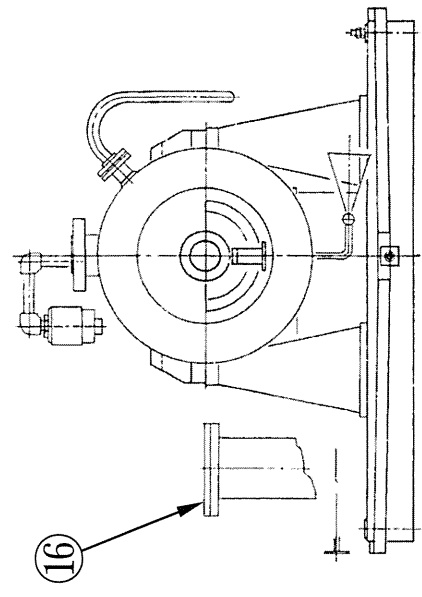
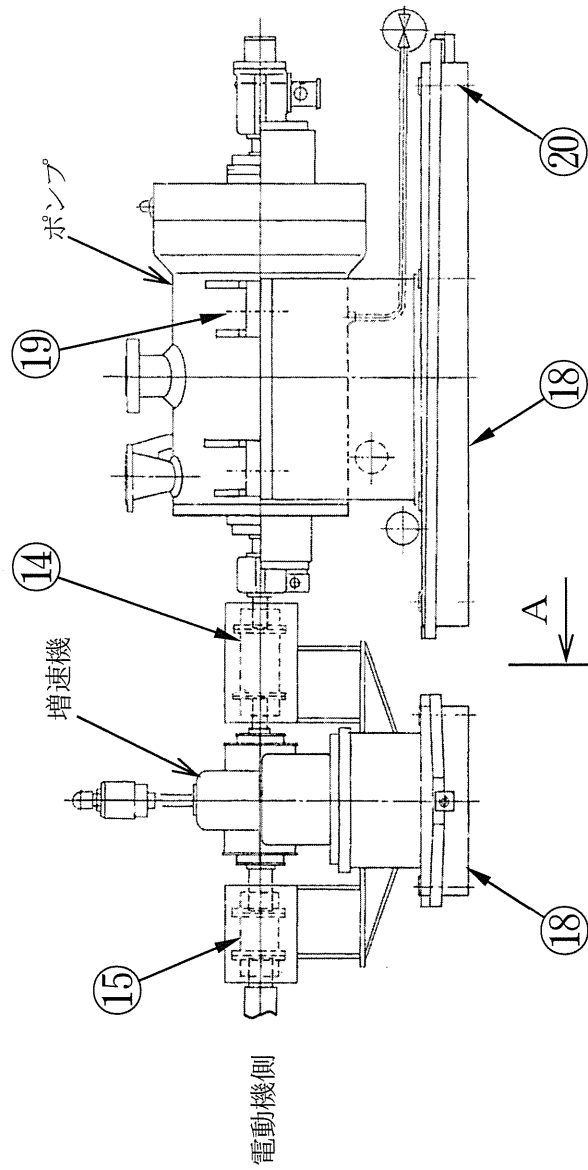
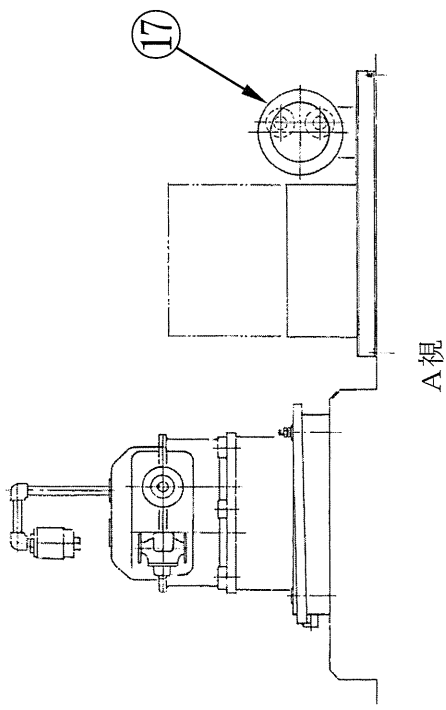


図2.1-2(2/3) 玄海3号炉 充てんポンプ構造図

No.	部 位
②①	増速機歯車
②②	増速機軸受 (すべり)
②③	増速機ケーシング

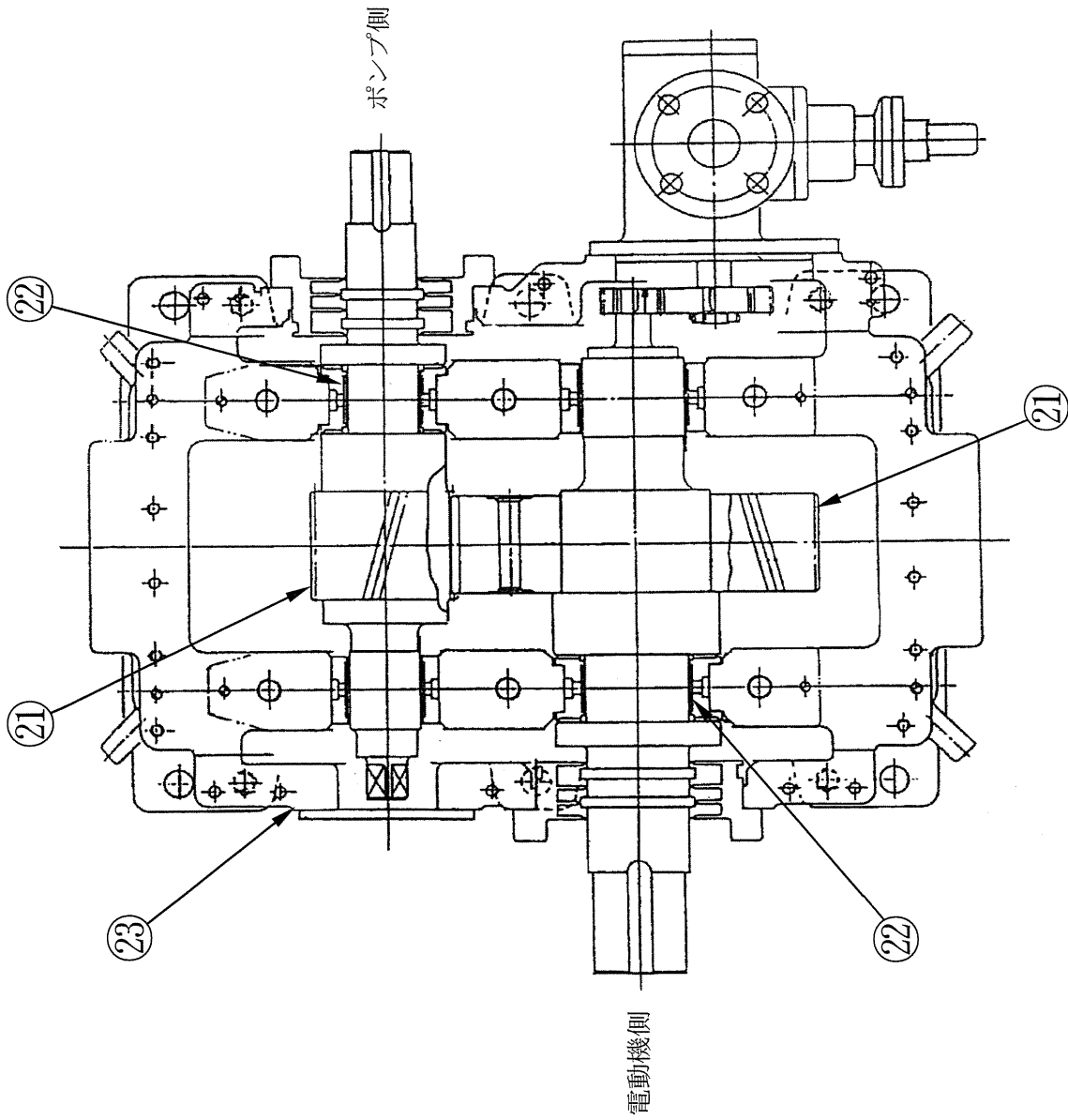


図2.1-2(3/3) 玄海3号炉 充てんポンプ増速機構造図

表2.1-3 玄海3号炉 充てんポンプ主要部位の使用材料

部 位	材 料	
ポンプ組立品	主 軸	ステンレス鋼
	羽 根 車	ステンレス鋼鋳鋼
	ケーシングリング	消耗品・定期取替品
	軸 受 箱	鋳 鉄
	軸受 (すべり)	消耗品・定期取替品
	ケーシング	低合金鋼 (内面ステンレス鋼内張り)
	ケーシングカバー	低合金鋼 (内面ステンレス鋼内張り)
	ケーシングボルト	低合金鋼
	メカニカルシール	消耗品・定期取替品
	ガスケット	消耗品・定期取替品
	Oリング	消耗品・定期取替品
	ケーシングドレン管	ステンレス鋼
	バランス管	ステンレス鋼
	軸継手 (ポンプ側)	低合金鋼
	軸継手 (電動機側)	低合金鋼
	メカニカルシールクーラ	ステンレス鋼
	潤滑油ユニット	炭 素 鋼 鋳 鉄
	台 板	炭 素 鋼
	取付ボルト	炭 素 鋼
	基礎ボルト	炭 素 鋼
増速機組立品	増速機歯車	低合金鋼
	増速機軸受 (すべり)	消耗品・定期取替品
	増速機ケーシング	鋳 鉄

表2.1-4 玄海3号炉 充てんポンプの使用条件

最高使用圧力	約20.0MPa [gage]
最高使用温度	約95℃
内 部 流 体	1次冷却材

2.1.3 余熱除去ポンプ

(1) 構造

玄海3号炉の余熱除去ポンプは、よこ置単段のうず巻形である。

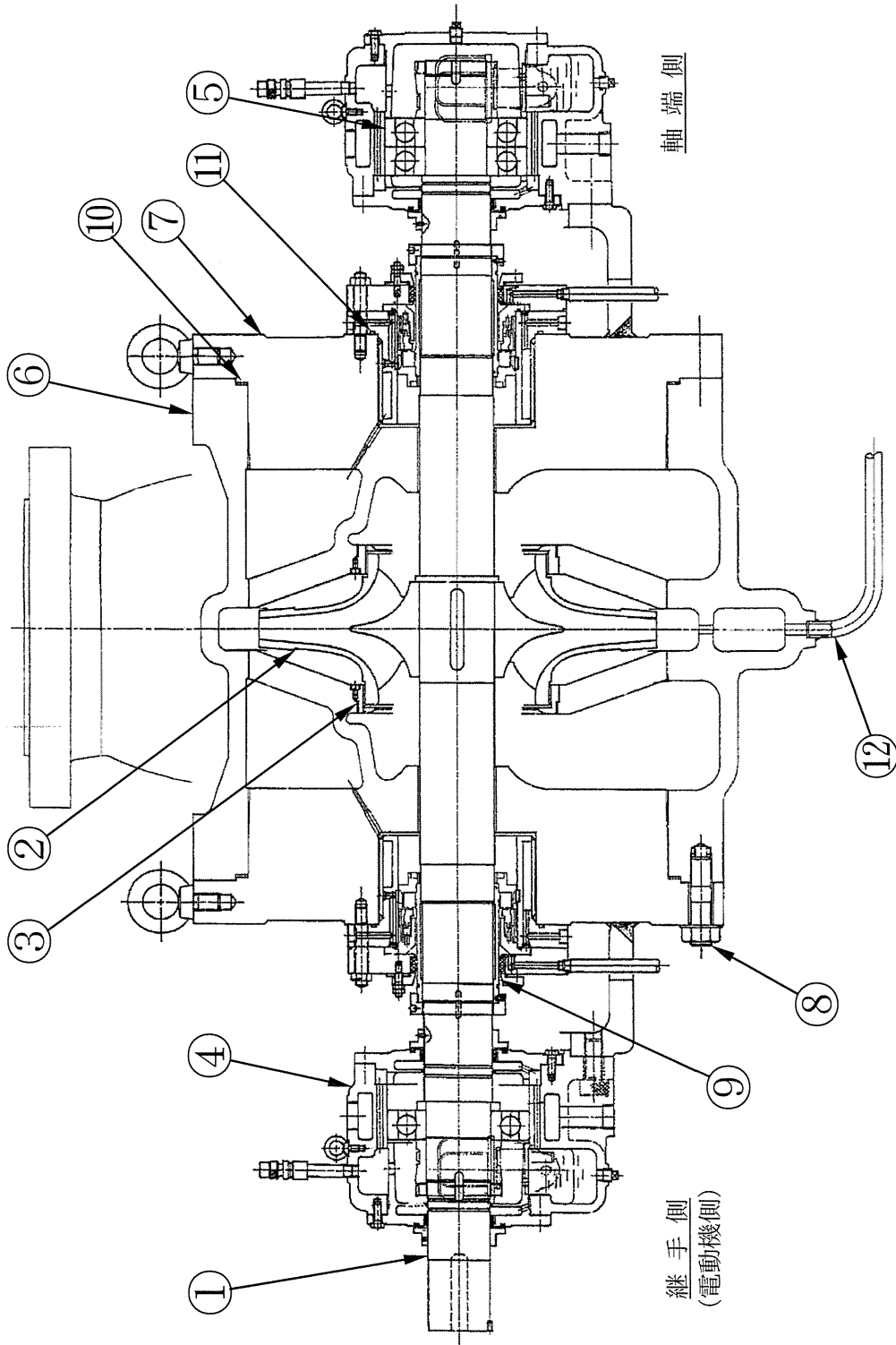
主軸、羽根車、ケーシング等にはステンレス鋼又はステンレス鋼鑄鋼を使用しており、それぞれ1次冷却材に接液している。

軸封部には、1次冷却材の漏れを防止するため、メカニカルシールを使用している。

玄海3号炉の余熱除去ポンプの構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の余熱除去ポンプの使用材料及び使用条件を表2.1-5及び表2.1-6に示す。



No.	部 位	位
①	主 軸	
②	羽 根 車	
③	ケーシングゲリング	
④	軸 受 箱	
⑤	軸受 (ころがり)	
⑥	ケーシング	
⑦	ケーシングガカパー	
⑧	ケーシングボルト	
⑨	メカニカルシール	
⑩	ガスケット	
⑪	Oリング	
⑫	ケーシングドレン管	

図2.1-3(1/2) 玄海3号炉 余熱除去ポンプ構造図

No.	部 位
⑬	軸 継 手
⑭	メカニカルシールクーラ
⑮	台 板
⑯	取付ボルト
⑰	基礎ボルト

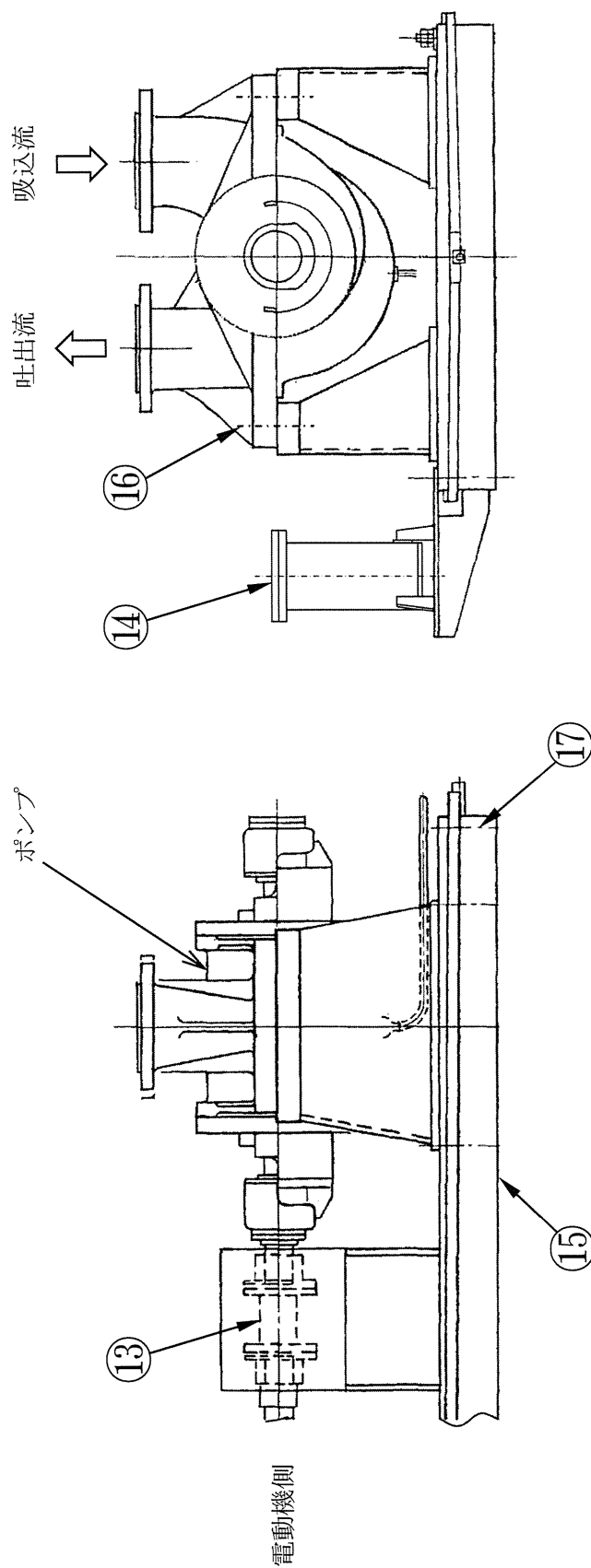


図2.1-3(2/2) 玄海3号炉 余熱除去ポンプ構造図

表2.1-5 玄海3号炉 余熱除去ポンプ主要部位の使用材料

部 位	材 料
主 軸	ステンレス鋼
羽 根 車	ステンレス鋼鋳鋼
ケーシングリング	消耗品・定期取替品
軸 受 箱	鋳 鉄
軸受（ころがり）	消耗品・定期取替品
ケーシング	ステンレス鋼鋳鋼
ケーシングカバー	ステンレス鋼鋳鋼
ケーシングボルト	低合金鋼
メカニカルシール	消耗品・定期取替品
ガスケット	消耗品・定期取替品
Ｏリング	消耗品・定期取替品
ケーシングドレン管	ステンレス鋼
軸 継 手	低合金鋼
メカニカルシールクーラ	ステンレス鋼
台 板	炭 素 鋼
取付ボルト	炭 素 鋼
基礎ボルト	炭 素 鋼

表2.1-6 玄海3号炉 余熱除去ポンプの使用条件

最高使用圧力	約4.5MPa[gage]
最高使用温度	約200℃
内 部 流 体	1次冷却材

2.1.4 原子炉補機冷却水ポンプ

(1) 構造

玄海3号炉の原子炉補機冷却水ポンプは、よこ置単段のうず巻形である。

主軸にはステンレス鋼、羽根車にはステンレス鋼鋳鋼、ケーシングには炭素鋼鋳鋼を使用しており、それぞれヒドラジン水に接液している。

軸封部には、ヒドラジン水の漏れを防止するため、メカニカルシールを使用している。

玄海3号炉の原子炉補機冷却水ポンプの構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の原子炉補機冷却水ポンプ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	主 軸
②	羽 根 車
③	ケーシングダレンゲ
④	軸 受 箱
⑤	軸受 (ころがり)
⑥	ケーシング
⑦	メカニカルシール
⑧	Oリング
⑨	ケーシングドレン管
⑩	取付ボルト

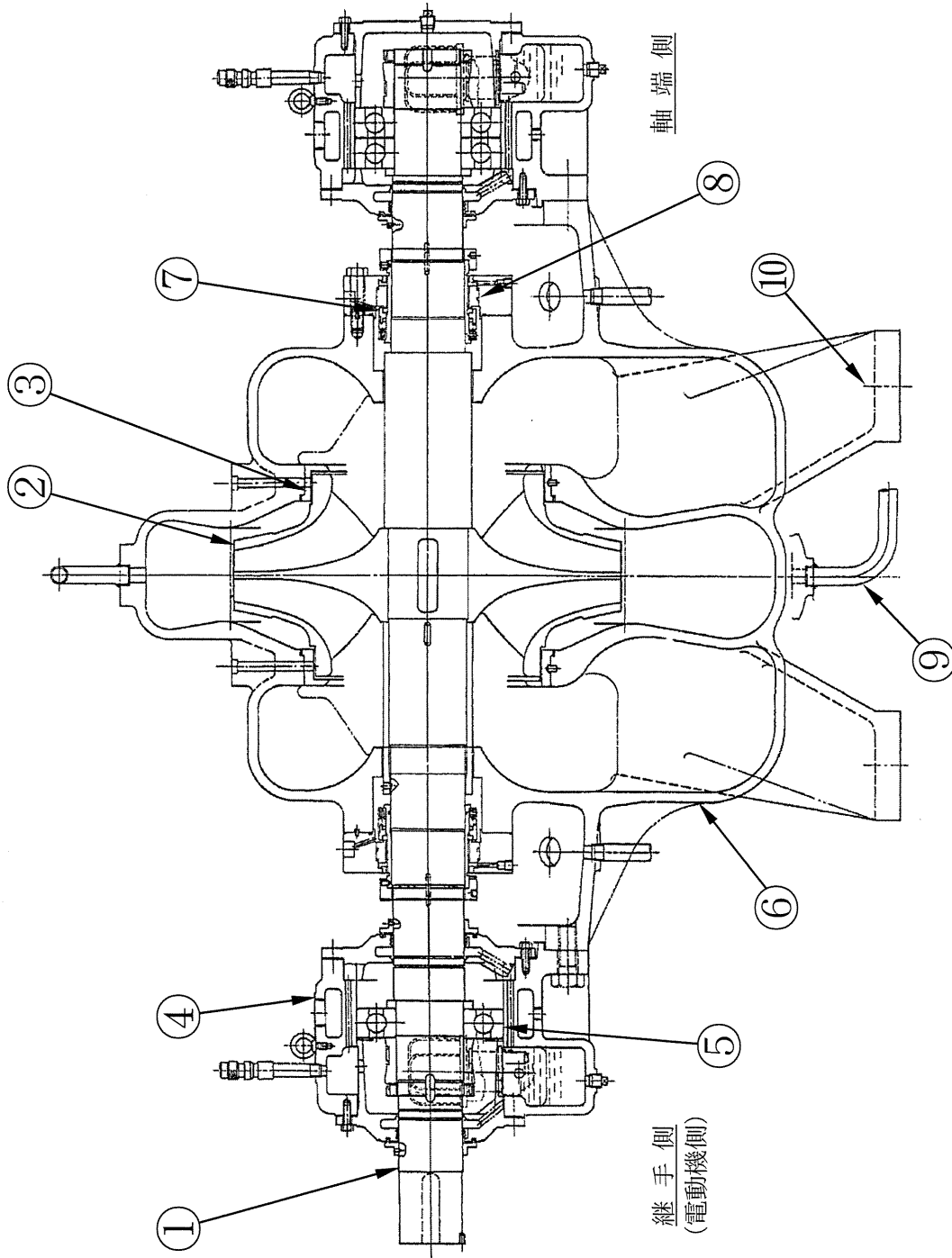


図2.1-4(1/2) 玄海3号炉 原子炉補機冷却水ポンプ構造図

No.	部 位
①	ケーシングボルト
②	ガスケット
③	軸 継 手
④	台 板
⑤	基礎ボルト

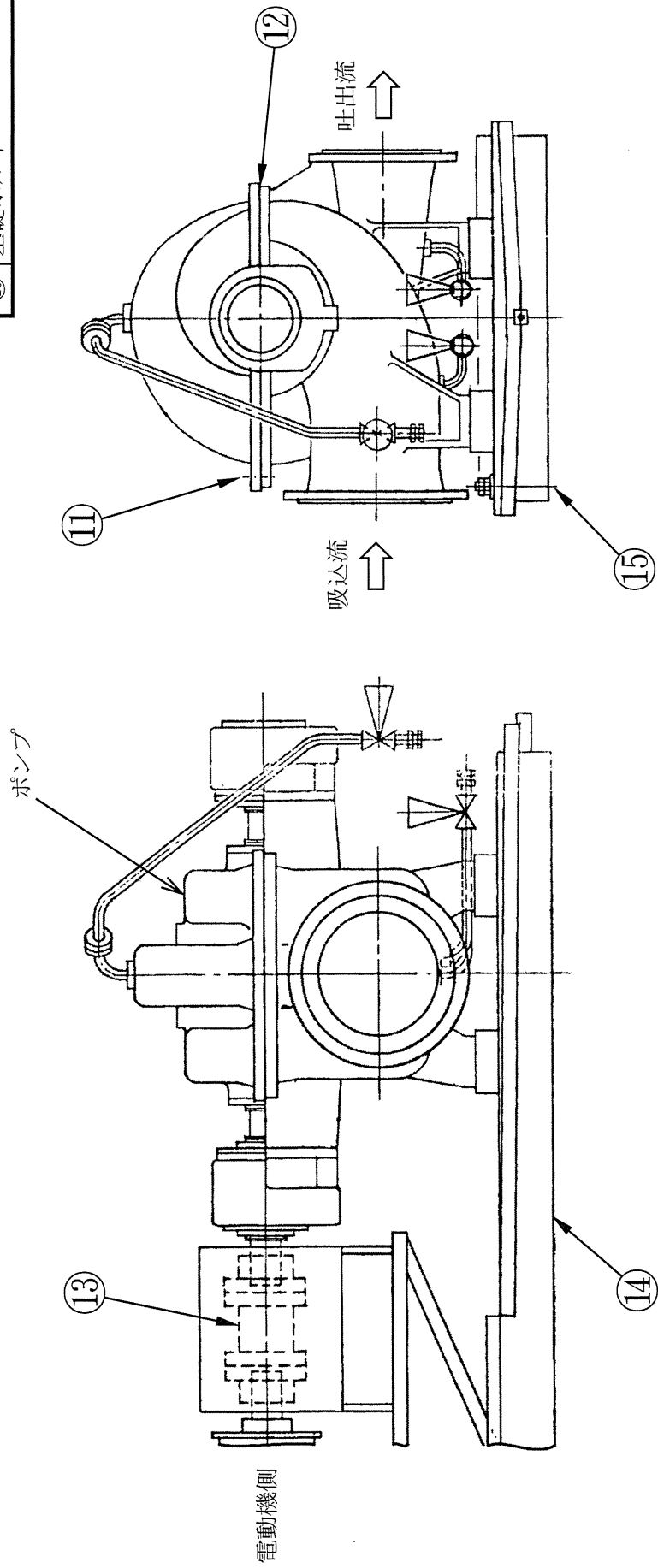


図2.1-4(2/2) 玄海3号炉 原子炉補機冷却水ポンプ構造図

表2.1-7 玄海3号炉 原子炉補機冷却水ポンプ主要部位の使用材料

部 位	材 料
主 軸	ステンレス鋼
羽 根 車	ステンレス鋼鋳鋼
ケーシングリング	消耗品・定期取替品
軸 受 箱	鋳 鉄
軸受（ころがり）	消耗品・定期取替品
ケーシング	炭素鋼鋳鋼
メカニカルシール	消耗品・定期取替品
Ｏリング	消耗品・定期取替品
ケーシングドレン管	炭 素 鋼
取付ボルト	炭 素 鋼
ケーシングボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
軸 継 手	低合金鋼
台 板	炭 素 鋼
基礎ボルト	炭 素 鋼

表2.1-8 玄海3号炉 原子炉補機冷却水ポンプの使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa[gage]
最高使用温度	約95℃
内 部 流 体	ヒドラジン水

2.1.5 電動補助給水ポンプ

(1) 構造

玄海3号炉の電動補助給水ポンプは、よこ置多段のうず巻形である。

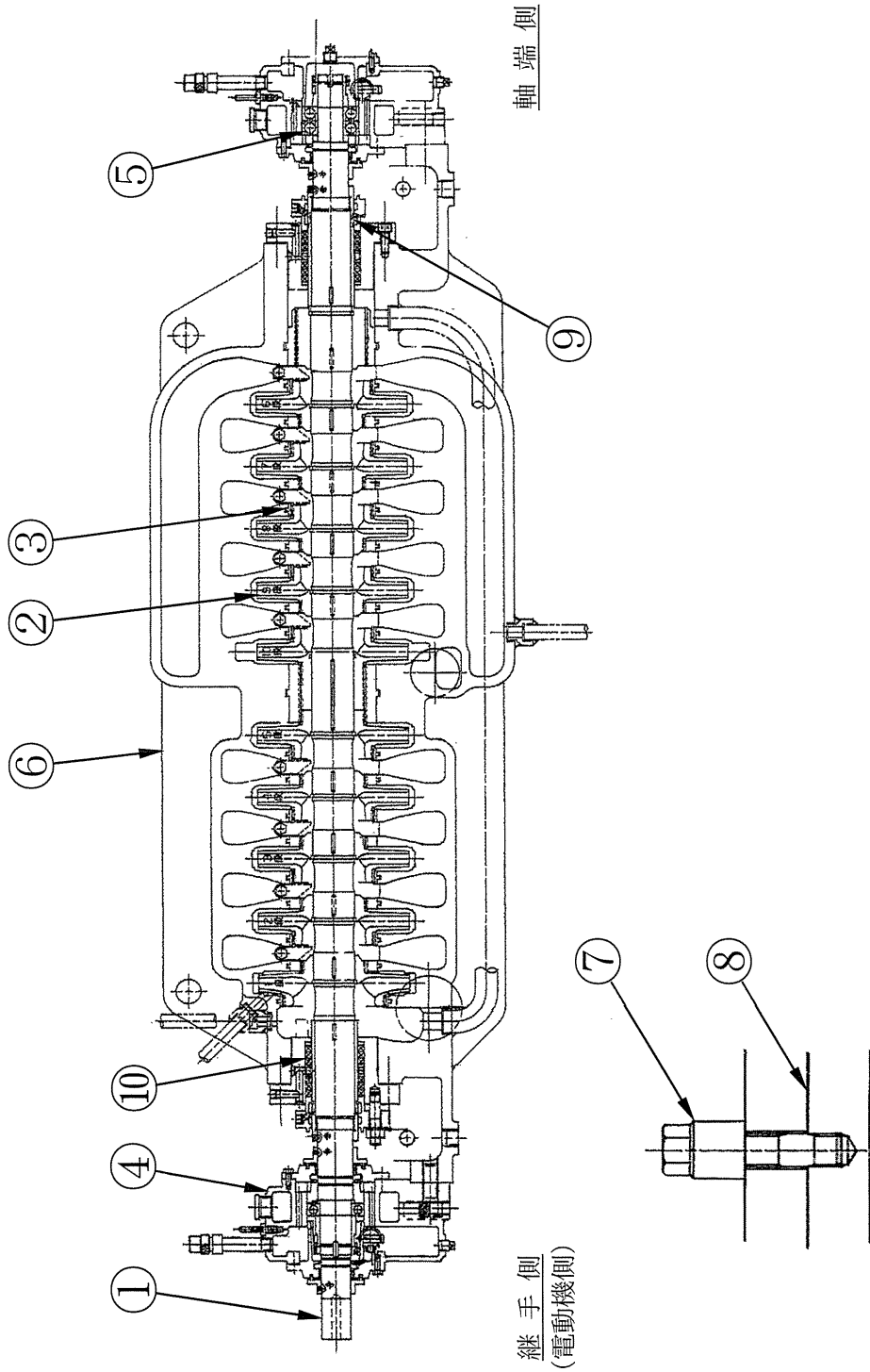
主軸、羽根車、ケーシングにはステンレス鋼又はステンレス鋼鋳鋼を使用しており、それぞれ給水に接液している。

軸封部には、給水の漏れを防止するため、グランドパッキンを使用している。

玄海3号炉の電動補助給水ポンプの構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の電動補助給水ポンプ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	主 軸
②	羽 根 車
③	ケーシングゲリング
④	軸 受 箱
⑤	軸受 (ころがり)
⑥	ケーシング
⑦	ケーシングボルト
⑧	ガスケット
⑨	Oリング
⑩	グラインドパッキン

図2.1-5(1/2) 玄海3号炉 電動補助給水ポンプ構造図

ケーシング合せ面ボルト詳細

No.	部 位
⑪	軸 継 手
⑫	台 板
⑬	取付ボルト
⑭	基礎ボルト

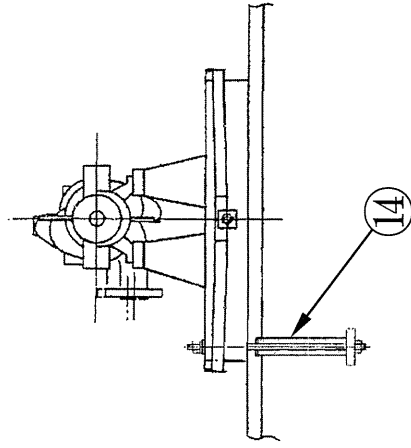
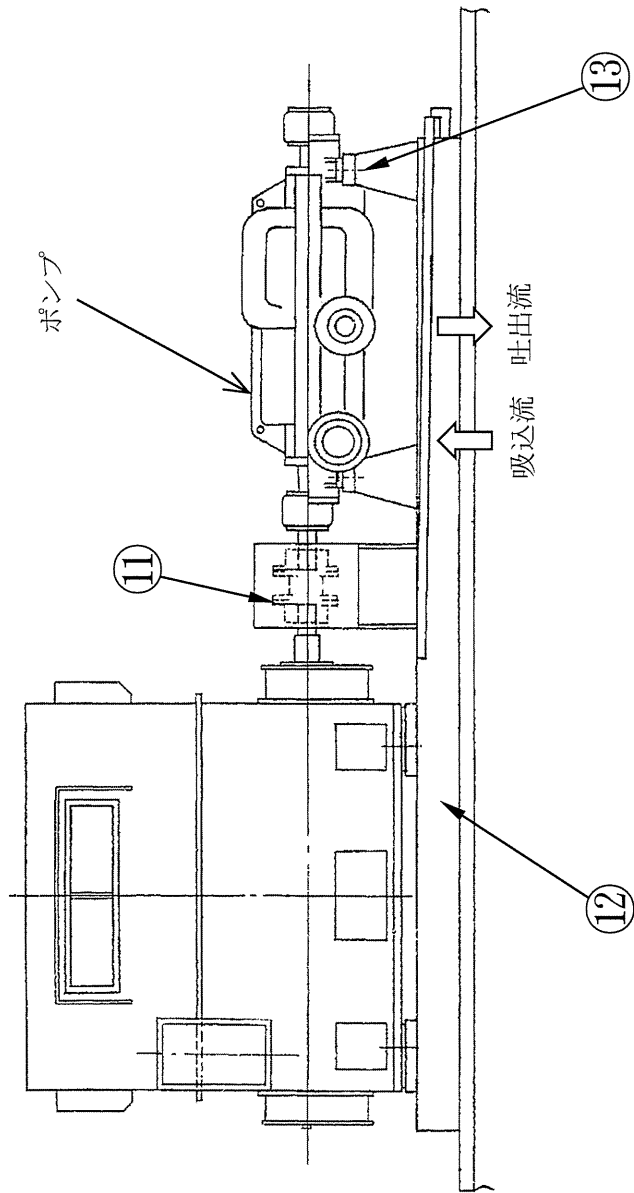


図2.1-5(2/2) 玄海3号炉 電動補助給水ポンプ構造図

表2.1-9 玄海3号炉 電動補助給水ポンプ主要部位の使用材料

部 位	材 料
主 軸	ステンレス鋼
羽 根 車	ステンレス鋼鋳鋼
ケーシングリング	消耗品・定期取替品
軸 受 箱	鋳 鉄
軸受（ころがり）	消耗品・定期取替品
ケーシング	ステンレス鋼鋳鋼
ケーシングボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
Ｏリング	消耗品・定期取替品
グランドパッキン	消耗品・定期取替品
軸 継 手	低合金鋼
台 板	炭 素 鋼
取付ボルト	炭 素 鋼
基礎ボルト	炭 素 鋼

表2.1-10 玄海3号炉 電動補助給水ポンプの使用条件

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

2.1.7 タービン動主給水ポンプ用給水ブースタポンプ

(1) 構造

玄海3号炉のタービン動主給水ポンプ用給水ブースタポンプは、たて置多段のうず巻形である。

主軸にはステンレス鋼、羽根車にはステンレス鋼鋳鋼、ケーシング等には炭素鋼又はステンレス鋼鋳鋼を使用しており、それぞれ給水に接液している。

軸封部には、給水の漏れを防止するため、ブッシュを使用している。

玄海3号炉のタービン動主給水ポンプ用給水ブースタポンプの構造図を図2.1-6に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉のタービン動主給水ポンプ用給水ブースタポンプ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。

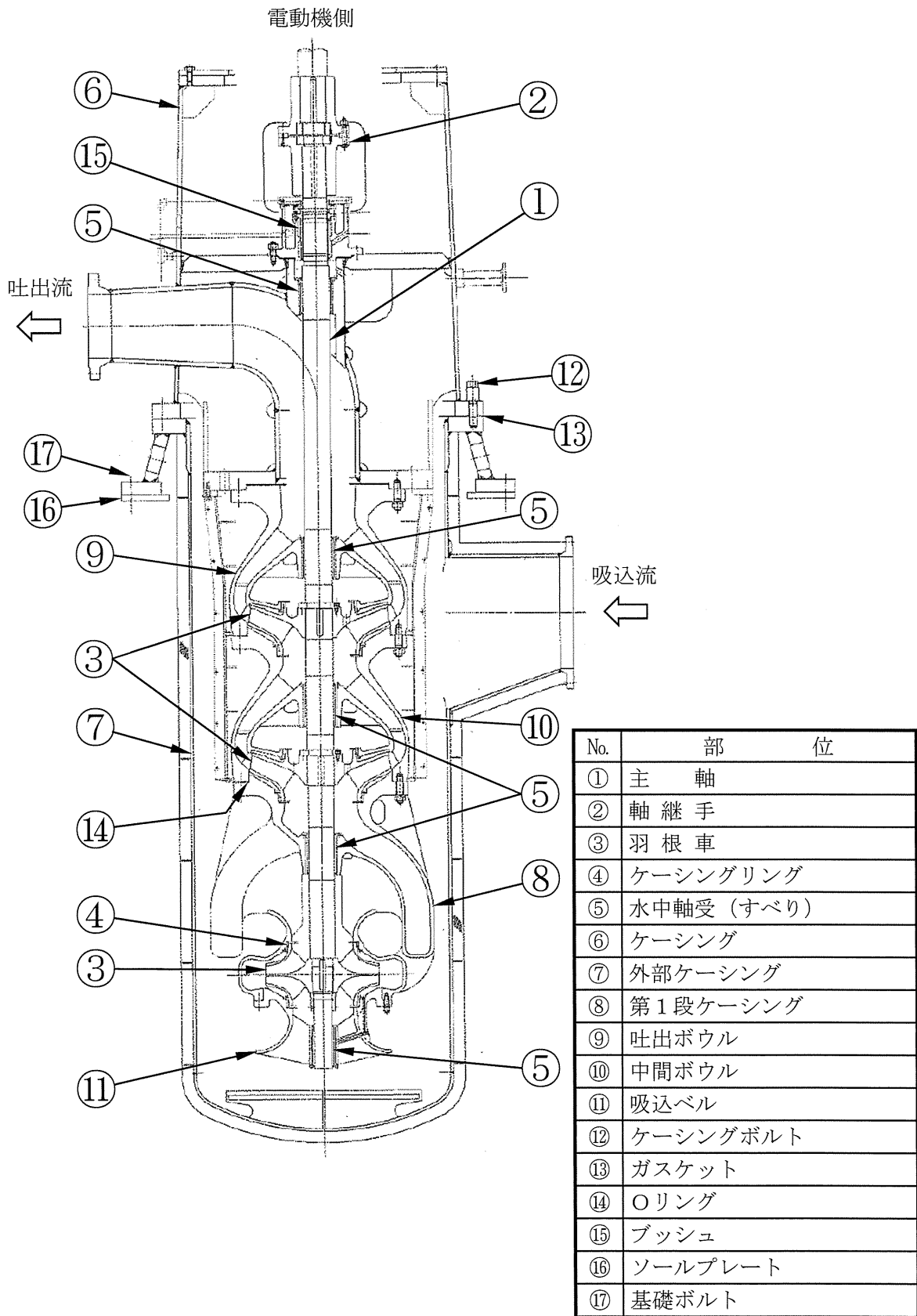


図2.1-6 玄海3号炉 タービン動主給水ポンプ用給水ブースターポンプ構造図

表2.1-11 玄海3号炉 タービン動主給水ポンプ用給水ブースターポンプ主要部位の使用材料

部 位	材 料
主 軸	ステンレス鋼
軸 継 手	炭 素 鋼
羽 根 車	ステンレス鋼鋳鋼
ケーシングリング	消耗品・定期取替品
水中軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
ケーシング	炭 素 鋼
外部ケーシング	炭 素 鋼
第1段ケーシング	ステンレス鋼鋳鋼
吐出ボウル	ステンレス鋼鋳鋼
中間ボウル	ステンレス鋼鋳鋼
吸込ベル	ステンレス鋼鋳鋼
ケーシングボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
Oリング	消耗品・定期取替品
ブッシュ	消耗品・定期取替品
ソールプレート	炭 素 鋼
基礎ボルト	炭 素 鋼

表2.1-12 玄海3号炉 タービン動主給水ポンプ用給水ブースターポンプの使用条件

最高使用圧力	約4.1MPa[gage]
最高使用温度	約200℃
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

ターボポンプの機能である送水機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① ポンプの容量－揚程確保
- ② バウンダリの維持
- ③ 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

ターボポンプ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) ケーシング（ケーシングカバーを含む）の疲労割れ [余熱除去ポンプ]

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、特に肉厚が大きく拘束されているケーシング及びケーシングカバーにおいては、材料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2.2-6で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 主軸の摩耗 [共通]

ころがり軸受を使用しているポンプについては、軸受と主軸の接触面で摩耗が想定される。

軸受の定期取替時の軸受引き抜き時に主軸表面にわずかな線形模様が生じることもあり、主軸表面をサンドペーパーで仕上げる方策も考えられる。この場合は、主軸表面がわずかに摩耗し、主軸と軸受間で微小隙間が生じ運転中にフレットイングにより摩耗する可能性がある。

しかしながら、分解点検時の寸法管理によりフレットイングが発生しないようにしており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

すべり軸受を使用しているポンプについては、軸受と主軸の接触面で摺動摩耗が想定される。

しかしながら、設計段階において、主軸と軸受間に潤滑剤を供給し、膜を形成させて流体潤滑状態となるように考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

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

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(2) 主軸、吐出管等接液部の腐食（孔食及び隙間腐食） [海水ポンプ]

主軸、吐出管等は、ステンレス鋼又はステンレス鋼鋳鋼であり、海水接液部においては孔食及び隙間腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時の目視確認により各部の腐食の有無又は塗装の劣化の有無を確認し、腐食が発生している部位は、手入れや充てん材等による補修を行い、腐食が著しく発生している部位については、取替えを実施している。また、塗装のはく離が認められた場合には必要に応じて補修を行うことにより、機器の健全性を維持している。

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

(3) 主軸のフレット疲労割れ

[充てんポンプ、余熱除去ポンプ、電動補助給水ポンプ]

ポンプ運転時の主軸に外部荷重に起因する繰返し曲げ応力が作用したとき、その応力の働いている方向や大きさによっては、主軸等に疲労割れが生じる可能性があり、焼きばめにより羽根車が固定されている主軸においてフレット疲労割れが想定される。

1986年10月、玄海1号炉の余熱除去ポンプの主軸と羽根車の焼きばめ部において、フレット疲労による主軸の疲労割れが発生している。

しかしながら、「金属材料疲れ強さの設計資料（(社)日本機械学会）」から最も厳しい下限線を 10^{11} 回まで外挿し設定した疲労限と曲げ応力振幅との比較により評価した結果、曲げ応力振幅は疲労限を下回っており、フレット疲労割れが問題となる可能性はないと判断している。

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

なお、巡視点検時の振動確認（通常運転時の振動状態と差異のないことの触診や目視による確認）及び定期的な振動確認（変位、速度、加速度の測定等）並びに分解点検時の超音波探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(4) 主軸の高サイクル疲労割れ [共通]

ポンプ運転時には主軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下において繰返し応力を受けると段付部等の応力集中部において、高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、ポンプ設計時には高サイクル疲労を考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

川内1号炉及び玄海3号炉を始めとする国内PWRプラントで発生したターボポンプ主軸折損に係る事例は、製作施工段階での主軸の段付き溝部コーナーの曲率半径不足と主軸の振動を拡大させる運用が重畳したものであり、玄海3号炉の充てんポンプについては、応力集中を緩和した主軸への取替え及び運用の改善を図るとともに、充てんポンプ以外のポンプについては、同様の事例が発生し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、巡視点検時の振動確認（通常運転時の振動状態と差異のないことの触診や目視による確認）、定期的な振動確認（変位、速度、加速度の測定等）並びに分解点検時の応力集中部に対する目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(5) 羽根車の腐食（キャビテーション） [共通]

ポンプの内部では流速と圧力が場所により大きく変化するが、ある点の圧力がその液温における飽和蒸気圧まで低下すると、その部分の液体が沸騰し、蒸気泡の発生と崩壊が起こることが想定される。

しかしながら、ポンプ及び機器配置の設計時にはキャビテーションを考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 軸受箱の腐食（全面腐食）

[充てんポンプ、余熱除去ポンプ、原子炉補機冷却水ポンプ、電動補助給水ポンプ]

軸受箱は鋳鉄であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、内面については内部流体が油で腐食が発生し難い環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 潤滑油ユニットの腐食（全面腐食）[充てんポンプ]

潤滑油ユニットは炭素鋼又は鋳鉄を使用しており、腐食が想定される。

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

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

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

一方、内面については内部流体が油又はヒドラジン水（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、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(8) 増速機歯車の摩耗 [充てんポンプ]

増速機の歯車は潤滑油により摩耗を防止しているが、直径の異なる歯車を組み合せ使用しており、歯車の歯面は接触により動力が伝達されるため、面圧条件により摩耗が想定される。

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

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

(9) 増速機ケーシングの腐食（全面腐食） [充てんポンプ]

増速機ケーシングは鋳鉄であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、内面については歯車及び軸受を潤滑するため、潤滑油がケーシング内面にはねかけられる油霧囲気下で腐食が発生し難い環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(10) ステンレス鋼使用部位の応力腐食割れ [余熱除去ポンプ]

余熱除去ポンプのケーシング等はステンレス鋼鋳鋼又はステンレス鋼であり、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、余熱除去ポンプは、定期検査時に飽和溶存酸素濃度(最大約8ppm)の流体が流入する際は流体温度が低い(最高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、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(11) ケーシング等の腐食(全面腐食)

[原子炉補機冷却水ポンプ、タービン動主給水ポンプ用給水ブースタポンプ]

ケーシング等は炭素鋼又は炭素鋼鋳鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、内面については内部流体がヒドラジン水(防錆剤注入水)又はpH等を管理した脱気水(給水)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、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(12) ケーシングボルトの腐食（全面腐食）

[充てんポンプ、余熱除去ポンプ、原子炉補機冷却水ポンプ、電動補助給水ポンプ、タービン動主給水ポンプ用給水ブースタポンプ]

ケーシングボルトは低合金鋼であり、ガスケット又はOリング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。

(13) 台板等の腐食（全面腐食）[海水ポンプを除くポンプ共通]

台板等は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗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。

(14) 取付ボルトの腐食（全面腐食）

[充てんポンプ、余熱除去ポンプ、原子炉補機冷却水ポンプ、電動補助給水ポンプ]

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。

(15) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔海水ポンプを除くポンプ共通〕

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

2.2.4 消耗品及び定期取替品

軸シール（メカニカルシール及びグランドパッキン）、Oリング、軸受（ころがり）及び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、軸受（すべり）、ケーシングリング及びブッシュは分解点検時の目視確認や寸法計測の結果に基づき取り替えている消耗品である。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 海水ポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定期 取替 品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考	
				減 耗		腐 食	割 れ		材 質 変 化		そ の 他
				摩 耗	疲 勞 割 れ		疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕			
ポンプの容量一揚程 確保	主 軸		耐食ステンレス鋼	△		△ ^{*1}	△ ^{*2}				*1：孔食及び隙間 腐食 *2：高サイクル疲労割れ *3：キャビテーション
	軸 継 手		炭 素 鋼			△ ^{*1}					
	中間軸継手		耐食ステンレス鋼			△ ^{*1}					
	羽 根 車		耐食ステンレス鋼 鋼 鋳 鋼			△ ^{*1} △ ^{*3}					
	ケーシンググリング	◎	—								
	水中軸受 (すべり)	◎	—								
	吐出曲管		耐食ステンレス鋼 鋼 鋳 鋼			△ ^{*1}					
	吐 出 管		耐食ステンレス鋼 鋼 鋳 鋼			△ ^{*1}					
	案内羽根		耐食ステンレス鋼 鋼 鋳 鋼			△ ^{*1}					
	吸 込 口		耐食ステンレス鋼 鋼 鋳 鋼			△ ^{*1}					
バウンダリの維持	中間軸受箱		耐食ステンレス鋼 鋼 鋳 鋼			△ ^{*1}					
	軸 受 箱		耐食ステンレス鋼 鋼 鋳 鋼			△ ^{*1}					
	ケーシングボルト		ステンレス鋼			△ ^{*1}					
	ガスケット	◎	—								
	Oリング	◎	—								
	グラインドパッキン	◎	—								
	握 付 板		ステンレス鋼								
	取付ボルト		ステンレス鋼								
	基礎ボルト		ステンレス鋼								
	振れ止め台		ステンレス鋼 鋼 鋳 鋼			△ ^{*1}					
機器の支持	振れ止めボルト		ステンレス鋼			△ ^{*1}					
	振れ止め台用基礎ボルト		ステンレス鋼			△ ^{*1}					

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-2 玄海3号炉 充てんポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減摩	肉腐	割食	劣化		その他		
							疲労割れ	応力腐蝕割れ			熱時効
ポンプの容量一揚程確保	主軸		ステンレス鋼	△			△ ^{*1} △ ^{*2}				*1：フレッキング、疲労割れ *2：高サイクル疲労割れ *3：キャビテーション
	羽根車		ステンレス鋼/鋳鋼								
	ケーシングリング	◎	—					△ ^{*3}			
	軸受箱		鋳鉄					△			
	軸受(すべり)	◎	—								
	軸継手(ポンプ側)		低合金鋼								
	軸継手(電動機側)		低合金鋼								
	潤滑油ユニット		炭素鋼 鋳鉄					△			
	増速機歯車		低合金鋼	△							
	増速機軸受(すべり)	◎	—								
	増速機ケーシング		鋳鉄					△			
	ケーシング		低合金鋼 (内面ワグ/鋼内張り)								
	バウングダリの維持	ケーシングカバナー		低合金鋼 (内面ワグ/鋼内張り)							
ケーシングボルト			低合金鋼					△			
メカニカルシール		◎	—								
ガスケット		◎	—								
Oリング		◎	—								
ケーシングドレイン管			ステンレス鋼								
バランスマン			ステンレス鋼								
メカニカルキー			ステンレス鋼								
台板			炭素鋼					△			
取付ボルト			炭素鋼					△			
機器の支持	基礎ボルト		炭素鋼					△			

△：高経年劣化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-3 玄海3号炉 余熱除去ポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定期取 替 品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考
				減 耗	腐 食	割 れ		材 質 変 化	そ の 他	
						疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕			
ポンプの容量一揚程 確保	主 軸		ステンレス鋼	△		△ ^{*1} △ ^{*2}				*1：フレットイング、疲労割れ *2：高サイクル疲労割れ *3：キヤビテーション
	軸 継 手		低合金鋼							
	羽 根 車		ステンレス鋼、鋳鋼		△ ^{*3}					
	ケーシングリング	◎	—							
	軸 受 箱		鋳 鉄		△					
	軸受（ころがり）	◎	—							
	ケーシング		ステンレス鋼、鋳鋼			○	△			
	ケーシングカバー		ステンレス鋼、鋳鋼			○	△			
	ケーシングボルト		低合金鋼		△					
	メカニカルシール	◎	—							
ガスケット	◎	—								
オリング	◎	—								
ケーシングドレン管			ステンレス鋼				△			
メカニカルクーラ			ステンレス鋼							
台 板			炭 素 鋼		△					
取付ボルト			炭 素 鋼		△					
基礎ボルト			炭 素 鋼		△					
機器の支持										

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-4 玄海3号炉 原子炉補機冷却水ポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・定期取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考	
				減 耗	腐 食	割 れ		材 質 変 化			そ の 他
						摩 耗	疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕	熱 時 効		
ポンプの容量一揚程確保	主 軸		ステンレス鋼	△			△*1				*1：高サイクル疲労割れ *2：キャビテーション
	軸 継 手		低合金鋼								
	羽 根 車		ステンレス鋼/鋳鋼				△*2				
	ケーシンググリンド	◎	—								
	軸 受 箱		鋳 鉄				△				
	軸受（ころがり）	◎	—								
	ケーシング		炭素鋼/鋳鋼				△				
バウダリの維持	ケーシングボルト		低合金鋼				△				
	メカニカルシール	◎	—								
	ガスケット	◎	—								
	Oリング	◎	—								
	ケーシングドレン管		炭 素 鋼				△				
機器の支持	台 板		炭 素 鋼				△				
	取付ボルト		炭 素 鋼				△				
	基礎ボルト		炭 素 鋼				△				

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-5 玄海3号炉 電動補助給水ポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定期 取替 品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考	
				減 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		
ポンプの容量一揚程 確保	主 軸		ステンレス鋼	△			△ ^{*1} △ ^{*2}				*1：フレットインクが疲労割れ *2：高サイクル疲労割れ *3：キャビテーション
	軸 継 手		低合金鋼								
	羽 根 車		ステンレス鋼/鋳鋼			△ ^{*3}					
	ケーシングリング	◎	—								
	軸 受 箱		鋳 鉄			△					
	軸受（ころがり）	◎	—								
	ケーシング		ステンレス鋼/鋳鋼								
	ケーシングボルト		低合金鋼			△					
	ガスケット	◎	—								
	Oリング	◎	—								
グラインドパッキン	◎	—									
機器の支持	台 板		炭 素 鋼			△					
	取付ボルト		炭 素 鋼			△					
	基礎ボルト		炭 素 鋼			△					

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-6 玄海3号炉タービン動主給水ポンプ用給水ブラスターポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減摩	肉腐	割れ		材質変化	その他		
						疲労割れ	応力腐蝕割れ				
											熱時効
ポンプの容量一揚程確保	主軸		ステンレス鋼	△		△ ^{*1}					*1：高サイクル疲労割れ *2：キャビテーション
	軸継手		炭素鋼								
	羽根車		ステンレス鋼鋳鋼		△ ^{*2}						
	ケーシングリング	◎	—								
	水中軸受(すべり)	◎	—								
	ケーシング		炭素鋼		△						
	外部ケーシング		炭素鋼		△						
	第1段ケーシング		ステンレス鋼鋳鋼								
	吐出ボウル		ステンレス鋼鋳鋼								
	中間ボウル		ステンレス鋼鋳鋼								
吸込ベール		ステンレス鋼鋳鋼									
ケーシングボルト		低合金鋼		△							
ガスケット	◎	—									
Oリング	◎	—									
ブッシュ	◎	—									
ソールプレート			炭素鋼		△						
基礎ボルト			炭素鋼		△						

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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 ケーシング（ケーシングカバーを含む）の疲労割れ [余熱除去ポンプ]

a. 事象の説明

ケーシングは、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

ケーシング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。

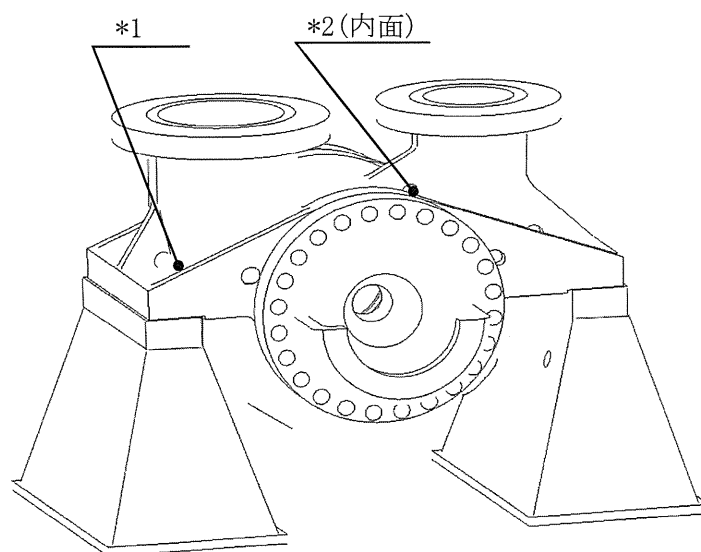
評価対象部位を図2.3-1に示す。

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。

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）

*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 余熱除去ポンプ ケーシング疲労評価対象部位

表2.3-1 玄海3号炉 余熱除去ポンプ ケーシング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 時点での推定値
起 動	23	60
停 止	22	60
1次系漏えい試験	21	59

表2.3-2 玄海3号炉 余熱除去ポンプ ケーシングの疲労評価結果

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
吸込ノズル (図2.3-1参照)	0.028	0.012

② 現状保全

ケーシングの疲労割れに対しては、定期的な目視確認により、有意な割れがないことを確認している。さらに、高経年化技術評価に合わせて、実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、疲労割れ発生の可能性はないと考える。

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

また、疲労割れは目視確認に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

ケーシング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 高圧注入ポンプ
- ② 格納容器スプレイポンプ
- ③ 燃料取替用水ポンプ
- ④ ほう酸ポンプ
- ⑤ 1次系補助蒸気復水ポンプ
- ⑥ タービン動補助給水ポンプ
- ⑦ 電動主給水ポンプ
- ⑧ タービン動主給水ポンプ
- ⑨ 復水ブースタポンプ
- ⑩ 湿分分離器ドレンポンプ
- ⑪ 常設電動注入ポンプ
- ⑫ 電動主給水ポンプ用給水ブースタポンプ
- ⑬ 低圧給水加熱器ドレンポンプ

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 ケーシング（ケーシングカバー含む）の疲労割れ

代表機器では、起動・停止及び負荷変化時に発生する熱応力により、材料に疲労が蓄積することが考えられる。

一方、代表機器以外のターボポンプについては、疲労割れが問題となるような温度変化を受けないことから、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 主軸の摩耗〔共通〕

ころがり軸受を使用しているポンプについては、軸受と主軸の接触面で摩耗が想定される。

軸受の定期取替時の軸受引き抜き時に主軸表面にわずかな線形模様が生じることもあり、主軸表面をサンドペーパーで仕上げる方策も考えられる。この場合は、主軸表面がわずかに摩耗し、主軸と軸受間で微小隙間が生じ運転中にフレットニングにより摩耗する可能性がある。

しかしながら、分解点検時の寸法管理によりフレットニングが発生しないようにしており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

すべり軸受を使用しているポンプについては、軸受と主軸の接触面で摺動摩耗が想定される。

しかしながら、設計段階において、主軸と軸受間に潤滑剤を供給し、膜を形成させて流体潤滑状態となるように考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

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

なお、分解点検時の目視確認や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

3.2.2 主軸のフレット疲労割れ

[高圧注入ポンプ、格納容器スプレイポンプ、タービン動補助給水ポンプ、電動主給水ポンプ、タービン動主給水ポンプ、復水ブースタポンプ、湿分分離器ドレンポンプ]

ポンプ運転時の主軸に外部荷重に起因する繰返し曲げ応力が作用したとき、その応力の働いている方向や大きさによっては、主軸等に疲労割れが生じる可能性があり、焼きばめにより羽根車が固定されている主軸においてフレット疲労割れが想定される。

1986年10月、玄海1号炉の余熱除去ポンプの主軸と羽根車の焼きばめ部においてフレット疲労による主軸の疲労割れが発生している。

しかしながら、「金属材料疲れ強さの設計資料（(社)日本機械学会）」から最も厳しい下限線を 10^{11} 回まで外挿し設定した疲労限と曲げ応力振幅との比較により評価した結果、曲げ応力振幅は疲労限を下回っている、あるいは60年運転の繰返し回数が曲げ応力振幅での許容繰返し回数を下回っていることから、フレット疲労割れが問題となる可能性はないと判断している。

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

なお、巡視点検時の振動確認（通常運転時の振動状態と差異のないことの触診や目視による確認）及び定期的な振動確認（変位、速度、加速度の測定等）により機器の健全性を確認している。

3.2.3 主軸の高サイクル疲労割れ [共通]

ポンプ運転時には主軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下において繰返し応力を受けると段付部等の応力集中部において、高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、ポンプ設計時には高サイクル疲労を考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

川内1号炉及び玄海3号炉を始めとする国内PWRプラントで発生したターボポンプ主軸折損に係る事例は、製作施工段階での主軸の段付き溝部コーナーの曲率半径不足と主軸の振動を拡大させる運用が重畳したものであり、玄海3号炉の充てんポンプ以外のポンプについては、同様の事例が発生し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、巡視点検時の振動確認（通常運転時の振動状態と差異のないことの触診や目視による確認）、定期的な振動確認（変位、速度、加速度の測定等）並びに分解点検時の応力集中部に対する目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

3.2.4 羽根車の腐食（キャビテーション） [共通]

ポンプの内部では流速と圧力が場所により大きく変化するが、ある点の圧力がその液温における飽和蒸気圧まで低下すると、その部分の液体が沸騰し、蒸気泡の発生と崩壊が起こることが想定される。

しかしながら、ポンプ及び機器配置の設計時にはキャビテーションを考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.5 軸受箱の腐食（全面腐食）

[高圧注入ポンプ、格納容器スプレイポンプ、燃料取替用水ポンプ、ほう酸ポンプ、1次系補助蒸気復水ポンプ、タービン動補助給水ポンプ、電動主給水ポンプ、タービン動主給水ポンプ、復水ブースタポンプ、湿分分離器ドレンポンプ、常設電動注入ポンプ]

軸受箱は鋳鉄であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、内面については内部流体が油で腐食が発生し難い環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.6 軸継手の摩耗 [電動主給水ポンプ、復水ブースタポンプ]

歯車型軸継手は、歯面によりトルクを伝達するため、摩耗が想定される。

しかしながら、歯面はグリス封入により潤滑し、摩耗が発生し難い環境であり、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.7 潤滑油ユニットの腐食（全面腐食）

[高圧注入ポンプ、タービン動補助給水ポンプ、電動主給水ポンプ、復水ブースタポンプ]

潤滑油ユニットは炭素鋼又は鋳鉄を使用しており、腐食が想定される。

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

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

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

一方、内面については内部流体が油又はヒドラジン水（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、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 増速機歯車の摩耗 [電動主給水ポンプ]

増速機の歯車は潤滑油により摩耗を防止しているが、直径の異なる歯車を組み合わせ使用しており、歯車の歯面は接触により動力が伝達されるため、面圧条件により摩耗が想定される。

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

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

3.2.9 増速機ケーシングの腐食（全面腐食）〔電動主給水ポンプ〕

増速機ケーシングは鋳鉄であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、内面については歯車及び軸受を潤滑するため、潤滑油がケーシング内面にはねかけられる油霧囲気下で腐食が発生し難い環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.10 ケーシング等の腐食（全面腐食）

〔電動主給水ポンプ、タービン動主給水ポンプ、電動主給水ポンプ用給水ブースタポンプ、低圧給水加熱器ドレンポンプ〕

ケーシング等は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、内面については内部流体がpH等を管理した脱気水（給水）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、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.11 ケーシング等の腐食（全面腐食）

[1次系補助蒸気復水ポンプ]

ケーシング等は、炭素鋼・鋳鋼であり、腐食が想定される。

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

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

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

一方、内面については内部流体が飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）の流体であるため、長期使用により腐食が想定されるが、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。

3.2.12 ケーシングボルトの腐食（全面腐食）

[燃料取替用水ポンプ、ほう酸ポンプ、常設電動注入ポンプを除くポンプ共通]

ケーシングボルトは低合金鋼又は炭素鋼であり、ガスケット又はOリング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。

3.2.13 台板等の腐食（全面腐食）[共通]

台板等は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗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。

3.2.14 取付ボルトの腐食（全面腐食）

[高圧注入ポンプ、格納容器スプレイポンプ、燃料取替用水ポンプ、ほう酸ポンプ、1次系補助蒸気復水ポンプ、タービン動補助給水ポンプ、電動主給水ポンプ、タービン動主給水ポンプ、復水ブースタポンプ、湿分分離器ドレンポンプ]

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。

3.2.15 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。

2 1次冷却材ポンプ

[対象機器]

- ① 1次冷却材ポンプ

目 次

1. 対象機器	1
2. 1次冷却材ポンプの技術評価	2
2.1 構造、材料及び使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	5
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	11

1. 対象機器

玄海3号炉で使用されている1次冷却材ポンプの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 玄海3号炉 1次冷却材ポンプの主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件		
		運 転	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
1次冷却材ポンプ (4)	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次冷却材ポンプの技術評価

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 1次冷却材ポンプ

(1) 構造

玄海3号炉の1次冷却材ポンプは、斜流形である。

主軸、羽根車、ケーシング等にはステンレス鋼又はステンレス鋼鑄鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。

軸封部には、1次冷却材の漏れを防止するため、No.1～No.3の3つのシールを使用している。

玄海3号炉の1次冷却材ポンプの構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の1次冷却材ポンプの使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。

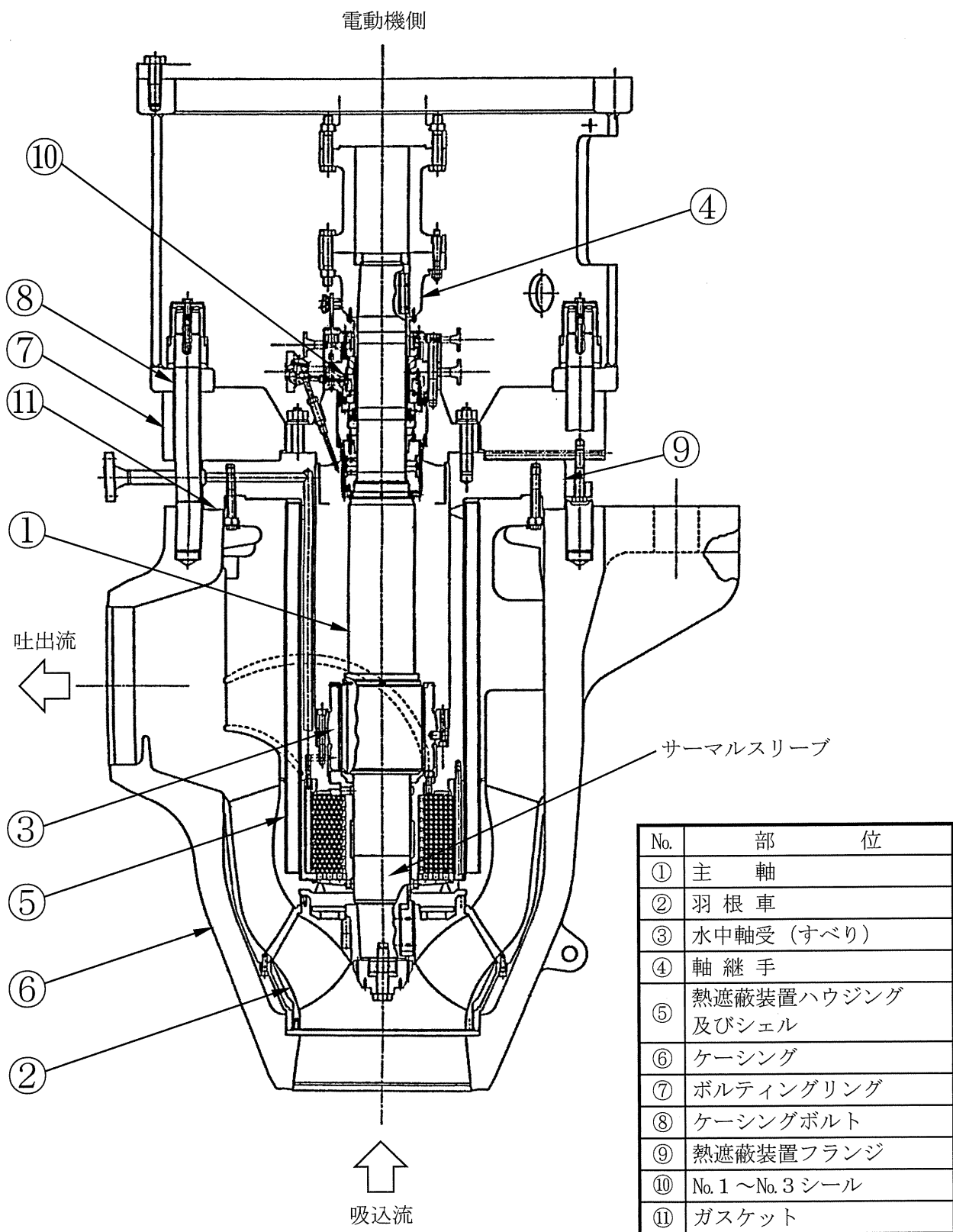


図2.1-1 玄海3号炉 1次冷却材ポンプ構造図

表2.1-1 玄海3号炉 1次冷却材ポンプ主要部位の使用材料

部 位	材 料
主 軸	ステンレス鋼
羽 根 車	ステンレス鋼鋳鋼
水中軸受 (すべり)	消耗品・定期取替品
軸 継 手	低合金鋼
熱遮蔽装置ハウジング 及びシエル	ステンレス鋼
ケーシング	ステンレス鋼鋳鋼
ボルティングリング	低合金鋼
ケーシングボルト	低合金鋼
熱遮蔽装置フランジ	ステンレス鋼
No.1～No.3 シール	消耗品・定期取替品
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-2 玄海3号炉 1次冷却材ポンプの使用条件

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

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

1次冷却材ポンプの機能である送水機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① ポンプの容量－揚程確保
- ② 作動信頼性の維持
- ③ 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次冷却材ポンプについて、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）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) ケーシングの疲労割れ

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

(2) ケーシングの熱時効

ケーシング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△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 主軸の摩耗

主軸は回転中に熱遮蔽装置と接触する可能性があり、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の主軸の振れ計測や主軸当該部の直径計測により、機器の健全性を維持している。

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

(2) 主軸の高サイクル疲労割れ

ポンプ運転時には、主軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下で繰り返し応力を受けると段付部等の応力集中部において、高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、ポンプ設計時には高サイクル疲労を考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

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

なお、試運転時及び機能確認時における振動確認並びに分解点検時の応力集中部に対する目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(3) 主軸の疲労割れ

主軸上部は低温の軸封水、主軸下部は高温の1次冷却材に接液しており、両者の混合部に温度変動が発生して主軸表面の疲労割れが想定される。

BWRプラントの原子炉再循環ポンプ主軸で損傷事例がある。

しかしながら、1次冷却材ポンプは、この熱的に厳しい混合部の主軸表面に温度変動を吸収するためのサーマルスリーブを設置し、1次冷却材ポンプの機能を損なうことのないよう主軸を保護する構造となっている。

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

なお、試運転時及び機能確認時における振動確認並びに分解点検時の応力集中部に対する目視確認や浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(4) 羽根車の摩耗

羽根車は回転中に静止部と接触する可能性があり、摩耗が想定される。

しかしながら、分解点検時の羽根車当該部の直径計測により、機器の健全性を維持している。

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

(5) 羽根車の腐食（キャビテーション）

ポンプの内部では流速と圧力が場所により大きく変化するが、ある点の圧力がその液温における飽和蒸気圧まで低下すると、その部分の液体が沸騰し、蒸気泡の発生と崩壊が起こることが想定される。

しかしながら、キャビテーションを起こさない条件はポンプ及び機器配置設計段階において考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 羽根車の熱時効

羽根車はステンレス鋼(2相ステンレス鋼)であり、使用温度が約289℃と高いため、熱時効による材料の特性変化が想定される。

しかしながら、羽根車は耐圧部ではなく運転中に発生する応力は小さく、き裂の原因となる経年劣化事象の発生が想定されない。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 熱遮蔽装置のハウジング、シェル及びフランジの疲労割れ

熱遮蔽装置のハウジング、シェル及びフランジの高温水接液部において疲労割れが想定される。

1990年、仏国のフェッセンハイム(Fessenheim)発電所2号炉において、ポンプの供用期間中検査を行った際、1次冷却材ポンプ(93D型)の熱遮蔽装置ハウジング内側側面及びフランジ下面(ハウジング付根部内側)に欠陥があることが目視にて確認された。その後の点検においても、仏国国内の類似プラントにおいて同様の損傷が認められている。

この型式の1次冷却材ポンプは、通常運転時、熱遮蔽装置ハウジング内部は軸封水で満たされているので低温となり、熱遮蔽装置ハウジング外部は1次冷却材に接しているため高温となる。

一方、玄海3号炉の1次冷却材ポンプ(93A-1型)の熱遮蔽装置は、熱遮蔽装置ハウジングが直接高温水に接しない構造となっている。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(8) ケーシングボルトの腐食（全面腐食）

ケーシングボルトは、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。

2.2.4 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、水中軸受（すべり）及びNo.1～No.3 シールは分解点検時の目視確認や寸法計測の結果に基づき取り替える消耗品であり、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 1次冷却材ポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・定期取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象							備 考	
				減 肉		割 れ		材 質 変 化		その他		
				摩 耗	腐 食	疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕	熱 時 効	劣 化			
ポンプの容量一揚程確保	主 軸		ステンレス鋼	△		△ ^{*1} △ ^{*2}						*1：高サイクル疲労割れ *2：疲労割れ *3：キャビテーション
	羽 根 車		ステンレス鋼鋳鋼	△				△				
	水中軸受 (すべり)	◎	—									
作動信頼性の維持	軸 継 手		低合金鋼									
	熱遮蔽装置ハウジング及び ビシエル		ステンレス鋼			△						
バウンダリの維持	ケーシング		ステンレス鋼鋳鋼			○			○			
	ボルトイングリッド		低合金鋼									
	ケーシングボルト		低合金鋼				△					
	熱遮蔽装置アラジ		ステンレス鋼						△			
	No.1～No.3 シール	◎	—									
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）

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 ケーシングの疲労割れ

a. 事象の説明

ケーシングは、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

ケーシングに発生する応力については、構造が不連続で、かつ肉厚が大きいため比較的大きな熱応力の発生する吸込ノズル、吐出ノズル及び脚部を対象として「(社)日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007)」に基づき評価を行った。

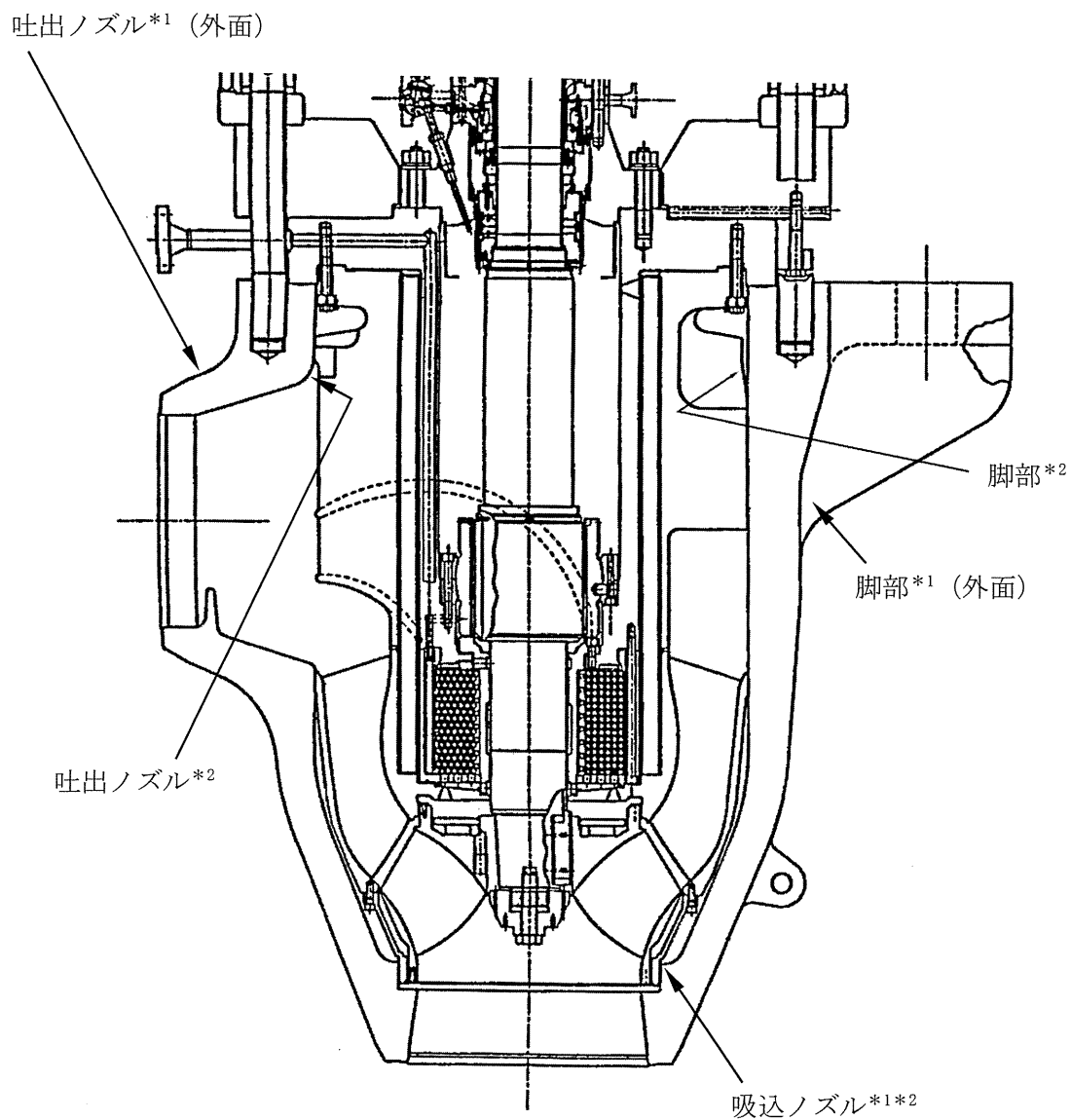
評価対象部位を図2.3-1に示す。

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。

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 1次冷却材ポンプ ケーシングの疲労評価対象部位

表2.3-1 玄海3号炉 1次冷却材ポンプ ケーシング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 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℃、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2.3-2 玄海3号炉 1次冷却材ポンプ ケーシングの疲労評価結果

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
ケーシング吸込ノズル (ステンレス鋼鋳鋼)	0.001	0.001
ケーシング吐出ノズル (ステンレス鋼鋳鋼)	0.088	0.522*1
ケーシング脚部 (ステンレス鋼鋳鋼)	0.089	0.524*1

*1：炉水環境にあり、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・建設規格に基づく疲労評価対象箇所と異なる

② 現状保全

ケーシングの疲労割れに対しては、定期的にケーシング内面の目視確認や漏えい検査により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、疲労割れは目視確認又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

ケーシング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 ケーシングの熱時効

a. 事象の説明

ケーシング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、高温で加熱されると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

熱時効による靱性低下は、フェライト量が多く、使用温度が高いほど大きくなる。

また、構造健全性評価は応力が大きいほど厳しくなる。

ステンレス鋼は1次冷却材管に多く用いられているが、1次冷却材管の熱時効に関しては、「配管の技術評価書」の1次冷却材管の章に示すとおり、使用温度及び荷重条件が厳しいと評価できる1次冷却材管（ホットレグ直管等）の健全性評価を実施し、問題のないことを確認している。

具体的には、き裂の存在を仮定し、弾塑性破壊力学的解析手法を用いて、ステンレス鋼の熱時効後の構造上の安全性を評価している。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。

その結果、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^{*1}を想定しても、材料のき裂進展抵抗はき裂進展力を上回ることから^{*2}、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している。

ここで1次冷却材ポンプケーシングと1次冷却材管（ホットレグ直管）を比較すると、表2.3-3に示すとおり、ポンプケーシングの方が使用温度は低く、応力は小さいが、フェライト量^{*3}が多い。

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次冷却材管の熱時効評価を実施し、健全性評価上問題とならないことを確認した。

したがって、より条件の厳しい1次冷却材管で熱時効による不安定破壊を起こさないことが確認されていることから、1次冷却材ポンプケーシングについても同様に不安定破壊を起こさないと判断する。

また、重大事故等時（原子炉停止機能喪失）におけるプラント条件（ピーク温度362℃、ピーク圧力18.9MPa）を考慮しても、1次冷却材管の方がより条件が厳しいことを確認している。

- *1：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
- *2：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（JEAG4613-1998）」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、熱応力に加えて地震を考慮した
- *3：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

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

評価部位	フェライト量 [%]	使用温度 [°C]	応力 [MPa]
1次冷却材ポンプケーシング (吸込ノズル)	約12.2	約289.2	約64
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次冷却材管 (ホットレグ直管)	約9.9 ^{*1}	約324.9	約174

*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

② 現状保全

ケーシングの熱時効に対しては、熱時効による経年劣化程度を直接的に確認するような検査は実施していないが、ケーシング内面全体の目視確認及び漏えい検査を実施し、有意な欠陥のないことを確認している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、ケーシングの熱時効が高経年化対策上問題となる可能性はないと考える。

点検として熱時効による経年劣化程度を直接的に確認するような検査は実施していないが、目視確認や漏えい検査により有意な欠陥のないことを確認している。

不安定破壊の起点となる有意な欠陥がなければ、熱時効による有意な靱性低下が仮に生じていたとしても、ケーシングの健全性に影響を及ぼすことはないことから、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

ケーシング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。