

玄海原子力発電所 3 号炉

高経年化技術評価書

2023年3月

(2024年1月一部変更)

九州電力株式会社

改訂履歴

改訂	日付	内容
0	2023. 3. 13	策定
1	2024. 1. 31	試験条件の出典元を明記するなど、記載の適正化

目 次

	頁
第1章 はじめに	1
第2章 発電所の概要	4
2.1 発電所の設備概要	4
2.2 発電所の経緯	6
2.3 技術基準規則への適合に向けた取組及びそのスケジュール	6
2.4 発電所の保全概要	11
第3章 技術評価の実施体制	19
3.1 評価の実施に係る組織	19
3.2 評価の方法	19
3.3 工程管理	19
3.4 協力先の管理	20
3.5 評価記録の管理	20
3.6 評価に係る教育	20
3.7 評価年月日	20
3.8 評価を実施した者の氏名	20
第4章 技術評価方法	23
4.1 技術評価対象機器	23
4.2 技術評価手順	23
4.3 耐震安全性評価	29
4.4 耐津波安全性評価	30
4.5 冷温停止状態維持時の技術評価	31
第5章 技術評価結果	36
5.1 運転を断続的に行うことを前提とした機器・構造物の 技術評価結果	36
5.2 運転を断続的に行うことを前提とした 耐震安全性評価結果	38
5.3 運転を断続的に行うことを前提とした 耐津波安全性評価結果	38
5.4 冷温停止状態が維持されることを前提とした機器・構造物の 技術評価結果	39

5. 5	冷温停止状態が維持されることを前提とした 耐震安全性評価結果	39
5. 6	冷温停止状態が維持されることを前提とした 耐津波安全性評価結果	40
5. 7	評価の結果に基づいた補修等の措置	40
第6章	今後の高経年化対策	41
6. 1	長期施設管理方針の策定	41
6. 2	長期施設管理方針の実施	41
6. 3	技術開発課題	42
第7章	まとめ	45

第1章 はじめに

玄海原子力発電所3号炉（以下、「玄海3号炉」という。）においては、2024年3月に運転開始後30年を迎えようとしている。

原子力発電所では、これまでプラントの安全・安定運転を確保するために、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（以下、「原子炉等規制法」という。）に基づく定期事業者検査により、技術基準への適合を確認するとともに^注施設管理における機器等の保全活動として、点検や予防保全活動等に取り組んでいる。加えて、最新の技術的知見の反映や国内外で経験された事故・故障等の再発防止対策等についても、必要に応じ実施している。

また、一般的には、機器・材料は使用時間の経過とともに、経年劣化することが知られているが、運転年数の増加に伴ってトラブルの発生件数が増加しているという傾向は認められておらず、現時点で高経年化による原子力発電所設備の信頼性が低下している状況にはない。

しかしながら、より長期の運転を仮定した場合、高経年化に伴い進展する事象は、運転年数の長いものから顕在化してくる恐れがあることから、運転年数の長い原子力発電所に対して、高経年化の観点から技術的評価を行い、そこで得られた知見を保全に反映していくことは原子力発電所の安全・安定運転を継続していく上で重要である。

注：2020年3月31日以前は、原子炉等規制法に基づき、原子力規制委員会が施設定期検査を実施。また、2020年4月1日以降は、同法に基づき、原子力規制委員会が原子力規制検査を実施。

このような認識のもと、1996年4月に通商産業省（現：経済産業省）資源エネルギー庁は「高経年化に関する基本的な考え方」をとりまとめ、原子力発電所の高経年化対策の基本方針を示した。さらに、2003年9月及び2005年12月に「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」（以下、「実用炉規則」という。）を改正するとともに、原子力安全・保安院（現：原子力規制委員会。以下同じ）は「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイドライン」及び「実用発電用原子炉施設における高経年化対策標準審査要領（内規）」（以下、「高経年化対策実施ガイドライン等」という。）を発出し、原子炉の運転を開始した日以降29年を経過する日までに、また、以降10年を超えない期間ごとに、耐震安全性評価を含めた経年劣化に関する技術的な評価（以下、「高経年化技術評価」という。）を行い、これに基づき「保全のために実施すべき措置に関する10年間の計画」（以下、「長期保

全計画」という。)を策定することを電気事業者に求めている。

その後、2008年8月に実用炉規則が改正され、高経年化対策を通常の保全の中に位置づけ一体化することで、原子力発電所の運転当初からの経年劣化管理を義務付けるとともに、長期保全計画を、新たに「保全のために実施すべき措置に関する10年間の方針」(以下、「長期施設管理方針」という。)として原子炉施設保安規定(以下、「保安規定」という。)に位置づけ、認可の対象とされた。また、実用炉規則の改正に伴い、原子力安全・保安院は「高経年化対策実施ガイドライン等」を改正し、2008年10月に発出後、2010年4月及び2011年5月に改正した。

また、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震とこれにより生じた津波に起因する東京電力株式会社福島第一原子力発電所で発生した事故に鑑み、2012年9月19日に原子力規制委員会設置法が施行され、原子力安全・保安院に代わる機関として、原子力規制委員会が環境省の外局として設立された。

その後、原子力規制委員会は2013年6月に「実用炉規則」を改正するとともに、「高経年化対策実施ガイドライン等」に代わるものとして、2013年6月に「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド」、2013年7月に「実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド」(以下、「高経年化対策実施ガイド等」という。)を制定し、2020年3月に最終改正している。

さらに、運転段階の原子力発電所の安全確保・強化を図るため、原子力規制委員会は原子炉等規制法を改正し、2020年4月から原子力規制委員会が事業者の保安活動を常時チェックし、かつ事業者が主体的に安全確保の水準の維持・向上に取り組む仕組み(原子力規制検査)が施行された。

一方、日本原子力学会は2007年3月に「原子力発電所の高経年化対策実施基準：2007」を制定、「原子力発電所の高経年化対策実施基準：2008」として改定のうえ、2009年2月に発行、2010年4月にエンドースされた。その後、2016年3月に「原子力発電所の高経年化対策実施基準：2015」を発行し、2021年9月に「原子力発電所の高経年化対策実施基準：2021」を発行した。

さらに、原子力安全基盤機構(現：原子力規制委員会。以下同じ)は「高経年化対策実施ガイド等」及び「原子力発電所の高経年化対策実施基準：2008」に対応して、「高経年化技術評価審査マニュアル」を作成し、公表している。

本評価書は、運転開始後30年を迎える玄海3号炉のプラントを構成する機器・構造物に対し、「高経年化対策実施ガイド等」、「原子力発電所の高経年

化対策実施基準：2008」等に基づき、60年間の運転及び冷温停止を仮定し、想定される経年劣化事象に関する技術評価を30年目の高経年化技術評価として実施するとともに、運転を開始した日から30年以降の10年間に、高経年化の観点から現状保全を充実する新たな保全項目等を抽出し、長期施設管理方針としてとりまとめたものである。

この結果、現状の保全の継続及び点検・検査の充実等により、今後、長期間の運転を仮定しても安全に運転を継続することが可能であることを確認した。

また、策定した長期施設管理方針については、保安規定に記載し、変更認可申請する。

今後は、認可された長期施設管理方針に基づき保全活動を実施していくとともに、実用炉規則第82条にて定める時期に高経年化技術評価の再評価等を実施していくことにより、機器・構造物を健全に維持・管理していく。

なお、本評価書は各機器・構造物の高経年化技術評価内容の概要等を示すものであり、各機器・構造物の詳細な高経年化技術評価、耐震安全性評価及び耐津波安全性評価結果については、別冊にまとめている。

また、特定重大事故等対処施設に属する機器・構造物の情報は機密情報のため、これらの評価結果は非公開情報として個別の別冊としてまとめている。

第2章 発電所の概要

2.1 発電所の設備概要

玄海3号炉は、加圧水型の原子力発電所である。

原子炉容器内部ではウラン燃料が核分裂を起こし多量の熱が発生する。この熱は、1次系の水に伝えられ蒸気発生器へ送られる。

蒸気発生器へ送られた1次系の水は、伝熱管の内側を流れ、外側を流れる2次系の水に熱を伝えた後、1次冷却材ポンプにより再び原子炉容器へ送られる。

一方、蒸気発生器で熱を受けた2次系の水は蒸気となりタービンへ送られ、タービン・発電機を回し電気を起こす。

タービン・発電機で仕事を終えた蒸気は、復水器の伝熱管を介して海水により冷却され、再び水に戻り蒸気発生器へ送られる。

(1) 発電所の主要仕様

電気出力	約 1, 180 MW
原子炉型式	加圧水型軽水炉
原子炉熱出力	約 3, 423 MW
燃料	低濃縮ウラン ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料 (燃料集合体 193 体のうち、ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料集合体は最大 48 体)
減速材	軽水
タービン	串型 4 車室 6 分流排気再熱再生式

(2) 発電所の主要系統

発電所の系統図を資料 2-1 に示す。

2. 2 発電所の経緯

玄海3号炉は、我が国46番目の商業用原子力発電所で、加圧水型原子力発電所としては我が国21番目、当社では5番目のものである。

同炉は、1984年10月に原子炉設置許可を得て、通商産業大臣より電気工作物変更許可を取得した。1985年8月に建設に着工し、1993年5月に初臨界を迎え、同年6月に送電系統に初並列した後、1994年3月に営業運転を開始した。

また、原子力発電設備の有効利用によりCO₂排出量を削減でき、地球温暖化の防止にも貢献することができる定格熱出力一定運転実施に向け、2001年12月の経済産業省通達「定格熱出力一定運転を実施する原子力発電設備に関する保安上の取扱いについて」の手續きに基づき、設備の健全性評価を実施し、2003年3月より定格熱出力一定運転を開始している。

玄海3号炉における発電電力量・設備利用率の年度推移を資料2-2、計画外停止回数の年度推移を資料2-3、事故・故障等一覧を資料2-4に示す。過去約30年を遡った時点までの計画外停止（手動停止及び自動停止）件数の推移を見ると、供用期間の長期化に伴い、計画外停止件数が増加する明確な傾向は認められない。

2. 3 技術基準規則への適合に向けた取組及びそのスケジュール

本申請の時点において、技術基準規則（30年を経過する日において適用されているものに限る。）に定める基準に適合していないものはない。なお、技術基準規則への適合に向けた主な取り組みは以下のとおり。

<新規制基準>

玄海3号炉については、技術基準規則へ適合させるため、平成25年7月12日付け発本原第95号をもって工事計画認可申請書（平成29年4月6日付け原発本第4号、平成29年6月13日付け原発本第65号、平成29年7月14日付け原発本第97号及び平成29年8月15日付け原発本第114号をもって一部補正）を申請し、平成29年8月25日付け原規規発第1708253号にて認可を受けている。

<特定重大事故等対処施設>

令和元年5月16日付け原発本第36号をもって工事計画認可申請書（令和元年10月9日付け原発本第101号及び令和元年11月15日付

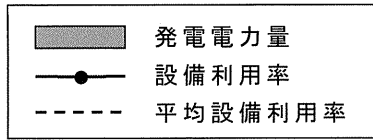
け原発本第131号をもって一部補正)を申請し、令和元年11月28日付け原規規発第1911282号にて認可を受けている。

さらに令和元年9月19日付け原発本第86号をもって工事計画認可申請書(令和2年1月10日付け原発本第159号及び令和2年2月14日付け原発本第188号をもって一部補正)を申請し、令和2年3月4日付け原規規発第2003041号にて認可を受けている。

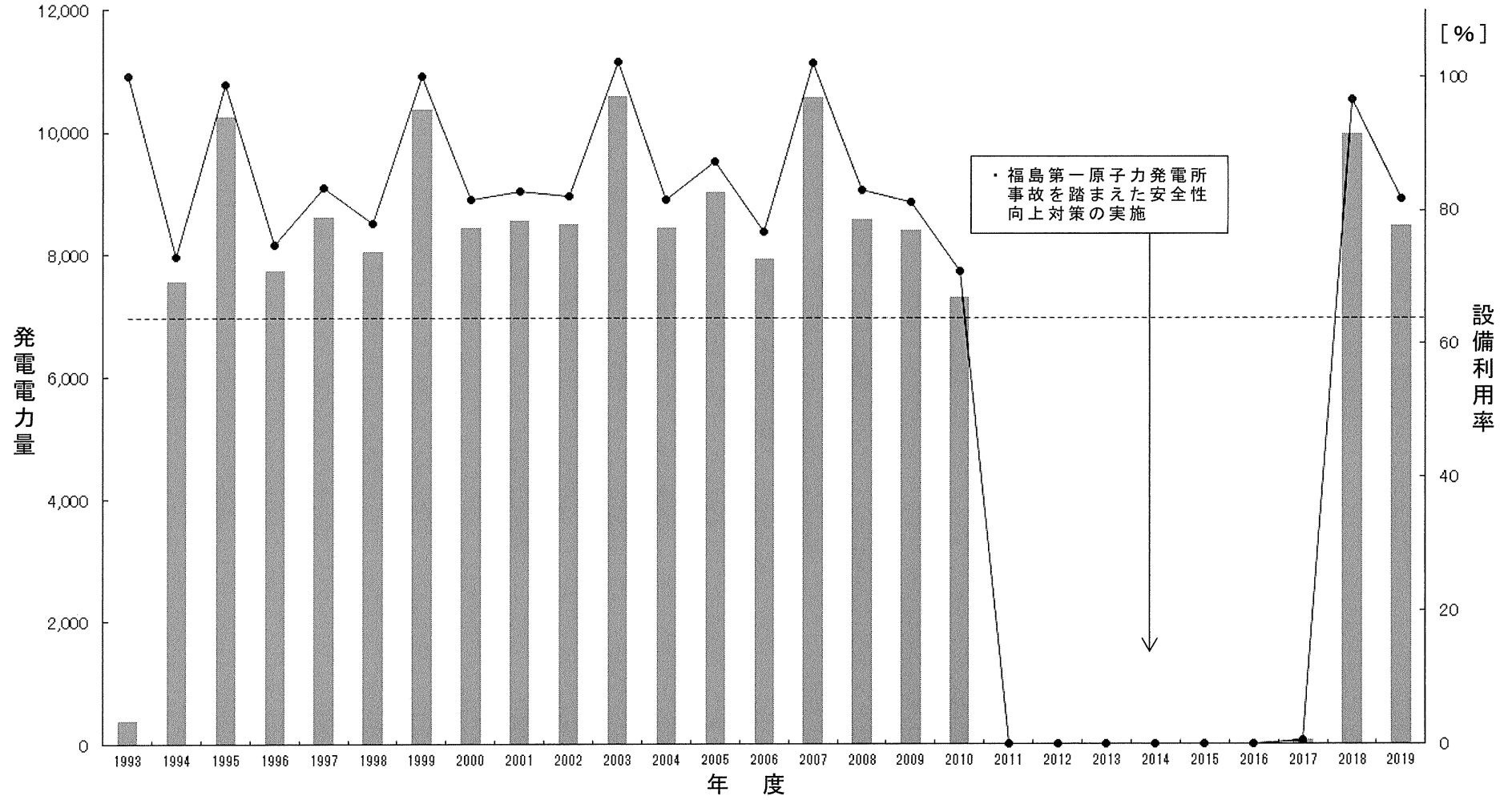
さらに令和2年1月17日付け原発本第161号をもって設計及び工事計画認可申請書(令和2年5月1日付け原発本第14号、令和2年7月28日付け原発本第74号及び令和2年8月21日付け原発本第139号をもって一部補正)を申請し、令和2年8月26日付け原規規発第2008262号にて認可を受けている。

<緊急時対策所(緊急時対策棟内)設置工事>

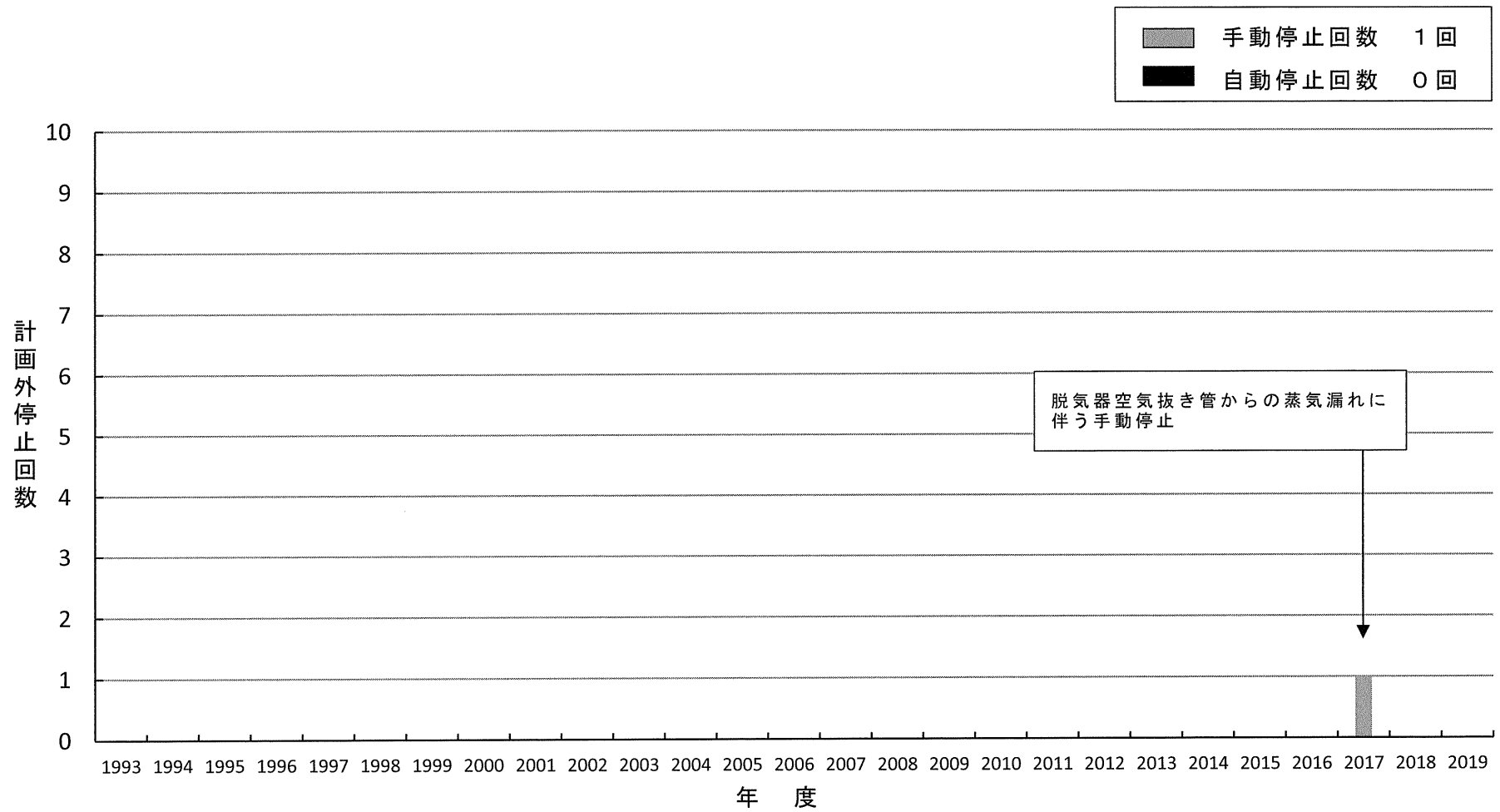
令和5年8月31日付け原発本第100号をもって設計及び工事計画変更認可申請書を申請し、令和5年12月27日付け原規規発第2312272号にて認可を受けている。



[百万 kWh]



資料 2 - 2 発電電力量・設備利用率の年度推移



資料 2 - 3 計画外停止回数の年度推移

資料 2 - 4 事故・故障等一覧

年 度	事 象 内 容	発 生 年 月 日	法 律 通 達	被 害 電 気 工 作 物 の 系 統 設 備
1998	燃料集合体の漏えい (第4回定期検査中)	1999. 1. 20	通 達	原子炉本体
2011	C充てんポンプ主軸の折 損について (第13回定期検査中)	2011.12.16	法 律	原子炉補助設備

注：平成15年10月1日付け原子炉等規制法の関連規則の改正に伴い、通達に基づく報告が廃止されたことにより、原子力施設のトラブルに関する国への報告は、法律に基づくものに一本化された。

2. 4 発電所の保全概要

玄海3号炉での日常的な施設管理において時間経過に伴う特性変化に対応した劣化管理が的確に行われている経年劣化事象（以下、「日常劣化管理事象」という。）の劣化管理の考え方を以下に記す。

原子力発電所の保全においては、系統・機器・構造物の経年劣化が徐々に進行して最終的に故障に至ることのないよう、定期的な検査や点検等により経年劣化の兆候を早期に検知し、必要な処置を行い、事故・故障等を未然に防止することが最も重要である。

当社は、運転監視、巡視点検、定期的な検査及び点検により、設備の健全性を確認し、経年劣化等の兆候が認められた場合には、詳細な調査及び評価を行い、補修、取替等の保全を実施している。特に長期の使用によって発生する経年劣化事象については、点検により経年的な劣化の傾向を把握し、故障に至る前に計画的な保全を実施している。

また、原子炉等規制法に基づき、定期事業者検査を実施し技術上の基準に適合していることを確認している。

さらに、保安規定において、定期事業者検査等の対象機器に対する作業項目のうち、原子炉施設の点検及び工事にて実施する分解点検、開放点検等の機能回復を図るものについて、保全の結果の確認・評価について規定している。

具体的には、実用炉規則第81条に掲げる施設管理に係る要求事項を満たすよう、「日本電気協会 原子力発電所の保守管理規程(JEAC 4209-2007)」に基づき、規定文書を策定して施設管理を実施している。

まず初めに、社長は原子力施設の安全確保を最優先として、施設管理の継続的な改善を図るため、施設管理の現状を踏まえて施設管理の実施方針を定める。同方針は、施設管理の有効性評価の結果を踏まえて見直しされるとともに、高経年化技術評価の結果として長期施設管理方針を策定又は変更した場合には、長期施設管理方針に従い保全を実施することを同方針に反映している。

また、原子力部門は、施設管理の実施方針に基づき、年度ごとに施設管理目標を設定し、施設管理の有効性評価の結果を踏まえて同目標の見直しを実施している。

この施設管理目標を達成するため、当社の原子力発電所では、資料2-5に示すフローに基づき保全活動を実施している。

玄海原子力発電所では、原子炉施設の中から号炉ごとに保全を行うべき対象範囲として機器・構造物を選定し、この保全対象範囲について系統ごとの範囲と機能を明確にした上で、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の

重要度分類に関する審査指針(平成2年8月30日原子力安全委員会決定)」(以下、「安全重要度分類審査指針」という。)の重要度とPRAから得られるリスク情報を考慮するとともに重大事故等対処設備への該当有無を考慮して保全重要度を設定する。

また、保全の有効性を監視し評価するために、保全重要度を踏まえてプラントレベル及び系統レベルの保全活動管理指標を設定している。

そして、保全対象範囲に対し、保全重要度を勘案して次の事項を考慮して保全計画を策定している。

- a. 運転実績、事故及び故障事例等の運転経験
- b. 使用環境及び設置環境
- c. 劣化、故障モード
- d. 機器の構造等の設計的知見
- e. 科学的知見

さらに、予め保全方式(時間基準保全、状態基準保全、事後保全)を選定し、「点検方法」、その「実施頻度」及び「実施時期」を定めた点検計画を策定している。

なお、この保全方式は、劣化事象・偶発事象を勘案し、保全重要度を踏まえた上で保全実績、劣化、故障モード等を考慮し、効果的な保全方式を選定している。

上記のうち「点検方法」について、個別機器の保全内容はそれぞれ個々に検討しているが、具体的には劣化メカニズム整理表^注及びこれまでの施設管理の結果から得られた機器の部位別に想定される劣化事象に着目した保全項目の検討を行い、検討結果に基づく保全内容を担保するために必要な作業、検査項目等を選定している。

注：過去に国内で実施してきた高経年化技術評価の評価結果をもとに、原子炉施設の保全を最適化するための情報として劣化メカニズム(機器機能、部位、劣化事象・因子、保全項目(検知機能)等)を一覧表にまとめたもの。

同様に「実施頻度」についても、過去の点検実績等を参考にしながら機器・構造物に応じて適切に選定している。

また、「実施時期」については、機器・構造物の点検方法及び実施頻度に基づき、点検の実施時期を「点検計画表」として定めている。

設計及び工事を実施する場合は、予めその方法及び実施時期を定めた設計及び工事の計画を策定している。

以上のとおり、予め定められた保全計画に従い、点検・補修等の保全を実施し、記録している。

当社は、運転監視、巡視点検、定期的な検査及び点検により設備の健全性を確認し、経年劣化等の兆候が認められた場合には詳細な調査及び評価を行い、補修、取替等の保全を実施している。特に長期の使用によって発生する経年劣化事象については、点検により経年的な変化の傾向を把握し、故障に至る前に計画的な保全を実施することで機能回復を行い、長期的な健全性・信頼性を確保している。

そのため、劣化傾向監視による管理として状態監視、点検及び取替結果の評価のための点検手入れ前データ（As-Found データ）を活用している。

一方、当社の原子力発電所で発生した事故・故障等については、速やかに必要な処置を実施するとともに、国内外の原子力発電所で発生した事故・故障等についても検討を行い、必要に応じて設備及び運転・施設運用等の改善を行うことにより発電所のより一層の安全・安定運転に努めている。

(1) 運転監視、巡視点検

運転状態を指示計、記録計、計算機出力等により常時運転員が監視するとともに、原子力発電所の多種多様な設備について運転員及び保修員等が計画的に巡視点検を行い、機器等の健全性確認、経年劣化等の兆候の早期発見に努めている。

(2) 定期的な検査

プラントの運転中を主体に待機設備の動作確認等の定期的な検査を行い、設備の健全性確認及び経年劣化等の兆候の早期発見に努め、事故・故障等の未然防止を図っている。定期的な検査のうち工学的安全施設等の安全上重要な設備については、検査の内容を保安規定に定め、これに基づく運用を行っている。

(3) 点検

原子炉等規制法に基づき実施する定期事業者検査に合わせ、定期的にプラントを停止し、プラント全般にわたる設備の点検を実施して、設備の機能維持及び経年劣化等の兆候の早期発見に努め、事故・故障等の未然防止を図るとともに、環境の維持、災害の未然防止を図っている。また、プラントを停止せずに点検を実施できる設備については、同様の点検をプラント運転中に実施している。点検の結果は記録としてまとめ、設備の経年的な傾向を管理し、以後の点検計画に反映している。

(4) 作業管理体制及び業務

原則として当社が計画を策定し、協力会社が行う分解点検等の実作業の作業管理及び品質管理を行っている。

(5) 予防保全

プラントの運転監視、巡視点検、定期的な検査及び点検により、設備に機能低下や経年劣化等の兆候が認められた場合には、故障に至る前に補修、取替を行い、事故・故障等の未然防止を図っている。

(6) 事故・故障等の処理及び再発防止

発生した事故・故障等については、速やかに原因調査及び再発防止を含めた対策の検討、評価を行い、的確な復旧により設備の機能の回復を図っている。また、国内外の原子力発電所で発生した事故・故障等についても、未然予防処置の必要性を検討し、必要に応じて設備及び運転・施設管理等の改善を行い、事故・故障等の未然防止を図っている。

(7) 改善活動

より一層の安全性、信頼性を確保するため、現行の保全活動のレベルを向上することが重要であるとの観点から、改善活動として、保全データの推移及び経年劣化の長期的な傾向監視の実績、高経年化技術評価及び安全性向上評価の結果、他プラントのトラブル及び経年劣化傾向に係るデータ等に基づいて保全の有効性評価を実施するとともに、その結果と施設管理目標の達成度から定期的に施設管理の有効性評価を実施し、施設管理が有効に機能していることを確認するとともに、継続的な改善に取り組んでいる。

以上のような日常的な施設管理の有効性評価の手法として、プラントレベル及び系統レベルの保全活動管理指標を設定し、監視しており、至近（第14保全サイクル）における実績は以下のとおりである。

a. プラントレベルの保全活動管理指標

プラント全体の保全の有効性が確保されていることを監視する観点から、プラントレベルの保全活動管理指標として設定した「7, 000 臨界時間当たりの計画外自動・手動トリップ回数」、「7, 000 臨界時間当たりの計画外出力変動回数」及び「工学的安全施設の計画外作動回数」について、全ての実績値が目標値を満足していることから、保全は有効に機能していると評価した。

b. 系統レベルの保全活動管理指標

より直接的に原子炉施設の安全性と保全活動とを関連付け監視する観点から、系統レベルの保全活動管理指標として、保全重要度の高い系統^{注1}のうち、安全重要度分類審査指針クラス1、クラス2及びリスク重要度の高い系統機能並びに特定重大事故等対処設備に対して設定した「予防可能故障（MPFF^{注2}）回数」及び「非待機（UA^{注3}）時間」について、全て実績値が目標値を満足していることから、保全は有効に機能していると評価した。

注1：原子炉施設の安全性を確保するため安全重要度分類審査指針の重要度に基づき、PRA（確率論的リスク評価）から得られるリスク情報を考慮して設定する。

注2：MPFF（Maintenance Preventable Functional Failure）系統もしくはトレイン（冗長化されている系統において、その冗長性の1単位を構成する一連の機器群）に要求される機能の喪失を引き起こすような機器の故障のうち、適切な保全が行われていれば予防できていた可能性のある故障。

注3：UA時間（Unavailable Hours）当該系統もしくはトレインに要求される機能が必要とされる期間内において、理由によらず、その機能を喪失した状態になっている時間。

これらの保全活動については、原子力発電所における機器の劣化兆候の把握及び点検の最適化につながるとともに、常にPDCAを回して改善が図られ、高経年プラントに対する的確な劣化管理に資するものであり、今後も日常点検を継続することで健全性を維持することが可能であると考え

また、玄海3号炉では、発電所の安全性・信頼性をより一層向上させるために実施した最近の主な工事としては次のものがある。

- ・特定重大事故等対処施設設置工事

2021年度～2022年度（第16回）定期検査時に、原子炉補助建屋等への故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムにより、原子炉を冷却する機能が喪失し炉心が著しく損傷した場合に備えて、原子炉格納容器の破損を防止するための機能を有する施設を設置した。

- ・常設直流電源設備（3系統目）設置工事

2021年度～2022年度（第16回）定期検査時に、全ての交流電源が喪失した際に、重大事故等の対応に必要な設備に直流電力を供給する設備であり、既に設置済である2系統の直流電源設備に加え、もう1系統の常設直流電源設備（3系統目）を設置した。

- ・原子炉容器出入口管台溶接部計画保全工事

原子炉容器出入口管台溶接部については、応力腐食割れ対策としてウォータジェットピーニングを実施している。今回、2021年度～2022年度（第16回）定期検査時に、更なる予防保全の観点から、600系ニッケル基合金を用いた溶接材の内面を一部切削し、応力腐食割れ対策材料として優れた690系ニッケル基合金にて溶接を行った。

- ・加圧器スプレイ配管取替工事

2021年度～2022年度（第16回）定期検査時に、加圧器スプレイ配管の一部について、予防保全の観点から、冷間曲げ管を同一仕様（主要寸法、材料）で残留応力の少ない熱間曲げ管へ取り替えた。

- ・海水ポンプ取替工事

2021年度～2022年度（第16回）定期検査時に、安全上重要な機器の冷却に用いるための海水を取水する海水ポンプについて、起動時の信頼性向上のため、起動時に軸受部への潤滑水供給が不要な無給水軸受を用いたポンプへ取り替えた。

- ・原子炉安全保護計装盤等更新工事

2021年度～2022年度（第16回）定期検査時に、原子炉圧力等のパラメータの異常を検知し、原子炉停止や原子炉を冷却するためのポンプ等を作動させるための信号を発信する原子炉安全保護計装盤等について、保守性向上の観点から、デジタル制御装置を適用した制御盤に取り替えた。

第3章 技術評価の実施体制

高経年化技術評価の実施は保安規定第118条の6に規定している。実施にあたって、保安規定に基づく品質マネジメントシステム計画に従い、実施体制を構築し、実施手順を確立した。

3.1 評価の実施に係る組織

保安規定に基づく品質マネジメントシステム計画に従い、「経年劣化の技術評価実施要領」を定め、これに従い策定した「高経年化技術評価実施計画書」により評価の実施体制を構築している。

玄海3号炉における技術評価等にあたる体制を資料3-1に示す。

原子力発電本部原子力経年対策グループは、技術評価に係るとりまとめ等を行うとともに、コンクリート構造物及び鉄骨構造物を除く技術評価を行った。

土木建築本部調査・計画グループは、コンクリート構造物及び鉄骨構造物の技術評価を行った。

また、作成した本評価書は、玄海原子力発電所及び本店の関係箇所で内容確認する体制とした。

なお、プロセス確認のための内部監査は、独立した組織である原子力監査室とした。

3.2 評価の方法

高経年化対策実施ガイド等及び原子力発電所の高経年化対策実施基準：2008等に準拠して策定した「高経年化技術評価実施手順書」により実施手順を確立し、これに基づき実施した。

評価方法の詳細については、第4章 技術評価方法にまとめている。

3.3 工程管理

高経年化対策実施ガイド等に基づき、運転開始後28年9か月を経過する日から3か月以内に保安規定変更認可申請等を行うべく工程管理を実施した。

具体的には、資料3-2に示すように、2021年3月3日に実施計画書及び実施手順書を策定し、技術評価を開始した。2023年2月24日には玄海原子力発電所及び本店の関係箇所にて評価書の確認を完了した。

また、原子力監査室によるプロセス確認のための内部監査を2023年2月15日までに完了した。

なお、2023年3月13日に、社内の原子力発電安全委員会において本評価書の審議を実施し確認され、統括責任者が承認した。

さらに2023年12月に認可された設計及び工事計画を踏まえた評価等を本評価書に反映し、2024年1月31日に同委員会において審議を実施し確認され、統括責任者が承認した。

3.4 協力先の管理

経年劣化の技術評価を委託した三菱重工業株式会社及び三菱電機株式会社委託業務にあたって品質保証監査や品質保証計画書により品質保証体制等に問題のないことを確認した。

3.5 評価記録の管理

管理すべき主な文書・記録の名称、保有主管箇所及び保存年限は、規定文書に定めている。高経年化技術評価に係る主なものは、以下のとおりである。

名称	分類	主管箇所	保存年限
高経年化技術評価実施計画書	文書	原子力経年対策グループ	10年
高経年化技術評価実施手順書	文書	原子力経年対策グループ	10年
高経年化技術評価書	記録	原子力経年対策グループ	永久

3.6 評価に係る教育

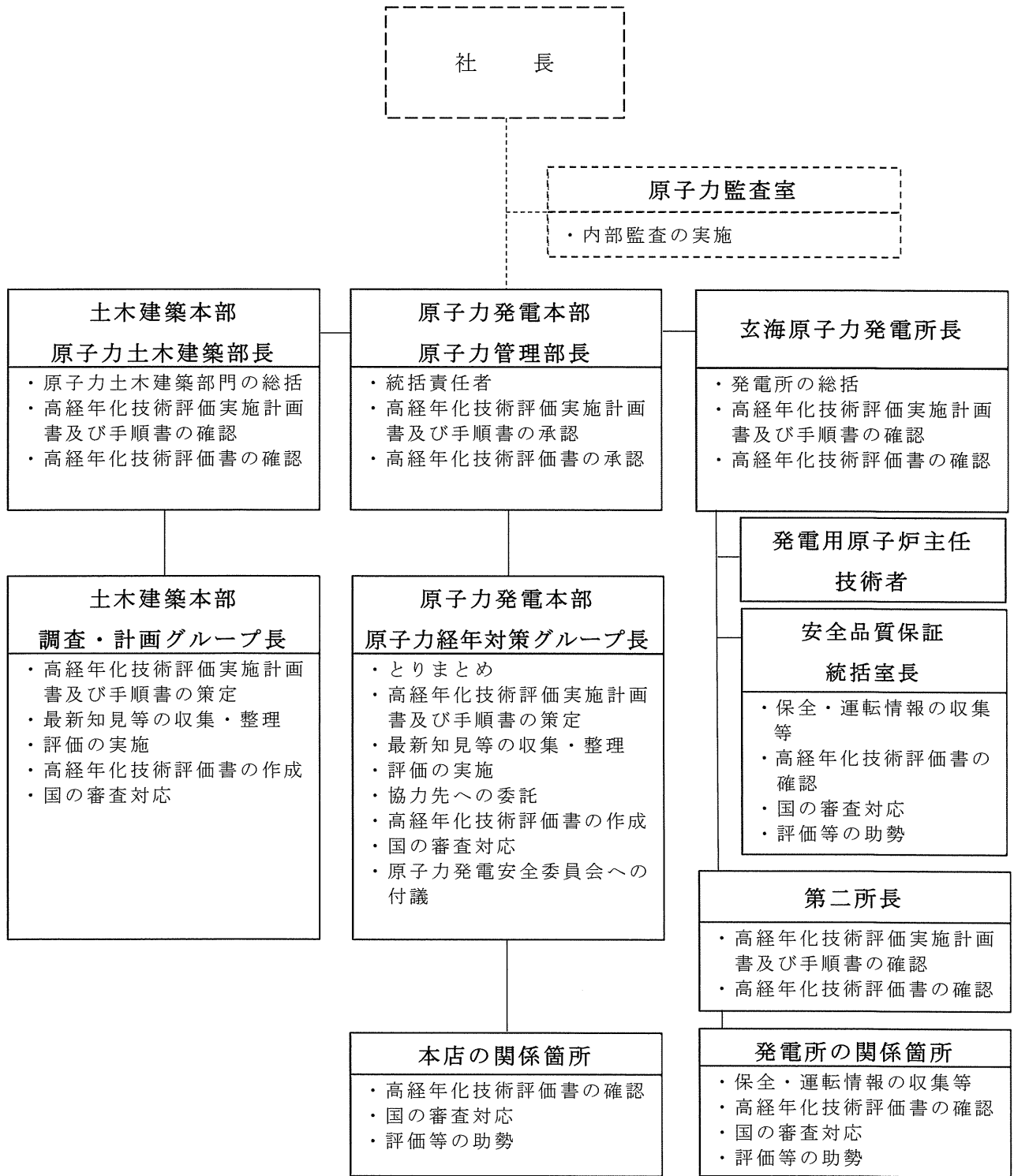
原子力発電本部原子力経年対策グループ及び土木建築本部調査・計画グループは、技術評価を実施する力量を設定し、力量管理を実施するとともに、技術評価時のOJT等により評価に関する知識の向上を図った。

3.7 評価年月日

2024年1月31日

3.8 評価を実施した者の氏名

原子力発電本部	原子力経年対策グループ長	石井 朝行
土木建築本部	調査・計画グループ長	生貞 幸治



○原子力発電安全委員会

原子力管理部長を委員長とし、各原子力発電所長、各発電用原子炉主任技術者に加え、各部門の課長職以上の者から構成され、保安規定の変更に関する事項等を審議し確認する。

資料 3 - 1 評価の実施に係る体制

資料3-2 実施工程

項目	年度		2020年度		2021年度		2022年度		2023年度		
実施計画書、実施手順書の作成				▼						▼	
評価書作成				■				■			
評価書の確認								■		■	
内部監査					▼			▼		▼	
原子力発電安全委員会 (審議)								▼		▼	
保安規定変更認可申請								▼		▼	

第4章 技術評価方法

本章では、評価対象機器・構造物に係る技術評価方法及び耐震・耐津波安全性評価方法の概要を記載している。

4. 1 技術評価対象機器

対象機器は、高経年化対策実施ガイド等に従い、玄海3号炉の安全上重要な機器等（「実用炉規則第82条第1項」で定める機器・構造物）とした。

なお、玄海1、2、3、4号炉で共用する機器・構造物及び玄海3、4号炉で共用する機器・構造物についても本評価書の評価対象としている。

具体的には、安全重要度分類審査指針において定義されるクラス1、2及び3の機能を有する機器・構造物（実用炉規則別表第二において規定される浸水防護施設に属する機器・構造物を含む）、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成25年原子力規制委員会規則第5号）第43条第2項に規定される常設重大事故等対処設備」（以下、「常設重大事故等対処設備」という。）に属する機器・構造物とし、工事計画認可申請書、系統図、ブロック図等を基に抽出した。

なお、供用に伴う消耗が予め想定され、設計時に取替を前提とする部品又は機器分解点検時等に伴い必然的に取り替えている部品は、消耗品として対象から除外する。また、同様に設計時に耐用期間内に計画的に取り替えることを前提とする部品は、定期取替品として対象から除外する。

上記の消耗品、定期取替品については、発電所の規定文書に基づき整備している。

4. 2 技術評価手順

4. 2. 1 機器のグループ化及び代表機器の選定

評価にあたっては、ポンプ、熱交換器、ポンプ用電動機、容器、配管、弁、炉内構造物、ケーブル、電気設備、タービン設備、コンクリート構造物及び鉄骨構造物、計測制御設備、空調設備、機械設備、電源設備に分類し評価した。

また、選定された評価対象機器は合理的に評価するため、構造（型式）、使用環境（内部流体等）、材質等により、日本原子力学会標準「原子力発電所の高経年化対策実施基準：2008」附属書A（規定）等に基づき、「経年劣化メカニズムまとめ表^注」を参考に、対象機器を分類しグループ化を行った。

次に、グループ化した対象機器から重要度、使用条件、運転状況等により各グループの代表機器（以下、「代表機器」という。）を選定し、代

表機器で評価した結果をグループ内代表機器以外に水平展開するという手法で全ての機器について評価を実施した。ただし、代表機器の評価結果をそのまま水平展開できない経年劣化事象については、個別に評価を実施した。

注：「経年劣化メカニズムまとめ表」はこれまでの高経年化技術評価の知見を包括的にまとめ、高経年化技術評価対象機器個別の条件（型式、使用環境、材料等）を考慮し、安全機能達成のために要求される機能の維持に必要な主要な部位に展開した上で、その部位と経年劣化事象の組合せを整理した表であることから、「経年劣化メカニズムまとめ表」を活用することで、これまでに確認されている使用材料及び環境に応じ発生しているか又は発生が否定できない経年劣化事象を抜け落ちなく抽出することができる。

なお、2.4に示す「劣化メカニズム整理表」は「経年劣化メカニズムまとめ表」に保全を最適化するために施設管理に活用する情報を集約してまとめたものであり、施設管理の結果により充実していくものである。この「劣化メカニズム整理表」に反映される施設管理の結果による情報は必要に応じて「経年劣化メカニズムまとめ表」にフィードバックされる。

4. 2. 2 国内外の新たな運転経験及び最新知見の反映

玄海3号炉の技術評価を実施するにあたり、運転開始から2015年3月までの期間における最新知見については、川内2号炉の30年目の高経年化技術評価において既に整理が完了していることから、それ以降2015年4月～2020年3月までの国内外の運転経験及び最新知見を確認し、高経年化への影響を判断して反映を実施した。

なお、その期間以外においても、高経年化技術評価上特に重要な知見、運転経験が得られた場合には、反映を実施する。

国内の運転経験としては、法令に基づき国への報告が必要なトラブル情報に加え、法令に基づく報告が必要のない軽微な事象であるが保安活動の向上の観点から情報共有することが有益な情報も含んでいる。具体的には、原子力安全推進協会が運営している原子力施設情報公開ライブラリーにおいて公開されている「トラブル情報」、「保全品質情報」を対象とした。

また、海外の運転経験としては、NRC（米国原子力規制委員会；Nuclear Regulatory Commission）のBulletin、Generic Letter及び

Information Notice 並びに PWR 海外情報検討会*で重要情報としてスクリーニングされた情報や、社外の組織（原子力安全システム研究所（INSS）、国内外のプラントメーカー等）から入手した情報を対象とした。

*：JANSI における会議体であり、国内 PWR 電力会社が構成委員となり、プラントメーカーの技術支援も受けて NRC 情報以外（WANO 情報、INPO 情報等）も含めた海外運転経験を収集、分析している。

玄海 3 号炉の高経年化対策の検討で、新たに考慮した主な運転経験を以下に示す。

- a. 仏国ベルビル 2 号炉 制御棒駆動機構のサーマルスリーブの摩耗（2017年12月）
- b. 大飯発電所 3 号炉 加圧器スプレイライン配管溶接部における有意な指示（2020年8月）

また、玄海 3 号炉の技術評価において、検討対象とした主な原子力規制委員会からの指示文書等を以下に示す。

- a. 実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイドの一部改正について（平成 28 年 11 月 2 日、原規規発第 16110217 号）
- b. 実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイドの一部改正について（平成 29 年 9 月 20 日、原規規発第 1709202 号）
- c. 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈等の一部改正について（令和 2 年 3 月 31 日、原規規発第 20033110 号）

その他、玄海 3 号炉の技術評価において、検討対象とした国の定める技術基準、日本機械学会、日本電気協会、日本原子力学会等の規格・基準類及び原子力規制委員会により公開されている安全研究のうち、新たに考慮した主な情報を以下に示す。

- a. 日本電気協会 原子炉構造材の監視試験方法 [2013 追補版]（JEAC 4201-2007）
- b. 日本原子力学会 原子力発電所の高経年化対策実施基準:2021（AESJ-SC-P005:2021）

- c. N R A 技術報告 中性子照射がコンクリートの強度に及ぼす影響
(NTEC-2019-1001)

4. 2. 3 経年劣化事象の抽出

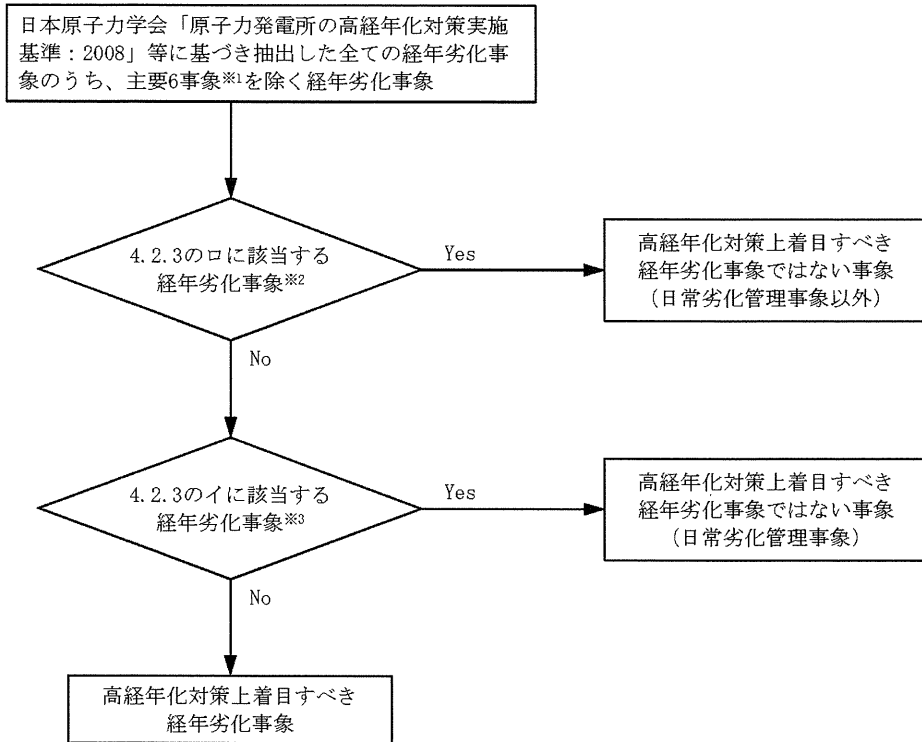
高経年化技術評価を行うにあたっては、選定された評価対象機器の使用条件（構造（型式）、使用環境、材質等）を考慮し、日本原子力学会標準「原子力発電所の高経年化対策実施基準：2008」附属書A（規定）等に基づき、「経年劣化メカニズムまとめ表」を参考に、経年劣化事象と部位の組合せを抽出した。

なお、抽出された経年劣化事象と部位の組合せのうち、以下の「イ」又は「ロ」に該当する場合は高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象として除外した。経年劣化事象の分類を資料4-1に示す。

このうち、下記分類の「イ」に該当する経年劣化事象は、「主要6事象^注」のいずれにも該当しないものであって、2.4で記載した日常的な施設管理において時間経過に伴う特性変化に対応した劣化管理を的確に行うことによって健全性を担保にしているものである。結果としてこれらが日常劣化管理事象となる。

- イ. 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
- ロ. 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

注：原子力規制委員会の「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド」に示された「低サイクル疲労」、「中性子照射脆化」、「照射誘起型応力腐食割れ」、「2相ステンレス鋼の熱時効」、「電気・計装品の絶縁低下」及び「コンクリートの強度低下及び遮蔽機能低下」



※1：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象に限る。

※2：保全活動によりその傾向が維持できていることを確認している経年劣化事象は「No」に進む。

※3：ロに該当するが保全活動によりその傾向が維持できていることを確認しているものを含む。

資料 4 - 1 経年劣化事象の分類

4. 2. 4 経年劣化事象に対する技術評価

4. 2. 1で選定された代表機器について、「4. 2. 3 経年劣化事象の抽出」で抽出した高経年化対策上着目すべき経年劣化事象と部位の組合せに対する技術評価を以下に示す手順で実施した。

(1) 健全性評価

機器ごとに抽出した部位・経年劣化事象の組合せごとに、評価期間として運転を開始した日から60年間の期間について、傾向管理データによる評価及び解析等の定量評価、過去の点検実績、一般産業で得られている知見等により健全性の評価を実施する。また、工事計画を踏まえた健全性評価を実施する。

(2) 現状保全

評価対象部位に対して実施している点検内容、関連する機能試験内容、補修・取替え等の現状保全の内容について整理する。

(3) 総合評価

「(1) 健全性評価」、「(2) 現状保全」を合わせて、現状保全の内容の妥当性等を評価する。具体的には、健全性評価結果と整合の取れた点検等が、発電所における保全活動で実施されているか、当該の経年劣化事象の検知が可能か等を評価する。

(4) 高経年化への対応

60年間の使用を考慮した場合、現状保全の継続が必要となる項目、今後新たに必要となる点検・検査項目、技術開発課題等を抽出する。

4. 3 耐震安全性評価

4. 2. 3で抽出した経年劣化事象及びその保全対策を考慮した上で、機器ごとに耐震安全性評価を実施した。

4. 3. 1 耐震安全性評価対象機器

「4. 1 技術評価対象機器」と同じとした。

4. 3. 2 耐震安全性評価手順

(1) 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出

4. 2. 3で抽出した安全上重要な機器等に想定される高経年化対策上着目すべき経年劣化事象及び日常劣化管理事象を対象として、これらの事象が顕在化した場合、代表機器の振動応答特性又は構造・強度上、影響が「有意」であるか「軽微もしくは無視」できるかを検討し、「有意」なものを耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象とした。

(2) 耐震安全性評価

「(1) 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出」で抽出した経年劣化事象ごとに、耐震安全性評価を実施した。評価の基本となる項目は、大別すると以下のとおり分類される。

- a. 機器の耐震クラス
- b. 機器に作用する地震力の算定
- c. 60年間の供用を仮定した経年劣化事象のモデル化
- d. 振動特性解析（地震応答解析）
- e. 地震荷重と内圧等他の荷重との組合せ
- f. 許容限界との比較

これらの項目のうちd及びfについては経年劣化の影響を考慮して評価を実施した。また、評価に際しては「日本電気協会 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-1984)」等に準じて実施した。

(3) 保全対策へ反映すべき項目の抽出

以上の検討結果を基に、耐震安全性の観点から高経年化対策に反映すべき項目について検討した。

4. 4 耐津波安全性評価

4. 2. 3で抽出した経年劣化事象及びその保全対策を考慮した上で、施設ごとに耐津波安全性評価を実施した。

4. 4. 1 耐津波安全性評価対象機器

評価対象機器は、「技術評価」における評価対象機器のうち津波の影響を受ける浸水防護施設を耐津波安全性評価の対象とした。

4. 4. 2 耐津波安全性評価手順

(1) 耐津波安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出

耐津波安全性評価対象機器に対して4. 2. 3で抽出した高経年化対策上着目すべき経年劣化事象及び日常劣化管理事象について、これらの事象が顕在化した場合、構造・強度上及び止水性上、影響が「有意」であるか「軽微もしくは無視」できるかを検討し、「有意」なものを耐津波安全上考慮する必要のある経年劣化事象とした。

(2) 耐津波安全性評価

「(1) 耐津波安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出」で抽出した経年劣化事象ごとに、耐津波安全性評価を実施した。

(3) 保全対策へ反映すべき項目の抽出

以上の検討結果を基に、耐津波安全性の観点から高経年化対策に反映すべき項目について検討した。

4. 1～4. 4までの検討における評価フローを資料4-2、資料4-3に示す。

4. 5 冷温停止状態維持時の技術評価

冷温停止状態維持時の技術評価フローを資料4-4に示す。抽出された冷温停止状態維持評価の対象設備に対して、運転を断続的に行うことを前提とした場合に想定される高経年化対策上着目すべき経年劣化事象に対して冷温停止状態が維持されることを前提とした場合における劣化の発生・進展に関する整理を実施し、その結果を基に冷温停止状態が維持されることを前提とした評価（以下、「冷温停止状態維持評価」という。）を以下の手順で実施した。

4. 5. 1 代表機器の選定

冷温停止状態維持評価の対象設備を考慮して、運転を断続的に行うことを前提とした技術評価における代表機器を本検討の代表機器に選定した。

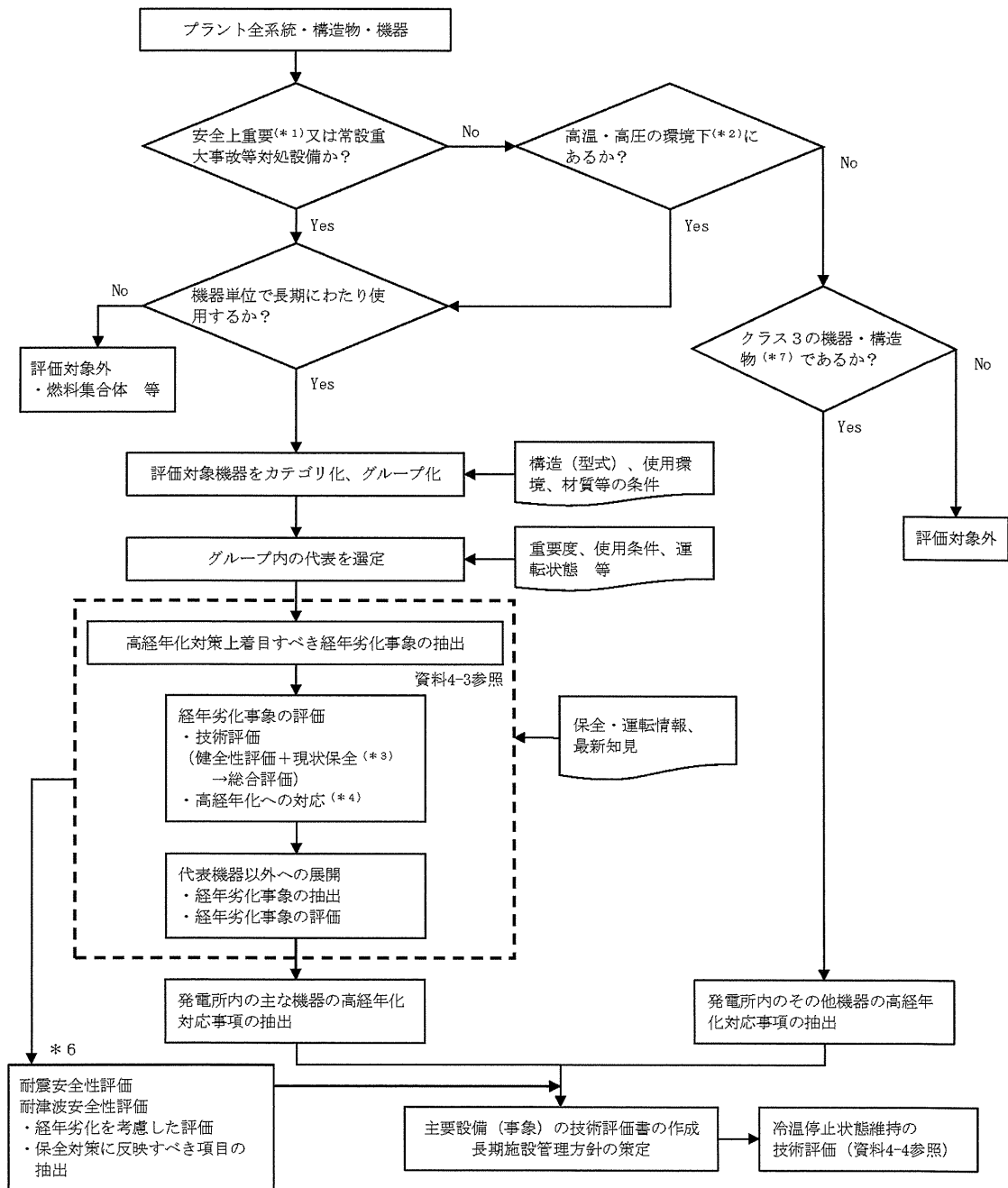
4. 5. 2 冷温停止状態維持評価を行う経年劣化事象の抽出

運転を断続的に行うことを前提とした場合に想定される高経年化対策上着目すべき経年劣化事象^注に対して、冷温停止状態が維持されることを前提とした場合における劣化の発生・進展に関する整理を実施し、冷温停止状態が維持されることを前提とした場合において、発生・進展が、運転を断続的に行うことを前提とした場合より厳しくなることが予想される経年劣化事象を抽出した。その結果、より厳しくなることが予想される経年劣化事象が抽出された場合には、冷温停止状態維持評価を実施した。なお、保全対策に反映すべき項目があるかもあわせて検討した。

注：運転を断続的に行うことを前提とした評価における高経年化対策上着目すべき経年劣化事象以外の事象が、冷温停止状態維持評価において着目すべき経年劣化事象となる場合はそれらもあわせて抽出した。なおプラント通常運転時に要求のある機能に対する経年劣化事象であるが、冷温停止状態維持を前提とした場合に要求がなくなるものは対象外とした。（資料4-5参照）

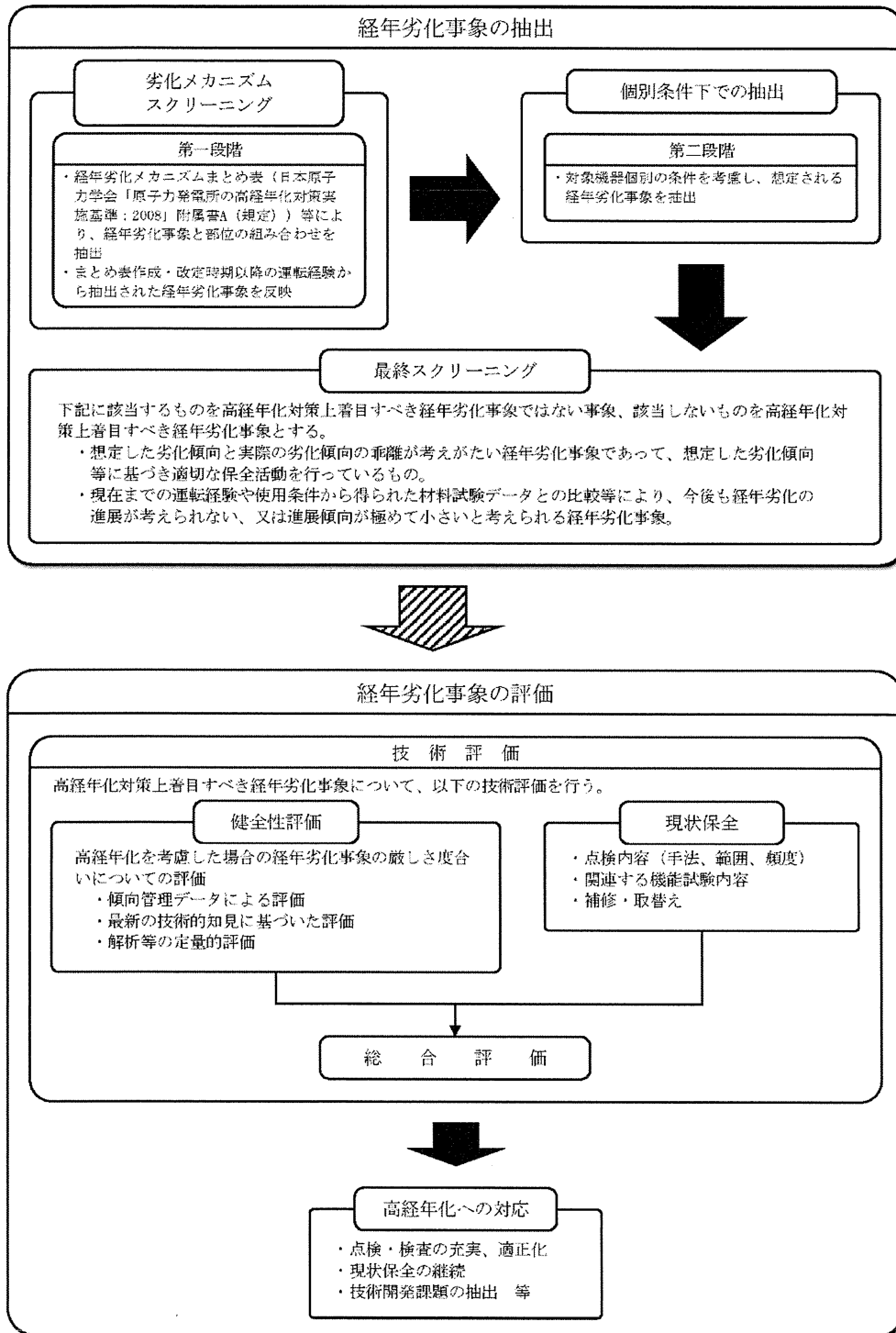
4. 5. 3 代表機器以外への展開

代表機器と同様に代表機器以外の機器に対し、冷温停止状態が維持されることを前提とした場合において、発生・進展が運転を断続的に行うことを前提とした場合より厳しくなることが想定される経年劣化事象を抽出した。その結果、より厳しくなることが想定される経年劣化事象が抽出された場合には、冷温停止状態維持評価を実施した。なお、保全対策に反映すべき項目があるかもあわせて検討した。

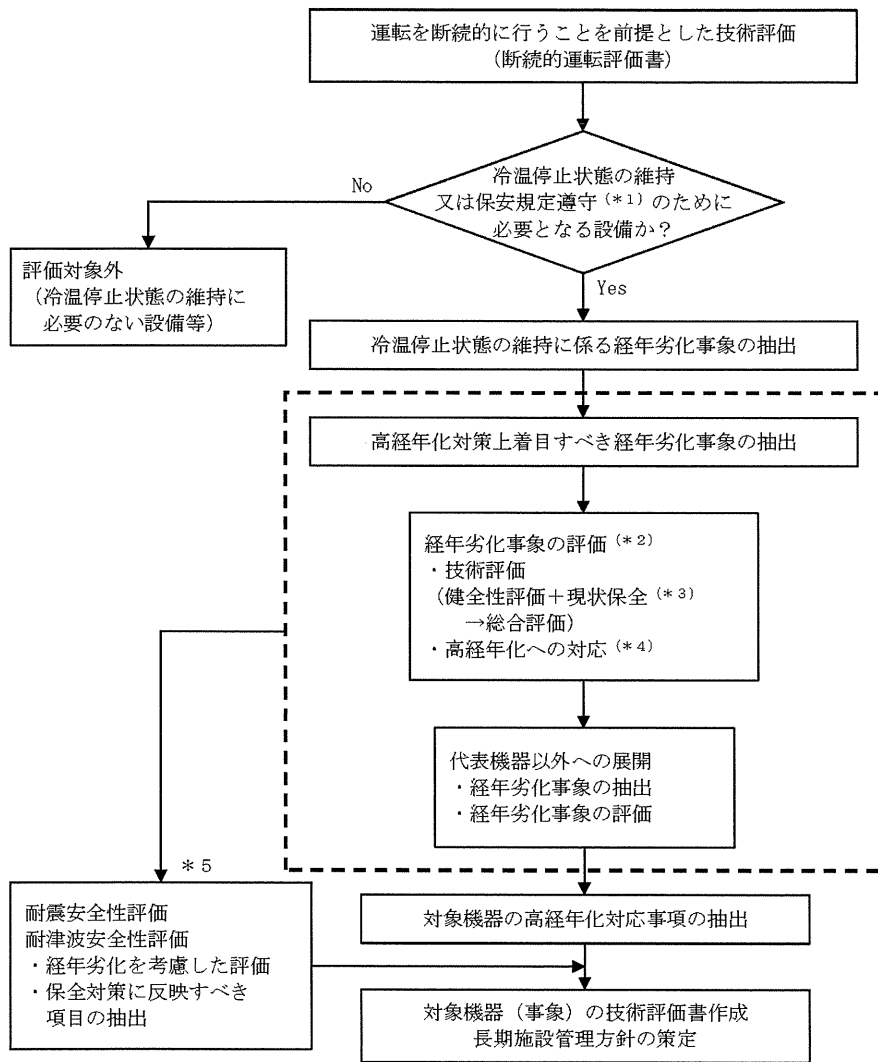


- * 1 : 重要度クラス1, 2(*5) (耐津波安全性評価が必要な浸水防護施設に属する機器及び構造物を含む。)
- * 2 : 重要度クラス3(*5)のうち、最高使用温度が95℃を超え、又は最高使用圧力が1,900kPaを超える環境(原子炉格納容器外にあるものに限る)
- * 3 : 系統レベルの機能確認を含む。
- * 4 : 高経年化対応としての保全のあり方を論じ、高経年化に関係のない一般的な保全は切り離す。
- * 5 : 「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針(1990年8月30日原子力安全委員会決定)」の重要度分類
- * 6 : 経年劣化の発生・進展が否定できず、耐震安全性・耐津波安全性に影響を及ぼす可能性のある経年劣化事象
- * 7 : 浸水防護施設に属する機器及び構造物を含む。

資料4-2 技術評価フロー



資料 4 - 3 経年劣化事象の抽出及び技術評価フロー



- * 1 : 保安規定で定義されている原子炉の運転モード5、モード6、照射済燃料の移動に対して要求される設備及び運転モードに関係なく要求される機能を対象とする。
- * 2 : 断続的運転評価の代表機器として評価されている機器に関しては、冷温停止状態維持に必要な機器として抽出されていなくても、代表機器として評価を記載することとする。
- * 3 : 系統レベルの機能確認を含む。
- * 4 : 高経年化対応としての保全のあり方を論じ、高経年化に関係のない一般的な保全は切り離す。
- * 5 : 経年劣化の発生・進展が否定できず、耐震安全性・耐津波安全性に影響を及ぼす可能性のある経年劣化事象。

資料 4 - 4 冷温停止状態維持時の技術評価フロー

資料 4 - 5 冷温停止状態維持に必要とならない機能の例

機種	機能	想定不要の理由
炉内構造物	制御棒クラス タ案内構造信 頼性の維持	制御棒クラスは燃料集合体内に挿入された 状態で冷温停止状態維持されているため。
	中性子遮蔽構 造信頼性の維 持	冷温停止状態では燃料からの中性子照射はな いため
1 次冷却材 ポンプ	ポンプの容量 一揚程確保	冷温停止状態ではバウンダリの維持機能のみ が要求されるため。
	作動信頼性の 維持	
加圧器ヒー タ	昇温・昇圧制 御	冷温停止状態の維持において、加圧器ヒータ による昇温・昇圧が必要ないため。
制御棒駆動 装置	制御棒作動信 頼性の維持	制御棒クラスは燃料集合体内に挿入された 状態で冷温停止状態維持されており、バウン ダリの維持機能のみが要求されるため。

第5章 技術評価結果

本章では、安全重要度分類審査指針におけるクラス1、2の機能を有する機器・構造物及びクラス3の機能を有する高温・高圧環境下にある機器（原子炉格納容器外に限る）並びに常設重大事故等対処設備に属する機器・構造物に係る技術評価結果及び耐震・耐津波安全性評価結果の概要を記載している。

各機器・構造物の詳細な高経年化技術評価及び耐震・耐津波安全性評価結果については、「断続的運転評価」、「冷温停止状態維持評価」を各々別冊にまとめている。

5.1 運転を断続的に行うことを前提とした機器・構造物の技術評価結果

運転を断続的に行うことを前提とした機器・構造物の詳細な技術評価については、別冊にまとめているが、大部分の機器・構造物については、現状の保全を継続していくことにより、長期間の運転及び冷温停止を仮定しても、プラントを健全に維持することは可能との評価結果が得られた。

なお、高経年化に関する技術評価結果から、現状の保全策に追加すべき項目として抽出された評価結果の概要について以下に示す。

5.1.1 容器*

原子炉容器冷却材出入口管台等の疲労割れについては、疲労評価の結果、疲労累積係数は許容値に対して余裕のある結果が得られた。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が、疲労割れ評価結果は実績過渡回数に依存するため、継続的に実績過渡回数を把握する必要があることから、疲労割れ評価における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。

*：疲労累積係数による低サイクル疲労の評価を実施した全ての機器

5. 1. 2 容器

原子炉容器胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化については、破壊力学的手法を用いて、運転開始後60年間の中性子照射を考慮し、初期き裂を想定して評価を行っても脆性破壊は起こらないことを確認した。また、原子炉容器に対しては定期的に超音波探傷検査を実施し、有意な欠陥のないことを確認している。また、監視試験片による試験で将来の破壊靱性の変化の傾向を把握している。

胴部材料の機械的性質の予測は監視試験により把握可能であり、有意な欠陥のないことも超音波探傷検査により確認しているが、今後、「日本電気協会 原子炉構造材の監視試験方法」（以下、「JEAC4201」という。）に基づき計画的に監視試験を実施して健全性評価の妥当性を確認するとともに、定期的に超音波探傷検査を実施していく。また、監視試験結果から、「日本電気協会 原子力発電所用機器に対する破壊靱性の確認試験方法」（以下、「JEAC4206」という。）に基づき、運転管理上の制限として加熱・冷却運転時に許容し得る温度・圧力の範囲（加熱冷却制限曲線）及び耐圧漏えい試験温度を設けて運用していく。さらに、今後の原子炉の運転サイクル・照射量を勘案して第4回監視試験の実施計画を策定する。

5. 2 運転を断続的に行うことを前提とした耐震安全性評価結果

運転を断続的に行うことを前提とした耐震安全性評価にあたっては、5.1における技術評価結果を取り入れ、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象及び日常劣化管理事象を対象として耐震安全性を評価した。

対象とした経年劣化事象について、これらの事象が顕在化した場合、代表機器の振動応答特性又は構造・強度上、影響が「有意」であるか「軽微もしくは無視」できるかを検討し、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出を行い、抽出された経年劣化事象ごとに、耐震安全性に関する詳細評価を実施した。

なお、耐震安全性評価結果から、現状の保全策に追加すべき項目として抽出された評価結果の概要について以下に示す。

5. 2. 1 配管

配管の腐食（流れ加速型腐食）については、保全活動の範囲内で発生する減肉量を仮定し、地震時の腐食発生部位の発生応力を算出し、許容応力以下であることを確認した。

なお、肉厚計測による実測データに基づき耐震安全性評価を実施した炭素鋼配管*については、今後の実測データを反映した耐震安全性評価を実施し、設備対策を行った場合は、その内容も反映した耐震安全性評価を実施する。

*：対象は、主蒸気系統配管、第4抽気系統配管、第5抽気系統配管、補助蒸気系統配管、2次系ドレン系統配管

5. 3 運転を断続的に行うことを前提とした耐津波安全性評価結果

運転を断続的に行うことを前提とした耐津波安全性評価にあたっては、5.1における技術評価結果を取り入れ、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象及び日常劣化管理事象を対象として耐津波安全性を評価した。

対象とした経年劣化事象について、これらの事象が顕在化した場合、構造・強度上及び止水性上、影響が「有意」であるか「軽微もしくは無視」できるかを検討し、耐津波安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出を行い、抽出された経年劣化事象ごとに、耐津波安全性に関する詳細評価を実施した結果、現状の保全策に追加すべき項目や評価結果は抽出されなかった。

5. 4 冷温停止状態が維持されることを前提とした機器・構造物の技術評価結果

冷温停止状態が維持されることを前提とした機器・構造物の技術評価結果についてまとめた。

冷温停止状態が維持されることを前提とした場合に、運転を断続的に行うことを前提とした場合と比べ運転条件や環境が厳しくなる恐れがある機器と経年劣化事象の組み合わせを抽出し、経年劣化事象ごとにまとめたものを以下に示す。

- (1) 余熱除去ポンプ用電動機固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下
- (2) 充てんポンプ、余熱除去ポンプ主軸のフレット疲労割れ
- (3) 余熱除去冷却器伝熱管の摩耗及び高サイクル疲労割れ
- (4) 中間開度で使用する制御弁の弁体、弁座等の腐食（エロージョン）

これらの経年劣化事象について評価した結果、現状保全に新たに加えるべき項目はなかった。

5. 5 冷温停止状態が維持されることを前提とした耐震安全性評価結果

冷温停止状態が維持されることを前提とした耐震安全性評価にあたっては、5. 2における耐震安全性評価結果及び5. 4における技術評価結果を取り入れることとし、耐震安全性を評価した。

具体的には、5. 4で抽出した運転を断続的に行うことを前提とした場合と比べ運転条件や環境が厳しくなる恐れがある経年劣化事象について、これらの事象が顕在化した場合、代表機器の振動応答特性又は構造・強度上、影響が「有意」であるか「軽微もしくは無視」できるかを検討し、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出を行い、抽出された経年劣化事象ごとに、耐震安全性に関する詳細評価を実施した。

その結果、5. 2における耐震安全性評価結果に加え、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象は抽出されなかった。

5. 6 冷温停止状態が維持されることを前提とした耐津波安全性評価結果

冷温停止状態が維持されることを前提とした耐津波安全性評価にあたっては、5. 3における耐津波安全性評価結果及び5. 4における技術評価結果を取り入れることとし、耐津波安全性を評価した。

具体的には、5. 4で抽出した運転を断続的に行うことを前提とした場合と比べ運転条件や環境が厳しくなる恐れがある経年劣化事象について、これらの事象が顕在化した場合、構造・強度上及び止水性上、影響が「有意」であるか「軽微もしくは無視」できるかを検討し、耐津波安全上考慮する必要がある経年劣化事象の抽出を行い、抽出された経年劣化事象ごとに、耐津波安全性に関する詳細評価を実施した。

その結果、5. 3における耐津波安全性評価結果に加え、耐津波安全上考慮する必要がある経年劣化事象は抽出されなかった。

5. 7 評価の結果に基づいた補修等の措置

本評価書を提出する以前に健全性評価結果に基づき実施した補修等はない。

第6章 今後の高経年化対策

高経年化に関する技術評価結果により、今後の高経年化対策として充実すべき課題等を抽出した。

6. 1 長期施設管理方針の策定

(1) 総合評価結果

高経年化に関する技術評価結果から、現状の保全策に追加すべき項目が抽出された。60年の運転及び冷温停止を仮定しても現状保全を継続するとともに、一部の機器・構造物において追加保全策を講じることで、プラント全体の機器・構造物の長期健全性が確保されることを確認した。

(2) 現状の保全策に追加すべき項目

総合評価結果を基に、高経年化対策上現状の保全項目に追加すべき保全策について、具体的な実施内容、実施方法及び実施時期をとりまとめ、策定した。

なお、疲労評価における運転開始後60年時点の推定過渡回数の確認については機器によらないため、まとめて長期施設管理方針とした。

高経年化技術評価に基づく長期施設管理方針を資料6-1に示す。

6. 2 長期施設管理方針の実施

現状の保全策に追加すべき項目で抽出された長期施設管理方針については、今後、玄海3号炉の具体的な保全計画に反映し、運転開始後30年を迎える2024年3月18日を始期として10年間の適用期間で計画的に実施していくこととしている。

長期施設管理方針の実施にあたっては、これらの新たな保全項目を直ちに実施しなければならないものでないことから、実施時期を以下のとおり2つに大別した。

a. 短期（2024年3月18日から5年間）

- ・健全性評価結果から実機プラントデータでの確認・評価が早急に必要なもの
- ・5年以内に実施計画のあるもの（取替等）等

b. 中長期（2024年3月18日から10年間）

- ・健全性評価において長期にわたる健全性は確保できると評価されるが、定期的（約10年ごと）に評価条件の妥当性の確認が必要であるもの等

策定した長期施設管理方針については、具体的な保全計画に反映され、長期施設管理方針に基づく保全の実績は、高経年化技術評価結果と同様に保全の有効性評価のインプットに位置づけられ、保全の有効性評価を通じてさらなる保全計画の改善に活用していくことになる。

6. 3 技術開発課題

高経年化に関する技術評価においては、現在までの知見と実績を基にしたものであるが、点検・検査技術の高度化、並びにさらなる知見の蓄積に努める観点から、今後さらに技術開発課題に取り組んでいく必要がある。現時点では緊急性を有する課題はないが、今後も、電力研究や国の研究プロジェクトの成果等を活用し、必要なものは保全計画に反映することとしている。

なお、2014年4月に閣議決定された「エネルギー基本計画」において示された方針を具体化するために必要な措置のあり方が、総合資源エネルギー調査会原子力小委員会において検討され、原子力小委員会から要請を受けた自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループは2015年6月に、軽水炉の安全技術・人材の維持発展に重きを置き、国、事業者、メーカー、研究機関、学会等関係者間の役割が明確化された軽水炉安全技術・人材に関するロードマップを策定した。同ロードマップでは、高経年化技術評価によって抽出された技術開発課題も検討対象とされており、これらの技術開発課題への取組みを実施していく。

資料 6 - 1 玄海 3 号炉 高経年化技術評価に基づく長期施設管理方針 (1/2)

機種名	機器名	経年劣化事象	健全性評価結果	現状保全	総合評価	(長期施設管理方針)		
						No.	施設管理の項目	実施時期
容器	原子炉容器	胴部(炉心領域部)の中性子照射脆化	監視試験結果(関連温度実測値)は JEAC4201 の国内脆化予測法による予測の範囲内であった。関連温度の上昇については、JEAC4206 に定められた加圧熱衝撃(PTS)評価手法に基づき評価した結果、初期き裂を想定しても、運転開始後 60 年時点において、脆性破壊に対する抵抗値(材料自身の持つねばり強さ)を示す K_{IC} 曲線は、負荷状態を応力拡大係数 K_I (脆性破壊を起こそうとする値) で示す PTS 状態遷移曲線を上回っていることから、脆性破壊は起こらないと評価される。 また、上部棚吸収エネルギーの低下については、予測式(国内 USE 予測式)を用いて評価した結果、運転開始後 60 年時点において、JEAC4206 の要求を満足しており、十分な上部棚吸収エネルギーがある。	原子炉容器に対しては、定期的に超音波探傷検査を実施し、有意な欠陥のないことを確認している。 胴部(炉心領域部)材料の中性子照射による機械的性質の変化については、JEAC4201 に基づいて、計画的に監視試験を実施し、将来の破壊韌性の変化の傾向を把握している。	胴部(炉心領域部)の中性子照射脆化が機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。ただし、胴部(炉心領域部)の中性子照射脆化に対しては、今後も計画的に監視試験を実施して健全性評価の妥当性を確認する必要がある。 胴部(炉心領域部)材料の機械的性質の予測は監視試験により把握可能であり、また有意な欠陥のないことも超音波探傷検査により確認していることから、保全内容として適切である。	1	原子炉容器胴部(炉心領域部)の中性子照射脆化については、今後の原子炉の運転サイクル・照射量を勘案して第 4 回監視試験の実施計画を策定する。	中長期
容器等*	原子炉容器等*	疲労割れ	運転実績に基づき推定した運転開始後 60 年時点における推定過渡回数を用いて疲労累積係数による評価を実施した結果、許容値に対し余裕のある結果が得られている。	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。	疲労割れ評価結果は実績過渡回数に依存するため、継続的に実績過渡回数を把握する必要がある。	2	原子炉容器等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。	中長期

※：疲労累積係数による低サイクル疲労の評価を実施した全ての機器

短期：2024年3月18日からの5年間、中長期：2024年3月18日からの10年間

資料 6 - 1 玄海 3 号炉 高経年化技術評価に基づく長期施設管理方針 (2/2)

機種名	機器名	経年劣化事象	健全性評価結果	現状保全	総合評価	(長期施設管理方針)		
						No.	施設管理の項目	実施時期
耐震安全性	主蒸気系統配管 第4抽気系統配管 第5抽気系統配管 補助蒸気系統配管 2次系ドレン系統配管	母管腐食(流れ加速型腐食)	流れ加速型腐食により減肉が発生する可能性がある。 減肉は個々の肉厚計測結果により予測可能である。	超音波厚さ計による肉厚計測を計画的に実施し、配管減肉を管理している。	腐食(流れ加速型腐食)による減肉は、超音波厚さ計による肉厚計測により検知可能である。 配管減肉の管理を実施していくことで、健全性を維持できる。	3	肉厚計測による実測データに基づき耐震安全性評価を実施した炭素鋼配管*1の腐食(流れ加速型腐食)については、今後の実測データを反映した耐震安全性評価を実施する。 なお、設備対策を行った場合は、その内容も反映した耐震安全性評価を実施する。 *1: 主蒸気系統配管 第4抽気系統配管 第5抽気系統配管 補助蒸気系統配管 2次系ドレン系統配管	中長期

短期：2024年3月18日からの5年間、中長期：2024年3月18日からの10年間

第7章 まとめ

(1) 総合評価

運転開始以来、30年を経過する玄海3号炉のプラントを構成する機器・構造物について、高経年化対策に関する評価を実施した結果、大部分の機器・構造物については、現状の保全を継続していくことにより、長期間の運転及び冷温停止を仮定してもプラントを健全に維持することは可能であるとの見通しを得た。

また、一部の機器・構造物については、高経年化への対応として講じる必要がある保全項目が抽出されたが、これらについては長期施設管理方針としてとりまとめ、必要に応じ具体的な保全計画に反映し、計画的に実施していくことにより、安全に運転を継続することは可能との見通しを得た。

(2) 今後の取組み

今回実施した高経年化技術評価は、現在の最新知見に基づき実施したものであるが、今後以下に示すような運転経験や最新知見等を踏まえ、適切な時期に高経年化技術評価として再評価及び変更を実施していく。

- a. 材料劣化に係る安全基盤研究の成果
- b. これまで想定していなかった部位等における経年劣化事象が原因と考えられる国内外の事故・トラブル
- c. 関係法令の制定及び改廃
- d. 原子力規制委員会からの指示
- e. 材料劣化に係る規格・基準類の制定及び改廃
- f. 発電用原子炉の運転期間の変更
- g. 発電用原子炉の定格熱出力の変更
- h. 発電用原子炉の設備利用率（実績）から算出した原子炉容器の中性子照射量
- i. 点検・補修・取替えの実績

当社は、高経年化対策に関するこれらの活動を通じて、今後とも原子力プラントの安全・安定運転に努めるとともに、安全性・信頼性のなお一層の向上に取り組んでいく所存である。

以上

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ます。

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

本評価書では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	選定理由	
型式	内部流体	材料		重要度*4	使用条件					
					運転	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)			
ターボポンプ たて置斜流形	海水	ステンレス鋼鋳鋼	海水ポンプ (4)	MS-1、重*6	連続	約0.98	約 50	◎		
ターボポンプ よこ置うず巻形	1次冷却材 ほう酸水	低合金鋼*1	充てんポンプ (3)	MS-1、重*7	連続	約20.0	約 95	◎	圧力	
			高圧注入ポンプ (2)	MS-1、重*7	一時	約16.7	約150			
		ステンレス鋼鋳鋼	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	◎	重要度 温度、圧力	
			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					
	ヒドランソ水	炭素鋼鋳鋼*2	原子炉補機冷却水ポンプ (4)	MS-1、重*6	連続	約 1.4	約 95	◎		
	給 純 水	炭素鋼鋳鋼*2	1次系補助蒸気復水ポンプ (4)	高*5	一時	約0.69	約100	◎	重要度 圧力	
			ステンレス鋼鋳鋼	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				
湿分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				
ターボポンプ たて置うず巻形	給 水	炭素鋼*3	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	◎	圧力	
			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			
ターボポンプ たて置斜流形	1次冷却材	ステンレス鋼鋳鋼	1次冷却材ポンプ (4)	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鋳鋼

*2：ケーシングは炭素鋼鋳鋼、主軸はステンレス鋼、羽根車はステンレス鋼鋳鋼

*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鋳鋼

*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。
湿水分離器ドレンポンプ	湿水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：炭素鋼鋳鋼及びステンレス鋼鋳鋼

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

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準			選定	選定理由	
型式	内部流体	材料		重要度*4	使用条件				
					運転	最高使用圧力 (MPa [gage])			最高使用温度 (°C)
たて置 斜流形	海水	ステンレス鋼鋳鋼	海水ポンプ (4)	MS-1、重*6	連続	約0.98	約 50	◎	
よこ置 うず巻形	1次冷却材 ほう酸水	低合金鋼*1	充てんポンプ (3)	MS-1、重*7	連続	約20.0	約 95	◎	圧力
			高圧注入ポンプ (2)	MS-1、重*7	一時	約16.7	約150		
		ステンレス鋼鋳鋼	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	◎	重要度 温度、圧力
			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		
	ヒドラジン水	炭素鋼鋳鋼*2	原子炉補機冷却水ポンプ (4)	MS-1、重*6	連続	約 1.4	約 95	◎	
		給水 純水	炭素鋼鋳鋼*2	1次系補助蒸気復水ポンプ (4)	高*5	一時	約0.69	約100	◎
	ステンレス鋼鋳鋼		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			
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			
たて置 うず巻形	給水	炭素鋼*3	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	◎	圧力
			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（内面ステンレス鋼内張り）、主軸はステンレス鋼、羽根車はステンレス鋼鋳鋼

*2：ケーシングは炭素鋼鋳鋼、主軸はステンレス鋼、羽根車はステンレス鋼鋳鋼

*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鋳鋼

*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。

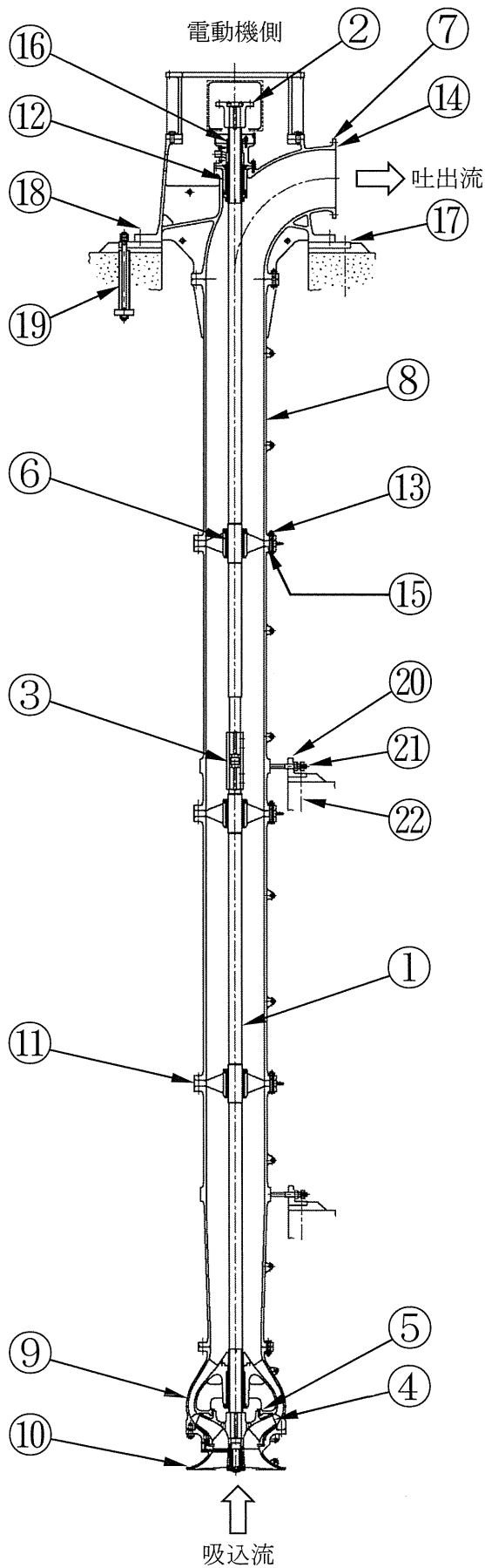
主軸、羽根車、吐出管及び案内羽根には耐食ステンレス鋼又は耐食ステンレス鋼鋳鋼を使用しており、それぞれ海水に接液している。

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	グラウンドパッキン
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	耐食ステンレス鋼鑄鋼
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	耐食ステンレス鋼鑄鋼
吐 出 管	耐食ステンレス鋼鑄鋼
案内羽根	耐食ステンレス鋼鑄鋼
吸 込 口	耐食ステンレス鋼鑄鋼
中間軸受箱	耐食ステンレス鋼鑄鋼
軸 受 箱	耐食ステンレス鋼鑄鋼
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	ステンレス鋼鑄鋼
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。

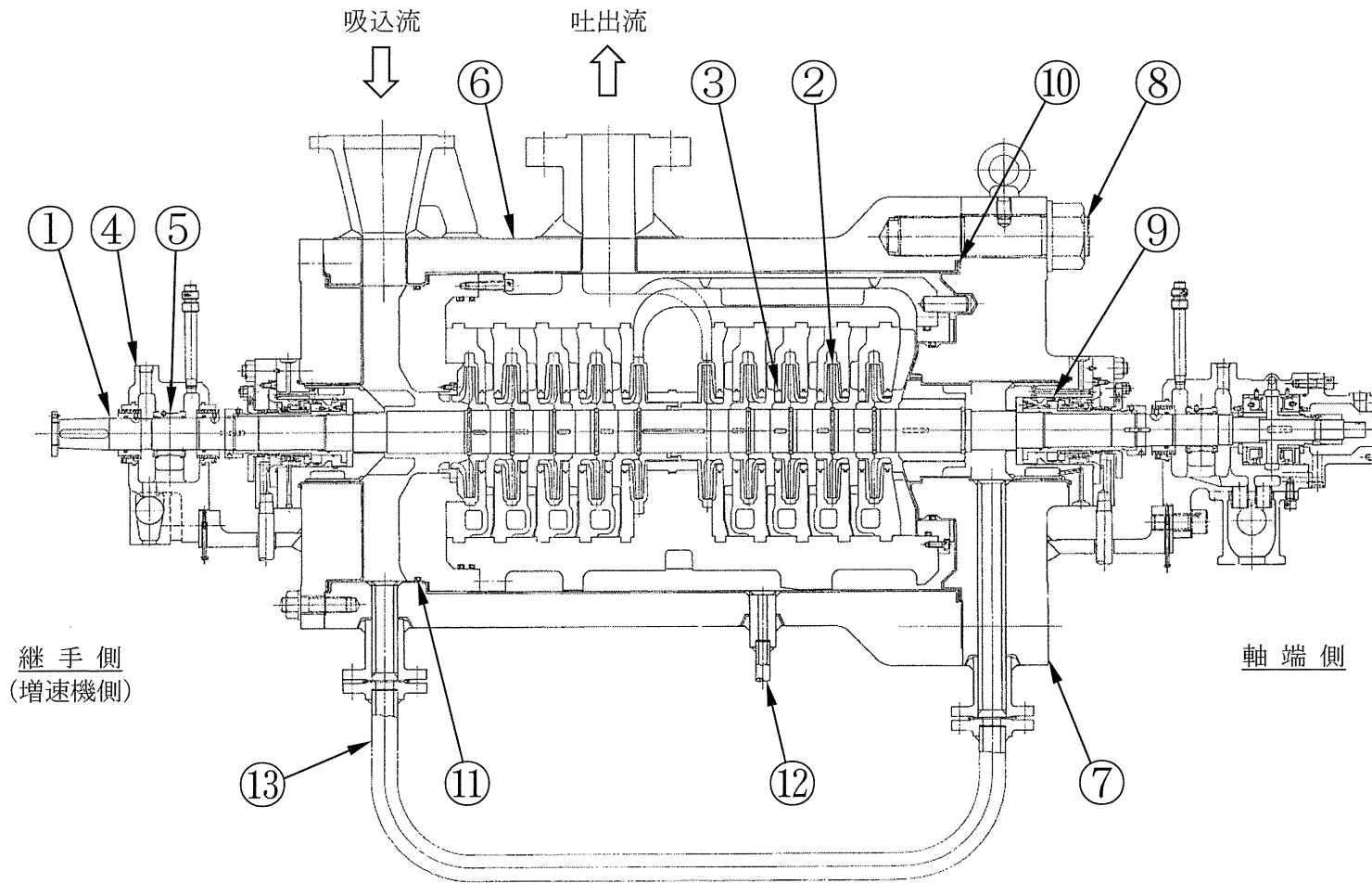
主軸にはステンレス鋼、羽根車にはステンレス鋼鋳鋼、ケーシング等には低合金鋼を使用しており、それぞれ1次冷却材に接液している。

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。

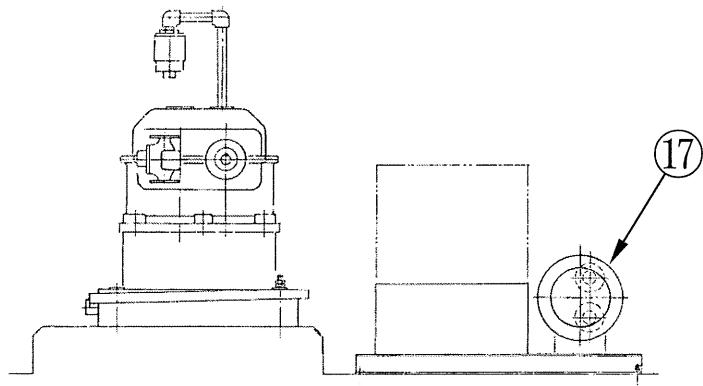
(2) 材料及び使用条件

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
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



A 視

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

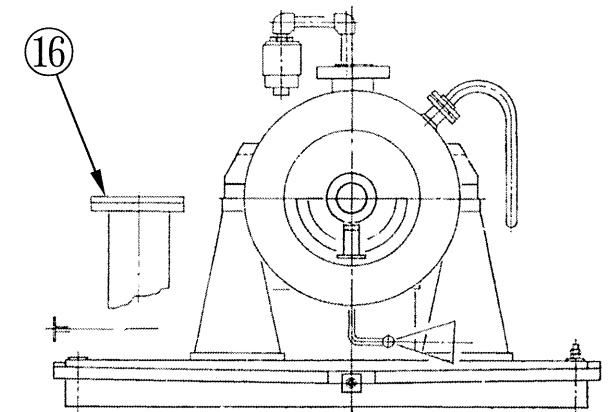
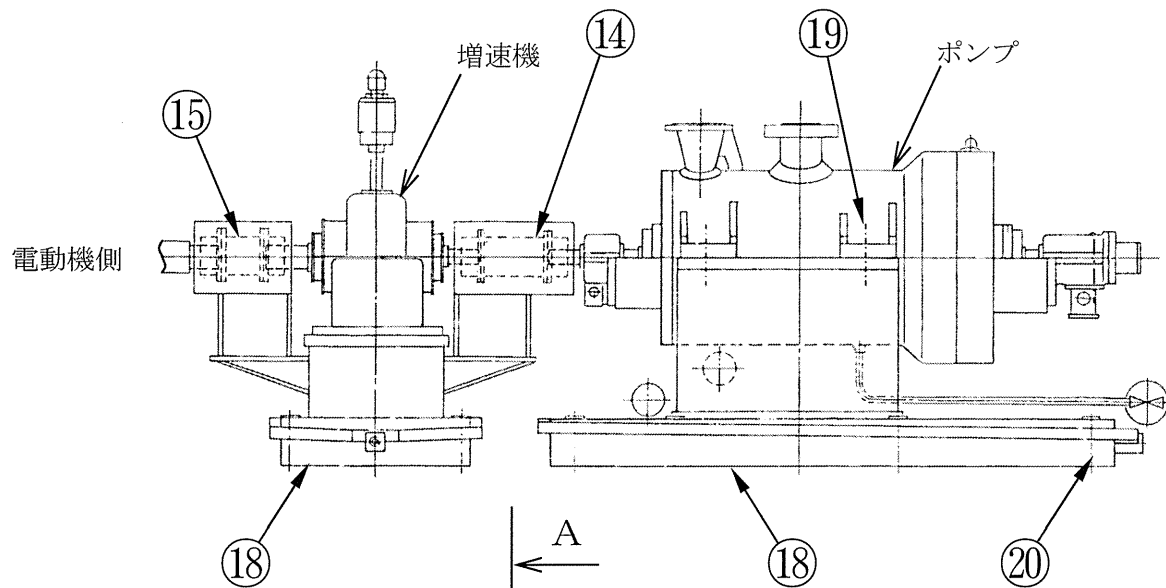
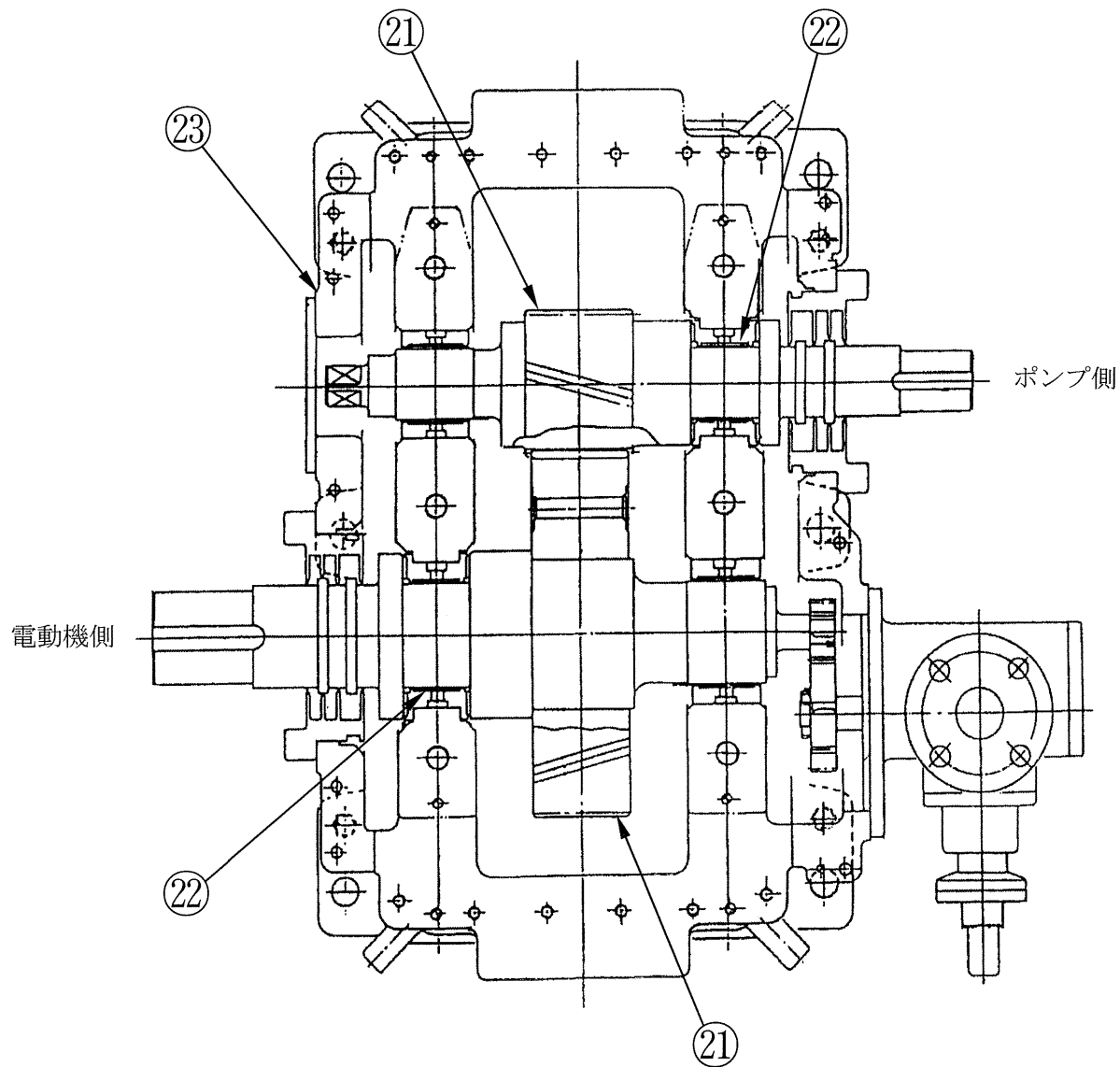


図2.1-2(2/3) 玄海3号炉 充てんポンプ構造図



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。

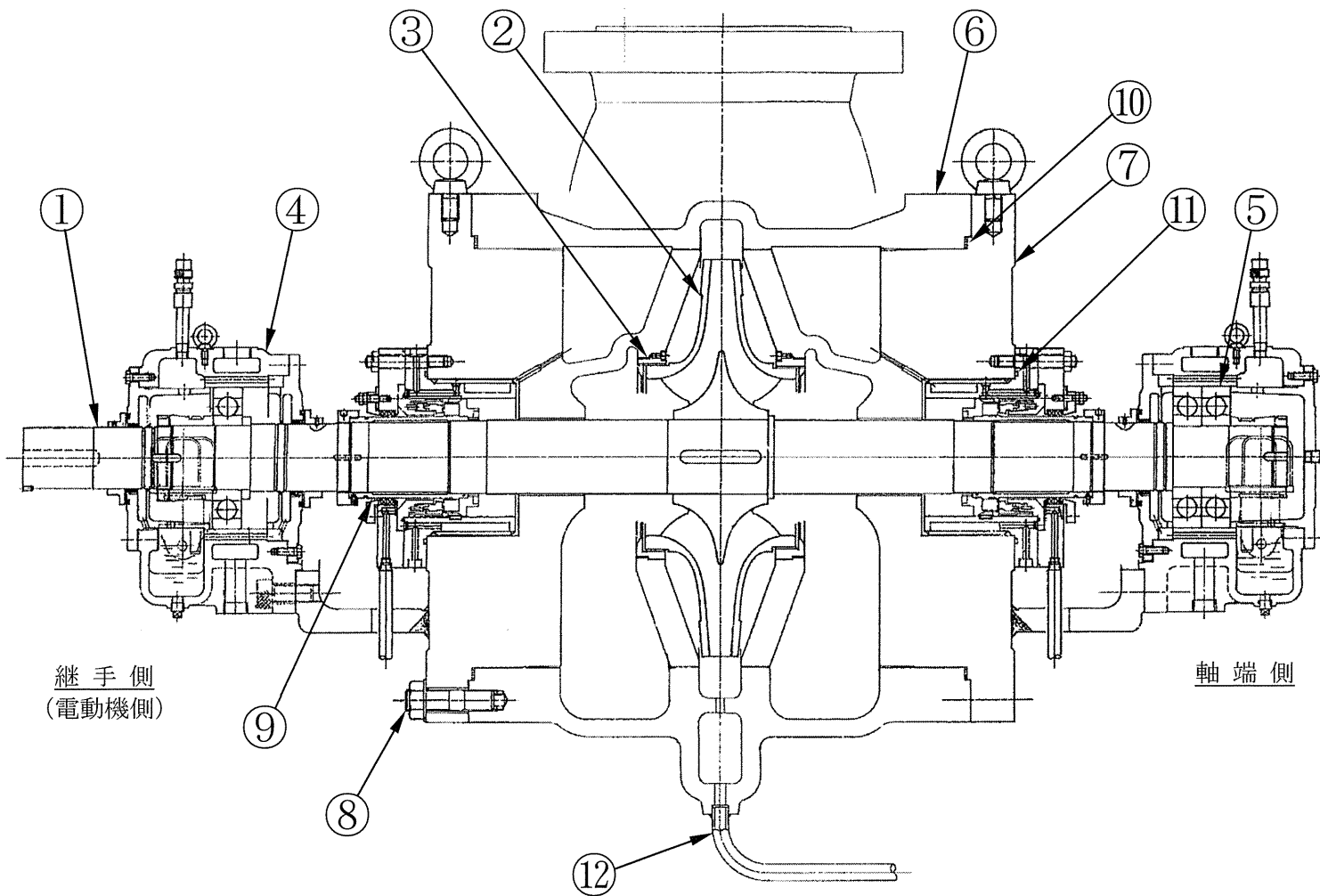
主軸、羽根車、ケーシング等にはステンレス鋼又はステンレス鋼鑄鋼を使用しており、それぞれ1次冷却材に接液している。

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。

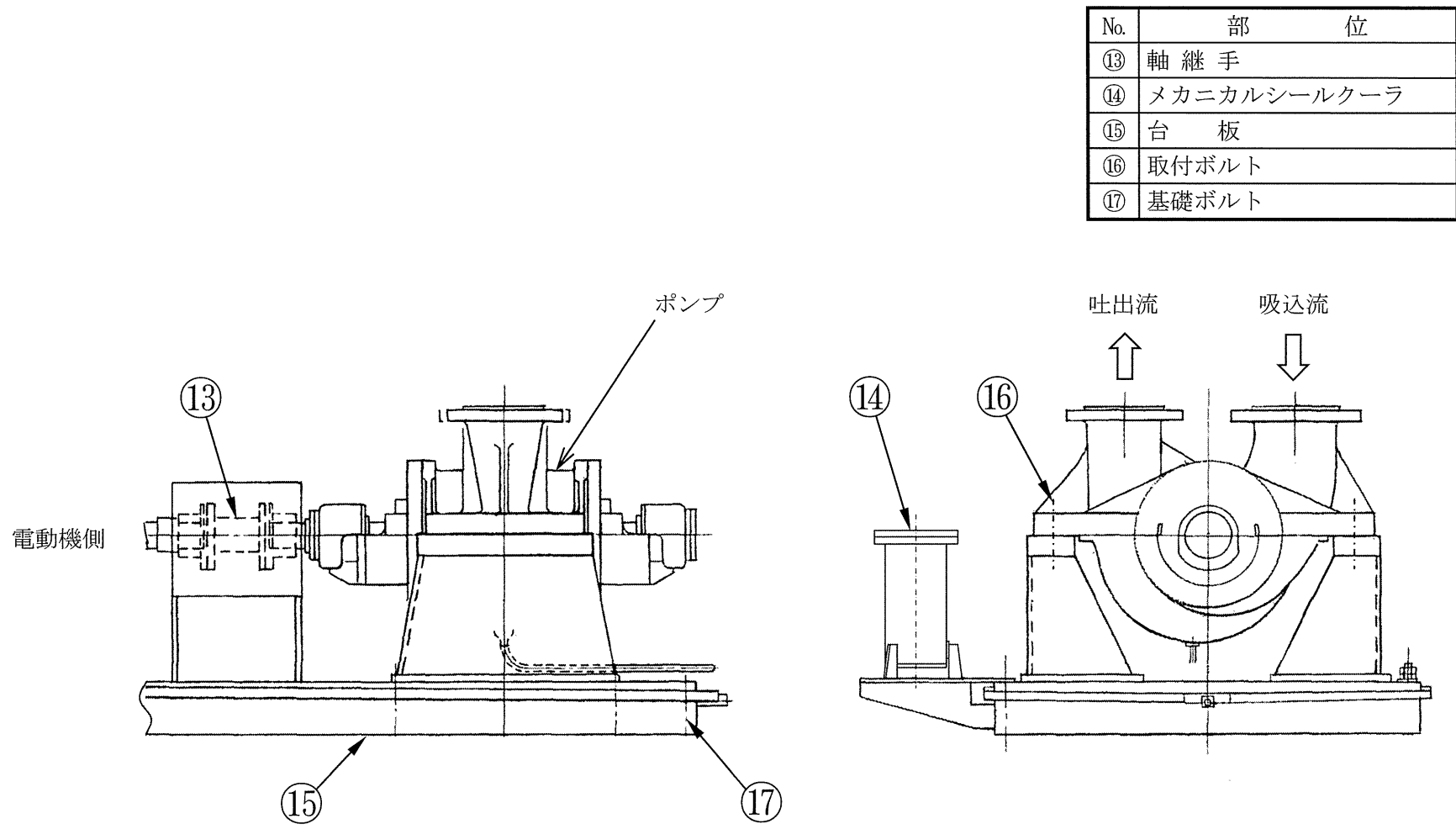
(2) 材料及び使用条件

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
①	主 軸
②	羽 根 車
③	ケーシングリング
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

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。

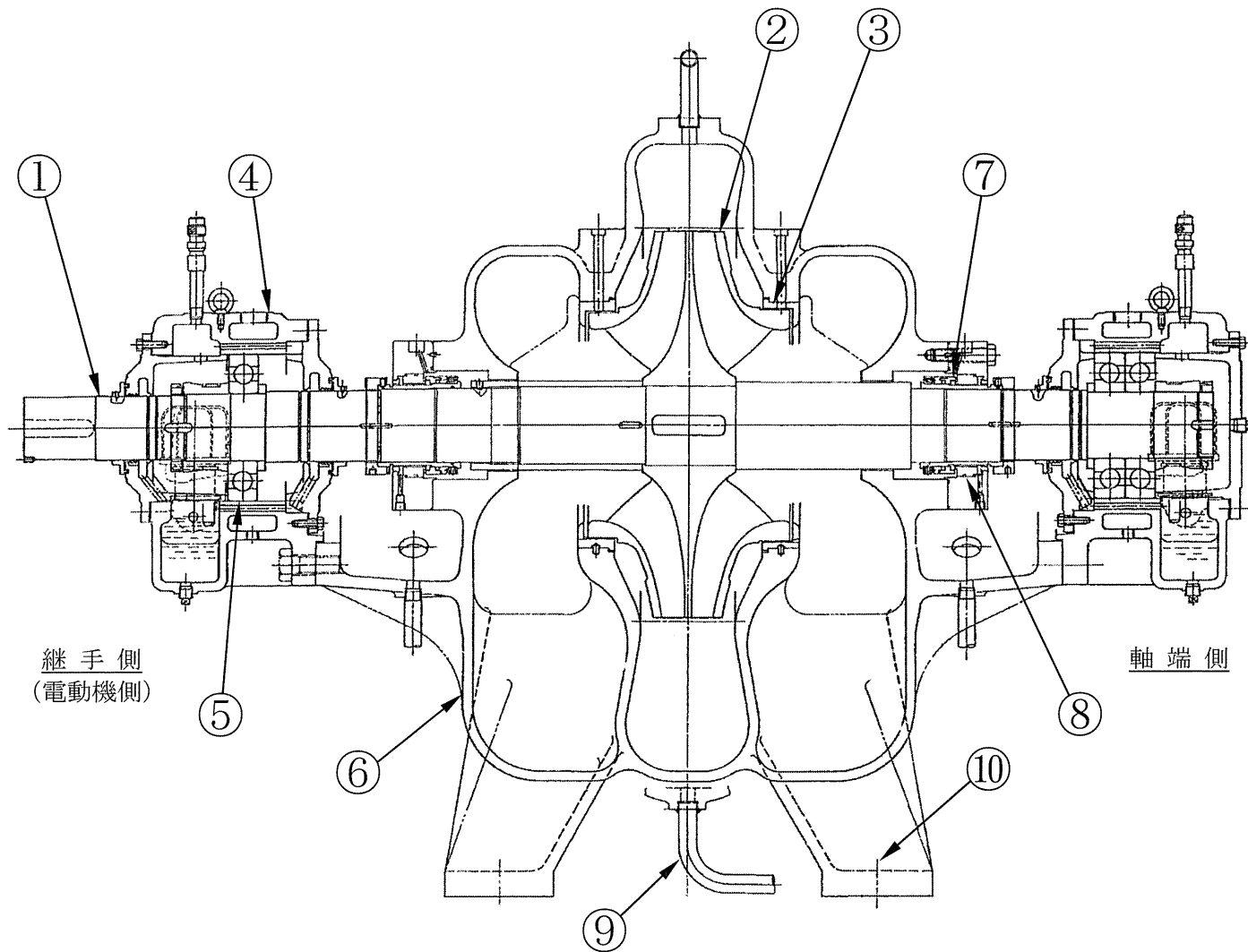
主軸にはステンレス鋼、羽根車にはステンレス鋼鋳鋼、ケーシングには炭素鋼鋳鋼を使用しており、それぞれヒドラジン水に接液している。

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。

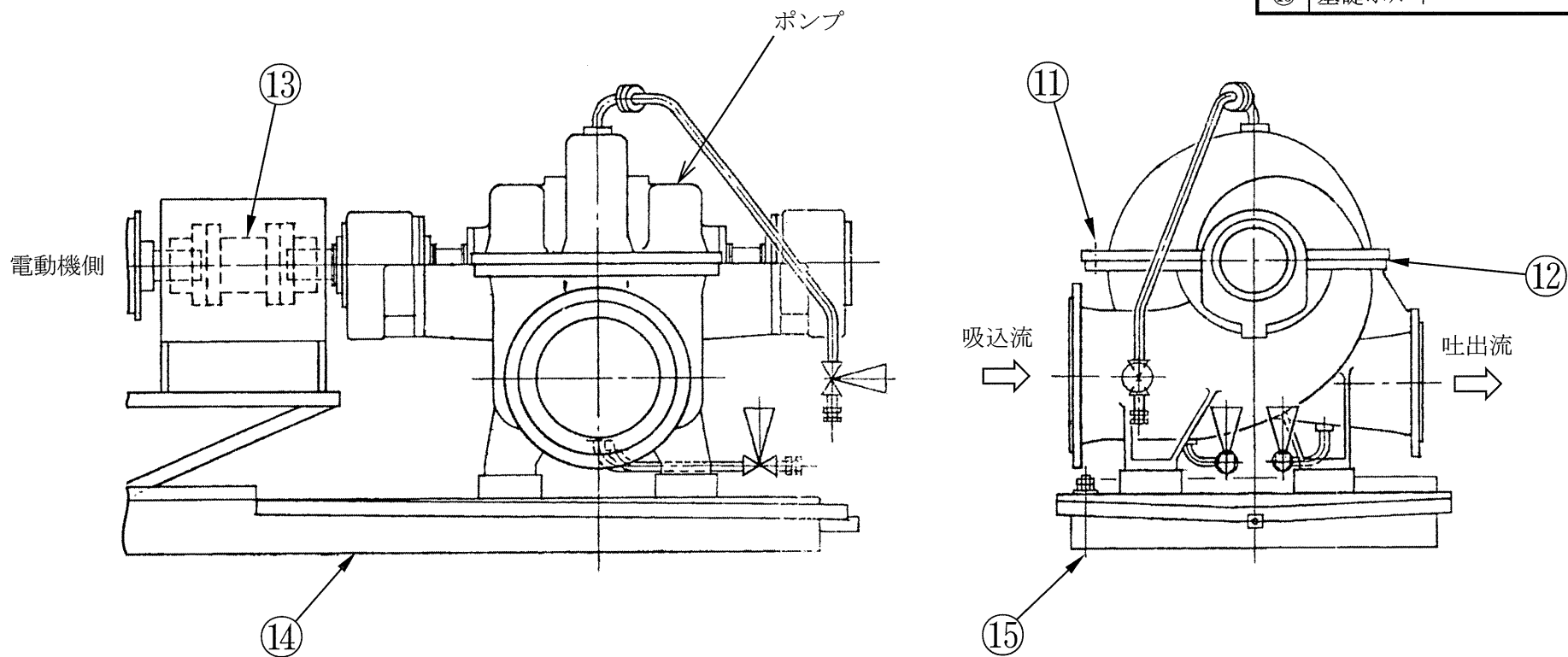
(2) 材料及び使用条件

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	ケーシングリング
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
⑪	ケーシングボルト
⑫	ガスケット
⑬	軸 継 手
⑭	台 板
⑮	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。

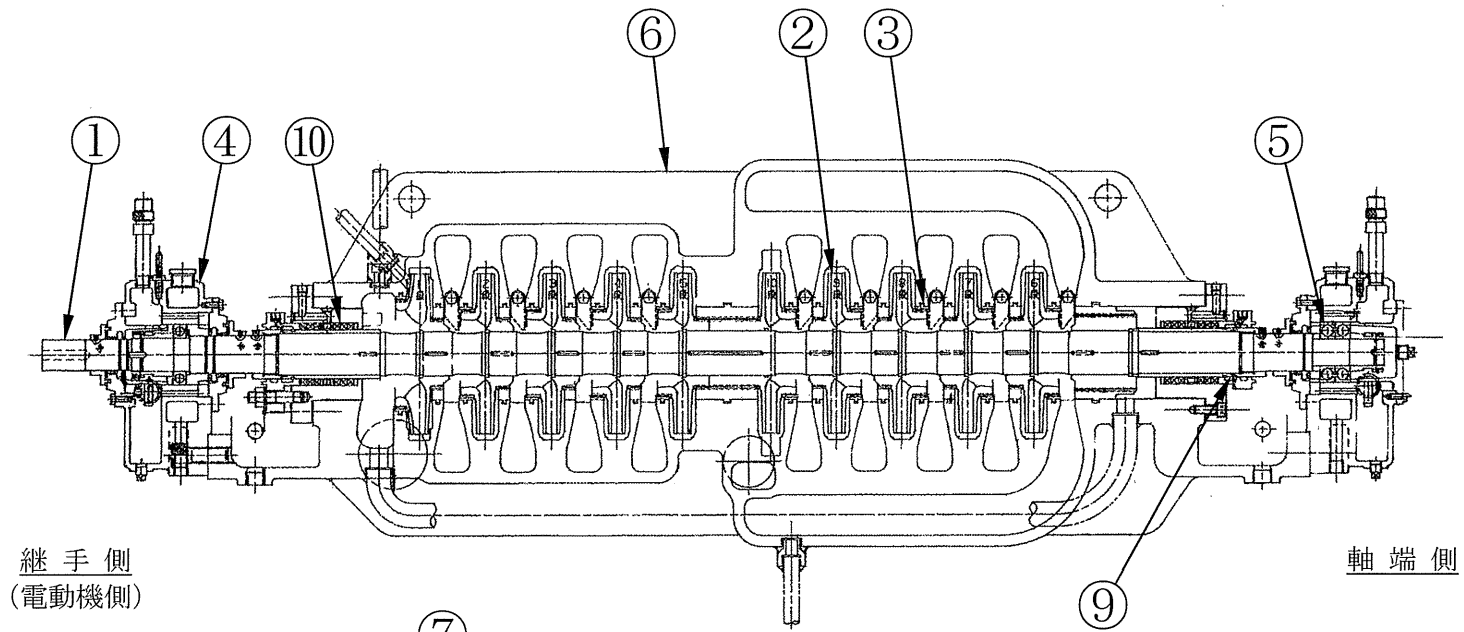
主軸、羽根車、ケーシングにはステンレス鋼又はステンレス鋼鑄鋼を使用しており、それぞれ給水に接液している。

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

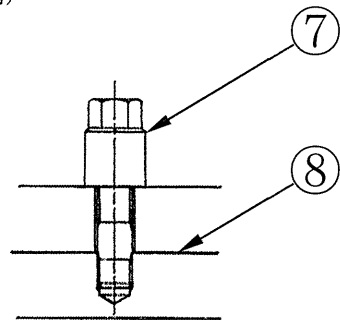
玄海3号炉の電動補助給水ポンプの使用材料及び使用条件を表2.1-9及び表2.1-10に示す。



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	グランドパッキン

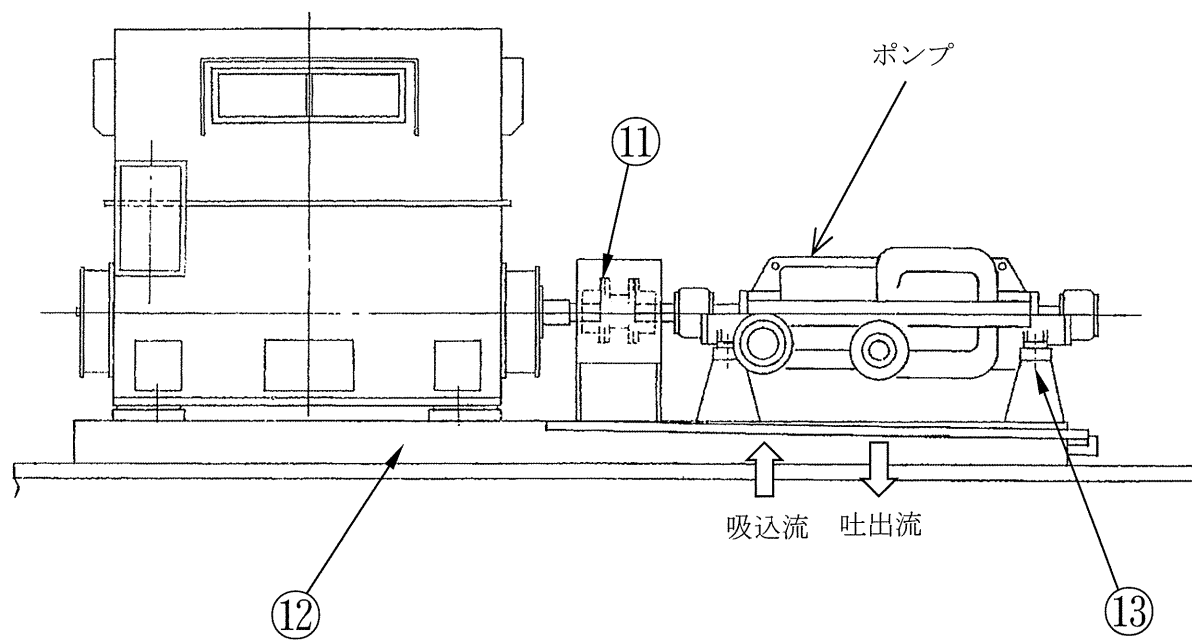
継手側
(電動機側)

軸端側



ケーシング合せ面ボルト詳細

図2.1-5(1/2) 玄海3号炉 電動補助給水ポンプ構造図



No.	部 位
⑪	軸 継 手
⑫	台 板
⑬	取 付 ボ ル ト
⑭	基 礎 ボ ル ト

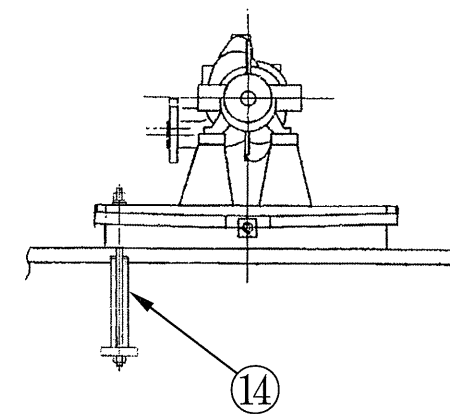


図2. 1-5(2/2) 玄海3号炉 電動補助給水ポンプ構造図

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。

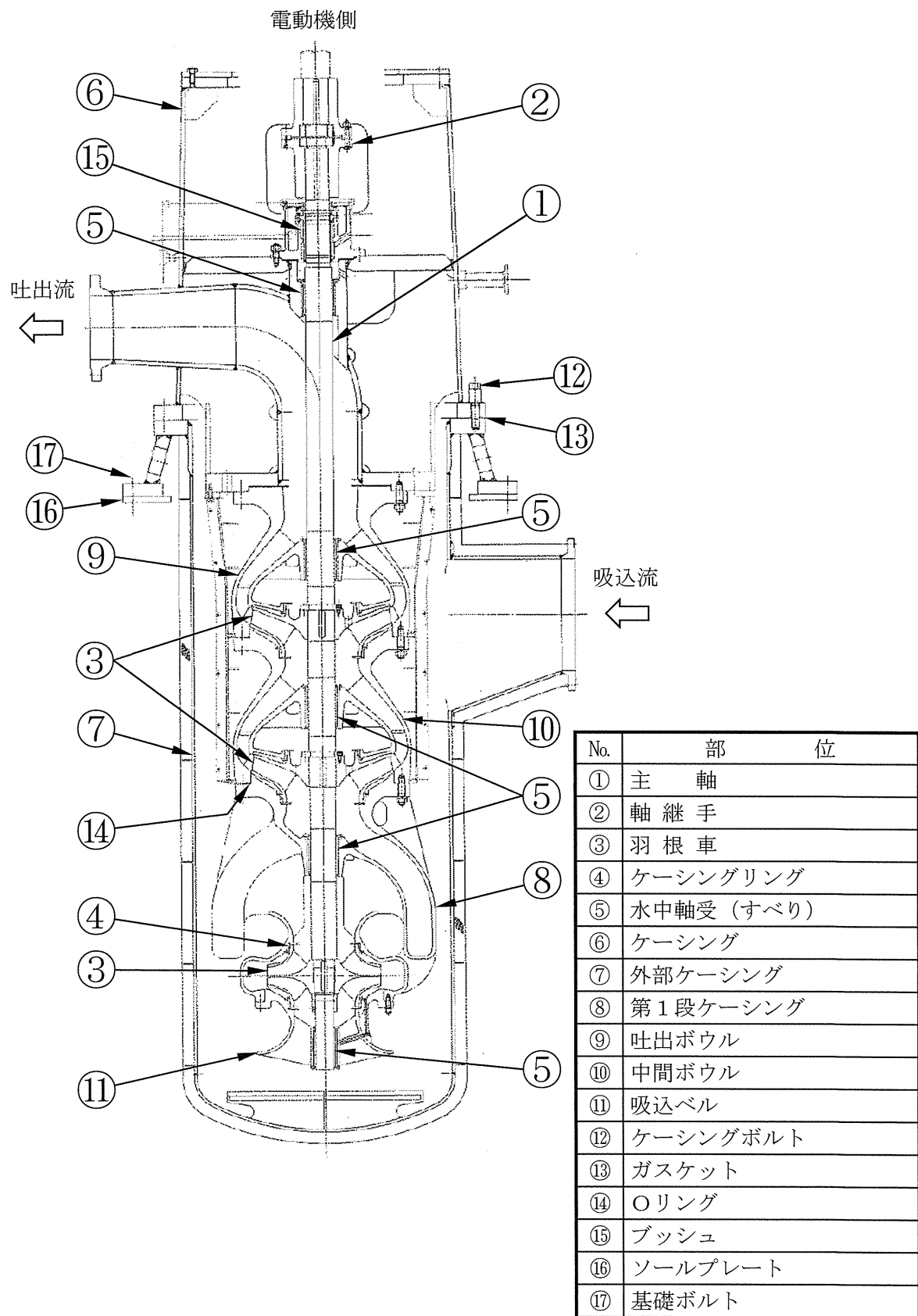


図2.1-6 玄海3号炉 タービン動主給水ポンプ用給水ブースターポンプ構造図

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ィ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ィ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雰囲気下で腐食が発生し難い環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(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 肉		割 れ		材質変化			その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣 化		
ポンプの容量－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								
	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 鋳鋼		△*1 △*3						
	ケーシングリング	◎	—								
	水中軸受（すべり）	◎	—								
バウンダリの維持	吐出曲管		耐食ステンレス鋼 鋳鋼		△*1						
	吐 出 管		耐食ステンレス鋼 鋳鋼		△*1						
	案内羽根		耐食ステンレス鋼 鋳鋼		△*1						
	吸 込 口		耐食ステンレス鋼 鋳鋼		△*1						
	中間軸受箱		耐食ステンレス鋼 鋳鋼		△*1						
	軸 受 箱		耐食ステンレス鋼 鋳鋼		△*1						
	ケーシングボルト		ステンレス 鋼 耐食ステンレス鋼		△*1						
	ガスケット	◎	—								
	Oリング	◎	—								
	グランドパッキン	◎	—								
機器の支持	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		△*1						
	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 肉		割 れ		材質変化		その他	
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣 化		
ポンプの容量－揚程確保	主 軸		ステンレス鋼	△		△*1 △*2					*1：フレットینگ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		△*3						
	ケーシングリング	◎	—								
	軸受箱		鑄 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 鑄 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		鑄 鉄		△							
バウンダリの維持	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	◎	—								
	ガスケット	◎	—								
	Oリング	◎	—								
	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								
メカニカルシールケーラ		ステンレス鋼									
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2.2-3 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 肉		割 れ		材質変化			その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣 化		
ポンプの容量－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	
	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）	◎	－								
バウンダリの維持	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	◎	－								
	○リング	◎	－								
	ケーシングドレン管		ステンレス鋼				△				
	メカニカルシールケーラ		ステンレス鋼								
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

△：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 肉		割 れ		材質変化			その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣 化		
ポンプの容量－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						
	ケーシングリング	◎	－								
	軸 受 箱		鋳 鉄		△						
	軸受（ころがり）	◎	－								
バウンダリの維持	ケーシング		炭素鋼鋳鋼		△						
	ケーシングボルト		低合金鋼		△						
	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 肉		割 れ		材質変化			その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣 化		
ポンプの容量－揚程確保	主 軸		ステンレス鋼	△		△ ^{*1} △ ^{*2}				*1：フレットインク [®] 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）	◎	－								
バウンダリの維持	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ースタポンプに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・定期取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考	
				減 肉		割 れ		材質変化			その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐蝕割れ	熱時効	劣 化		
ポンプの容量－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）	◎	－								
バウンダリの維持	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	◎	－								
	Oリング	◎	－								
	ブッシュ	◎	－								
機器の支持	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。

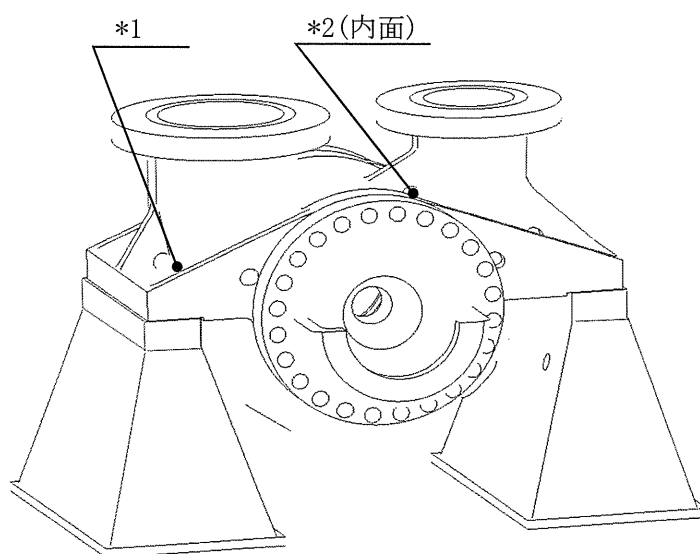
また、使用環境を考慮した疲労については、「(社)日本機械学会 環境疲労評価手法 (JSME S NF1-2009)」に基づき評価した。

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。

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

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鋳鋼を使用しており、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。

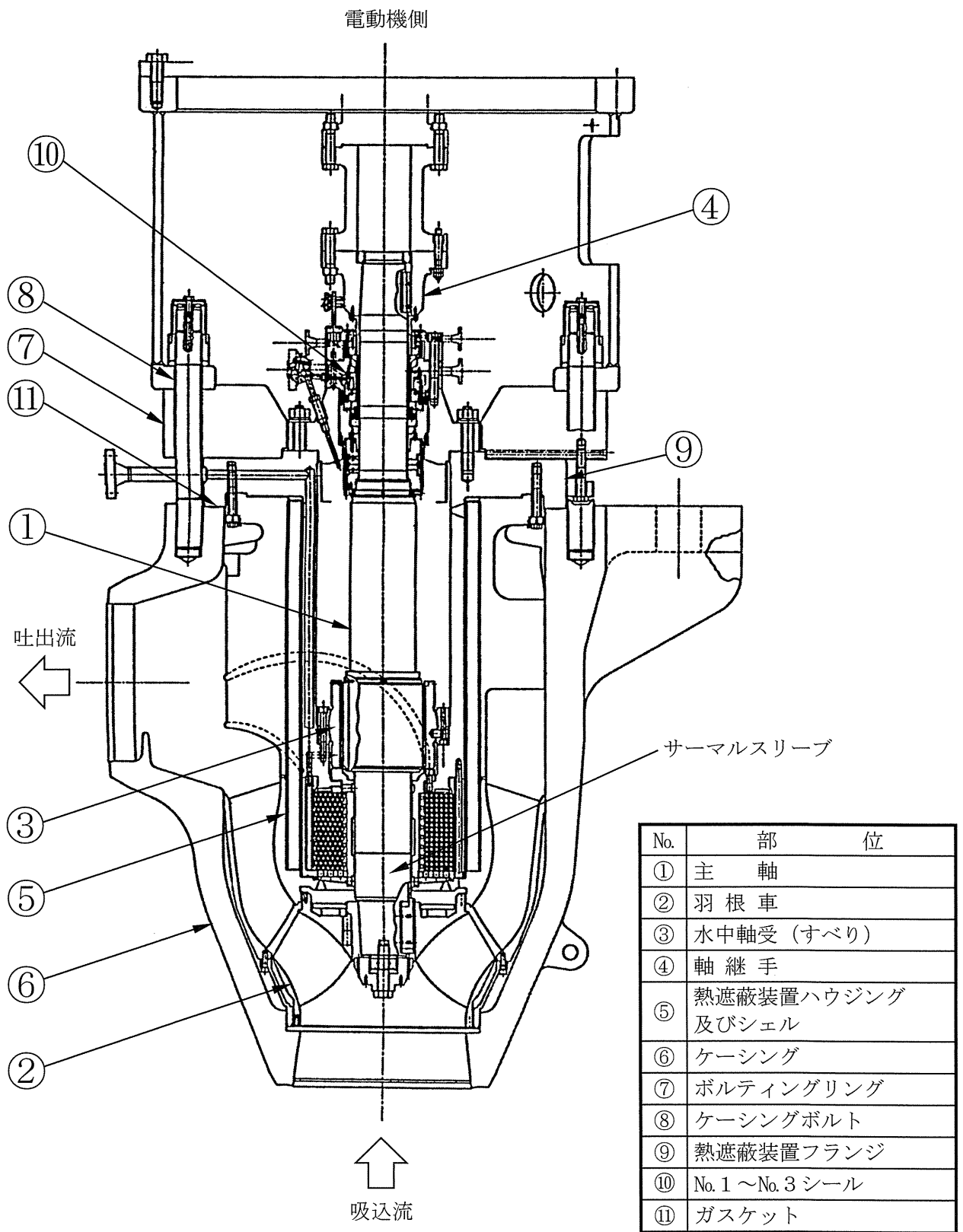


図2.1-1 玄海3号炉 1次冷却材ポンプ構造図

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 及びシェル	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	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣 化		
ポンプの容量一揚程確保	主 軸		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	△	△*3			△			
	水中軸受（すべり）	◎	—								
	軸 継 手		低合金鋼								
作動信頼性の維持	熱遮蔽装置ハウジング及びシェル		ステンレス鋼			△					
バウダリの維持	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	◎	—								
	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。

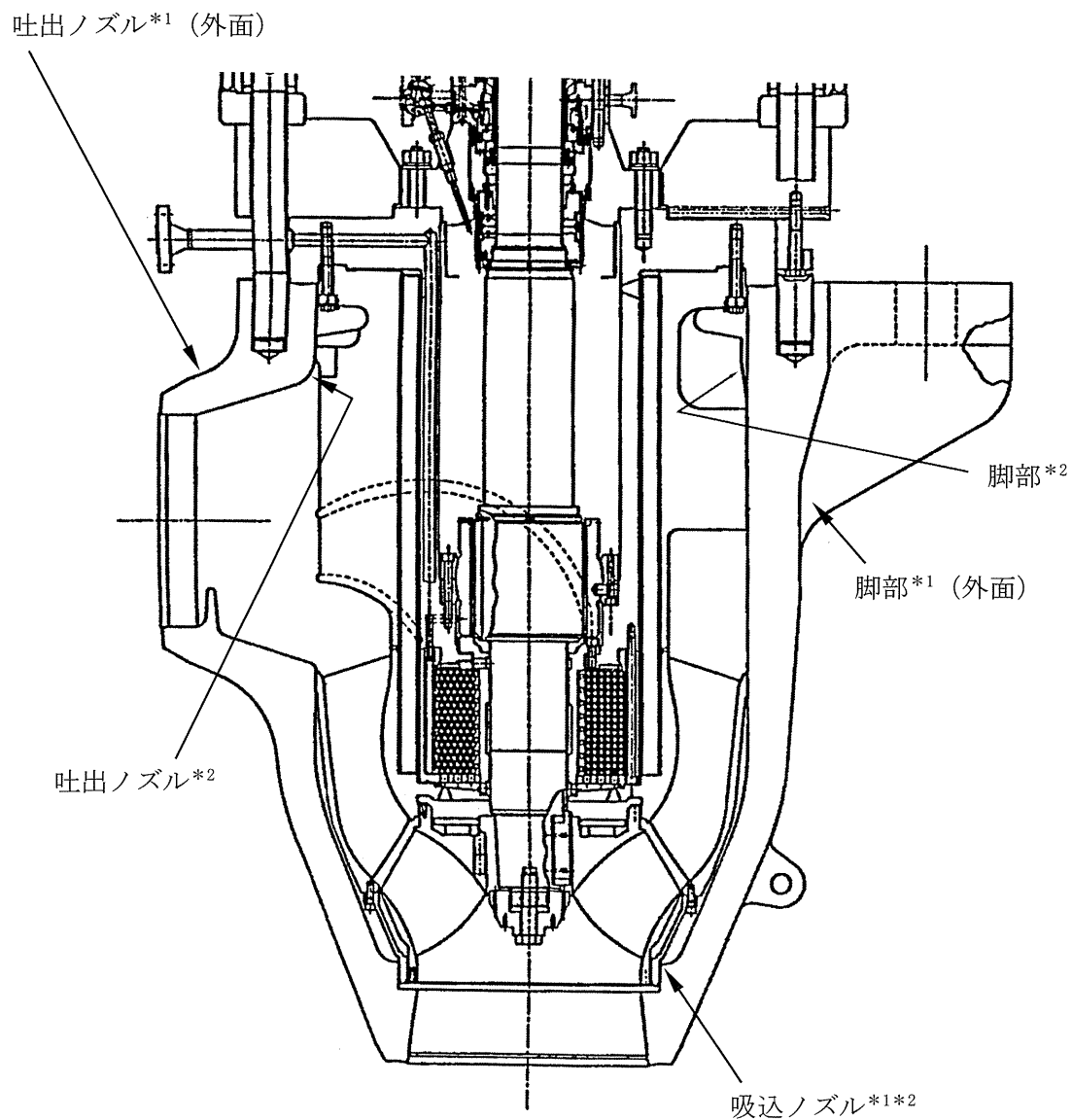
また、使用環境を考慮した疲労については、「(社)日本機械学会 環境疲労評価手法 (JSME S NF1-2009)」に基づき評価した。

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。

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

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鋳鋼は、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。

ステンレス鋼鋳鋼は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、ステンレス鋼鋳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。

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ている。

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

本評価書では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

分離基準					機器名称 (台数)	選定基準				選定	選定理由
型式	内部流体 (管側/胴側)	材 料				重要度*1	使用条件(管側/胴側)				
		胴板	水室	伝熱管			運 転	最高使用圧力 (MPa[gage])	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	◎	
	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	非再生冷却器(1)	PS-2	連 続	約4.5 / 約1.4	約200 / 約95	◎	重要度 温度、圧力
					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		
					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*6	一 時	約4.5 / 約1.4	約200 / 約95		
					余剰抽出冷却器(1)	PS-2	一 時	約17.2 / 約1.4	約343 / 約95		
	蒸気/蒸気	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	◎	
	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	◎	温度、圧力
					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							
多管円筒形 直管式	海水/ ヒドラジン水	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	◎	
	給水/蒸気	炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	グラウンド蒸気復水器(1)	高*2	連 続	約1.3 / 約0	約80 / 約155	◎	
多管円筒形 U字管式	1次冷却材/ 給水	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	◎	
直接接触式	給水・蒸気	炭素鋼	—	—	脱気器(1)	高*2	連 続	約1.4*3,4	約200*3,4	◎	
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	Aサンプル冷却器(1)	高*2	連 続	約17.2/約1.4	約360/約95	◎	重要度
					Bサンプル冷却器(1)	MS-2	連 続	約17.2/約1.4	約360/約95		
	希ガス等/ ヒドラジン水				廃ガス冷却器(2)	高*2	一 時	約0.98/約1.4	約400/約95		
	給水/ ヒドラジン水				ブローダウンサンプル冷却器(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段側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。
グランド蒸気復水器	タービンのグラ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

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

表 1-1 玄海 3 号炉 多管円筒形熱交換器の主な仕様

分離基準					機器名称 (台数)	選定基準				選定	選定理由
型式	内部流体 (管側/胴側)	材 料				重要度*1	使用条件(管側/胴側)				
		胴 板	水 室	伝 熱 管			運 転	最高使用圧力 (MPa[gage])	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	再生熱交換器 (1)	MS-1、重*4	連 続	約20.0 / 約17.2	約343 / 約343	◎	
	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	非再生冷却器 (1)	PS-2	連 続	約 4.5 / 約 1.4	約200 / 約 95	◎	重要度 温度、圧力
					格納容器スプレイ冷却器 (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		
					余剰抽出冷却器 (1)	PS-2	一 時	約17.2 / 約 1.4	約343 / 約 95		
	蒸気/蒸気	炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	湿分分離加熱器 (2)	高*2	連 続	約 8.2*3 / 約 1.4	約298*3 / 約298	◎	
	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	◎	温度、圧力
					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		
直管式	海 水/ ヒドラジン水	炭素鋼	炭素鋼	銅 合 金	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	◎	
	給水/蒸気	炭素鋼	炭素鋼	ステンレス鋼	グラウンド蒸気復水器 (1)	高*2	連 続	約 1.3 / 約 0	約 80 / 約155	◎	

*1：機能は最上位の機能を示す

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

*3：2段側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。

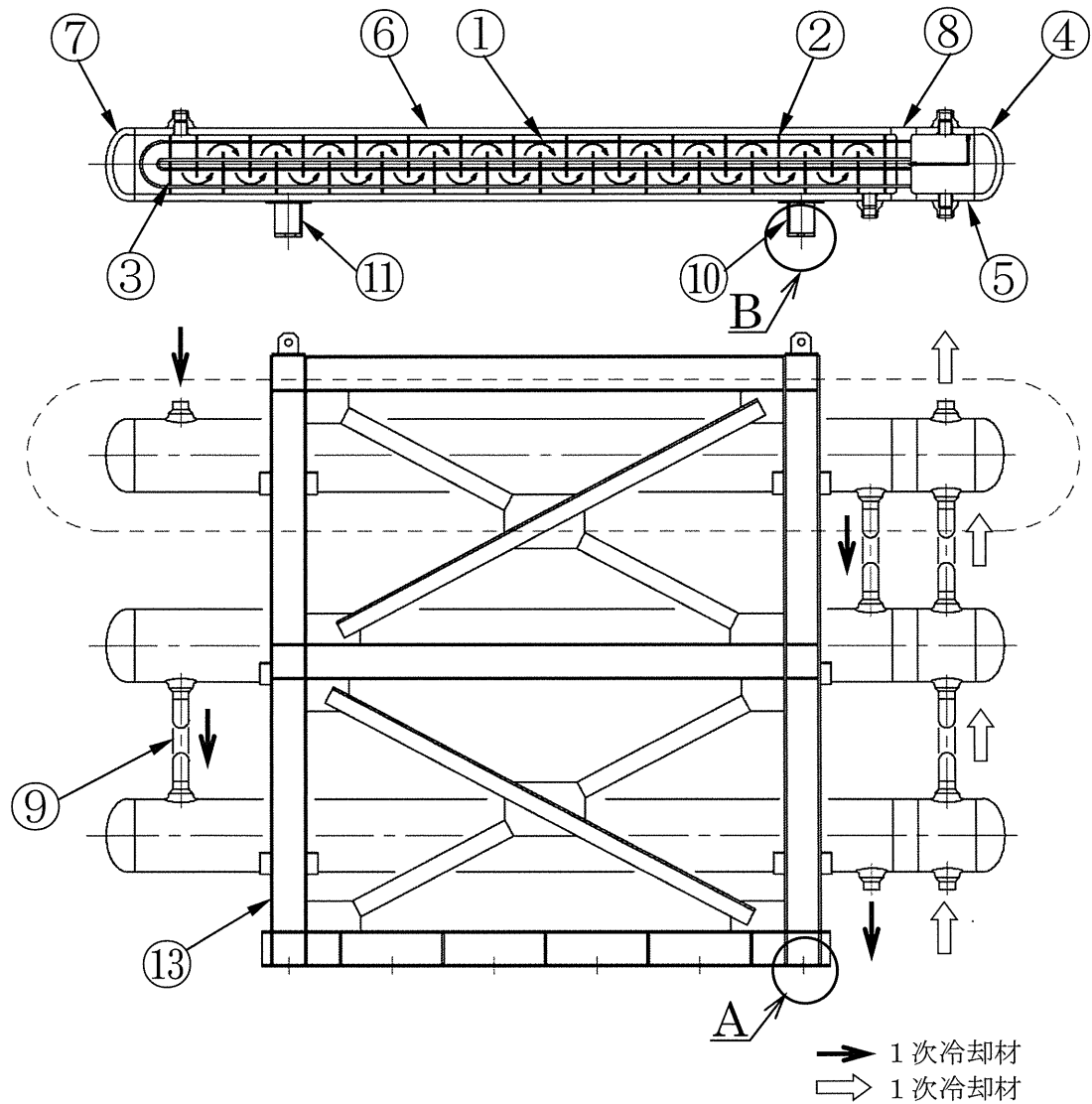
各胴及び連絡管は全て溶接構造である。

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。

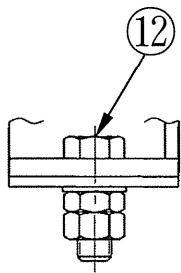
玄海3号炉の再生熱交換器の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

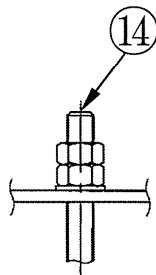
玄海3号炉の再生熱交換器の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



→ 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

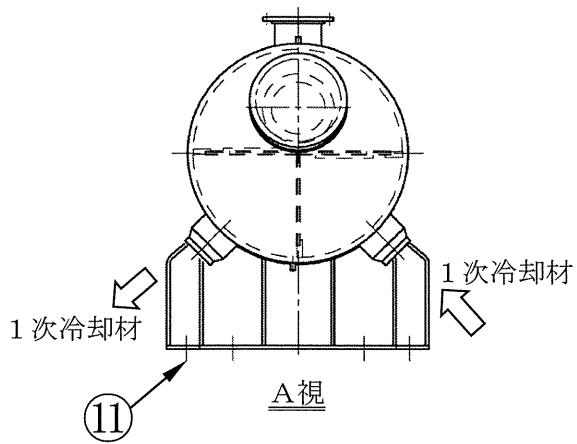
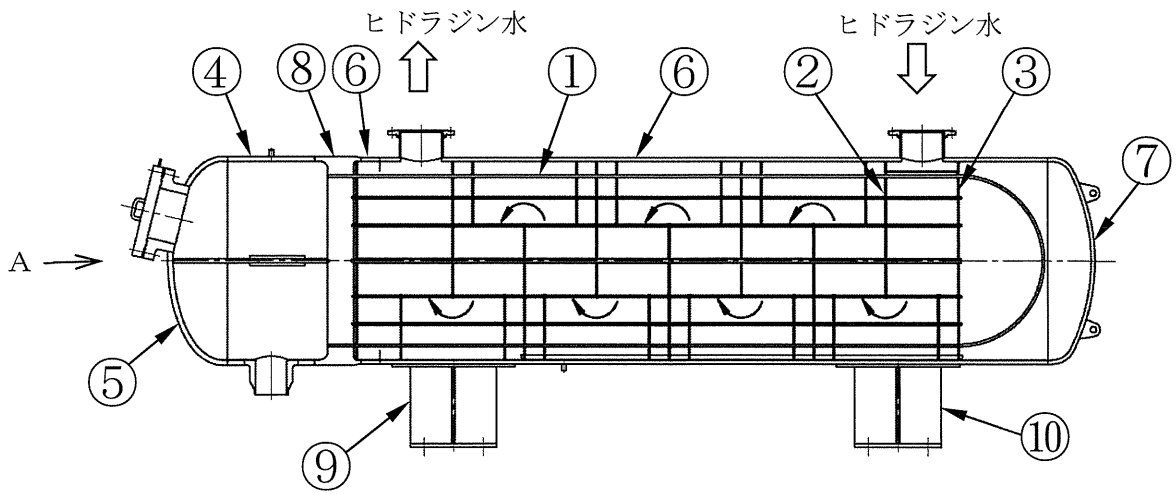
玄海3号炉の余熱除去冷却器は、横置U字管式の熱交換器であり、伝熱管にはステンレス鋼を使用しており、1次冷却材、ヒドラジン水（防錆剤注入水）に接液している。

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

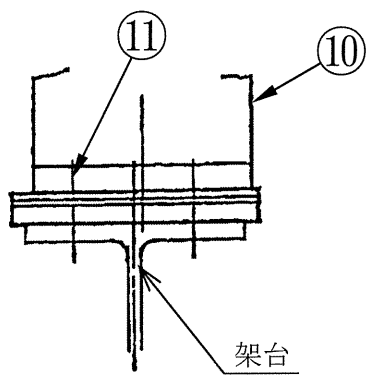
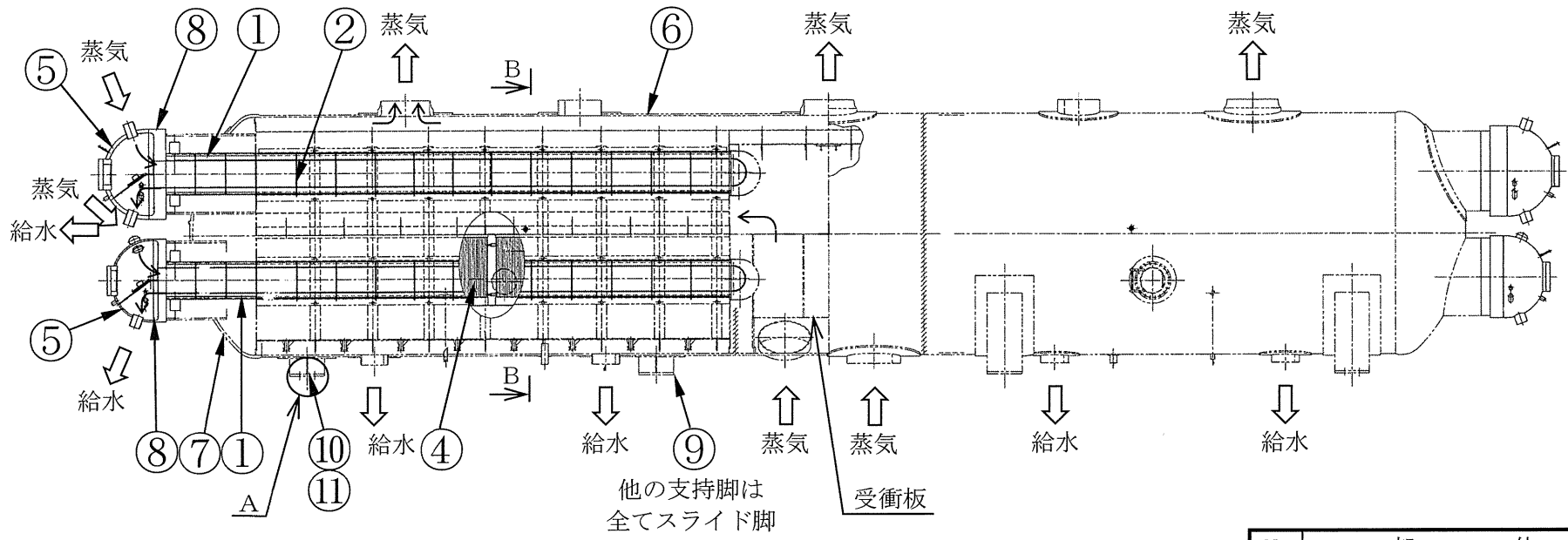
玄海3号炉の湿分分離加熱器は、横置2段加熱U字管式の熱交換器であり、湿分分離加熱器は加熱管部、加熱蒸気室部、胴部及び湿分分離部により構成されている。

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。

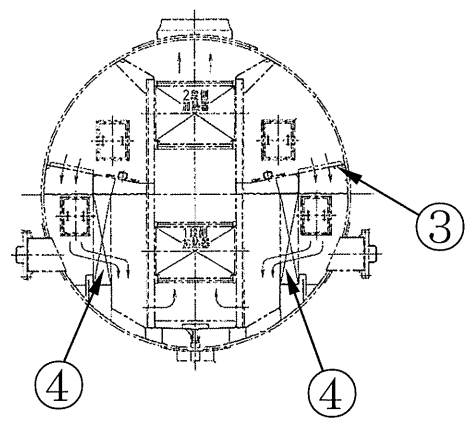
玄海3号炉の湿分分離加熱器の構造図を図2.1-3に示す。

(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。



A部 取付ボルト詳細



断面B B

No.	部 位
①	加 熱 管
②	支 持 板
③	マニホールド
④	湿分分離器
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

図 2.1-3 玄海3号炉 湿分分離加熱器構造図

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

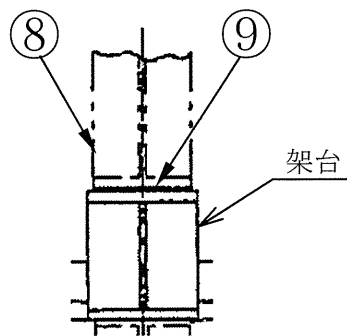
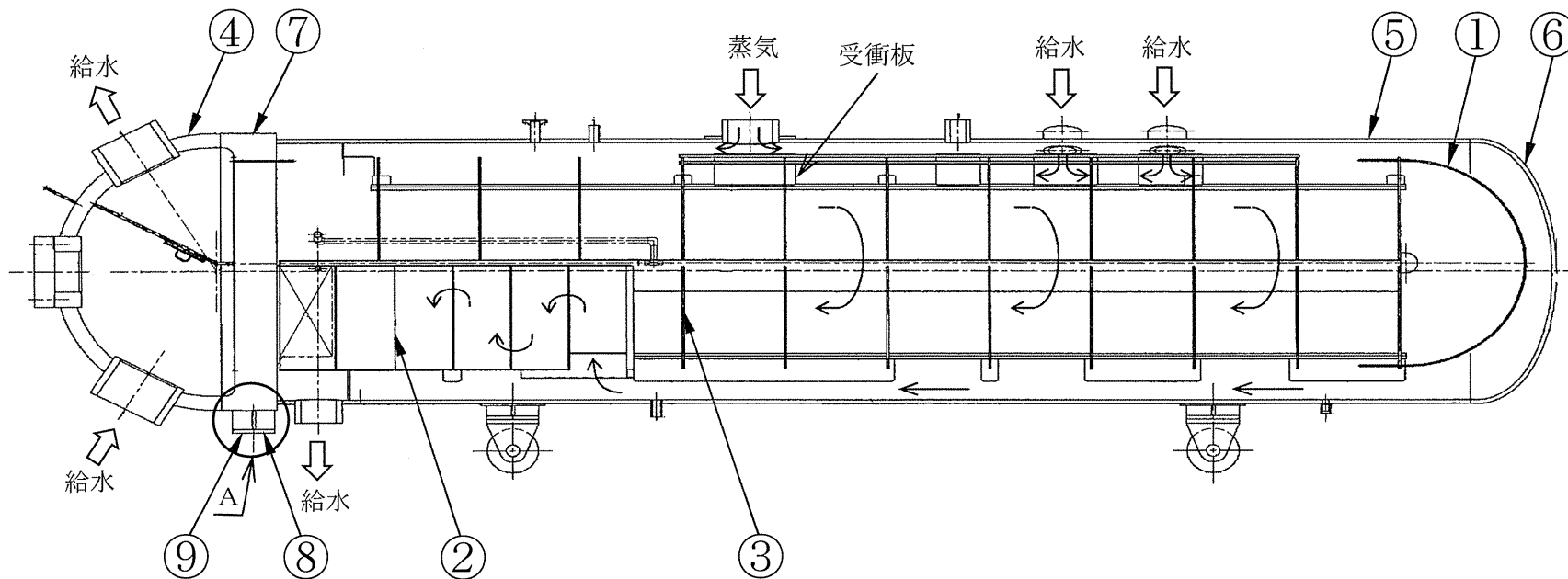
玄海3号炉の高圧第7給水加熱器は、横置U字管式の熱交換器であり、加熱管にはステンレス鋼を使用し、給水、蒸気に接液している。

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。



A部 取付ボルト詳細

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

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。

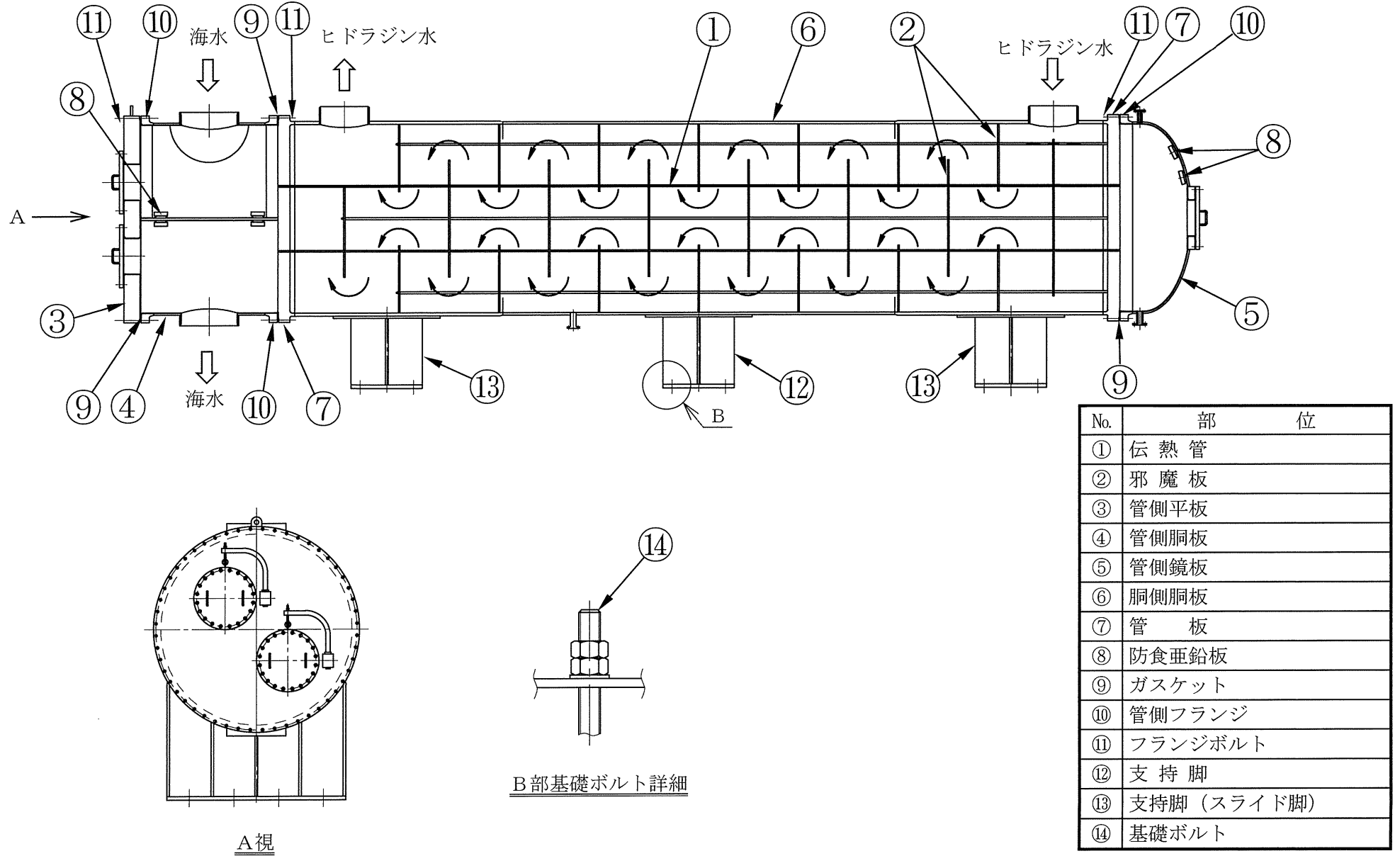


図 2.1-5 玄海 3 号炉 原子炉補機冷却水冷却器構造図

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。

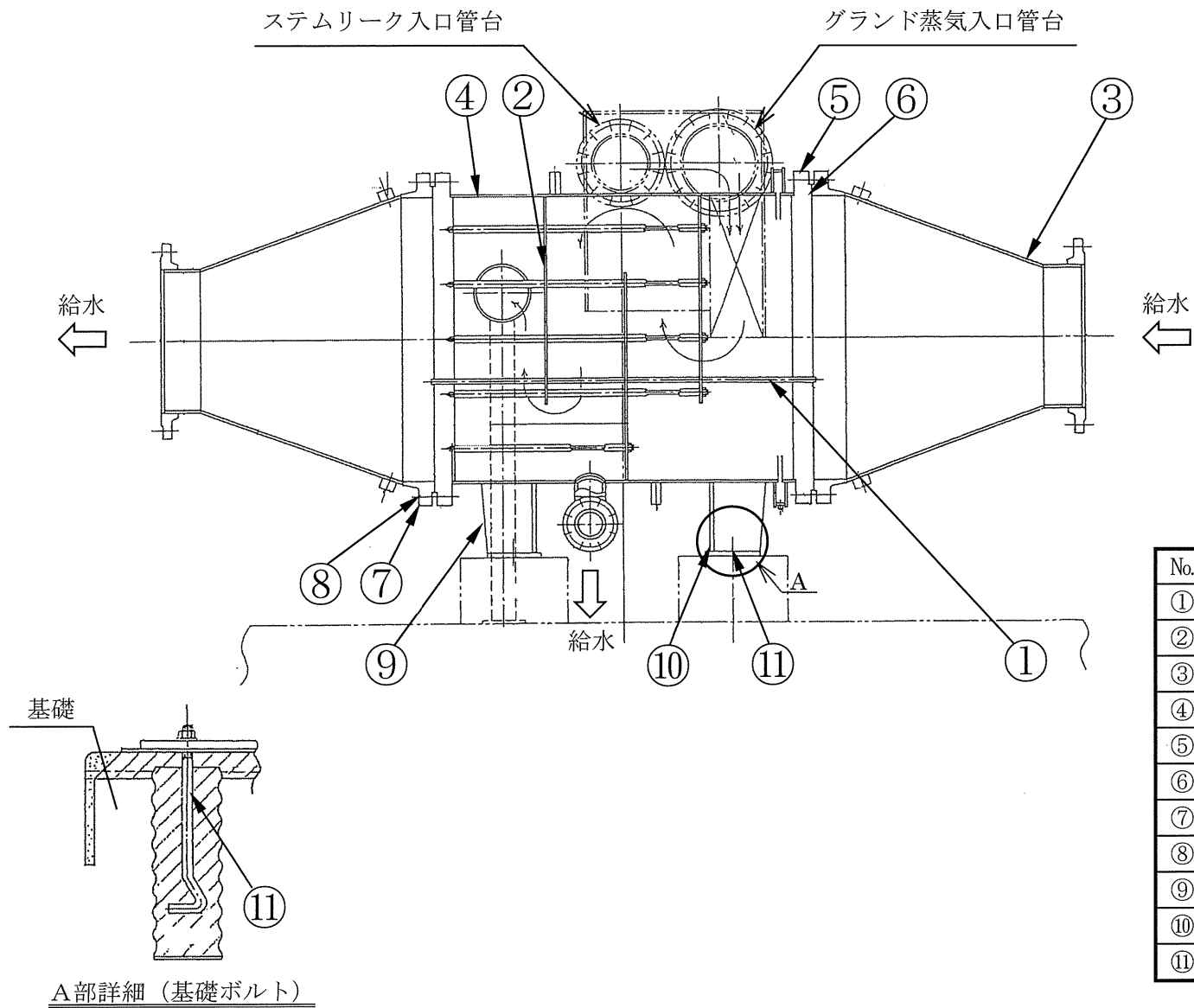


図 2.1-6 玄海 3 号炉 グラウンド蒸気復水器構造図

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可能性があるが、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、湿分分離加熱器、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、湿分分離加熱器、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、グラント蒸気復水器〕

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ト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、湿水分離加熱器、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、湿水分離加熱器、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、湿水分離加熱器、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、グランド蒸気復水器]

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asket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		材質変化			その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐蝕割れ	熱時効	劣 化		
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				△				
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			△	△				
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△						
	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	
				減 肉		割 れ		材質変化			その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣 化		
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				△				
バウンダリの維持	管側胴板 管側鏡板		ステンレス鋼				△				
	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			○	△				
機器の支持	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 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 肉		割 れ		材質変化		その他	
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣 化		
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		△*4 △						
	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 高压第 7 给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		材質変化		その他	
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐蝕割れ	熱時効	劣 化		
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
	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) △ (外面)						
	胴		炭 素 鋼		△*2(内面) △ (外面)						
	胴側鏡板		炭 素 鋼		△*2(内面) △ (外面)						
	管 板		炭 素 鋼 (ステンレス鋼肉盛)		△*2(内面) △ (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 肉		割 れ		材質変化			その他	
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐蝕割れ	熱時効	劣 化			
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	
	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) △ (外面)						*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	
	管側胴板		炭素鋼 (ライニング)		△*4(内面) △ (外面)							
	管側鏡板		炭素鋼 (ライニング)		△*4(内面) △ (外面)							
	胴側胴板		炭素鋼		▲ (内面) △ (外面)							
	管 板		炭素鋼 (銅合金内張り)		△*4(内面) △ (外面)							
	防食亜鉛板	◎	—									
	ガスケット	◎	—									
	管側フランジ			炭素鋼 (ライニング)		△*4(内面) △ (外面)						
	フランジボルト			低合金鋼		△						
機器の支持	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 グランド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	
				減 肉		割 れ		材質変化			その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐蝕割れ	熱時効	劣 化		
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						
バウンダリの維持	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)						
	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		△						
機器の支持	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。

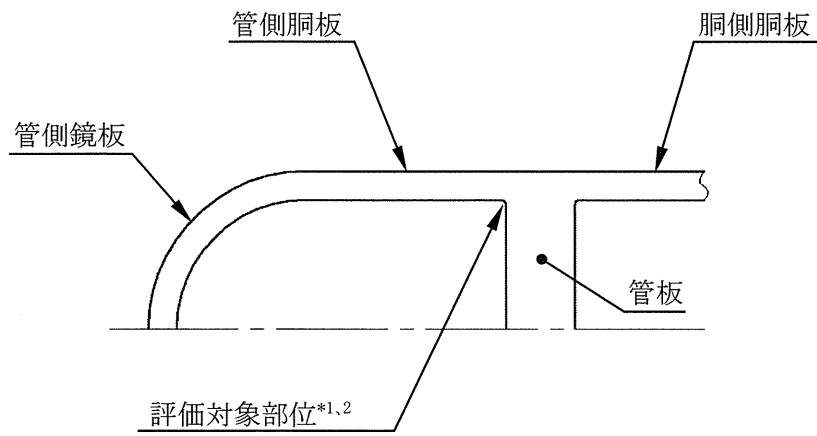
また、使用環境を考慮した疲労については、「(社)日本機械学会 環境疲労評価手法 (JSME S NF1-2009)」に基づき評価した。

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。

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

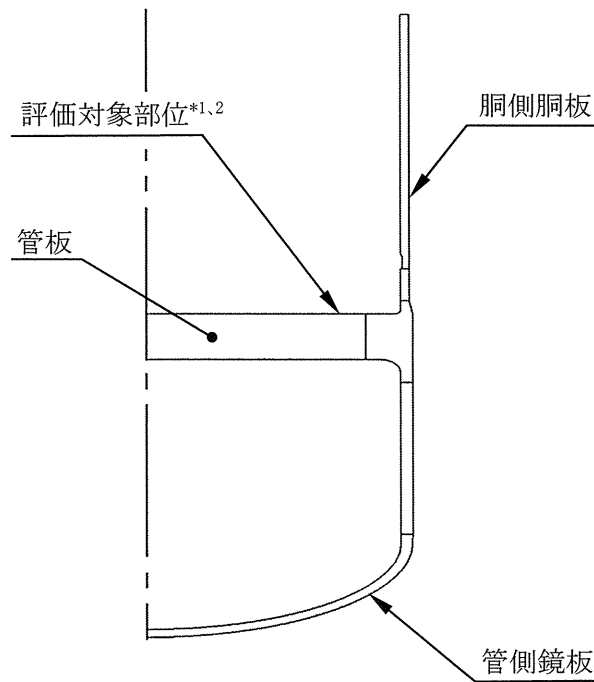
評価結果を表2.3-3に示すが、許容値を満足する結果が得られている。



*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 勞 累 積 係 数 (許容値：1以下)	
		設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
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）の外側からの腐食（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、外側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 (℃)
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

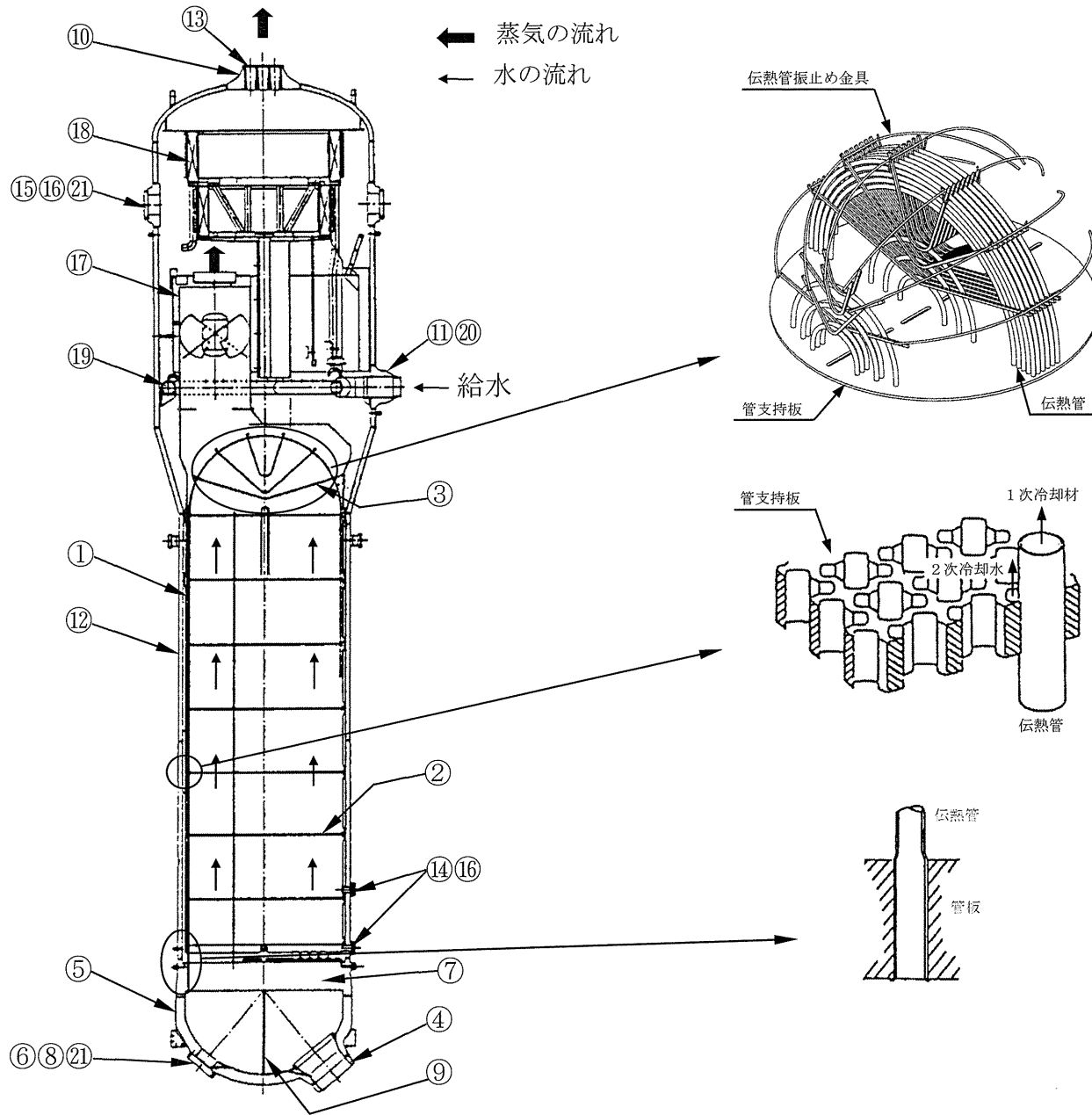
玄海3号炉の蒸気発生器本体は、たて置きU字管式熱交換器である。

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	フローリ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	湿水分離器
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（A V B : 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、従来の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 ピットイング (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、ピットイ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大きくなく、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

⑧ デンティンク

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、デンティンク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、給水の水質をpH8.7～9.5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。

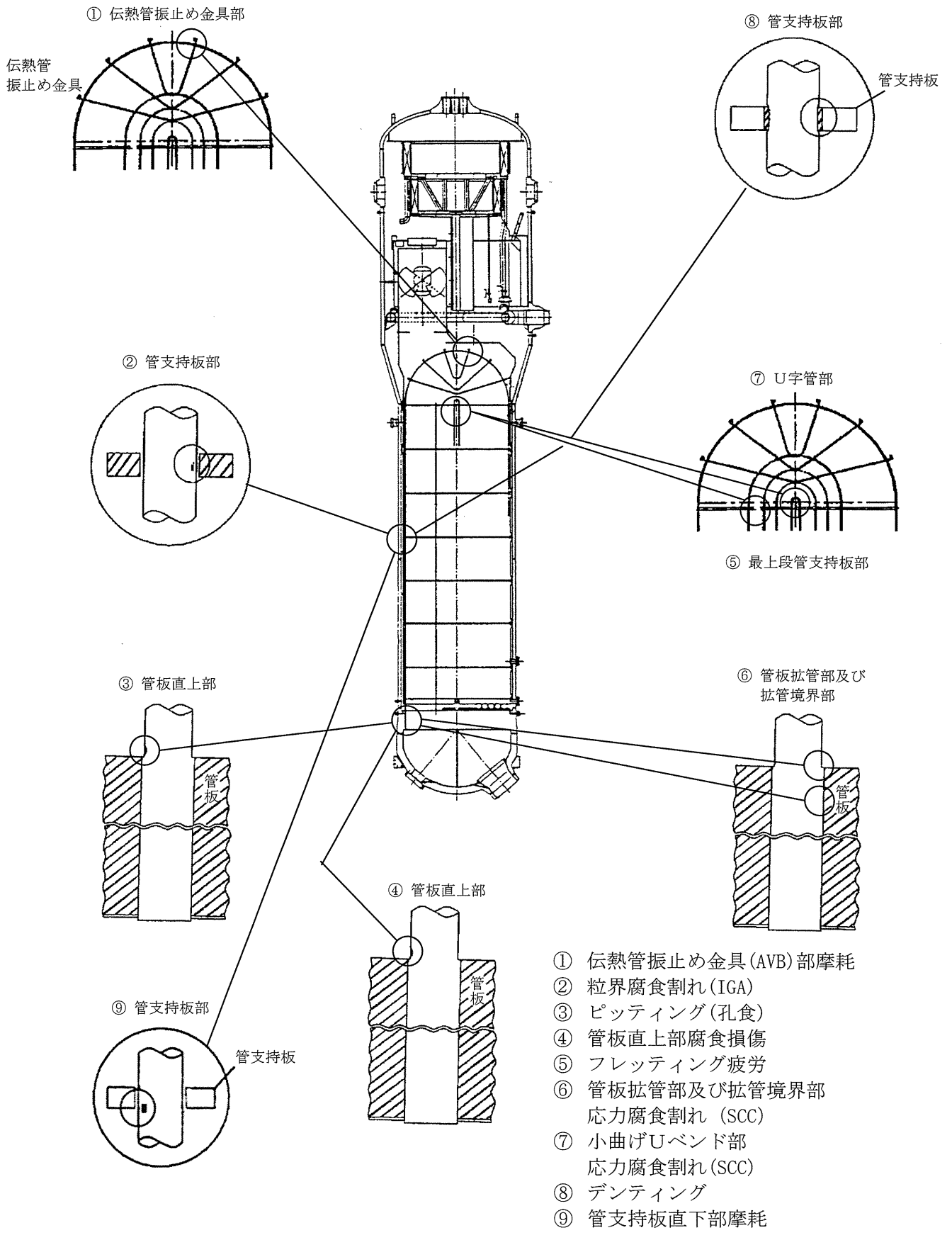


図 2.2-1 玄海 3 号炉 蒸気発生器伝熱管の損傷が想定される部位

(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十分低い。

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、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14回定期検査時(2019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14回定期検査時(2019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、湿分分離器、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分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。

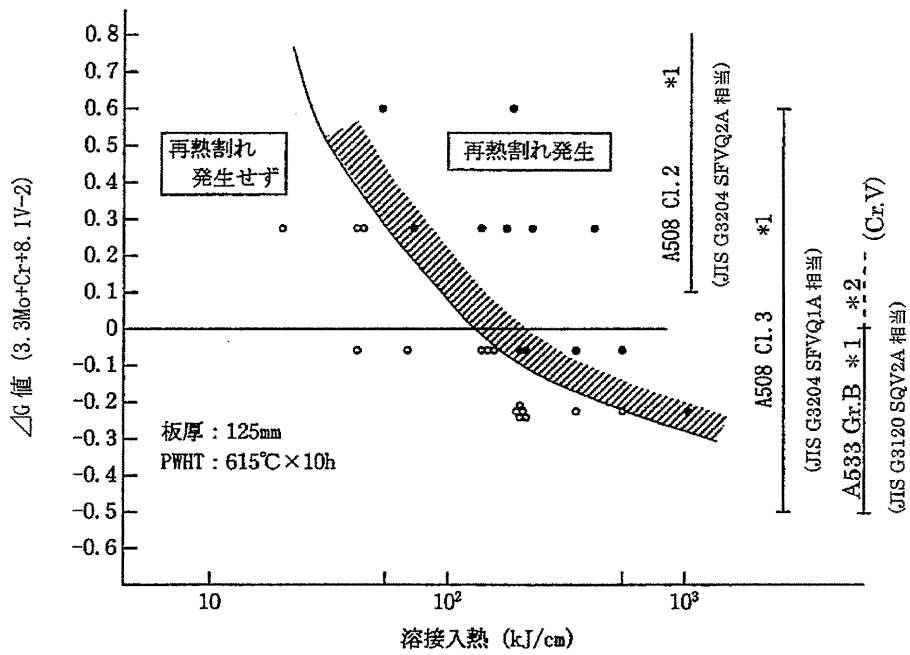
なお、開放点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

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・定期取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象						備 考	
				減 肉		割 れ		材質変化			その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣 化		
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) 部摩耗 *2:管支持板直下部摩耗 *3:粒界腐食割れ ピitting 管板直上部腐食損傷 *4:フレッキング 疲労割れ *5:ルビス部応力腐食割れ *6:デンティング *7:スケール付着 *8:内張り部応力腐食割れ *9:内張り下層部の割れ *10:流れ加速型腐食 *11:管板拡管部及び拡管 境界部応力腐食割れ *12:小曲げUバンド部 応力腐食割れ *A: 1次側/2次側バウ ンダリ構成品 *B: 1次側構成品 *C: 2次側構成品	
	管支持板 ^{*C}		ステンレス鋼						△ ^{*7}		
	伝熱管振止め金具 ^{*C}		ステンレス鋼	△ ^{*1}							
バウンダリの維持	冷却材出入口管台 セーフエント ^{*A,*B}		ステンレス鋼 (600系ニッケル基合金溶接金属)				△(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}		
	1次側マンホール ^{*B}		低合金鋼 ステンレス鋼 (インサートプレート)								
	管 板 ^{*A}		低合金鋼 (600系ニッケル基合金内張り)			○	△ ^{*8}		▲ ^{*9}		
	マンホール用ホルト ^{*B,*C}		低合金鋼		△						
	ガスケット ^{*B,*C}	◎	—								
	仕切板 ^{*B}		600系ニッケル基合金				△				
	蒸気出口管台 ^{*C}		低合金鋼		△ ^{*10}						
	給水入口管台 ^{*C}		低合金鋼		△ ^{*10}	○					
	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

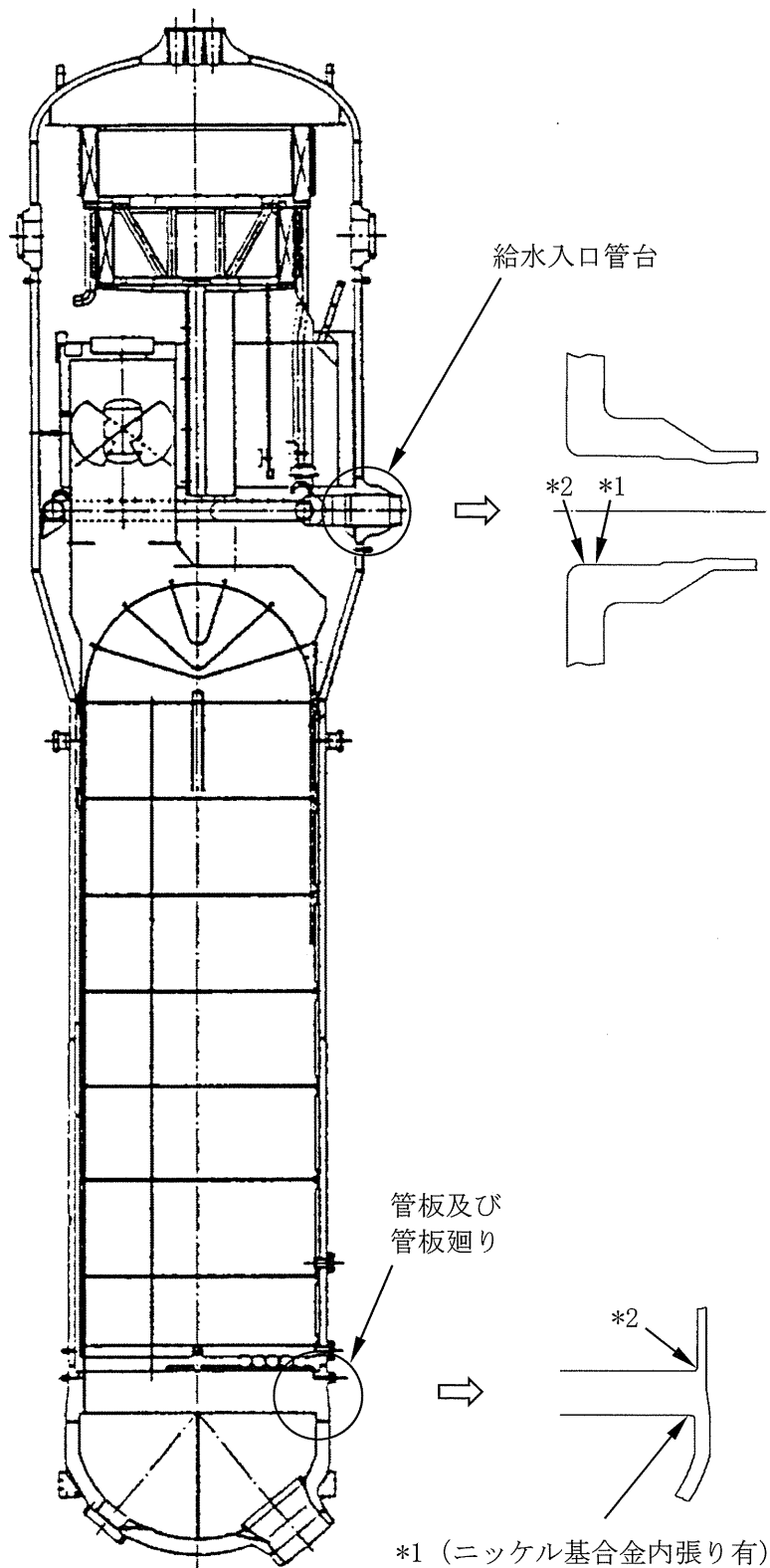
熱過渡が厳しい、あるいは構造不連続で応力が大きい管板廻り及び給水入口管台を対象として「(社)日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007)」に基づき疲労評価を行った。なお、管板穴部については、ASME Section. III Appendix A-8000と同様の手法で応力強さを補正しており、補正データはW. J. O' Donnellの論文から引用した。(参考文献：W. J. O' Donnell, “A Study of Perforated Plates with Square Penetration Patterns,” Welding Research Council 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。

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

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°C/h)	23	60
停止(温度下降率55.6°C/h)	22	60
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	201	884
負荷減少(負荷減少率5%/min)	193	876
90%から100%へのステップ状負荷上昇	2	4
100%から90%へのステップ状負荷減少	2	4
100%からの大きいステップ状負荷減少	1	4
定常負荷運転時の変動*1	—	—
燃料交換	15	68
0%から15%への負荷上昇	24	64
15%から0%への負荷減少	17	57
1 ループ停止 / 1 ループ起動		
I) 停 止	0	2
II) 起 動	0	2
運転状態 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°C、低温側±2.4°C、1次冷却材圧力は+0.39MPa、-0.29MPaの変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない

*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、定期的目視確認により、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

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

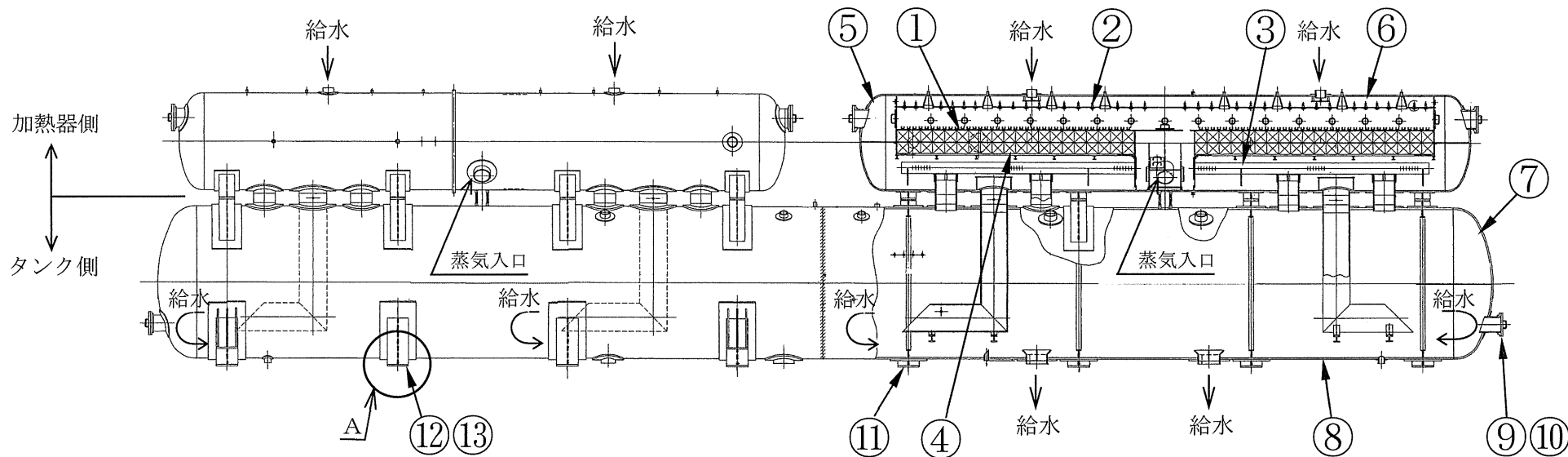
玄海3号炉の脱気器は、給水と蒸気との直接接触式熱交換器とタンクがあり、直接接触式熱交換器をタンクの上に設置している。

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。

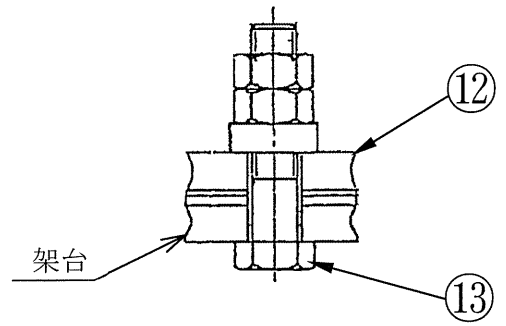
(2) 材料及び使用条件

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
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	疲労割れ	応力腐食割れ	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						
バウンダリの維持	加熱器鏡板・胴板		炭 素 鋼		△*1(内面) △(外面)						
	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	◎	—								
機器の支持	支 持 脚		炭 素 鋼		△						
	支持脚(スライド脚)		炭 素 鋼		△*2 △						
	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

分離基準				機器名称 (台数)	選定基準				選定	選定理由
型式	内部流体 (管側/胴側)	材 料			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])	最高使用温度 (°C)		
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	Aサンプル冷却器 (1)	高*2	連 続	約17.2/約1.4	約360/約95	◎	重要度
				Bサンプル冷却器 (1)	MS-2	連 続	約17.2/約1.4	約360/約95		
	希ガス等/ ヒドラジン水			廃ガス冷却器 (2)	高*2	一 時	約0.98/約1.4	約400/約95		
	給 水/ ヒドラジン水			ブローダウンサンプル冷却器 (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

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

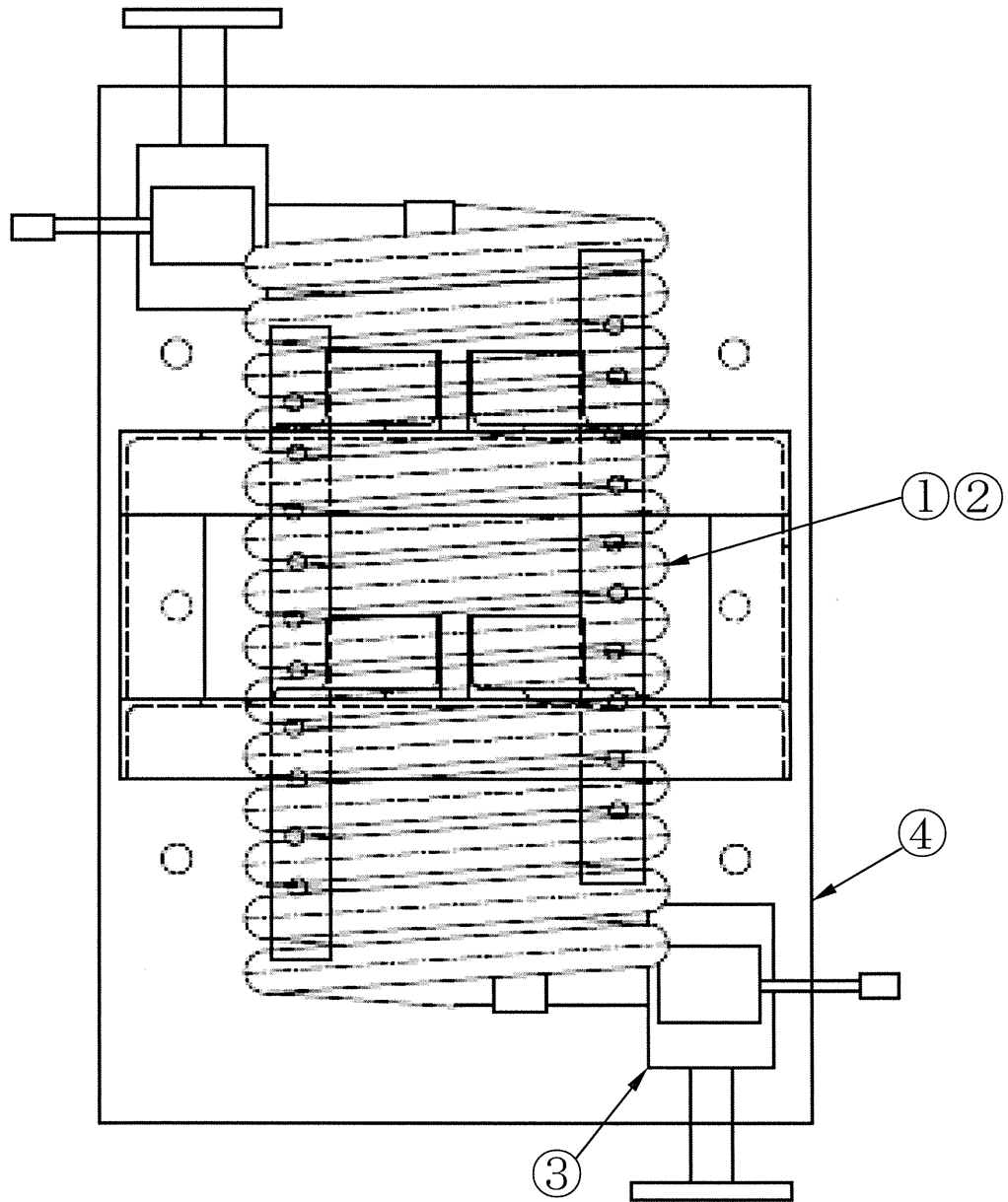
(1) 構造

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。

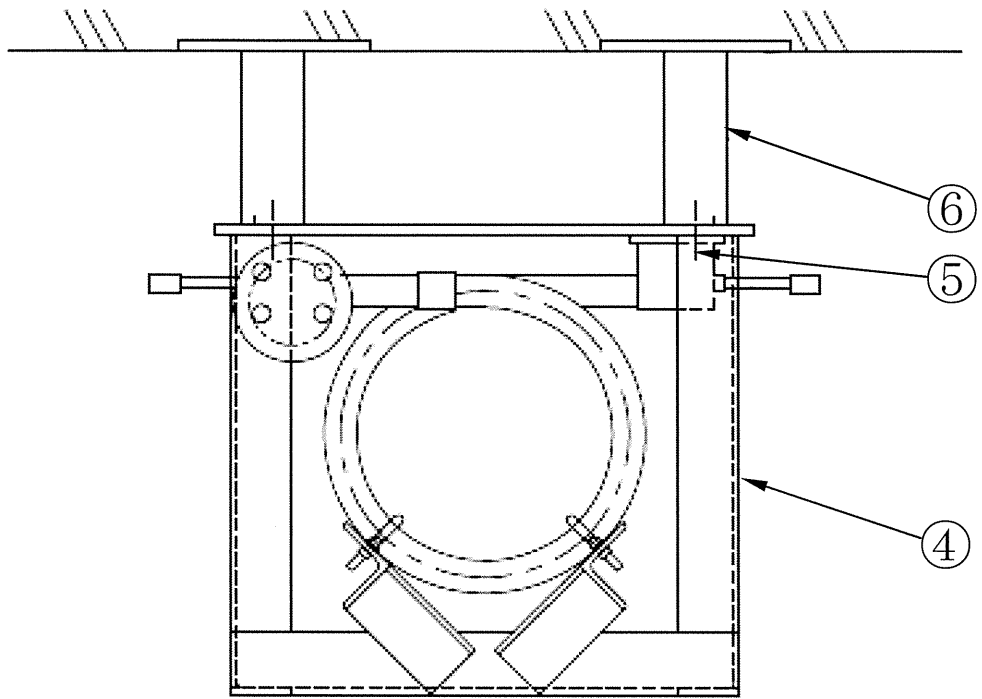
(2) 材料及び使用条件

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 肉		割 れ		材質変化		その他		
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐蝕割れ	熱時効	劣 化			
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	胴 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。

玄海原子力発電所 3 号炉

ポンプ用電動機の技術評価書

[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号炉のポンプ用電動機のうち、評価対象機器である安全重要度分類審査指針におけるクラス1、2の機器、高温・高圧の環境下にあるクラス3の機器及び常設重大事故等対処設備に属する機器を電圧区分、型式及び設置場所でグループ化し、同一グループ内の複数の機器の存在を考慮して、重要度、運転条件等の観点から代表機器を選定した。

これらの一覧を表1に示す。

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

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

本評価書ではポンプ用電動機の使用電圧等を基に、以下の2つに分類している。

- 1 高圧ポンプ用電動機
- 2 低圧ポンプ用電動機

表 1 (1/2) 玄海 3 号炉 主要なポンプ用電動機

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準					選定	選定理由
				仕様 (定格出力× 定格回転数) (kW×rpm)	重要度*1	使用条件				
電圧区分	型式	設置場所				運 転	定格電圧 (V)	周囲温度 (°C)		
高 圧	全閉	屋 外	海水ポンプ用電動機 (4)	560× 890	MS-1、重*3	連 続	6,600	約40	◎	
		屋 内	高圧注入ポンプ用電動機 (2)	1,400×3,560	MS-1、重*2	一 時	6,600	約40	◎	定格出力 運転条件
			充てんポンプ用電動機 (3)	550×1,775	MS-1、重*2	連 続	6,600	約40		
			格納容器スプレイポンプ用電動機 (2)	940×1,775	MS-1、重*2	一 時	6,600	約40		
			余熱除去ポンプ用電動機 (2)	400×1,780	MS-1、重*2	一時/連続	6,600	約40		
			原子炉補機冷却水ポンプ用電動機 (4)	350×1,175	MS-1、重*3	連 続	6,600	約40		
	電動補助給水ポンプ用電動機 (2)	650×3,550	MS-1、重*2	一 時	6,600	約40	◎			
開放										

*1：機能は最上位の機能を示す

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

*3：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、B号機）であることを示す

表 1 (2/2) 玄海 3 号炉 主要なポンプ用電動機

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準					選定	選定理由
				仕様 (定格出力× 定格回転数) (kW×rpm)	重要度*1	使用条件				
電圧区分	型式	設置場所				運 転	定格電圧 (V)	周囲温度 (°C)		
低 圧	全閉	屋 内	ほう酸ポンプ用電動機 (2)	11×3,500	MS-1、重*2	連 続	440	約40	◎	重要度
			燃料取替用水ポンプ用電動機 (2)	18.5×3,510	MS-2	連 続	440	約40		
			常設電動注入ポンプ用電動機 (1)	132×3,560	重*2	一 時	440	約40		

*1：機能は最上位の機能を示す

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

1 高圧ポンプ用電動機

[対象機器]

- ① 海水ポンプ用電動機
- ② 高圧注入ポンプ用電動機
- ③ 充てんポンプ用電動機
- ④ 格納容器スプレィポンプ用電動機
- ⑤ 余熱除去ポンプ用電動機
- ⑥ 原子炉補機冷却水ポンプ用電動機
- ⑦ 電動補助給水ポンプ用電動機

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	12
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	20
3. 代表機器以外への展開	28
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	28
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	29

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高圧ポンプ用電動機的主要仕様を表1-1に示す。

これらの高圧ポンプ用電動機を、型式及び設置場所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に示す高圧ポンプ用電動機を型式及び設置場所で分類すると3つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 型式：全閉形、設置場所：屋外

このグループには、海水ポンプ用電動機のみが属するため、海水ポンプ用電動機を代表機器とする。

(2) 型式：全閉形、設置場所：屋内

このグループには、高圧注入ポンプ用電動機、充てんポンプ用電動機、格納容器スプレイポンプ用電動機、余熱除去ポンプ用電動機及び原子炉補機冷却水ポンプ用電動機が属するが、定格出力及び運転条件の観点から高圧注入ポンプ用電動機を代表機器とする。

(3) 型式：開放形、設置場所：屋内

このグループには、電動補助給水ポンプ用電動機のみが属するため、電動補助給水ポンプ用電動機を代表機器とする。

表 1-1 玄海 3 号炉 高圧ポンプ用電動機的主要仕様

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準					選定	選定理由
				仕様 (定格出力× 定格回転数) (kW×rpm)	重要度*1	使用条件				
電圧区分	型式	設置場所	運転			定格電圧 (V)	周囲温度 (°C)			
高圧	全閉	屋外	海水ポンプ用電動機 (4)	560×890	MS-1、重*3	連続	6,600	約40	◎	
		屋内	高圧注入ポンプ用電動機 (2)	1,400×3,560	MS-1、重*2	一時	6,600	約40	◎	定格出力 運転条件
			充てんポンプ用電動機 (3)	550×1,775	MS-1、重*2	連続	6,600	約40		
			格納容器スプレイポンプ用電動機 (2)	940×1,775	MS-1、重*2	一時	6,600	約40		
			余熱除去ポンプ用電動機 (2)	400×1,780	MS-1、重*2	一時/連続	6,600	約40		
			原子炉補機冷却水ポンプ用電動機 (4)	350×1,175	MS-1、重*3	連続	6,600	約40		
	開放	電動補助給水ポンプ用電動機 (2)	650×3,550	MS-1、重*2	一時	6,600	約40	◎		

*1：機能は最上位の機能を示す

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

*3：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、B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3種類のポンプ用電動機について技術評価を実施する。

- ① 海水ポンプ用電動機
- ② 高圧注入ポンプ用電動機
- ③ 電動補助給水ポンプ用電動機

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 海水ポンプ用電動機

(1) 構造

玄海3号炉の海水ポンプ用電動機は、定格出力560kW、定格回転数890rpmの全閉屋外形三相誘導電動機である。

ポンプに直結している主軸には炭素鋼を使用している。

電動機上部には、下向きのポンプスラスト荷重を支えるためのスラスト軸受を備えている。また、電動機上部及び下部にはラジアル方向の荷重を支えるためのガイド軸受を備えている。

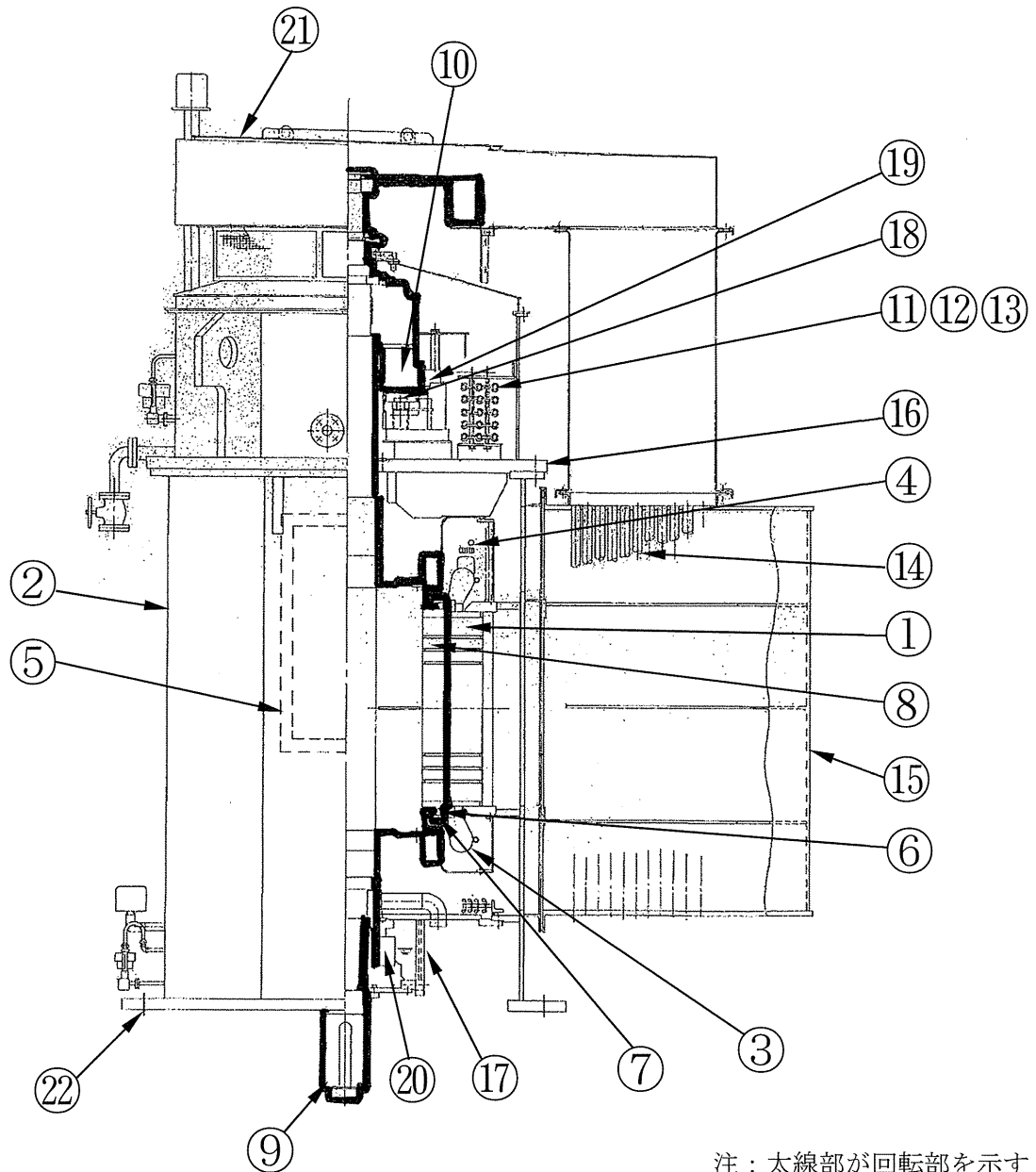
各軸受は、軸受表面に油膜を形成させ、軸受から発生する熱を取り除くために潤滑油が満たされており、上部潤滑油は水冷式油冷却器により冷却される。

また、固定子や回転子から発生する熱を取り除くため、フレーム内の空気は空冷式空気冷却器により冷却される。

玄海3号炉の海水ポンプ用電動機の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の海水ポンプ用電動機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。



注：太線部が回転部を示す

No.	部 位	No.	部 位
①	固定子コア	⑫	油冷却器水室
②	フレーム	⑬	油冷却器管板
③	固定子コイル	⑭	空気冷却器伝熱管
④	口出線・接続部品	⑮	空気冷却器側板
⑤	端子箱	⑯	上部ブラケット
⑥	回転子棒	⑰	下部ブラケット
⑦	エンドリング	⑱	スラスト軸受 (すべり)
⑧	回転子コア	⑲	上部ガイド軸受 (すべり)
⑨	主 軸	⑳	下部ガイド軸受 (すべり)
⑩	ランナー	㉑	カバ ー
⑪	油冷却器伝熱管	㉒	取付ボルト

図 2.1-1 玄海 3 号炉 海水ポンプ用電動機構造図

表 2.1-1 玄海 3 号炉 海水ポンプ用電動機主要部位の使用材料

部 位		材 料
固定子組立品	固定子コア	珪素鋼板
	フレーム	炭 素 鋼
	固定子コイル	銅、マイカ、エポキシ樹脂（F種絶縁）
	口出線・接続部品	銅、シリコーンゴム、マイカ、エポキシ樹脂（F種絶縁）
	端 子 箱	炭 素 鋼
回転子組立品	回転子棒・エンドリング	銅 合 金
	回転子コア	珪素鋼板
	主 軸	炭 素 鋼
	ランナー	低合金鋼
冷却器組立品	油冷却器伝熱管	チタン合金
	油冷却器水室	チタン合金
	油冷却器管板	チタン合金
	空気冷却器伝熱管	銅 合 金
	空気冷却器側板	炭 素 鋼
軸受組立品	上部・下部ブラケット	炭 素 鋼
	スラスト軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
	上部・下部ガイド軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
カバー組立品	カ バ ー	ステンレス鋼
支持組立品	取付ボルト	炭 素 鋼

表2.1-2 玄海 3 号炉 海水ポンプ用電動機の使用条件

定 格 出 力	560kW
周 囲 温 度	約40℃*1
定 格 電 圧	6,600V
定 格 回 転 数	890rpm

*1：通年の屋外の最高温度を考慮した雰囲気温度

2.1.2 高圧注入ポンプ用電動機

(1) 構造

玄海3号炉の高圧注入ポンプ用電動機は、定格出力1,400kW、定格回転数3,560rpmの全閉屋内形三相誘導電動機である。

ポンプに直結している主軸には炭素鋼を使用している。

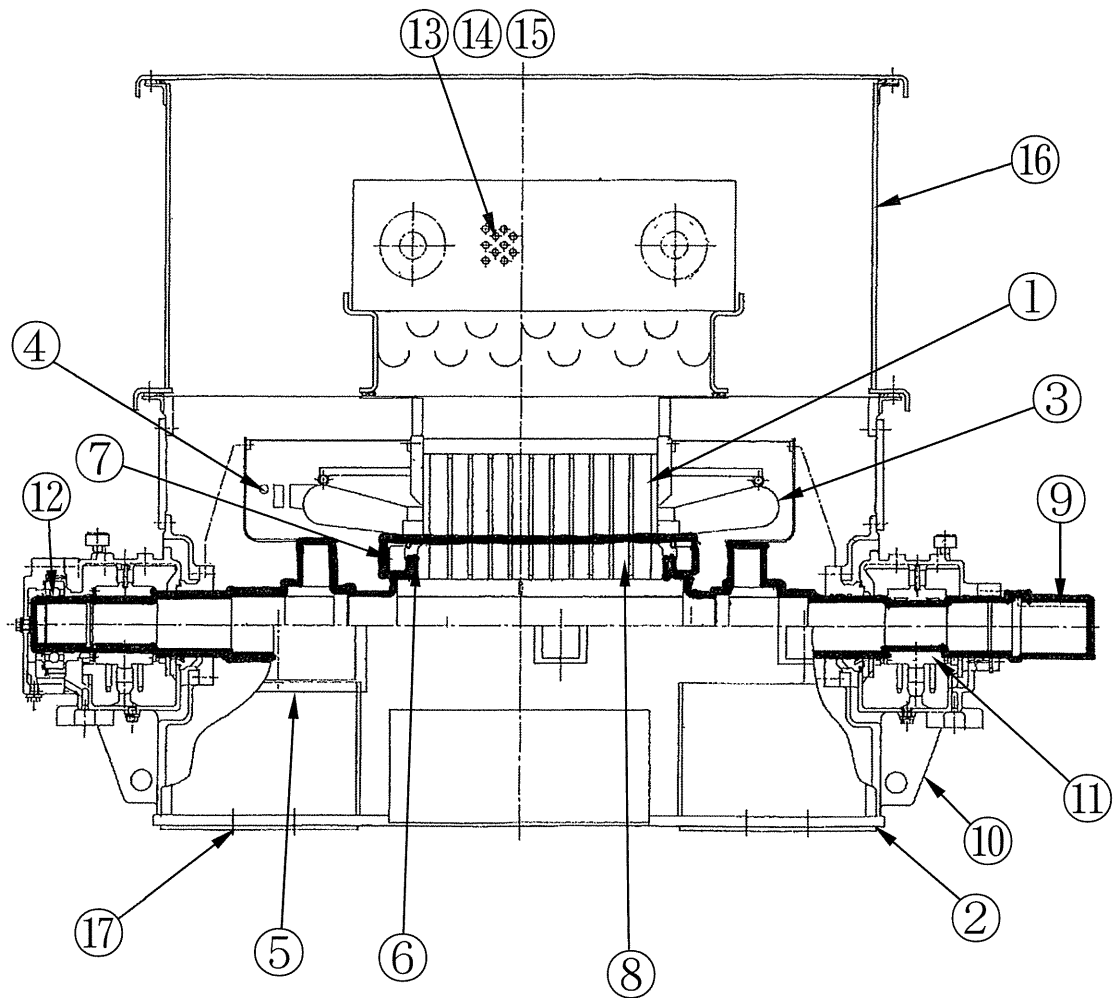
負荷側及び反負荷側軸受部には、回転体を支えるためのブラケットが取り付けられ、内側には電動機回転子重量を支えるための軸受を備えている。

また、固定子や回転子から発生する熱を取り除くため、フレーム内の空気は水冷式空気冷却器により冷却される。

玄海3号炉の高圧注入ポンプ用電動機の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の高圧注入ポンプ用電動機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。



注：太線部が回転部を示す

No.	部 位	No.	部 位
①	固定子コア	⑩	ブラケット
②	フレーム	⑪	軸受（すべり）
③	固定子コイル	⑫	軸受（ころがり）
④	口出線・接続部品	⑬	空気冷却器伝熱管
⑤	端子箱	⑭	空気冷却器水室
⑥	回転子棒	⑮	空気冷却器管板
⑦	エンドリング	⑯	カバー
⑧	回転子コア	⑰	取付ボルト
⑨	主 軸		

図 2.1-2 玄海 3 号炉 高圧注入ポンプ用電動機構造図

表2.1-3 玄海3号炉 高圧注入ポンプ用電動機主要部位の使用材料

部 位		材 料
固定子組立品	固定子コア	珪素鋼板
	フレーム	炭素鋼
	固定子コイル	銅、マイカ、エポキシ樹脂（F種絶縁）
	口出線・接続部品	銅、シリコンゴム、マイカ、エポキシ樹脂（F種絶縁）
	端子箱	炭素鋼
回転子組立品	回転子棒・エンドリング	銅合金
	回転子コア	珪素鋼板
	主 軸	炭素鋼
軸受組立品	ブラケット	鋳 鉄
	軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
	軸受（ころがり）	消耗品・定期取替品
冷却器組立品	空気冷却器伝熱管	銅合金
	空気冷却器水室	ステンレス鋼
	空気冷却器管板	銅合金
カバー組立品	カバ ー	炭素鋼
支持組立品	取付ボルト	炭素鋼

表2.1-4 玄海3号炉 高圧注入ポンプ用電動機の使用条件

定 格 出 力	1,400kW
周 囲 温 度	約40℃*1
放 射 線	$0.072 \times 10^{-3} \text{Gy/h}^{*2}$
定 格 電 圧	6,600V
定 格 回 転 数	3,560rpm

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

*2：通常時の原子炉格納容器外の最大実測値

2.1.3 電動補助給水ポンプ用電動機

(1) 構造

玄海3号炉の電動補助給水ポンプ用電動機は、定格出力650kW、定格回転数3,550rpmの開放屋内形三相誘導電動機である。

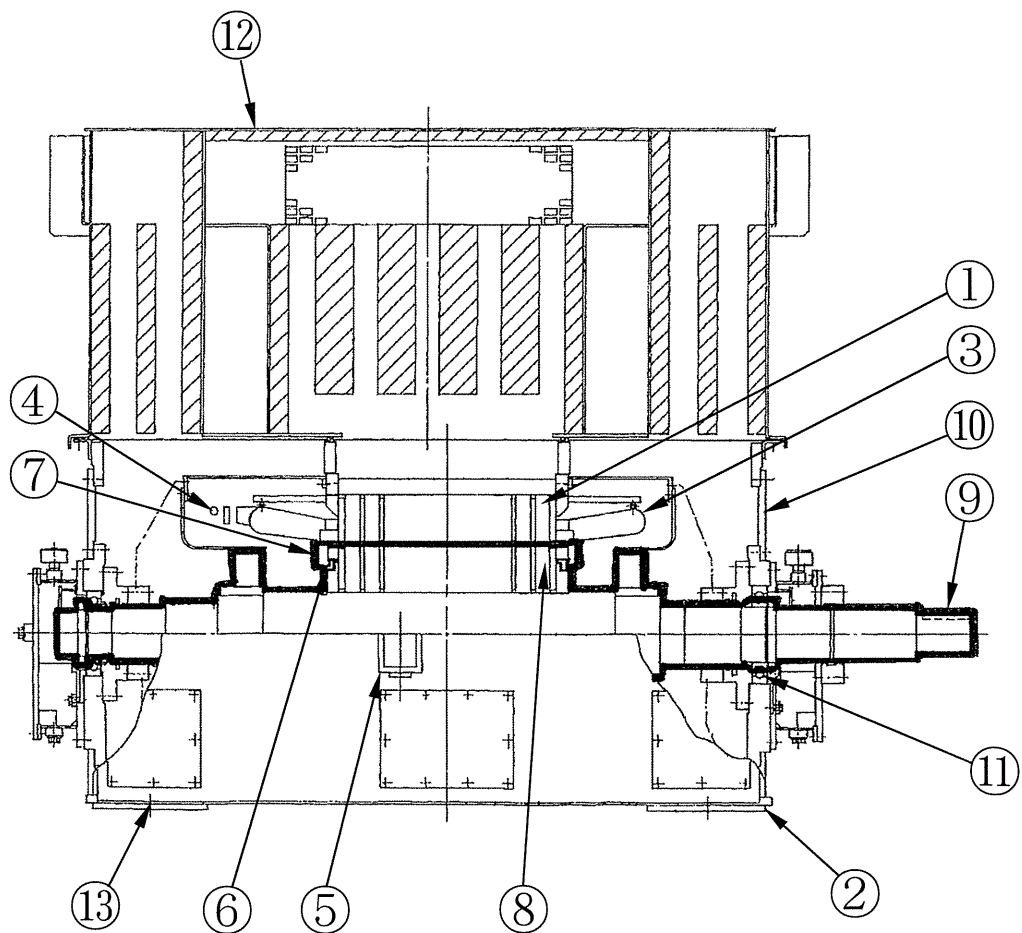
ポンプに直結している主軸には炭素鋼を使用している。

負荷側及び反負荷側軸受部には、回転体を支えるためのブラケットが取り付けられ、内側には電動機回転子重量を支えるための軸受を備えている。

玄海3号炉の電動補助給水ポンプ用電動機の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の電動補助給水ポンプ用電動機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。



注：太線部が回転部を示す

No.	部 位
①	固定子コア
②	フレーム
③	固定子コイル
④	口出線・接続部品
⑤	端子箱
⑥	回転子棒
⑦	エンドリング
⑧	回転子コア
⑨	主 軸
⑩	ブラケット
⑪	軸受（ころがり）
⑫	カバ ー
⑬	取付ボルト

図 2. 1-3 玄海 3 号炉 電動補助給水ポンプ用電動機構造図

表2.1-5 玄海3号炉 電動補助給水ポンプ用電動機主要部位の使用材料

部 位		材 料
固定子組立品	固定子コア	珪素鋼板
	フレーム	炭 素 鋼
	固定子コイル	銅、マイカ、エポキシ樹脂（F種絶縁）
	口出線・接続部品	銅、シリコンゴム、マイカ、エポキシ樹脂（F種絶縁）
	端子箱	炭 素 鋼
回転子組立品	回転子棒・エンドリング	銅 合 金
	回転子コア	珪素鋼板
	主 軸	炭 素 鋼
軸受組立品	ブラケット	炭 素 鋼
	軸受（ころがり）	消耗品・定期取替品
カバー組立品	カ バ ー	炭 素 鋼
支持組立品	取付ボルト	炭 素 鋼

表2.1-6 玄海3号炉 電動補助給水ポンプ用電動機の使用条件

定 格 出 力	650kW
周 囲 温 度	約40℃*1
定 格 電 圧	6,600V
定 格 回 転 数	3,550rpm

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

高圧ポンプ用電動機の機能であるポンプ駆動機能を維持するためには、次の2つの項目が必要である。

- ① 駆動機能の確保
- ② 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

高圧ポンプ用電動機個々について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（電圧、温度等）及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器ごとに表2.2-1～表2.2-3に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

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

(1) 固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下 [共通]

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

なお、本評価書での評価対象機器における放射線の影響については軽微であると考え、健全性評価における劣化要因とはしていない。（電気学会絶縁材料研究会資料EIM-79-99、NB-79-21「エポキシ樹脂の放射線照射による物性変化」）

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

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

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

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 固定子コア及び回転子コアの腐食（全面腐食）[共通]

固定子コア及び回転子コアは珪素鋼板であり腐食が想定される。

しかしながら、固定子コア及び回転子コアはワニス処理により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(2) フレーム、端子箱及びブラケット [共通]、空気冷却器側板[海水ポンプ用電動機]及びカバー [高圧注入ポンプ用電動機、電動補助給水ポンプ用電動機] の腐食（全面腐食）

フレーム、端子箱、ブラケット、空気冷却器側板及びカバーは、炭素鋼又は鋳鉄であり腐食が想定される。

しかしながら、内外面とも塗装により腐食を防止しており、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。また、分解点検時の目視確認により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

(3) 回転子棒・エンドリングの疲労割れ [共通]

回転子棒・エンドリングは、電動機の起動時に発生する電磁力による繰返し応力を受けるため、疲労割れが想定される。

しかしながら、発生応力は疲労強度より小さい。

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。

(4) 主軸 [共通] 及びランナー [海水ポンプ用電動機] の摩耗

海水ポンプ用電動機の主軸については、ランナーとの間に摩耗が発生することが想定される。

しかしながら、分解点検時に主軸とランナーの分解を実施しないため摩耗が生じる可能性は小さい。また、油潤滑のすべり軸受を使用しており、ランナーと軸受間に潤滑油が供給され膜が形成されるため、摺動摩耗の生じる可能性も小さい。

さらに、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。

高圧注入ポンプ用電動機の主軸については、軸受（すべり）との摺動による摩耗が想定される。

しかしながら、高圧注入ポンプ用電動機は油潤滑のすべり軸受を使用しており、主軸と軸受間に潤滑油が供給され膜が形成されるため、摺動摩耗の生じる可能性は小さい。

また、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。

高圧注入ポンプ用電動機及び電動補助給水ポンプ用電動機は、ころがり軸受を

使用しており、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及び寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(5) 主軸の高サイクル疲労割れ [共通]

ポンプ用電動機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、電動機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、試運転時等における振動確認及び分解点検時の応力集中部に対する目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 空気冷却器伝熱管の腐食 (全面腐食)

[海水ポンプ用電動機、高圧注入ポンプ用電動機]

海水ポンプ用電動機及び高圧注入ポンプ用電動機の空気冷却器伝熱管は銅合金であり腐食が想定される。

しかしながら、海水ポンプ用電動機は、内外面ともに流体が空気であり腐食し難い環境にある。また、高圧注入ポンプ用電動機の内面についてはヒドラジン水(防錆剤注入水)であり、外面については空気であるため腐食し難い環境にある。

さらに、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、分解点検時の渦流探傷検査又は目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 取付ボルトの腐食（全面腐食）[共通]

取付ボルトは炭素鋼であり腐食が想定される。

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

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

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

(8) 空気冷却器水室及び空気冷却器管板の腐食（全面腐食）

[高圧注入ポンプ用電動機]

高圧注入ポンプ用電動機の空気冷却器水室及び空気冷却器管板はステンレス鋼又は銅合金であり腐食が想定される。

しかしながら、接液流体がヒドラジン水（防錆剤注入水）及び空気であり、腐食し難い環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

軸受（ころがり）は分解点検時に取り替えている定期取替品である。また、ラスト軸受（すべり）、ガイド軸受（すべり）及び軸受（すべり）は分解点検時の目視確認や浸透探傷検査の結果に基づき取り替えている消耗品であり、長期使用はせず取替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 海水ポンプ用電動機に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・定期取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象							備 考	
				減 肉		割 れ		絶 縁	導 通	特 性		その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
駆動機能の確保	固定子コア		珪素鋼板		△							*1：高サイクル疲労割れ
	フレーム		炭素鋼		△							
	固定子コイル		銅 マカ、エポキシ樹脂 (F種絶縁)					○				
	口出線・接続部品		銅 シリコンゴム、マカ エポキシ樹脂 (F種絶縁)					○				
	端子箱		炭素鋼		△							
	回転子棒・エンドリング		銅合金			△						
	回転子コア		珪素鋼板		△							
	主 軸		炭素鋼	△		△*1						
	ランナー		低合金鋼	△								
	油冷却器伝熱管		チタン合金									
	油冷却器水室		チタン合金									
	油冷却器管板		チタン合金									
	空気冷却器伝熱管		銅合金		△							
	空気冷却器側板		炭素鋼		△							
	上部・下部ブラケット		炭素鋼		△							
	スラスト軸受 (すべり) 上部・下部がイト軸受 (すべり)	◎	—									
カバ ー		ステンレス鋼										
機器の支持	取付ボルト		炭素鋼		△							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表 2.2-2 玄海3号炉 高圧注入ポンプ用電動機に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・定期取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象							備 考	
				減 肉		割 れ		絶 縁	導 通	特 性		その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐蝕割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
駆動機能の確保	固定子コア		珪素鋼板		△						*1：高サイクル疲労割れ	
	フレーム		炭素鋼		△							
	固定子コイル		銅 マイカ、エポキシ樹脂 (F種絶縁)					○				
	口出線・接続部品		銅 シリコンゴム、マイカ エポキシ樹脂 (F種絶縁)					○				
	端子箱		炭素鋼		△							
	回転子棒・エンドリング		銅合金			△						
	回転子コア		珪素鋼板		△							
	主 軸		炭素鋼	△		△*1						
	ブラケット		鋳 鉄		△							
	軸受（すべり）	◎	—									
	軸受（ころがり）	◎	—									
	空気冷却器伝熱管		銅合金		△							
	空気冷却器水室		ステンレス鋼		△							
	空気冷却器管板		銅合金		△							
カバ ー		炭素鋼		△								
機器の支持	取付ボルト		炭素鋼		△							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-3 玄海3号炉 電動補助給水ポンプ用電動機に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・定期取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象							備 考	
				減 肉		割 れ		絶 縁	導 通	特 性		その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
駆動機能の確保	固定子コア		珪素鋼板		△						*1：高サイクル疲労割れ	
	フレーム		炭素鋼		△							
	固定子コイル		銅 マカ、エポキシ樹脂 (F種絶縁)					○				
	口出線・接続部品		銅 シリコンゴム マカ、エポキシ樹脂 (F種絶縁)					○				
	端子箱		炭素鋼		△							
	回転子棒・エンドリング		銅合金			△						
	回転子コア		珪素鋼板		△							
	主 軸		炭素鋼	△		△*1						
	ブラケット		炭素鋼		△							
	軸受（ころがり）	◎	—									
カバ ー		炭素鋼		△								
機器の支持	取付ボルト		炭素鋼		△							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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 固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下 [共通]

a. 事象の説明

固定子コイルは、固定子コアのスロット内に納められており、各々の銅線に漏電防止のための絶縁が施されている。口出線は、ポンプ用電動機を駆動するための電力を受給するもので、固定子コイルと同様に絶縁を施している。

なお、接続部品は、固定子コイルと口出線を接続するものであり、固定子コイルと同様に銅線に絶縁を施している。

固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的及び環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

絶縁低下が生じる可能性のある部位を図2.3-1に示す。

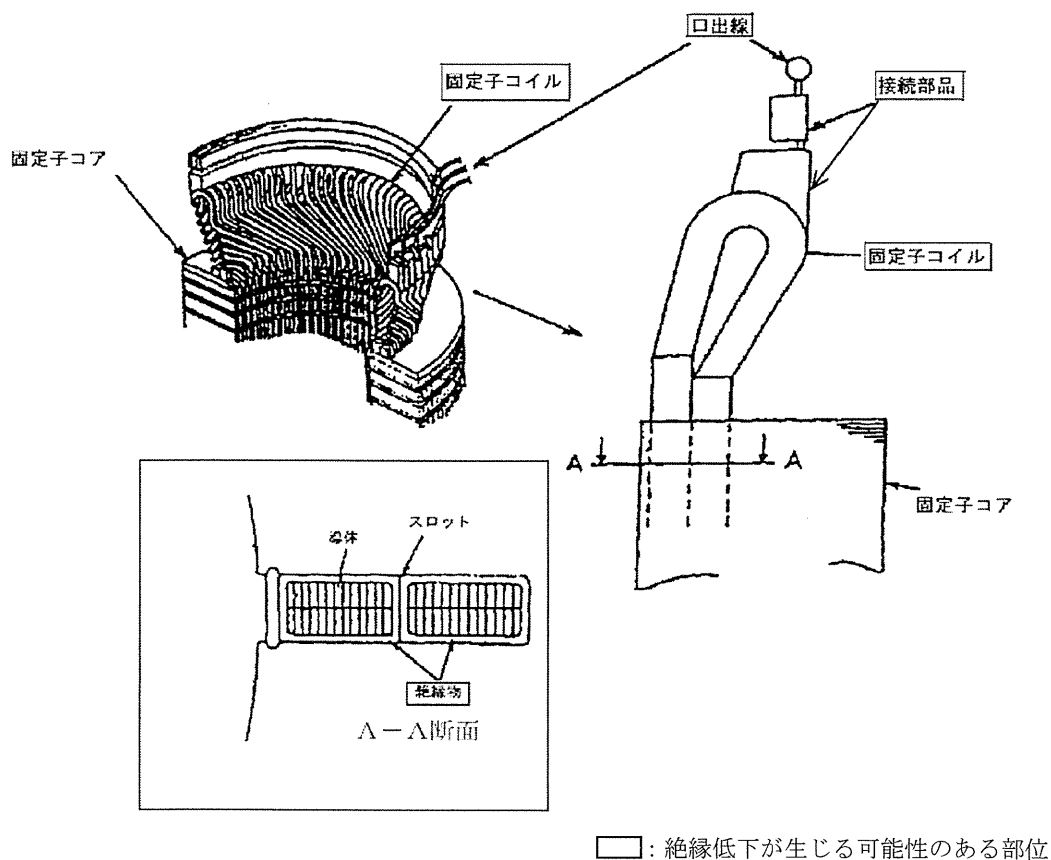
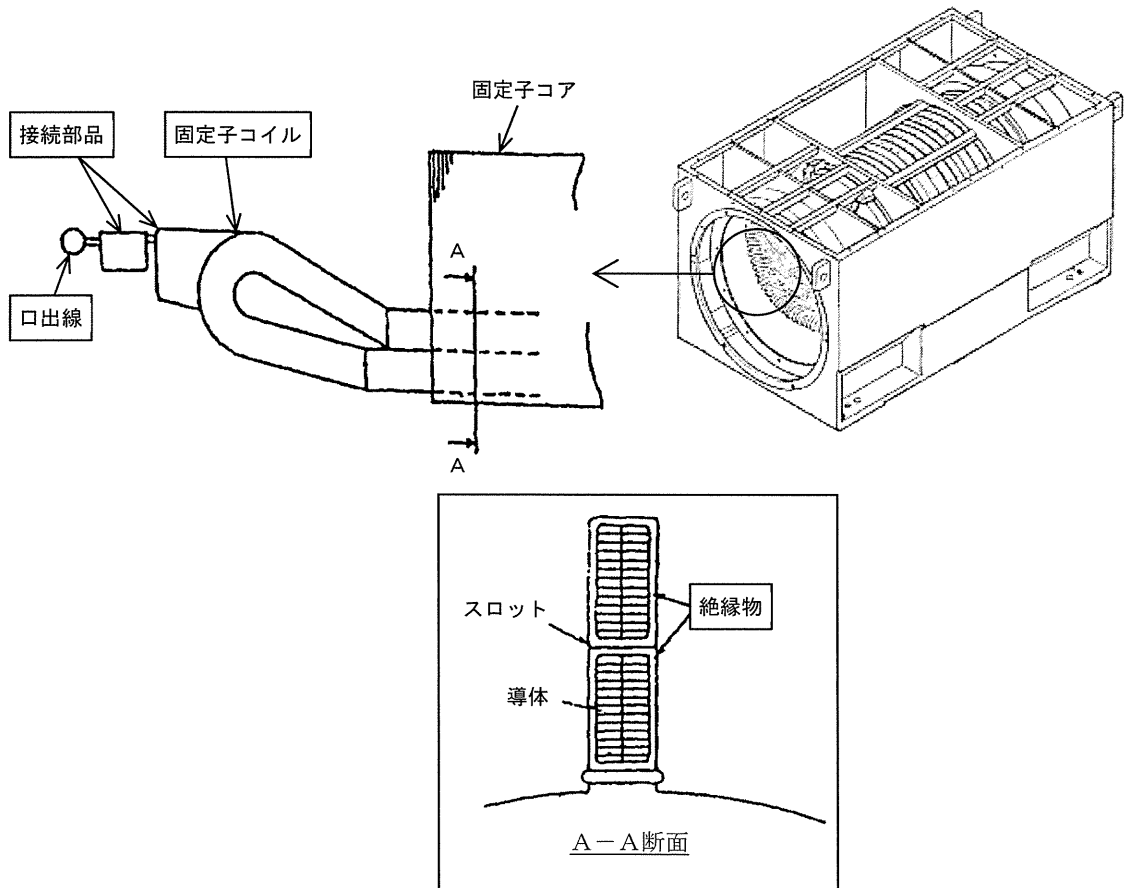


図2.3-1(1/2) 玄海3号炉 海水ポンプ用電動機 固定子コイル及び
口出線・接続部品の絶縁部位



□: 絶縁低下が生じる可能性のある部位

図2.3-1(2/2) 玄海3号炉 高圧注入ポンプ用電動機、電動補助給水ポンプ用電動機 固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁部位

b. 技術評価

① 健全性評価

高圧ポンプ用電動機の固定子コイルの健全性評価は、同種の一般的な固定子コイルの絶縁低下に対する評価方法を用いる。ここでは、IEEE Std. 275-1966「IEEE Proposed Test Procedure for Evaluation of Systems of insulating Materials for A-C Electric Machinery Employing Form-Wound Pre-insulated Stator Coil for Machines Rated at 50 to 2000 horsepower 35 to 1500 Kilowatts mechanical output and below 6600 volts」(以下、「IEEE Std. 275-1966」という。)の規格に準じて実施した評価試験結果より固定子コイルの長期健全性を評価した。

IEEE Std. 275-1966では、熱的、機械的、環境的及び電気的な各劣化要因について個々に試験条件が述べられているが、電動機はこれらの劣化要因が複合するため、複合劣化の試験条件で固定子コイルの長期健全性を評価する。

評価手順を図2.3-2に、試験条件を表2.3-1に、ヒートサイクル方法例を図2.3-3に示す。

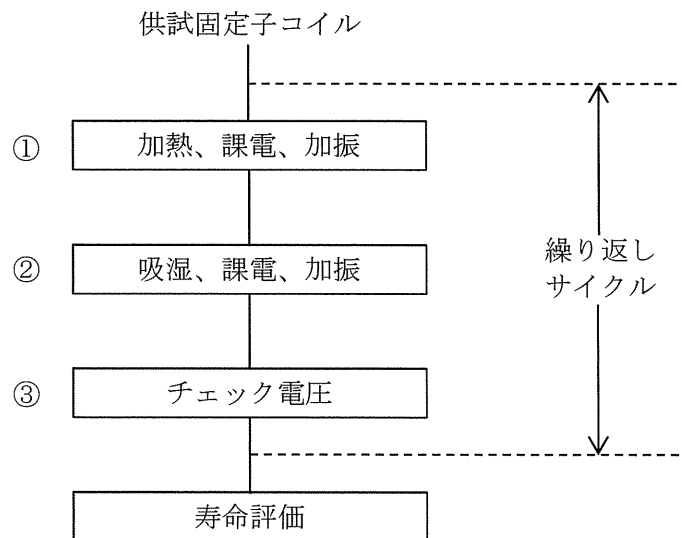


図2.3-2 固定子コイル長期健全性評価手順

図2.3-2の評価手順①(64回程度の繰り返し)、②、③を1サイクルとし、コイル絶縁がチェック電圧で破壊するまで繰り返し、170℃及び190℃での耐熱寿命を基にアレニウス則*¹が成り立つと仮定して定数A、Bを求め、耐熱寿命曲線を得る。

* 1 : アレニウス則

$$\log Y = -A + \frac{B}{273 + t} \dots\dots (1)$$

Y : 寿命時間 (h)
t : 運転温度 (°C)
A、B : 定数
log Y : 自然対数

この耐熱寿命曲線は、電動機に適用している絶縁固有の特性を表す。

この (1) 式に当該電動機の運転温度*² t (°C) を代入して、寿命を求める。

この寿命で絶縁寿命が決定される。

* 2 : 運転温度

運転温度は、使用最高温度を用いる。

使用最高温度 = 周囲温度 + 固定子コイルの温度上昇

+ 測定ポイントとホットスポットとの差 (マージン)

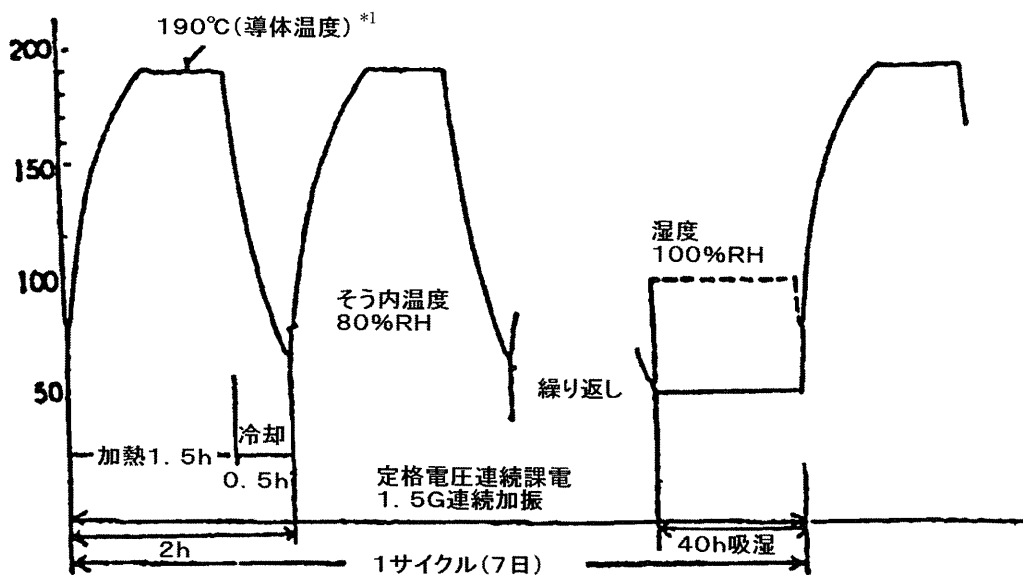
固定子コイルの絶縁寿命は、評価結果より稼働率 100% で 19.95 年と判断する。

表 2.3-1 固定子コイル長期健全性評価における試験条件

手順	試験項目	試験条件1	試験条件2	実機設計条件
①	温度	170°C×2 時間(加熱1.5h、冷却0.5h、at80%RH)	190°C×2 時間(加熱1.5h、冷却0.5h、at80%RH)	最大145°C
	電圧	6.6kV-常時印加	6.6kV-常時印加	6.6kV
	振動	1.5G-常時加振	1.5G-常時加振	1G以下
②	湿度	100%RH-40時間 (at 50°C)	100%RH-40時間 (at 50°C)	最大100%RH (at 40°C)
	電圧	6.6kV-常時印加	6.6kV-常時印加	6.6kV
	振動	1.5G-常時加振	1.5G-常時加振	1G以下
③	チェック電圧	対地間 1.5×E=9.9kV-1分間 線間 150V-1分間	対地間 1.5×E=9.9kV-1分間 線間 150V-1分間	-

RH: relative humidity (相対湿度)

[出典: メーカーデータ]



*1 : 絶縁体温度 170°C×2 時間相当

図2.3-3 ヒートサイクル方法例 (試験条件1)

また、6.6 kV級の経年機で、固定子コイルを更新した旧機のコイル破壊電圧の測定値を評価した結果が、運転年数*3と絶縁破壊値の関係として、図2.3-4に示すように求められる。

この評価からコイル破壊電圧の平均値と95%信頼下限が安全運転下限(「電気学会 電気規格調査会標準規格 回転電気機械一般 (JEC-2100-1993)」: $2E+1=2 \times 6.6[\text{kV}] + 1[\text{kV}] = 14.2[\text{kV}]$)に低下するのが18.5～24年となるため、固定子コイルの運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、18.5年と判断する。

以上の検討結果より、高圧ポンプ用電動機固定子コイルの運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、より厳しい評価結果である旧機のコイル破壊電圧の測定値を評価した結果を採用し、18.5年と判断する。

また、ヒートサイクル方法及び旧機のコイル破壊電圧による評価で用いた供試体にはともに口出線・接続部品が含まれていることから、口出線・接続部品の運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、固定子コイルと同様、18.5年と判断する。

なお、海水ポンプ用電動機は屋外設置であるが、IEEE Std. 275-1966の規格に準じて実施した試験において吸湿は厳しい状況下にて実施していること及び絶縁破壊試験（図2.3-4）には屋外に設置されていた供試体も含まれていることから、屋内外の設置環境による評価年数に差はないと考える。

*3：稼働率等を考慮に入れた年数＝運転時間（年）＋休止時間（年）／
休止係数

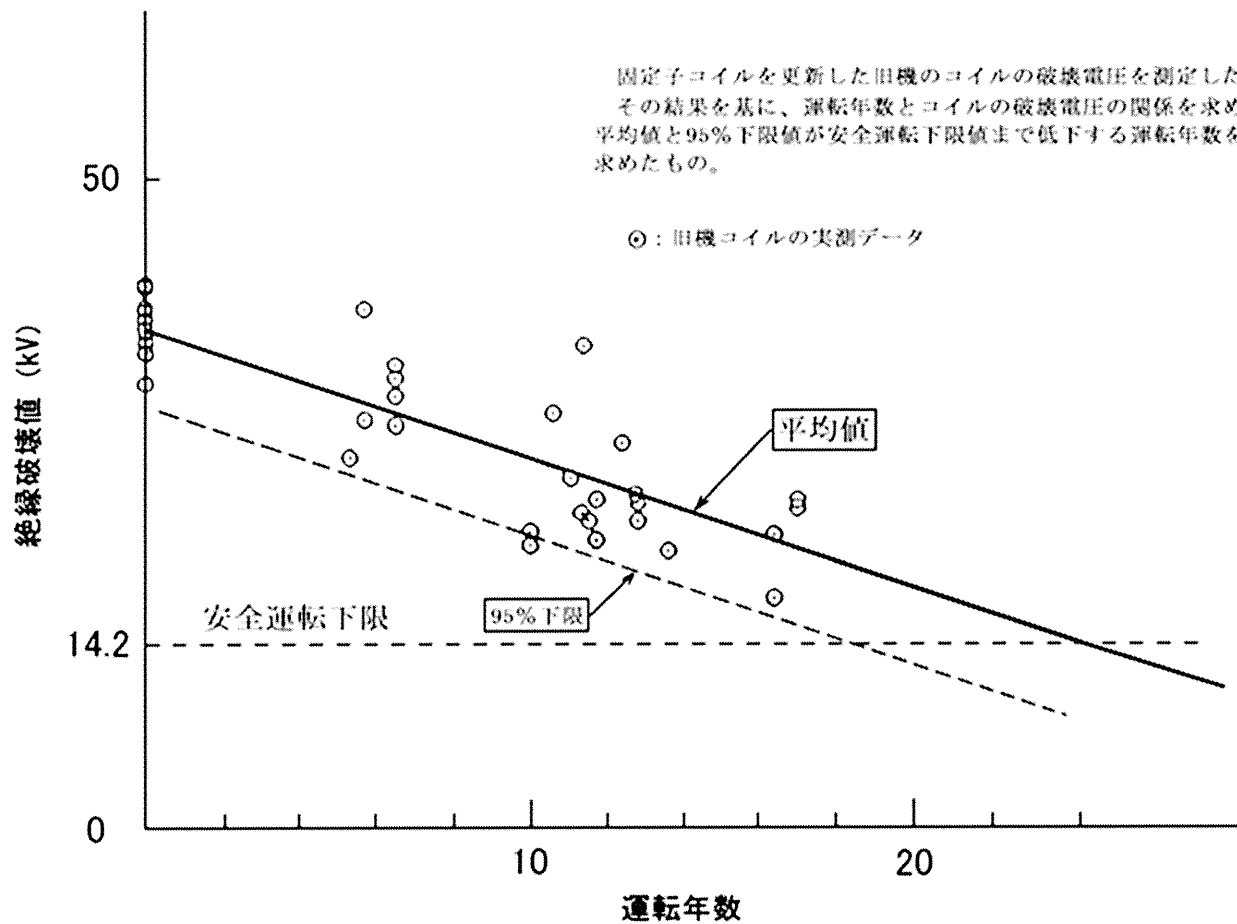


図2.3-4 運転年数と絶縁破壊値の関係

[出典：民間データ]

② 現状保全

固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定を行い、許容値以上であることを確認している。さらに、絶縁診断（直流吸収試験、 $\tan \delta$ 試験、部分放電試験）により、管理範囲に収まっていることの確認を行うとともに、傾向管理を行っている。また、絶縁抵抗測定及び絶縁診断結果に基づき、必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替えを実施していく。

なお、予防保全のため3B海水ポンプ用電動機については、第16回定期検査時（2021年度～2022年度）に絶縁更新を行っている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下については、18.5年以降において発生の可能性は否定できないが、絶縁低下は、絶縁抵抗測定及び絶縁診断で検知可能であり、点検手法として適切である。

よって、現状保全を継続することで、健全性を維持できると考える。

c. 高経年化への対応

固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下については、引き続き定期的な絶縁抵抗測定及び絶縁診断を実施していくとともに、運転年数及び点検結果に基づき必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替えを実施していく。

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない以下の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 充てんポンプ用電動機
- ② 格納容器スプレイポンプ用電動機
- ③ 余熱除去ポンプ用電動機
- ④ 原子炉補機冷却水ポンプ用電動機

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下 [共通]

充てんポンプ用電動機、格納容器スプレイポンプ用電動機、余熱除去ポンプ用電動機及び原子炉補機冷却水ポンプ用電動機は、絶縁仕様、使用環境等は代表機器と同様であることから、絶縁低下については、18.5年以降において発生の可能性は否定できない。

絶縁低下は、定期的な絶縁抵抗測定及び絶縁診断で検知可能であり、点検手法として適切である。

よって、現状保全を継続することで、健全性を維持できると考える。

したがって、固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下については、引き続き定期的な絶縁抵抗測定及び絶縁診断を実施していくとともに、運転年数及び点検結果に基づき必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替えを実施していく。

なお、予防保全のため3A原子炉補機冷却水ポンプ用電動機については、第16回定期検査時(2021年度～2022年度)に絶縁更新を行っている。

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 固定子コア及び回転子コアの腐食（全面腐食）[共通]

固定子コア及び回転子コアは珪素鋼板であり腐食が想定される。

しかしながら、固定子コア及び回転子コアはワニス処理により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.2 フレーム、端子箱、ブラケット及びカバーの腐食（全面腐食）[共通]

フレーム、端子箱、ブラケット及びカバーは炭素鋼であり腐食が想定される。

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

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

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

3.2.3 回転子棒・エンドリングの疲労割れ [共通]

回転子棒・エンドリングは、電動機の起動時に発生する電磁力による繰返し応力を受けるため、疲労割れが想定される。

しかしながら、発生応力は疲労強度より小さい。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.4 主軸の摩耗 [共通]

主軸については、軸受（ころがり）と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及び寸法計測により、機器の健全性を確認している。

3.2.5 主軸の高サイクル疲労割れ [共通]

電動機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、電動機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、試運転時等における振動確認及び分解点検時の応力集中部に対する目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.6 空気冷却器伝熱管の腐食（全面腐食） [共通]

空気冷却器伝熱管は銅合金であり腐食が想定される。

しかしながら、内面については内部流体がヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、外面については空気であるため腐食が発生し難い環境にある。

さらに、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、分解点検時に渦流探傷検査及び外面の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.7 取付ボルトの腐食（全面腐食）[共通]

取付ボルトは炭素鋼であり腐食が想定される。

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

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

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

3.2.8 空気冷却器水室及び空気冷却器管板の腐食（全面腐食）[共通]

空気冷却器水室及び空気冷却器管板はステンレス鋼又は銅合金であり腐食が想定される。

しかしながら、接液流体がヒドラジン水（防錆剤注入水）及び空気であり、腐食し難い環境であり、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。

3.2.9 基礎ボルトの腐食（全面腐食）[充てんポンプ用電動機]

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 低圧ポンプ用電動機

[対象機器]

- ① ほう酸ポンプ用電動機
- ② 燃料取替用水ポンプ用電動機
- ③ 常設電動注入ポンプ用電動機

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料及び使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	6
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	11
3. 代表機器以外への展開	17
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	17
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	18

1. 対象機器及び代表機器の選定

玄海3号炉で使用されている低圧ポンプ用電動機的主要仕様を表1-1に示す。

これらの低圧ポンプ用電動機を、型式及び設置場所の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

表1-1に示す低圧ポンプ用電動機について、型式及び設置場所の観点から1つのグループにまとめられる。

1.2 代表機器の選定

重要度の高いほう酸ポンプ用電動機を代表機器とする。

表1-1 玄海3号炉 低圧ポンプ用電動機的主要仕様

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準					選定	選定理由
				仕様 (定格出力× 定格回転数) (kW×rpm)	重要度*1	使用条件				
電圧区分	型式	設置場所				運 転	定格電圧 (V)	周囲温度 (°C)		
低 圧	全閉	屋 内	ほう酸ポンプ用電動機 (2)	11×3,500	MS-1、重*2	連 続	440	約40	◎	重要度
			燃料取替用水ポンプ用電動機 (2)	18.5×3,510	MS-2	連 続	440	約40		
			常設電動注入ポンプ用電動機 (1)	132×3,560	重*2	一 時	440	約40		

*1：機能は最上位の機能を示す

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

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下のポンプ用電動機について技術評価を実施する。

① ほう酸ポンプ用電動機

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 ほう酸ポンプ用電動機

(1) 構造

玄海3号炉のほう酸ポンプ用電動機は、定格出力11kW、定格回転数3,500rpmの全閉屋内形三相誘導電動機である。

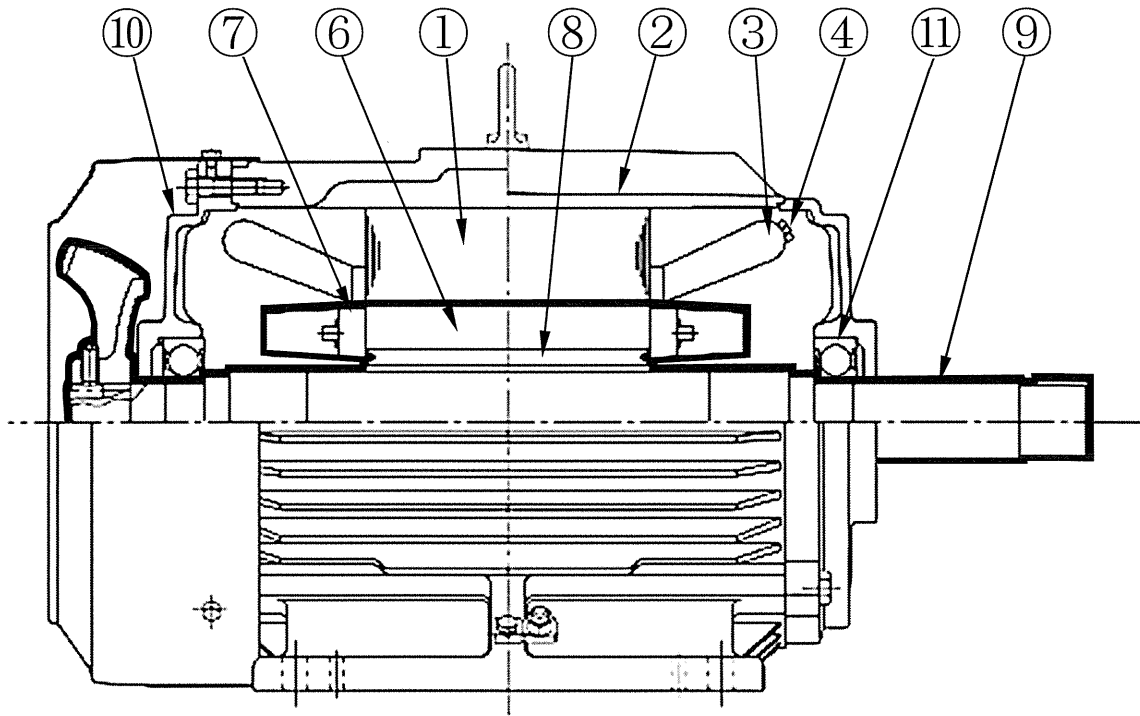
電動機の主軸には炭素鋼を使用している。

負荷側及び反負荷側軸受部には、回転体を支えるためのブラケットが取付けられ、内側には電動機回転子重量を支えるための軸受を備えている。

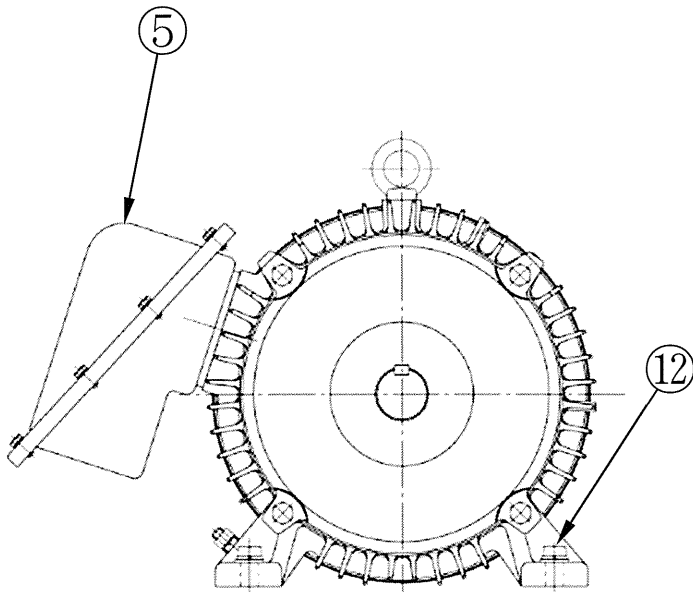
玄海3号炉のほう酸ポンプ用電動機の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉のほう酸ポンプ用電動機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。



注：太線部が回転部を示す



No.	部 位
①	固定子コア
②	フレーム
③	固定子コイル
④	口出線
⑤	端子箱
⑥	回転子棒
⑦	エンドリング
⑧	回転子コア
⑨	主 軸
⑩	ブラケット
⑪	軸受 (ころがり)
⑫	取付ボルト

図2.1-1 玄海3号炉 ほう酸ポンプ用電動機構造図

表2.1-1 玄海3号炉 ほう酸ポンプ用電動機主要部位の使用材料

部 位		材 料
固定子組立品	固定子コア	珪素鋼板
	フレーム	鋳 鉄
	固定子コイル	銅、ポリエステルイミド+ポリアミドイミド /ポリエステル樹脂 (B種絶縁)
	口 出 線	銅、シリコーンゴム (B種絶縁)
	端 子 箱	炭 素 鋼
回転子組立品	回転子棒・エンドリング	アルミニウム
	回転子コア	珪素鋼板
	主 軸	炭 素 鋼
軸受組立品	ブラケット	鋳 鉄
	軸受 (ころがり)	消耗品・定期取替品
支持組立品	取付ボルト	炭 素 鋼

表2.1-2 玄海3号炉 ほう酸ポンプ用電動機の使用条件

定 格 出 力	11kW
周 囲 温 度	約40℃*1
放 射 線	$0.072 \times 10^{-3} \text{Gy/h}^{*2}$
定 格 電 圧	440V
定 格 回 転 数	3,500rpm

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

*2：通常時の原子炉格納容器外の最大実測値

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

低圧ポンプ用電動機の機能であるポンプの駆動機能を維持するためには、次の2つの項目が必要である。

- ① 駆動機能の確保
- ② 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

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

(1) 固定子コイル及び口出線の絶縁低下

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

なお、本評価書での評価対象機器における放射線の影響については軽微であると考え、健全性評価における劣化要因とはしていない。（電気学会絶縁材料研究会資料 EIM-79-99、NB-79-21「エポキシ樹脂の放射線照射による物性変化」）

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) 固定子コア及び回転子コアの腐食（全面腐食）

固定子コア及び回転子コアは珪素鋼板であり腐食が想定される。

しかしながら、固定子コア及び回転子コアはワニス処理等により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(2) フレーム、端子箱及びブラケットの腐食（全面腐食）

フレーム、端子箱及びブラケットは炭素鋼又は鋳鉄であり腐食が想定される。

しかしながら、内外面とも塗装により腐食を防止しており、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。また、分解点検時の目視確認により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

(3) 回転子棒・エンドリングの疲労割れ

回転子棒・エンドリングについては、電動機の起動時に発生する電磁力による繰返し応力を受けるため、疲労割れが想定される。

しかしながら、回転子棒・エンドリングはアルミ充てん式（一体形成）であり、回転子棒とスロットの間に隙間を生じることはなく、疲労割れが発生し難い構造である。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(4) 主軸の摩耗

主軸については、軸受（ころがり）と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及び寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(5) 主軸の高サイクル疲労割れ

電動機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、電動機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、試運転時等における振動確認及び分解点検時の応力集中部に対する目視

確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 取付ボルトの腐食（全面腐食）

取付ボルトは炭素鋼であり腐食が想定される。

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

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

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

2.2.4 消耗品及び定期取替品

軸受（ころがり）は分解点検時に取り替えている消耗品であり、長期使用はせず取替えを前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 玄海3号炉 ほう酸ポンプ用電動機に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・定期取替品	材 料	経 年 劣 化 事 象							備 考	
				減 肉		割 れ		絶 縁	導 通	特 性		その他
				摩 耗	腐 食	疲労割れ	応力腐食割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化		
駆動機能の確保	固定子コア		珪素鋼板		△						*1：高サイクル疲労割れ	
	フレーム		鋳 鉄		△							
	固定子コイル		銅 ポリエステルイミト ⁺ ポリアミドイミト ⁻ / ポリエステル樹脂 (B種絶縁)					○				
	口 出 線		銅 シリコンゴム (B種絶縁)					○				
	端 子 箱		炭 素 鋼		△							
	回転子棒・エンドリング		アルミニウム			△						
	回転子コア		珪素鋼板		△							
	主 軸		炭 素 鋼	△		△*1						
	ブラケット		鋳 鉄		△							
	軸受（ころがり）	◎	—									
機器の支持	取付ボルト		炭 素 鋼		△							

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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 固定子コイル及び口出線の絶縁低下

a. 事象の説明

固定子コイルは、固定子コアのスロット内に納められており、各々の銅線に漏電防止のための絶縁が施されている。口出線は、ポンプ用電動機を駆動するための電力を受給するもので、固定子コイルと同様に絶縁が施されている。

固定子コイル及び口出線の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的及び環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

絶縁低下が生じる可能性のある部位を図2.3-1に示す。

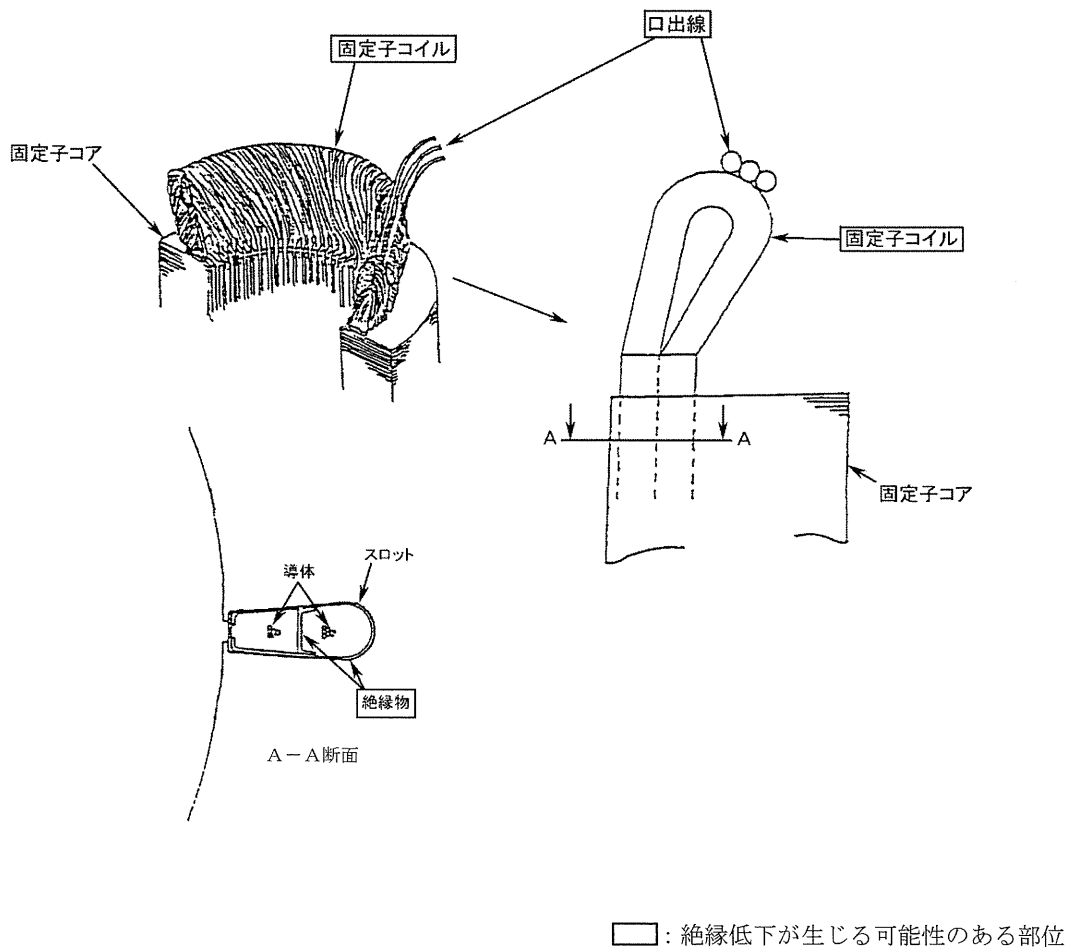


図2.3-1 玄海3号炉 ほう酸ポンプ用電動機

固定子コイル及び口出線の絶縁部位

b. 技術評価

① 健全性評価

低圧ポンプ用電動機の固定子コイルの健全性評価は、同種の一般的な低圧コイルの絶縁低下に対する評価方法を用いる。ここでは、IEEE Std. 117-1956「IEEE Standard Test Procedure for Evaluation of Systems of Insulating Materials for Random-Wound Electric Machinery」（以下、「IEEE Std. 117-1956」という。）の規格に準じて実施した評価試験結果より固定子コイルの長期健全性を評価した。

IEEE Std. 117-1956では、熱的、機械的、環境的及び電気的な各劣化要因について個々に試験条件が述べられているが、電動機はこれら劣化要因が複合するため、複合劣化の試験条件で固定子コイルの長期健全性を評価する。

評価手順を図2.3-2に、試験条件を表2.3-1に、ヒートサイクル方法例を図2.3-3に示す。

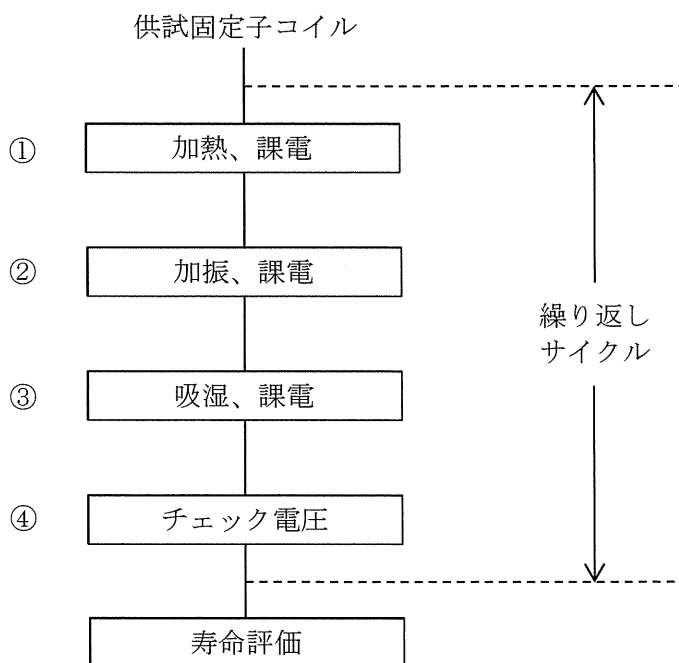


図2.3-2 固定子コイル長期健全性評価手順

図2.3-2の評価手順①、②、③、④を1サイクルとし、コイル絶縁がチェック電圧で破壊するまで繰り返し、180℃及び200℃での耐熱寿命を基にアレニウス則*¹が成り立つと仮定して定数A、Bを求め、耐熱寿命曲線を得る。

* 1 : アレニウス則

$$\log Y = -A + \frac{B}{273 + t} \dots\dots (1)$$

Y : 寿命時間 (h)
t : 運転温度 (°C)
A、B : 定数
log Y : 自然対数

この耐熱寿命曲線は、電動機に適用している絶縁固有の特性を表す。
この (1) 式に当該電動機の運転温度*2 t (°C) を代入して、寿命を求め
る。
この寿命で絶縁寿命が決定される。

* 2 : 運転温度

運転温度は、使用最高温度を用いる。
使用最高温度 = 周囲温度 + 固定子コイルの温度上昇
+ 測定ポイントとホットスポットとの差 (マージン)

固定子コイルの絶縁寿命は、評価結果より稼働率 80% で、20 年と判断
する。

表 2.3-1 固定子コイル長期健全性評価における試験条件

手順	試験項目	試験条件1	試験条件2	実機設計条件
①	温 度	180°C - 4日	200°C - 1日	最大125°C
	電 圧	440V - 常時印加	440V - 常時印加	440V
②	振 動	1.5G - 1 時間 (at 120°C)	1.5G - 1 時間 (at 120°C)	1G以下
	電 圧	440V - 常時印加	440V - 常時印加	440V
③	湿 度	95~100%RH - 2日 (at 40°C)	95~100%RH - 2日 (at 40°C)	最大100%RH (at 40°C)
	電 圧	440V - 常時印加	440V - 常時印加	440V
④	チェック 電 圧	対地間 1.5×E=660V - 10分間 線間 150V - 10分間	対地間 1.5×E=660V - 10分間 線間 150V - 10分間	-

RH : relative humidity (相対湿度)

[出典 : メーカーデータ]

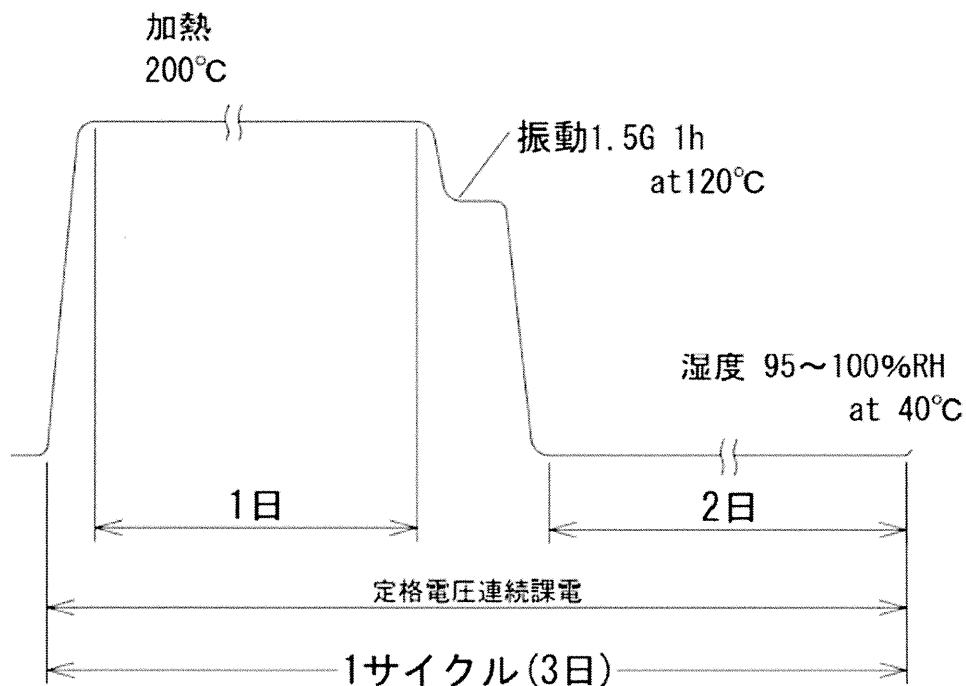


図2.3-3 ヒートサイクル方法例（試験条件2）

また、440V級の経年機で、固定子コイルを更新した旧機のコイル破壊電圧の測定値を評価した結果が、設置経過年数と絶縁破壊値の関係として、図2.3-4に示すように求められる。

この評価からコイル破壊電圧の平均値と95%信頼下限が安全運転下限値（電気設備技術基準： $1.5E=1.5 \times 440 \text{ [V]} = 660 \text{ [V]}$ ）に低下するのが16.5～25年となるため、固定子コイルの運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、16.5年と判断する。

以上の検討結果より、低圧ポンプ用電動機固定子コイルの運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、より厳しい評価結果である旧機のコイル破壊電圧による評価結果を採用し、16.5年と判断する。

また、ヒートサイクル方法及び旧機のコイル破壊電圧による評価で用いた供試体にはともに口出線が含まれていることから、口出線の運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、固定子コイルと同様、16.5年と判断する。

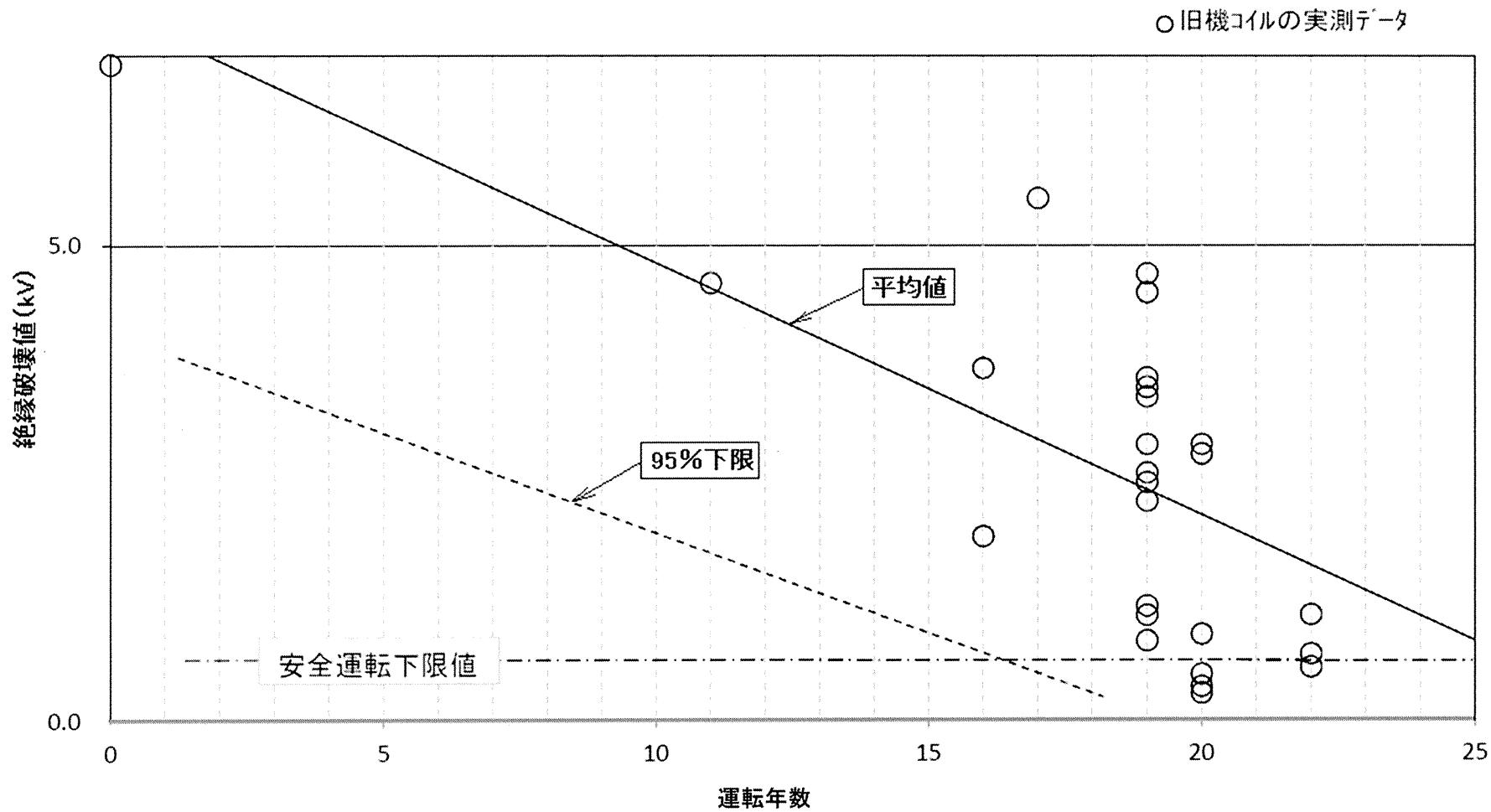


図2.3-4 設置経過年数と絶縁破壊値の関係

[出典：メーカーデータ]

② 現状保全

固定子コイル及び口出線の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定を行い、許容値以上であることを確認している。

また、絶縁抵抗測定の結果に基づき、必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替えを実施していく。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、固定子コイル及び口出線の絶縁低下については、16.5年以降において発生の可能性は否定できないが、絶縁低下は、絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

よって、現状保全を継続することで、健全性を維持できると考える。

c. 高経年化への対応

固定子コイル及び口出線の絶縁低下については、引き続き定期的な絶縁抵抗測定を実施していくとともに、点検結果に基づき必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替えを実施していく。

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない以下の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いる。

- ① 燃料取替用水ポンプ用電動機
- ② 常設電動注入ポンプ用電動機

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 固定子コイル及び口出線の絶縁低下 [共通]

いずれの低圧ポンプ用電動機も絶縁仕様、使用環境等は代表機器と同様であることから、16年以降において発生の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

よって、現状保全を継続することで、健全性を維持できると考える。

したがって、固定子コイル及び口出線の絶縁低下については、引き続き定期的な絶縁抵抗測定を実施していくとともに、点検結果に基づき必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替えを実施していく。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.2.1 固定子コア及び回転子コアの腐食（全面腐食）[共通]

固定子コア及び回転子コアは珪素鋼板であり腐食が想定される。

しかしながら、固定子コア及び回転子コアはワニス処理等により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.2 フレーム、端子箱及びブラケットの腐食（全面腐食）[共通]

フレーム、端子箱及びブラケットは炭素鋼又は鋳鉄であり腐食が想定される。

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

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

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

3.2.3 回転子棒・エンドリングの疲労割れ [共通]

回転子棒・エンドリングについては、電動機の起動時に発生する電磁力による繰返し応力を受けるため、疲労割れが想定される。

しかしながら、回転子棒・エンドリングはアルミ充てん式（一体形成）であり、回転子棒とスロットの間に隙間を生じることはなく、疲労割れが発生し難い構造である。

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

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.4 主軸の摩耗 [共通]

主軸については、軸受（ころがり）と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及び寸法計測により、機器の健全性を確認している。

3.2.5 主軸の高サイクル疲労割れ [共通]

電動機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、電動機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、試運転時等における振動確認及び分解点検時の応力集中部に対する目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.6 取付ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

取付ボルトは炭素鋼であり腐食が想定される。

しかしながら、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。