

伊方発電所 3 号炉

高経年化技術評価書

令和 5 年 1 1 月

四国電力株式会社

目次

1. はじめに	1
2. 伊方発電所3号炉の概要	4
2.1 伊方発電所3号炉の設備概要	4
2.2 伊方発電所3号炉の経緯	6
2.3 技術基準規則への適合に向けた取組およびそのスケジュール	6
2.4 伊方発電所3号炉の保全概要	11
3. 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 評価に係る教育訓練	20
3.7 評価年月日	20
3.8 評価を実施した者の氏名	20
4. 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
5. 技術評価結果	37
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	37
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 冷温停止状態維持を前提とした機器・構造物の 技術評価結果	39
5.5 冷温停止状態維持を前提とした耐震安全性評価結果	39
5.6 冷温停止状態維持を前提とした耐津波安全性評価結果	39
5.7 評価の結果に基づいた補修等の措置	40

6. 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	44
7. まとめ	45

1. はじめに

伊方発電所3号炉においては、2024年12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・構造物の保全活動として、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、運転年数の増加に従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、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月および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」および「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後29年を経過する日までに、また、以降10年毎に、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年間の計画を策定することを電気事業者に求めた。

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づけるとともに、「保全のために実施すべき措置に関する10年間の計画」を、新たに「保全のために実施すべき措置に関する方針」（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訂し、2008年10月に発出後、2010年4月および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福島第一原子力発電所で発生した事故に鑑み、2012年9月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。）を制定した。「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」および「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」については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の確保・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」（以下、「学会標準2008版」という。）として改定の上、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」、2021年11月に「原子力発電所の高経年化対策実施基準：2021」を発行し、2022年9月に追補版である「原子力発電所の高経年化対策実施基準：2022追補1」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）は上記高経年化対策実施ガイド等および学会標準2008版に対応して、

「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年を迎える伊方発電所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、学会標準2008版などに基づき、60年間の運転およ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、現状保全の継続等により、今後、プラントを健全に維持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、耐震安全性評価およ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。

2. 伊方発電所3号炉の概要

2. 1 伊方発電所3号炉の設備概要

伊方発電所3号炉は、加圧水型の原子力発電所で燃料には低濃縮ウランを使用し、冷却材には軽水を使用している。

原子炉内で核分裂反応により発生した熱は、蒸気発生器内で1次冷却材から2次側の給水へ伝達され、蒸気を発生させる。また、熱交換を行った1次冷却材は1次冷却材ポンプにより再び原子炉へ戻される。

蒸気発生器で発生した蒸気は主蒸気管でタービン建屋に導かれタービンを駆動して発電し、その後復水器に流入して復水となり、復水ポンプ、低圧給水加熱器を通り給水ポンプにより高圧給水加熱器を経て再び蒸気発生器に戻される。

(1) 主要仕様

電気出力	約 8 9 0 MW
原子炉型式	加圧水型軽水炉
原子炉熱出力	約 2 6 5 2 MW
燃料	低濃縮ウラン（燃料集合体 1 5 7 体）
減速材	軽水
タービン	串型 3 車室 4 分流排気再熱再生式

(2) 主要系統

主要系統を資料 2 - 1 に示す。

2. 2 伊方発電所3号炉の経緯

伊方発電所3号炉は、我が国48番目の商業用原子力発電所で、加圧水型原子力発電所（以下、「PWRプラント」という。）としては我が国22番目、当社では3番目のものである。

同炉は、1986年5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。同年11月に建設に着手し、1994年2月に初臨界、同年3月に送電系統に初並列した後、同年12月に営業運転を開始した。

また、伊方発電所3号炉では、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」の手続きに基づき、設備の健全性評価、運転管理方法の改善へ向けた諸対策を実施し、2002年4月から定格熱出力一定運転を開始している。

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年間を遡った時点までの計画外停止（手動停止および自動停止）は0件であり、供用期間の長期化に伴い、計画外停止件数が増加する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およびそのスケジュール

伊方発電所3号炉については、新規制基準へ適合させるため、平成25年7月8日付け原子力発第13121号をもって原子炉設置変更（平成27年4月14日付け原子力発第15027号、平成27年5月11日付け原子力発第15048号および平成27年6月30日付け原子力発第15091号をもって一部補正）を申請し、平成27年7月15日付け原規規発第1507151号にて許可を受けている。

また、平成25年7月8日付け原子力発第13122号をもって工事計画認可申請書（平成27年7月7日付け原子力発第15095号、平成27年9月28日付け原子力発第15151号、平成27年10月30日付け原子力発第15191号、平成28年3月3日付け原子力発第15291号および平成28年3月15日付け原子力発第15308号をもって一部補正）を申請し、平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可を受けている。

特定重大事故等対処施設の設置については、平成28年1月14日付け原子力発第15204号をもって原子炉設置変更（平成29年2月1日付け原子力発第16329号および平成29年8月21日付け原子力発第17167号をもって一部補正）を申請し、平成29年10月4日付け原規規発第1710043号にて許可を受けている。

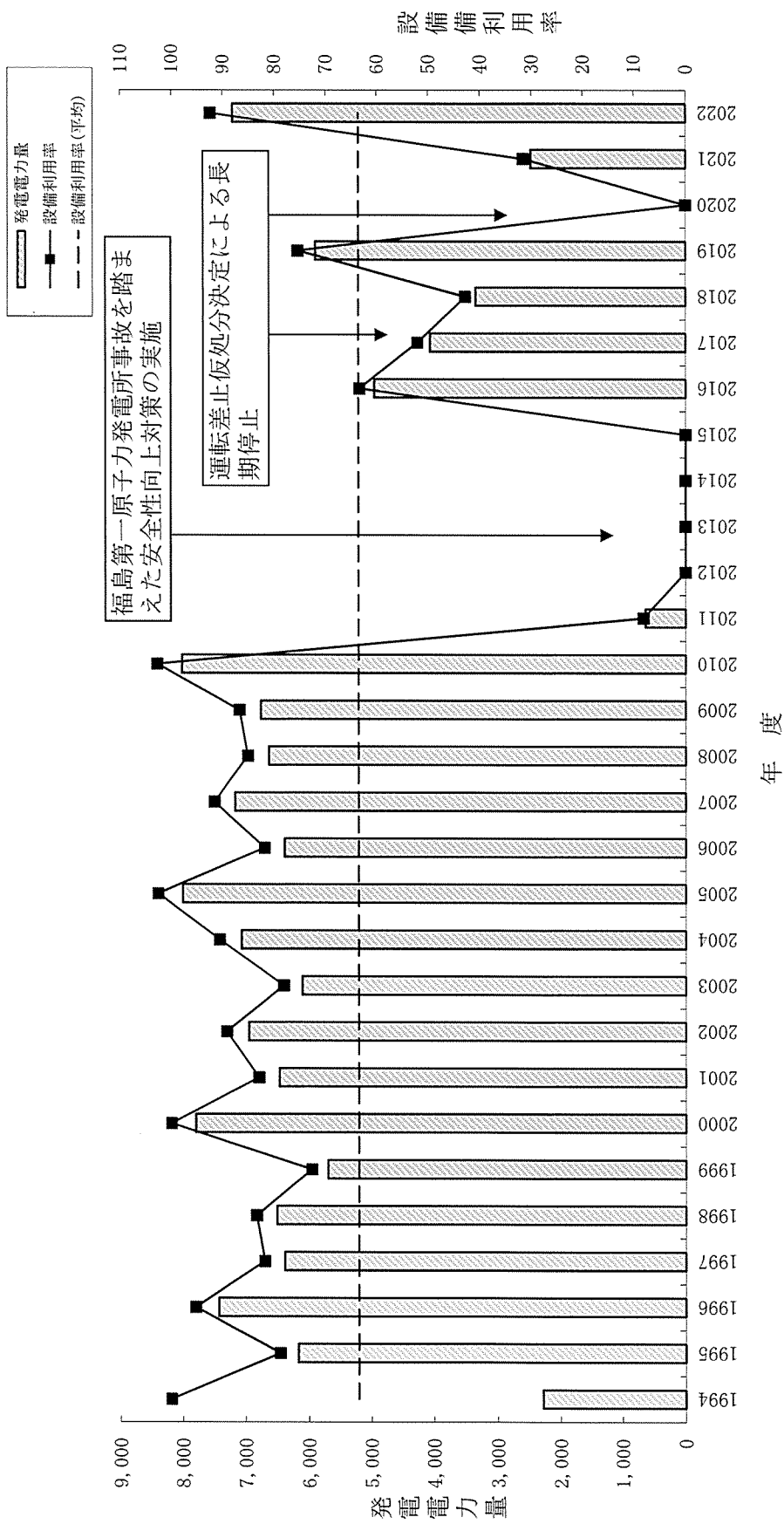
また、平成29年12月7日付け原子力発第17283号をもって工事計画認可申請書（平成30年10月17日付け原子力発第18209号、平成30年12月7日付け原子力発第18246号および平成31年3月12日付け原子力発第18325号をもって一部補正）を申請し、平成31年3月25日付け原規規発第1903256号にて認可を受けている。

さらに、平成30年3月16日付け原子力発第17387号をもって工事計画認可申請書（令和元年8月23日付け原子力発第19188号、令和元年10月16日付け原子力発第19257号、令和元年11月6日付け原子力発第19279号および令和元年12月13日付け原子力発第19326号をもって一部補正）を申請し、令和元年12月24日付け原規規発第1912241号にて認可を受けている。

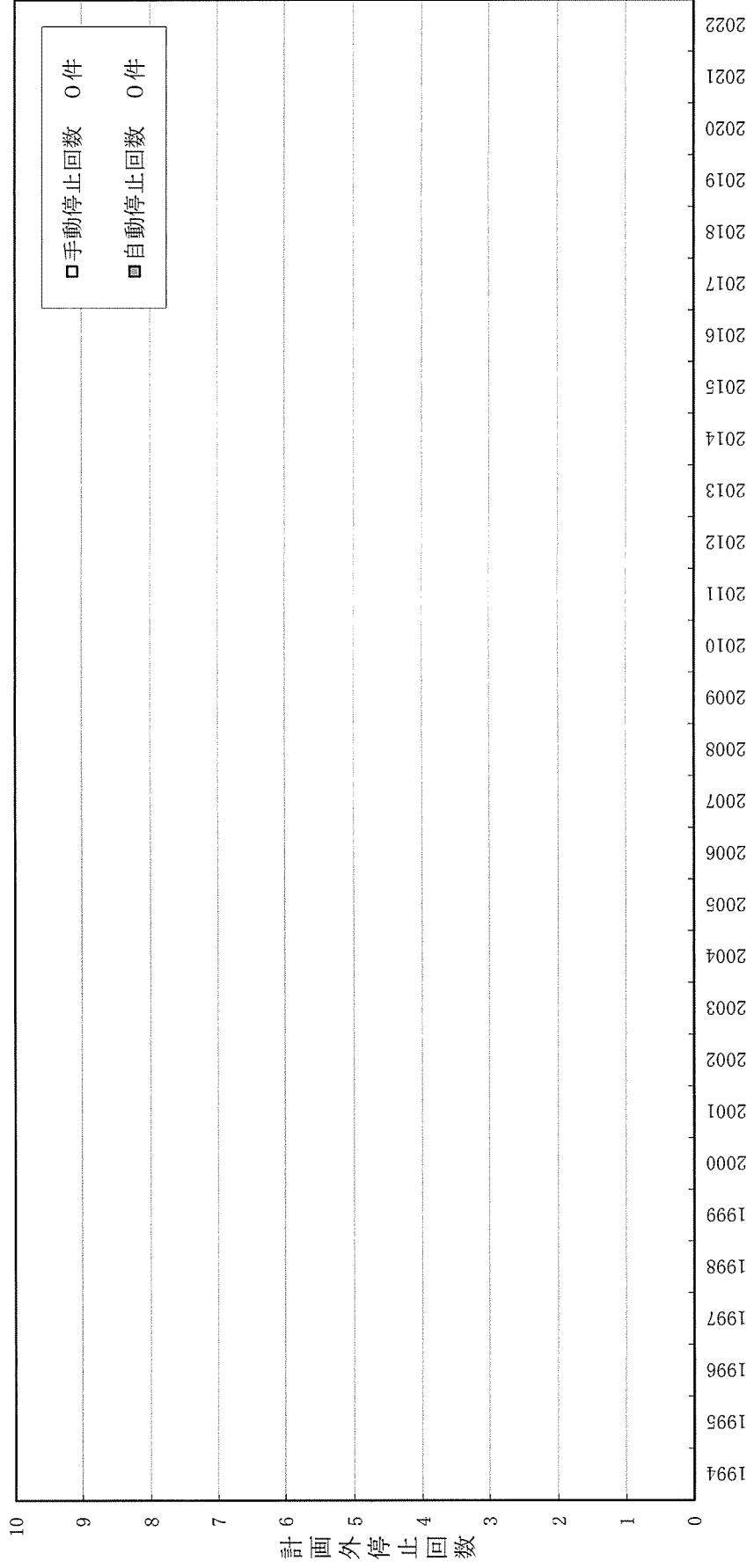
さらに、平成30年5月11日付け原子力発第18047号をもって工事計画認可申請書（令和2年2月13日付け原子力発第19394号および令和2年3月16日付け原子力発第19438号をもって一部補正）を申請し、令和2年3月27日付け原規規発第20032710号にて認可を受けている。

さらに、平成30年8月13日付け原子力発第18143号をもって工事計画認可申請書（令和元年7月11日付け原子力発第19151号、令和元年9月13日付け原子力発第19203号および令和元年10月4日付け原子力発第19236号をもって一部補正）を申請し、令和元年10月10日付け原規規発第1910103号にて認可を受けている。

さらに、令和元年7月11日付け原子力発第19152号をもって工事計画認可申請書（令和2年2月13日付け原子力発第19395号および令和2年3月16日付け原子力発第19439号をもって一部補正）を申請し、令和2年3月27日付け原規規発第20032711号にて認可を受けている。



資料2-2 伊方発電所3号炉 発電電力量・設備利用率の年度推移



資料 2-3 伊方発電所 3 号炉 計画外停止回数の年度推移

資料 2 - 4 伊方発電所 3 号炉 事故・故障等一覧

No.	年度	事象
1	1995	湿分分離加熱器逃がし弁の損傷
2	1997	原子炉補助建屋内の燃料取替用水の漏えい
3	1999	非常用ディーゼル発電機 3 A 点検中の不具合
4	2004	充てんポンプ 3 C 主軸の損傷
5	2005	空調用冷凍機の不具合
6	2019	原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒引き抜き

※ 2022 年度までの実績。

2. 4 伊方発電所3号炉の保全概要

伊方発電所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。

原子力発電所に対する保全では、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している。

当社は、運転監視、巡視点検、定期的な検査およ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および評価を行い、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、原子炉施設の点検または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、点検・補修等の結果の確認・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（JEAC4209-2007）」に基づき、社内標準類を策定して施設管理を実施している。

まず初めに、社長は原子炉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、施設管理の現状等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および施設管理を行う観点から特別な状態を踏まえて見直されるとともに、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また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、施設管理目標を設定し、施設管理の有効性評価の結果等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、原子力発電所では、資料2-5に示すような考え方にに基づき、保全活動を行っている。

伊方発電所では、原子炉施設の中から各号炉毎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毎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、「重要度分類指針」という。）の重要度とPRA（確率論的リスク評価）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の有無を考慮して点検に用いる重要度（以下「保全重要度」という。）を設定している。（なお、設計および工事に用いる重要度とあわせて施設管理の重要度と言う。）

また、保全の有効性を監視し、合理性、客観性をもって評価するために、プラントレベルおよ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、施設管理の重要度を勘案のうえ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、事故および故障事例などの運転経験
- b. 使用環境および設置環境
- 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

保全計画の策定にあたっては保全方式（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」および「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、運転実績、事故・故障等事例などの運転経験、使用頻度・環境、劣化・故障モード等を考慮し、保全重要度を踏まえた上で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。具体的には、劣化メカニズム整理表^{注1)}や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1：過去に国内で実施してきた高経年化技術評価の結果をもとに、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（検知方法）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・構築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・構築物の点検方法および実施頻度に基づき、点検の実施時期を定めている。

補修、取替および改造を実施する場合は、予めその方法および実施時期を定めた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、定期的な検査およ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および評価を行い、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。

そのために、劣化傾向監視による管理として状態基準保全、点検およ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、速やかに原因究明および再発防止対策を実施するとともに国内外他社で発生した事故・故障等の対策についても未然防止処置を行い、設備の改善、運転・保守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

運転状態を各種指示計、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および保修員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作動確認等の定期的な検査を行い、設備の健全性確認およ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の定期的な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、伊方発電所施設管理内規等に基づき点検を実施し、設備の機能維持およ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) 作業管理体制および業務

原則として当社が計画を策定し、協力先が行う分解点検等の実作業の作業管理およ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、定期的な検査および点検により、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) トラブルの処理および再発防止

発生したトラブルについては、不適合管理・是正処置として速やかに原因究明および対策の検討、評価を行い、的確な復旧により設備の機能の回復を図るとともに再発防止対策を実施している。また、国内外他社の同種設備で発生したトラブルについても未然防止処置を実施し、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、保全データの推移および経年劣化の長期的な傾向監視の実績、高経年化技術評価結果および安全性向上評価の結果、他プラントのトラブルおよ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こととしており、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保全の有効性評価の手法として、プラントレベルおよ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15保全サイクル）における実績は下記の通りである。

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「7000 臨界時間あたりの計画外原子炉自動・手動トリップ回数」、「7000 臨界時間あたりの計画外出力変動回数」および「工学的安全施設の計画外作動回数」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。

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、プラント運転等への影響度が大きい系統のうち、重要度分類指針クラス1、クラス2の機能を有する系統機能、リスク重要度の高い系統機能（重大事故等対処設備含む）、プラント停止となる系統機能および保安規定における運転上の制限に係る系統機能に対して「予防可能故障（MPFF^{注2）}回数」および「非待機（UA）時間^{注3）}」を設定した。評価期間中、2件の目標値超過があるが、原子炉格納施設のMPFF回数超過については、原因に応じた是正処置が適切にとられている。また、外部電源系統のUA時間超過については、保安規定に基づく予防保全を目的とした計画的な点検であることから、保全は有効に機能していると評価した。

注2：MPFF（Maintenance Preventable Function 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（Unavailability 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および点検の最適化に繋がるとともに、常にP D C Aを廻して改善が図られ、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、今後も日常的な施設管理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る。

また、伊方発電所3号炉において、発電所の安全性・信頼性を向上させるために実施した最近の主な改善工事としては、次のものがある。

「腐食」

- ・ 2次系配管取替工事

計画的に超音波による肉厚測定を行い、余寿命評価を実施し、必要に応じて配管取替を実施している。

「疲労」

- ・ 1次系配管取替え工事

国内PWRプラントにおける高サイクル熱疲労割れ事象（キャビティフロー型熱成層）を踏まえ、第10回定期検査時（2007年度）に、予防保全の観点から、余剰抽出冷却器入口ラインおよびC-高圧注入ラインについて、熱疲労評価上優位性のある配管ルートに変更した。

- ・ 余熱除去系統配管取替工事

国内PWRプラントにおける高サイクル熱疲労割れ事象（温度揺らぎによる疲労）を踏まえ、第10回定期検査時（2007年度）に、予防保全の観点から、余熱除去冷却器出口配管とバイパスラインの合流部について、応力集中が小さい溶接形状に変更した。

「応力腐食割れ」

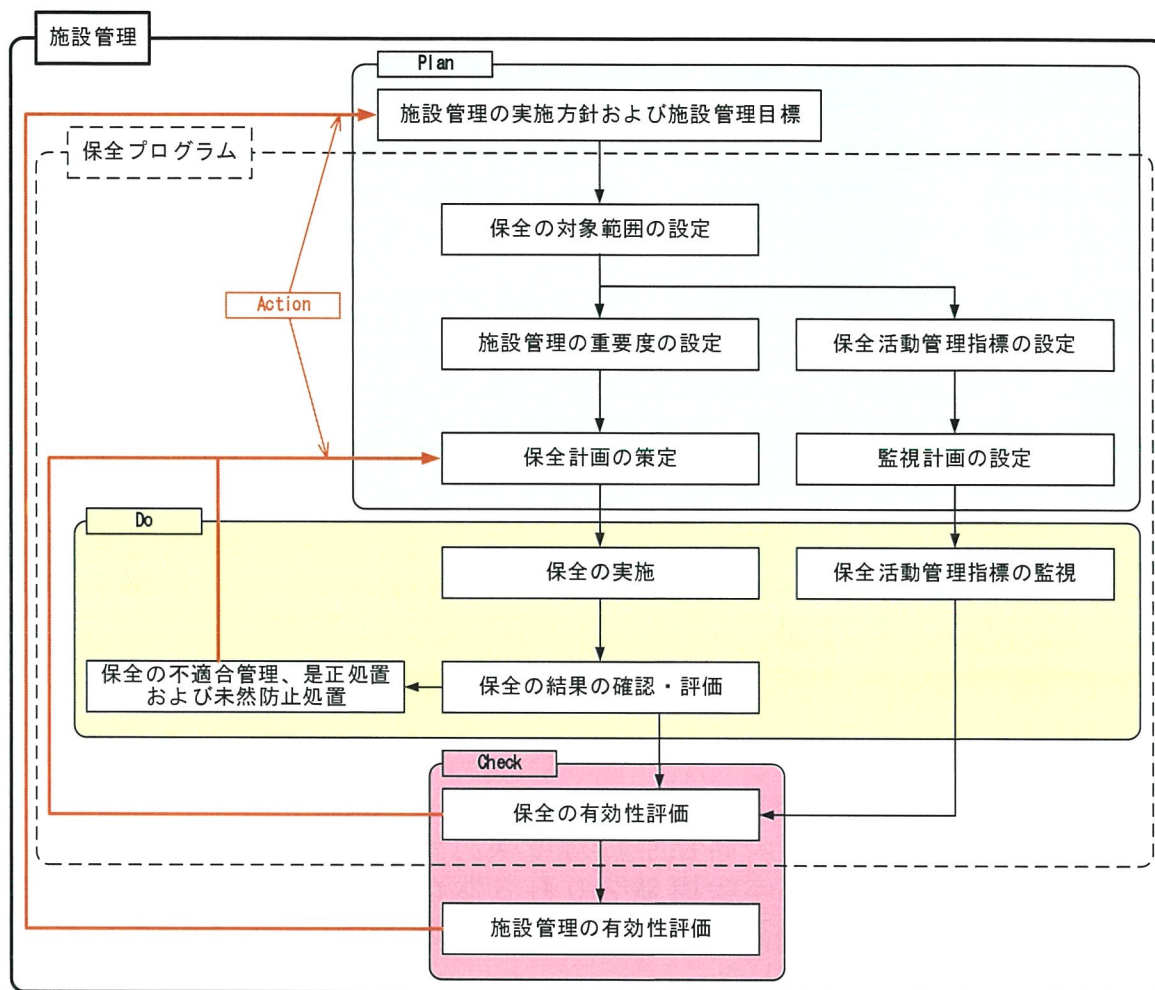
- ・ 加圧器サージ用他管台セーフエンド取替工事

国内外PWRプラントにおける応力腐食割れ事象を踏まえ、予防保全として、加圧器サージ用管台、加圧器スプレイライン用管台、加圧器安全弁用管台および加圧器逃がし弁用管台について、第9回定期検査時（2006年度）に、600系ニッケル基合金で溶接された管台セーフエンドから、より耐応力腐食割れ性に優れた690系ニッケル基合金で溶接された管台セーフエンドへの取替を実施した。

- ・蒸気発生器冷却材出入口管台溶接部の超音波ショットピーニング
国内外PWRプラントにおける応力腐食割れ事象を踏まえ、予防保全として、溶接部表面の残留応力を低減させるため、600系ニッケル基合金が使用されている、冷却材出入口管台溶接部について、第11回定期検査時（2008年度）に超音波ショットピーニング（応力緩和）を実施した。

- ・原子炉容器出入口管台溶接部等のウォータージェットピーニング
国内外PWRプラントにおける応力腐食割れ事象を踏まえ、予防保全として、溶接部表面の残留応力を低減させるため、600系ニッケル基合金が使用されている、出入口管台溶接部および炉内計装筒J-溶接部について、第14回定期検査時（2017～2018年度）にウォータージェットピーニング（応力緩和）を実施した。

- ・原子炉容器上部ふた取替工事
国内外PWRプラントにおける応力腐食割れ事象を踏まえ、予防保全として、第14回定期検査時（2017～2018年度）に、管台および溶接材料を600系ニッケル基合金から耐応力腐食割れ性を向上させた690系ニッケル基合金に改良した原子炉容器上部ふたへの取替を実施した。



資料 2 - 5 原子力発電所の保全活動の概要

3. 技術評価の実施体制

高経年化技術評価の実施は「伊方発電所原子炉施設保安規定」（以下、「保安規定」という。）第119条の4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、社内規定「原子炉施設の高経年化対策検討要領」を定め、これに従い策定した「高経年化技術評価対策検討実施計画書」により評価の実施体制を構築している。

技術評価等にあたる体制を資料3-1に示す。原子力部設備保全グループは、高経年化対策に関する実施計画、実施手順の策定、運転経験、最新知見の調査・分析等を行い、評価書作成（コンクリート構造物および鉄骨構造物を除く）およびとりまとめ等の全体調整を行った。

土木建築部設備保全推進グループは、コンクリート構造物および鉄骨構造物の技術評価を行い、評価書を作成した。

また、評価書作成助勢として、伊方発電所およびその他の関係箇所と協力して、技術評価および長期施設管理方針の策定を実施した。

3. 2 評価の方法

「原子炉施設の高経年化対策検討要領」に従い、高経年化対策実施ガイド等および学会標準2008版などに準拠して策定した「高経年化対策実施手順書」により実施手順を確立し、これに基づき高経年化技術評価を実施した。

評価方法の詳細については、4. 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ヶ月を経過する日から3ヶ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4月21日に実施計画を策定し（2022年3月1日および2022年7月4日に一部改正）、技術評価の実施を開始した。2023年10月6日に原子力保安研修所他の評価書レビュー（評価書内容確認）を完了し、原子力部運営グループによる評価プロセス確認を2023年10月12日までに完了した。

また、2023年10月17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、2023年10月19日に原子力部発電管理部長が承認した。

3. 4 協力先の管理

社内規定に定められる調達管理において、品質保証計画書の要求と当社による審査を経て、三菱重工業株式会社、三菱電機株式会社、四電エンジニアリング株式会社および株式会社四電技術コンサルタントには、技術評価対象機器について長期健全性評価等の業務委託を実施した。

3. 5 評価記録の管理

管理すべき記録項目、承認者、保管箇所および保存期間は、社内規定で定めている。高経年化技術評価に係る記録の主なものは以下の通りである。

記録項目	承認者	保管箇所	保存期間
高経年化対策検討実施計画書	原子力部 発電管理部長	原子力部 設備保全グループ	次の評価までの期間
高経年化技術評価書	原子力部 発電管理部長	原子力部 設備保全グループ	失効後 10年

3. 6 評価に係る教育訓練

社内規定に基づき、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、育成計画を定めて技術評価書作成時のOJT等により資質向上を図っている。

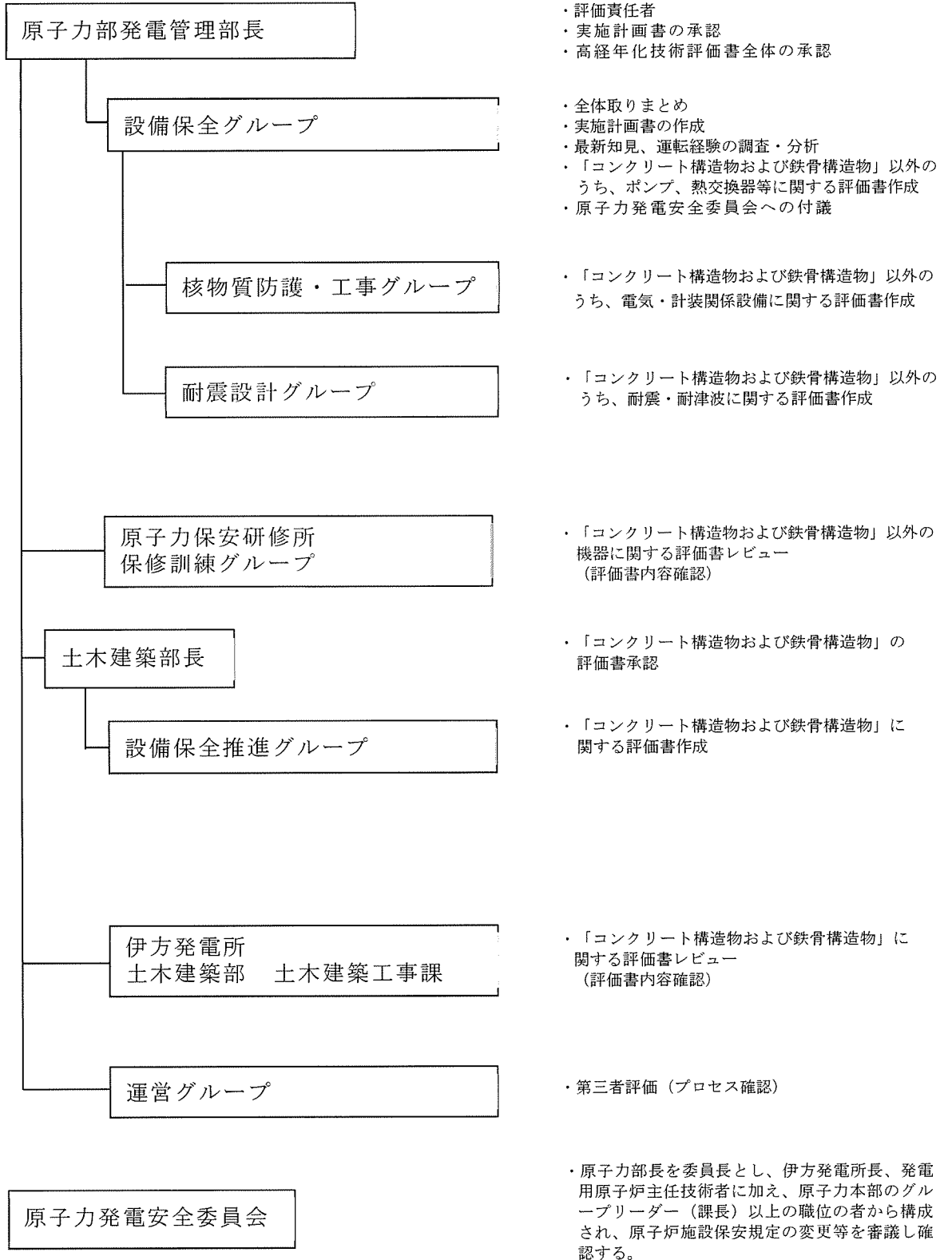
3. 7 評価年月日

2023年10月19日

3. 8 評価を実施した者の氏名

原子力本部 原子力部 発電管理部長 古泉 好基

(主な業務)



資料 3 - 1 評価の実施に係る組織

年月 項目	2021				2022				2023				2024									
	4	..	12		1	2	3	..	12	1	..	7	8	9	10	11	12	1	..	12	運開 30年	
実施計画作成	▼制定						▼改正															
評価書作成																						
評価書レビュー																						
プロセス確認																						
原子力発電安全委員 会																						
保安規定変更認可 申請																						

資料3-2 実施工程

4. 技術評価方法

4. 1 技術評価対象機器

本検討では、高経年化対策実施ガイド等に従い、伊方発電所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）を技術評価対象機器とした。

具体的には、重要度分類指針において定義されるクラス1、2および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。）ならびに「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、系統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る部品であって設計時に取替を前提とするものまたは機器分解点検等に伴い必然的に交換されるものは消耗品として対象から除外する。また、設計時に耐用期間内に計画的に取替えることを前提とする機器についても定期取替品として対象から除外する。

4. 2 技術評価手順

4. 2. 1 機器のグループ化および代表機器の選定

評価にあたっては、ポンプ、熱交換器、ポンプモータ、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および鉄骨構造物、計測制御設備、空調設備、機械設備、電源設備に分類（カテゴリ化）し機種毎に評価した。

選定された評価対象機器について合理的に評価するため、構造（型式等）、使用環境（内部流体等）、材料等により、学会標準2008版附属書A（規定）等に基づき、「経年劣化メカニズムまとめ表^{注1}」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仕様、重要度、使用条件、運転状態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の全機器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み合わ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および環境に応じ発生しているかまた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および最新知見の反映

伊方発電所3号炉の高経年化対策を検討するにあたり、伊方発電所1、2号炉の30年目の技術評価書を参考にするとともに、それ以降2010年4月～2023年3月の国内外の運転経験について事象・原因を調査し、高経年化への影響を判断して反映を実施する。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、法律対象のトラブルに加え、法令の定めでは国への報告は必要ないが、電力自主で公開している軽微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、米国原子力規制委員会（NRC；Nuclear Regulatory Commission）のBulletin（通達）、Generic LetterおよびInformation Noticeならびに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。

伊方発電所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。

- ① 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摩耗（2017年12月）
- ② 大飯発電所3号炉 加圧器スプレイ配管溶接部における有意な指示（2020年8月）
- ③ 高浜発電所4号炉 蒸気発生器伝熱管の損傷（2020年11月）

次に、検討対象とした最新知見のうち、主な原子力規制委員会からの指示文書を以下に示す。

- ① 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制定について（平成25年6月19日、原管P発第1306198号）
- ② 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制定について（平成25年7月8日、原管P発第1307081号）
- ③ 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25年12月6日、原管P発第1312062号）
- ④ 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25年12月18日、原管P発第1312181号）
- ⑤ 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27年10月7日、原規規発第1510071号）
- ⑥ 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28年11月2日、原規規発第16110218号）
- ⑦ 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）
- ⑧ 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）
- ⑨ 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、日本機械学会、日本電気協会、日本原子力学会の標準類および原子力規制委員会により公開されている安全研究の情報等があるが、それらのうち新たに考慮した主なものを以下に示す。

- ① 原子力安全基盤機構 照射誘起応力腐食割れ（IASCC）評価技術に関する報告書（09原高報-0012）
- ② 日本機械学会 発電用原子力設備規格 環境疲労評価手法（2009年版）（JSME S NF1-2009）

- ③ 原子力安全基盤機構 原子力発電所のケーブル経年劣化評価ガイド (JNES-RE-2013-2049)
- ④ 日本電気協会 電気技術規程 原子炉構造材の監視試験方法 [2013年追補版] (JEAC 4201-2007/2013)
- ⑤ NRA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)
- ⑥ 原子力発電所の高経年化対策実施基準: 2021 (AESJ-SC-P005:2021)
- ⑦ 原子力発電所の高経年化対策実施基準: 2022 (追補1) (AESJ-SC-P005:2022(Amd.1))

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（型式、材料、環境条件等）を考慮し、学会標準2008版附属書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み合わせを抽出した。

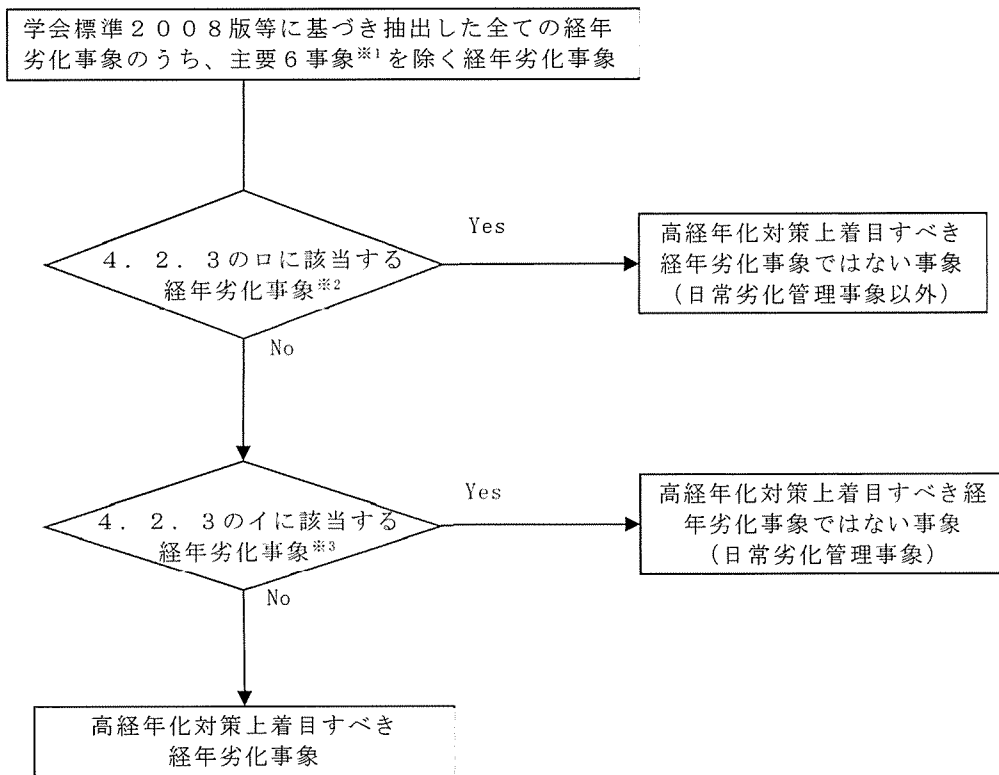
なお、抽出された経年劣化事象と部位の組み合わせのうち、下記の「イ」または「ロ」に該当する場合は、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象として除外した（資料4-1）。

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。

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」および「コンクリートの強度低下および遮蔽能力低下」

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、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象。



※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 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み合わせに対する技術評価を下記の健全性評価、現状保全、総合評価、高経年化への対応の順で実施した。

a. 健全性評価

機器毎に抽出した部位と経年劣化事象の組み合わせ毎に60年間使用することを仮定して、傾向管理データによる評価および解析等の定量評価、過去の保全実績、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。

b. 現状保全

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

c. 総合評価

上記 a、b をあわせて現状保全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、現状の発電所における保全活動で実施されているか。また、点検手法は当該の経年劣化事象の検知が可能か等を評価する。

d. 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およびその保全対策を考慮した上で機器毎に耐震安全性評価を実施する。

4. 3. 1 耐震安全性評価対象機器

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

a. 耐震安全上考慮する必要が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およ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または、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がある経年劣化事象とした。

b. 耐震安全性評価

前項で抽出した経年劣化事象毎に、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。

- ① 機器の耐震クラス
- ② 機器に作用する地震力の算定
- ③ 60年の使用を仮定した経年劣化事象のモデル化
- ④ 振動特性解析（地震応答解析）
- ⑤ 地震荷重と内圧等他の荷重との組合せ
- ⑥ 許容限界との比較

これらの項目のうち、④および⑥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（JEAG4601-1987）」等に準じて実施した。

c. 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およびその保全対策を考慮した上で耐津波安全性評価を実施する。

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

a. 耐津波安全上考慮する必要が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およ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・強度上および止水性上への影響が「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がある経年劣化事象とした。

b. 耐津波安全性評価

前項で整理される、耐津波安全性評価上考慮する必要がある経年劣化事象が想定される設備に対し、耐津波安全性に関する評価を実施した。

c. 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および資料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、冷温停止状態維持に必要な設備抽出フローを資料4-5に示す。抽出された冷温停止状態維持に必要な設備に対して、断続的運転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の維持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を前提とした評価（以下、「冷温停止を踏まえた再評価」という。）を以下の手順で実施した。

4. 5. 1 代表機器の選定

冷温停止状態維持に必要な設備を考慮して、断続的運転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として選定した。

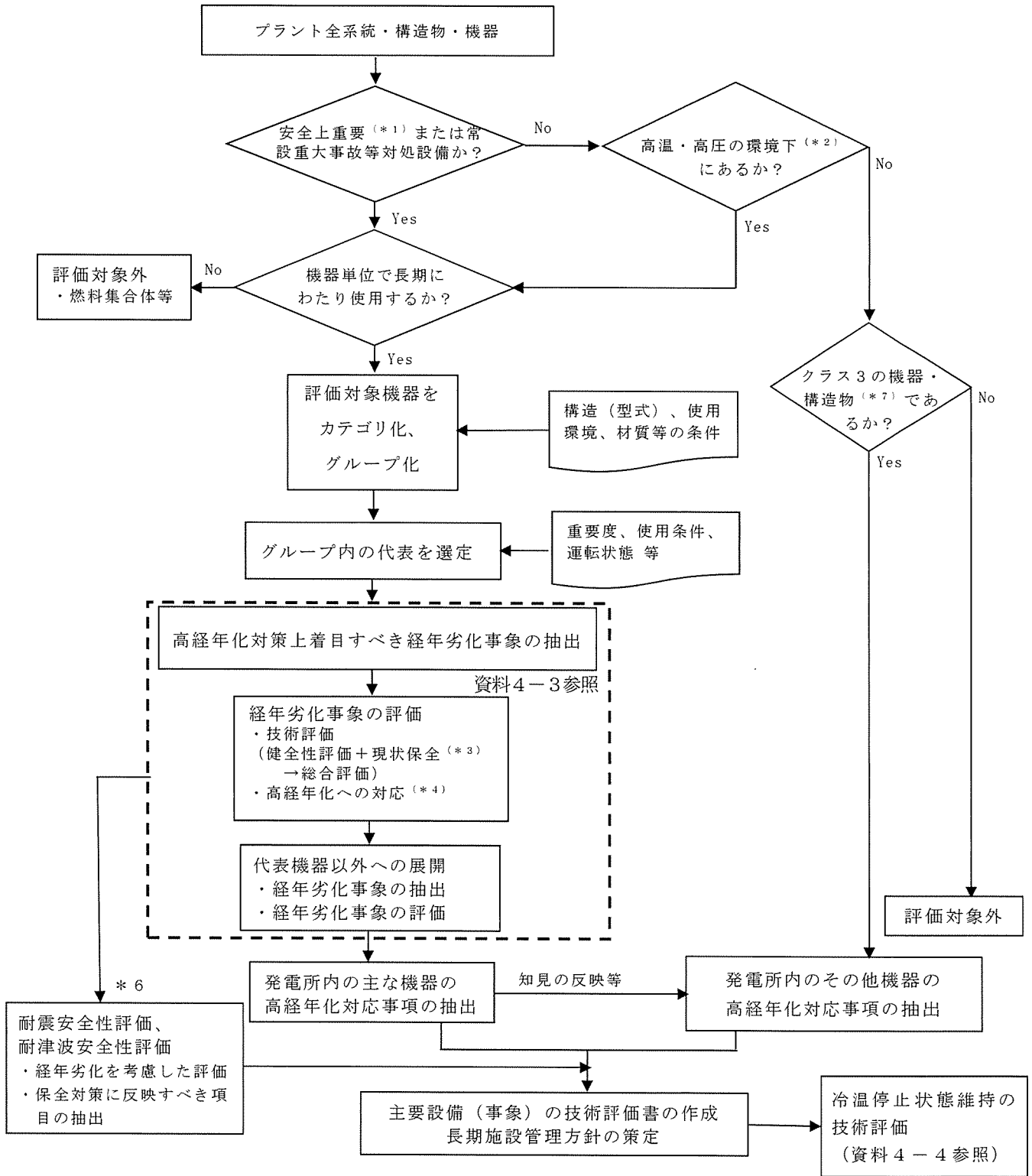
4. 5. 2 冷温停止を踏まえた再評価を行う経年劣化事象の抽出

断続的運転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、冷温停止状態の維持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、冷温停止状態の維持を前提とした場合において、発生・進展が断続的運転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、冷温停止を踏まえた再評価を実施した。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、冷温停止状態が維持されることを前提とした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4-6参照）

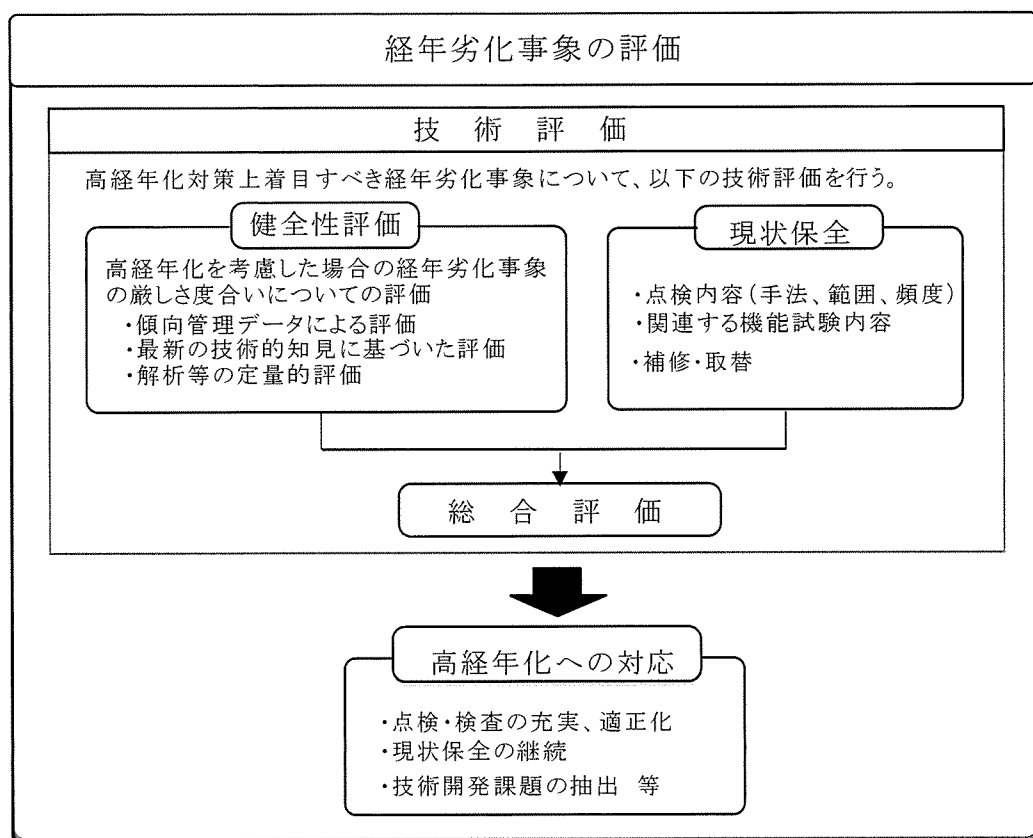
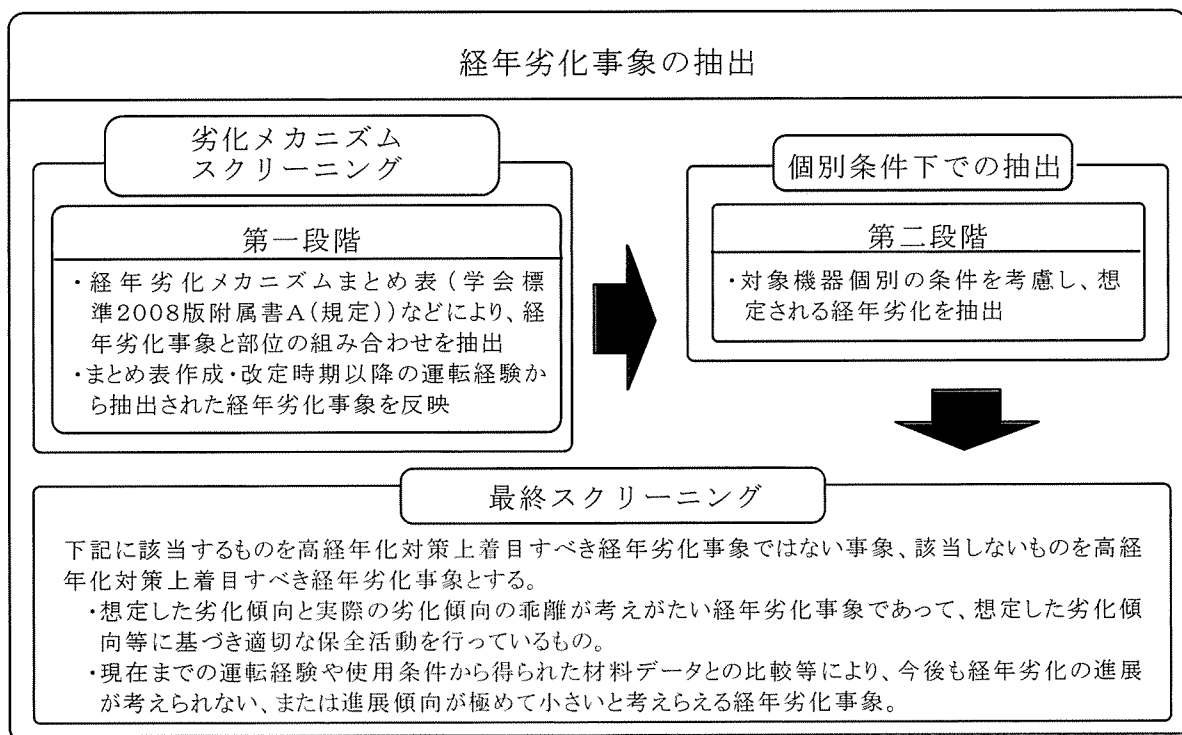
4. 5. 3 評価対象機器全体への展開

代表機器の評価結果を踏まえ、冷温停止状態の維持を前提とした場合において、発生・進展が断続的運転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、冷温停止を踏まえた再評価を実施した。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。

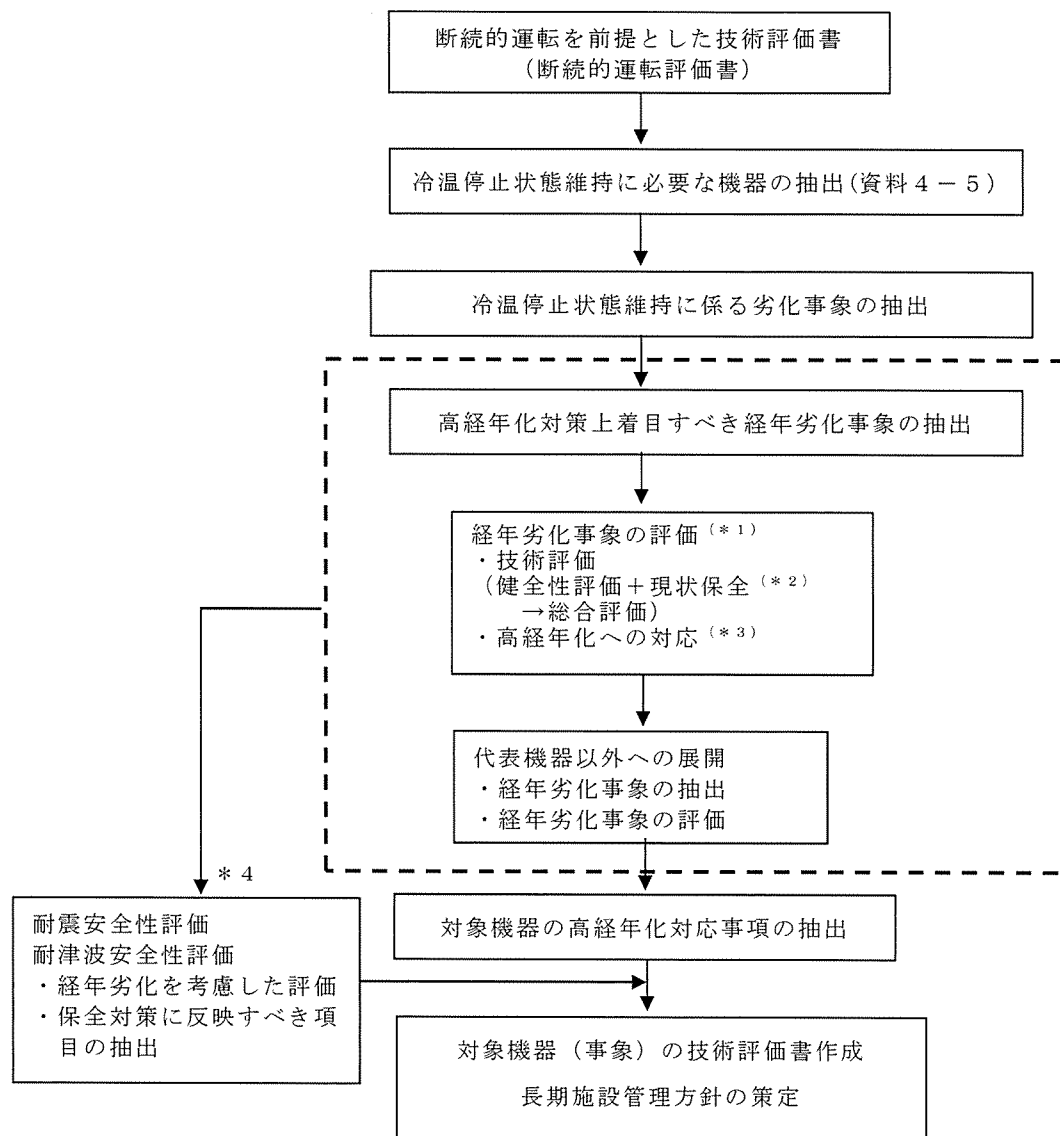


- * 1 : 重要度クラス 1、2 (* 5) (耐津波安全性評価が必要な浸水防護施設に属する機器および構造物を含む。)
- * 2 : 重要度クラス 3 のうち、最高使用温度が 95℃ を超え、または最高使用圧力が 1900kPa を超える環境 (原子炉格納容器外にあるものに限る)
- * 3 : 系統レベルの機能確認を含む。
- * 4 : 高経年化対応としての保全のあり方を論じ、高経年化に関係のない一般的な保全は切り離す。
- * 5 : 重要度分類指針の重要度分類
- * 6 : 経年劣化の発生・進展が否定できず、耐震安全性・耐津波安全性に影響を及ぼす可能性のある事象
- * 7 : 浸水防護施設に属する機器および構造物を含む。

資料 4 - 2 技術評価フロー

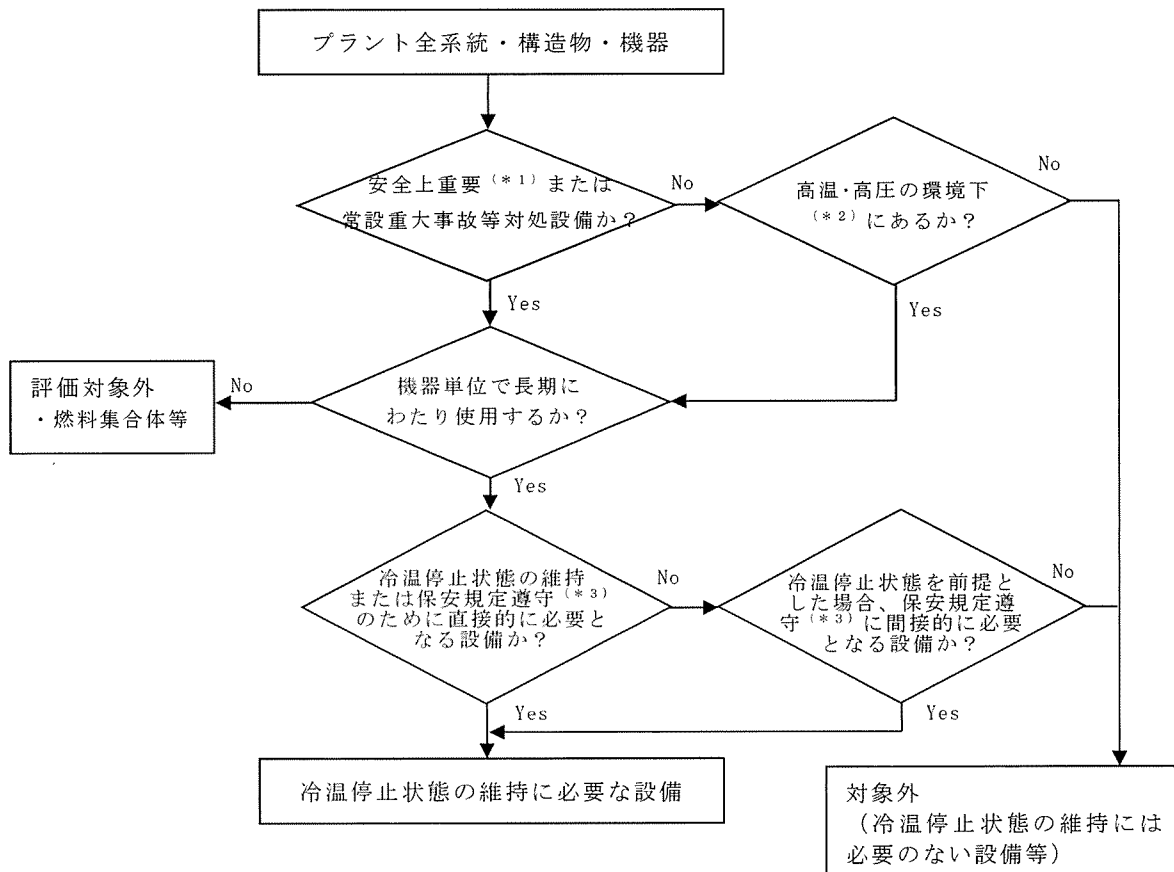


資料 4 - 3 経年劣化事象の抽出および技術評価フロー



- * 1 : 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なくても、次頁のフローにより抽出された機器の代表機器として評価を記載することとする。
- * 2 : 系統レベルの機能確認を含む。
- * 3 : 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。
- * 4 : 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事象

資料 4 - 4 冷温停止状態維持時の技術評価フロー



- * 1 : 重要度クラス 1、2 (* 4) (耐津波安全性評価が必要な浸水防護施設に属する機器および構造物を含む。)
- * 2 : 重要度クラス 3 のうち、最高使用温度が 95℃ を超え、または最高使用圧力が 1900kPa を超える環境 (原子炉格納容器外に限る)
- * 3 : 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 および運転モードに関係なく要求される機能を対象とする。
- * 4 : 重要度分類指針の重要度分類

資料 4 - 5 冷温停止状態維持に必要な設備抽出フロー

資料 4 - 6 冷温停止状態維持に必要な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。

5. 技術評価結果

本章では、資料4-2および資料4-4で抽出した機器・構造物に係る技術評価結果、耐震安全性評価結果および耐津波安全性評価結果の概要を記載している。

なお、各機器の詳細な評価結果については、それぞれ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、現状保全を継続していくことにより、長期間の運転を仮定しても、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、現状保全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 容器等*

原子炉容器冷却材出入口管台等の疲労割れについては、疲労割れ評価の結果、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、初期亀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、有意な欠陥の無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うる温度・圧力の範囲（加熱冷却時制限曲線）および耐圧漏えい試験温度を設けて運用していく。さらに、現状保全項目に加えて、今後の原子炉の運転サイクル・照射量を勘案して第3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およ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または構造・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毎に、耐震安全性に関する詳細評価を実施した結果、現状保全に追加すべき項目や評価項目は抽出されなかった。

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およ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・強度上および止水性上への影響が「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毎に、耐津波安全性に関する詳細評価を実施した結果、耐津波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. 4 冷温停止状態維持を前提とした機器・構造物の技術評価結果

本節においては、冷温停止状態維持を前提とした機器・構造物の技術評価結果についてまとめた。

冷温停止状態を前提とした場合に、断続的運転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、経年劣化事象毎にまとめたものを以下に示す。

- a. 余熱除去ポンプモータの固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下
- b. 充てんポンプおよび余熱除去ポンプの主軸のフレット疲労割れ
- c. 余熱除去冷却器伝熱管の摩耗および高サイクル疲労割れ
- d. 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 冷温停止状態維持を前提とした耐震安全性評価結果

冷温停止状態維持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および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で抽出した断続的運転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または構造・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毎に、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がある経年劣化事象は抽出されなかった。

5. 6 冷温停止状態維持を前提とした耐津波安全性評価結果

冷温停止状態維持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および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で抽出した断続的運転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・強度上および止水性上への影響が「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毎に、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

本技術評価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。

6. 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に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、現状保全に追加すべき項目が抽出された。60年間の運転およ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) 現状保全に追加すべき項目

総合評価結果を基に、高経年化対策上現状保全項目に追加すべき新たな保全策について具体的な実施内容、実施方法および実施時期を長期施設管理方針として策定した。（資料6-1 伊方発電所3号炉 高経年化技術評価に基づく長期施設管理方針）

なお、疲労割れ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。

6. 2 長期施設管理方針の実施

現状保全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、伊方発電所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12月14日を始期とした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、実施時期を下記のとおり2つに大別する。

a. 短期（2024年12月15日からの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12月15日からの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年毎）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更なる保全計画の改善に活用していくことになる。

資料 6-1 伊方発電所 3号炉 高経年化技術評価に基づく長期施設管理方針

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JEA4201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、JEA4206に定められた加圧熱衝撃(P.T.S)評価手法に基づき評価した結果、初期亀裂を想定しても、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 (脆性破壊を起すこととする値)で示すP.T.S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、JEA4206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、JEA4201に基づいて、計画的に監視試験を実施し、将来的な脆化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3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	運転実績に基づき設定した運転開始後60年時点における規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、疲労割れ評価結果は実績過渡回数に依存するため、継続的に疲労過渡回数を把握する必要がある。	疲労割れ評価結果は実績過渡回数に依存するため、継続的に疲労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(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12月15日からの5年間、中長期：2024年12月15日からの10年間

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評価したものであるが、点検や検査技術の高度化、ならびに更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り組みを実施していく。

7. まとめ

(1) 総合評価

運転開始以来、30年を経過する伊方発電所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、現状保全を継続していくことにより、長期間の運転およ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。

(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および変更を実施していく。

- ・材料劣化に係る安全基盤研究の成果
- ・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
- ・関係法令の制定および改廃
- ・原子力規制委員会からの指示
- ・材料劣化に係る規格・基準類の制定および改廃
- ・発電用原子炉の運転期間の変更
- ・発電用原子炉の定格熱出力の変更
- ・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
- ・点検・補修・取替の実績

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

伊方発電所 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]

四国電力株式会社

伊方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の機器およ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。

これらの一覧表を表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、タービン動主給水ポンプおよびタービン動補助給水ポンプにおけるタービンは「タービンの技術評価書」にて、ポンプモータは「ポンプモータの技術評価書」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」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

表 1 伊方3号炉 主要なポンプ

分離基準			機器名称 (台数)	選定基準			代表機器の選定		
型式	流体	材料		重要度 ^{*3}	運転状態	最高使用圧力 (MPa [Gage])	最高使用温度 (°C)	代表機器	選定理由
ターボポンプ たて置斜流	1次冷却材	ステンレス鋼	1次冷却材ポンプ(3)	PS-1、重 ^{*5}	連続	約 17.2	約 343	◎	
	海水	ステンレス鋼	海水ポンプ(4)	MS-1、重 ^{*5}	連続	約 0.7	約 50	◎	
ターボポンプ 横置うず巻	1次冷却材	低合金鋼	充てんポンプ(3) ^{*1}	MS-1、重 ^{*5}	連続	約 20.0	約 95		
	ほう酸水	ステンレス鋼	高圧注入ポンプ(2) ^{*1}	MS-1、重 ^{*5}	一時	約 16.7	約 150		
ヒドラジン水 給水	給水	炭素鋼	余熱除去ポンプ(2)	MS-1、重 ^{*5}	連続(余熱除去時) 一時(低圧注入時)	約 4.5	約 200	◎	重要度、温度
			格納容器スブレイポンプ(2)	MS-1、重 ^{*5}	一時	約 2.7	約 150	◎	
			ほう酸ポンプ(2)	MS-1、重 ^{*5}	一時	約 1.4	約 95		
			燃料取替用水タンクポンプ(2)	MS-2	連続	約 1.4	約 95		
			原子炉補機冷却水ポンプ(4) ^{*2}	MS-1、重 ^{*5}	連続	約 1.4	約 95		
			タービン動主給水ポンプ(2)	高 ^{*4}	連続	約 10.3	約 205		
			タービン動補助給水ポンプ(1)	MS-1、重 ^{*5}	一時	約 12.3	約 40		
			電動補助給水ポンプ(2)	MS-1、重 ^{*5}	一時	約 12.3	約 40		
			電動主給水ポンプ(1)	高 ^{*4}	一時	約 10.3	約 205		
			復水ブースタポンプ(3)	高 ^{*4}	連続	約 3.8	約 80		
水分分離器ドレンポンプ(2)	高 ^{*4}	連続	約 2.0	約 205					
ターボポンプ たて置うず巻	給水	炭素鋼	スチームコンバータ給水ポンプ(2)	高 ^{*4}	連続	約 1.4	約 100	◎	温度
			脱気器再循環ポンプ(1)	高 ^{*4}	一時	約 1.8	約 205		
			代替格納容器スブレイポンプ(1)	重 ^{*5}	一時	約 2.0	約 80		
			補助蒸気ドレンタンクポンプ(2)	高 ^{*4}	一時	約 0.5	約 100		
	給水	炭素鋼	給水ブースタポンプ(3)	高 ^{*4}	連続 ^{*6}	約 3.7	約 205	◎	
			低圧給水加熱器ドレンポンプ(2)	高 ^{*4}	連続	約 3.0	約 85		

*1：ケーシングは低合金鋼(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：機能は最上位の機能を示す。

*4：最高使用温度が95°Cを超える、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*5：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および構造物であることを示す。

*6：給水ブースタポンプの運転状態を連続としているが、タービン動主給水ポンプ用2台が連続、電動主給水ポンプ用1台が一時運転である。

表2 伊方3号炉 主要なポンプの機能

ポンプ	機能
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。
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水する。
充てんポンプ	1次冷却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	原子炉を停止した後の1次冷却系統顕熱、炉心の崩壊熱および1次冷却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並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。
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。
燃料取替用水タンクポンプ	燃料取替用水タンクのほう酸水の浄化・温度維持のため、ほう酸水を循環させる。
原子炉補機冷却水ポンプ	1次冷却系、非常用炉心冷却系および残留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ンジンを循環させる。
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。
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。
復水ブースタポンプ	復水脱塩装置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	湿水分離器で生じたドレンを脱気器へ送水する。
スチームコンバータ給水ポンプ	給水をスチームコンバータへ供給する。
脱気器再循環ポンプ	脱気器タンクの貯水を加温させるため循環させる。
代替格納容器スプレイポンプ	設計基準事故対処設備の機能が喪失した場合に、原子炉の冷却および原子炉格納容器の圧力、温度、放射性物質濃度の低下ならびに原子炉格納容器下部の熔融炉心の冷却のため、給水を炉心および格納容器内に注水する。
補助蒸気ドレンタンクポンプ	1次系補助蒸気ドレンをスチームコンバータ給水タンク等へ送水する。
給水ブースタポンプ	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	低圧給水加熱器で生じたドレンを復水系統へ送水する。

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 ほう酸ポンプ
- ⑦ 燃料取替用水タンクポンプ
- ⑧ 原子炉補機冷却水ポンプ
- ⑨ タービン動主給水ポンプ
- 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 復水ブースタポンプ
- ⑭ 湿分分離器ドレンポンプ
- ⑮ スチームコンバータ給水ポンプ
- ⑯ 脱気器再循環ポンプ
- ⑰ 代替格納容器スプレイポンプ
- ⑱ 補助蒸気ドレンタンクポンプ
- ⑲ 給水ブースタポンプ
- ⑳ 低圧給水加熱器ドレンポンプ

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	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、材料および使用条件	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	34
3. 代表機器以外への展開	37
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	38
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	39

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

伊方3号炉で使用されているターボポンプ（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、内部流体およ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および結果

表1-1に示すターボポンプを詳細な型式に分類すると、以下の2つの型式に分類される。

① 斜流ポンプ（たて置）

羽根車から吐き出される流れが主軸の中心線を軸とする円すい面内にあるポンプ。

② うず巻ポンプ（横置およびたて置）

羽根車から吐き出される流れが主として主軸に垂直な面内にある遠心ポンプの1種であり、羽根車の吐出し側に直接うず巻形ケーシングをもつ。

この型式毎に、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5つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) たて置斜流ポンプ（内部流体：海水）

このグループには海水ポンプのみが属するので、海水ポンプを代表機器とする。

(2) 横置うず巻ポンプ（内部流体：1次冷却材、ほう酸水）

このグループには充てんポンプ、高圧注入ポンプ、余熱除去ポンプ、格納容器スプレイポンプ、ほう酸ポンプおよび燃料取替用水タンクポンプが属するが、重要度が高く、最高使用温度が高い余熱除去ポンプを代表機器とする。

(3) 横置うず巻ポンプ（内部流体：ヒドラジン水）

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ので、原子炉補機冷却水ポンプを代表機器とする。

(4) 横置うず巻ポンプ（内部流体：給水）

このグループにはタービン動主給水ポンプ、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、復水ブースタポンプ、湿分分離器ドレンポンプ、スチームコンバータ給水ポンプ、脱気器再循環ポンプ、代替格納容器スプレイポンプおよび補助蒸気ドレンタンクポンプが属するが、重要度および最高使用圧力が高い電動補助給水ポンプを代表機器とする。

(5) たて置うず巻ポンプ（内部流体：給水）

このグループには給水ブースタポンプおよび低圧給水加熱器ドレンポンプが属するが、最高使用温度が高い給水ブースタポンプを代表機器とする。

表1-1 伊方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				代表機器の選定	
型式	流体	材料	重要度 ^{*3}	運転状態	使用条件		最高使用温度 (°C)	代表機器	選定理由	
					最高使用圧力 (MPa [gauge])	最高使用温度 (°C)				
ターボポンプ たて置斜流	海水	ステンレス鋼	MS-1、重 ^{*5}	連続	約 0.7	約 50	◎			
ターボポンプ 横置うず巻	1次冷却材 ほう酸水	低合金鋼	MS-1、重 ^{*5}	連続	約 20.0	約 95				
		ステンレス鋼	MS-1、重 ^{*5}	一時	約 16.7	約 150				
ターボポンプ たて置うず巻	給水	炭素鋼	MS-2	連続(余熱除去時) 一時(低圧注入時)	約 4.5	約 200	◎	重要度、温度		
				一時	約 2.7	約 150				
				一時	約 1.4	約 95				
				連続	約 1.4	約 95				
				連続	約 1.4	約 95				
				連続	約 1.4	約 95				
ターボポンプ たて置うず巻	給水	ステンレス鋼	高 ^{*4}	連続	約 10.3	約 205		重要度、圧力		
				一時	約 12.3	約 40				
				一時	約 12.3	約 40				
				一時	約 10.3	約 205				
				連続	約 3.8	約 80				
				連続	約 2.0	約 205				
				連続	約 1.4	約 100				
				一時	約 1.8	約 205				
				一時	約 2.0	約 80				
				一時	約 0.5	約 100				
				連続 ^{*6}	約 3.7	約 205				
				連続	約 3.0	約 85				

*1：ケーシングは低合金鋼(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：機能は最上位の機能を示す。

*4：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*5：重要度クラスとは別に常設重大事故対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

*6：給水ブラスターポンプの運転状態を連続としているが、タービン動給水ポンプ用2台が連続、電動主給水ポンプ用1台が一時運転である。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の5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 余熱除去ポンプ
- ③ 原子炉補機冷却水ポンプ
- ④ 電動補助給水ポンプ
- ⑤ 給水ブースタポンプ

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 海水ポンプ

(1) 構造

伊方3号炉の海水ポンプは、たて置単段斜流式ポンプであり、4台設置されている。

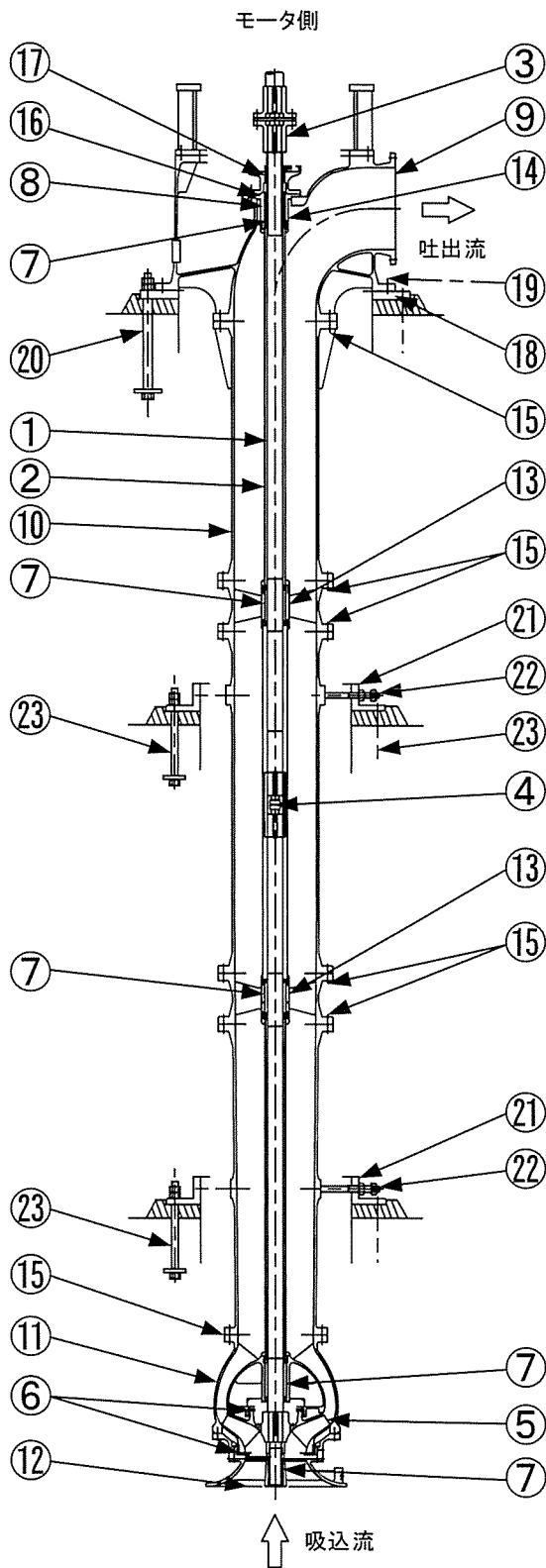
主軸には耐食ステンレス鋼、羽根車には耐食ステンレス鋼鋳鋼を使用し、吐出管にはステンレス鋼鋳鋼を使用しており、それぞれ海水に接液している。

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。

伊方3号炉の海水ポンプの構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の海水ポンプの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	主軸
②	保護管
③	軸継手
④	中間軸継手
⑤	羽根車
⑥	ライナリング
⑦	水中軸受 (すべり)
⑧	軸受部スリーブ
⑨	吐出曲管
⑩	揚水管
⑪	吐出しボウル
⑫	吸込口
⑬	中間軸受箱
⑭	軸受箱
⑮	ケーシングボルト
⑯	Oリング
⑰	グランドパッキン
⑱	台板
⑲	取付ボルト
⑳	基礎ボルト
㉑	振れ止め台
㉒	振れ止めボルト
㉓	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 伊方3号炉 海水ポンプ構造図

表2.1-1 伊方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
保護管	耐食ステンレス鋼
軸継手	炭素鋼
中間軸継手	耐食ステンレス鋼
羽根車	耐食ステンレス鋼鋳鋼
ライナリング	消耗品・定期取替品
水中軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
軸受部スリーブ	消耗品・定期取替品
吐出曲管、揚水管、吐出しボウル、吸込口	ステンレス鋼鋳鋼
中間軸受箱、軸受箱	耐食ステンレス鋼鋳鋼
ケーシングボルト	ステンレス鋼
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
台板、取付ボルト、基礎ボルト	ステンレス鋼
振れ止め台	ステンレス鋼鋳鋼
振れ止めボルト、振れ止め台用基礎ボルト	ステンレス鋼

表2.1-2 伊方3号炉 海水ポンプの使用条件

最高使用圧力	約0.7MPa [gage]
最高使用温度	約50℃
内部流体	海水

2.1.2 余熱除去ポンプ

(1) 構造

伊方3号炉の余熱除去ポンプは、横置単段うず巻式ポンプであり、2台設置されている。

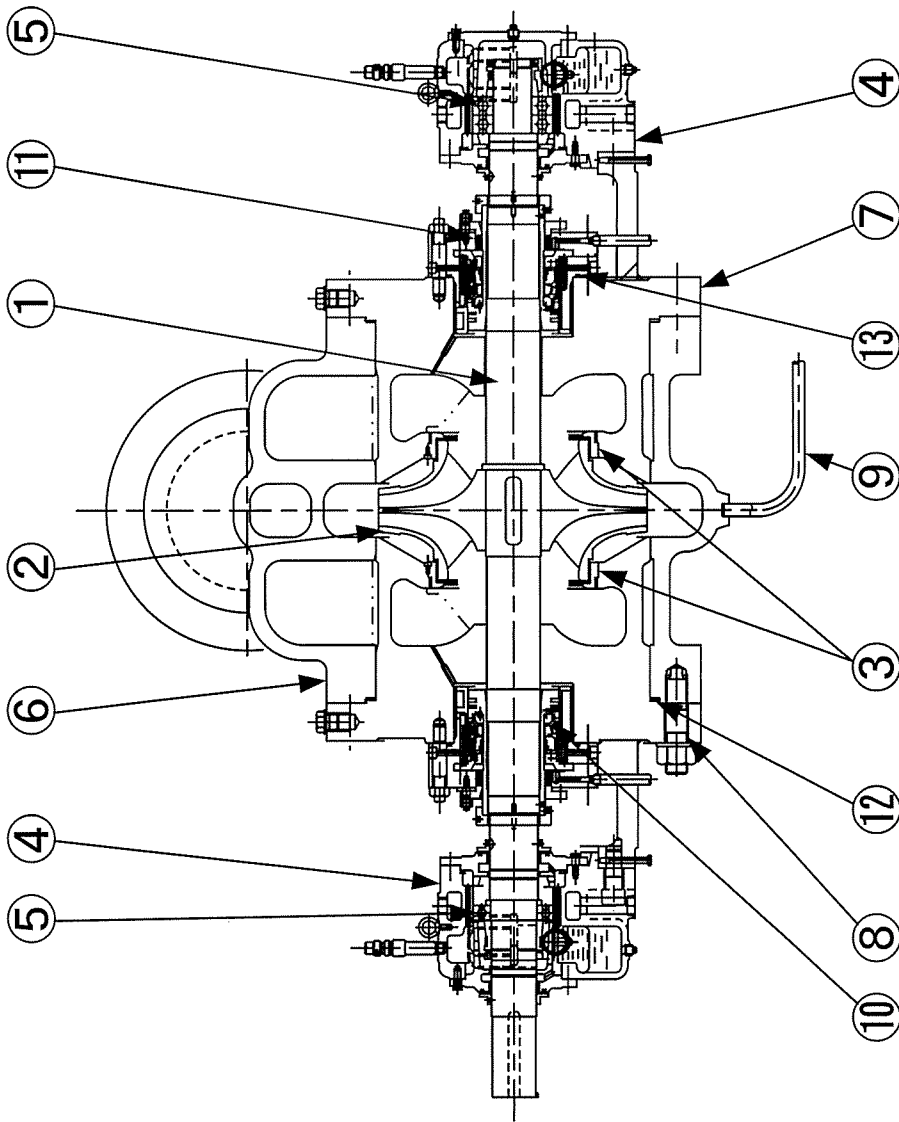
主軸にはステンレス鋼を使用し、羽根車およびケーシングにはステンレス鋼鋳鋼を使用しており、それぞれ1次冷却材またはほう酸水に接液している。

軸封部には1次冷却材またはほう酸水の漏れを防止するため、メカニカルシールおよびグランドパッキンを使用している。

伊方3号炉の余熱除去ポンプの構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の余熱除去ポンプの使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



No.	部位
①	主軸
②	羽根車
③	ライナリング
④	軸受箱
⑤	軸受 (ころがり)
⑥	ケーシングカパー
⑦	ケーシングボルト
⑧	ケーシングドレン管
⑨	メカニカルパッキン
⑩	グラインドパケット
⑪	ガスケット
⑬	Oリング

図2. 1-2(1/2) 伊方3号炉 余熱除去ポンプ本体構造図

No.	部位
⑭	メカニカルシールクレーラ
⑮	軸継手
⑯	台板
⑰	取付ボルト
⑱	基礎ボルト

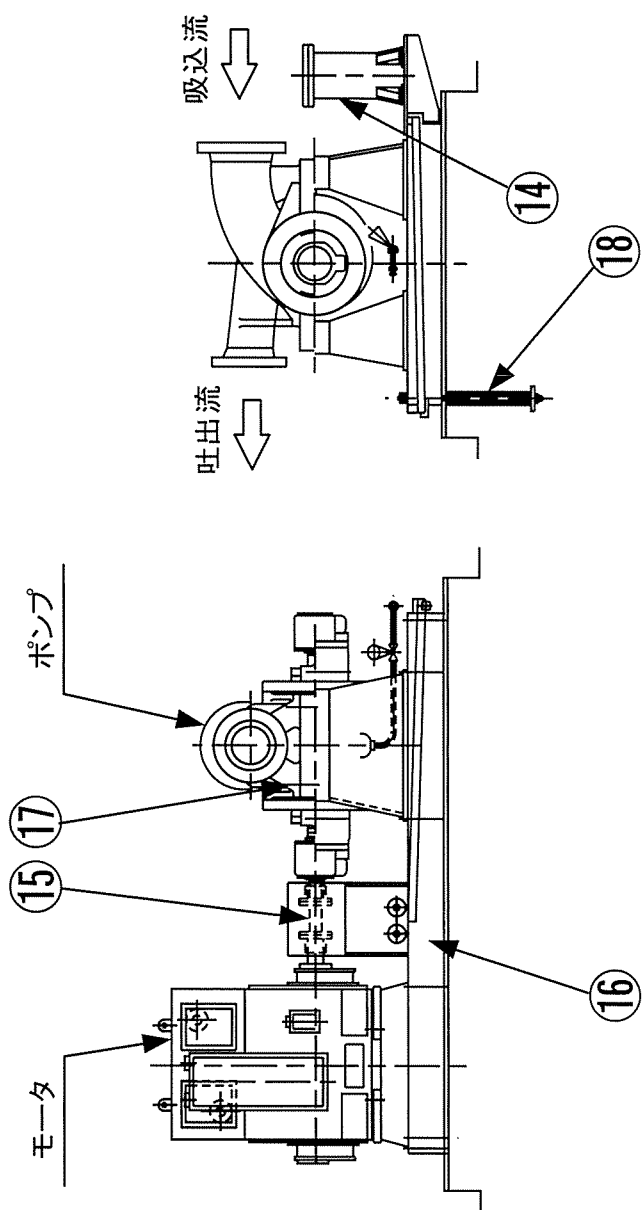


図2.1-2(2/2) 伊方3号炉 余熱除去ポンプ全体図

表2.1-3 伊方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
ライナリング	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
軸継手	低合金鋼
ケーシング、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
ケーシングドレン管	ステンレス鋼
メカニカルシールクーラ	ステンレス鋼
メカニカルシール	消耗品・定期取替品
グランドパッキン	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
台板、取付ボルト、基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-4 伊方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

2.1.3 原子炉補機冷却水ポンプ

(1) 構造

伊方3号炉の原子炉補機冷却水ポンプは、横置単段うず巻式ポンプであり、4台設置されている。

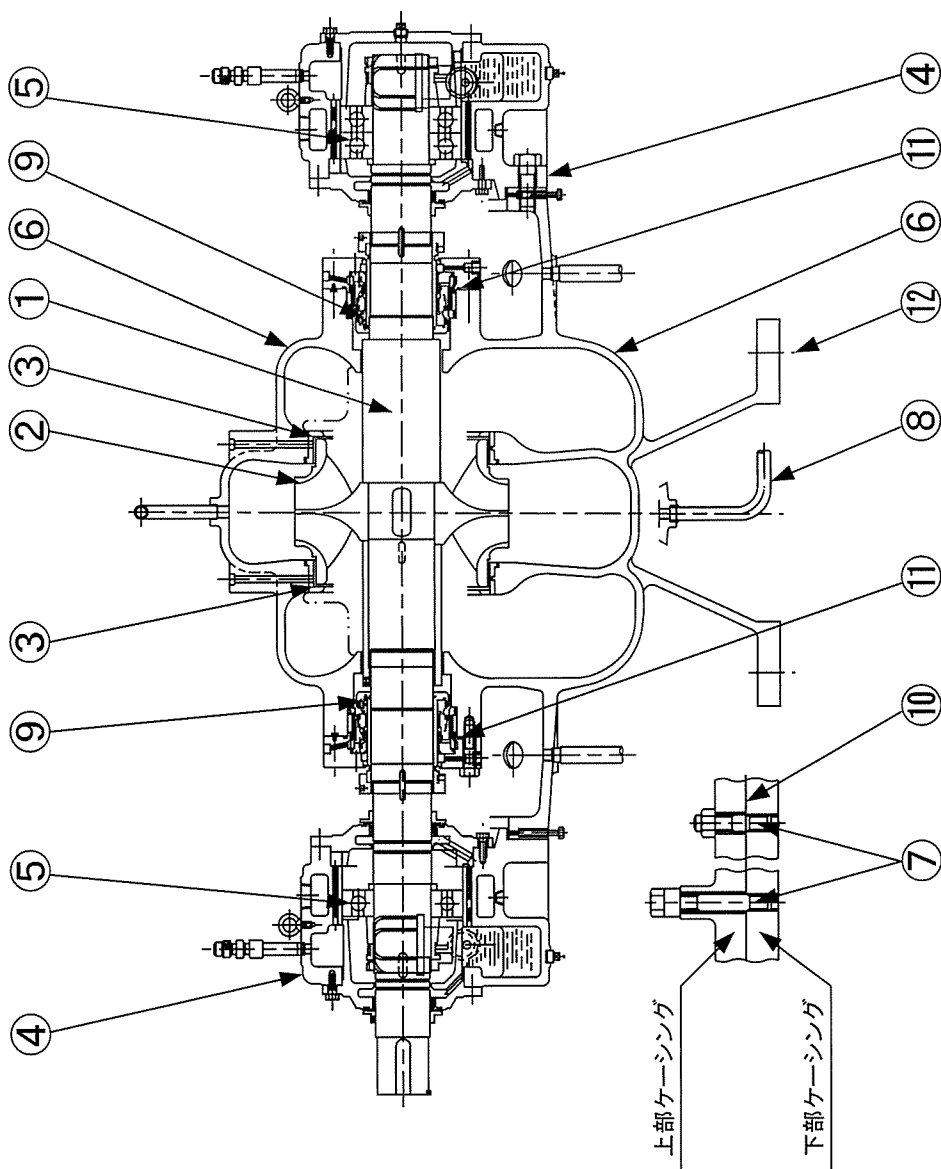
主軸にはステンレス鋼、羽根車にはステンレス鋼鋳鋼を使用し、ケーシングには炭素鋼鋳鋼を使用しており、それぞれヒドラジン水に接液している。

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。

伊方3号炉の原子炉補機冷却水ポンプの構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の原子炉補機冷却水ポンプの使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。



No.	部位
①	主軸
②	羽根車
③	ライナリング
④	軸受箱
⑤	軸受 (ころがり)
⑥	ケーシングボルト
⑦	ケーシングドレン管
⑧	メカニカルシール
⑩	ガスケット
⑪	Oリング
⑫	取付ボルト

図2. 1-3(1/2) 伊方3号炉 原子炉補機冷却水ポンプ構造図

No.	部位
⑬	軸継手
⑭	台板
⑮	基礎ボルト

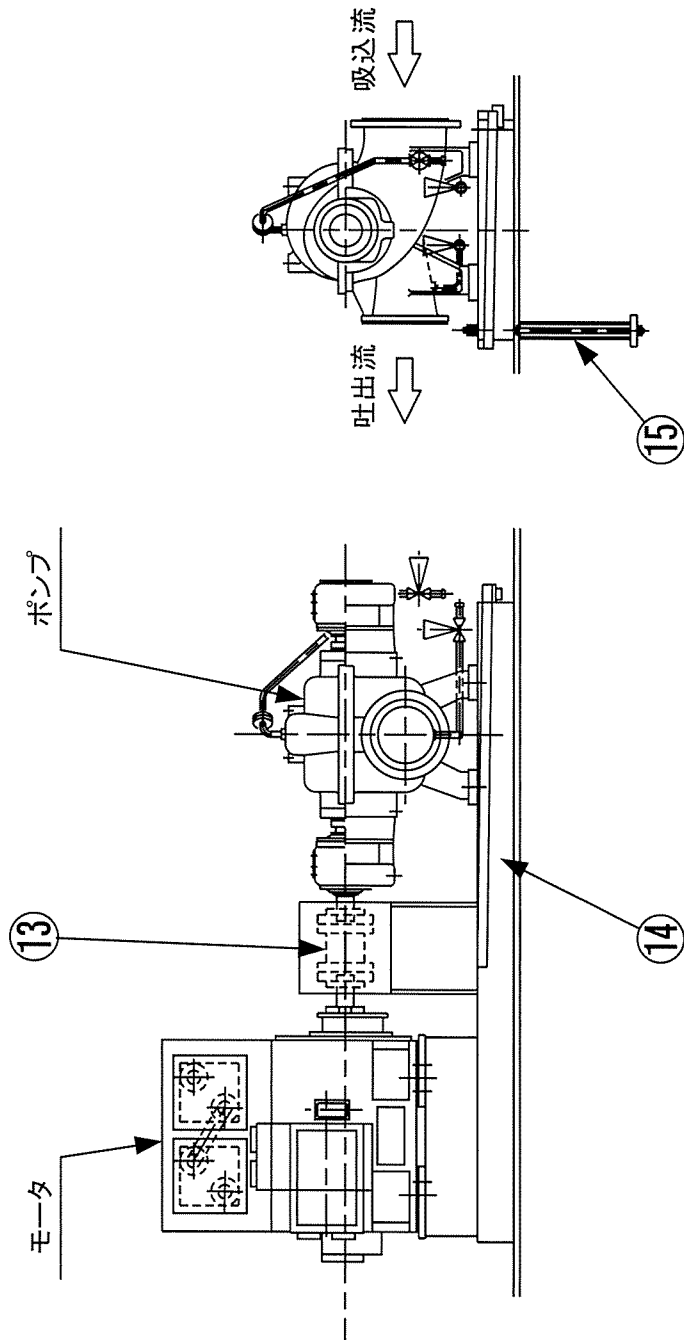


図2. 1-3 (2/2) 伊方3号炉 原子炉補機冷却水ポンプ全体図

表2.1-5 伊方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
ライナリング	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
軸継手	低合金鋼
ケーシング	炭素鋼鋳鋼
ケーシングボルト	低合金鋼
ケーシングドレン管	炭素鋼
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
台板、取付ボルト、基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-6 伊方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

2.1.4 電動補助給水ポンプ

(1) 構造

伊方3号炉の電動補助給水ポンプは、横置多段うず巻式ポンプであり、2台設置されている。

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

軸封部には給水の漏れを防止するため、グランドパッキンを使用している。

伊方3号炉の電動補助給水ポンプの構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の電動補助給水ポンプの使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。

No.	部位
①	主軸
②	羽根車
③	ライナリング
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	グラブドパッキン

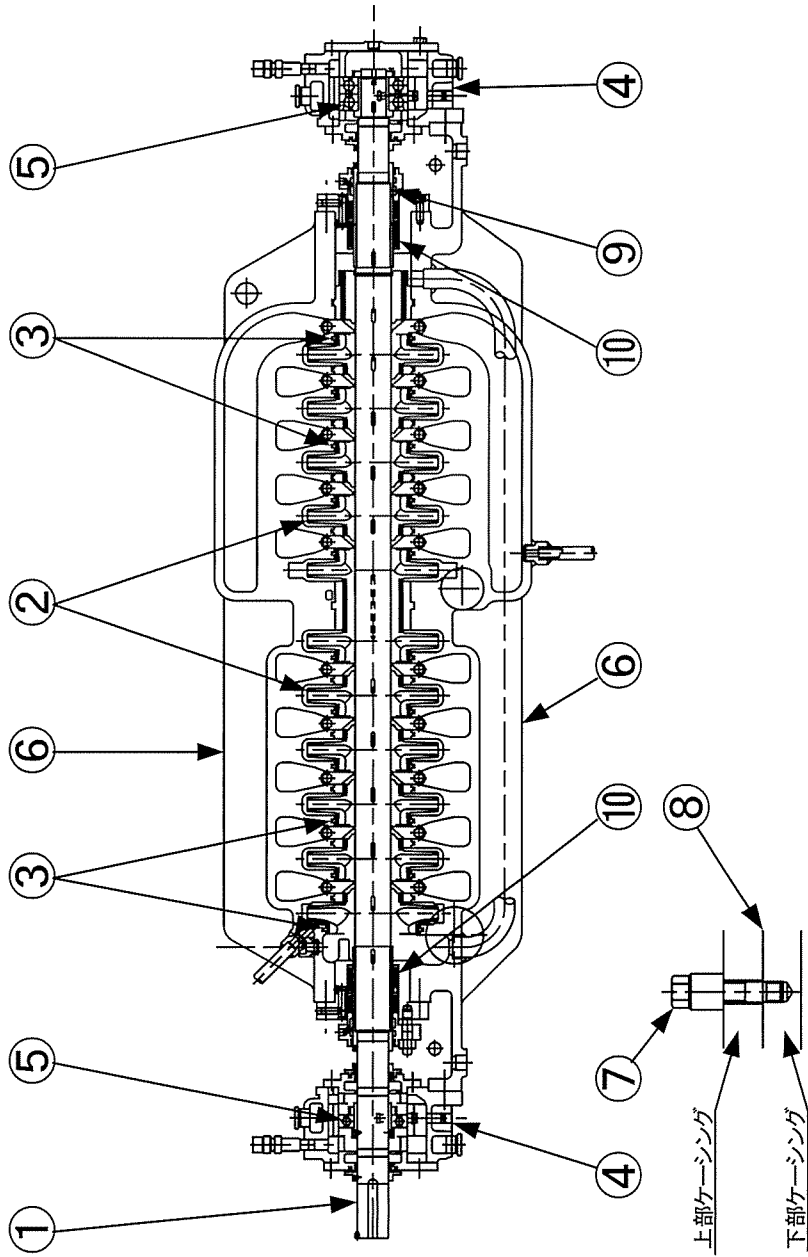


図2. 1-4(1/2) 伊方3号炉 電動補助給水ポンプ構造図

No.	部位
①	軸継手
②	台板
③	取付ボルト
④	基礎ボルト

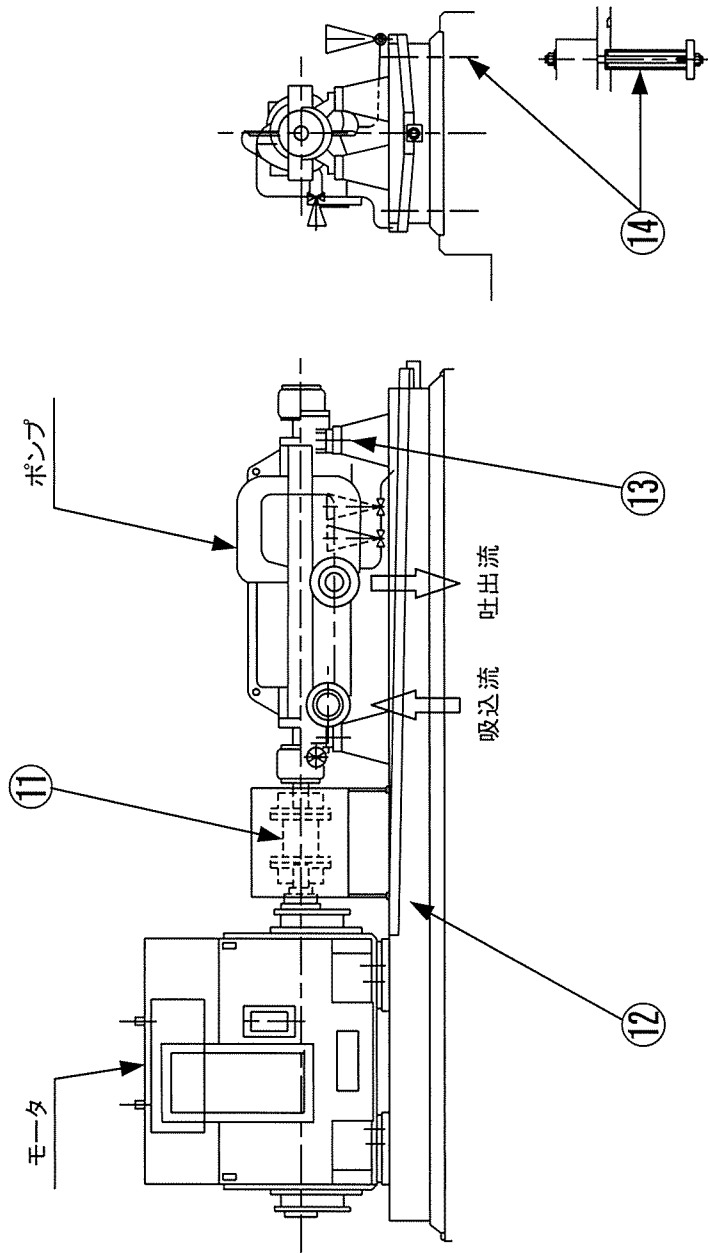


図2.1-4(2/2) 伊方3号炉 電動補助給水ポンプ全体図

表2.1-7 伊方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
ライナリング	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
軸継手	低合金鋼
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
台板、取付ボルト、基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-8 伊方3号炉 電動補助給水ポンプの使用条件

最高使用圧力	約12.3MPa [gage]
最高使用温度	約40℃
内部流体	給水

2.1.5 給水ブースタポンプ

(1) 構造

伊方3号炉の給水ブースタポンプは、たて置多段うず巻式ポンプであり、3台設置されている。

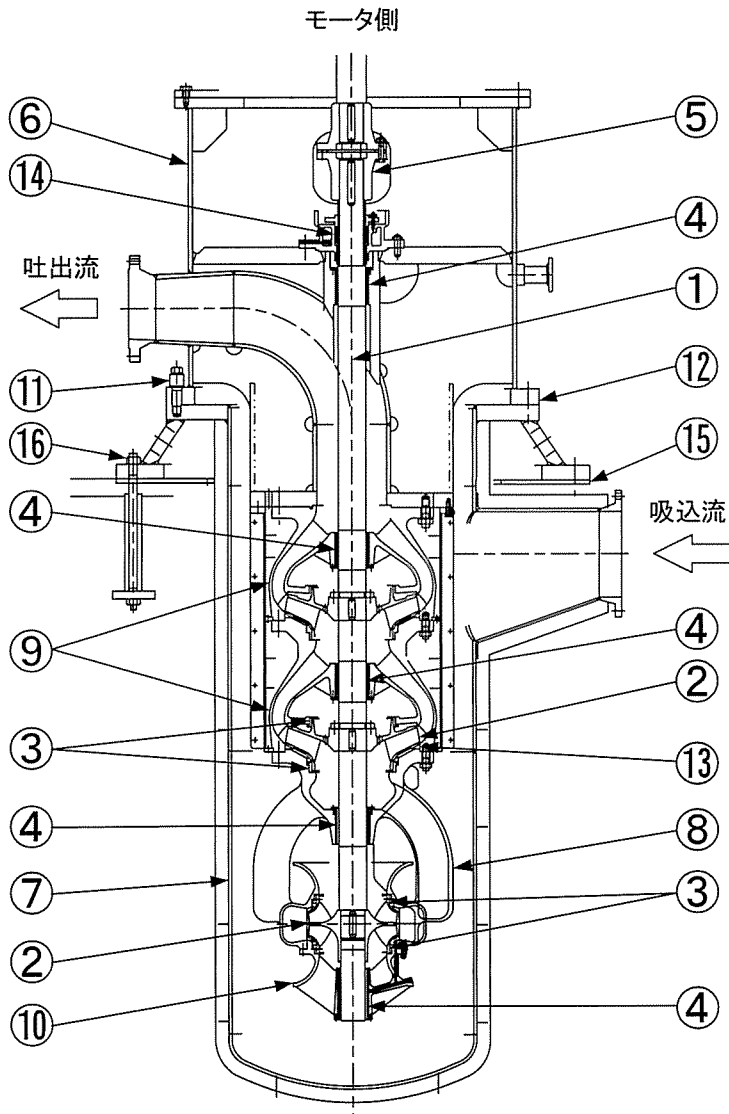
主軸にはステンレス鋼、羽根車および第1段ケーシング、吐出・中間ボウル、吸込ベルにはステンレス鋼鋳鋼を使用し、外部ケーシングには炭素鋼を使用しており、それぞれ給水に接液している。

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。

伊方3号炉の給水ブースタポンプの構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の給水ブースタポンプの使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。



No.	部位
①	主軸
②	羽根車
③	ライナリング
④	水中軸受(すべり)
⑤	軸継手
⑥	ケーシング
⑦	外部ケーシング
⑧	第1段ケーシング
⑨	吐出・中間ボウル
⑩	吸込ベル
⑪	ケーシングボルト
⑫	ガスケット
⑬	Oリング
⑭	グランドパッキン
⑮	ソールプレート
⑯	基礎ボルト

図2.1-5 伊方3号炉 給水ブースタポンプ構造図

表2.1-9 伊方3号炉 給水ブースタ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	ステンレス鋼鑄鋼
ライナリング	消耗品・定期取替品
水中軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
軸継手	炭素鋼
ケーシング、外部ケーシング	炭素鋼
第1段ケーシング、吐出・中間ボウル、吸込ベル	ステンレス鋼鑄鋼
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
ソールプレート、基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-10 伊方3号炉 給水ブースタポンプの使用条件

最高使用圧力	約3.7MPa [gage]
最高使用温度	約205℃
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）および現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表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（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、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、また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)または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を引き抜いた際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、主軸表面にわずかな摩耗が発生し、主軸と軸受スリーブ間に微小すき間が生じることから、運転中にフレットィングによる摩耗が発生する可能性がある。

しかしながら、これを防止するため主軸表面の仕上げは行わない運用としており、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がたい。

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において摺動による摩耗が想定される。

しかしながら、設計段階において、主軸と軸受間が流体潤滑状態となるように潤滑剤を供給することを考慮しており、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や寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(2) 主軸等接液部の腐食（孔食他）〔海水ポンプ〕

海水ポンプの主軸および羽根車等は耐食ステンレス鋼または耐食ステンレス鋼鋳鋼であり、海水接液部において孔食他の腐食が想定される。

しかしながら、分解点検時等の目視確認により各部の腐食の有無を確認し、腐食の状況により寸法計測を実施し、腐食進行程度の把握を行うことにより、機器の健全性を維持している。

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

(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、高平均応力下で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、設計段階において、高サイクル疲労割れが発生しないよう考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

伊方3号炉をはじめとする国内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、主軸の段付き溝部コーナーの曲率半径不足と内部流体に空気が流入することにより生じる振動が重畳したものであり、伊方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取替えるとともに、内部流体に空気が流入しない系統構成および運用の変更を行っている。また、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、試運転時における振動確認（変位、速度、加速度の測定等）や定期的な振動確認（通常運転時の振動状態と差異がないことの触診による確認）、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) 主軸のフレット疲労割れ [余熱除去ポンプ、電動補助給水ポンプ]

羽根車が焼きばめにより主軸に固定されている両持ちポンプについては、主軸にフレット疲労割れが想定される。なお、1986年10月、玄海1号炉の余熱除去ポンプ主軸において、フレット疲労割れが発生している。

しかしながら、主軸に発生する曲げ応力を評価した結果、曲げ応力は疲労限を下回っており、フレット疲労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、試運転時における振動確認（変位、速度、加速度の測定等）や定期的な振動確認（通常運転時の振動状態と差異がないことの触診による確認）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、設計段階において、ポンプ仕様および機器配置についてキャビテーションが発生しない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）〔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、塗膜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膜の状態を確認し、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。

一方、内面については、内部流体が油で腐食が発生しがたい環境であり、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がたい。

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) ケーシング等の腐食（全面腐食）〔原子炉補機冷却水ポンプ、給水ブースタポンプ〕

ケーシングは炭素鋼鋳鋼または炭素鋼、外部ケーシングおよびケーシングドレン管は炭素鋼であり、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、塗膜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膜の状態を確認し、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。

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）またはpH等を管理した脱気水（給水）で腐食が発生しがたい環境であり、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がたい。

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) ステンレス鋼使用部位の応力腐食割れ [余熱除去ポンプ]

ケーシング（ケーシングカバーを含む）はステンレス鋼、ケーシングドレン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、定期検査後のプラント起動時に1次冷却材中の溶存酸素濃度低減のための運転操作を実施するため、高温（100℃以上）で使用する 경우가あがるが、溶存酸素濃度は0.1ppm以下に低減されていることから、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

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

なお、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。

(9) ケーシングボルトの腐食（全面腐食） [海水ポンプを除く]

ケーシングボルトは低合金鋼であり、ガスケットまたは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がたい。

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等により、機器の健全性を確認している。

(10) 台板および取付ボルト等の腐食（全面腐食） [海水ポンプを除く]

台板、ソールプレートおよ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、塗膜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膜の状態を確認し、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。

(11) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔海水ポンプを除く〕

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」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケット、Oリング、グラウンドパッキン、メカニカルシールおよび軸受（ころがり）は分解点検時に取替える消耗品、また、ライナリング、軸受（すべり）および軸受部スリーブは分解点検時の目視確認や寸法計測の結果に基づき取替える消耗品であり、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(1/5) 伊方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		
ポンプの容量一揚程確保	主軸		耐食ステンレス鋼	△	△*1	△					*1：孔食他 *2：高サイクル疲労割れ *3：キヤビテーション
	保護管		耐食ステンレス鋼		△*1						
	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		△*1 △*3						
	ライナリング	◎	—								
	水中軸受(すべり)	◎	—								
	軸受部スリーブ	◎	—								
	吐出曲管		ステンレス鋼	鋼		△*1					
	揚水管		ステンレス鋼	鋼		△*1					
バウダリの維持	吐出しボウル		ステンレス鋼		△*1						
	吸込口		ステンレス鋼		△*1						
	中間軸受箱		耐食ステンレス鋼		△*1						
	軸受箱		耐食ステンレス鋼		△*1						
	ケーシングボルト		ステンレス鋼		△*1						
	オリング	◎	—								
	グラインドパッキン	◎	—								
	台板		ステンレス鋼								
	取付ボルト		ステンレス鋼								
	機器の支持	基礎ボルト		ステンレス鋼							
振れ止め台			ステンレス鋼		△*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						

△：高経年劣化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2. 2-1(2/5) 伊方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			
ポンプの容量一揚程確保	主軸		ステンレス鋼	△		△ ^{*1} △ ^{*2}						*1：フレックテイニング疲労割れ
	羽根車		ステンレス鋼鋳鋼		△ ^{*3}							*2：高サイクル疲労割れ
	ライナリング	◎	—									*3：キャビテーション
	軸受箱		铸铁		△							
	軸受（ころがり）	◎	—									
	軸継手		低合金鋼									
	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		△							
	ケーシングドレン管		ステンレス鋼					△				
バウダリの維持	メカニカルシールクーラ		ステンレス鋼									
	メカニカルシール	◎	—									
	グラインドパッキン	◎	—									
	ガスケット	◎	—									
	オリング	◎	—									
	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2.2-1(3/5) 伊方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			
ポンプの容量一揚程確保	主軸		ステンレス鋼	△		△ ^{*1}						*1：高サイクル疲労割れ *2：キャビテーション
	羽根車		ステンレス鋼/鋳鋼		△ ^{*2}							
	ライナリング	◎	-									
	軸受箱		鋳鉄		△							
	軸受(ころがり)	◎	-									
	軸継手		低合金鋼									
	ケーシング		炭素鋼/鋳鋼		△							
	ケーシングボルト		低合金鋼		△							
	ケーシングドレン管		炭素鋼		△							
	メカニカルシール	◎	-									
バウンダリの維持	ガスケット	◎	-									
	Oリング	◎	-									
	台板		炭素鋼		△							
機器の支持	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. 2-1(4/5) 伊方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：フレックテイニング 疲労割れ *2：高サイクル疲労 割れ *3：キャビテーション
	羽根車		ステンレス鋼/鋳鋼		△ ^{*3}						
	ライナリング	◎	-								
	軸受箱		鋳鉄		△						
	軸受（ころがり）	◎	-								
バウンダリ の維持	軸継手		低合金鋼								
	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	◎	-								
機器の支持	グラインドパッキン	◎	-								
	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2.2-1(5/5) 伊方3号炉 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}						*1：高サイクル疲労割れ *2：キャビテーション
	羽根車		ステンレス鋼鋳鋼		△ ^{*2}							
	ライナリング	◎	—									
	水中軸受(すべり)	◎	—									
	軸継手		炭素鋼									
	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・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									
バウンダリの維持	ケーシングボルト		低合金鋼		△							
	ガスケット	◎	—									
	Oリング	◎	—									
	グラインドパッキン	◎	—									
機器の支持	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、「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。

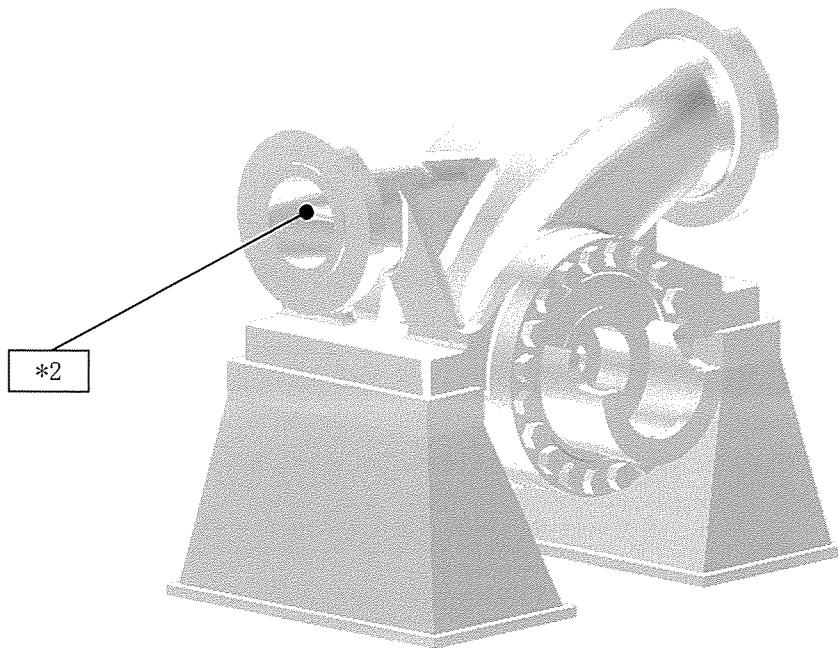
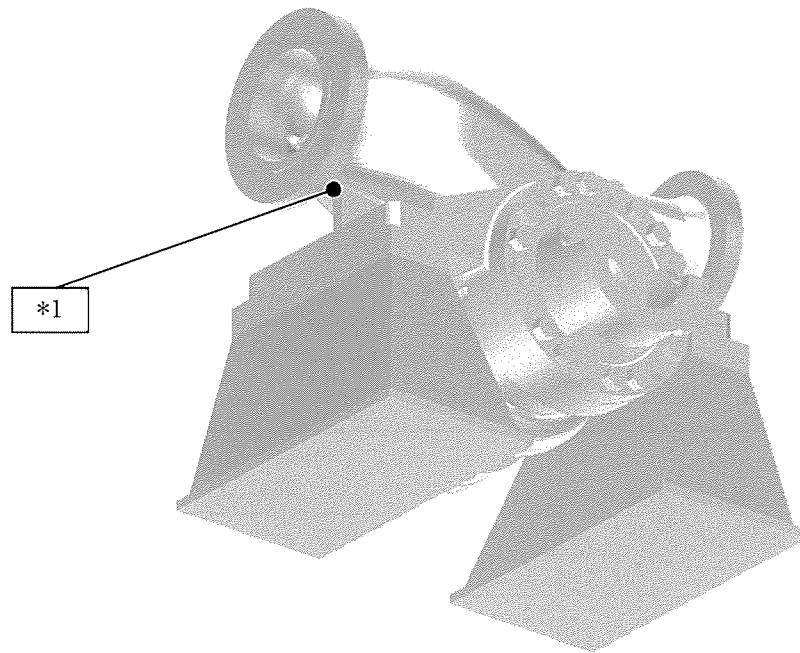
評価対象部位を図2.3-1に示す。

また、使用環境を考慮した疲労については、「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、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的に設定した過渡回数とした。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。



*1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位（最大）

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

図2.3-1 伊方3号炉 余熱除去ポンプ ケーシングの疲労評価対象部位

表2.3-1 伊方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年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動	25	69
停止	25	69
1次系漏えい試験	21	61

表2.3-2 伊方3号炉 余熱除去ポンプ 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 (ステンレス鋼鋳鋼)	0.074	0.110*1

*1：接液部であり、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 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全体の目視確認により、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 充てんポンプ
- ② 高圧注入ポンプ
- ③ 格納容器スプレイポンプ
- ④ ほう酸ポンプ
- ⑤ 燃料取替用水タンクポンプ
- ⑥ タービン動主給水ポンプ
- ⑦ タービン動補助給水ポンプ
- ⑧ 電動主給水ポンプ
- ⑨ 復水ブースタポンプ
- ⑩ 湿分分離器ドレンポンプ
- ⑪ スチームコンバータ給水ポンプ
- ⑫ 脱気器再循環ポンプ
- ⑬ 代替格納容器スプレイポンプ
- ⑭ 補助蒸気ドレンタンクポンプ
- ⑮ 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（ケーシングカバーを含む）の疲労割れ

代表機器では、起動・停止およ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。

3.1.2 潤滑油ユニットの補助油ポンプモータの絶縁低下 [充てんポンプ、高圧注入ポンプ、タービン動補助給水ポンプ]

潤滑油ユニットの補助油ポンプモータは、低圧ポンプモータと電圧区分、絶縁仕様および使用環境等が同様であることから、「ポンプモータの技術評価書」の低圧ポンプモータと同様、長期間の運転を考慮すると固定子コイルおよび口出線の絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、潤滑油ユニットの補助油ポンプモータの絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していくとともに、点検結果に基づき、監視強化としての絶縁抵抗測定の実施頻度の見直しおよび必要に応じて洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を実施していく。

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)または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を引き抜いた際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、主軸表面にわずかな摩耗が発生し、主軸と軸受スリーブ間に微小すき間が生じることから、運転中にフレットングによる摩耗が発生する可能性がある。

しかしながら、これを防止するため主軸表面の仕上げは行わない運用としており、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がたい。

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等により、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において摺動による摩耗が想定される。

しかしながら、設計段階において、主軸と軸受間が流体潤滑状態となるように潤滑剤を供給することを考慮しており、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、設計段階において、高サイクル疲労割れが発生しないよう考慮しており、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、試運転時における振動確認（変位、速度、加速度の測定等）や定期的な振動確認（通常運転時の振動状態と差異がないことの触診による確認）なら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。

3.2.3 主軸のフレット疲労割れ [充てんポンプ、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、復水ブースタポンプ、湿分離器ドレンポンプ、脱気器再循環ポンプ]

羽根車が焼きばめにより主軸に固定されている両持ちポンプについては、主軸に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主軸において、フレット疲労割れが発生している。

しかしながら、主軸に発生する曲げ応力を評価した結果、曲げ応力は疲労限を下回っており、フレット疲労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、試運転時における振動確認（変位、速度、加速度の測定等）や定期的な振動確認（通常運転時の振動状態と差異がないことの触診による確認）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、設計段階において、ポンプ仕様および機器配置についてキャビテーションが発生しない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等により、機器の健全性を確認している。

3.2.5 軸継手の摩耗 [電動主給水ポンプ、復水ブースタポンプ、脱気器再循環ポンプ]

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、摩耗が発生しがたい環境であり、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がたい。

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。

3.2.6 軸受箱の腐食（全面腐食） [低圧給水加熱器ドレンポンプを除く]

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、塗膜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膜の状態を確認し、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。

一方、内面については内部流体が油で腐食が発生しがたい環境であり、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がたい。

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等により、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） [充てんポンプ、高圧注入ポンプ、タービン動補助給水ポンプ]

潤滑油ユニットは炭素鋼または鋳鉄であり、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、塗膜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膜の状態を確認し、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。

一方、内面については内部流体が油またはヒドラジン水で腐食が発生しがたい環境であり、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がたい。

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等により、機器の健全性を確認している。

3.2.8 増速機歯車の摩耗 [充てんポンプ、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や寸法計測により、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） [充てんポンプ、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、塗膜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膜の状態を確認し、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。

一方、内面については歯車およ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で腐食が発生しがたい環境であり、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がたい。

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）〔充てんポンプ、高圧注入ポンプ、補助蒸気ドレンタンクポンプ、低圧給水加熱器ドレンポンプ〕

ケーシング（ケーシングカバーを含む）、外部ケーシング、第1段ケーシング、吐出・中間ボウルおよび吸込ベルは低合金鋼、炭素鋼、炭素鋼鋳鋼または鋳鉄であり、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、塗膜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膜の状態を確認し、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。

一方、内面については内部流体が1次冷却材、ほう酸水またはpH等を管理した脱気水（給水）で腐食が発生しがたい環境であり、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がたい。

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等により、機器の健全性を確認している。

3.2.11 ケーシングボルトの腐食（全面腐食）〔ほう酸ポンプ、燃料取替用水ポンプ、代替格納容器スプレイポンプを除く〕

ケーシングボルトは低合金鋼または炭素鋼であり、ガスケットまたは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がたい。

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等により、機器の健全性を確認している。

3.2.12 架台、台板および取付ボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕

架台、台板およ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、塗膜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膜の状態を確認し、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。

3.2.13 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕および樹脂の劣化〔代替格納容器スプレイポンプ〕

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

また、代替格納容器スプレイポンプの基礎ボルト（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」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

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. 技術評価対象機器	1
2. 1次冷却材ポンプの技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	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. 技術評価対象機器

伊方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 伊方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		
		運転状態	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
1次冷却材ポンプ (3)	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およ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、材料および使用条件

(1) 構造

伊方3号炉の1次冷却材ポンプは、たて置単段斜流ポンプであり、3台設置されている。

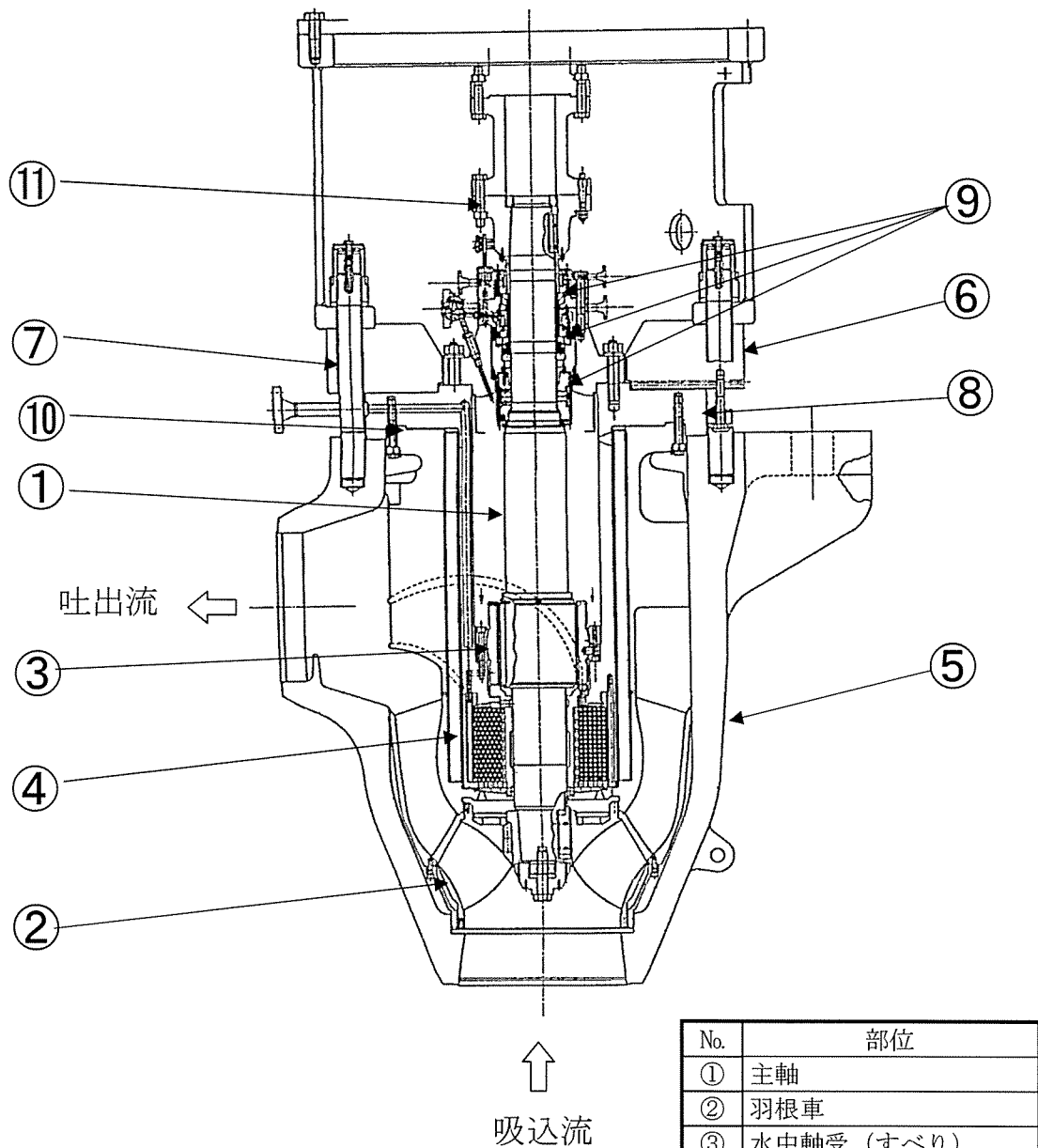
主軸、羽根車、ケーシング等にはステンレス鋼またはステンレス鋼鋳鋼を使用しており、1次冷却材に接液している。

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

伊方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) 材料および使用条件

伊方3号炉の1次冷却材ポンプの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	主軸
②	羽根車
③	水中軸受 (すべり)
④	熱遮蔽装置ハウジング およびシェル
⑤	ケーシング
⑥	ボルティングリング
⑦	ケーシングボルト
⑧	熱遮蔽装置フランジ
⑨	No. 1～3 シール
⑩	ガスケット
⑪	軸継手

図2.1-1 伊方3号炉 1次冷却材ポンプ構造図

表2.1-1 伊方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
熱遮蔽装置ハウジング およびシエル	ステンレス鋼
ケーシング	ステンレス鋼鋳鋼
ボルティングリング	低合金鋼
ケーシングボルト	低合金鋼
熱遮蔽装置フランジ	ステンレス鋼
No. 1～3 シール	消耗品・定期取替品
ガスケット	消耗品・定期取替品
軸継手	低合金鋼

表2.1-2 伊方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）およ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、流量変化により、疲労が蓄積する可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

(2) 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可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、また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)または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、試運転時および機能確認時における振動確認なら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、試運転時および機能確認時における振動確認なら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降下すると、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およ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であり、使用温度が約284℃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、亀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、シェルおよびフランジの疲労割れ

熱遮蔽装置のハウジング、シェルおよ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、フランス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およびフランジ下面(ハウジング付け根部内側)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、フランス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。

このため、熱疲労により損傷に至ったものと報告されているが、定量的な見解はフランス国内でも出されていない。

一方、伊方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液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低合金鋼であり、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がたい。

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 消耗品および定期取替品

ガスケットは分解点検時に取替える消耗品であり、No. 1～3 シールおよび水中軸受（すべり）は分解点検時の目視確認や寸法計測の結果に基づき取替える消耗品であり、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 伊方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：キヤビテーション
	羽根車		ステンレス鋼鋳鋼	△	△ ^{*3}			△			
	水中軸受（すべり）	◎	—								
作動信頼性の維持	軸継手		低合金鋼								
	熱遮蔽装置ハウジングおよびシエル		ステンレス鋼			△					
	ケーシング		ステンレス鋼鋳鋼			○		○			
バウндаリ の維持	ボルトイングリッド		低合金鋼								
	ケーシングボルト		低合金鋼		△						
	熱遮蔽装置フランジ		ステンレス鋼			△					
	No. 1～3 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、吐出ノズルおよび脚部を対象
として「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。

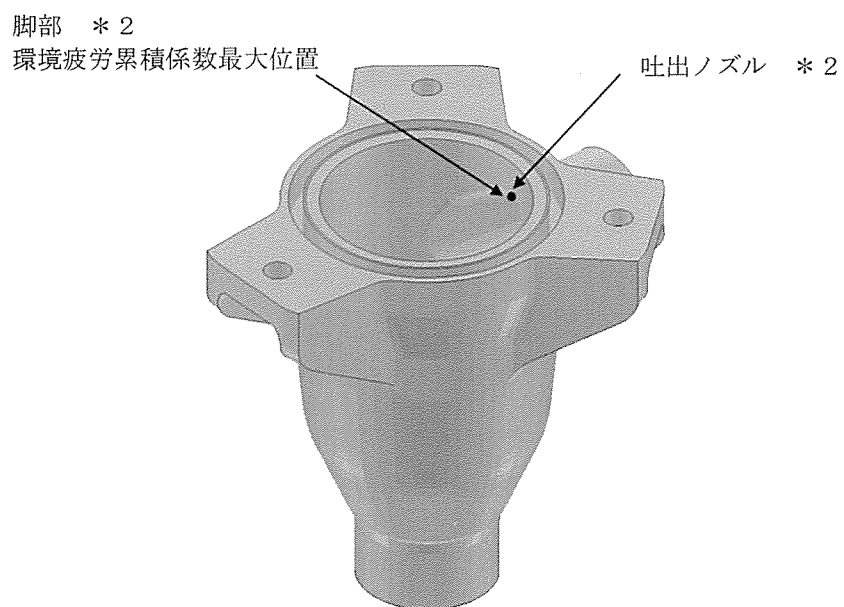
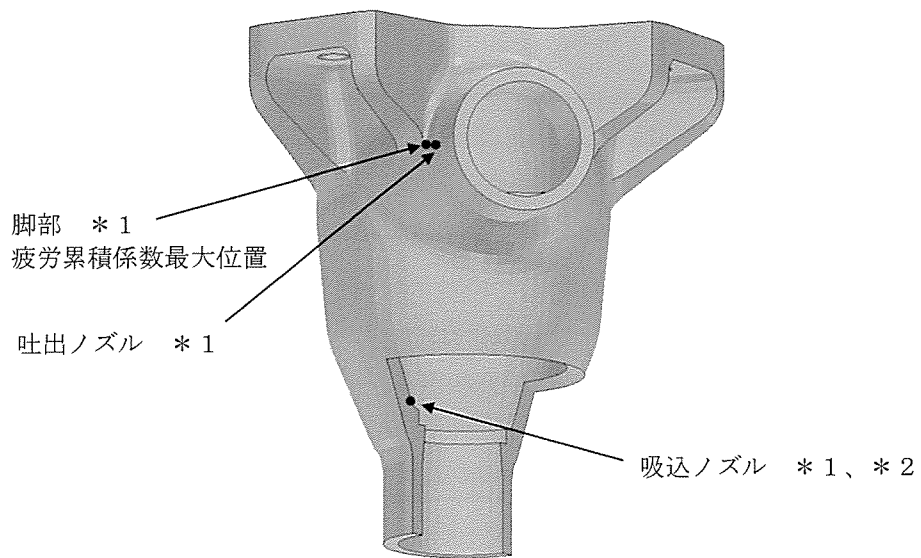
評価対象部位を図2.3-1に示す。

また、使用環境を考慮した疲労については、「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、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象
期間での推定過渡回数を包含し、より保守的に設定した過渡回数とした。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。



* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位 (最大)

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

図2.3-1 伊方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 伊方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年度末時点	運転開始後60年時点の推定値
起動(温度上昇率55.6℃/h)	25	69
停止(温度下降率55.6℃/h)	25	69
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	164	843
負荷減少(負荷減少率5%/min)	157	836
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	5
定常負荷運転時の変動*1	—	—
燃料交換	16	69
0%から15%への負荷上昇	25	67
15%から0%への負荷減少	19	64
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年度末時点	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	5	5
1次系漏えい試験	21	61

*1：設計評価においては、1次冷却材温度は±1.7℃、1次冷却材圧力は±0.34MPa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 伊方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)	0.093	0.588*1
ケーシング脚部 (ステンレス鋼鋳鋼)	0.096	0.588*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・建設規格の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、疲労割れが問題とな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、疲労割れは目視確認または漏えい検査により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

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

2.3.2 ケーシングの熱時効

a. 事象の説明

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

b. 技術評価

① 健全性評価

熱時効による靱性低下は、フェライト量が多く、使用温度が高いほど大きくなる。

また、構造健全性評価は応力が大きいほど厳しくなる。

ステンレス鋼は1次冷却材管に多く用いられているが、1次冷却材管の熱時効に関しては、「配管の技術評価書」の1次冷却材管の章に示すとおり、使用温度およ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、亀裂の存在を仮定し、弾塑性破壊力学的解析手法を用いて、ステンレス鋼の熱時効後の構造上の安全性を評価している。初期亀裂については、「日本電気協会 原子力発電所配管破損防護設計技術指針（JEAG 4613-1998）」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年時点までの疲労亀裂進展長さを考慮した評価用亀裂^{*1}を想定しても、材料の亀裂進展抵抗は亀裂進展力を上回ることから^{*2}、配管は不安定破壊することはなく、健全性評価上問題とならないと判断している。

ここで、1次冷却材ポンプケーシング（吐出ノズル）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次冷却材ポンプについても同様に不安定破壊を起こさないと判断する。

- *1：運転開始後60年時点までの疲労亀裂の進展を考慮しても、当該亀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、保守的に貫通亀裂を想定した。
- *2：初期亀裂の想定、亀裂進展、貫通亀裂の想定および亀裂進展力は「日本電気協会 原子力発電所配管破損防護設計技術指針（JEAG 4613-1998）」の評価手法に準拠した。そのため、亀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 Steel Casting, Austenitic Alloy, Estimating Ferrite Content Thereof（ASTM A800/A800M-14）」に示される線図により決定した。

表2.3-3 伊方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 (吐出ノズル)	約12.4	約284	約119
1次冷却材管 (ホットレグ直管)	約10.1 ^{*1}	約321	約194

*1：1次冷却材管（ホットレグ直管）のフェライト量は約10.1%であるが、保守的に厳しい値である約12.4%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およ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、点検内容として適切である。

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。

伊方発電所 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]

四国電力株式会社

伊方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の機器およ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、最高使用圧力等の観点から代表機器を選定した。これらの一覧表を表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は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 サンプルクーラ

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・取替が容易ではないことを考慮し、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、本評価書には含んでいない。

表 1 (1/2) 伊方 3 号炉 主要な熱交換器

型式	分離基準			機器名称 (台数)	重要度*1	選定基準			代表機器の選定		
	流体 (管側/胴側)	材料				運転状態	最高使用圧力 (MPa [Gage])	最高使用温度 (°C)	代表 機器	選定理由	
		胴板	水室								伝熱管
多管円筒形 U字管形	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 ^{*2}	連続	約20.0/ 約17.2	約343/ 約343	◎	
					余熱除去冷却器(2)	MS-1 重 ^{*2}	一時	約4.5/ 約1.4	約200/ 約95	◎	重要度、 最高使用圧力
					封水冷却器(1)	MS-1	連続	約1.0/ 約1.4	約95/ 約95		
	1次冷却材/ ヒドランジン水	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		
					格納容器スプレイ冷却器(2)	MS-1 重 ^{*2}	一時	約2.7/ 約1.4	約150/ 約95		
					余剰抽出冷却器(1)	PS-2	一時	約17.2/ 約1.4	約343/ 約95		
	1次冷却材 / 蒸気	炭素鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	燃料取替用水タンク加熱器(1)	高 ^{*3}	連続	約0.98/ 約0.93	約95/ 約185	◎	
					過分分離加熱器(2)	高 ^{*3}	連続	約2.8*4/ 約1.5	約291*4/ 約291	◎	
					第6 高圧給水加熱器(2)	高 ^{*3}	連続	約10.3/ 約2.8	約235/ 約235	◎	最高使用圧力
	給水/蒸気	炭素鋼	炭素鋼	第3 低圧給水加熱器(2)	高 ^{*3}	連続	約3.8/ 約0.15	約130/ 約165			
				第4 低圧給水加熱器(2)	高 ^{*3}	連続	約3.8/ 約0.49	約160/ 約225			
				第1 低圧給水加熱器(2)	高 ^{*3}	連続	約3.8/ 約-0.1	約85/ 約85			
	ドレン/給水	炭素鋼	炭素鋼	銅合金、 ステンレス鋼	第2 低圧給水加熱器(2)	高 ^{*3}	連続	約3.8/ 約0.05	約115/ 約115		
					スチームコンバータドレン冷却器(1)	高 ^{*3}	連続	約3.1/ 約1.4	約240/ 約185	◎	
					SGBD熱回収装置復水加熱器(2)	高 ^{*3}	連続	約3.8/ 約1.5	約205/ 約205	◎	
蒸気/給水	炭素鋼	炭素鋼	銅合金	スチームコンバータ(1)	高 ^{*3}	連続	約3.1/ 約0.9	約240/ 約185	◎		

*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および構造物であることを示す。

*3：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

*4：第1段加熱器。

*5：第2段加熱器。

表 1 (2/2) 伊方3号炉 主要な熱交換器

分離基準			選定基準				選定機器の選定			
型式	流体 (管側/胴側)	材料		機器名称 (台数)	重要度*1	運転状態	最高使用圧力 (MPa [gauge])	最高使用温度 (°C)	代表 機器	選定理由
		胴板	水室							
多管円筒形 直管形	海水/ ヒドラジン水	炭素鋼	炭素鋼	原子炉補機冷却水冷却器 (4)	MS-1 重*2	連続	約 0.7/ 約 1.4	約 50/ 約 95	◎	
	給水/蒸気	炭素鋼	炭素鋼	グラントド蒸気復水器 (1)	高*3	連続	約 1.3/ 約 0	約 80/ 約 100	◎	
多管円筒形 U字管式	1次冷却材/ 給水	低合金鋼	低合金鋼 (ステンレス鋼 内張り)	蒸気発生器 (3)	PS-1 重*2	連続	約 17.2/ 約 7.5	約 343/ 約 291	◎	
直接接触式	給水+蒸気	炭素鋼	—	脱気器 (1)	高*3	連続	約 1.5	約 205	◎	
2重管式	1次冷却材/ ヒドラジン水	ステンレス鋼	—	サンブル冷却器 (2)	MS-2	連続	約 17.2/ 約 1.4	約 360/ 約 95	◎	重要度
	給水/ ヒドラジン水	ステンレス鋼	—	ブローダウンサンブル冷却器 (3)	高*3	連続	約 7.5/ 約 1.4	約 291/ 約 95		
	空気/ ヒドラジン水	ステンレス鋼	—	格納容器雰囲気ガスサンブル冷却器 (1)	MS-2 重*2	一時	約 0.98/ 約 1.4	約 132/ 約 95		
	蒸気復水/ ヒドラジン水	ステンレス鋼	—	補助蒸気ドレンモニタ冷却器 (1)	高*3	連続	約 0.93/ 約 1.4	約 185/ 約 95		

*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および構造物であることを示す。

*3：最高使用温度が95℃を超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

表 2 (1/2) 伊方 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 次冷却系統の抽出水と充てん水の間で熱交換を行い系統への熱衝撃を緩和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。
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および充てんポンプのミニマムフロー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。
非再生冷却器	再生熱交換器で冷却した抽出水を冷却材混床式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	事故後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。
余剰抽出冷却器	通常の抽出系統が使用出来ない場合に 1 次冷却材ポンプ封水を確保するため、余剰抽出系統より抽出した 1 次冷却材を冷却するための熱交換器である。
燃料取替用水タンク加熱器	燃料取替用水タンクの水温を所定の温度（約 30℃）に保つ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、さらに加熱するための熱交換器である。
第 6 高圧給水加熱器	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。
第 1 低圧給水加熱器	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。
第 2 低圧給水加熱器	第 1 低圧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。
第 3 低圧給水加熱器	第 2 低圧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。
第 4 低圧給水加熱器	第 3 低圧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。
スチームコンバータドレン冷却器	スチームコンバータで熱交換したドレンを冷却するための熱交換器である。
SGBD 熱回収装置復水加熱器	復水を蒸気発生器ブローダウン水により加熱するための熱交換器である。
スチームコンバータ	給水を高圧タービン抽気または主蒸気により加熱して補助蒸気を発生させるための熱交換器である。
原子炉補機冷却水冷却器	1 次系の機器を冷却し温度上昇した冷却水（ヒドラジン水）を海水ポンプより供給された海水で冷却する熱交換器である。
グラント蒸気復水器	タービンのグラント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	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。

表 2 (2/2) 伊方 3 号炉 主要な熱交換器の機能

熱交換器	機能
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採取可能な温度まで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採取可能な温度まで冷却するための熱交換器である。
格納容器雰囲気ガスサンプル冷却器	事故後の格納容器内から抽出した高温の雰囲気ガス試料を採取可能な温度まで冷却するための熱交換器である。
補助蒸気ドレンモニタ冷却器	補助蒸気系統から抽出した高温の試料を採取可能な温度まで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 余熱除去冷却器
- ③ 封水冷却器
- ④ 非再生冷却器
- ⑤ 格納容器スプレイ冷却器
- ⑥ 余剰抽出冷却器
- ⑦ 燃料取替用水タンク加熱器
- ⑧ 湿分分離加熱器
- ⑨ 第6 高圧給水加熱器
- ⑩ 第1 低圧給水加熱器
- ⑪ 第2 低圧給水加熱器
- ⑫ 第3 低圧給水加熱器
- ⑬ 第4 低圧給水加熱器
- ⑭ スチームコンバータドレン冷却器
- ⑮ S G B D 熱回収装置復水加熱器
- ⑯ スチームコンバータ
- ⑰ 原子炉補機冷却水冷却器
- ⑱ グランド蒸気復水器

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	5
2.1 構造、材料および使用条件	5
2.2 経年劣化事象の抽出	35
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	55
3. 代表機器以外への展開	60
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	60
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	61

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

伊方3号炉で使用されている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、流体およ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および結果

表1-1に示す熱交換器は伝熱管の形状からU字管形と直管形に分類されるが、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10のグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) U字管形熱交換器（管側流体：1次冷却材、胴側流体：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) U字管形熱交換器（管側流体：1次冷却材、胴側流体：ヒドラジン水）

このグループには余熱除去冷却器、封水冷却器、非再生冷却器、格納容器スプレィ冷却器および余剰抽出冷却器が属するが、重要度および最高使用圧力の高い余熱除去冷却器を代表機器とする。

(3) U字管形熱交換器（管側流体：1次冷却材、胴側流体：蒸気）

このグループには燃料取替用水タンク加熱器のみが属するため、代表機器は燃料取替用水タンク加熱器とする。

(4) U字管形熱交換器（管側流体：蒸気、胴側流体：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。

(5) U字管形熱交換器（管側流体：給水、胴側流体：蒸気）

このグループには第6高圧給水加熱器、第1低圧給水加熱器、第2低圧給水加熱器、第3低圧給水加熱器および第4低圧給水加熱器が属するが、最高使用圧力が高い第6高圧給水加熱器を代表機器とする。

- (6) U字管形熱交換器（管側流体：ドレン、胴側流体：給水）
このグループにはスチームコンバータドレン冷却器のみが属するため、代表機器はスチームコンバータドレン冷却器とする。
- (7) U字管形熱交換器（管側流体：給水、胴側流体：ドレン）
このグループにはS G B D熱回収装置復水加熱器のみが属するため、代表機器はS G B D熱回収装置復水加熱器とする。
- (8) U字管形熱交換器（管側流体：蒸気、胴側流体：給水）
このグループにはスチームコンバータのみが属するため、代表機器はスチームコンバータとする。
- (9) 直管形熱交換器（管側流体：海水、胴側流体：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。
- (10) 直管形熱交換器（管側流体：給水、胴側流体：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(1/2) 伊方3号炉 多管円筒形熱交換器の主な仕様

型式	分離基準				機器名称 (台数)	選定基準				代表機器の選定	
	流体 (管側/胴側)	材料		重要度*1		運転状態	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)	代表 機器	選定理由	
		胴板	水室								伝熱管
多管円筒形 U字管形	1次冷却材 /1次冷却材	ステンレス鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	MS-1 重*2	連続	約20.0/ 約17.2	約343/ 約343	◎		
					MS-1 重*2	一時	約4.5/ 約1.4	約200/ 約95			◎
	1次冷却材/ ヒドランジン水	炭素鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	MS-1	連続	約1.0/ 約1.4	約95/ 約95			
					PS-2	連続	約4.5/ 約1.4	約200/ 約95			
	1次冷却材 /蒸気	炭素鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	MS-1 重*2	一時	約2.7/ 約1.4	約150/ 約95			
					PS-2	一時	約17.2/ 約1.4	約343/ 約95			
	蒸気/蒸気	炭素鋼	炭素鋼	炭素鋼	高*3	連続	約0.98/ 約0.93	約95/ 約185	◎		
					高*3	連続	約2.8**/ 約1.5	約291**1/ 約291			
	給水/蒸気	炭素鋼	炭素鋼	炭素鋼	高*3	連続	約7.5**5/ 約1.5	約291**5/ 約291	◎		
					高*3	連続	約10.3/ 約2.8	約235/ 約235			
	ドレン/給水	炭素鋼	炭素鋼	炭素鋼	高*3	連続	約3.8/ 約0.15	約130/ 約165	◎	最高使用圧力	
					高*3	連続	約3.8/ 約0.49	約160/ 約225			
	給水/ドレン	炭素鋼	炭素鋼	炭素鋼	高*3	連続	約3.8/ 約0.1	約85/ 約85			
					高*3	連続	約3.8/ 約0.05	約115/ 約115			
	蒸気/給水	炭素鋼	炭素鋼	炭素鋼	高*3	連続	約3.1/ 約1.4	約240/ 約185	◎		
高*3					連続	約3.8/ 約1.5	約205/ 約205				
	炭素鋼	炭素鋼	炭素鋼	高*3	連続	約3.1/ 約0.9	約240/ 約185	◎			

*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および構造物であることを示す。
 *3: 最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。
 *4: 第1段加熱器。
 *5: 第2段加熱器。

表1-1(2/2) 伊方3号炉 多管円筒形熱交換器の主な仕様

分離基準				選定基準 (管側/胴側)				代表機器の選定	
型式	流体 (管側/胴側)	材料		重要度*1	運転状態	最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)	代表 機器	選定理由
		胴板	水室 伝熱管						
多管円筒形 直管形	海水/ ヒドレンジン水	炭素鋼	炭素鋼 銅合金	MS-1 重*2	連続	約 0.7/ 約 1.4	約 50/ 約 95	◎	
	給水/蒸気	炭素鋼	ステンレス鋼	高*3	連続	約 1.3/ 約 0	約 80/ 約 100	◎	

*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および構造物であることを示す。

*3: 最高使用温度が95℃を超え、または最高使用圧力が1900kPa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10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 燃料取替用水タンク加熱器
- ④ 湿分分離加熱器
- ⑤ 第6 高圧給水加熱器
- ⑥ スチームコンバータドレン冷却器
- ⑦ S G B D 熱回収装置復水加熱器
- ⑧ スチームコンバータ
- ⑨ 原子炉補機冷却水冷却器
- ⑩ グランド蒸気復水器

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 再生熱交換器

(1) 構造

伊方3号炉の再生熱交換器は、長さ約4.6m、胴外径約0.5mの横置4胴U字管式熱交換器であり、1台設置されている。各胴は4個独立しており、互いに連絡管により結ばれている。各胴および連絡管は全て溶接構造である。

U字管形伝熱管、管側耐圧構成品およ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。

伊方3号炉の再生熱交換器の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の再生熱交換器の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

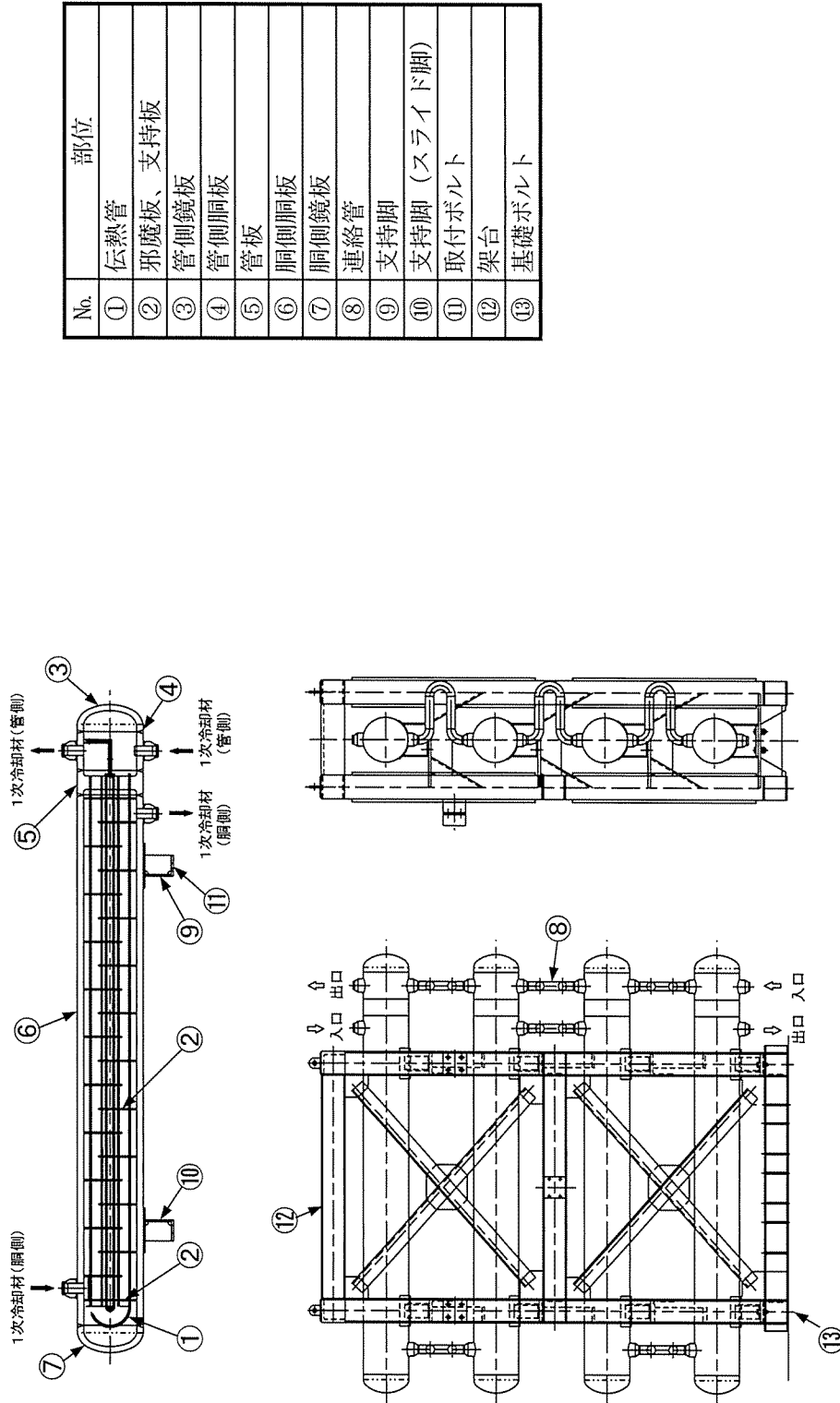


図2.1-1 伊方3号炉 再生熱交換器構造図

表2.1-1 伊方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、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
管側／胴側 バウンダリ構成品	管板	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 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
	架台	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-2 伊方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

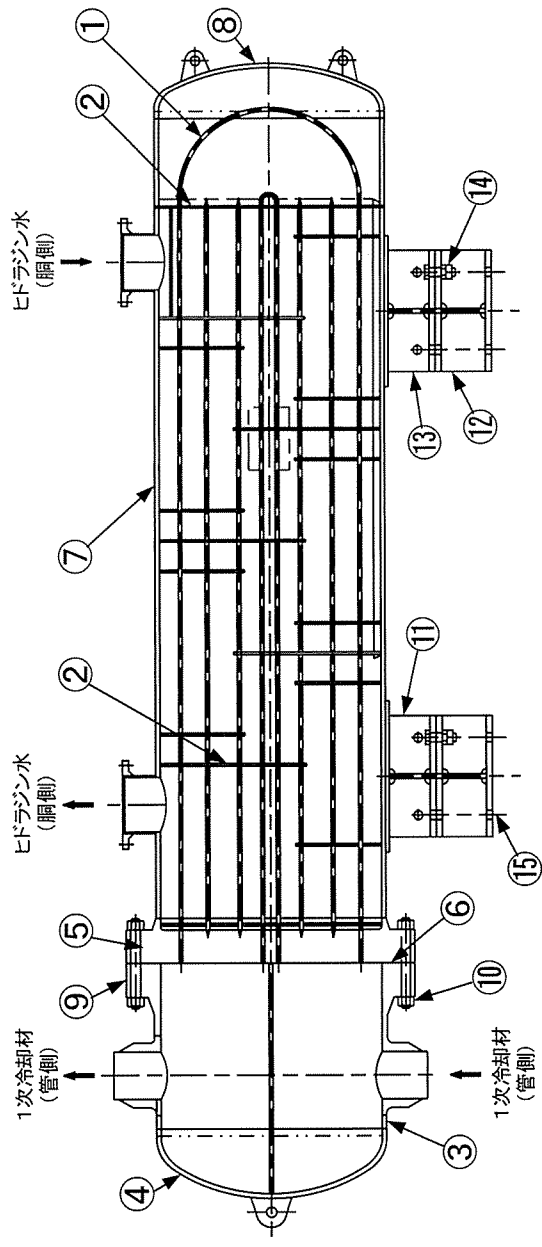
伊方3号炉の余熱除去冷却器は、長さ約6.1m、胴外径約1.3mの横置U字管形熱交換器であり、2台設置されている。

U字管形伝熱管にはステンレス鋼を使用しており、1次冷却材、ヒドラジン水に接液している。管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。胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、ヒドラジン水に接液している。

伊方3号炉の余熱除去冷却器の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の余熱除去冷却器の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



No.	部位
①	伝熱管
②	邪魔板、支持板
③	管側胴板
④	管側鏡板
⑤	管板
⑥	管側ガスケット
⑦	胴側胴板
⑧	胴側鏡板
⑨	管側フランジ
⑩	フランジボルト
⑪	支持脚
⑫	支持脚台
⑬	支持脚 (スライド脚)
⑭	取付ボルト
⑮	基礎ボルト

図2.1-2 伊方3号炉 余熱除去冷却器構造図

表2.1-3 伊方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、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
管側／胴側 バウンダリ構成品	管板	ステンレス鋼
	管側ガスケット	消耗品・定期取替品
胴側耐圧構成品	胴側胴板 胴側鏡板	炭素鋼
胴フランジ構成品	管側フランジ	ステンレス鋼
	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） 支持脚台	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-4 伊方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 燃料取替用水タンク加熱器

(1) 構造

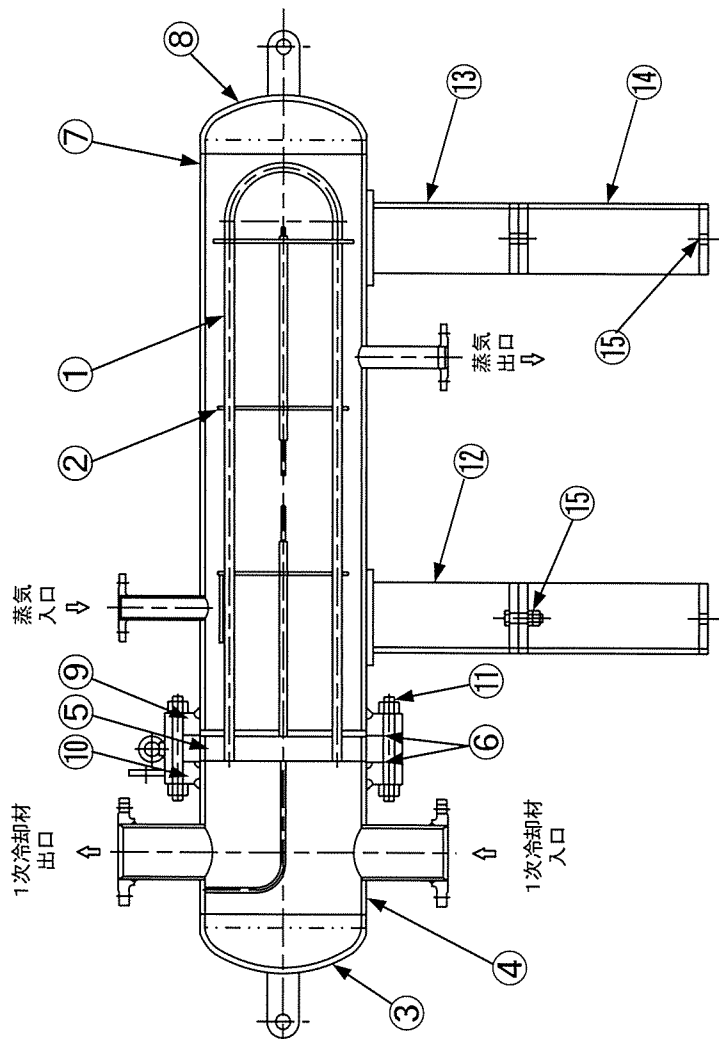
伊方3号炉の燃料取替用水タンク加熱器は、長さ約1.9m、胴外径約0.4mの横置U字管形熱交換器であり、1台設置されている。

U字管形伝熱管にはステンレス鋼を使用しており、1次冷却材、蒸気に接液している。管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。胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、蒸気に接液している。

伊方3号炉の燃料取替用水タンク加熱器の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の燃料取替用水タンク加熱器の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。



No.	部位
①	伝熱管
②	邪魔板、支持板
③	管側鏡板
④	管側洞板
⑤	管板
⑥	ガスケット
⑦	洞側洞板
⑧	洞側鏡板
⑨	洞側フランジ
⑩	管側フランジ
⑪	フランジボルト
⑫	支持脚
⑬	支持脚 (スライド脚)
⑭	支持台
⑮	取付ボルト

図2.1-3 伊方3号炉 燃料取替用水タンク加熱器構造図

表2.1-5 伊方3号炉 燃料取替用水タンク加熱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、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
管側／胴側 バウンダリ構成品	管板	ステンレス鋼
	ガスケット	消耗品・定期取替品
胴側耐圧構成品	胴側胴板	炭素鋼
	胴側鏡板	炭素鋼
胴フランジ構成品	胴側フランジ	炭素鋼
	管側フランジ	ステンレス鋼
	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
	支持台	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼

表2.1-6 伊方3号炉 燃料取替用水タンク加熱器の使用条件

最高使用圧力	(管側) 約0.98MPa[gage]	(胴側) 約0.93MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約95℃	(胴側) 約185℃
内部流体	(管側) 1次冷却材	(胴側) 蒸気

2.1.4 湿分分離加熱器

(1) 構造

伊方3号炉の湿分分離加熱器は、長さ約27m、胴外径約4.3mの横置2段加熱U字管形熱交換器であり、2台設置されている。

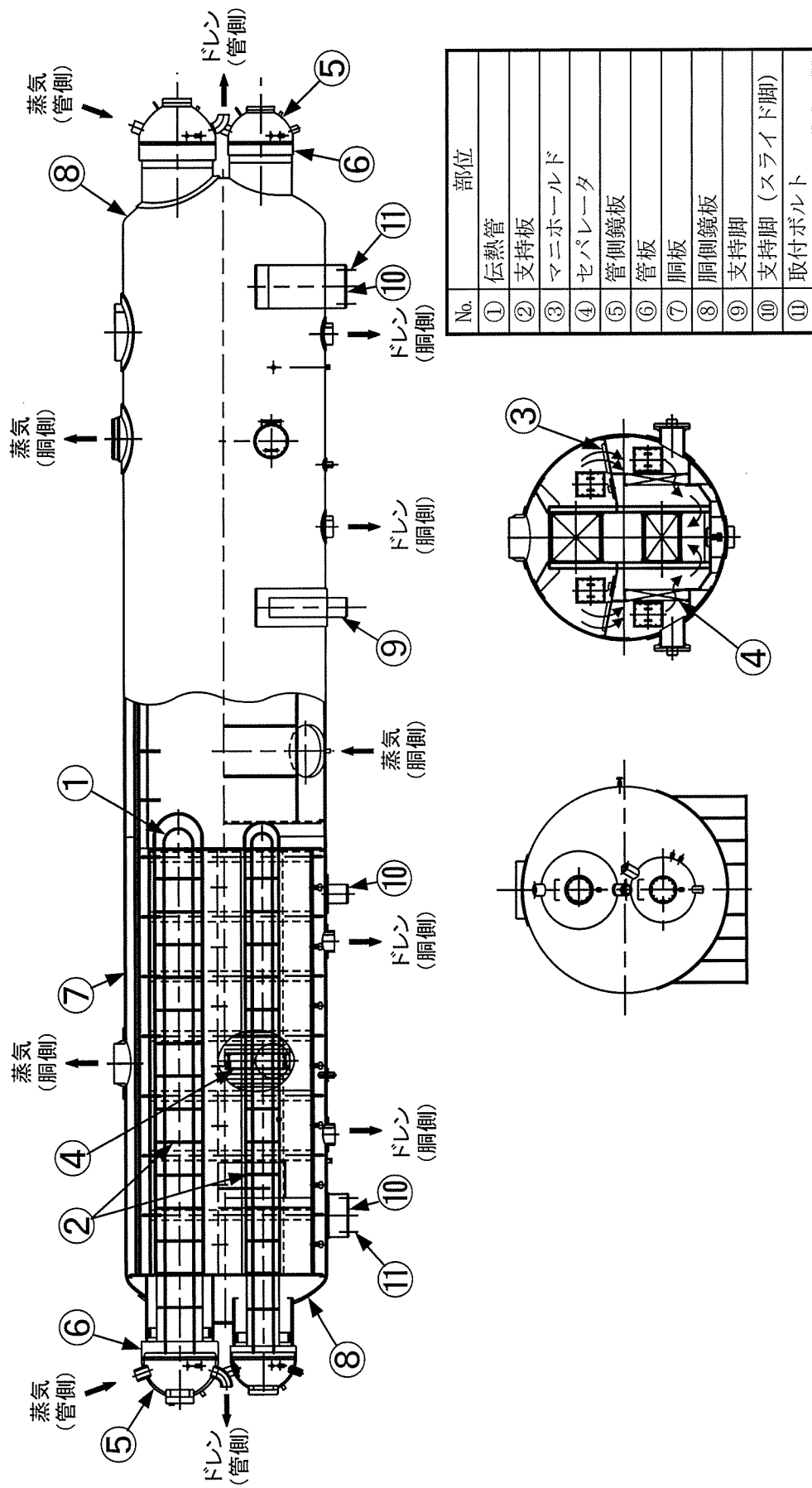
湿分分離加熱器は伝熱管部、加熱蒸気室部、胴部および湿分分離部により構成されている。

U字管形伝熱管には銅合金を使用しており、蒸気およびドレンに接液している。管側耐圧構成品および胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、蒸気およびドレンに接液している。また、高圧タービン排気の湿分を除去するセパレータにはステンレス鋼を使用している。

伊方3号炉の湿分分離加熱器の構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の湿分分離加熱器の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。



No.	部位
①	伝熱管
②	支持板
③	マニホールド
④	セパレータ
⑤	管側鏡板
⑥	管板
⑦	胴板
⑧	胴側鏡板
⑨	支持脚
⑩	支持脚 (スライド脚)
⑪	取付ボルト

図2.1-4 伊方3号炉 湿分分離加熱器構造図

表2.1-7 伊方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	伝熱管	銅合金
流路構成品	支持板	炭素鋼
	マニホールド	炭素鋼
	セパレータ	ステンレス鋼
管側耐圧構成品	管側鏡板	炭素鋼
管側／胴側 バウンダリ構成品	管板	炭素鋼（ニッケル、モネル材内張り）
胴側耐圧構成品	胴板 胴側鏡板	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
	取付ボルト	低合金鋼

表2.1-8 伊方3号炉 湿分分離加熱器の使用条件

最高使用圧力	(管側) 約2.8MPa[gage] * ¹ 約7.5MPa[gage] * ²	(胴側) 約1.5MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約291℃	(胴側) 約291℃
内部流体	(管側) 蒸気・ドレン	(胴側) 蒸気・ドレン

*1：第1段加熱器

*2：第2段加熱器

2.1.5 第6 高圧給水加熱器

(1) 構造

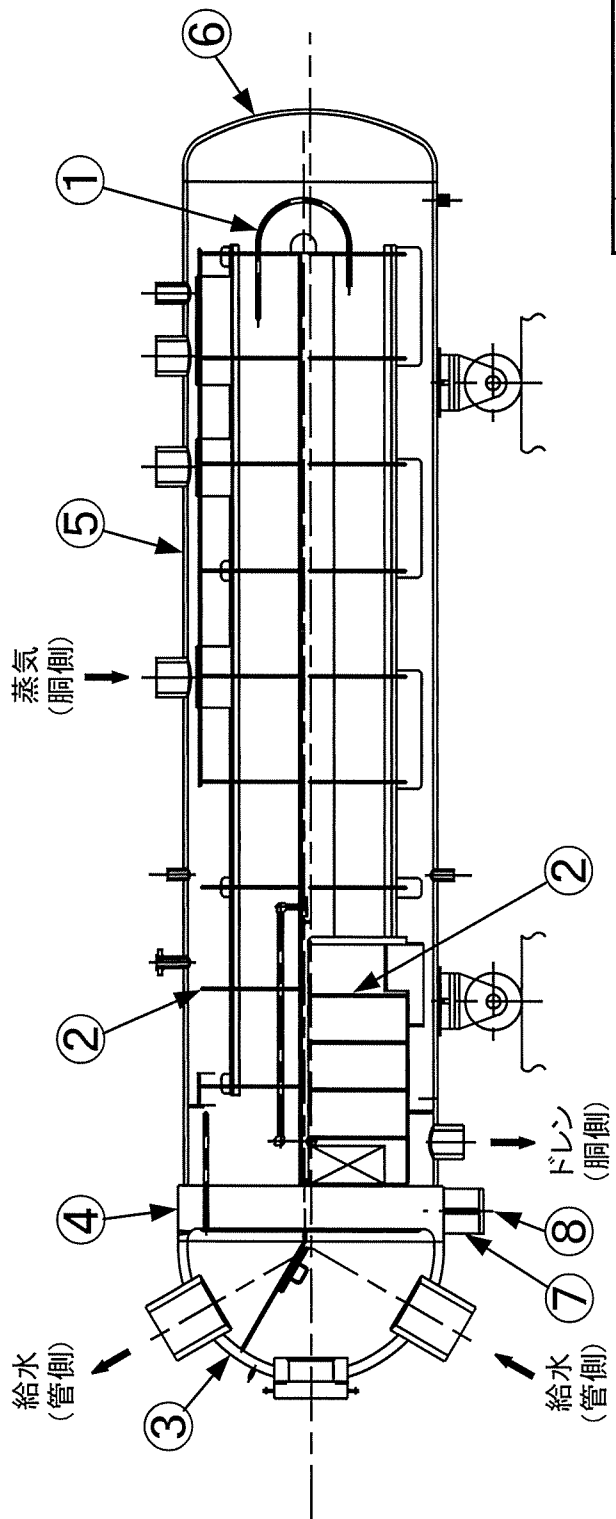
伊方3号炉の第6 高圧給水加熱器は、長さ約10m、胴外径約2.1mの横置U字管形熱交換器であり、2台設置されている。

U字管形伝熱管には銅合金を使用し、給水、蒸気およびドレンに接液している。管側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、給水に接液している。胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、蒸気およびドレンに接液している。

伊方3号炉の第6 高圧給水加熱器の構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の第6 高圧給水加熱器の使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。



No.	部位
①	伝熱管
②	邪魔板、支持板
③	管側鏡板
④	管板
⑤	胴側鏡板
⑥	胴側鏡板
⑦	支持脚
⑧	取付ボルト

図2.1-5 伊方3号炉 第6 高压给水加熟器構造図

表2.1-9 伊方3号炉 第6 高压给水加热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、支持板	炭素鋼
管側耐圧構成品	管側鏡板	炭素鋼
管側／胴側 バウンダリ構成品	管板	炭素鋼（ニッケル、モネル材内張り）
胴側耐圧構成品	胴板 胴側鏡板	炭素鋼
支持構造物組立品	支持脚	炭素鋼
	取付ボルト	低合金鋼

表2.1-10 伊方3号炉 第6 高压给水加热器の使用条件

最高使用圧力	（管側）約10.3MPa[gage]	（胴側）約2.8MPa[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・ドレン

2.1.6 スチームコンバータドレン冷却器

(1) 構造

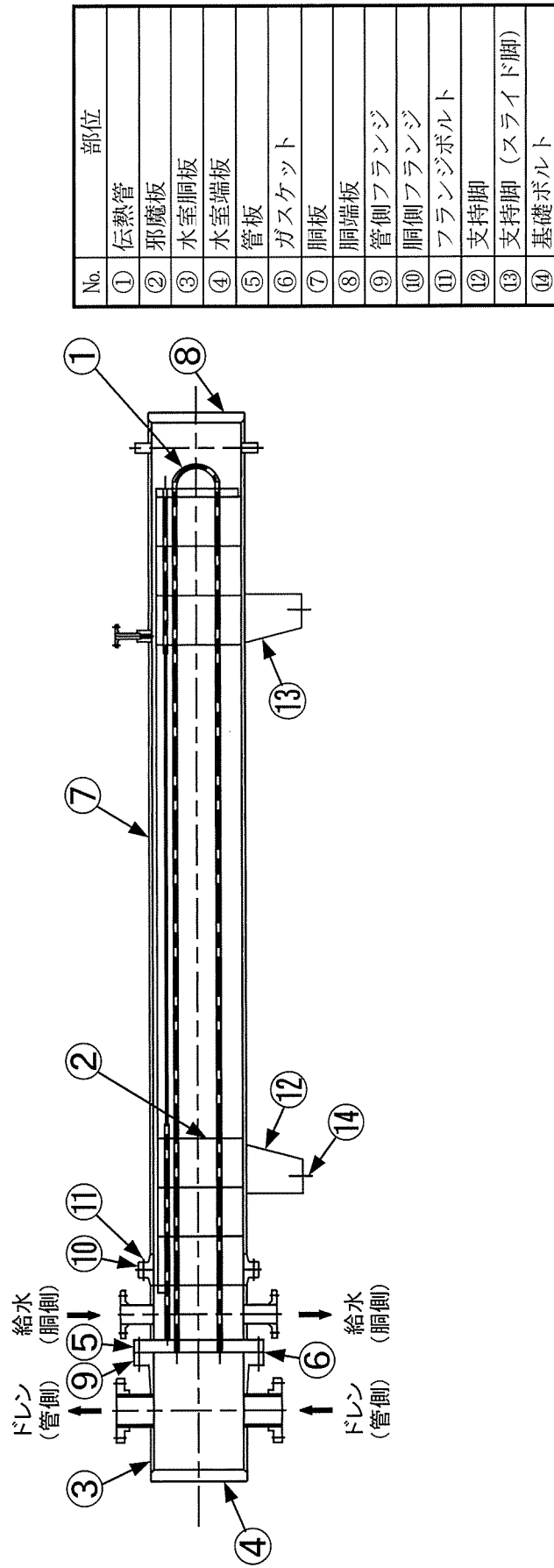
伊方3号炉のスチームコンバータドレン冷却器は、長さ約4.6m、胴外径約0.4mの横置U字管形熱交換器であり、1台設置されている。

U字管形伝熱管には銅合金を使用しており、ドレン、給水に接液している。管側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、ドレンに接液している。胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、給水に接液している。

伊方3号炉のスチームコンバータドレン冷却器の構造図を図2.1-6に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉のスチームコンバータドレン冷却器の使用材料および使用条件を表2.1-11および表2.1-12に示す。



No.	部位
①	伝熱管
②	邪魔板
③	水室胴板
④	水室端板
⑤	管板
⑥	ガスケット
⑦	胴板
⑧	胴端板
⑨	管側フランジ
⑩	胴側フランジ
⑪	フランジボルト
⑫	支持脚
⑬	支持脚 (スライド脚)
⑭	基礎ボルト

図2.1-6 伊方3号炉 スチームコンバータードラム冷却器構造図

表2.1-11 伊方3号炉 スチームコンバータドレン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	水室胴板	炭素鋼
	水室端板	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
胴側耐圧構成品	胴板	炭素鋼
	胴端板	炭素鋼
胴フランジ構成品	管側フランジ	炭素鋼
	胴側フランジ	炭素鋼
	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	炭素鋼

表2.1-12 伊方3号炉 スチームコンバータドレン冷却器の使用条件

最高使用圧力	(管側) 約3.1MPa[gage]	(胴側) 約1.4MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約240℃	(胴側) 約185℃
内部流体	(管側) ドレン	(胴側) 給水

2.1.7 SGBD熱回収装置復水加熱器

(1) 構造

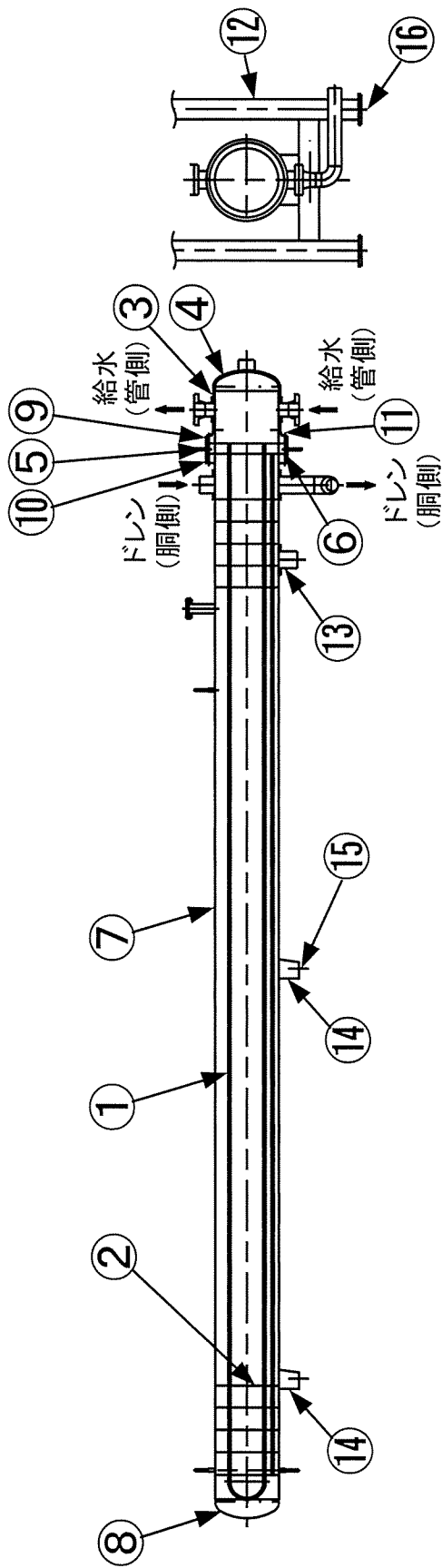
伊方3号炉のSGBD熱回収装置復水加熱器は、長さ約11.1m、胴外径約0.6mの横置2胴U字管形熱交換器であり、2台設置されている。

U字管形伝熱管にはステンレス鋼を使用しており、給水、ドレン（蒸気発生器ブロー水）に接液している。管側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、給水に接液している。胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、蒸気発生器ブロー水に接液している。

伊方3号炉のSGBD熱回収装置復水加熱器の構造図を図2.1-7に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉のSGBD熱回収装置復水加熱器の使用材料および使用条件を表2.1-13および表2.1-14に示す。



No.	部位	No.	部位
①	伝熱管	⑨	管側フランジ
②	邪魔板	⑩	胴側フランジ
③	水室胴板	⑪	フランジボルト
④	水室鏡板	⑫	架台
⑤	管板	⑬	支持脚
⑥	ガスケット	⑭	支持脚 (スライド脚)
⑦	胴板	⑮	取付ボルト
⑧	胴鏡板	⑯	基礎ボルト

図2. I-7 伊方3号炉 SG B B D熱回収装置復水加熱器構造図

表2.1-13 伊方3号炉 SGBD熱回収装置復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	伝熱管	ステンレス鋼
流路構成品	邪魔板	炭素鋼
管側耐圧構成品	水室胴板	炭素鋼
	水室鏡板	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
胴側耐圧構成品	胴板	炭素鋼
	胴鏡板	炭素鋼
胴フランジ構成品	管側フランジ	炭素鋼
	胴側フランジ	炭素鋼
	フランジボルト	低合金鋼
支持構造物組立品	架台	炭素鋼
	支持脚	炭素鋼
	支持脚（スライド脚）	炭素鋼
	取付ボルト	炭素鋼
	基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-14 伊方3号炉 SGBD熱回収装置復水加熱器の使用条件

最高使用圧力	(管側) 約3.8MPa[gage]	(胴側) 約1.5MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約205℃	(胴側) 約205℃
内部流体	(管側) 給水	(胴側) ドレン

2.1.8 スチームコンバータ

(1) 構造

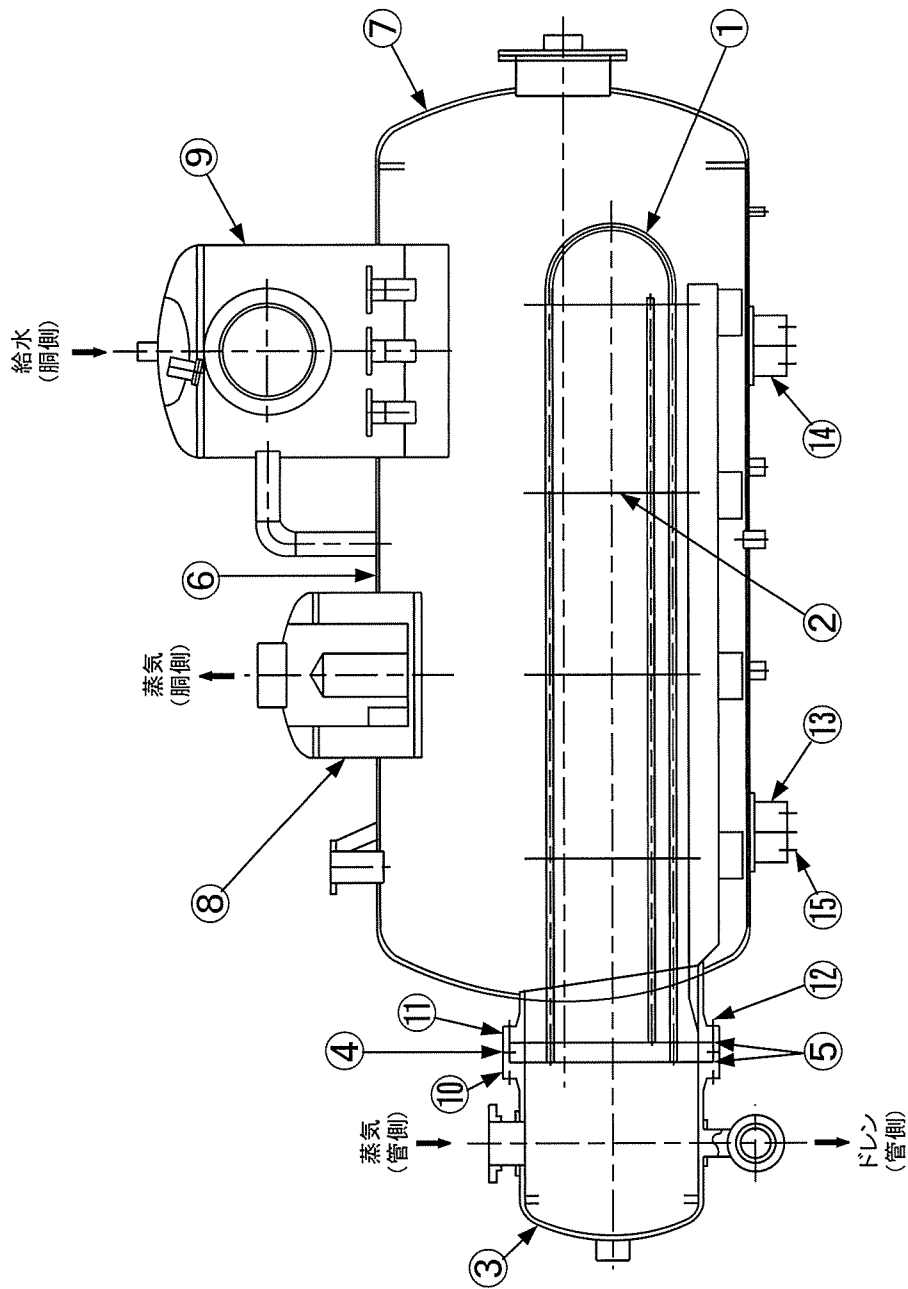
伊方3号炉のスチームコンバータは、長さ約5.8m、胴外径約1.8mの横置U字管形熱交換器であり、1台設置されている。

U字管形伝熱管には銅合金を使用しており、蒸気および給水に接液している。管側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、蒸気およびドレンに接液している。胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、給水および発生蒸気に接液している。

伊方3号炉のスチームコンバータの構造図を図2.1-8に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉のスチームコンバータの使用材料および使用条件を表2.1-15および表2.1-16に示す。



No.	部位
①	伝熱管
②	支持板
③	管側鏡板
④	管板
⑤	胴側、管側ガスケット
⑥	胴板
⑦	胴側鏡板
⑧	分離室胴板
⑨	脱気室胴板
⑩	管側フランジ
⑪	胴側フランジ
⑫	フランジボルト
⑬	支持脚
⑭	支持脚 (スライド脚)
⑮	基礎ボルト

図2.1-8 伊方3号炉 スチームコンバータ構造図

表2.1-15 伊方3号炉 スチームコンバータ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	支持板	炭素鋼
管側耐圧構成品	管側鏡板	炭素鋼
管側／胴側 バウンダリ構成品	管板	炭素鋼
	胴側、管側ガスケット	消耗品・定期取替品
胴側耐圧構成品	胴板 胴側鏡板	炭素鋼
	分離室胴板	炭素鋼
	脱気室胴板	炭素鋼
胴フランジ構成品	管側フランジ	炭素鋼
	胴側フランジ	炭素鋼
	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	炭素鋼

表2.1-16 伊方3号炉 スチームコンバータの使用条件

最高使用圧力	(管側) 約3.1MPa[gage]	(胴側) 約0.9MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約240℃	(胴側) 約185℃
内部流体	(管側) 蒸気	(胴側) 給水

2.1.9 原子炉補機冷却水冷却器

(1) 構造

伊方3号炉の原子炉補機冷却水冷却器は、長さ約11m、胴外径約1.7mの横置直管形熱交換器であり、4台設置されている。

直管形伝熱管には銅合金を使用しており、海水、ヒドラジン水に接液している。胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、ヒドラジン水に接液している。管側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、海水に接液している。

伊方3号炉の原子炉補機冷却水冷却器の構造図を図2.1-9に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の原子炉補機冷却水冷却器の使用材料および使用条件を表2.1-17および表2.1-18に示す。

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

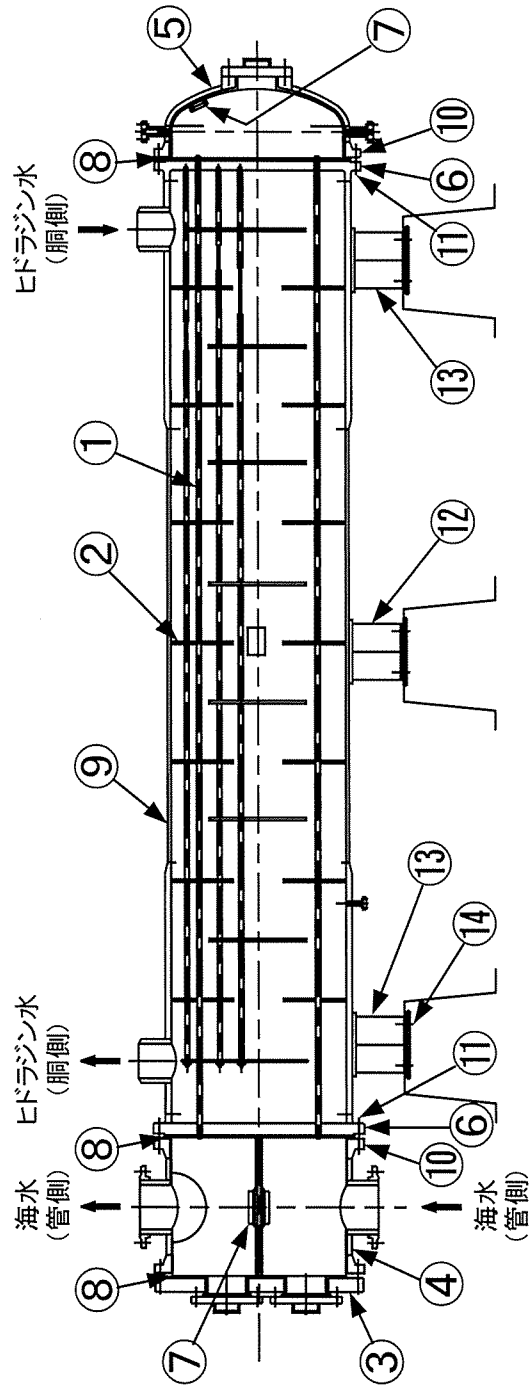


図2.1-9 伊方3号炉 原子炉補機冷却水冷却器構造図

表2.1-17 伊方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
管側/胴側 バウンダリ構成品	管板	炭素鋼+銅合金クラッド
	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
胴側耐圧構成品	胴板	炭素鋼
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	炭素鋼、低合金鋼

表2.1-18 伊方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

2.1.10 グランド蒸気復水器

(1) 構造

伊方3号炉のグランド蒸気復水器は、長さ約4.1m、胴外径約1.2mの横置直管形熱交換器であり、1台設置されている。

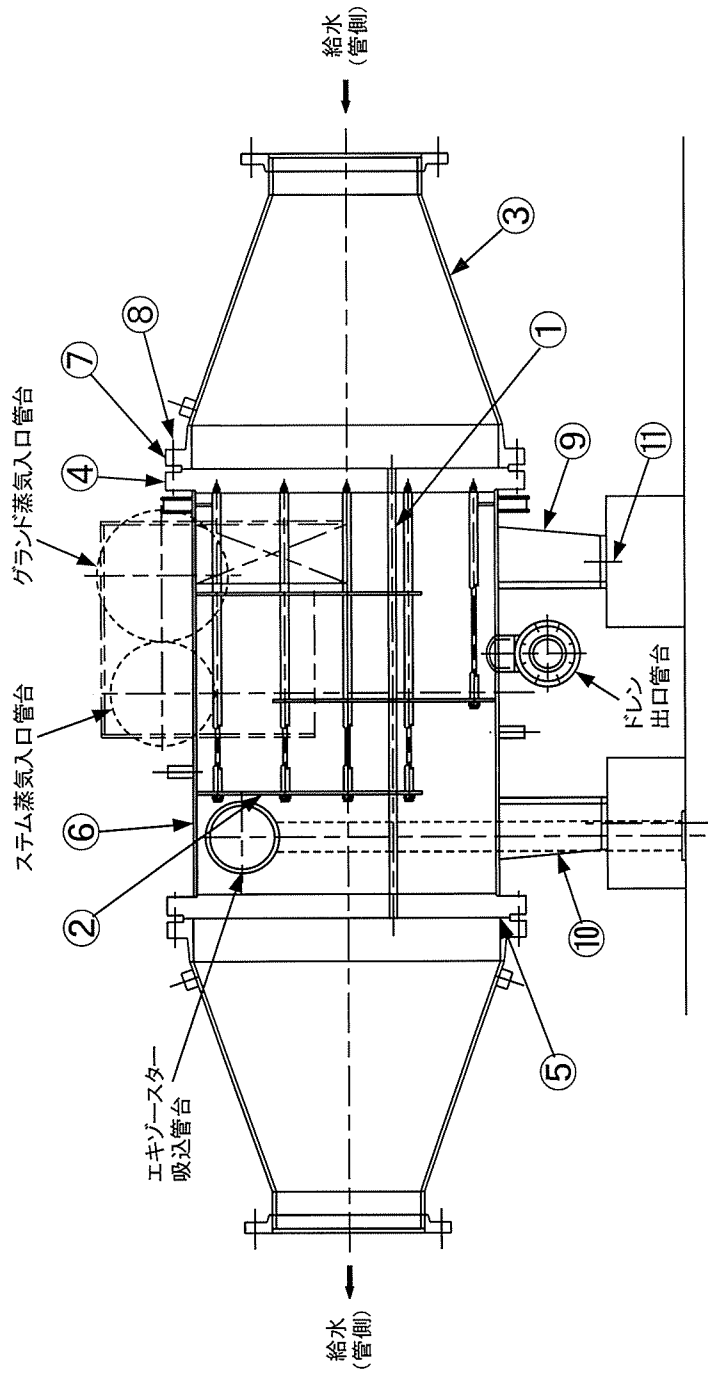
直管形伝熱管にはステンレス鋼を使用しており、給水および蒸気に接液している。管側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、給水に接液している。胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用しており、蒸気およびドレンに接液している。

冷却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。

伊方3号炉のグランド蒸気復水器の構造図を図2.1-10に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉のグランド蒸気復水器の使用材料および使用条件を表2.1-19および表2.1-20に示す。



No.	部位
①	伝熱管
②	邪魔板
③	水室
④	管板
⑤	ガスケット
⑥	胴板
⑦	フランジ
⑧	フランジボルト
⑨	支持脚
⑩	支持脚 (スライド脚)
⑪	取付ボルト

図2.1-10 伊方3号炉 グラント蒸気復水器構造図

表2.1-19 伊方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	伝熱管	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
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
胴側耐圧構成品	胴板	炭素鋼
フランジ構成品	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
	取付ボルト	炭素鋼

表2.1-20 伊方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100℃
内部流体	(管側) 給水	(胴側) 蒸気・ドレン

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（クーラの場合）および加熱機能（ヒータの場合）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）および現在までの運転経験を考慮し、代表機器毎に表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) 管板の疲労割れ [再生熱交換器、余熱除去冷却器]

再生熱交換器およ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2.2-2で△または▲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、また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)または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) 伝熱管の摩耗および高サイクル疲労割れ [共通]

胴側流体および管側流体により伝熱管振動が発生した場合、管支持板部等で伝熱管に摩耗また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、渦流探傷検査等により、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。

(2) 伝熱管の外面腐食（流れ加速型腐食） [共通]

再生熱交換器、余熱除去冷却器、燃料取替用水タンク加熱器、S G B D熱回収装置復水加熱器およ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、渦流探傷検査等により、機器の健全性を確認している。

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

なお、渦流探傷検査等により、機器の健全性を確認している。

湿分分離加熱器、第6高圧給水加熱器、スチームコンバータドレン冷却器およびスチームコンバータの伝熱管は銅合金であり、外部流体による流れ加速型腐食により減肉が想定される。

しかしながら、渦流探傷検査等により、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) 伝熱管の内面腐食（流れ加速型腐食） [共通]

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部的に流速が増大し、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、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、渦流探傷検査等により、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。

再生熱交換器、余熱除去冷却器、燃料取替用水タンク加熱器、SGBD熱回収装置復水加熱器およびグラント蒸気復水器は、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、渦流探傷検査等により、機器の健全性を確認している。

湿分分離加熱器、第6 高圧給水加熱器、スチームコンバータドレン冷却器およびスチームコンバータ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。

しかしながら、渦流探傷検査等により、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。

- (4) 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、燃料取替用水タンク加熱器、S G B D 熱回収装置復水加熱器、グラウンド蒸気復水器、湿分分離加熱器]

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するため、高温（100℃以上）で使用する場合は溶存酸素濃度が0.1ppm以下に低減された流体となっていることから、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の渦流探傷検査等により、機器の健全性を確認している。

- (5) 伝熱管のスケール付着 [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、渦流探傷検査実施前等の洗浄や運転中の流体温度およ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。

- (6) 管側耐圧構成品の海水による腐食（異種金属接触腐食を含む） [原子炉補機冷却水冷却器]

管側流体が海水であり、接液部に銅合金と炭素鋼を使用しているため、長期使用により腐食が想定される。また、管側耐圧構成品の炭素鋼等使用部位には、海水が接するため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等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。

- (7) 管側耐圧構成品の腐食（流れ加速型腐食）〔湿分分離加熱器、第6 高圧給水加熱器、スチームコンバータドレン冷却器、S G B D熱回収装置復水加熱器、スチームコンバータ、グラウンド蒸気復水器〕

湿分分離加熱器、スチームコンバータドレン冷却器、S G B D熱回収装置復水加熱器およびスチームコンバータの高温水または2相流体を内包する水室胴板他の炭素鋼使用部位には、流れ加速型腐食による減肉が想定される。

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。

また、第6 高圧給水加熱器およびグラウンド蒸気復水器の管側耐圧構成品は炭素鋼であり、流れ加速型腐食による減肉が想定される。

しかしながら、内部流体はpH等を管理した脱気水で流れ加速型腐食が発生しがたい環境であり、これまでに有意な流れ加速型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がたい。

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。

- (8) 胴側耐圧構成品等の腐食（流れ加速型腐食）〔燃料取替用水タンク加熱器、第6 高圧給水加熱器、スチームコンバータドレン冷却器、S G B D熱回収装置復水加熱器、スチームコンバータ、グラウンド蒸気復水器〕

高温水または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または寸法計測により、有意な腐食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) 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、燃料取替用水タンク加熱器、第6高圧給水加熱器、スチームコンバータドレン冷却器、SGBD熱回収装置復水加熱器、スチームコンバータ、原子炉補機冷却水冷却器、グラント蒸気復水器〕

胴板、端板、鏡板、フランジ、管板、平板および水室の炭素鋼使用部位は、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、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、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、さらに防水措置（保温）が設置されている場合は防水措置（保温）の状態を確認することにより、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。

- (10) 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〕

高温水または2相流体を内包する胴板他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。

湿分分離加熱器については、セパレータにおいて蒸気の湿分を1%以下とする湿分除去機能を有しており、湿分除去以降では流れ加速型腐食による減肉進行の可能性は十分小さいと考える。

セパレータより上流の部位で蒸気の流路を構成する胴板、胴側鏡板およびマニホールドについては、湿り度も高く、また温度的にも減肉を生ずる域にある。

しかしながら、減肉想定箇所にはステンレス鋼の内張りを実施していることから、減肉進行の可能性はないと考えるが、ステンレス鋼の内張りのない部位については、減肉傾向の監視が必要と考える。

その他胴側の主要な構成品として支持板があり、流れ加速型腐食による穴部の拡大が想定されるが、湿分分離加熱器においては、支持板（管群入口）部での蒸気の湿り度を約1%以下としており、支持板の穴部の減肉拡大の可能性は十分小さいと考える。

現状保全として、胴側については、開放点検時の目視確認または寸法計測により、機器の健全性を維持している。また、有意な腐食が生じている場合には、寸法計測により腐食進行程度を把握し、補修を行っている。

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。

(11) 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が、この事象は内筒付再生熱交換器特有のものである。伊方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ないことから、疲労割れは想定されない。

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、超音波探傷検査および漏えい確認により、機器の健全性を確認している。

(12) フランジボルトの腐食(全面腐食) [余熱除去冷却器、燃料取替用水タンク加熱器、スチームコンバータドレン冷却器、SGBD熱回収装置復水加熱器、スチームコンバータ、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がたい。

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。

(13) 支持脚(スライド脚)の腐食(全面腐食) [共通]

いずれの熱交換器も横置きであり、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、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。

(14) 支持脚等の腐食（全面腐食）〔共通〕

支持脚および架台等は炭素鋼であり、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、塗膜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膜の状態を確認し、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、さらに防水措置（保温）が設置されている場合は防水措置（保温）の状態を確認することにより、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) 取付ボルトの腐食（全面腐食）〔再生熱交換器、余熱除去冷却器、燃料取替用水タンク加熱器、湿分分離加熱器、第6 高圧給水加熱器、S G B D 熱回収装置復水加熱器、グラント蒸気復水器〕

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、塗膜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膜の状態を確認し、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、さらに防水措置（保温）が設置されている場合は防水措置（保温）の状態を確認することにより、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) 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、スチームコンバータドレン冷却器、S G B D 熱回収装置復水加熱器、スチームコンバータ、原子炉補機冷却水冷却器〕

基礎ボルトは炭素鋼または低合金鋼であり、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」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

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。

- (17) 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、余熱除去冷却器およ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がたい環境であり、腐食発生の可能性は小さい。

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。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットおよび防食亜鉛板は開放点検時に取替える消耗品であり、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2.2-2(1/10) 伊方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 (外面) △ ^{*2} (内面) △ ^{*2}	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}		△ ^{*1}	△			△ ^{*3}	*1：高サイクル疲労割れ・摩耗 *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、支持板		ステンレス鋼				△				
	管側鏡板		ステンレス鋼				△				
	管側胴板		ステンレス鋼				△				
	管板		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				△				
	連絡管		ステンレス鋼				△				
	支持脚		炭素鋼				△				
	支持脚 (スライド脚)		炭素鋼				△ ^{*4} △				
機器の支持	架台		炭素鋼			△					
	取付ボルト		炭素鋼			△					
	基礎ボルト		炭素鋼			△					
			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(2/10) 伊方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	(外面)△*2 (内面)△*2	△*1	△			△*3	*1：高サイクル疲労割れ・摩耗 *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着
	邪魔板、支持板		ステンレス鋼				△				*4：スライド部の腐食
バウンダリの維持	管側胴板		ステンレス鋼				△				
	管側鏡板		ステンレス鋼				△				
	管板		ステンレス鋼			○	△				
	管側ガスケット	◎	—								
	胴側胴板		炭素鋼		△(外面) ▲(内面)						
	胴側鏡板		炭素鋼		△(外面) ▲(内面)						
	管側フランジ		ステンレス鋼				△				
	フランジボルト		低合金鋼								
	支持脚、支持脚台		炭素鋼				△				
	支持脚 (スライド脚)		炭素鋼		△*1 △						
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）

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

表2.2-2(3/10) 伊方3号炉 燃料取替用水タンク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	伝熱管		ステンレス鋼	△ ^{*1}	△ ^{*2} (外面) △ ^{*2} (内面)	△ ^{*1}	△			△ ^{*3}	*1：高サイクル疲労割れ ・摩耗 *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、支持板		ステンレス鋼				△				
	管側胴板		ステンレス鋼								
	管側鏡板		ステンレス鋼								
	管板		ステンレス鋼				△				
バウンダリの維持	ガスケット	◎	—								
	胴側胴板		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
	胴側鏡板		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
	胴側フランジ		炭素鋼		△						
	管側フランジ		ステンレス鋼								
	フランジボルト		低合金鋼		△						
	支持脚		炭素鋼		△						
	支持脚 (スライド脚)		炭素鋼		△ ^{*1} △						
	支持台		炭素鋼		△						
	取付ボルト		炭素鋼		△						
機器の支持											

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-2(4/10) 伊方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	伝熱管		銅合金	△ ^{*1}	△ ^{*2} (外面) △ ^{*2} (内面)	△ ^{*1}				△ ^{*3}	*1：高サイクル疲労割れ・摩耗 *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}						
	セパレータ		ステンレス鋼				△				
バウンダリの維持	管側鏡板		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
	管板		炭素鋼 (ニッケル、モネル材内張り)		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
	胴板		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
	胴側鏡板		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
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2.2-2(5/10) 伊方3号炉 第6 高圧給水加熱器に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		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		銅合金	△ ^{*1}	△ ^{*2} (外面) △ ^{*2} (内面)	△ ^{*1}				△ ^{*3}	*1：高サイクル疲労割れ・摩耗 *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着	
	邪魔板、支持板		炭素鋼		△ ^{*2}							
バウンダリの維持	管側鏡板		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)							
	管板		炭素鋼 (ニッケル、モネル材内張り)		△ (外面) △ ^{*2} (内面)							
	胴板		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)							
	胴側鏡板		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)							
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2.2-2(6/10) 伊方3号炉 スチームコンバータードレン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		銅合金	△ ^{*1}	△ ^{*2} (外面) △ ^{*2} (内面)	△ ^{*1}				△ ^{*3}	*1：高サイクル疲労割れ・摩耗 *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着 *4：スライド部の腐食
	邪魔板		炭素鋼		△ ^{*2}						
	水室胴板		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
	水室端板		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
	管板		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
バウンダリの維持	ガスケット	◎	—								
	胴板		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
	胴端板		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
	管側フランジ		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
	胴側フランジ		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
	フランジボルト		低合金鋼		△						
	支持脚		炭素鋼		△						
	支持脚 (スライド脚)		炭素鋼		△ ^{*4} △						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						
	機器の支持										

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-2(7/10) 伊方3号炉 SGBD熱回収装置復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			
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		その他
伝熱性能の確保	伝熱管		ステンレス鋼	△ ^{*1}	△ ^{*2} (外面) △ ^{*2} (内面)	△ ^{*1}	△			△ ^{*3}	*1: 高サイクル疲労割れ・摩耗 *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	水室胴板		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
	水室鏡板		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
	管板		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
	ガスケット	◎	—								
	胴板		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
	胴鏡板		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
機器の支持	管側フランジ		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
	胴側フランジ		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
	フランジボルト		低合金鋼		△						
	架台		炭素鋼		△						
	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		△						
	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. 2-2(8/10) 伊方3号炉 スチームコンバータ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		銅合金	△*1	△*2 (外面) △*2 (内面)	△*1			△*3	*1：高サイクル疲労割れ・摩耗 *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						
バウンダリの維持	管側鏡板		炭素鋼		△ (外面) △*2 (内面)						
	管板		炭素鋼		△ (外面) △*2 (内面)						
	胴側、管側ガスケット	◎	—								
	胴板、胴側鏡板		炭素鋼		△ (外面) △*2 (内面)						
	分離室胴板		炭素鋼		△ (外面) △*2 (内面)						
	脱気室胴板		炭素鋼		△ (外面) △*2 (内面)						
	管側フランジ		炭素鋼		△ (外面) △*2 (内面)						
	胴側フランジ		炭素鋼		△ (外面) △*2 (内面)						
機器の支持	フランジボルト		低合金鋼		△						
	支持脚		炭素鋼		△						
	支持脚 (スライド脚)		炭素鋼		△*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）

表2.2-2(9/10) 伊方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				
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化	その他		
伝熱性能の確保	伝熱管		銅合金	△*1	△*2 (外面) △*2 (内面)	△*1					△*3	*1：高サイクル疲労割れ ・摩耗 *2：流れ加速型腐食 *3：スケール付着
	邪魔板		炭素鋼		▲							*4：異種金属接触腐食を含む *5：スライド部の腐食
バウンダリの維持	管側平板		炭素鋼 (ライニング)		△ (外面) △*1 (内面)							
	管側胴板		炭素鋼 (ライニング)		△ (外面) △*1 (内面)							
	管側鏡板		炭素鋼 (ライニング)		△ (外面) △*1 (内面)							
	管板		炭素鋼 (銅合金クランプ)		△ (外面) △*1 (内面)							
	防食亜鉛板	◎	—									
機器の支持	ガスケット	◎	—									
	胴板		炭素鋼		△ (外面) ▲ (内面)							
	管側フランジ		炭素鋼 (ライニング)		△ (外面) △*1 (内面)							
	フランジボルト		低合金鋼		△							
	支持脚		炭素鋼		△							
	支持脚 (スライド脚)		炭素鋼		△*5 △							
	基礎ボルト		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ではない事象（日常劣化管理事象）
▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

表2.2-2(10/10) 伊方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} (外面) △ ^{*2} (内面)	△ ^{*1}	△			△ ^{*3}	*1: 高サイクル疲労割れ・摩耗 *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		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
	管板		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
	ガスケット	◎	—								
	胴板		炭素鋼		△ (外面) △ ^{*2} (内面)						
	フランジ		炭素鋼		△						
機器の支持	フランジボルト		炭素鋼		△						
	支持脚		炭素鋼		△						
	支持脚 (スライド脚)		炭素鋼		△ ^{*1} △						
	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

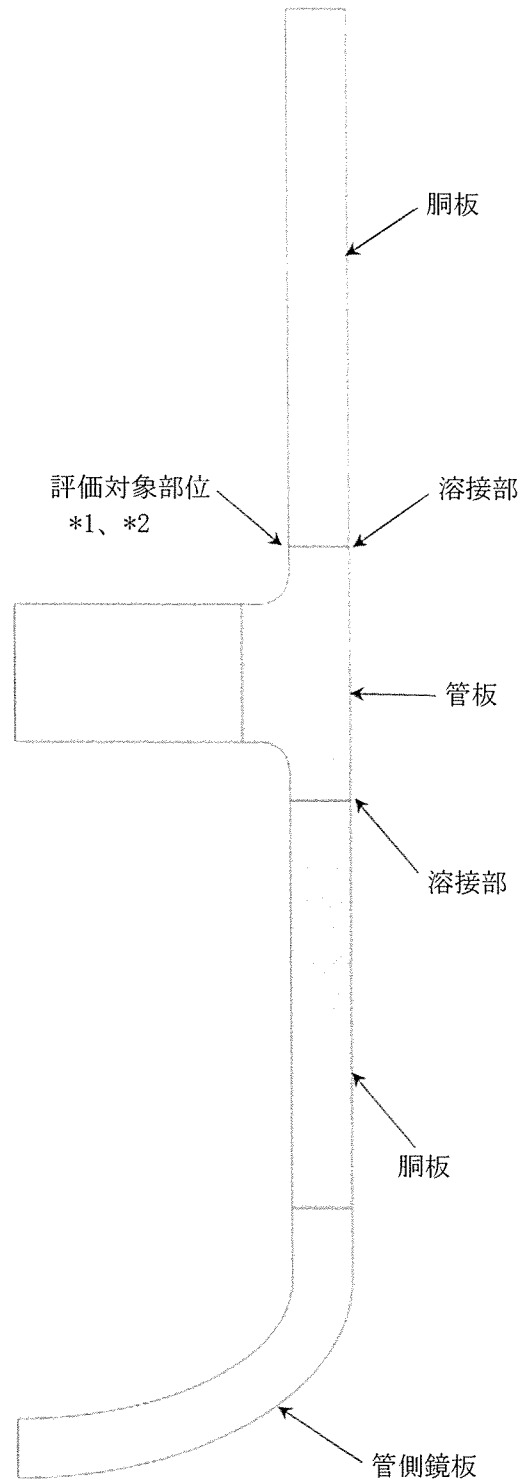
① 健全性評価

管板の健全性評価にあたっては、「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。なお、管板穴部については、ASME Section III Appendix A-8000に基づき応力強さを補正した。

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

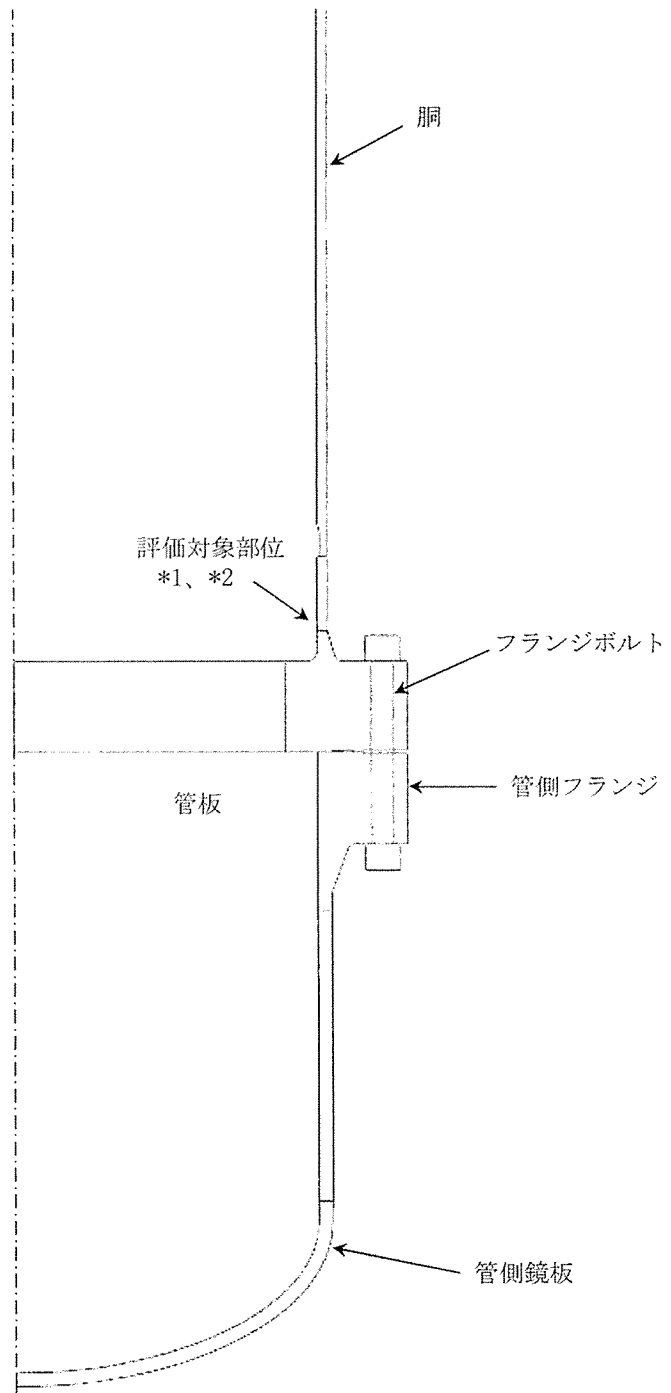
評価点を図2.3-1および図2.3-2に、疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1および表2.3-2に示す。なお、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的に設定した過渡回数とした。

評価結果を表2.3-3に示すが、許容値を満足する結果が得られている。



- *1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)
- *2 : 「環境疲労評価手法」に基づく疲労評価対象部位(最大) (接液部が対象)

図2.3-1 伊方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 伊方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 伊方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年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動	25	69
停止	25	69
抽出ラインの隔離および復帰	0	7
充てんラインの隔離および復帰（保守）	0	2
充てんラインの隔離および復帰（安全注入時）	0	6
充てん流量50%の減少および復帰	167	848
充てん流量50%の増加および復帰	168	881
抽出流量33.3%の減少および復帰	25	69
抽出流量50%の増加および復帰	164	843

表2.3-2 伊方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年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動	25	69
停止	25	69
1次系漏えい試験	21	61

表2.3-3 伊方3号炉 再生熱交換器、余熱除去冷却器の疲労評価結果

機器	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
再生熱交換器	管板部 (ステンレス鋼)	0.088	0.425
余熱除去冷却器	管板部 (ステンレス鋼)	0.032	0.042

② 現状保全

管板の疲労割れに対しては、再生熱交換器は、定期的に漏えい検査を実施し、健全性を確認している。

余熱除去冷却器は、定期的に管板の目視確認により、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、再生熱交換器の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。余熱除去冷却器の疲労割れについては、目視確認で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

再生熱交換器およ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 封水冷却器
- ② 非再生冷却器
- ③ 格納容器スプレイ冷却器
- ④ 余剰抽出冷却器
- ⑤ 第1 低圧給水加熱器
- ⑥ 第2 低圧給水加熱器
- ⑦ 第3 低圧給水加熱器
- ⑧ 第4 低圧給水加熱器

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

プラントの起動・停止時等に発生する1次冷却材のステップ状の大きな温度変化を受ける再生熱交換器およ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 1)または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 伝熱管の摩耗および高サイクル疲労割れ [共通]

胴側流体および管側流体により伝熱管振動が発生した場合、管支持板部等で伝熱管に摩耗また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等を実施し、機器の健全性を維持している。

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

3.2.2 伝熱管の外表面腐食（流れ加速型腐食） [共通]

封水冷却器、非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器および余剰抽出冷却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の伝熱管を使用しているため、外面からの流れ加速型腐食が発生する可能性は小さい。

一方、第1低圧給水加熱器、第2低圧給水加熱器、第3低圧給水加熱器および第4低圧給水加熱器については、系外からの蒸気の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により、機器の健全性を確認している。

3.2.3 伝熱管の内面腐食（流れ加速型腐食） [共通]

封水冷却器、非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、余剰抽出冷却器、第1低圧給水加熱器の一部および第2低圧給水加熱器の一部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。

一方、第1低圧給水加熱器の一部、第2低圧給水加熱器の一部、第3低圧給水加熱器および第4低圧給水加熱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。

しかしながら、管内流体の流速が十分に遅いことから内面からの流れ加速型腐

食発生の可能性は小さい。

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。

3.2.4 伝熱管等ステンレス鋼使用部位の応力腐食割れ [封水冷却器、非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、余剰抽出冷却器、第1 低圧給水加熱器、第2 低圧給水加熱器]

封水冷却器、非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、余剰抽出冷却器、第1 低圧給水加熱器および第2 低圧給水加熱器の伝熱管等のステンレス鋼使用部位には、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等により、機器の健全性を確認している。

3.2.5 伝熱管のスケール付着 [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、開放点検時の渦流探傷検査実施前の洗浄や運転中の流体温度およ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 支持脚（スライド脚）の腐食（全面腐食） [封水冷却器、非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、第1 低圧給水加熱器、第2 低圧給水加熱器、第3 低圧給水加熱器、第4 低圧給水加熱器]

いずれの熱交換器においても、支持脚（スライド脚）の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、封水冷却器、非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、第3 低圧給水加熱器および第4 低圧給水加熱器については、定期的に見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、第1 低圧給水加熱器および第2 低圧給水加熱器は復水器内に炭素鋼の支持脚（スライド脚）があり、復水器内はpH等を管理した脱気水（蒸気）で腐食が

発生しがたい環境であり、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がたい。

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、第1 低圧給水加熱器および第2 低圧給水加熱器についても、定期的を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。

3.2.7 支持脚等の腐食（全面腐食）〔共通〕

支持脚および支持脚台は炭素鋼であり、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、塗膜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膜の状態を確認し、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。

また、第1 低圧給水加熱器および第2 低圧給水加熱器は復水器内に炭素鋼の支持脚があり、復水器内はpH等を管理した脱気水（蒸気）で腐食が発生しがたい環境であり、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がたい。

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

なお、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、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、機器の健全性を確認している。

3.2.8 取付ボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕

取付ボルトは炭素鋼または低合金鋼であり、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、塗膜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膜の状態を確認し、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。

3.2.9 胴側耐圧構成品等の腐食（流れ加速型腐食）〔第1 低圧給水加熱器、第2 低圧給水加熱器、第3 低圧給水加熱器、第4 低圧給水加熱器〕

高温水または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、胴側外面から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、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 胴板等の外面からの腐食（全面腐食）〔共通〕

胴板、フランジ、鏡板および水室の炭素鋼使用部位は、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、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、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。

3.2.11 胴側耐圧構成品等の腐食（全面腐食）〔封水冷却器、非再生冷却器、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）で腐食が発生しがたい環境であり、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がたい。

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。

3.2.12 フランジボルトの腐食（全面腐食）〔封水冷却器、非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、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がたい。

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。

3.2.13 管側耐圧構成品の腐食（流れ加速型腐食）〔第1 低圧給水加熱器、第2 低圧給水加熱器、第3 低圧給水加熱器、第4 低圧給水加熱器〕

管側耐圧構成品は炭素鋼であり、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腐食が発生しがたい環境であり、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がたい。

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。

3.2.14 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔封水冷却器、非再生冷却器、格納容器スプレイ冷却器、余剰抽出冷却器〕

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」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

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

3.2.15 胴側耐圧構成品等の腐食（全面腐食）〔格納容器スプレイ冷却器〕

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、格納容器スプレイ冷却器の内部流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）で内面の腐食が発生しがたい環境であり、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がたい。

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。

2 蒸気発生器

[対象機器]

- ① 蒸気発生器

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 蒸気発生器の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	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. 技術評価対象機器

伊方3号炉で使用されている蒸気発生器の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 伊方3号炉 蒸気発生器の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件 (1次側/2次側)		
		運転状態	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
蒸気発生器 (3)	PS-1 重*2	連続	約17.2/ 約7.5	約343/ 約291

*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および構造物であることを示す。

2. 蒸気発生器の技術評価

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 蒸気発生器

(1) 構造

伊方3号炉の蒸気発生器は、高さ約21m、上部胴内径約4.3m、下部胴内径約3.3mのたて置きU字管式熱交換器であり、3台設置されている。

U字型伝熱管には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内張り、管板1次側面にはニッケル基合金内張りをしており、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。

伊方3号炉の蒸気発生器の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の蒸気発生器の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

No.	部位
①	伝熱管
②	管板
③	冷却材出入口管台セーフエンド
④	1次側鏡板
⑤	1次側マンホール
⑥	ガスケット
⑦	管支持板
⑧	振止め金具 (AVB)
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	気水分離器
⑰	湿分分離器
⑱	給水リング (Jチューブ)
⑲	サーマルスリーブ
⑳	マンホール用ボルト

(注) 冷却材出入口管台セーフエンド③と1次側マンホール⑤および仕切板⑨の位置関係は正確ではない(冷却材出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③、⑤、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。

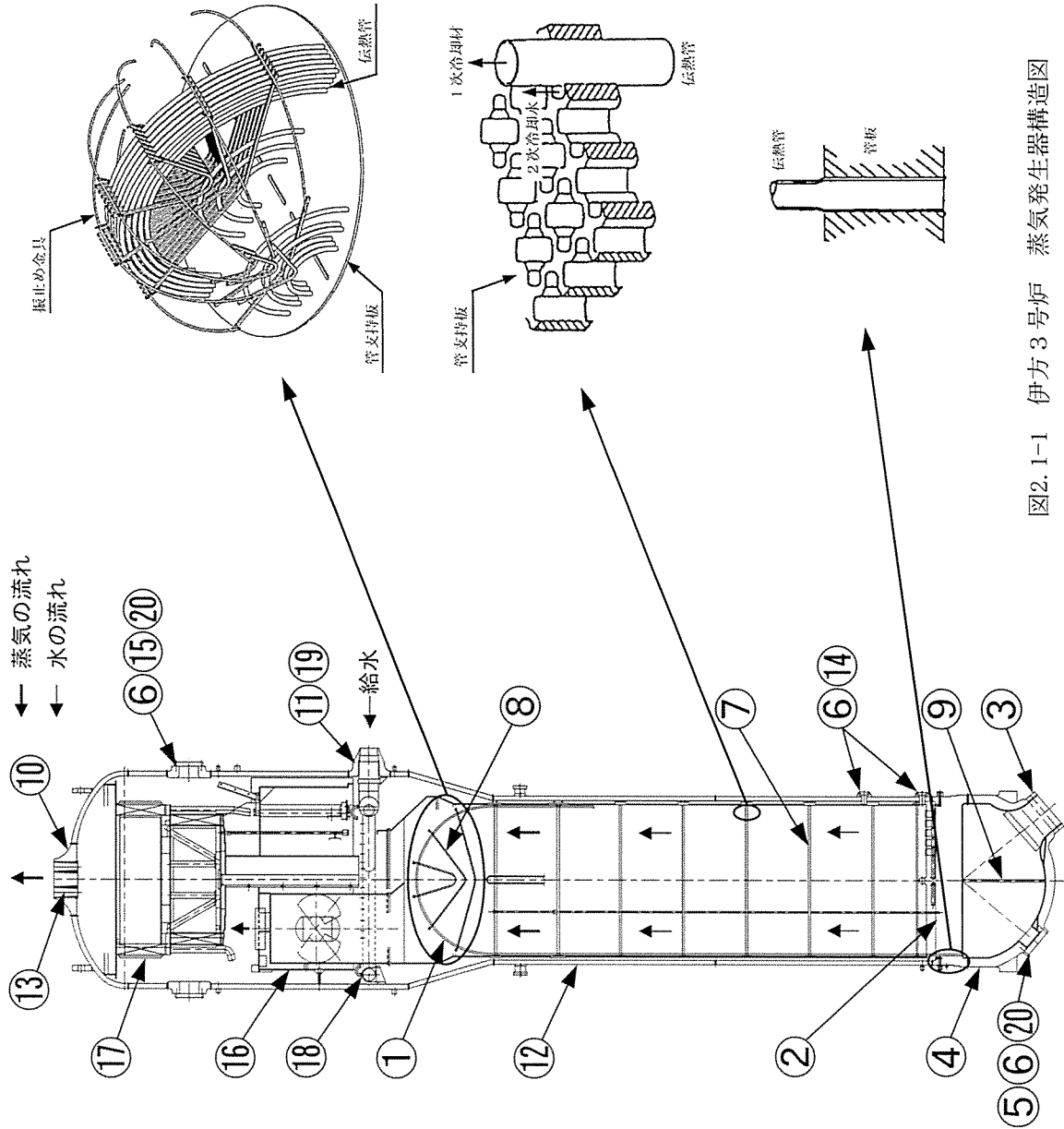


図2.1-1 伊方3号炉 蒸気発生器構造図

表2.1-1 伊方3号炉 蒸気発生器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	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	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
		振止め金具 （AVB）	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	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
		湿水分離器	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 伊方3号炉 蒸気発生器の使用条件

	1次側	2次側
最高使用圧力	約17.2MPa[gage]	約7.5MPa[gage]
最高使用温度	約343℃	約291℃
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

なお、機器の支持については「機械設備の技術評価書」にて評価する。

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）およ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) 管板およ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次冷却材または給水の温度、圧力および流量変化により、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まわりおよ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△または▲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、また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)または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の経験から図2.2-1に示すような経年劣化事象が想定される。損傷モード毎に以下に事象の説明を行う。

① 振止め金具（AVB：Anti Vibration Bar）部摩耗

AVBによる伝熱管の支持が不十分な場合、伝熱管の外周を流れる流体によって伝熱管が振動し、AVBと接触を繰り返すことにより生じる2次側表面から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AVBに対し、伊方3号炉の蒸気発生器では3本組AVBを採用しており、伝熱管の支持状態は向上している。

曲げ半径の大きい伝熱管において、3本組AVB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、AVB部に摩耗減肉が発生する可能性は否定できないが、AVB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給水 (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とが重畳し、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、伊方3号炉の蒸気発生器では、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 ピッチング (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、ピッチングが発生する可能性は小さい。

④ 管板直上部腐食損傷

拡張管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)、爆発拡張管等の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ク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、爆発拡張管等のプラントについては拡張管による残留応力およ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、国内の伝熱管では、これまでの渦流探傷検査で同損傷は認められていない。

伊方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、かつ液圧拡張管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 フレッキング疲労

AVBの挿入不足により、伝熱管の外表面を流れる流体によって伝熱管が振動し、最上段管支持板部等で2次側表面からフレッキ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、AVB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、フレッキング疲労による破断が発生する可能性は小さい。

⑥ 管板拡管部およ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、伊方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要因により発生するが、伊方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、内圧および熱伸び差による作用応力も小さく、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

⑧ デンティン

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、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、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。伊方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、国内の伝熱管ではデンティンによる損傷が発生していないことも勘案して、デンティン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されている。

しかしながら、伊方3号炉については、2次側水質はAVTおよびETA (ethanolamine : エタノールアミン) 処理で管理しており、給水の水質をpH8.9～9.7と適切な管理により鉄持込量を抑制するとともに、スケール対策のため、第15回定期検査時(2019～2021年度)に希薄薬液洗浄(ASCA : Advanced Scale Conditioning Agent cleaning)を実施している。

また、伊方3号炉の鉄持込量については、蒸気発生器内で回収したスケールの稠密層厚さが小さく伝熱管との摩耗試験を行ったところ伝熱管に有意な摩耗減肉を発生させるようなスケールは確認されなかった大飯4号炉の鉄持込量と比較して、十分小さいことを確認している。今後は計画的に希薄薬液洗浄(ASCA)を実施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、計画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15回定期検査時(2019～2021年度)に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。

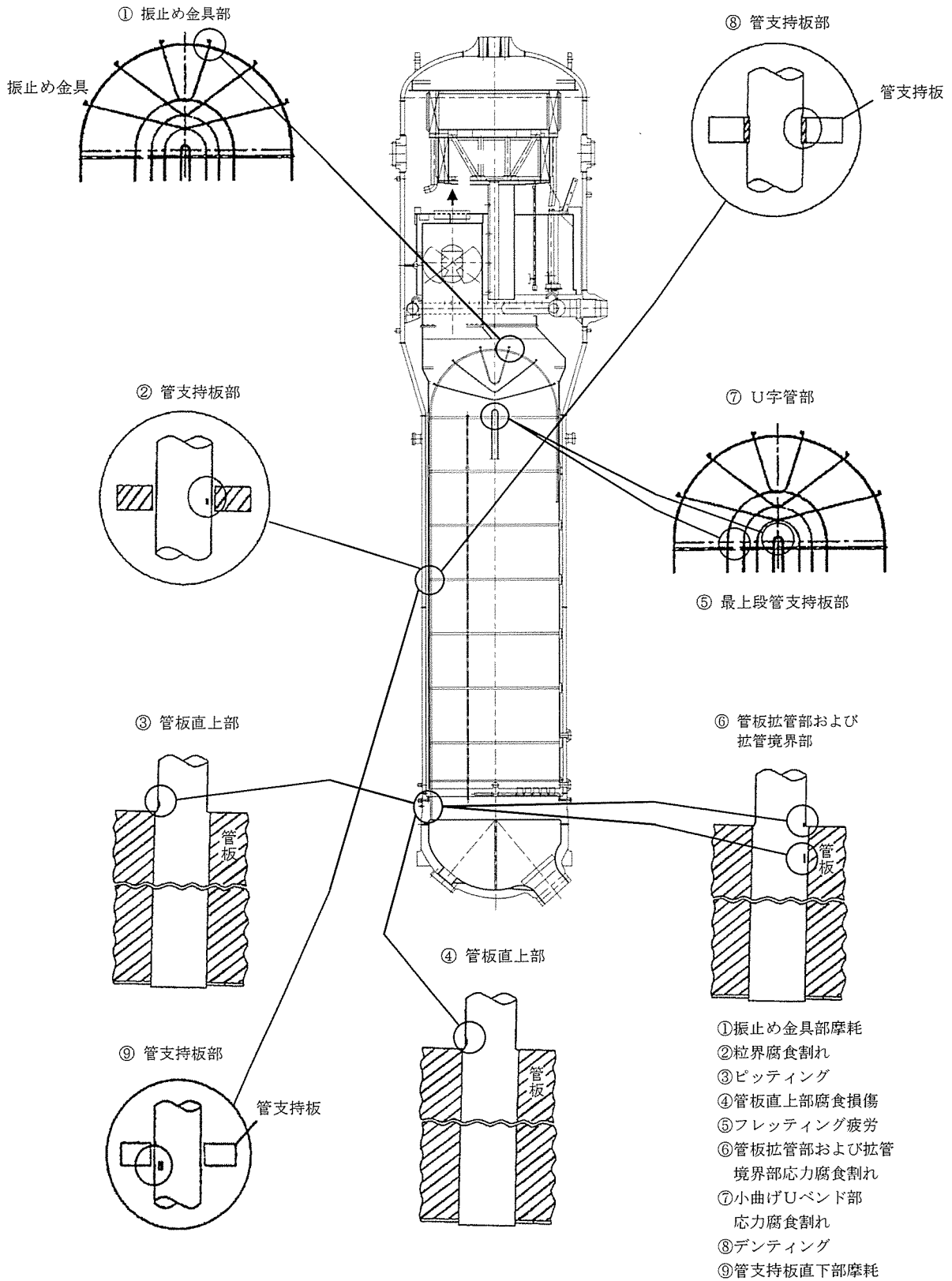


図2.2-1 伊方3号炉 蒸気発生器伝熱管の損傷が想定される部位

(2) 伝熱管の管板クレビス部応力腐食割れ

伝熱管は液圧拡管としており、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、渦流探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(3) 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15回定期検査時（2019～2021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、BEC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BEC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、伊方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、渦流探傷検査信号による閉塞率評価を実施し、スケール付着傾向を監視するとともに、必要に応じてカメラによる目視確認により、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15回定期検査時（2019～2021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、製作時に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の応力腐食割れは、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、伊方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および超音波ショットピーニング（応力緩和）を実施しており、応力腐食割れが発生する可能性は小さいと考える。

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

なお、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等により有意な欠陥がないことを確認し、漏えい試験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およ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）を実施している。その他の部位については、他プラントの蒸気発生器を1994年に取替えた際の実験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および浸透探傷検査を、仕切板、管板1次側内張りおよびその他部位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、漏えい確認を実施し、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 伊方3号炉 蒸気発生器 600系ニッケル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。	第16回定期検査時(2022~2023年度)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}
	水室鏡板と仕切板の溶接		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}
	冷却材出入口管台内張り	高	低 ^{*3}	無	③	第11回定期検査時(2008年度)に超音波ショットピーニングによる予防保全措置を実施。発生の可能性は十分低い。	第11回定期検査時(2008年度)に渦流探傷検査。異常認められず。
	冷却材出入口管台とセーフ エンドの溶接	高	低 ^{*3}	無	③	第11回定期検査時(2008年度)に超音波ショットピーニングによる予防保全措置を実施。発生の可能性は十分低い。	第11回定期検査時(2008年度)に渦流探傷検査。異常認められず。

(総合評価)

- ① 高温、高応力の部位
- ② 低温、高応力または高温、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、高応力または高温、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900MW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実施しており、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

2次側構成品のうち、炭素鋼または低合金鋼を使用している蒸気出口管台、給水入口管台、2次側胴板、検査用穴、2次側マンホール、気水分離器、湿水分離器、給水リング、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) およびETA (ethanolamine:エタノールアミン) 処理で管理しており、給水の溶存酸素濃度を5 ppb以下、pH8.9~9.7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 [発電設備技術検査協会「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〔総括版〕平成5年度」] となり、腐食量としては無視できるものである。

また、運転時間10万時間を経過した他プラントの旧蒸気発生器において、腐食の可能性のある炭素鋼製の湿水分離器の調査を行った結果、断面のマクロ観察によっても腐食など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チューブおよびサーマルスリーブである。

気水分離器、給水リングおよびサーマルスリーブ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°C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、2次側内部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がたい。

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。

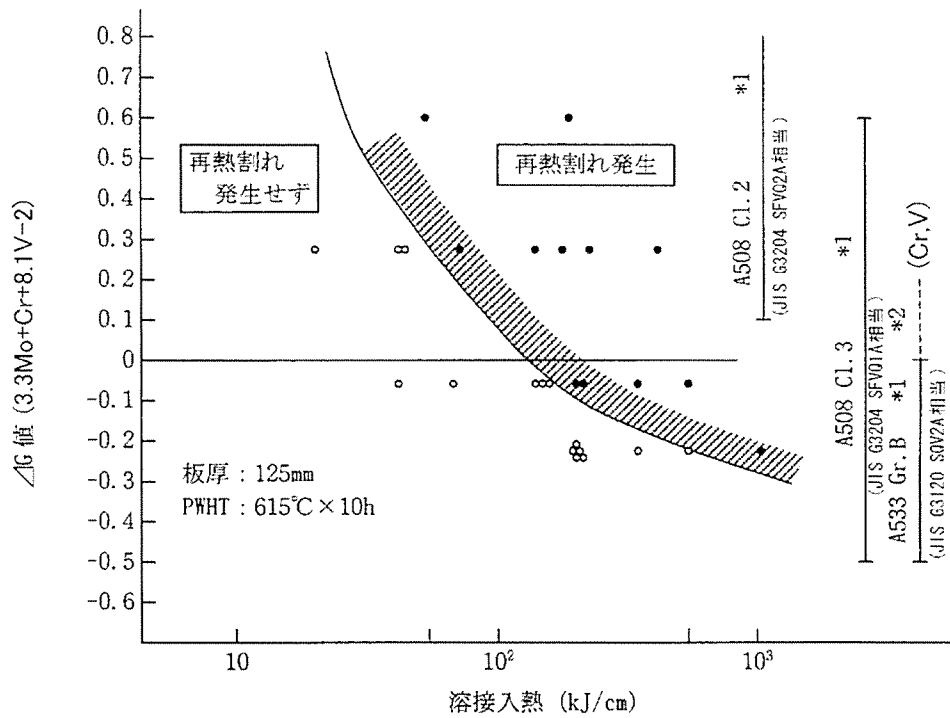
なお、開放点検時の目視確認等により、機器の健全性を確認している。

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亀裂

1次側鏡板および管板には低合金鋼を用いており、ステンレス鋼またはニッケル基合金の内張りを施している。一部の低合金鋼（SA-508 Class2）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亀裂が発生することが米国PVRC（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。

伊方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、亀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値および溶接入熱の影響

[出典：三菱重工技報 Vol.14 No.1 (1977-1)]

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットは、開放点検時に取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2.2-2 伊方3号炉 蒸気発生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			
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力疲労割れ	熱時効		劣化	その他
伝熱性能の確保	伝熱管 ^{*A}		690系ニッケル基合金 (特殊熱処理材)	△ ^{*1,*2}	△ ^{*3}	△ ^{*4}	△ ^{*5,*6,*7}		△ ^{*8,*9}	*1: 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	
	管支持板 ^{*C}		ステンレス鋼						△ ^{*9}		
	振止め金具 ^{*C}		ステンレス鋼	△ ^{*1}							
バウングダリの維持	冷却材出入口管台 セーフエント ^{*B}		ステンレス鋼 600系ニッケル基合金(合金)				△ (ステンレス鋼 △ (600系ニッケル基合金)				*4: フレッシング疲労割れ *5: 管板拡管部および拡管 境界部応力腐食割れ
	1次側鏡板 ^{*B}		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り)						▲ ^{*10}	*6: 小曲げUベン下部 応力腐食割れ *7: クレビス部応力腐食 割れ	
	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(張り))			○	△ ^{*11}		▲ ^{*10}	*8: テンディング *9: スケール付着	
	マンホール用ボルト ^{*B,*C}		低合金鋼		△					*10: 内張り下層部の亀裂	
	ガスケット ^{*B,*C}	◎	—							*11: 内張り部応力腐食割れ *12: 流れ加速型腐食	
	仕切板 ^{*B}		600系ニッケル基合金								
	蒸気出口管台 ^{*C}		低合金鋼		△ ^{*12}						
	給水入口管台 ^{*C}		低合金鋼		△ ^{*12}	○					
	2次側胴板 ^{*C}		低合金鋼		△						
	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		△ ^{*12}							
湿水分離器 ^{*C}		炭素鋼		△							
給水リング(Jチューブ) ^{*C}		炭素鋼、低合金鋼		△ ^{*12}							
サーマルスリーブ ^{*C}		炭素鋼		△ ^{*12}							

○：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 管板およ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

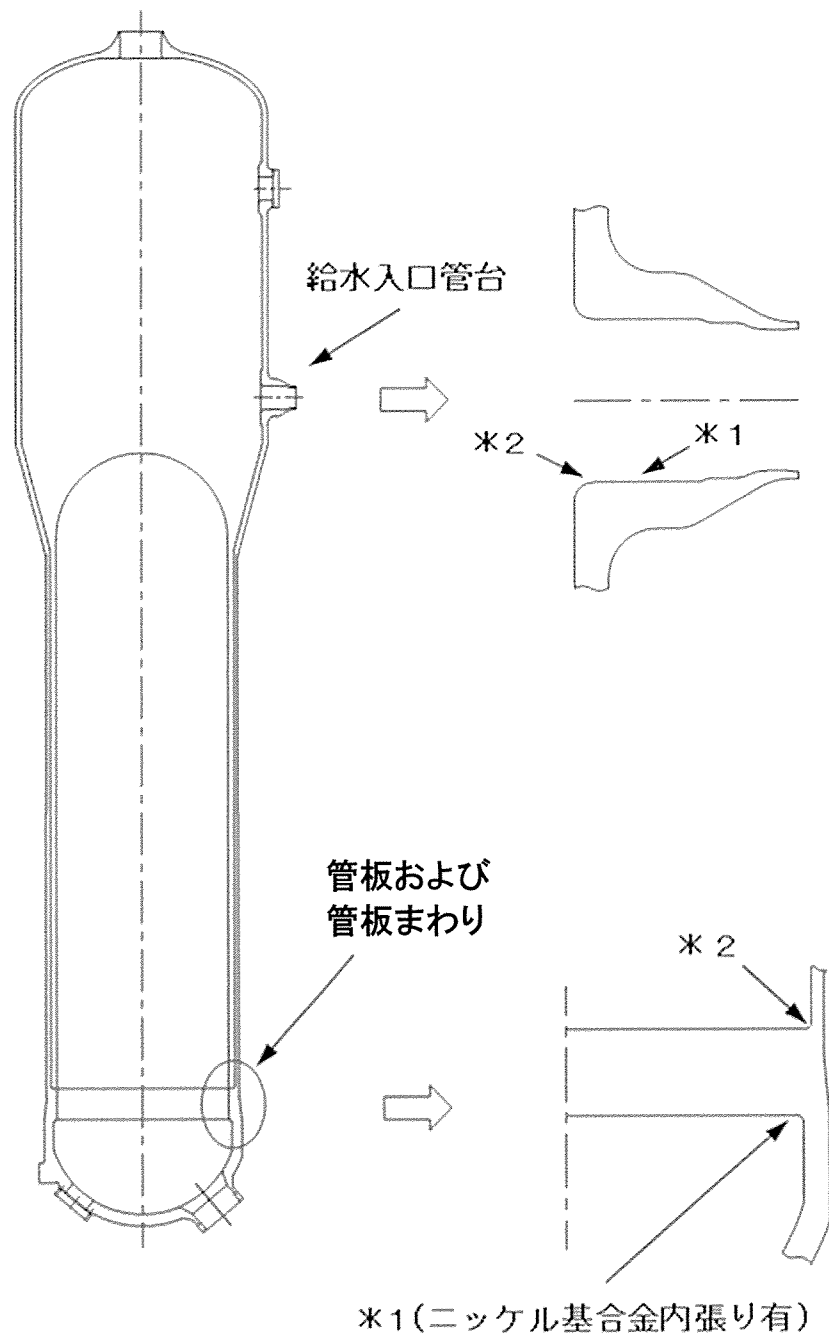
① 健全性評価

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まわりおよび給水入口管台を対象として、「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、「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、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的に設定した過渡回数とした。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。



*1：「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)

(非接液部の場合は () 内に理由を記載)

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

図2.3-1 伊方3号炉 蒸気発生器管板および給水入口管台の疲労評価対象部位

表2.3-1 伊方3号炉 蒸気発生器管板およ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年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動（温度上昇率55.6℃/h）	25	69
停止（温度下降率55.6℃/h）	25	69
負荷上昇（負荷上昇率5%/min）	164	843
負荷減少（負荷減少率5%/min）	157	836
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	5
定常負荷運転時の変動*1	—	—
燃料交換	16	69
0%から15%への負荷上昇	25	67
15%から0%への負荷減少	19	64
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	—	1513

運転状態Ⅱ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	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	5	5
1次系漏えい試験	21	61
2次系漏えい試験	—	61*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次系冷却材温度は±1.7℃、1次冷却材圧力は±0.34 MPa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 伊方3号炉 蒸気発生器管板および給水入口管台の疲労評価結果

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
管板まわり (低合金鋼) (ニッケル基合金内張り)	0.157	0.181 ^{*1}
給水入口管台 (低合金鋼)	0.159	0.851 ^{*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、定期的に漏えい試験を実施し、健全性を確認している。さらに、高経年化技術評価に合わせて、実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、疲労割れ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

管板およ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. 技術評価対象機器	1
2. 脱気器の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	5

1. 技術評価対象機器

伊方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 伊方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		
		運転状態	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
脱気器 (1)	高*2	連続	約1.5	約205

*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、または最高使用圧力が1900kPa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、材料および使用条件

2.1.1 脱気器

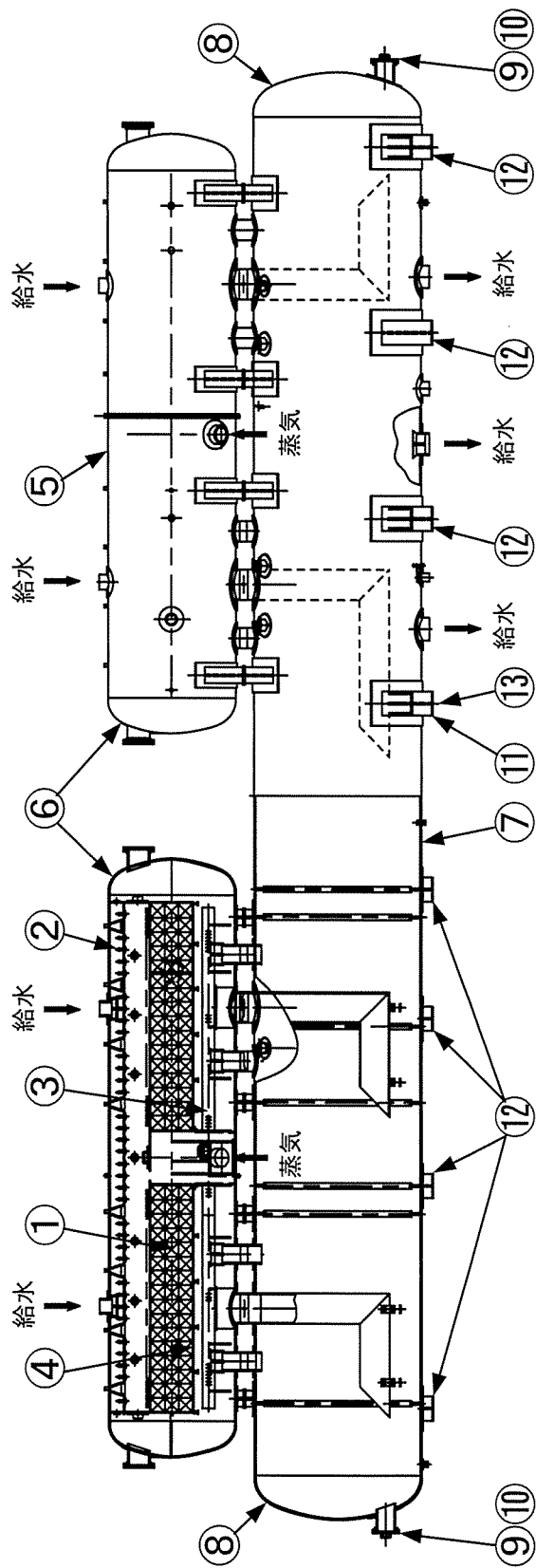
(1) 構造

伊方3号炉の脱気器は、加熱器側長さ約17m、胴外径約3.5m、タンク側長さ約40m、胴外径約4.6mであり、給水と蒸気との直接接触式熱交換器がタンクの上に2台設置されている。胴側耐圧構成品には炭素鋼を使用し、トレイおよびスプレイ弁にはステンレス鋼を使用しており、それぞれ蒸気、ドレンおよび給水に接液している。

伊方3号炉の脱気器の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の脱気器の使用材料および使用条件を表2.1-1、表2.1-2に示す。



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

図2.1-1 伊方3号炉 脱気器構造図

表2.1-1 伊方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	蒸気噴射管	ステンレス鋼、炭素鋼
	グレーチング	炭素鋼
加熱器 耐圧構成品	加熱器胴板	炭素鋼
	加熱器鏡板	
タンク 耐圧構成品	タンク胴板 タンク鏡板 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 伊方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1.5MPa[gage]	約1.5MPa[gage]
最高使用温度	約205℃	約205℃
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、圧力、温度等）およ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、また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)または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。

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がたい。

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。

(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いるため、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) 耐圧構成品の外表面からの腐食（全面腐食）

加熱器胴板・鏡板、タンク胴板・鏡板およびマンホール蓋は炭素鋼であり、外表面からの腐食が想定される。

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

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、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、さらに防水措置（保温）が設置されている場合は防水措置（保温）の状態を確認することにより、機器の健全性を維持している。

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

(4) 耐圧構成品等の腐食（流れ加速型腐食）

蒸気噴射管、グレーチング、加熱器胴板・鏡板、タンク胴板・鏡板およびマンホール蓋は炭素鋼であり、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。

(5) 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、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。

(6) 支持脚および取付ボルトの腐食（全面腐食）

支持脚および取付ボルトは炭素鋼または低合金鋼であり、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、塗膜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膜等の状態を確認し、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、さらに防水措置（保温）が設置されている場合は防水措置（保温）の状態を確認することにより、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 消耗品および定期取替品

ガスケットは開放点検時に取替える消耗品であり、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 伊方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	部品	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										
	スプレイ弁		ステンレス鋼	△			△*1						
	蒸気噴射管		ステンレス鋼 炭素鋼				△*1						
	グレーチング		炭素鋼				△*1						
	加熱器胴板・鏡板			炭素鋼				△*1					
バウンダリの維持	タンク胴板・鏡板 マンホール蓋		炭素鋼				△*1						
	ガスケット	◎	—										
	支持脚		炭素鋼				△						
機器の支持	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 サンプルクーラ

[対象機器]

- ① サンプル冷却器
- ② ブローダウンサンプル冷却器
- ③ 格納容器雰囲気ガスサンプル冷却器
- ④ 補助蒸気ドレンモニタ冷却器

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	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、材料および使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	6
3. 代表機器以外への展開	10
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	10

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

伊方3号炉で使用されているサンプルクーラの主な仕様を表1-1に示す。

これらの熱交換器を型式およ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および結果

表1-1に示す熱交換器について、型式および材料を分離基準として考えると、1つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 型式：2重管式、胴材料：ステンレス鋼、伝熱管材料：ステンレス鋼

このグループには、サンプル冷却器、ブローダウンサンプル冷却器、格納容器雰囲気ガスサンプル冷却器および補助蒸気ドレンモニタ冷却器が属するが、運転状態と重要度を考慮してサンプル冷却器を代表機器とする。

表1-1 伊方3号炉 サンプルクーラーの主な仕様

型式	分離基準			機器名称 (台数)	重要度 ^{*1}	選定基準			代表機器の選定	
	流体 (管側/胴側)	材料				運転状態	使用条件 (管側/胴側) 最高使用圧力 (MPa [gauge])	最高使用温度 (°C)	代表 機器	選定理由
		胴	伝熱管							
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	サンプル冷却器 (2)	MS-2	連続	約17.2/ 約 1.4	約360/ 約 95	◎	運転状態、 重要度
		ステンレス鋼	ステンレス鋼	ブローダウンサンプル冷却器 (3)	高 ^{*2}	連続	約 7.5/ 約 1.4	約291/ 約 95		
	空気/ ヒドラジン水	ステンレス鋼	ステンレス鋼	格納容器雰囲気ガスサンプル冷却器 (1)	MS-2、重 ^{*3}	一時	約 0.98/ 約 1.4	約132/ 約 95		
		ステンレス鋼	ステンレス鋼	補助蒸気ドレンモニタ冷却器 (1)	高 ^{*2}	連続	約 0.93/ 約 1.4	約185/ 約 95		
	蒸気復水/ ヒドラジン水	ステンレス鋼	ステンレス鋼							

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPa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：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およ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1種類の熱交換器について技術評価を実施する。

① サンプル冷却器

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 サンプル冷却器

(1) 構造

伊方3号炉のサンプル冷却器は、長さ約0.8m、幅約0.4mの2重管式熱交換器であり、2台設置されている。

サンプル冷却器は冷却水を保有する胴管とその中へ浸漬される伝熱管で構成しており、それぞれステンレス鋼を使用している。

また胴管先端部には冷却水出入口継手、伝熱管先端部にはレデューサが取付けられている。

伊方3号炉のサンプル冷却器の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉のサンプル冷却器の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

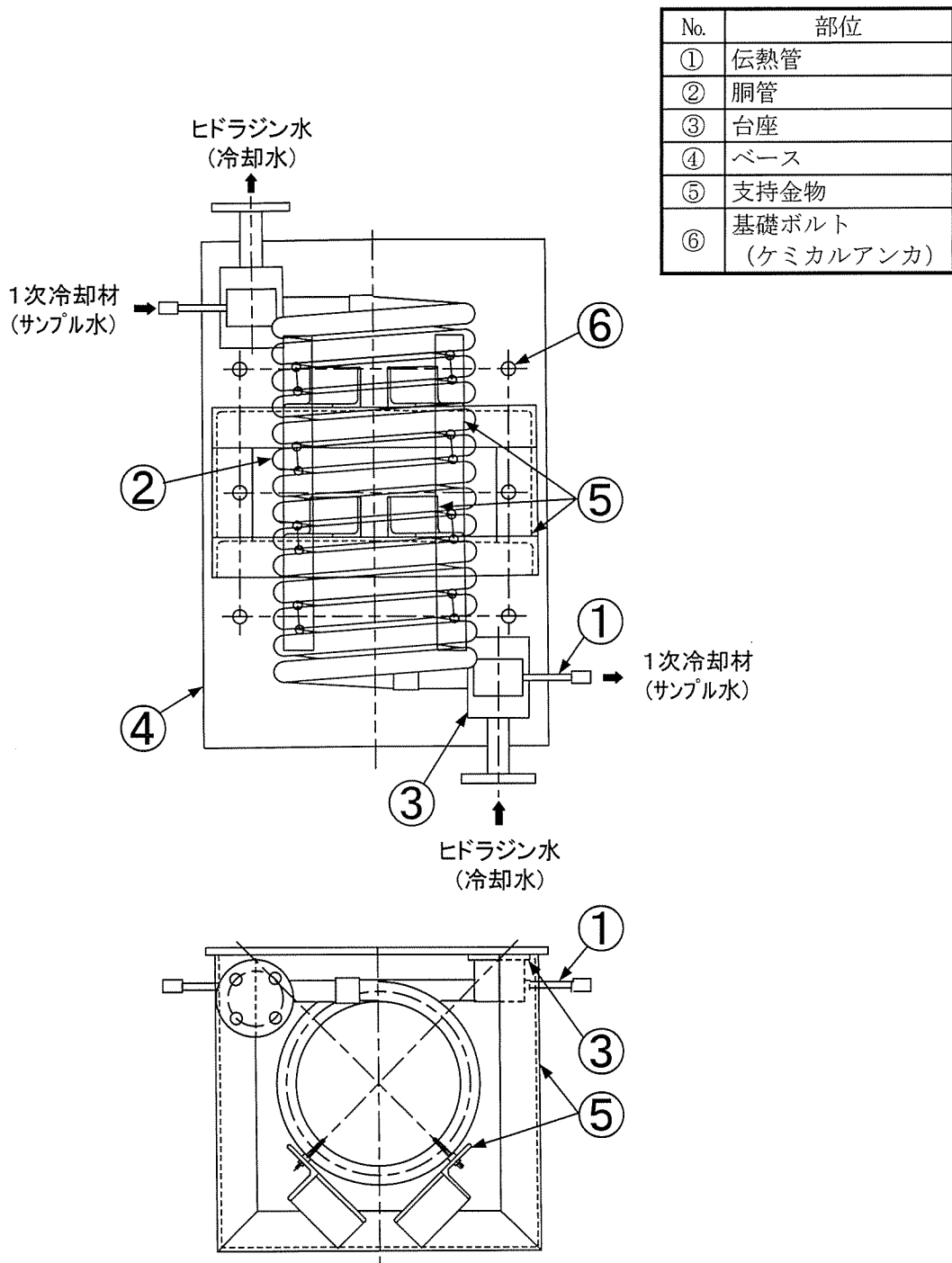


図2.1-1 伊方3号炉 サンプル冷却器構造図

表2.1-1 伊方3号炉 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	ステンレス鋼
胴側耐圧構成品	胴管	ステンレス鋼
支持構造物	台座	ステンレス鋼
	ベース	炭素鋼
	支持金物	炭素鋼、ステンレス鋼
	基礎ボルト (ケミカルアンカ)	炭素鋼、樹脂

表2.1-2 伊方3号炉 サンプル冷却器の使用条件

最高使用圧力	(管側) 約 17.2MPa[gage]	(胴側) 約 1.4MPa[gage]
最高使用温度	(管側) 約 360℃	(胴側) 約 95℃
内部流体	(管側) 1次冷却材	(胴側) 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

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

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

(1) ベース等の腐食（全面腐食）

ベースおよび支持金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜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膜の状態を確認し、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。

(2) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）および樹脂の劣化

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

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

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

(3) 伝熱管および胴管の腐食（流れ加速型腐食）

耐流れ加速型腐食性に優れたステンレス鋼の伝熱管および胴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、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(4) 伝熱管の高サイクル疲労割れ

サンプル冷却器は構造上、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。

(5) 伝熱管の応力腐食割れ

ステンレス鋼製の伝熱管は、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0.005ppm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。

(6) 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 伊方3号炉 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}	▲			▲ ^{*3}	*1：流れ加速型腐食 *2：高サイクルフル付着 *3：スケールの劣化
	胴管		ステンレス鋼		▲ ^{*1}							
機器の支持	台座		ステンレス鋼									
	ベース		炭素鋼			△						
	支持金物		炭素鋼、ステンレス鋼			△						
	基礎ボルト (ケミカルアンカ)		炭素鋼、樹脂			△				△ ^{*1}		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

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 ブローダウンサンプル冷却器
- ② 格納容器雰囲気ガスサンプル冷却器
- ③ 補助蒸気ドレンモニタ冷却器

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)または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。

3.1.1 ベース等の腐食（全面腐食）〔共通〕

ベースおよび支持金物は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜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膜の状態を確認し、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。

3.1.2 基礎ボルトの腐食（全面腐食）および樹脂の劣化〔ブローダウンサンプル冷却器、格納容器雰囲気ガスサンプル冷却器〕

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」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

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

3.1.3 伝熱管および胴管の腐食（流れ加速型腐食） [共通]

耐流れ加速型腐食性に優れたステンレス鋼の伝熱管および胴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、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.4 伝熱管の高サイクル疲労割れ [共通]

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。

3.1.5 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、内部流体は給水または空気であり、応力腐食割れ発生の可能性が小さい。

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。

3.1.6 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給水または空気、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。

伊方発電所 3 号炉

ポンプモータの技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

四国電力株式会社

伊方3号炉のポンプモータのうち、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の機器およ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、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、出力等の観点から代表機器を選定した。

これらの一覧表を表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、本評価書における分解点検には、定期的を実施する分解点検に加え、状態監視や傾向監視等の結果に基づき計画、実施する分解点検を含んでいる。

また、点検等で確認した結果、異常が認められた場合は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モータの使用電圧を基に、以下の2つに分類している。

- 1 高圧ポンプモータ
- 2 低圧ポンプモータ

表 1 伊方 3 号炉 主要なポンプモータ

分離基準			選定基準					代表機器の選定		
電圧区分	型式	設置場所	機器名称 (台数)	仕様 (定格出力× 定格回転数) (kW×rpm)	重要度*1	使用条件		代表 機器	選定理由	
						運転状態	電圧 (V)			周囲温度 (°C)
高圧	全閉	屋外	海水ポンプモータ (4)	380×885	MS-1、重 ^{*2}	連続	6,600	約40	◎	
	開放	屋内	電動補助給水ポンプモータ (2)	420×3,540	MS-1、重 ^{*2}	一時	6,600	約40	◎	
	全閉	屋内	高圧注入ポンプモータ (2)	1,220×3,560	MS-1、重 ^{*2}	一時	6,600	約40	◎	出力
低圧			格納容器スプレイポンプモータ (2)	720×1,770	MS-1、重 ^{*2}	一時	6,600	約40		
			充てんポンプモータ (3)	720×1,770	MS-1、重 ^{*2}	連続	6,600	約40		
			原子炉補機冷却水ポンプモータ (4)	270×1,770	MS-1、重 ^{*2}	連続	440	約40	◎	出力
			余熱除去ポンプモータ (2)	250×1,770	MS-1、重 ^{*2}	連続(余熱除去時) 一時(低圧注入時)	440	約40		
			ほう酸ポンプモータ (2)	11×3,500	MS-1、重 ^{*2}	連続	440	約40		
			燃料取替用水タンクポンプモータ (2)	18.5×3,540	MS-2	連続	440	約40		
			代替格納容器スプレイポンプモータ (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および構造物であることを示す。

1 高圧ポンプモータ

[対象機器]

- ① 海水ポンプモータ
- ② 電動補助給水ポンプモータ
- ③ 高圧注入ポンプモータ
- ④ 格納容器スプレイポンプモータ
- ⑤ 充てんポンプモータ

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	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、材料および使用条件	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	21
3. 代表機器以外への展開	27
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	27
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	28

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

伊方3号炉で使用されている高圧ポンプモータの主な仕様を表1-1に示す。

これらの高圧ポンプモータを、型式およ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および結果

表1-1に示す高圧ポンプモータを型式および設置場所に分類すると3つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 屋外設置（型式：全閉形）

このグループには、海水ポンプモータのみが属するため、代表機器は海水ポンプモータとする。

(2) 屋内設置（型式：開放形）

このグループには、電動補助給水ポンプモータのみが属するため、代表機器は電動補助給水ポンプモータとする。

(3) 屋内設置（型式：全閉形）

このグループには、高圧注入ポンプモータ、格納容器スプレイポンプモータ、充てんポンプモータが属するが、出力が高い高圧注入ポンプモータを代表機器とする。

表1-1 伊方3号炉 高压ポンプモータの主な仕様

分離基準		選定基準				代表機器の選定				
電圧区分	型式	設置場所	機器名称 (台数)	仕様 (定格出力× 定格回転数) (kW×rpm)	重要度*1	使用条件			代表機器	選定理由
						運転状態	電圧 (V)	周囲温度 (°C)		
高压	全閉	屋外	海水ポンプモータ (4)	380×885	MS-1、 重*2	連続	6,600	約40	◎	
	開放	屋内	電動補助給水ポンプモータ (2)	420×3,540	MS-1、 重*2	一時	6,600	約40	◎	
	全閉	屋内	高压注入ポンプモータ (2)	1,220×3,560	MS-1、 重*2	一時	6,600	約40	◎	出力
			格納容器スプレイポンプモータ (2)	720×1,770	MS-1、 重*2	一時	6,600	約40		
			充てんポンプモータ (3)	720×1,770	MS-1、 重*2	連続	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および構造物であることを示す。

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の3種類の高圧ポンプモータについて技術評価を実施する。

- ① 海水ポンプモータ
- ② 電動補助給水ポンプモータ
- ③ 高圧注入ポンプモータ

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 海水ポンプモータ

(1) 構造

伊方3号炉の海水ポンプモータは、定格出力380kW、定格回転数885rpmの全閉屋外形三相誘導モータであり、4台設置されている。

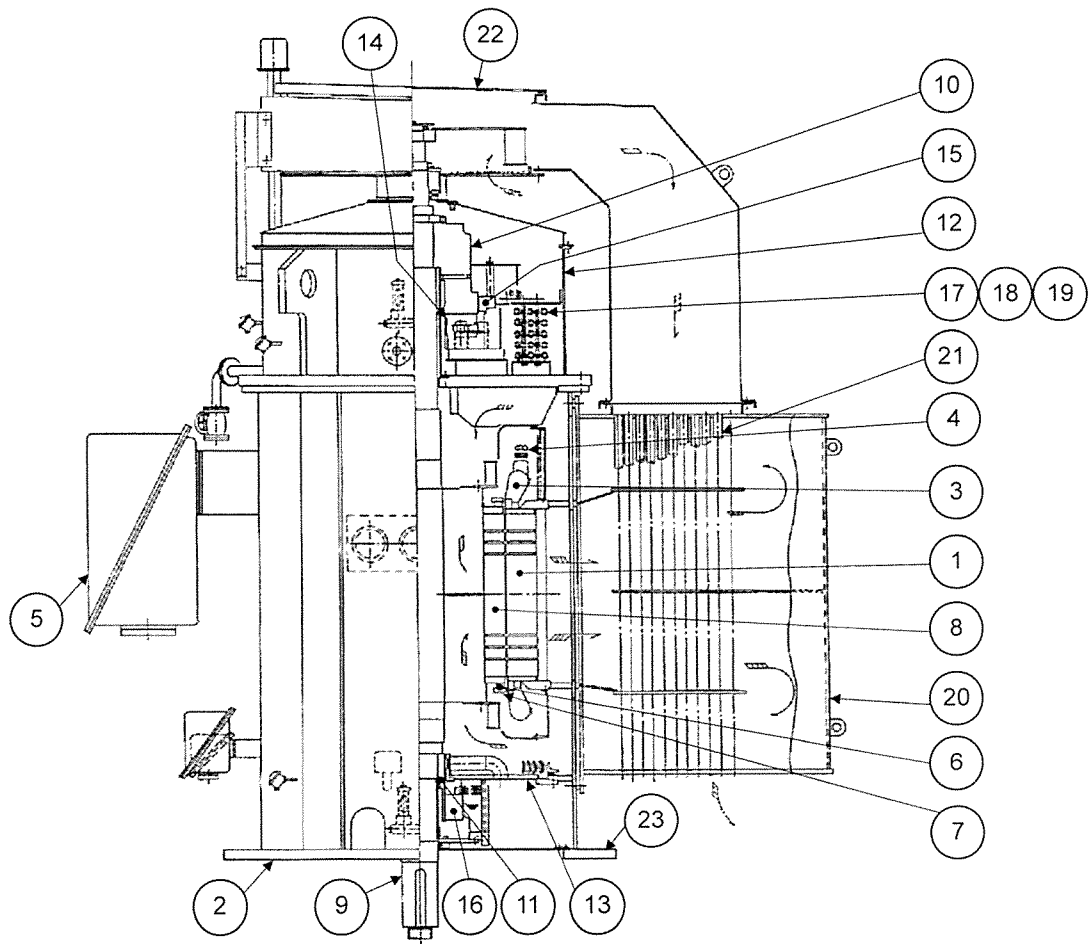
ポンプに直結されている主軸は炭素鋼が使用されており、モータ上部には、下向きのポンプスラスト荷重を支えるためのスラスト軸受を備えている。また、モータの上部および下部にはラジアル方向の荷重を支えるガイド軸受を設けている。

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。

伊方3号炉の海水ポンプモータの構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の海水ポンプモータの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位	No.	部位	No.	部位
①	固定子コア	⑪	下部ランナ	⑳	空気冷却器
②	フレーム	⑫	上部ブラケット	㉑	空気冷却管
③	固定子コイル	⑬	下部ブラケット		
④	口出線・接続部品	⑭	スラスト軸受 (すべり)		
⑤	端子箱	⑮	上部ガイド軸受 (すべり)		
⑥	回転子棒	⑯	下部ガイド軸受 (すべり)		
⑦	エンドリング	⑰	油冷却器伝熱管		
⑧	回転子コア	⑱	油冷却器水室		
⑨	主軸	㉒	油冷却器管板		
⑩	上部ランナ	㉓	取付ボルト		

図2.1-1 伊方3号炉 海水ポンプモータ構造図

表2.1-1 伊方3号炉 海水ポンプモータ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、ケイ素ゴム、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
	上部ランナ	クロムモリブデン鋼
	下部ランナ	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
	上部ガイド軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
	下部ガイド軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
油冷却器 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
カバー 組立品	外扇カバー	電気亜鉛メッキ鋼板
空気冷却器 組立品	空気冷却器	炭素鋼
	空気冷却管	銅合金
支持 組立品	取付ボルト	炭素鋼

表2.1-2 伊方3号炉 海水ポンプモータの使用条件

定格出力	380kW
周囲温度	約40℃*1
定格電圧	6,600V
定格回転数	885rpm

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

2.1.2 電動補助給水ポンプモータ

(1) 構造

伊方3号炉の電動補助給水ポンプモータは、定格出力420kW、定格回転数3,540rpmの開放屋内形三相誘導モータであり、2台設置されている。

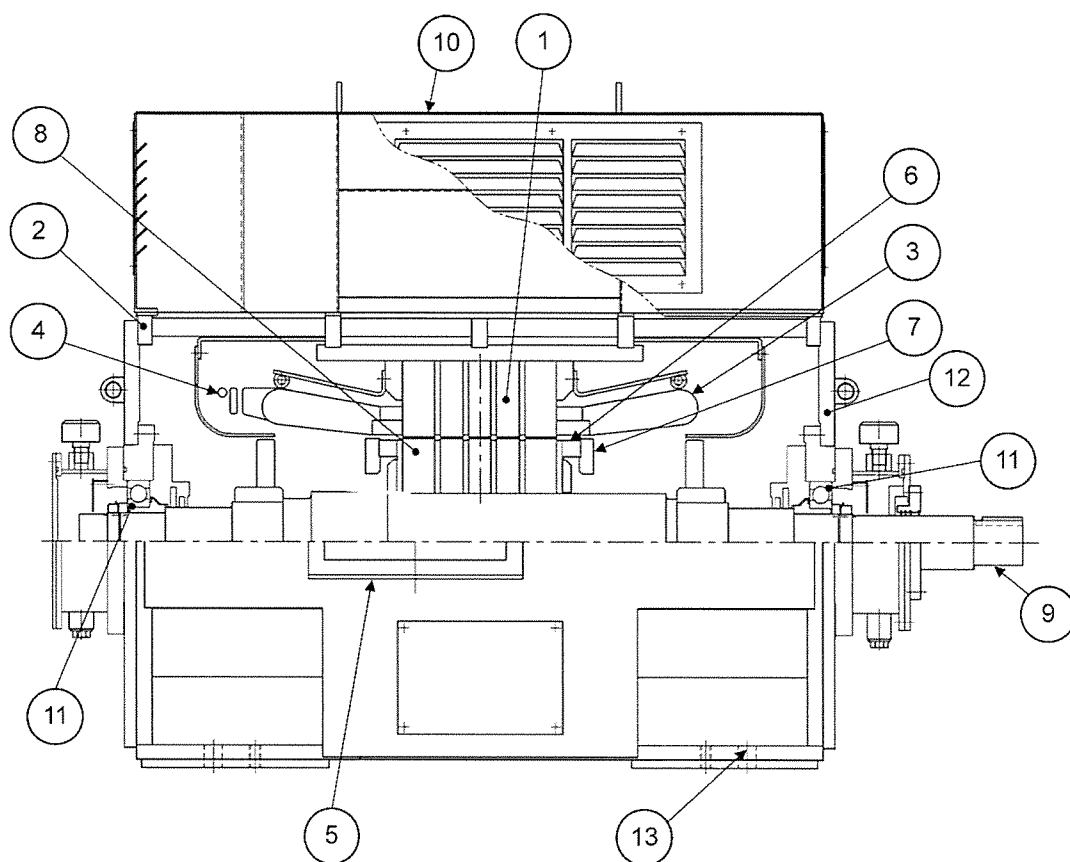
ポンプに直結している主軸には炭素鋼を使用している。

負荷側およ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、内側にはモータ回転子重量を支えるための軸受を備えている。

伊方3号炉の電動補助給水ポンプモータの構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の電動補助給水ポンプモータの使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。



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	上部カバー
⑪	軸受 (ころがり)
⑫	ブラケット
⑬	取付ボルト

図2.1-2 伊方3号炉 電動補助給水ポンプモータ構造図

表2.1-3 伊方3号炉 電動補助給水ポンプモータ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、ケイ素ゴム、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	上部カバー	炭素鋼
支持 組立品	取付ボルト	炭素鋼

表2.1-4 伊方3号炉 電動補助給水ポンプモータの使用条件

定格出力	420kW
周囲温度	約40℃*1
定格電圧	6,600V
定格回転数	3,540rpm

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

2.1.3 高圧注入ポンプモータ

(1) 構造

伊方3号炉の高圧注入ポンプモータは、定格出力1,220kW、定格回転数3,560rpmの全閉屋内形三相誘導モータであり、2台設置されている。

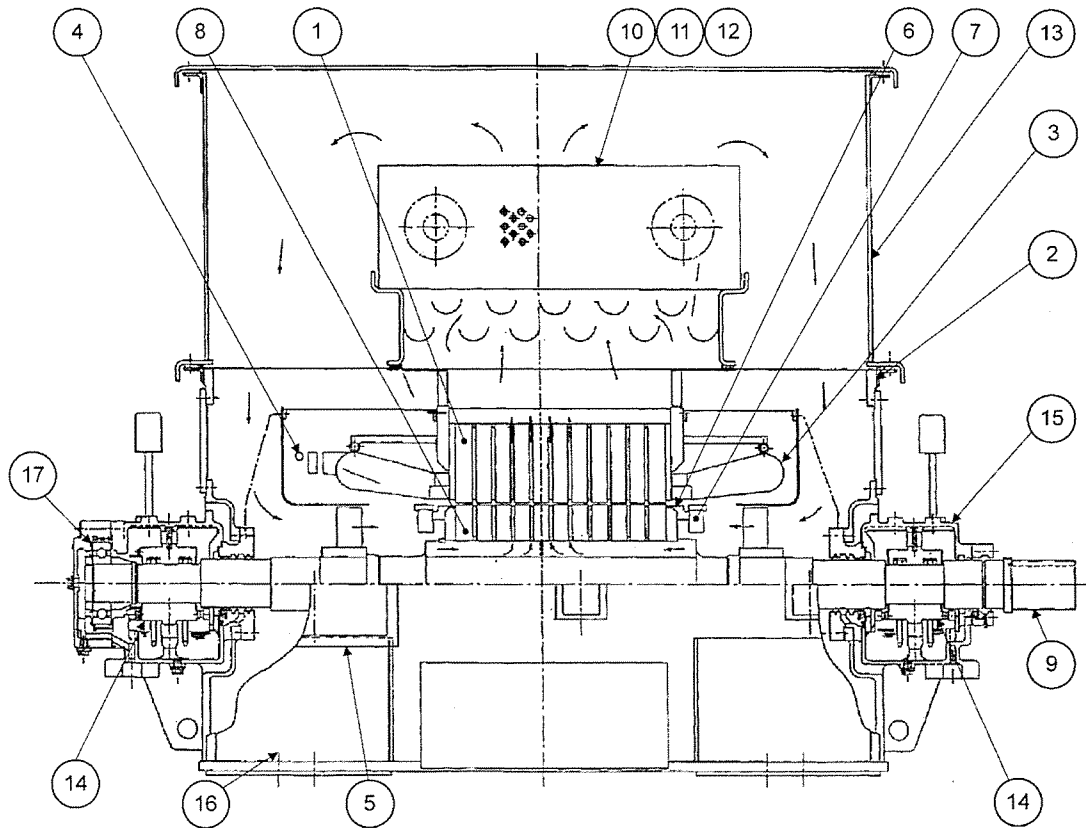
ポンプに直結している主軸には炭素鋼を使用している。

負荷側およ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、内側にはモータ回転子重量を支えるための軸受を備えている。

伊方3号炉の高圧注入ポンプモータの構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の高圧注入ポンプモータの使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。



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

図2.1-3 伊方3号炉 高圧注入ポンプモータ構造図

表2.1-5 伊方3号炉 高圧注入ポンプモータ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、ケイ素ゴム、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
冷却器組立品	空気冷却器伝熱管	銅合金
	空気冷却器管板	銅合金、炭素鋼
	空気冷却器水室	ステンレス鋼
カバー組立品	カバー	炭素鋼
軸受組立品	軸受（すべり・ころがり）	消耗品・定期取替品
	ブラケット	鋳鉄
支持組立品	取付ボルト	炭素鋼

表2.1-6 伊方3号炉 高圧注入ポンプモータの使用条件

定格出力	1,220kW
周囲温度	約40℃* ¹
放射線	約0.2 mGy/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：機器設置場所の実測値

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

海水ポンプモータ、電動補助給水ポンプモータおよび高圧注入ポンプモータの機能であるポンプ駆動機能を維持するためには、次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

海水ポンプモータ、電動補助給水ポンプモータおよび高圧注入ポンプモータ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）およ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) 固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下[共通]

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的、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 材料研究会 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、また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)または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) 固定子コアおよび回転子コアの腐食（全面腐食）[共通]

固定子コアおよ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、固定子コアおよ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がたい。

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、ブラケット[共通]、空気冷却器、外扇カバー[海水ポンプモータ]、上部カバー[電動補助給水ポンプモータ]およびカバー[高圧注入ポンプモータ]の腐食（全面腐食）

フレーム、端子箱、ブラケット、空気冷却器、外扇カバー、上部カバーおよびカバーは炭素鋼、鋳鉄または電気亜鉛メッキ鋼板であり、腐食が想定される。

しかしながら、内外面とも大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜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膜の状態を確認し、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。

- (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、モータ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]および上下部ランナ[海水ポンプモータ]の摩耗

海水ポンプモータの主軸については、上下部ランナ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上下部ランナ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、上下部ランナと軸受間に潤滑油が供給され膜が形成されるため、摺動摩耗が生じる可能性は小さい。

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がたい。

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。

高圧注入ポンプモータはすべり軸受を使用しており、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、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、摺動摩耗が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がたい。

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。

電動補助給水ポンプモータ、高圧注入ポンプモータ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。

軸受定期取替時の軸受引き抜きの際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、主軸表面にわずかな摩耗が発生し、主軸と軸受スリーブ間で微小すき間が生じ、運転中にフレットングによる摩耗が発生する可能性がある。

しかしながら、これを防止するため主軸表面の仕上げは行わない運用としており、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がたい。

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および寸法計測により、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]

モータ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、モータ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およ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) 空気冷却管 [海水ポンプモータ] および空気冷却器伝熱管 [高圧注入ポンプモータ] の腐食 (全面腐食)

空気冷却管および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、海水ポンプモータにおいては、内外面ともに流体が空気であり、高圧注入ポンプモータにおいては、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腐食が発生しがたい環境であり、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がたい。

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、分解点検時に内面は渦流探傷検査で、外面は目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 空気冷却器管板の腐食 (全面腐食) [高圧注入ポンプモータ]

空気冷却器管板は銅合金および炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、接液流体はヒドラジン水 (防錆剤注入水) および空気腐食が発生しがたい環境であり、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がたい。

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) 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、大気接触部は塗装または亜鉛メッキにより腐食を防止しており、塗膜またはメッキ面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膜またはメッキ面の状態を確認し、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。

2.2.4 消耗品および定期取替品

スラスト軸受（すべり）、上部・下部ガイド軸受（すべり）および軸受（すべりおよびころがり）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替える消耗品であり、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 (2/3) 伊方3号炉 電動補助給水ポンプモータ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、マイカ、エポキシ樹脂 (F種絶縁)					○						
	口出線・接続部品		銅、ケイ素ゴム、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		炭素鋼	△										
	軸受 (ころがり)	◎		—										
	上部カバー			炭素鋼	△									
	取付ボルト			炭素鋼	△									
	機器の支持													

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象 (日常劣化管理事象)

表2.2-1 (3/3) 伊方3号炉 高圧注入ポンプモータ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		△																				
	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、ケイ素ゴム、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															
	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、炭素鋼		△																				
	カバナー		炭素鋼		△																				
	軸受 (すべり)		—																						
	軸受 (ころがり)		—																						
ブラケット		铸铁		△																					
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 固定子コイルおよび口出線・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を施している。口出線は、ポンプモータ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、固定子コイルおよび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。

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的、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。

絶縁低下を生ずる可能性のある部位を図2.3-1に示す。

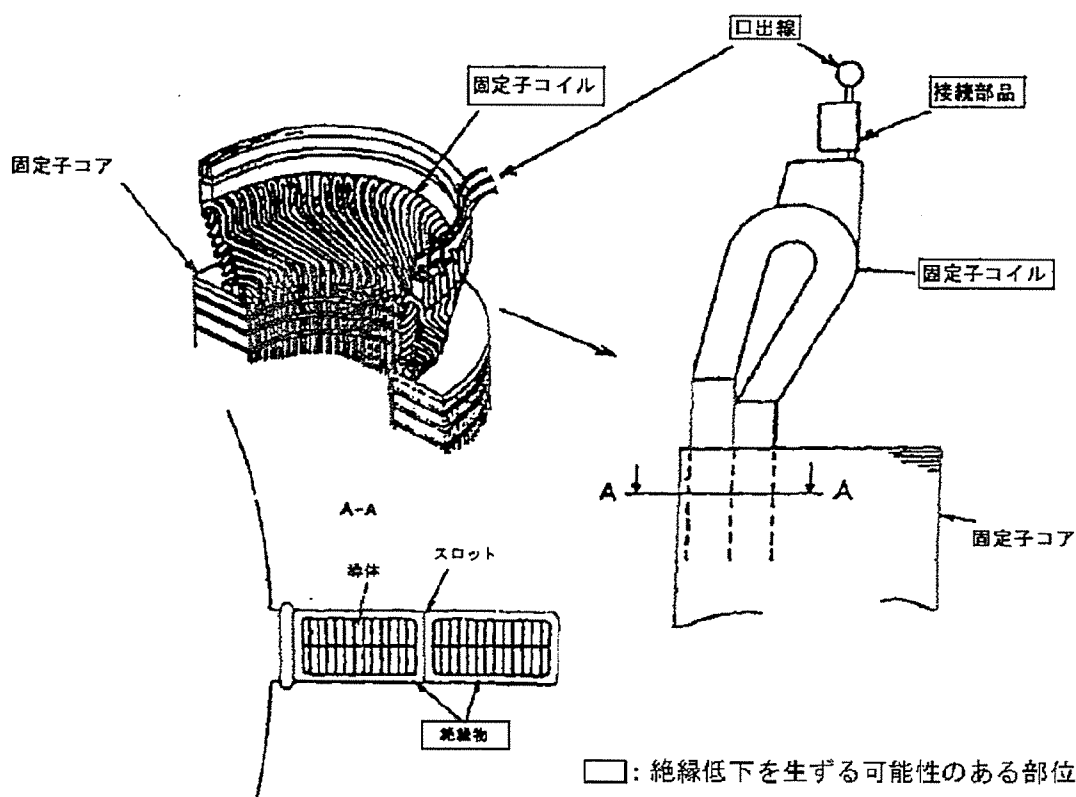


図2.3-1 伊方3号炉 海水ポンプモータ、電動補助給水モータおよび高圧注入ポンプモータ固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁部位

b. 技術評価

① 健全性評価

高圧ポンプモータ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. 275-1981「IEEE Recommended Practice for Thermal Evaluation of Insulation Systems for AC Electric Machinery Employing Form-Wound Pre-Insulated Stator Coils, Machines Rated 6900 V and Below」（以下、「IEEE Std. 275-1981」という。）の規格に基づき実施した評価試験結果および経年機のコイル破壊電圧測定試験に基づき実施した評価試験により固定子コイルの長期健全性を評価した。

IEEE Std. 275-1981では、熱、機械、環境および電気の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、モータ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。

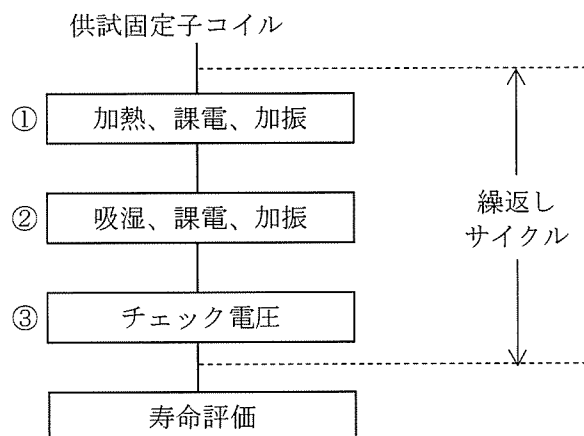


図2.3-2 固定子コイル長期健全性評価手順

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返し、170℃および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

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

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

この耐熱寿命曲線は、モータに適用している絶縁固有の特性を表す。
 この(1)式に当該モータの運転温度*2 tを代入して、寿命を求める。
 この寿命で耐用期間（管理強化の目安）を決定する。

*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

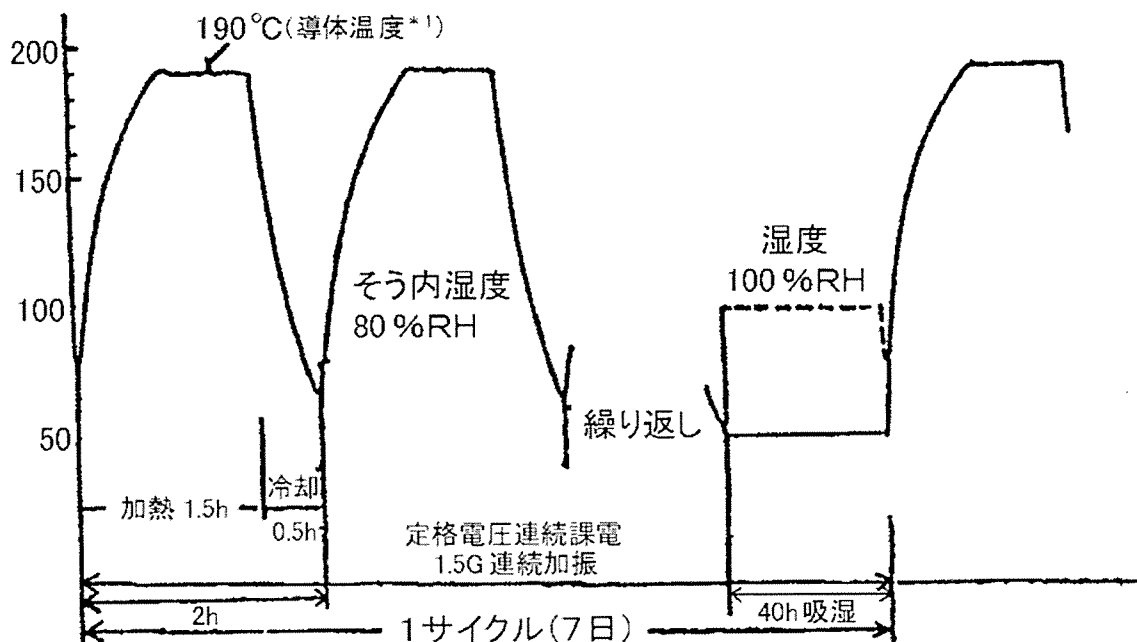
＋測定ポイントとホットスポットとの差（マージン）

IEEE Std. 275-1981の規格に基づき実施した評価試験結果より、固定子コイルの耐用期間（管理強化の目安）は、約20年（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)



*1: 絶縁体に170°C×2時間相当と同等の熱劣化を与える条件として、直流通電により導体温度を最大190°Cとして試験を実施

図2. 3-3 ヒートサイクル方法例 (試験条件1)

次に、6. 6kV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*2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。

(*2: 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)

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年以降となるため、固定子コイルの耐用期間(管理強化の目安)は、運転年数で18. 5年と判断する。

以上の検討結果より、高圧ポンプモータ固定子コイルの耐用期間(管理強化の目安)は、より厳しい評価結果である経年機固定子コイルの絶縁破壊値による評価結果を採用して機器の運転年数で18. 5年と判断する。

また、口出線・接続部品の絶縁物の絶縁種別および耐熱性能は、固定子コイルの絶縁物と同等以上であり、口出線・接続部品の耐用期間(管理強化の目安)は、固定子コイルと同様の年数と判断する。

なお、海水ポンプモータは屋外設置であるが、IEEE Std. 275-1981の規格に基づき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、および絶縁破壊試験（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。

② 現状保全

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁診断として絶縁抵抗測定、直流吸収試験、 $\tan \delta$ 試験および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、機器の運転年数に基づき（絶縁種別等により約18.5～21.5年）、直流吸収試験、 $\tan \delta$ 試験、部分放電試験の周期を短縮し、点検結果に基づき取替を検討するものとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下については機器の運転年数で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、絶縁診断で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

固定子コイルを更新した旧機の破壊電圧を測定した。
その結果を基に、運転年数とコイルの破壊電圧の関係を求め
平均値と95%下限値が安全運転下限値まで低下する運転年数を
求めたもの。

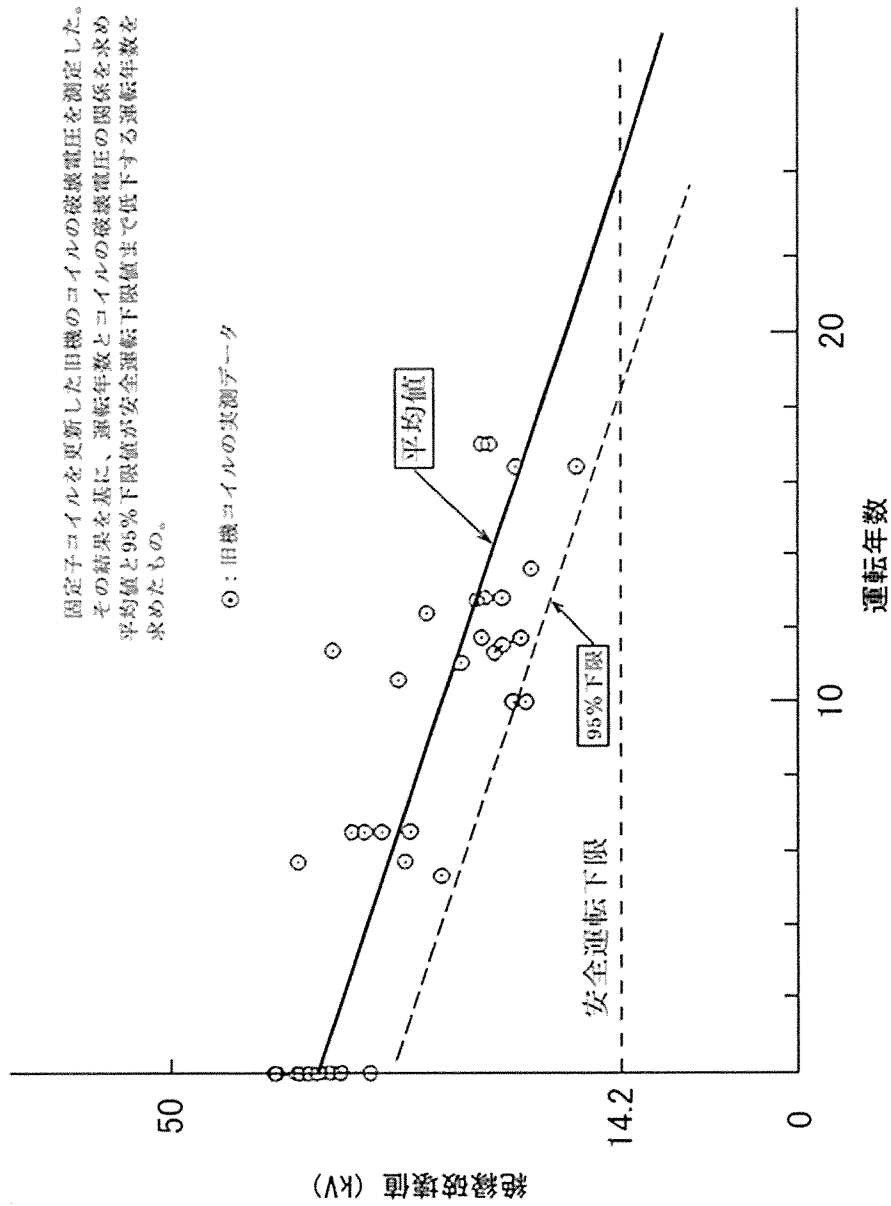


図2.3-4 機器の運転年数と絶縁破壊値の関係

[出典：メーカ共研データ]

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 格納容器スプレイポンプモータ
- ② 充てんポンプモータ

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下[共通]

これらの高圧ポンプモータの絶縁仕様はF種であり、使用環境等は代表機器と同様であることから、絶縁低下については機器の運転年数で18.5年以降において発生の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁診断で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下については、定期的に絶縁診断を実施していくとともに、機器の運転年数および絶縁診断結果に基づいた取替を実施していく。

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 1)または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 固定子コアおよび回転子コアの腐食（全面腐食）[共通]

固定子コアおよ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、固定子コアおよ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がたい。

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、ブラケットおよびカバーの腐食（全面腐食）[共通]

フレーム、端子箱、ブラケットおよ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、内外面とも大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜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膜の状態を確認し、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。

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、モータ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。

軸受定期取替時の軸受引き抜きの際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、主軸表面にわずかな摩耗が発生し、主軸と軸受スリーブ間で微小すき間が生じ、運転中にフレッティングによる摩耗が発生する可能性がある。

しかしながら、これを防止するため主軸表面の仕上げは行わない運用としており、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がたい。

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および寸法計測により、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]

モータ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、モータ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およ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腐食が発生しがたい環境であり、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がたい。

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、分解点検時に内面は渦流探傷検査で、外面は目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.7 空気冷却器管板の腐食（全面腐食）[共通]

空気冷却器管板は銅合金および炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、接液流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）および空気腐食が発生しがたい環境であり、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がたい。

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 台板[充てんポンプモータ]および取付ボルトの腐食（全面腐食）[共通]

台板およ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、大気接触部は塗装または亜鉛メッキにより腐食を防止しており、塗膜またはメッキ面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膜またはメッキ面の状態を確認し、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。

3.2.9 基礎ボルトの腐食（全面腐食）[充てんポンプモータ]

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」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

2 低圧ポンプモータ

[対象機器]

- ① 原子炉補機冷却水ポンプモータ
- ② 余熱除去ポンプモータ
- ③ ほう酸ポンプモータ
- ④ 燃料取替用水タンクポンプモータ
- ⑤ 代替格納容器スプレイポンプモータ

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	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、材料および使用条件	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	18
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	18
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	19

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

伊方3号炉で使用されている低圧ポンプモータの主な仕様を表1-1に示す。

これらの低圧ポンプモータを、型式およ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および結果

表1-1に示す低圧ポンプモータを型式および設置場所に分類すると1つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 屋内設置（型式：全閉形）

このグループには、原子炉補機冷却水ポンプモータ、燃料取替用水タンクポンプモータ、代替格納容器スプレイポンプモータ、余熱除去ポンプモータおよびほう酸ポンプモータが属するが、出力が高い原子炉補機冷却水ポンプモータを代表機器とする。

表1-1 伊方3号炉 低圧ポンプモータの主な仕様

分離基準		機器名称 (台数)	選定基準				代表機器の選定			
電圧 区分	型式		設置 場所	仕様 (定格出力× 定格回転数) (kW×rpm)	重要度*1	使用条件 運転 状態	電圧 (V)	周囲 温度 (℃)	代表 機器	選定理由
低圧	全閉	屋内	原子炉補機冷却水ポンプモータ(4)	270×1,770	MS-1、重*2	連続	440	約40	◎	出力
			余熱除去ポンプモータ(2)	250×1,770	MS-1、重*2	連続(余熱 除去時) 一時(低圧 注入時)	440	約40		
			ほう酸ポンプモータ(2)	11×3,500	MS-1、重*2	連続	440	約40		
			燃料取替用水タンクポンプモータ(2)	18.5×3,540	MS-2	連続	440	約40		
			代替格納容器スプレイポンプモータ(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およ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1種類のポンプモータについて技術評価を実施する。

① 原子炉補機冷却水ポンプモータ

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 原子炉補機冷却水ポンプモータ

(1) 構造

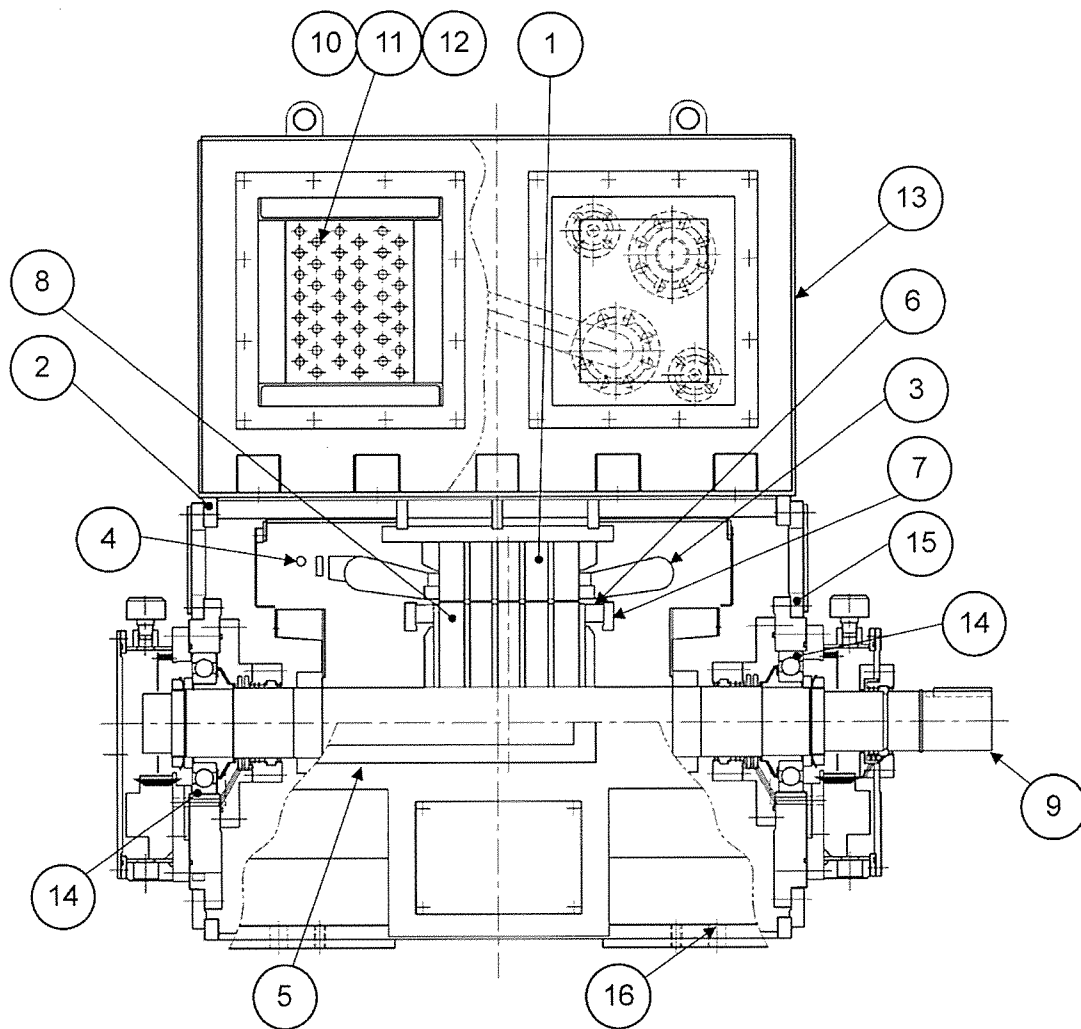
伊方3号炉の原子炉補機冷却水ポンプモータは、定格出力270kW、定格回転数1,770rpmの全閉屋内形三相誘導モータであり、4台設置されている。

モータの主軸には炭素鋼を使用している。負荷側およ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、内側にはモータ回転子重量を支えるための軸受を備えている。モータフレーム内の空気は上部に設置されている水冷式空気冷却器で冷却される。

伊方3号炉の原子炉補機冷却水ポンプモータの構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の原子炉補機冷却水ポンプモータの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



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

図2.1-1 伊方3号炉 原子炉補機冷却水ポンプモータ構造図

表2.1-1 伊方3号炉 原子炉補機冷却水ポンプモータ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、ケイ素ゴム、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	銅合金
	エンドリング	銅合金
	回転子コア	珪素鋼板
	主軸	炭素鋼
空気冷却器組立品	空気冷却器伝熱管	銅合金
	空気冷却器管板	銅合金、炭素鋼
	空気冷却器水室	ステンレス鋼
軸受組立品	軸受（ころがり）	消耗品・定期取替品
	ブラケット	炭素鋼
カバー組立品	上部カバー	炭素鋼
支持組立品	取付ボルト	炭素鋼

表2.1-2 伊方3号炉 原子炉補機冷却水ポンプモータの使用条件

定格出力	270kW
周囲温度	約40℃*1
定格電圧	440V
定格回転数	1,770rpm

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

原子炉補機冷却水ポンプモータの機能であるポンプ駆動機能を維持するためには、次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

原子炉補機冷却水ポンプモータ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）およ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) 固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的、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 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、また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)または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) 固定子コアおよび回転子コアの腐食（全面腐食）

固定子コアおよ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、固定子コアおよ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がたい。

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、ブラケットおよび上部カバーの腐食（全面腐食）

フレーム、端子箱、ブラケットおよび上部カバーは炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、内外面とも大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜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膜の状態を確認し、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。

(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、モータ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。

軸受定期取替時の軸受引き抜きの際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、主軸表面にわずかな摩耗が発生し、主軸と軸受スリーブ間で微小すき間が生じ、運転中にフレットングによる摩耗が発生する可能性がある。

しかしながら、これを防止するため主軸表面の仕上げは行わない運用としており、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がたい。

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および寸法計測により、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

モータ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、モータ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およ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）

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腐食が発生しがたい環境であり、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がたい。

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、分解点検時に内面は渦流探傷検査で、外面は目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 空気冷却器管板の腐食（全面腐食）

空気冷却器管板は銅合金および炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、接液流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）および空気腐食が発生しがたい環境であり、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がたい。

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) 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、塗膜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膜の状態を確認し、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。

2.2.4 消耗品および定期取替品

軸受（ころがり）は分解点検時に取替える消耗品であり、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。

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 固定子コイルおよび口出線・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、銅線に漏電防止のための絶縁を施している。口出線は、ポンプモータ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、固定子コイルおよび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。

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的、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。

絶縁低下を生ずる可能性のある部位を図2.3-1に示す。

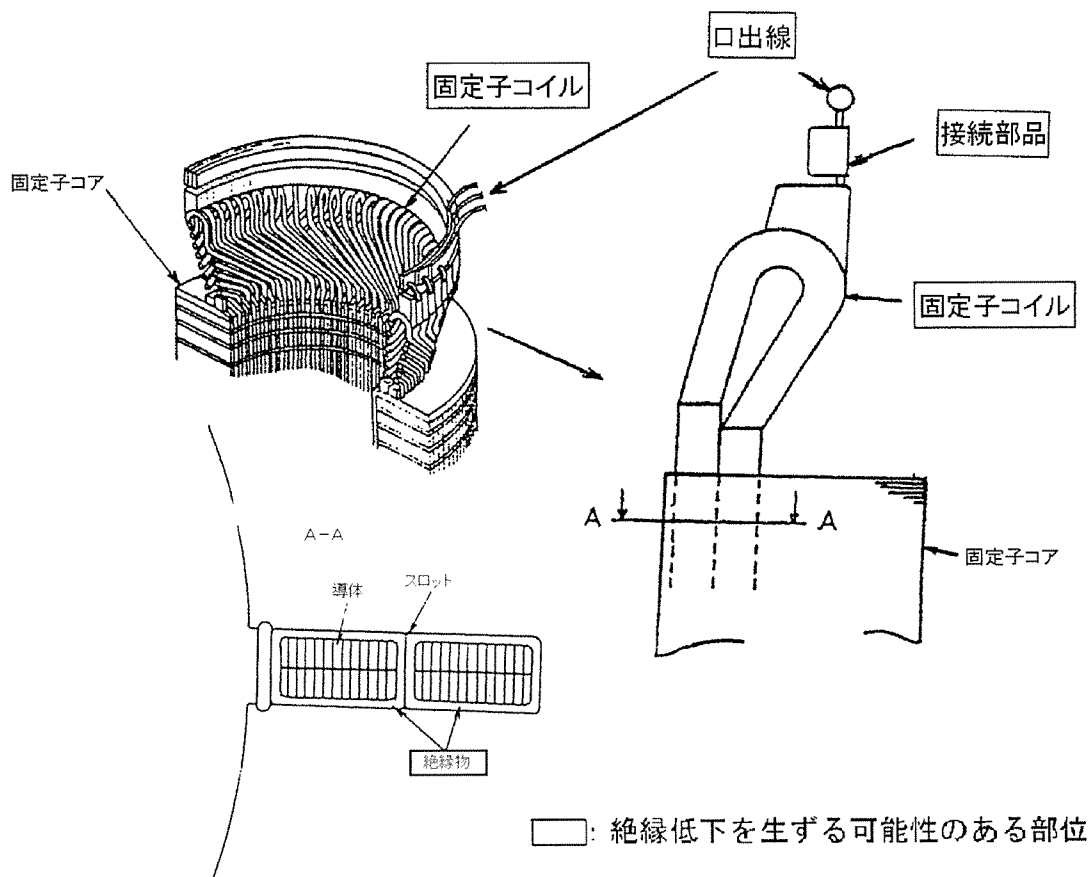


図2.3-1 伊方3号炉 原子炉補機冷却水ポンプモータ
固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁部位

b. 技術評価

① 健全性評価

低圧ポンプモータ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。）の規格に基づき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、機械、環境および電気の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、モータ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。

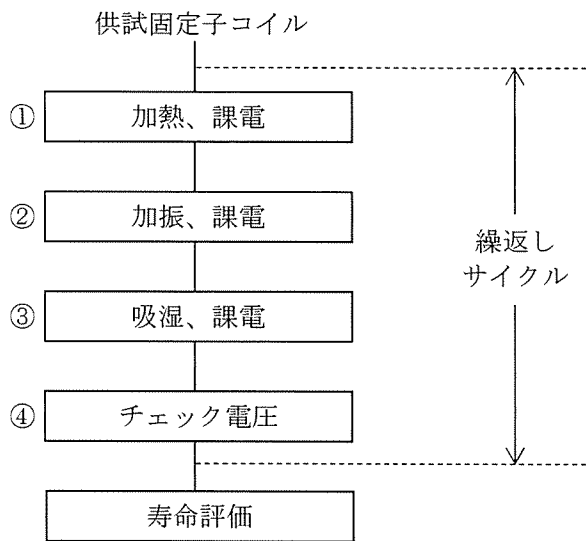


図2.3-2 固定子コイル長期健全性評価手順

図2.3-2の評価手順①、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返し、190℃および220℃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

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

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

この耐熱寿命曲線は、モータに適用している絶縁固有の特性を表す。
 この(1)式に当該モータの運転温度*2 t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16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	190°C－7日	220°C－1日	最大145°C
	電圧	440V－常時印加	440V－常時印加	440V
②	振動	1.5G－1時間 (at 140°C)	1.5G－1時間 (at 140°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)

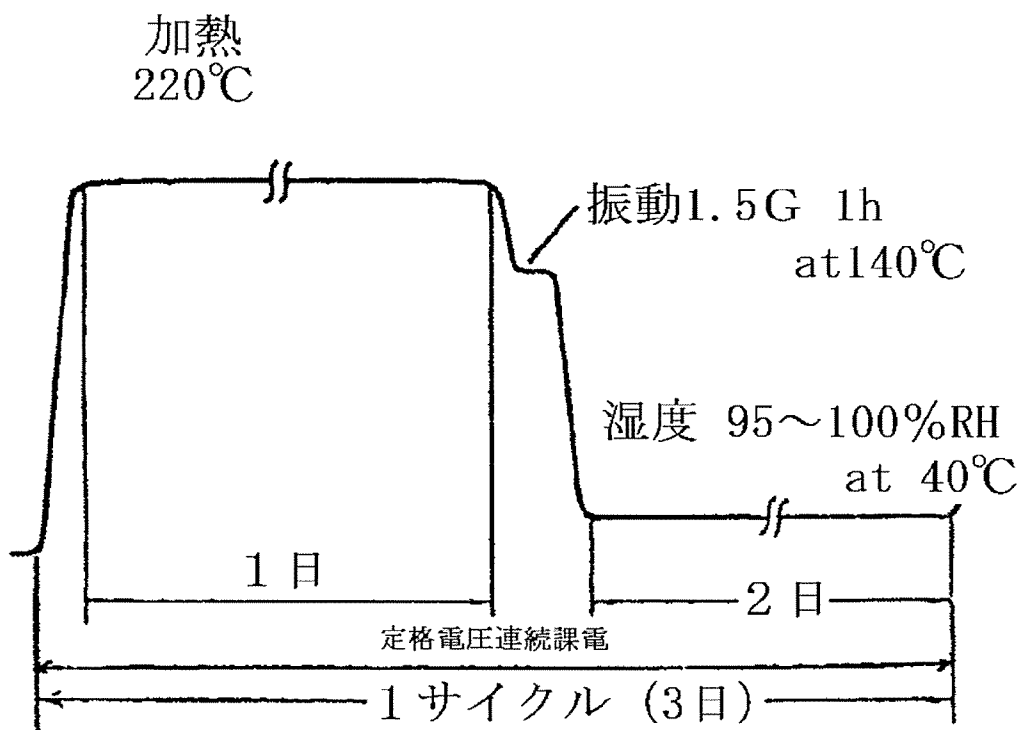


図2. 3-3 ヒートサイクル方法例 (試験条件2)

次に、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、機器の運転年数と絶縁破壊値の関係として、図2. 3-4に示すよう求められる。

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： $1.5E=1.5 \times 440$ [V] = 660 [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、低圧ポンプモータ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ヒートサイクル方法による評価を採用し、16年と判断する。

また、ヒートサイクル方法およ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共に口出線・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の年数と判断する。

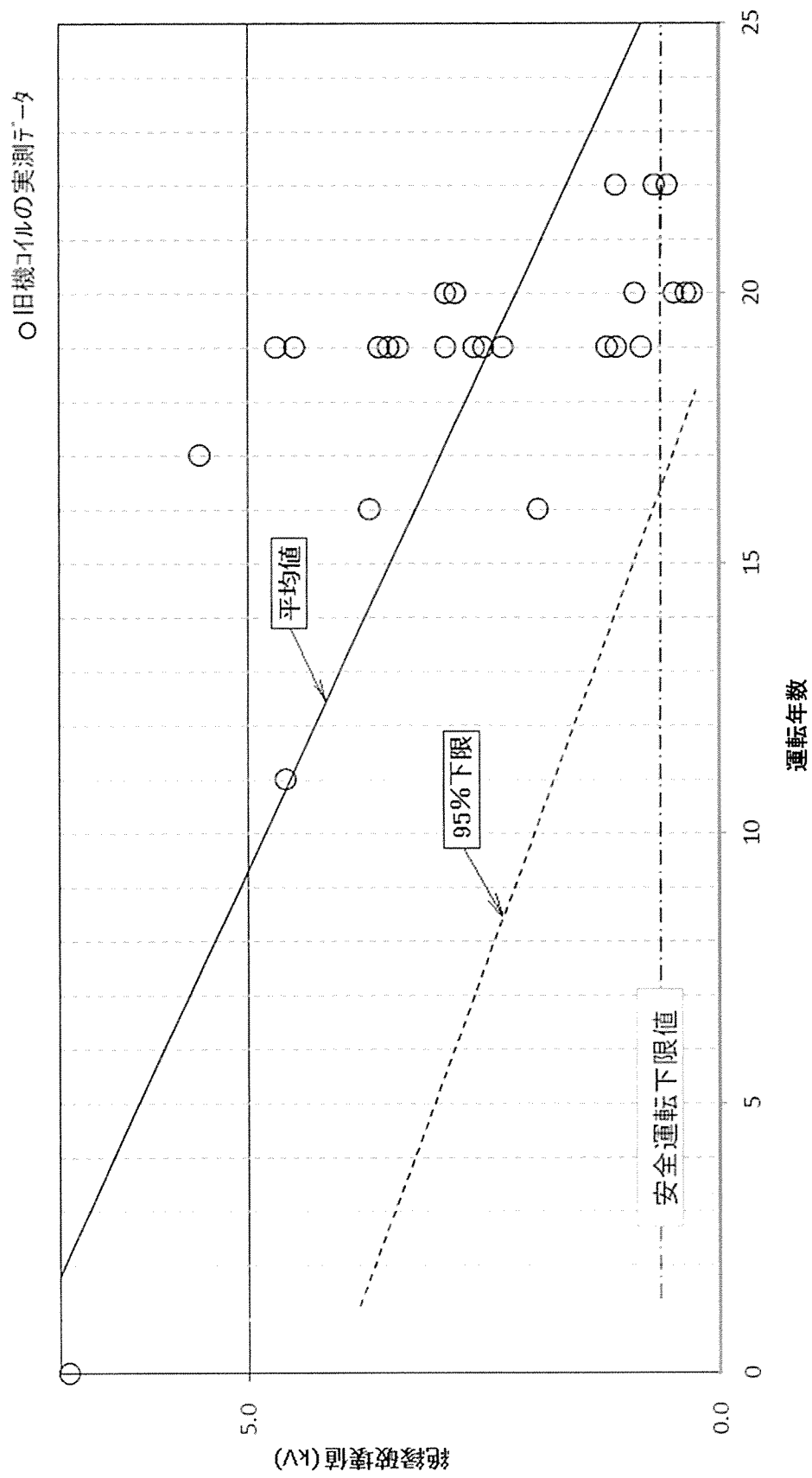


図2.3-4 機器の運転年数と絶縁破壊値の関係
[出典：メーカーデータ]

② 現状保全

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定により、管理値以上であることの確認を行っている。

また、絶縁抵抗測定の結果に基づき、監視強化としての絶縁抵抗測定の実施頻度の見直しを実施するとともに、必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を行うこととしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下については、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。

c. 高経年化への対応

固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

3. 代表機器以外への展開

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

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

- ① 余熱除去ポンプモータ
- ② ほう酸ポンプモータ
- ③ 燃料取替用水タンクポンプモータ
- ④ 代替格納容器スプレイポンプモータ

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 固定子コイルおよび口出線 [共通] ・接続部品 [余熱除去ポンプモータ] の絶縁低下

代表機器と同様、長期間の運転を考慮すると固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、固定子コイルおよび口出線・接続部品の絶縁低下については、定期的に絶縁抵抗測定を実施していくとともに、点検結果に基づき、監視強化としての絶縁抵抗測定の実施頻度の見直しおよび必要に応じて洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を実施していく。

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 1)または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 固定子コアおよび回転子コアの腐食（全面腐食）〔共通〕

固定子コアおよ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、回転子コアと固定子コアはワニス処理または塗装により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考えがたい。

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、端子箱およびブラケットの腐食（全面腐食）〔共通〕

フレーム、端子箱およびブラケットは鋳鉄または炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、内外面とも大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜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膜の状態を確認し、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。

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、モータ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、余熱除去ポンプモータの回転子棒・エンドリングにおいては、発生応力は疲労強度より小さい。

また、ほう酸ポンプモータ、燃料取替用水タンクポンプモータおよび代替格納容器スプレイポンプモータにおいては、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、疲労割れが発生しがたい構造である。

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。

軸受定期取替時の軸受引き抜きの際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、主軸表面にわずかな摩耗が発生し、主軸と軸受スリーブ間で微小すき間が生じ、運転中にフレットングによる摩耗が発生する可能性がある。

しかしながら、これを防止するため主軸表面の仕上げは行わない運用としており、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がたい。

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および寸法計測により、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]

モータ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、モータ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およ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） [余熱除去ポンプモータ]

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中で腐食が発生しがたい環境であり、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がたい。

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、分解点検時に内面は渦流探傷検査で、外面は目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.7 空気冷却器管板の腐食（全面腐食）〔余熱除去ポンプモータ〕

空気冷却器管板は銅合金および炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、接液流体はヒドラジン水（防錆剤注入水）および空気腐食が発生しがたい環境であり、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がたい。

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 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、塗膜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膜の状態を確認し、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。

伊方発電所 3 号炉

容器の技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

四国電力株式会社

伊方3号炉の容器のうち、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の機器およ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、最高使用圧力等の観点から代表機器を選定した。

これらの一覧表を表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技術評価を展開している。本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考ええる。

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

本評価書では容器の型式等を基に、以下の7つに分類している。

- 1 原子炉容器
- 2 加圧器
- 3 原子炉格納容器
- 4 補機タンク
- 5 フィルタ
- 6 脱塩塔
- 7 プール型容器

なお、原子炉容器および加圧器の基礎部は「機械設備の技術評価書」にて、格納容器再循環サンプは「コンクリート構造物および鉄骨構造物の技術評価書」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

また、原子炉格納容器機械ペネトレーションに付属する原子炉格納容器バウンダリ内の貫通配管については、本評価書の範囲内とするが、「配管の技術評価書」で評価対象としたものは本評価書には含んでいない。

表 1 伊方3号炉 主要な容器 (1/2)

分離基準		選定基準			代表機器の選定			
設置場所 型式	内部流体	材料	機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件		代表 機器	選定理由
					最高使用圧力 (MPa [Gage])	最高使用温度 (°C)		
屋内・ たて置円筒形	1次冷却材	低合金鋼 (内面ステンレス鋼内張り)	原子炉容器 (1)	PS-1、重*3	約17.2	約343	◎	
			加圧器 (1)	PS-1、重*3	約17.2	約360	◎	
屋内・ たて置円筒形	大気	炭素鋼 (内面ステンレス鋼内張り)	原子炉格納容器 (1)	MS-1、重*3	約0.28	約132	◎	
			蓄圧タンク (3)	MS-1、重*3	約 4.9	約150	◎	
屋内・ たて置円筒形	1次冷却材 ほう酸水	ステンレス鋼	体積制御タンク (1)	PS-2	約0.49	約 95	◎	最高使用圧力
			燃料取替用水タンク (1)	MS-1、重*3	大気圧	約 95		
			ほう酸タンク (2)	MS-1、重*3	大気圧	約 95		
			ガス減衰タンク (6)	PS-2	約0.98	約 95	◎	使用頻度
			水素再結合ガス減衰タンク (4)	PS-2	約0.98	約 95		
			pH調整剤貯蔵タンク (1)	MS-2	約0.07	約 65	◎	
屋内・ 横置円筒形	ヒドラジン水	ステンレス鋼	よう素除去薬品タンク (1)	MS-1	約0.07	約 65	◎	
			原子炉補機冷却水サージタンク (1)	MS-1、重*3	約0.34	約 95	◎	
屋内・たて置円筒形	給水	ステンレス鋼	SGBD熱回収装置フラッシュタンク (1)	高*2	約1.47	約205	◎	
			スチームコンバータ給水タンク (1)	高*2	大気圧	約100		
屋内・ たて置、横置円筒形	給水	炭素鋼	第1段過水分離加熱器ドレンタンク (4)	高*2	約 2.8	約235		
			第2段過水分離加熱器ドレンタンク (4)	高*2	約 7.5	約291	◎	最高使用圧力
			過水分離器ドレンタンク (2)	高*2	約 1.47	約205		
			スチームコンバータドレンタンク (1)	高*2	約 3.1	約240		
			補助蒸気ドレンタンク (1)	高*2	大気圧	約100		
			補助給水タンク (1)	MS-1、重*3	大気圧/約0.93 (本体側/蒸気側)	約40/約185 (本体側/蒸気側)	◎	

*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、または最高使用圧力が1900kPa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: 重要度クラスとは別に常設重大事故対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

表 1 伊方3号炉 主要な容器 (2/2)

分離基準		容器名称 (台数)	選定基準			代表機器の選定		
設置場所 型式	内部流体		材料	重要度 ^{*1}	最高使用圧力 (MPa [Gage])	最高使用温度 (°C)	代表 機器	選定理由
屋内・ たて置円筒形	1次冷却材 ほう酸水	ステンレス鋼	ほう酸フィルタ (1)	MS-1、重 ^{*3}	約 1.4	約 95	◎	重要度
			冷却材フィルタ (1)	PS-2	約 2.1	約 95		
			封水注入フィルタ (2)	PS-2	約20.0	約150		
			冷却材脱塩塔入口フィルタ (2)	PS-2	約 2.1	約 65		
			封水フィルタ (1)	PS-2	約0.98	約 95		
屋内・ デイスク型 屋外・ たて置円筒形	空気	ステンレス鋼	格納容器再循環サンプスクリーン (2)	MS-1、重 ^{*3}	約0.283	約132	◎	
			海水ストレーナ (4)	MS-1、重 ^{*3}	約 0.7	約 50		
屋内・ たて置円筒形	1次冷却材	ステンレス鋼	冷却材混床式脱塩塔 (2)	PS-2	約 2.1	約 65	◎	使用頻度
			冷却材陽イオン脱塩塔 (1)	PS-2	約 2.1	約 65		
			ほう素除去脱塩塔 (2)	PS-2	約 2.1	約 65		
			使用済燃料ピット (2)	PS-2、重 ^{*3}	大気圧	約 65		
屋内・ コンクリート製 埋込みブール型	ほう酸水	鉄筋コンクリート (ステンレス鋼内張り)	原子炉キャビタイ (1)	PS-2	大気圧	約 65	◎	常時使用 ^{*2} 部位数
			燃料取替用キャナル (1)	PS-2	大気圧	約 65		
			キャスクピット (1)	PS-2	大気圧	約 65		
			燃料検査ピット (1)	PS-2	大気圧	約 65		

*1: 機能は最上位の機能を示す。

*2: 使用済燃料ピットは常時使用、原子炉キャビタイ、燃料取替用キャナルおよび燃料検査ピットは定期検査時使用、キャスクピットは使用済燃料運搬用容器移送時使用。

*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および構造物であることを示す。

表 2 (1/2) 伊方 3 号炉 主要な容器の機能

容器	機能
原子炉容器	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成し、1 次冷却材中の放射性物質が外部に漏えいするのを防ぐ障壁となる容器である。
加圧器	1 次冷却系の圧力制御のための加熱および加圧を行う容器である。
原子炉格納容器	1 次冷却材喪失事故時などに圧力障壁となり、かつ放射性物質の放散に対する最終障壁を形成する容器である。
蓄圧タンク	窒素ガスで加圧されたほう酸水を保有し、1 次冷却系圧力が蓄圧タンク圧力より低くなるとほう酸水を 1 次冷却系低温側に注入するタンクである。
体積制御タンク	出力上昇時に加圧器で吸収できない 1 次冷却材を受入れるタンクである。また、冷却材中の水素濃度維持ならびに放射性ガスの除去に用いられる。
燃料取替用水タンク	燃料交換作業時に原子炉キャビティおよびチャンネルにほう酸水を供給する。また、1 次冷却材喪失事故時に充てんポンプ、高圧注入ポンプ、余熱除去ポンプ、格納容器スプレイポンプにほう酸水を供給するタンクである。
ほう酸タンク	最大反応度効果の制御棒 1 本が挿入されない状態での低温停止に必要な量のほう酸水を貯蔵するタンクである。
ガス減衰タンク	気体廃棄物の放射能の減衰および再使用のためのリザーバとして使用するタンクである。
水素再結合ガス減衰タンク	水素廃ガス処理系統内に蓄積する核分裂生成ガス等を短期間貯蔵するタンクである。
p H調整剤貯蔵タンク	格納容器スプレイ系統が再循環モード移行時に p H調整用として使用する NaOH 溶液を貯蔵するタンクである。
よう素除去薬品タンク	1 次冷却材喪失時に格納容器内に放出されるよう素の放射性同位元素を除去するため、スプレイ水に混入させる薬品を貯蔵するタンクである。
原子炉補機冷却水サージタンク	原子炉補機冷却水の膨張、収縮、補給および被冷却機器からの漏れを吸収するタンクである。
SGBD 熱回収装置フラッシュタンク	蒸気発生器ブローダウン水を蒸気とドレンに分離するタンクである。
スチームコンバータ給水タンク	スチームコンバータに供給する給水を貯留するタンクである。
第 1 段湿分分離加熱器ドレンタンク	第 1 段湿分分離加熱器からの管側ドレンを貯留するタンクである。
第 2 段湿分分離加熱器ドレンタンク	第 2 段湿分分離加熱器からの管側ドレンを貯留するタンクである。
湿分分離器ドレンタンク	湿分分離加熱器からの胴側ドレンを貯留するタンクである。
スチームコンバータドレンタンク	スチームコンバータドレンを貯留するタンクである。

表 2 (2/2) 伊方 3 号炉 主要な容器の機能

容器	機能
補助蒸気ドレンタンク	補助蒸気系統の各部からのドレンを回収し、補助蒸気ドレンタンクポンプを経て、スチームコンバータ給水タンクにドレン水を供給するタンクである。
補助給水タンク	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 次側へ供給するためのタンクである。
ほう酸フィルタ	化学体積制御系統へ送られるほう酸水から浮遊物を取り除くためのフィルタである。
冷却材フィルタ	抽出水中の浮遊物および破碎樹脂を除去するためのフィルタである。
封水注入フィルタ	封水中から 1 次冷却材ポンプのシール面の保護のため浮遊物等を取り除くためのフィルタである。
冷却材脱塩塔入口フィルタ	冷却材混床式脱塩塔の入口に設置され、抽出水中の浮遊物を除去するフィルタである。
封水フィルタ	1 次冷却材ポンプの封水戻り水および余剰抽出冷却器を通る抽出水から浮遊物を除去するためのフィルタである。
格納容器再循環サンプスクリーン	事故時に再循環水から浮遊物を取り除き、余熱除去ポンプ等に再循環水を供給するためのフィルタである。
海水ストレーナ	原子炉補機冷却海水系統へ送られる海水から異物（固形物）を除去するためのストレーナである。
冷却材混床式脱塩塔	1 次冷却材の純度を保つためのもので、核分裂生成物および腐食生成物を除去するための脱塩塔である。
冷却材陽イオン脱塩塔	1 次冷却材中に生成する Li-7 の濃度の制御や燃料破損時の 1 次冷却材中のセシウム濃度等を減少させるための脱塩塔である。
ほう素除去脱塩塔	冷却材混床式脱塩塔の下流に設置され、抽出流からほう酸を除去するための脱塩塔である。
使用済燃料ピット	使用済燃料の貯蔵および使用済燃料を冷却、遮蔽しているほう酸水を保持するためのプール型容器である。
原子炉キャビティ	原子炉への燃料装荷および取出時の燃料取り扱いをほう酸水の中で行うためのプール型容器である。
燃料取替用チャネル	定期検査時に燃料を移送するためのプール型容器である。
キャスクピット	使用済燃料運搬用容器への使用済燃料の装てんをほう酸水の中で行うためのプール型容器である。
燃料検査ピット	燃料の検査を行うためのプール型容器である。

1 原子炉容器

[対象機器]

- ① 原子炉容器

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 原子炉容器の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	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	13

1. 技術評価対象機器

伊方3号炉で使用されている原子炉容器の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 伊方3号炉 原子炉容器の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件	
		最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (℃)
原子炉容器 (1)	PS-1、重*2	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および構造物であることを示す。

2. 原子炉容器の技術評価

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 原子炉容器

(1) 構造

伊方3号炉の原子炉容器は、上部ふたの取り外しが可能なフランジ構造を有し、高温高圧の1次冷却材を内包し、かつ高放射線環境にある炉心を有する容器である。

原子炉容器は、低合金鋼を加工して製作しており、内面の1次冷却材と接液する部位にはステンレス鋼を内張りしている。

伊方3号炉の原子炉容器の構造を図2.1-1に示す。

なお、原子炉容器上部ふたは、第14回定期検査時（2017～2018年度）に取替えを実施している。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の原子炉容器の使用材料、胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化に影響を与える化学成分および使用条件を表2.1-1、表2.1-2、表2.1-3に示す。

No.	部位
①	上部ふた
②	上部胴フランジ
③	上部胴
④	下部胴
⑤	トランジションリング
⑥	下部鏡板
⑦	入口管台
⑦-1	入口管台セーフエンド
⑧	出口管台
⑧-1	出口管台セーフエンド
⑨	ふた管台
⑩	空気抜管台
⑪	炉内計装筒
⑪-1	炉内計装筒セーフエンド
⑫	炉心支持金物
⑬	スタッドボルト
⑭	Oリング

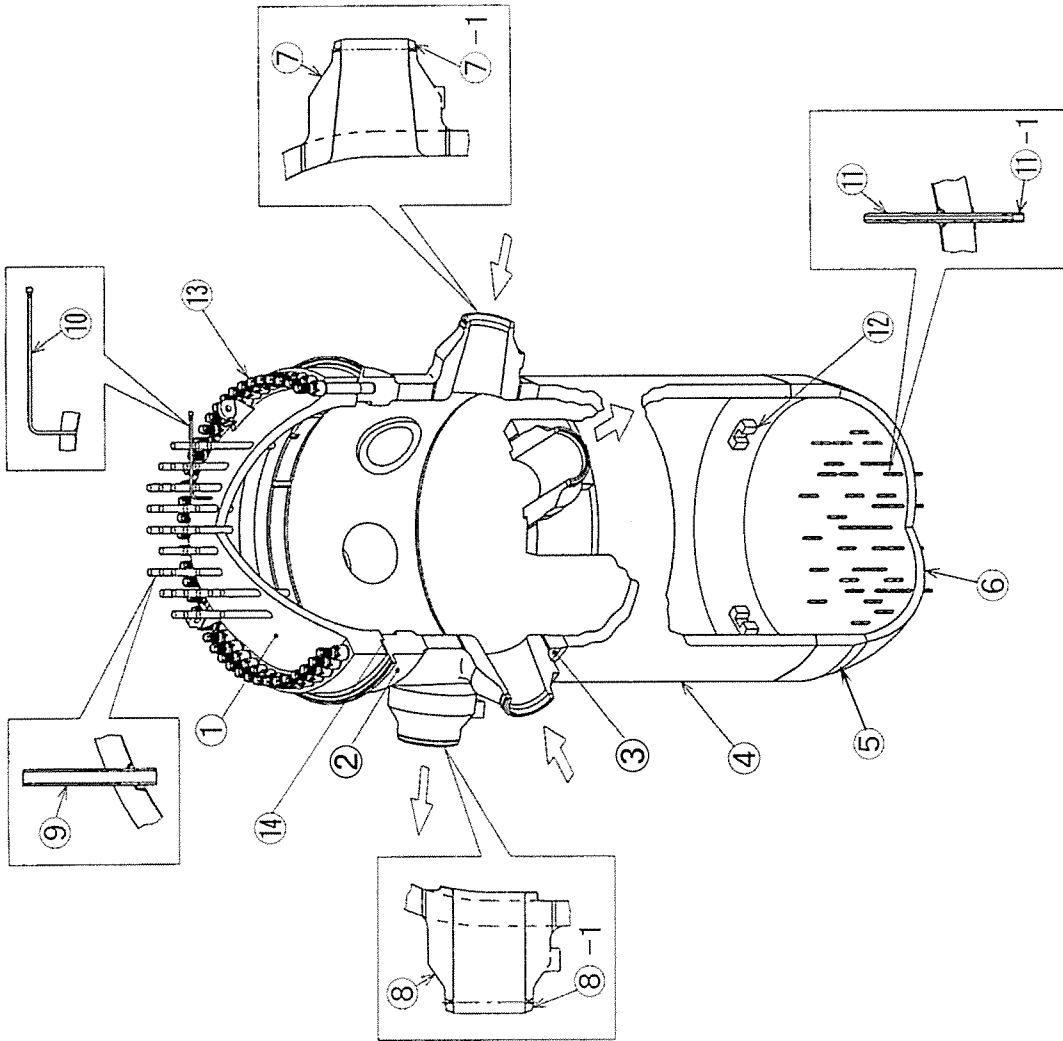


図2.1-1 伊方3号炉 原子炉容器構造図

表2.1-1 伊方3号炉 原子炉容器主要部位の使用材料

部位	材料
上部ふた 上部胴フランジ 上部胴 下部胴 トランジションリング 下部鏡板	低合金鋼 (ステンレス鋼内張り)
入口管台 出口管台	低合金鋼 (ステンレス鋼内張り) セーフエンドはステンレス鋼 溶接金属は600系ニッケル基合金
ふた管台	690系ニッケル基合金 ラッチハウジングとの溶接金属は690系ニッケル基合金
空気抜管台	690系ニッケル基合金
炉内計装筒	600系ニッケル基合金 セーフエンドはステンレス鋼 セーフエンドとの溶接金属は600系ニッケル基合金 下部鏡板との溶接金属は600系ニッケル基合金
炉心支持金物	600系ニッケル基合金
スタッドボルト	低合金鋼
Oリング	消耗品・定期取替品

表2.1-2 伊方3号炉 原子炉容器胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化に
影響を与える化学成分（重量%）

区分	Si	P	Ni	Cu	Mn	C
母材	0.19	<0.005	0.76	0.039	1.41	0.17

表2.1-3 伊方3号炉 原子炉容器の使用条件

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

原子炉容器の機能である原子炉冷却材圧力バウンダリ機能を維持するためには、次の項目が必要である。

① バウンダリの維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

原子炉容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）およ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) 出入口管台等の疲労割れ

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、流量変化により、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

(2) 胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化

プラント運転開始後60年時点で中性子照射量が 10^{17}n/cm^2 ($E>1\text{MeV}$) を超える原子炉容器の炉心領域部においては、中性子照射とともに関連温度が上昇し、上部棚領域部の靱性が低下することから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△または▲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、また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)または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) 600系ニッケル基合金使用部位の応力腐食割れ

1991年9月、仏国ブジェー（Bugey）発電所3号炉において発生したふた管台損傷事象は、管台母材材料である600系ニッケル基合金の1次冷却材中での応力腐食割れと報告されており、その後の点検において、フランス、スウェーデン、スイス等の他の海外プラントにおいて管台母材部およびJ溶接部に1次冷却材中での応力腐食割れによる損傷が認められている。また、2004年5月には、国内においても大飯発電所3号炉の蓋管台J溶接部において溶接部の表面仕上げ（バフ仕上げ）が行われていなかったことに起因して、溶接部表面に比較的高い残留応力が発生していたことにより、1次冷却材中での応力腐食割れによる損傷が認められている。2002年3月には米国デービスベッセ（Davis Besse）発電所において、ほう酸腐食による原子炉容器上部ふたの減損が認められており、これは600系ニッケル基合金の応力腐食割れにより上部ふた貫通部から1次冷却材が漏えいし、それを放置したことによるものとされている。さらに、2008年3月には、大飯発電所3号炉の原子炉冷却材出口管台と1次冷却材管のニッケル基合金溶接部において、製作時の機械加工に伴う内表面の高い引張残留応力により、1次冷却材中での応力腐食割れによる損傷が認められている。これらのことから、600系ニッケル基合金使用部位の応力腐食割れが想定される。

なお、2000年10月、米国V.C.サマー（V.C. Summer）発電所において、原子炉冷却材出口管台と1次冷却材管のニッケル基合金溶接部に亀裂が発見されたが、これは建設時の溶接補修の繰り返しにより、引張残留応力が高くなったために発生した内面側からの応力腐食割れと報告されている。

しかしながら、応力・温度条件の厳しい出入口管台および炉内計装筒 J 溶接部については、第14回定期検査時（2017～2018年度）にウォータージェットピーニング（応力緩和）を施工していることから、応力腐食割れが発生する可能性は小さいと考える。炉心支持金物については有意な応力が発生しないことから、応力腐食割れが発生する可能性は小さいと考える。

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

なお、出入口管台については超音波探傷検査および浸透探傷検査を、炉内計装筒についてはベアメタル検査を、炉心支持金物については目視検査を実施し、機器の健全性を確認している。

(2) 上部ふたおよび上部胴フランジシート面のピitting

上部ふたおよび上部胴フランジのシート面は、狭あい部でありピittingの発生が想定される。

しかしながら、一度運転に入ると高温状態となりシート面のステンレス鋼内張り表面に強固な酸化皮膜が形成されるため、有意なピittingの進展は考えられない。

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、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) スタッドボルトの腐食（全面腐食）

スタッドボルトは低合金鋼であり、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がたい。

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、超音波探傷検査により、機器の健全性を確認している。

(4) ふた管台および空気抜管台の応力腐食割れ

ふた管台および空気抜管台には690系ニッケル基合金を使用しており、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、図2. 2-1に示す電力共同研究による690系ニッケル基合金の温度加速定荷重応力腐食割れ試験の結果から、応力腐食割れが発生する可能性は小さいと考えられる。

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、漏えい検査により、機器の健全性を確認している。

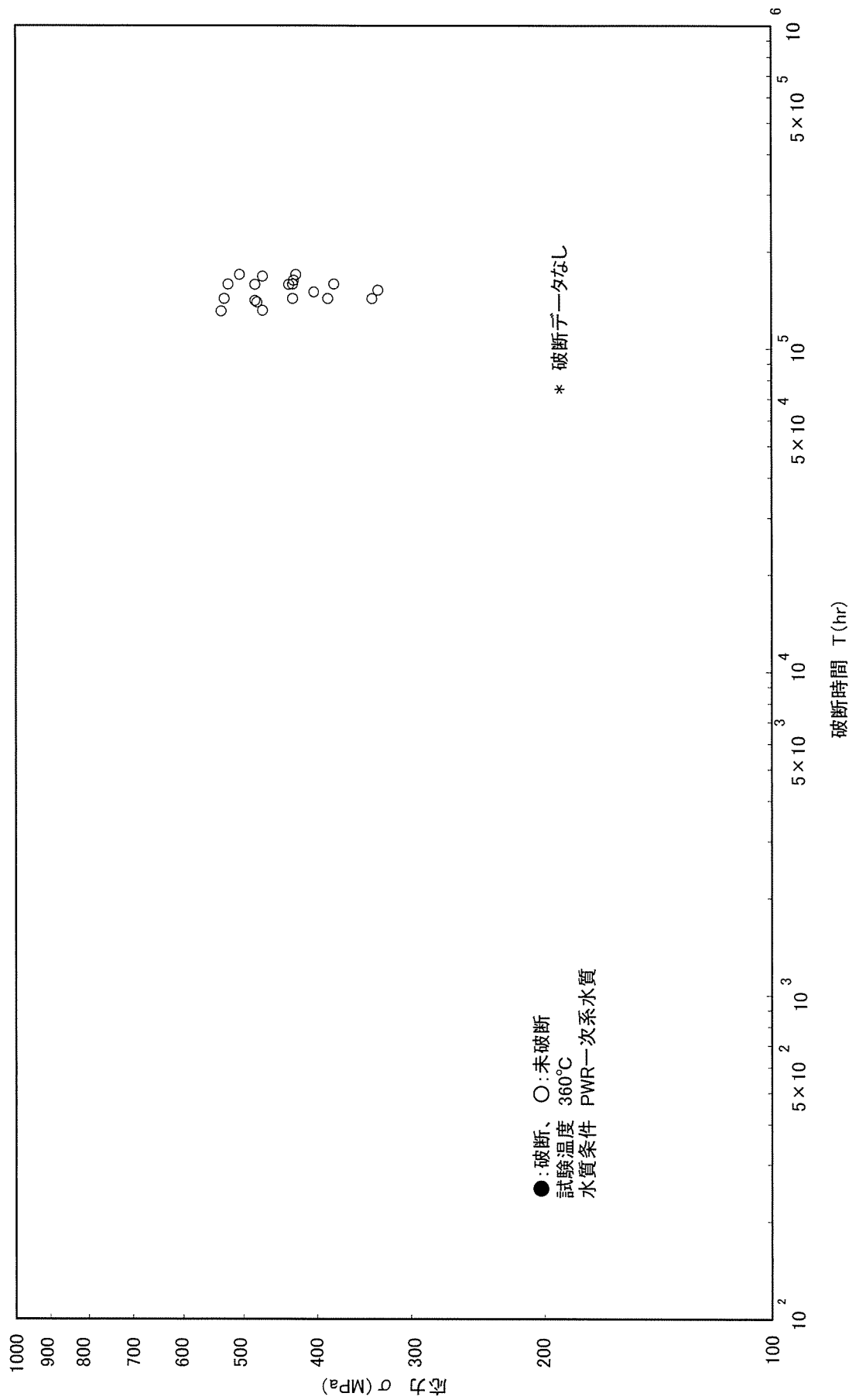


図2.2-1 690系ニッケル基合金の定荷重応力腐食割れ (SCC) 試験結果

[出典：電力共同研究「690合金のPWSCC長期信頼性確認試験 (STEP6) 2022年度 (中間報告書)」]

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

(5) 上部ふた等低合金鋼部の内張り下層部の亀裂

上部ふた、上部胴等には低合金鋼を用いており、ステンレス鋼の内張りを施している。一部の低合金鋼 (SA-508 Class2) 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亀裂が発生することが米国のPVRC (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。

伊方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、亀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。

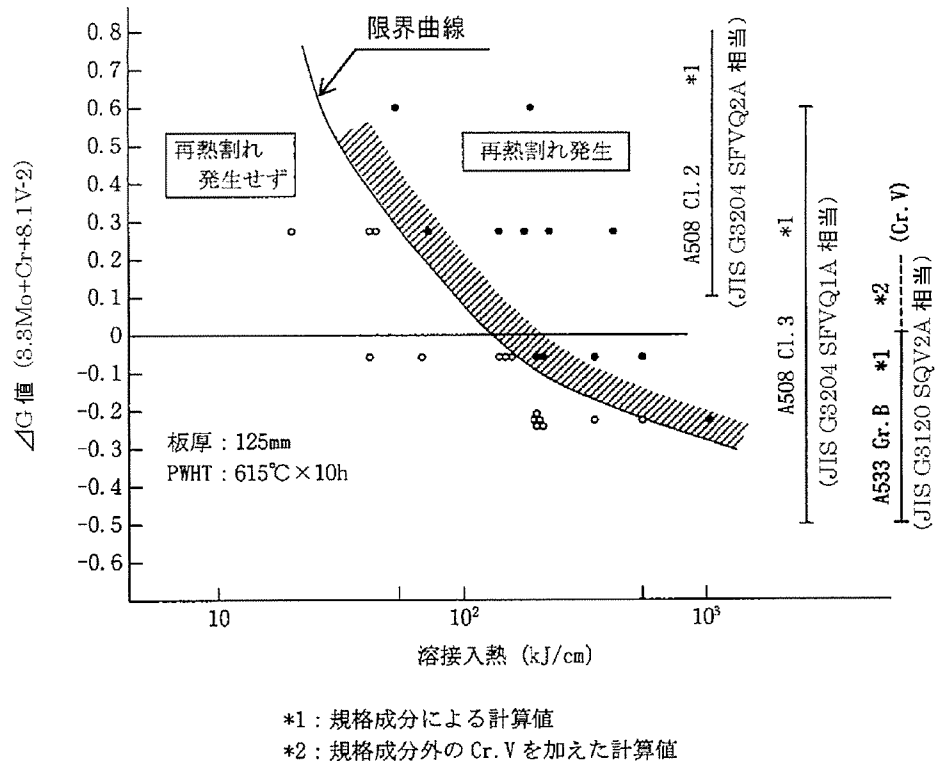


図2.2-2 再熱割れ発生に及ぼす ΔG 値および溶接入熱の影響
[出典：三菱重工技報 Vol.14 No.1 (1977-1)]

2.2.4 消耗品および定期取替品

リングは開放点検時に取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 伊方3号炉 原子炉容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			
ハウンドガリの維持	上部胴、下部胴、トランジションリング、下部鏡板		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り)			○			○ ^{*1}		▲ ^{*2}	*1：中性子照射脆化 (下部胴)
	上部ふた、上部胴フランジ		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り)		△ ^{*3}	○					▲ ^{*2}	*2：内張り下層部の亀裂
	入口管台 出口管台		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り) 【セーフエントドはステンレス鋼 溶接金属は600系 ニッケル基合金】			○	△ (溶接金属)				▲ ^{*2}	*3：ピッチャイング
	ふた管台 空気抜管台		690系ニッケル基合金			○	△ (溶接金属を 含む)					
	炉内計装筒		600系ニッケル基合金 【セーフエントドは ステンレス鋼 溶接金属は600系 ニッケル基合金】			○	△ (溶接金属を 含む)					
	炉心支持金物		600系ニッケル基合金			○	△ (溶接金属を 含む)					
	スタッドボルト		低合金鋼		△	○						
	○リング		◎	—								

○：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 出入口管台等の疲労割れ

a. 事象の説明

出入口管台等は、プラントの起動・停止時等に熱過渡を繰返し受けるため、疲労が蓄積することになる。

b. 技術評価

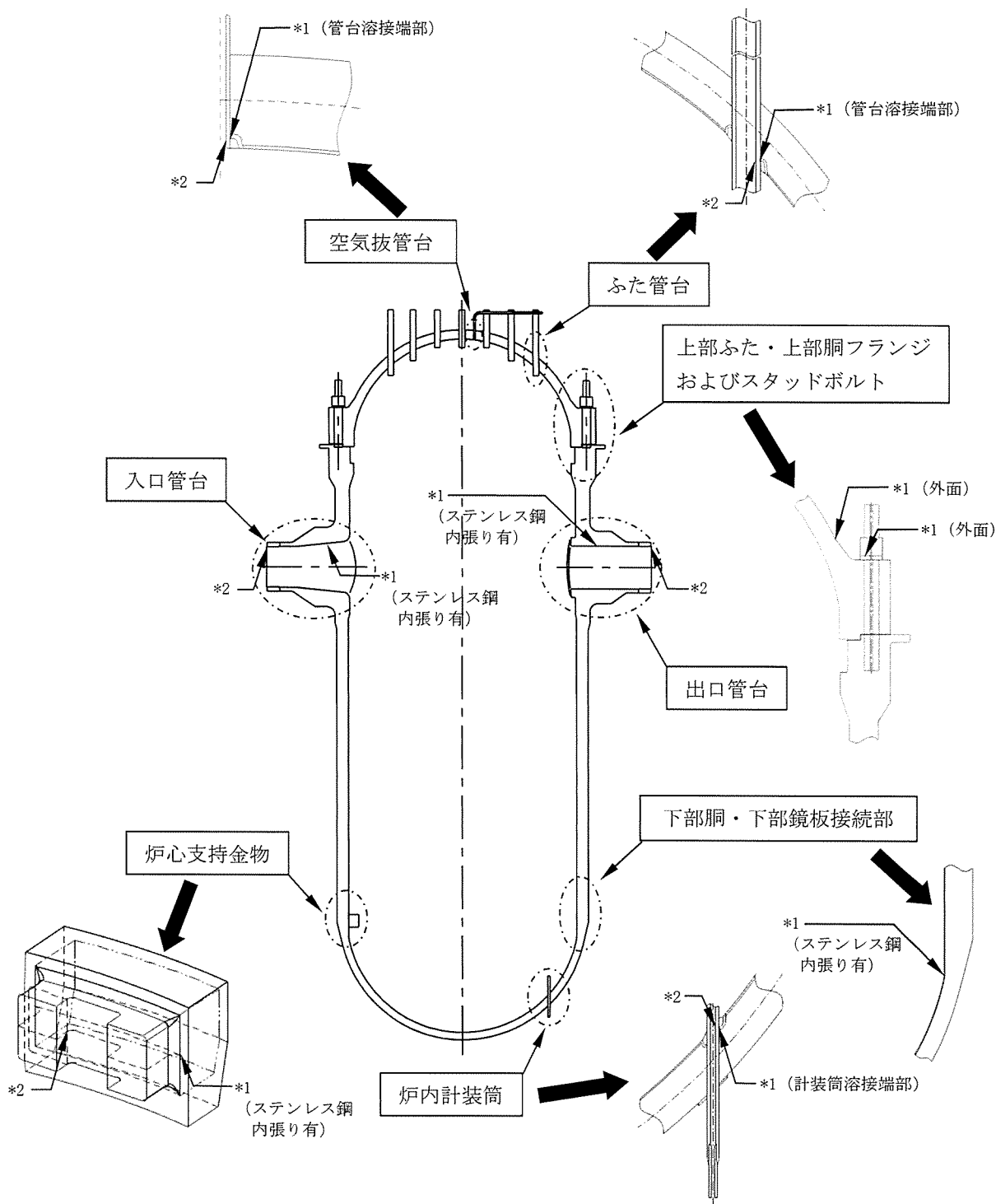
① 健全性評価

出入口管台等の健全性評価にあたっては、構造が不連続であるため比較的大きな熱応力の発生する部位を対象として、「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。

また、使用環境を考慮した疲労について、「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、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的に設定した過渡回数とした。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。



*1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)

(非接液部の場合は () 内に理由を記載)

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

図2.3-1 伊方3号炉 原子炉容器 出入口管台等の疲労評価対象部位

表2.3-1(1/3) 伊方3号炉 原子炉容器 出入口管台等の疲労評価に用いた過渡回数
(上部ふた、ふた管台、空気抜管台およびスタッドボルトを除く)

運転状態Ⅰ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動 (温度上昇率55.6℃/h)	25	69
停止 (温度下降率55.6℃/h)	25	69
負荷上昇 (負荷上昇率5%/min)	164	843
負荷減少 (負荷減少率5%/min)	157	836
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	5
定常負荷運転時の変動*1	—	—
燃料交換	16	69
0%から15%への負荷上昇	25	67
15%から0%への負荷減少	19	64
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年度末時点	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	5	5
1次系漏えい試験	21	61

*1 : 設計評価においては、1次冷却材温度は±1.7℃、1次冷却材圧力は±0.34MPaの変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

表2.3-1(2/3) 伊方3号炉 原子炉容器 出入口管台等の疲労評価に用いた過渡回数
(上部ふた、ふた管台および空気抜管台)

運転状態Ⅰ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年時点の推定値*2
起動 (温度上昇率55.6°C/h)	2	46
停止 (温度下降率55.6°C/h)	2	46
負荷上昇 (負荷上昇率5%/min)	8	687
負荷減少 (負荷減少率5%/min)	8	687
90%から100%へのステップ状負荷上昇	0	2
100%から90%へのステップ状負荷減少	0	2
100%からの大きいステップ状負荷減少	0	3
定常負荷運転時の変動*1	—	—
燃料交換	0	53
0%から15%への負荷上昇	1	43
15%から0%への負荷減少	1	46
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年度末時点	運転開始後60年時点の推定値*2
負荷の喪失	0	3
外部電源喪失	0	4
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	0	7
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	0	0
1次系漏えい試験	1	41

*1: 設計評価においては、1次冷却材温度は±1.7°C、1次冷却材圧力は±0.34MPa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: 運転開始後24年時点での上部ふた取替に伴い、プラント運転開始後60年時点の過渡回数としては、上部ふた取替からプラント運転開始後60年時点までの年数である36年間の過渡回数とした。

表2.3-1(3/3) 伊方3号炉 原子炉容器 出入口管台等の疲労評価に用いた過渡回数
(スタッドボルト)

運転状態Ⅰ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動 (温度上昇率55.6℃/h)	28	77
停止 (温度下降率55.6℃/h)	28	77
負荷上昇 (負荷上昇率5%/min)	164	843
負荷減少 (負荷減少率5%/min)	157	836
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	5
定常負荷運転時の変動 ^{*1}	—	—
燃料交換	16	69
0%から15%への負荷上昇	25	67
15%から0%への負荷減少	19	64
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年度末時点	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	5	5
1次系漏えい試験	21	61

*1：設計評価においては、1次冷却材温度は±1.7℃、1次冷却材圧力は±0.34MPa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 伊方3号炉 原子炉容器 出入口管台等の疲労評価結果

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
① 入口管台 (低合金鋼 (ステンレス鋼内張り))	0.038	0.001 ^{*2}
② 出口管台 (低合金鋼 (ステンレス鋼内張り))	0.047	0.001 ^{*2}
③ ふた管台 ^{*1} (690系ニッケル基合金)	0.074	0.003 ^{*2}
④ 空気抜管台 ^{*1} (690系ニッケル基合金)	0.038	0.001 ^{*2}
⑤ 炉内計装筒 (600系ニッケル基合金)	0.196	0.003 ^{*2}
⑥ 上部ふた ^{*1} および上部胴フランジ (低合金鋼 (ステンレス鋼内張り))	0.008	— ^{*3}
⑦ 下部胴・下部鏡板接続部 (低合金鋼 (ステンレス鋼内張り))	0.004	— ^{*3}
⑧ 炉心支持金物 (600系ニッケル基合金)	0.005	0.001 ^{*2}
⑨ スタッドボルト (低合金鋼)	0.362	— ^{*3}

*1：第14回定期検査時（2017～2018年度）に原子炉容器上部ふたを取替えているため、36年間の過渡回数を基に算出した。

*2：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・建設規格の疲労評価対象箇所と異なる。

*3：非接液部。

② 現状保全

出入口管台等の疲労割れに対しては、定期的に超音波探傷検査等（表2.3-3）により、有意な欠陥がないことを確認している。また、定期的に漏えい検査を実施し、耐圧部の健全性を確認している。

原子炉容器内面の内張りについては、定期的に目視確認により有意な異常の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。

表2.3-3 伊方3号炉 原子炉容器の供用期間中検査の内容

部位	検査部位	検査内容
① 入口管台	内面コーナー、セーフエンドとの溶接部、胴との溶接部	超音波探傷検査 浸透探傷検査
② 出口管台	内面コーナー、セーフエンドとの溶接部、胴との溶接部	超音波探傷検査 浸透探傷検査
③ ふた管台	制御棒クラスタ駆動装置ハウジングとの溶接部	浸透探傷検査
④ 空気抜管台	上部ふたの貫通部	漏えい検査
⑤ 炉内計装筒	下部鏡板の貫通部	ベアメタル検査
⑥ 上部胴フランジ	溶接部	超音波探傷検査
⑦ 下部胴・下部鏡板接続部	溶接部	超音波探傷検査
⑧ 炉心支持金物	胴との溶接部	目視検査
⑨ スタッドボルト	ボルト本体	超音波探傷検査
	ナット	目視検査

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、疲労割れは超音波探傷検査等で、原子炉容器内面の内張りの欠陥については、有意な異常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

出入口管台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。

2.3.2 胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化

a. 事象の説明

原子炉容器が通常の圧力容器と異なる点は、燃料を取り囲む胴部（炉心領域部）で中性子照射を受ける環境にあることである。このため安全性の見地から監視試験片の設定や中性子照射脆化に関する多くの研究が行われてきている。

一般的に材料は中性子の照射を受けると非常に微小な欠陥（析出物やマイクロポイド）が生じ、このような欠陥が存在すると材料の変形の際（転位の移動）の抵抗となり、破壊に対する抵抗（靱性）の低下が生じる。原子炉容器の胴部（炉心領域部）においては、中性子照射とともに関連温度（ RT_{NDT} : Nil Ductility Transition Reference Temperature）が上昇し、上部棚吸収エネルギー（USE: Upper Shelf Energy）が低下することは広く知られており、中性子照射脆化と呼ばれている（図2.3-2参照）。

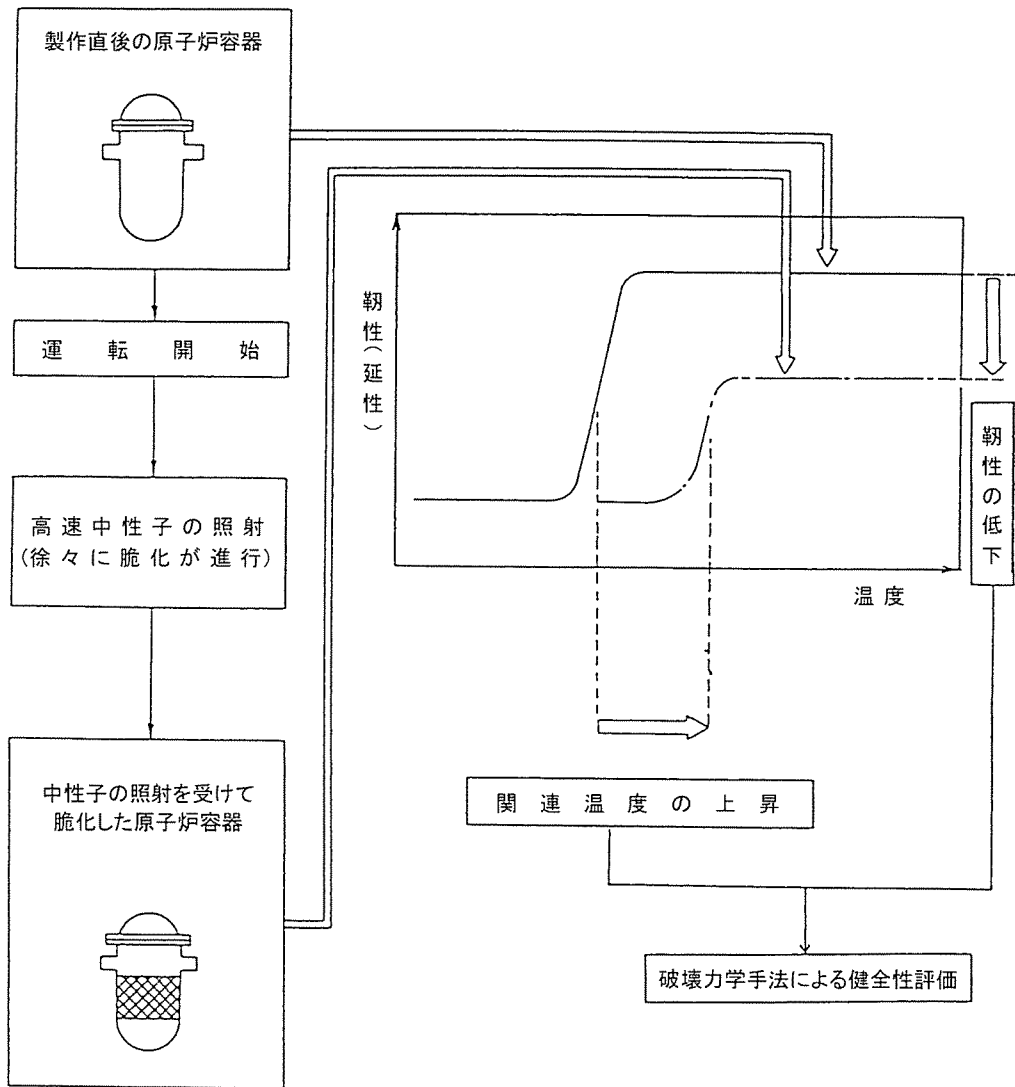


図2.3-2 原子炉容器胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化に対する健全性評価

b. 技術評価

① 健全性評価

中性子照射脆化に対し健全性評価上厳しい箇所は、炉心領域の下部胴である。胴内表面での中性子照射量は、現時点（2020年3月末時点）で $2.71 \times 10^{19} \text{n/cm}^2 (E > 1 \text{MeV})$ 、運転開始後60年時点で $8.66 \times 10^{19} \text{n/cm}^2 (E > 1 \text{MeV})$ 程度と評価される。また、炉心の有効高さを直接囲んでいる下部胴に対して、上部胴、トランジションリングおよび出入口管台では相当運転期間における関連温度移行量が十分に小さく炉心領域に含まれないことから、炉心領域の下部胴を対象として以下の評価を実施する。なお、運転開始後60年時点の評価は、2020年4月以降、設備利用率100%で運転すると仮定して中性子照射量を算出している。

伊方3号炉の現在までの監視試験結果を表2.3-4に示す。

表2.3-4 伊方3号炉 原子炉容器胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化に対する監視試験結果

監視試験回数	中性子照射量 ($\times 10^{19} \text{n/cm}^2$) [E>1MeV]	Tr30 (°C) *3	上部棚吸収エネルギー (J)
		母材*4	母材*4
初期	0	-55	285
第1回	0.749 [約8EFPY]*1	-48	268
第2回	5.04 [約48EFPY]*1,*2	-23	262

*1：内表面から板厚の1/4深さでのEFPY。EFPYとは、定格負荷相当年数（Effective Full Power Year）であり、定格出力で連続運転したと仮定して計算した年数を示す。

*2：第2回監視試験実施時の定格負荷相当年数は約12EFPY。

*3：シャルピー衝撃試験における吸収エネルギーが41 Jとなる温度。関連温度はTr30の移行量と関連温度初期値から算出する。

【関連温度初期値】伊方3号炉 母材：-25°C

*4：T方向（試験片の長手方向が主鍛造方向に直角）。

「日本電気協会 原子炉構造材の監視試験方法（JEAC4201-2007[2013年追補版]）」（以下、「JEAC4201」という。）の国内脆化予測法による、現時点（2020年3月末時点）と運転開始後60年時点での関連温度予測値、および国内USE予測式による上部棚吸収エネルギー予測値、ならびに国内脆化予測法による予測と監視試験結果の関係を表2.3-5ならびに図2.3-3に示す。評価においては、JEAC4201を用いて評価した。

評価の結果、関連温度実測値は予測の範囲内であった。

表2.3-5 伊方3号炉 原子炉容器胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化に対する
関連温度および上部棚吸収エネルギーの予測値

評価時期	中性子照射量*1 ($\times 10^{19}n/cm^2$) [E>1MeV]	関連温度*2 ($^{\circ}C$)	上部棚吸収 エネルギー*2 (J)
		母材*3	母材*3
現時点 (2020年3月末時点)	1.70	3	266
運転開始後60年時点	5.44	26	258

*1：内表面から板厚の1/4深さでの中性子照射量。

*2：内表面から板厚の1/4深さでの予測値。

*3：T方向（試験片の長手方向が主鍛造方向に直角）。

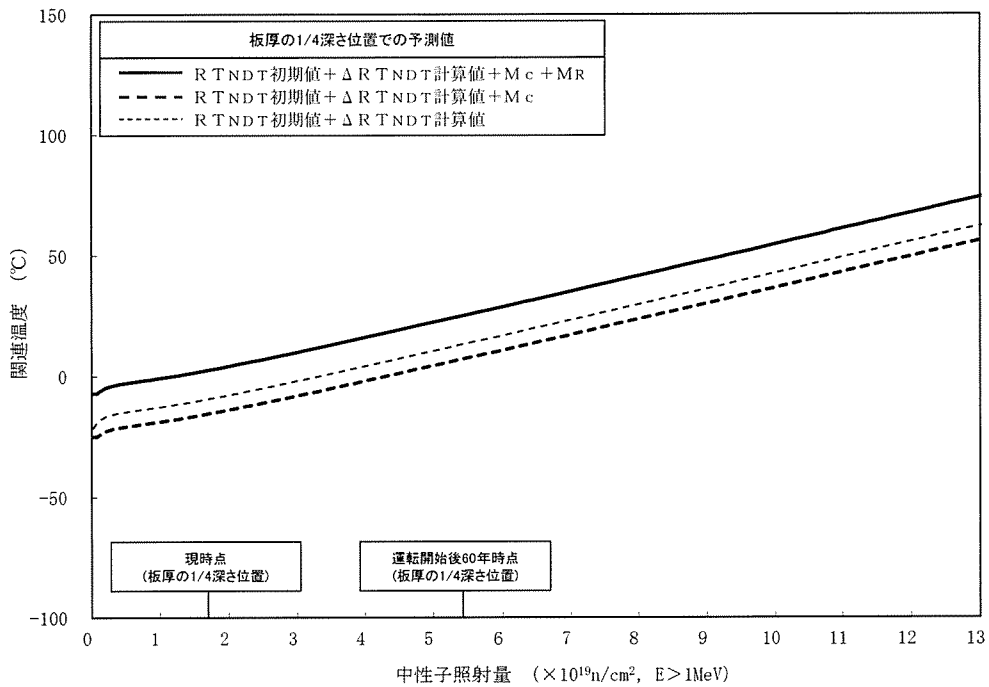
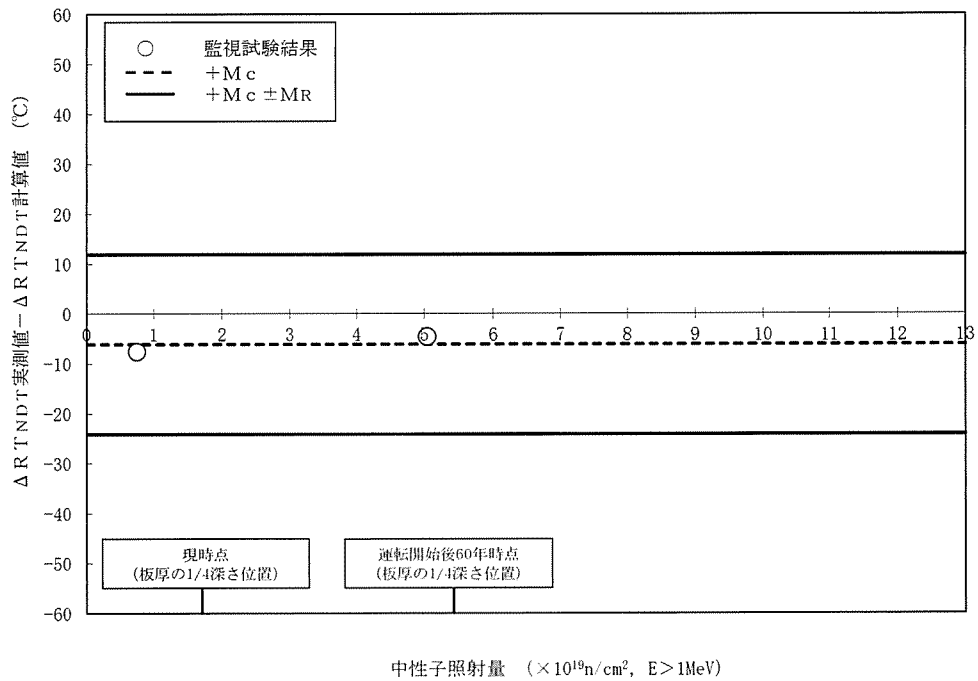


図2.3-3 伊方3号炉 原子炉容器胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化に対する関連温度の国内脆化予測法による予測と監視試験結果の関係

M_C : 実測値で補正する場合に用いるマージン

M_R : マージン

本技術評価では、原子炉容器の胴部（炉心領域部）材料の関連温度の上昇および上部棚吸収エネルギー（USE）の低下に対する評価を以下のとおり実施した。

i 関連温度上昇に対する評価

関連温度の上昇については、「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（JEAC4206-2007）」（以下、「JEAC4206」という。）の附属書C「供用状態C，Dにおける加圧水型原子炉压力容器の炉心領域部に対する非延性破壊防止のための評価方法」に定められた加圧熱衝撃（PTS：Pressurized Thermal Shock）評価手法*1に基づき伊方3号炉原子炉容器の胴部（炉心領域部）材料の評価を実施した。PTS事象は小破断LOCA（Loss Of Coolant Accident：冷却材喪失事故）、大破断LOCA、主蒸気管破断事故および2次冷却系からの除熱機能喪失を対象とした。

中性子照射脆化による材料の靱性低下の予測について、国内脆化予測法を用いて、実測破壊靱性（ K_{Ic} ）データを現時点（2020年3月末時点）および運転開始後60年時点まで温度軸に対してシフトさせ、その予測 K_{Ic} データの下限を包絡した以下の K_{Ic} 曲線を設定する。

$$K_{Ic} = 20.16 + 129.9 \exp \{ 0.0161 (T - T_p) \} \text{ (MPa} \sqrt{\text{m}} \text{)}$$

ここで、 T_p はプラント評価時期の K_{Ic} 曲線を設定する際に定まるプラント個別の定数である。

伊方3号炉を評価した結果、 T_p は現時点（2020年3月末時点）までで21℃、プラント運転開始後60年時点で58℃となった。

健全性評価は K_{Ic} 下限包絡曲線とPTS状態遷移曲線を比較し、 $K_{Ic} > K_I$ であることを確認することであり、図2.3-4に評価結果を示す。

初期亀裂を想定しても、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。

*1：PTS評価では、想定亀裂先端部の中性子照射量には原子炉容器内表面の値を用いている。

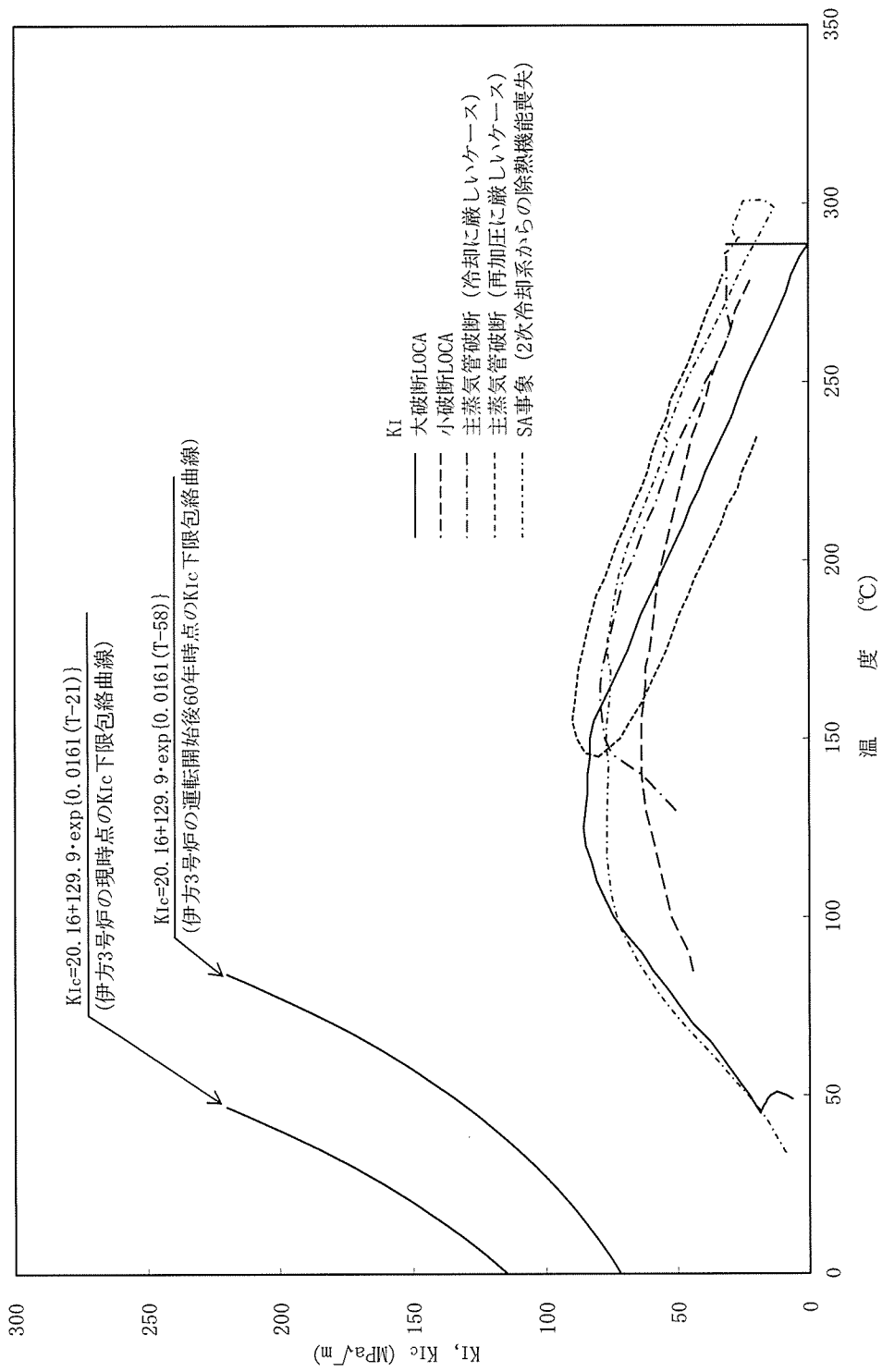


図2.3-4 伊方3号炉 原子炉容器胴部 (炉心領域部) 中性子照射脆化に対するPTS評価結果

ii 上部棚吸収エネルギー低下に対する評価

国内プラントを対象とした上部棚吸収エネルギーの予測式（JEAC4201の国内USE予測式）を用いて、現時点（2020年3月末時点）および運転開始後60年時点での上部棚吸収エネルギーの予測値を評価した結果、表2.3-6のとおりJEAC4206で要求している68 J以上を満足しており、十分な上部棚吸収エネルギーがあることを確認した。

表2.3-6 伊方3号炉 上部棚吸収エネルギーの予測値

(単位：J)

	方向	初期値	現時点 (2020年3月末時点) *1	運転開始後 60年時点*1
母材	T方向*2	285	266	258

*1：内表面から板厚の1/4深さでの予測値。

*2：試験片の長手方向が主鍛造方向に直角。

② 現状保全

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、将来の破壊靱性の変化の傾向を把握している。

伊方3号炉は、当初監視試験カプセルを6体挿入し、現在までに2体のカプセルを取り出し、将来の運転期間に対する脆化予測を行い、原子炉容器の健全性を評価している。

また、監視試験結果から、JEAC4206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うる温度・圧力の範囲（加熱・冷却制限曲線）および耐圧漏えい試験温度を設けて運用している。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、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。

c. 高経年化への対応

胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化に対しては、JEAC4201に基づき計画的に監視試験を実施し、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、JEAC4206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うる温度・圧力の範囲（加熱・冷却制限曲線）および耐圧漏えい試験温度を設けて運用していく。

なお、健全性評価の結果から胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化が原子炉の安全性に影響を及ぼす可能性はないと考えるが、今後の原子炉の運転サイクル・照射量を勘案して第3回監視試験の実施計画を策定する。

2 加圧器

[対象部位]

- 2.1 加圧器本体
- 2.2 加圧器ヒータ

伊方3号炉で使用されている加圧器は、本体およびヒータに大きく分類されるため、評価書においては、これら対象部位2種類についての技術評価を行う。

本評価書では、以下の2つに分類している。

- 2.1 加圧器本体
- 2.2 加圧器ヒータ

2.1 加压器本体

[対象機器]

① 加压器

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 加圧器の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	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	12

1. 技術評価対象機器

伊方3号炉で使用されている加圧器の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 伊方3号炉 加圧器の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件	
		最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
加圧器 (1)	PS-1、重*2	約17.2	約360

*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および
構造物であることを示す。

2. 加圧器の技術評価

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 加圧器

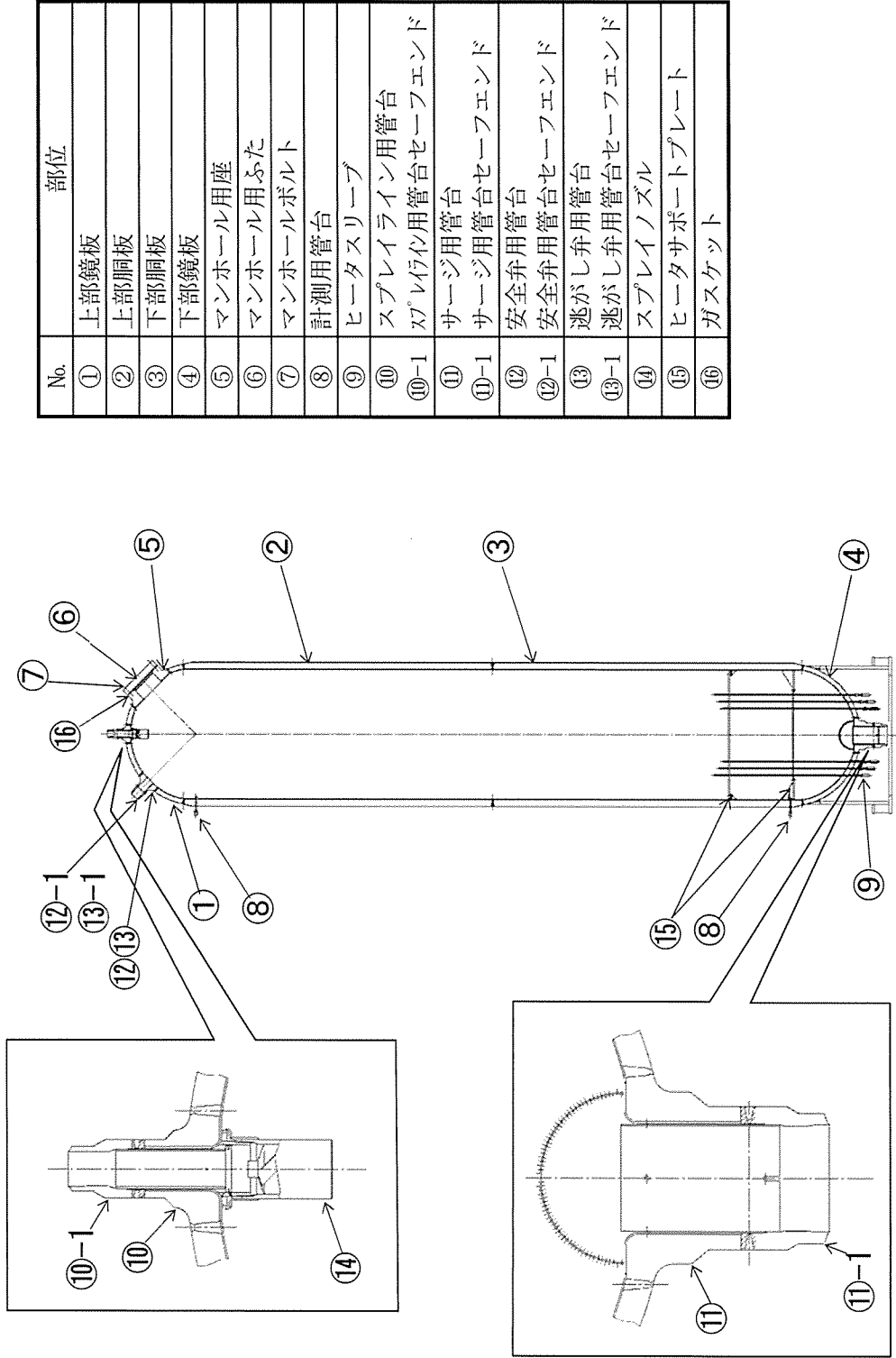
(1) 構造

伊方3号炉の加圧器は、低合金鋼を加工して製作しており、1次冷却材と接液する内面には、ステンレス鋼を内張りしている。

伊方3号炉の加圧器の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の加圧器の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	上部鏡板
②	上部胴板
③	下部胴板
④	下部鏡板
⑤	マンホール用座
⑥	マンホール用ふた
⑦	マンホールボルト
⑧	計測用管台
⑨	ヒータスリーブ
⑩	スプライン用管台
⑩-1	スプライン用管台セーフエンド
⑪	サージ用管台
⑪-1	サージ用管台セーフエンド
⑫	安全弁用管台
⑫-1	安全弁用管台セーフエンド
⑬	逃がし弁用管台
⑬-1	逃がし弁用管台セーフエンド
⑭	スプレイノズル
⑮	ヒータサポートプレート
⑯	ガスケット

図2.1-1 伊方3号炉 加圧器構造図

表2.1-1 伊方3号炉 加圧器主要部位の使用材料

部位	材料
上部鏡板 上部胴板 下部胴板 下部鏡板	低合金鋼 (ステンレス鋼内張り)
マンホール用座	低合金鋼 (ステンレス鋼内張り)
マンホール用ふた	低合金鋼
マンホールボルト	低合金鋼
計測用管台 ヒータスリーブ	ステンレス鋼
スプレイライン用管台 サージ用管台 安全弁用管台 逃がし弁用管台	低合金鋼 (ステンレス鋼内張り) セーフエンドはステンレス鋼 溶接金属は690系ニッケル基合金
スプレイノズル	ステンレス鋼
ヒータサポートプレート	ステンレス鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-2 伊方3号炉 加圧器の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa[gage]
最高使用温度	約360℃
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

加圧器の機能である圧力制御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 バウンダリの維持
- ② 圧力制御

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

加圧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）およ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) スプレイライン用管台等の疲労割れ

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、流量変化により、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 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△または▲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、また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)または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) マンホール用座シート面のピitting

加圧器のマンホール用座シート面は狭い部でありピittingの発生が想定される。

しかしながら、一度運転に入ると高温状態となりシート面のステンレス鋼内張り表面に強固な酸化皮膜が形成されるため、有意なピittingの進展は考えられない。

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、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。

(2) マンホールボルトの腐食（全面腐食）

マンホールボルトは、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がたい。

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) 計測用管台の内面からの応力腐食割れ

1995年9月、米国サリー（Surry）発電所1号炉の加圧器計測用管台で応力腐食割れによる損傷が発生していることから、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、伊方3号炉においては、計測用管台には耐応力腐食割れ性に優れた316系ステンレス鋼を採用しており、水素注入や脱塩処理を実施することで1次系水質を維持し、プラント起動時のサンプリング等により管理している。

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、漏えい検査により、機器の健全性を確認している。

(4) ヒータスリーブ（溶接部含む）の応力腐食割れ

1989年5月、米国カルバートクリフ（Calvert Cliffs）発電所2号炉で損傷事例のあったヒータスリーブは、600系ニッケル基合金であり、316系ステンレス鋼である伊方3号炉のヒータスリーブについては、PWR1次系水質環境下において応力腐食割れが発生する可能性は小さいと考えられる。

また、2006年4月、米国ブレイドウッド（Braidwood）発電所1号炉で損傷事例のあったヒータスリーブは、316系ステンレス鋼であるが、溶接部が熱影響等により鋭敏化していたとともに、ヒータスリーブとヒータの隙間部で溶存酸素が高くなっていた可能性があることから、発生原因として「酸素型応力腐食割れ」が推定されている。

しかしながら、伊方3号炉のヒータスリーブ（316系ステンレス鋼）については、電力共同研究において、酸素型応力腐食割れに対して非常に厳しい条件（鋭敏化に対しては当該部に想定される以上）での定荷重試験により破断が認められた時間よりも、実機が酸素型応力腐食割れ発生環境下に置かれる時間が極めて短いことから、応力腐食割れ発生の可能性は小さい。

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

なお、漏えい検査により、機器の健全性を確認している。

(5) スプレイライン用管台等の690系ニッケル基合金使用部位の応力腐食割れ

2003年9月、敦賀2号炉の加圧器逃がし弁用管台および安全弁用管台において、600系ニッケル基合金接液部の応力腐食割れが発生している。

伊方3号炉のスプレイライン用管台等には690系ニッケル基合金を使用しており、図2.2-1に示す電力共同研究による690系ニッケル基合金の温度加速定荷重応力腐食割れ試験の結果から、応力腐食割れが発生する可能性は小さいと考える。

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

なお、溶接部を対象とした超音波探傷検査および浸透探傷検査により、機器の健全性を確認している。

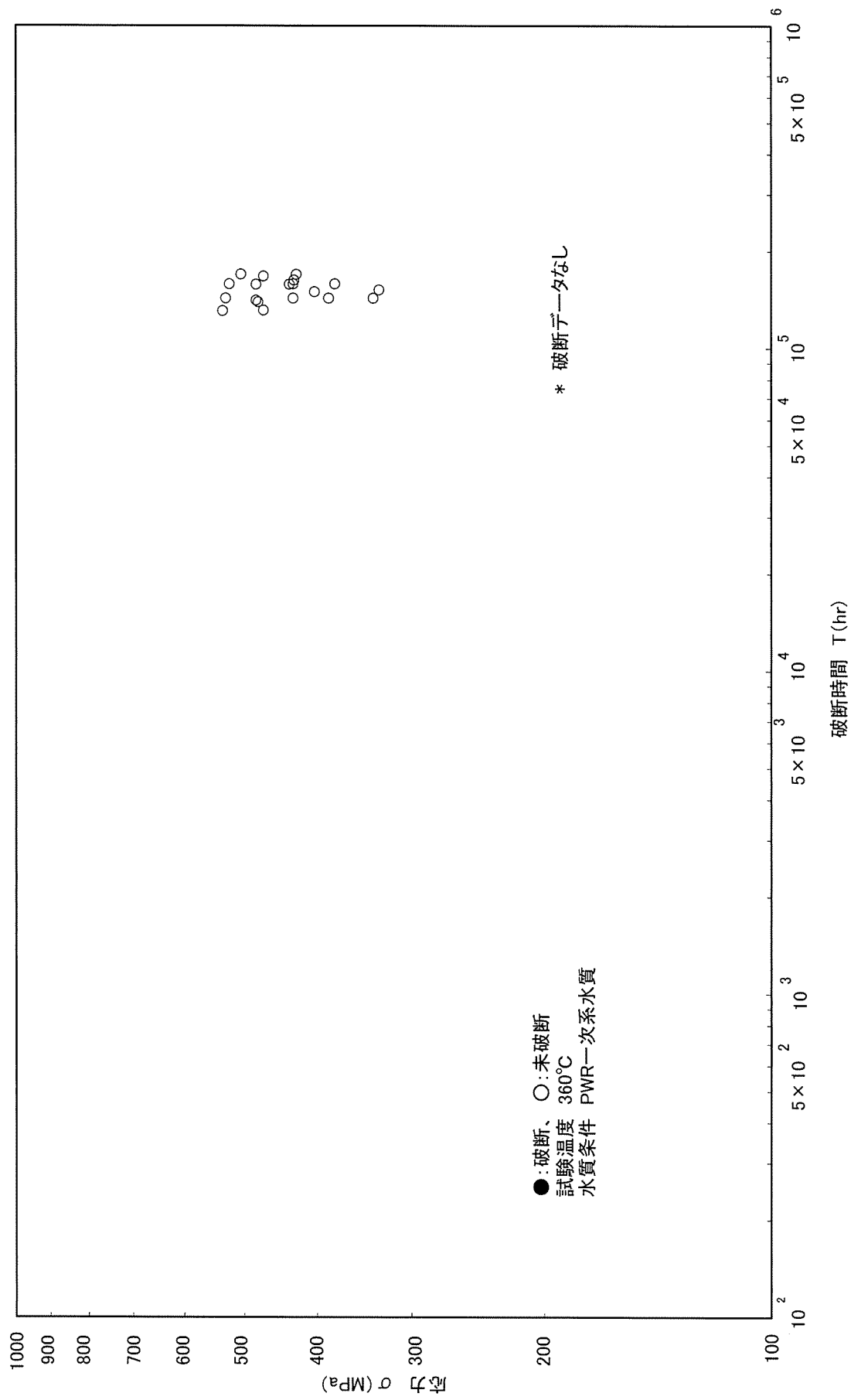


図2.2-1 690系ニッケル基合金の定荷重応力腐食割れ (SCC) 試験結果

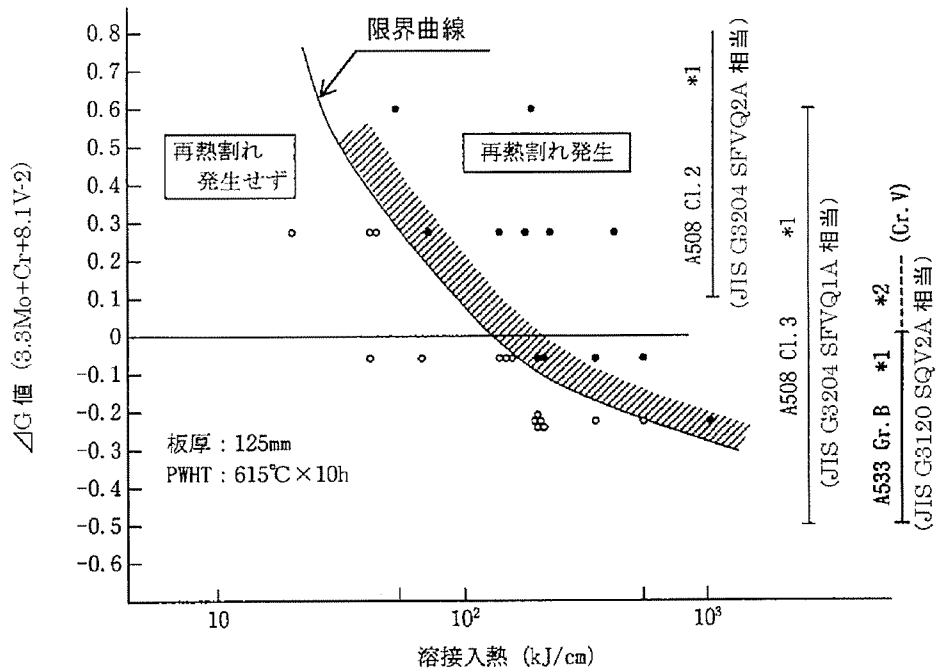
[出典：電力共同研究「690合金のPWSCC長期信頼性確証試験 (STEP6) 2022年度 (中間報告書)」]

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

(6) 上部鏡板等低合金鋼部の内張り下層部の亀裂

上部鏡板、上部胴板等には低合金鋼を用いており、ステンレス鋼の内張りを施している。一部の低合金鋼 (SA-508 Class2) 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亀裂が発生することが米国PVRC (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。

伊方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、亀裂が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 値および溶接入熱の影響

[出典：三菱重工技報 Vol.14 No.1 (1977-1)]

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットは開放点検時に取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 伊方3号炉 加圧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	熟時効	劣化		
バウンダリの維持	上部鏡板、上部胴板、下部胴板、下部鏡板		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り)							▲*1	*1：内張り下層部の亀裂 *2：ピッチイング
	マンホール用座		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り)		△*2					▲*1	
	マンホール用ふた		低合金鋼								
	マンホールボルト		低合金鋼		△						
	計測用管台		ステンレス鋼			△					
	ヒータスリーブ		ステンレス鋼			△					
	スプレイライ用管台		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り) セーフエンドは ステンレス鋼、 溶接金属は 690系ニッケル基合金			○	△ (溶接金属)			▲*1	
	サージ用管台		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り) セーフエンドは ステンレス鋼、 溶接金属は 690系ニッケル基合金			○	△ (溶接金属)			▲*1	
	安全弁用管台		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り) セーフエンドは ステンレス鋼、 溶接金属は 690系ニッケル基合金				△ (溶接金属)			▲*1	
	逃がし弁用管台		低合金鋼 (ステンレス鋼内張り) セーフエンドは ステンレス鋼、 溶接金属は 690系ニッケル基合金				△ (溶接金属)			▲*1	
圧力制御	ガスケット		—								
	スプレイノズル		—								
	ヒータサポートプレート		ステンレス鋼 ステンレス鋼								

○：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）

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 スプレイライン用管台等の疲労割れ

a. 事象の説明

スプレイライン用管台等は、プラントの起動・停止時等に熱過渡を繰り返す受けるため、疲労が蓄積することになる。

b. 技術評価

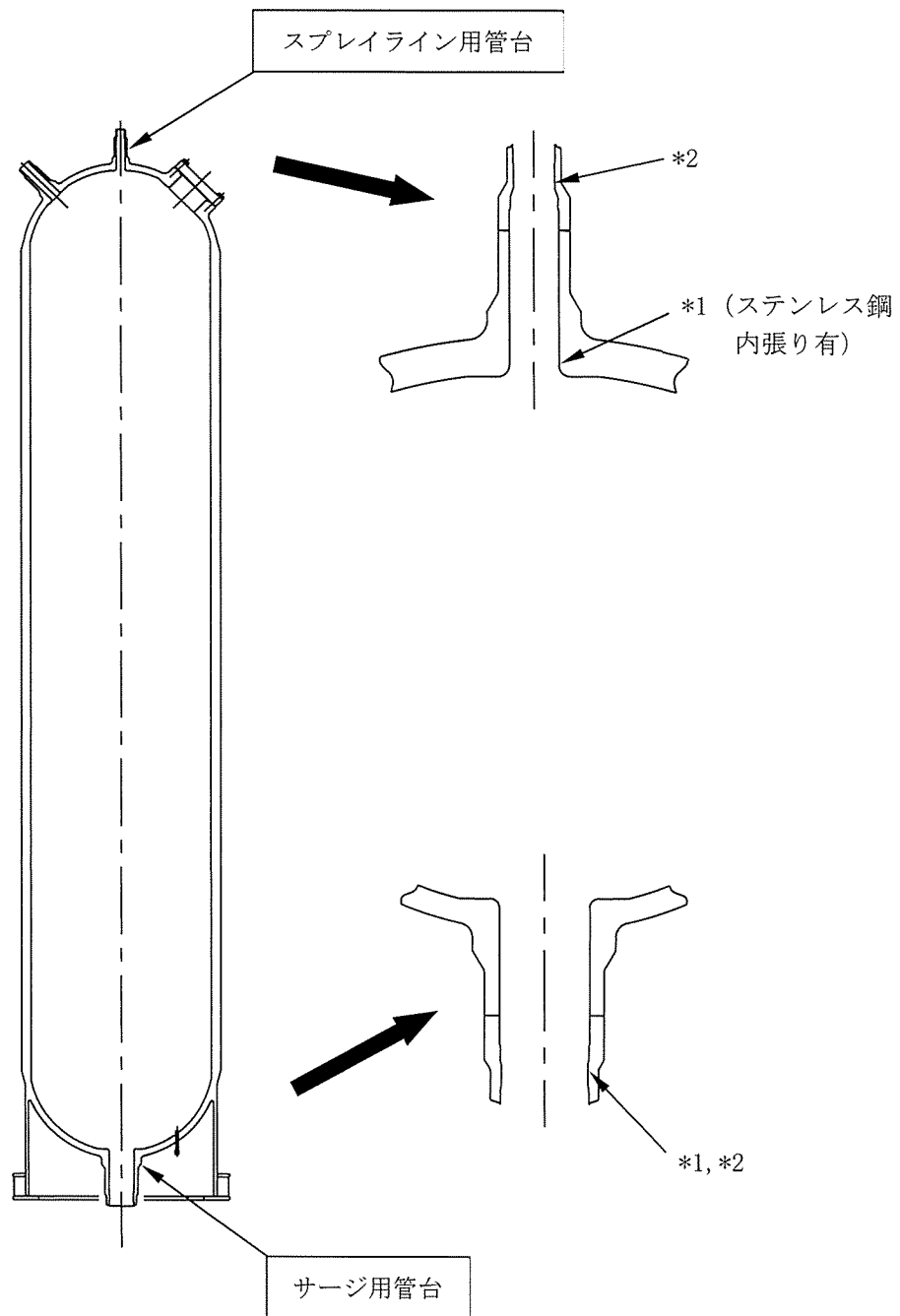
① 健全性評価

スプレイ注水時またはインサージ（1次冷却材管から加圧器への流れ）やアウトサージ（加圧器から1次冷却材管への流れ）時の熱衝撃により比較的大きな熱応力が発生するスプレイライン用管台およびサージ用管台を対象として、「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。

また、使用環境を考慮した疲労について、「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、スプレイライン用管台では、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、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的に設定した過渡回数とした。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。



- *1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)
(非接液部の場合は () 内に理由を記載)
- *2 : 「環境疲労評価手法」に基づく疲労評価対象部位(最大) (接液部が対象)

図2.3-1 伊方3号炉 加圧器の疲労評価対象部位

表2.3-1 伊方3号炉 加圧器スプレイライン用管台等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年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動（温度上昇率55.6℃/h）	25	69
停止（温度下降率55.6℃/h）	25	69
負荷上昇（負荷上昇率5%/min）	164	843
負荷減少（負荷減少率5%/min）	157	836
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	5
定常負荷運転時の変動 ^{*1}	—	—
燃料交換	16	69
0%から15%への負荷上昇	25	67
15%から0%への負荷減少	19	64
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年度末時点	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	5	5
1次系漏えい試験	21	61

*1：設計評価においては、1次冷却材温度は±1.7℃、1次冷却材圧力は±0.34MPa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 伊方3号炉 加圧器スプレイライン用管台等の疲労評価結果

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
スプレイライン用管台 (低合金鋼(ステンレス鋼内張り))	0.045	0.051 ^{*1*2}
サージ用管台 (低合金鋼(ステンレス鋼内張り))	0.021	0.135

*1：熱成層による発生応力を含めた解析であり、3次元有限要素法を用いた評価。

*2：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・建設規格の疲労評価対象箇所と異なる。

② 現状保全

スプレイライン用管台等の疲労割れに対しては、定期的に超音波探傷検査および浸透探傷検査により、有意な欠陥がないことを確認している。また、定期的に漏えい検査を実施し、耐圧部の健全性を確認している。

スプレイライン用管台等の加圧器内面の内張りについては、超音波探傷検査により母材に有意な欠陥のないことを確認することで、その健全性を確認している。

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

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、疲労割れ発生の可能性はないと考える。ただし、疲労評価は実績過渡回数に依存するため、今後も実績過渡回数を把握し評価する必要がある。

また、疲労割れは超音波探傷検査等で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

スプレイライン用管台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。

2. 2 加圧器ヒータ

[対象機器]

- ① 加圧器後備ヒータ

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 加圧器後備ヒータの技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	6

1. 技術評価対象機器

伊方3号炉で使用されている加圧器ヒータの主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 伊方3号炉 加圧器ヒータの主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	主要寸法 (φ×L) (mm×mm)	使用条件	
			最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
加圧器後備ヒータ (57)	MS-2	約22×約2,810	約17.2	約390

*1：機能は最上位の機能を示す。

2. 加圧器後備ヒータの技術評価

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 加圧器後備ヒータ

(1) 構造

加圧器後備ヒータはヒータスリーブを介して加圧器本体に取り付けており、加圧器内部で上下2箇所のサポートプレートで支持している。

発熱体は1次冷却材の圧力バウンダリであるシースに内包されており、リードに接続している。電力はコネクタに接続したケーブルからリード等を介して発熱体に供給されている。

シース内部の絶縁は絶縁物（酸化マグネシウム）により維持している。酸化マグネシウムは非常に吸湿しやすい材料であるため、セラミック端子とレセプタクルの接続部をシールすることで外部の湿気がシース内部に侵入しないようにしている。

絶縁物、充てん材およびセラミック端子はヒータ端末部の絶縁を維持するためのものである。

伊方3号炉の加圧器後備ヒータの加圧器本体への取付構造図を図2.1-1に、加圧器後備ヒータの構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の加圧器後備ヒータの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

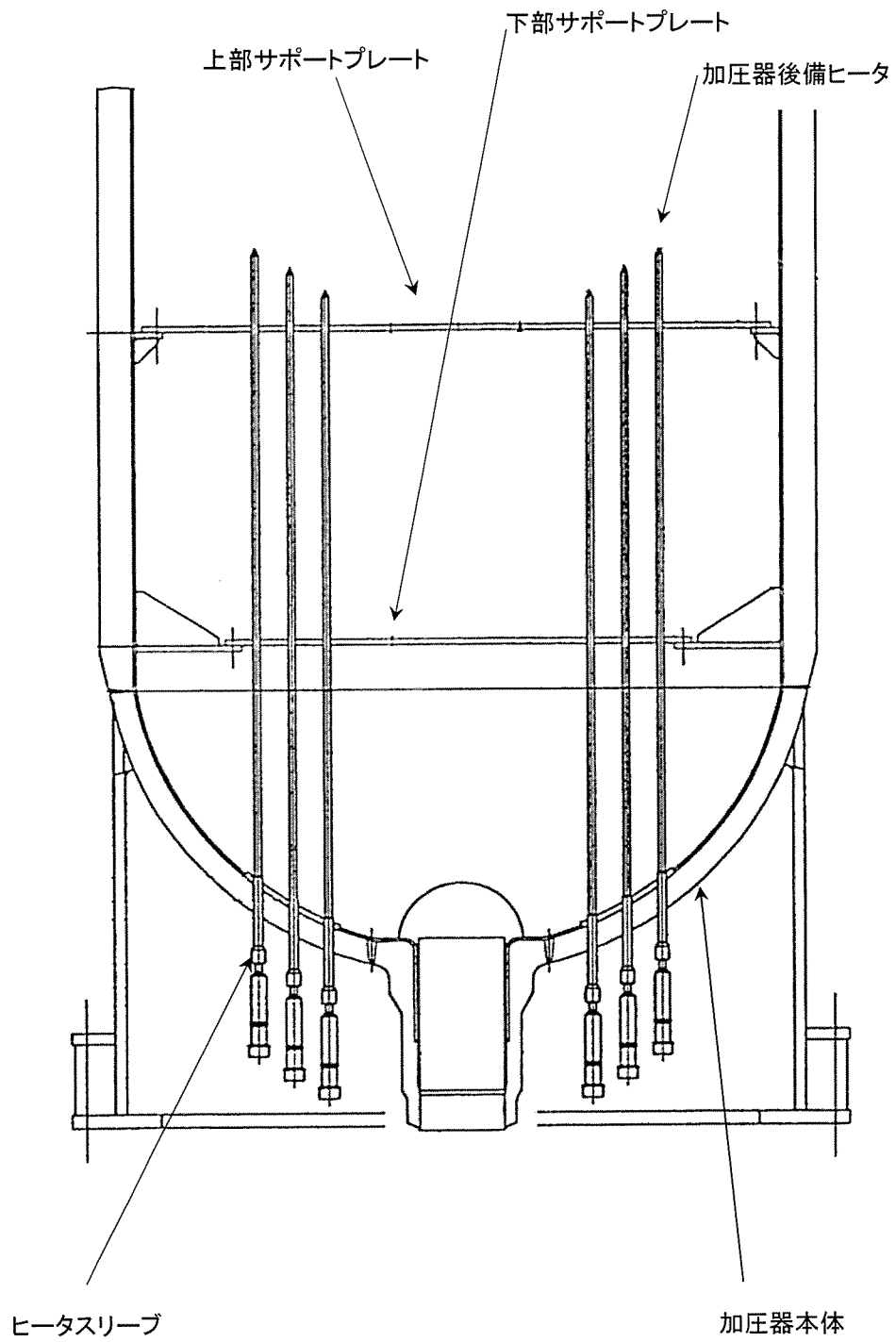
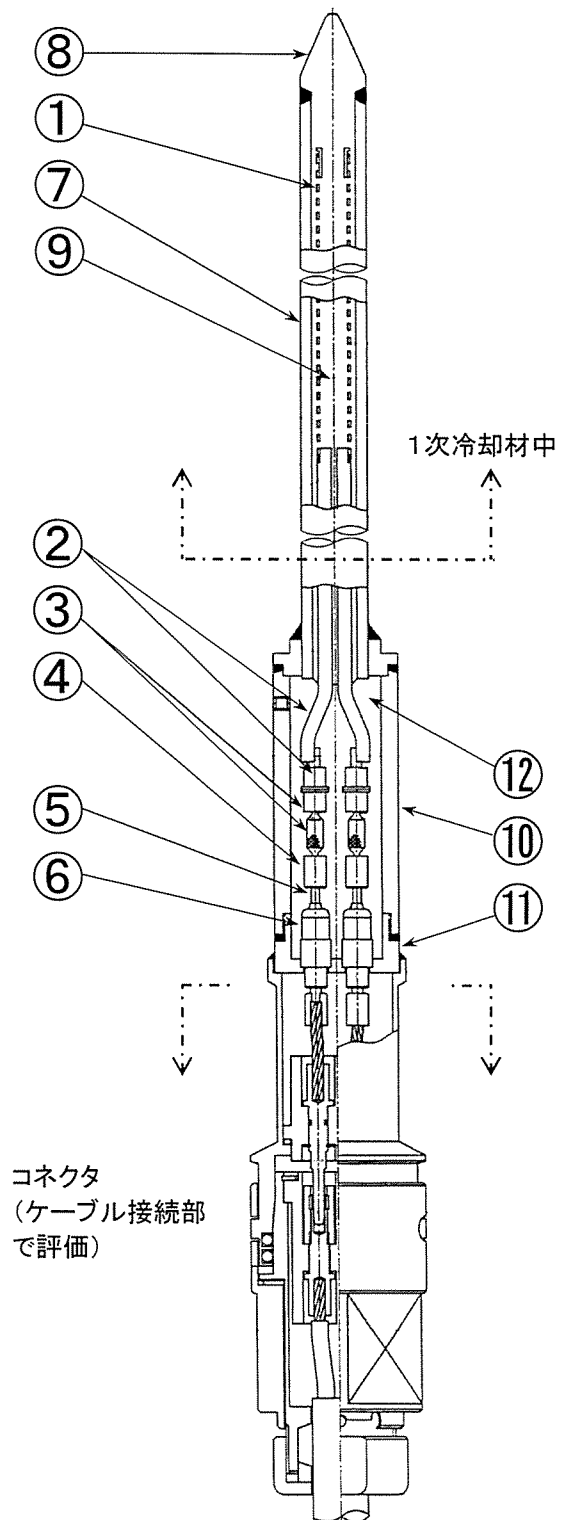


図2. 1-1 伊方3号炉 加圧器後備ヒータの加圧器本体への取付構造図



コネクタ
(ケーブル接続部
で評価)

No.	部位
①	発熱体
②	リード
③	伸縮リード
④	端子
⑤	銅棒
⑥	セラミック端子
⑦	シース
⑧	プラグ
⑨	絶縁物
⑩	アダプタ
⑪	レセプタクル
⑫	充てん材

図2.1-2 伊方3号炉 加圧器後備ヒータの構造図

表2.1-1 伊方3号炉 加圧器後備ヒータ主要部位の使用材料

部位	材料
発熱体	ニクロム線
リード	ニッケル
伸縮リード	銅
端子	銅
銅棒	銅
セラミック端子	セラミックス
絶縁物	酸化マグネシウム
充てん材	酸化アルミニウム
シース	ステンレス鋼
プラグ	ステンレス鋼
アダプタ	ステンレス鋼
レセプタクル	ステンレス鋼

表2.1-2 伊方3号炉 加圧器後備ヒータの使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa[gage]
最高使用温度	約390℃

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

加圧器後備ヒータとしての機能達成に必要な項目として、以下の2つがある。

- ① 昇温・昇圧制御
- 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

加圧器後備ヒータ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、使用条件およ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、また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)または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) 発熱体、リード、伸縮リード、端子および銅棒の導通不良

発熱体等は、ヒータON-OFF時に発生する熱伸縮により繰り返し応力を受けるため、材料に疲労が蓄積され、疲労割れによる導通不良が想定される。

しかしながら、実機同等品を用いたON-OFF寿命試験の結果、実機の使用状態での発熱体温度では、60年間の運転を想定したヒータON-OFF回数程度では、導通不良に至らないことを確認しており、疲労割れにより導通不良に至る可能性はない。

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、機器点検時の抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(2) セラミック端子および充てん材の絶縁低下

セラミック端子および充てん材は無機物のセラミックスおよび酸化アルミニウムであり、経年劣化の可能性はない。

なお、長期の使用においては表面の汚損による絶縁低下が想定される。

しかしながら、セラミック端子および充てん材はアダプタおよびレセプタクルで保護されており、塵埃の付着により表面が汚損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、機器点検時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(3) 絶縁物の絶縁低下

絶縁物は、発熱体の発熱により、発熱体の成分 (Ni、Cr) が拡散し、酸化マグネシウムの純度が低下することによる絶縁低下が想定される。

しかしながら、加圧器後備ヒータの発熱体の温度は最大550℃であり、拡散が急激に進行することはない（出典：キンガリー・ウールマン セラミックス材料科学入門 基礎編）。

また、加圧器後備ヒータは絶縁物の吸湿防止のため、セラミック端子とレセプタクルの接続部をシールしており、外部の湿気がシース内部に侵入し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、機器点検時の絶縁抵抗測定により、機器の健全性を確認している。

(4) シースおよびプラグの応力腐食割れ

海外プラントにおいて、ステンレス鋼製のシース外面のサポートプレート接触部等が応力腐食割れによって損傷する事例が発生している。応力腐食割れの発生原因として、接液部表面の硬化層や残留応力の影響と報告されている。

伊方3号炉のシースは国内産であり、表層は硬くなく、応力腐食割れが発生、進展することは考えがたい。

また、プラグの表面は機械加工を行っているが、内部まで硬いとは考えられないことから、応力腐食割れが進展することは考えがたい。

以上のことから、シースおよびプラグの応力腐食割れは、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、機器点検時の絶縁抵抗測定により、1次冷却材の混入等による絶縁低下のないことを確認している。

表2.2-1 伊方3号炉 加圧器後備ヒータ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				
昇温・昇圧制御	発熱体		ニクロム線							△			
	リード		ニッケル							△			
	伸縮リード		銅							△			
	端子		銅							△			
	銅棒		銅							△			
	セラミック端子		セラミックス						△				
	絶縁物		酸化マグネシウム							△			
	充てん材		酸化アルミニウム							△			
	レセプタクル		ステンレス鋼										
	アダプタ		ステンレス鋼										
バウンダリの維持	シース		ステンレス鋼							△			
	プラグ		ステンレス鋼							△			

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

3 原子炉格納容器

[対象部位]

- 3.1 原子炉格納容器本体
- 3.2 機械ペネトレーション
- 3.3 電気ペネトレーション

伊方3号炉で使用されている原子炉格納容器の部位は、本体および貫通部に大きく分かれ、形式等でグループ化すると3個のグループに分類されるため、本評価書においては、これら対象部位3種類についての技術評価を行う。

本評価書では、以下の3つに分類している。

- 3.1 原子炉格納容器本体
- 3.2 機械ペネトレーション
- 3.3 電気ペネトレーション

3.1 原子炉格納容器本体

[対象機器]

- ① 原子炉格納容器

目次

1. 技術評価対象機器	1
2. 原子炉格納容器の技術評価	2
2.1 構造、材料および使用条件	2
2.2 経年劣化事象の抽出	5

1. 技術評価対象機器

伊方3号炉で使用されている原子炉格納容器の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 伊方3号炉 原子炉格納容器の主な仕様

機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件	
		最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
原子炉格納容器 (1)	MS-1、重*2	約0.28	約132

*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および構造物であることを示す。

2. 原子炉格納容器の技術評価

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 原子炉格納容器

(1) 構造

伊方3号炉の原子炉格納容器は、LOCA時の耐圧および漏えい防止機能をもつ容器であり、鋼板の内面および外面については防錆のために塗装を施しており、コンクリート埋設部については防食のために電気防食設備を設置している。

伊方3号炉の原子炉格納容器の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の原子炉格納容器の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

No.	部位
①	トップドーム部
②	円筒部
③	コンクリート埋設部 (スタッド含む)
④	アニュラスシール

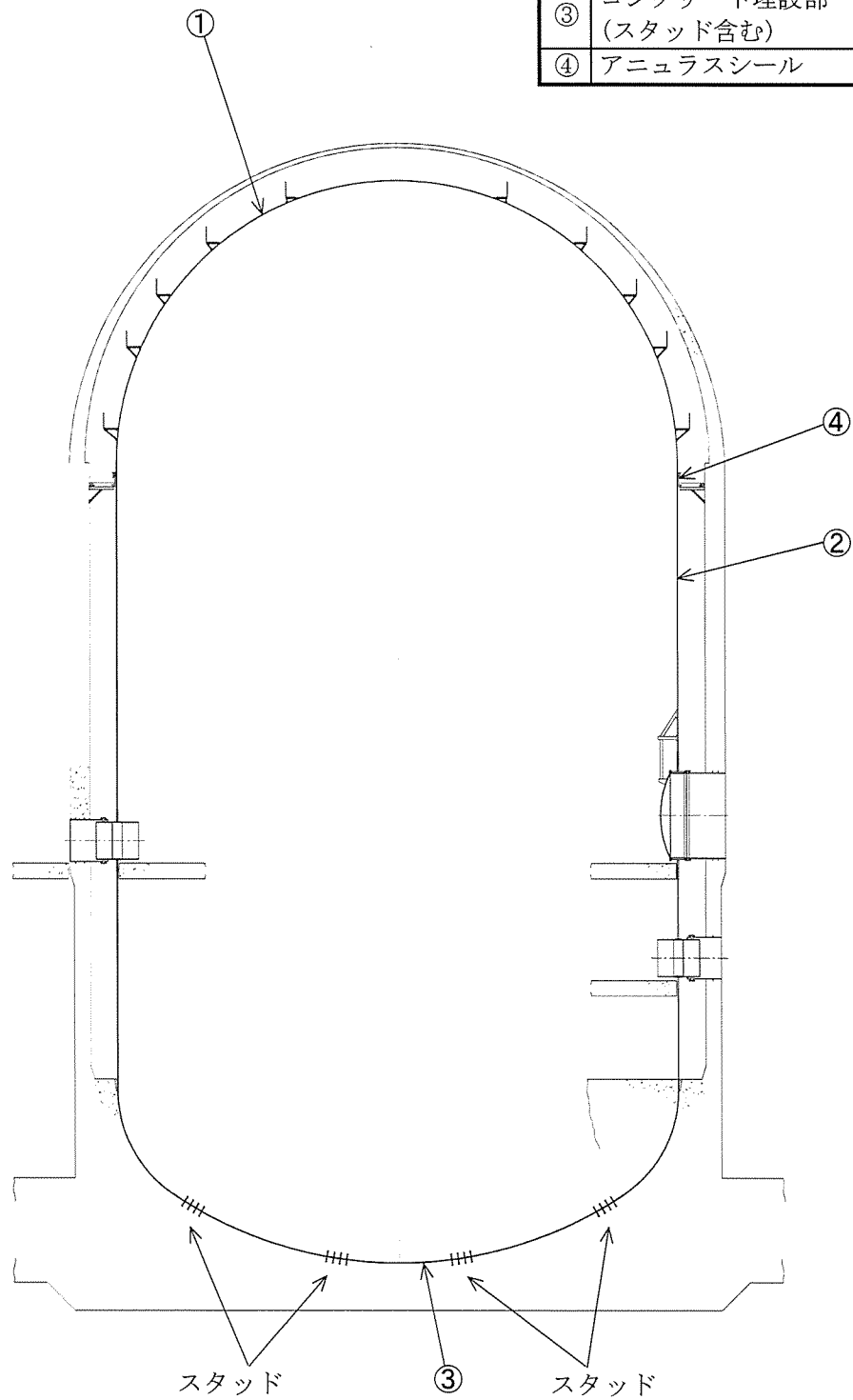


図2.1-1 伊方3号炉 原子炉格納容器構造図

表2.1-1 伊方3号炉 原子炉格納容器主要部位の使用材料

部位		材料
原子炉格納容器 鋼板	トップドーム部	炭素鋼
	円筒部	炭素鋼
	コンクリート埋設部 (スタッド含む)	炭素鋼
アニュラスシール		消耗品・定期取替品

表2.1-2 伊方3号炉 原子炉格納容器の使用条件

最高使用圧力	約0.28MPa[gage]
最高使用温度	約132℃
内部流体	大気

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

原子炉格納容器の機能である耐圧・漏えい防止機能を維持するためには、次の項目が必要である。

① バウンダリの維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

原子炉格納容器について、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（圧力、温度等）およ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△または▲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、また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)または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) 原子炉格納容器鋼板（トップドーム部および円筒部）の腐食（全面腐食）

トップドーム部および円筒部は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、屋外大気に曝されておらず、塗装の健全性確認を行っていれば腐食は問題とならない。

また、定期的に見視確認により塗装の健全性を確認するとともに、原子炉格納容器漏えい率試験によりバウンダリ機能の健全性を確認している。なお、原子炉格納容器鋼板の代表部位について超音波厚み計による板厚測定を実施した結果、必要最小板厚を満足していることを確認している。

したがって、今後も現状保全を継続することで、機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) 原子炉格納容器鋼板の疲労割れ

原子炉格納容器鋼板は、プラントの起動・停止時等の熱過渡により、疲労割れが想定される。

しかしながら、運転中の温度変化およびそれに伴う圧力変化等しか過渡を受けず、有意な過渡を受けないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、原子炉格納容器漏えい率試験により、機器の健全性を確認している。

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

(3) 原子炉格納容器鋼板（コンクリート埋設部）の腐食（全面腐食）

原子炉格納容器鋼板は炭素鋼であり、湿分による腐食が想定される。

しかしながら、コンクリート埋設部はコンクリート内の水酸化カルシウムにより強アルカリ環境を形成しており、鉄表面は不動態化しているため、腐食速度としては極めて小さい。また、コンクリート埋設部には電気防食設備を備えており、腐食速度の小さい電位に鋼板電位を保持できるようにしている。

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 消耗品および定期取替品

アニュラスシールは目視確認および定期的実施する硬度測定の結果に基づき取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 伊方3号炉 原子炉格納容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	その他			
バウンダリの維持	トップドーム部		炭素鋼	△		△							
	円筒部		炭素鋼			△							
	コンクリート埋設部 (スタッド含む)		炭素鋼			▲							
	アニュラシール	◎	—										

△：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）

3.2 機械ペネトレーション

[対象機器]

- ① 固定式配管貫通部
- ② 伸縮式配管貫通部
- ③ 機器搬入口
- ④ エアロック
- ⑤ 燃料移送管貫通部

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	7
2.1 構造、材料および使用条件	7
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	30
3. 代表機器以外への展開	39
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	39
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	41

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

伊方3号炉で使用されている機械ペネトレーションの主な仕様を表1-1に示す。

これらの機械ペネトレーションを型式の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す機械ペネトレーションについて、型式を分離基準として考えると、合計5つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 型式：固定式配管貫通部

固定式配管貫通部のうち、大口径であり、最高使用温度が高く、プラントの起動・停止等に伴い有意な熱過渡を受ける余熱除去出口配管貫通部を代表機器とする。

(2) 型式：伸縮式配管貫通部

伸縮式配管貫通部のうち、大口径であり、最高使用温度が高く、プラントの起動・停止等に伴い有意な熱過渡を受ける主蒸気管貫通部および主給水管貫通部を代表機器とする。

(3) 型式：機器搬入口

このグループには、機器搬入口のみが属するため、代表機器は機器搬入口とする。

(4) 型式：エアロック

このグループには、通常用エアロックと非常用エアロックが属するが、常用される通常用エアロックを代表機器とする。

(5) 型式：燃料移送管貫通部

このグループには、燃料移送管貫通部のみが属するため、代表機器は燃料移送管貫通部とする。

表1-1 (1/5) 伊方3号炉 機械ペネトレーションの主な仕様

型式	貫通部番号	ライン名	仕様 配管口径 (mm)	選定基準			代表機器の選定	
				重要度*1	最高使用温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa[gage])	代表機器	選定理由
固定式 配管貫通部	151	格納容器再循環配管 (B-RHRポンプ及びNCSポンプへ)	558.8	MS-1、重*2	約132	約0.283	◎ ◎	大口径、高温 (熱過渡) 大口径、高温 (熱過渡)
	152	格納容器再循環配管 (A-RHRポンプ及びVCSポンプへ)	558.8		約132	約0.283		
	161	B余熱除去出口配管	318.5		約200	約4.5		
	162	A余熱除去出口配管	318.5		約200	約4.5		
	211	A制御用空気配管	60.5		約132	約0.83		
	212	格納容器圧力取出し配管 (スプレイ用)	27.2		約132	約0.283		
	213	加圧器逃がしタンク純水補給配管	89.1		約132	約1.4		
	215	DRPI冷却用冷水戻り配管	34.0		約132	約0.98		
	216	DRPI冷却用冷水供給配管	34.0		約132	約0.98		
	217	格納容器圧力取出し配管 (スプレイ用)	27.2		約132	約0.283		
	218	脱塩水配管	60.5		約132	約0.98		
	220	所内用空気配管	60.5		約132	約0.83		
	221	B制御用空気配管	60.5		約132	約0.83		
	227	格納容器圧力取出し配管 (スプレイ用)	27.2		約132	約0.283		
	230	C1次冷却材ポンプ封水注入配管	48.6		約150	約20.0		
	232	蓄圧タンクサンプル配管	27.2		約150	約4.9		
233	蓄圧タンクテスト配管	27.2	約150	約17.16				
234	B高圧注入配管	114.3	約150	約17.16				
236	B1次冷却材ポンプ封水注入配管	48.6	約150	約20.0				
239	原子炉キャビティ浄化ライン入口配管	114.3	約132	約1.4				
241	格納容器圧力取出し配管 (スプレイ用)	27.2	約132	約0.283				
243	加圧器逃がしタンク窒素供給配管	34.0	約132	約0.7				

*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および構造物であることを示す。

表1-1 (2/5) 伊方3号炉 機械ペネトレーションの主な仕様

型式	貫通部番号	ライン名	仕様 配管口径 (mm)	選定基準			代表機器の選定	
				重要度*1	最高使用温度 (℃)	最高使用圧力 (MPa [gage])	代表機器	選定理由
固定式 配管貫通部	244	蓄圧タンクN2供給配管	34.0	MS-1、重*2	約132	約4.9		
	245	A高圧注入配管	114.3		約150	約17.16		
	246	格納容器冷却材ドレンタンク出口配管	89.1		約132	約0.98		
	247	格納容器空気サンプリング戻り配管 (PASS戻り配管)	34.0		約132	約0.283		
	248	1次冷却材事故後サンブル戻り配管	27.2		約132	約0.283		
	249	加圧器気相部、液相部サンブル及び1次冷却材サンブル配管	27.2		約360	約17.16		
	250	1次冷却材 (Bループ) サンブル配管	27.2		約343	約17.16		
	251	格納容器サンブルポンプ出口配管	60.5		約132	約0.98		
	252	格納容器冷却材ドレンタンクベントヘッド及びN2供給配管	60.5		約132	約0.98		
	253	格納容器冷却材ドレンタンクガス分析器連絡配管	27.2		約132	約0.283		
	254	加圧器逃がしタンクガス自動分析器連絡配管	27.2		約170	約0.7		
	255	充てん配管	89.1		約132	約20.0		
	256	1次冷却材ポンプ封水戻り配管	89.1		約132	約0.98		
	257	A1次冷却材ポンプ封水注入配管	48.6		約150	約20.0		
	258	抽出配管	89.1		約200	約4.5		
	308	スラッジランジ用配管	318.5		約132	約0.283		
309	炉内計装用炭酸ガス配管	27.2	約132	約0.34				
310	格納容器圧力取だし配管 (真空逃がし減圧系用)	27.2	約132	約0.283				
311	C蒸気発生器ブローダウン配管	89.1	約291	約7.48				
312	B蒸気発生器ブローダウン配管	89.1	約291	約7.48				
313	A蒸気発生器ブローダウン配管	89.1	約291	約7.48				
314	消火用配管	114.3	約132	約1.5				

*1：機能は最上位の機能を示す。

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

表1-1 (3/5) 伊方3号炉 機械ペネトレーションの主な仕様

型式	貫通部番号	ライン名	仕様 配管口径 (mm)	選定基準			代表機器の選定	
				重要度*1	最高使用温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa [gage])	代表機器	選定理由
固定式 配管貫通部	315	C蒸気発生器ブローダウンサンプリング配管	27.2	MS-1、重*2	約291	約7.48		
	316	B蒸気発生器ブローダウンサンプリング配管	27.2		約291	約7.48		
	317	A蒸気発生器ブローダウンサンプリング配管	27.2		約291	約7.48		
	318	格納容器漏えい率試験装置圧力取出し配管	27.2		約132	約0.283		
	319	制御棒駆動装置冷却ユニット，余剰抽出冷却器冷却水供給配管	114.3		約132	約1.4		
	320	制御棒駆動装置冷却ユニット，余剰抽出冷却器冷却水戻り配管	114.3		約132	約1.4		
	324	格納容器圧力取出し配管（真空逃がし減圧系用）	27.2		約132	約0.283		
	325	B格納容器水素パージ給気配管	89.1		約132	約0.283		
	326	A格納容器水素パージ給気配管	89.1		約132	約0.283		
	329	B格納容器水素パージ排気配管	114.3		約132	約0.283		
	330	A格納容器水素パージ排気配管	114.3		約132	約0.283		
	333	格納容器空気サンプリング取出し配管（PASSガスサンプリング取出し配管）	34.0		約132	約0.283		
	401	ECT電線用配管	165.2		約132	約0.283		
	402	格納容器漏えい試験圧力計測配管	27.2		約132	約0.283		
	403	格納容器漏えい試験空気出口配管	216.3		約132	約0.283		
	404	格納容器漏えい試験空気入口配管	216.3		約132	約0.283		
	405	UTマシニング電線用配管	216.3		約132	約0.283		
	406	UTマシニング電線用配管	216.3		約132	約0.283		
	407	1次冷却材ポンプモータ給油用配管	48.6		約132	約0.283		
	408	1次冷却材ポンプモータ排油用配管	48.6		約132	約0.283		
409	格納容器スプレイ配管（B.CPポンプより）	267.4	約150	約2.7				
410	格納容器減圧配管	165.2	約132	約0.283				

*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および構造物であることを示す。

表I-1 (4/5) 伊方3号炉 機械ペネトレーションの主な仕様

型式	貫通部番号	ライン名	仕様 配管口径 (mm)	選定基準			代表機器の選定			
				重要度*1	最高使用温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa [gauge])	代表機器	選定理由		
固定式 配管貫通部	411	格納容器スプレィ配管 (A. CPポンプより)	267.4	MS-1, 重*2	約150	約2.7				
	412	A真空逃がし配管	318.5		約132	約0.283				
	413	B真空逃がし配管	318.5		約132	約0.283				
	415	格納容器給気ダクト	1200		約115	約0.01				
	416	格納容器排気ダクト	1200		約115	約0.01				
	伸縮式 配管貫通部	223	AB格納容器再循環ユニット冷却水供給配管		165.2	MS-1, 重*2			約132	約1.4
224		B格納容器再循環ユニット冷却水戻り配管	165.2	約132	約1.4					
225		A格納容器再循環ユニット冷却水戻り配管	165.2	約132	約1.4					
226		D格納容器再循環ユニット冷却水戻り配管	165.2	約132	約1.4					
228		C格納容器再循環ユニット冷却水戻り配管	165.2	約132	約1.4					
229		CD格納容器再循環ユニット冷却水供給配管	165.2	約132	約1.4					
237		B余熱除去入口配管	267.4	約200	約17.16					
238		A余熱除去入口配管	267.4	約200	約17.16					
242		原子炉キャビティ浄化ライン出口配管	165.2	約132	約0.283					
301		主蒸気管 (Cループ)	772	約291	約7.48		◎	大口径、高温 (熱過渡)		
302		主給水管 (Cループ)	406.4	約291	約7.48		◎	大口径、高温 (熱過渡)		
303		主蒸気管 (Bループ)	772	約291	約7.48		◎	大口径、高温 (熱過渡)		
304		主給水管 (Bループ)	406.4	約291	約7.48		◎	大口径、高温 (熱過渡)		
305		主蒸気管 (Aループ)	772	約291	約7.48		◎	大口径、高温 (熱過渡)		
306		主給水管 (Aループ)	406.4	約291	約7.48		◎	大口径、高温 (熱過渡)		
321		1次冷却材ポンプ冷却水供給配管	267.4	約132	約1.4		◎	大口径、高温 (熱過渡)		
322	1次冷却材ポンプ冷却水戻り配管	267.4	約132	約1.4						

*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および構造物であることを示す。

表1-1 (5/5) 伊方3号炉 機械ペネトレーションの主な仕様

型式	貫通部番号	ライン名	仕様		選定基準			代表機器の選定	
			配管口径 (mm)	重要度*1	最高使用温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa [gauge])	代表機器	選定理由	
機器搬入口	450	機器搬入口	6000*3	MS-1、重*2	約132	約0.283	◎		
エアロック	400	非常用エアロック	2542*3	MS-1、重*2	約132	約0.283	◎	常用	
	350	通常用エアロック	2542*3		約132	約0.283			
燃料移送管貫通部	200	燃料移送管	558.8	MS-1、重*2	約132	約0.283	◎		

*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および構造物であることを示す。

*3：胴部の内径を示す。

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の5種類の機械ペネトレーションについて技術評価を実施する。

- ① 余熱除去出口配管貫通部
- ② 主蒸気・主給水管貫通部
- ③ 機器搬入口
- ④ 通常用エアロック
- ⑤ 燃料移送管貫通部

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 余熱除去出口配管貫通部

(1) 構造

伊方3号炉の余熱除去出口配管貫通部は、スリーブと貫通配管およびそれらを接続する端板により構成されており、可動部はない。

伊方3号炉の余熱除去出口配管貫通部の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の余熱除去出口配管貫通部の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

No.	部位
①	端板
②	スリーブ

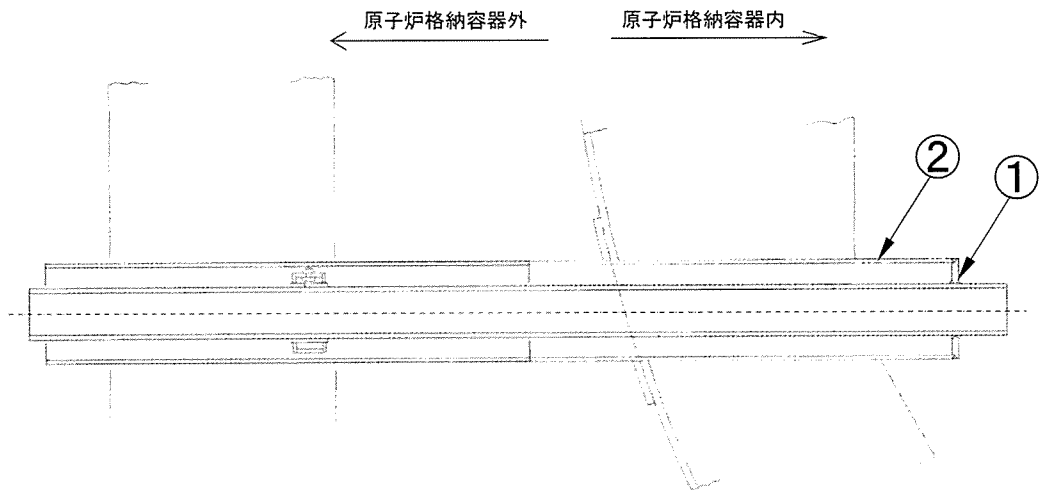


図2.1-1 伊方3号炉 余熱除去出口配管貫通部構造図

表2.1-1 伊方3号炉 余熱除去出口配管貫通部主要部位の使用材料

部位	材料
端板	ステンレス鋼
スリーブ	炭素鋼

表2.1-2 伊方3号炉 余熱除去出口配管貫通部の使用条件

最高使用圧力	約4.5MPa [gage]
最高使用温度	約200℃

2.1.2 主蒸気・主給水管貫通部

(1) 構造

伊方3号炉の主蒸気・主給水管貫通部は、スリーブと貫通配管およびそれらを接続する端板と伸縮可能な可動部である伸縮継手により構成されている。

伊方3号炉の主蒸気・主給水管貫通部の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の主蒸気・主給水管貫通部の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。

No.	部位
①	伸縮継手
②	スリーブ取付端板
③	配管取付端板
④	スリーブ

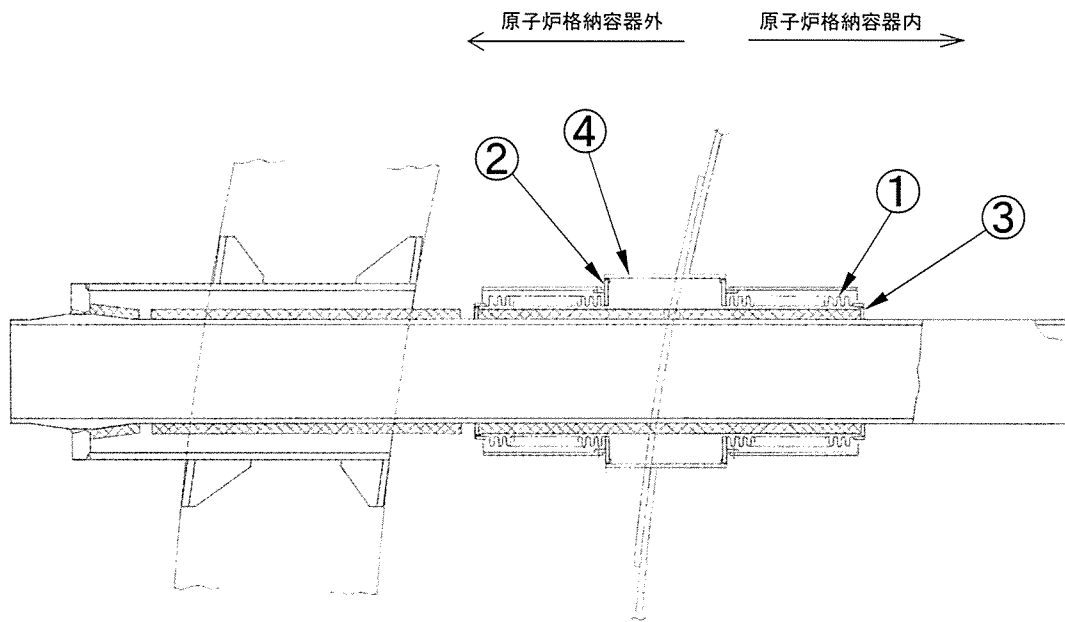


図2.1-2 伊方3号炉 主蒸気・主給水管貫通部構造図

表2.1-3 伊方3号炉 主蒸気・主給水管貫通部主要部位の使用材料

部位	材料
伸縮継手	ステンレス鋼
スリーブ取付端板	炭素鋼
配管取付端板	炭素鋼
スリーブ	炭素鋼

表2.1-4 伊方3号炉 主蒸気・主給水管貫通部の使用条件

最高使用圧力	約7.48MPa [gage]
最高使用温度	約291℃

2.1.3 機器搬入口

(1) 構造

伊方3号炉の機器搬入口は、1箇所設置されている。胴と蓋により構成されており、蓋は取り外しが可能なフランジ構造を有している。

伊方3号炉の機器搬入口の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の機器搬入口の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。

No.	部位
①	蓋
②	胴
③	ガスケット

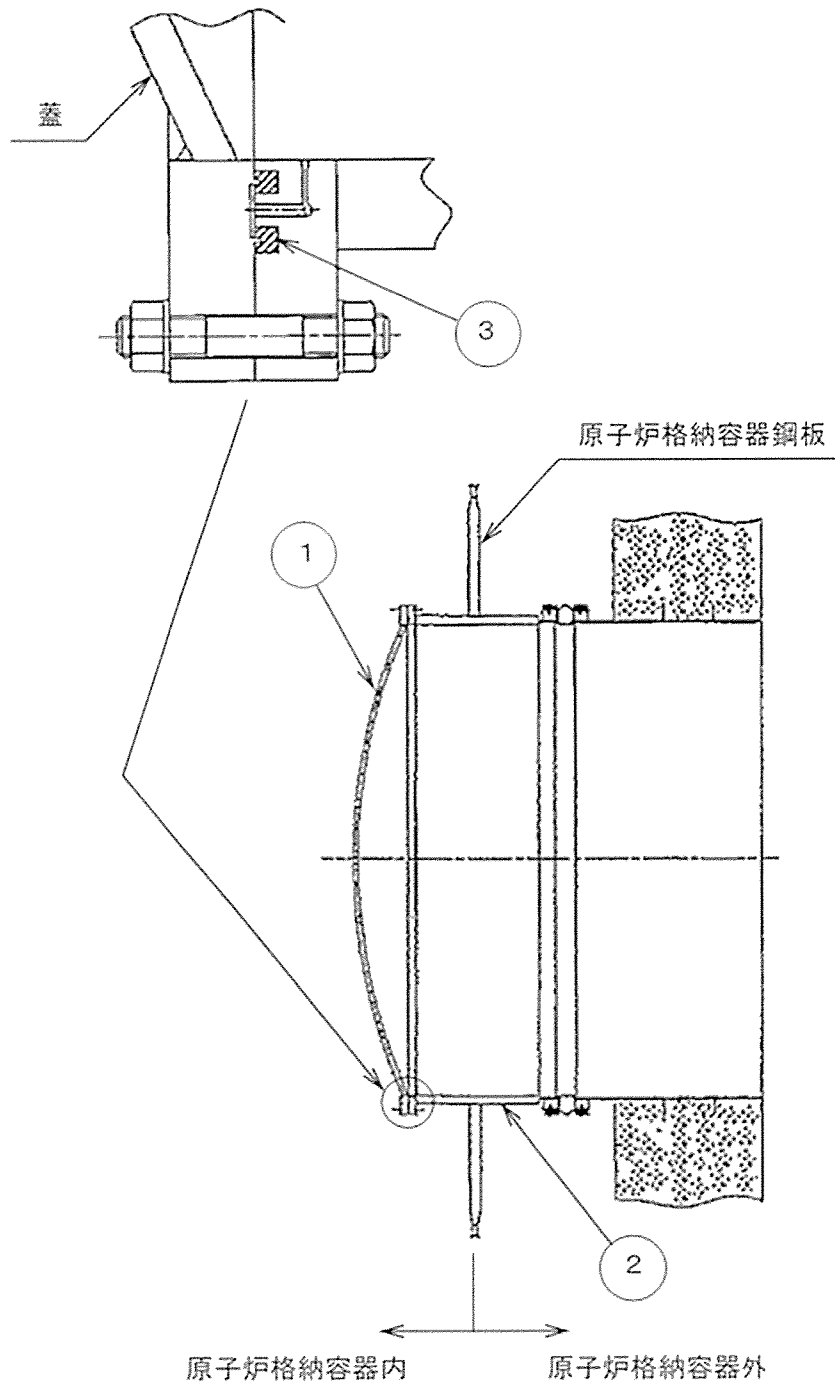


図2.1-3 伊方3号炉 機器搬入口構造図

表2.1-5 伊方3号炉 機器搬入口主要部位の使用材料

部位	材料
蓋	炭素鋼
胴	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-6 伊方3号炉 機器搬入口の使用条件

最高使用圧力	約0.283MPa [gage]
最高使用温度	約132℃

2.1.4 通常用エアロック

(1) 構造

伊方3号炉の通常用エアロックは、1箇所設置されている。胴と原子炉格納容器の内側および外側に1枚ずつ設けられた扉により構成されている。

伊方3号炉の通常用エアロックの構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の通常用エアロックの使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。

No.	部位
①	扉
②	胴
③	ガスケット

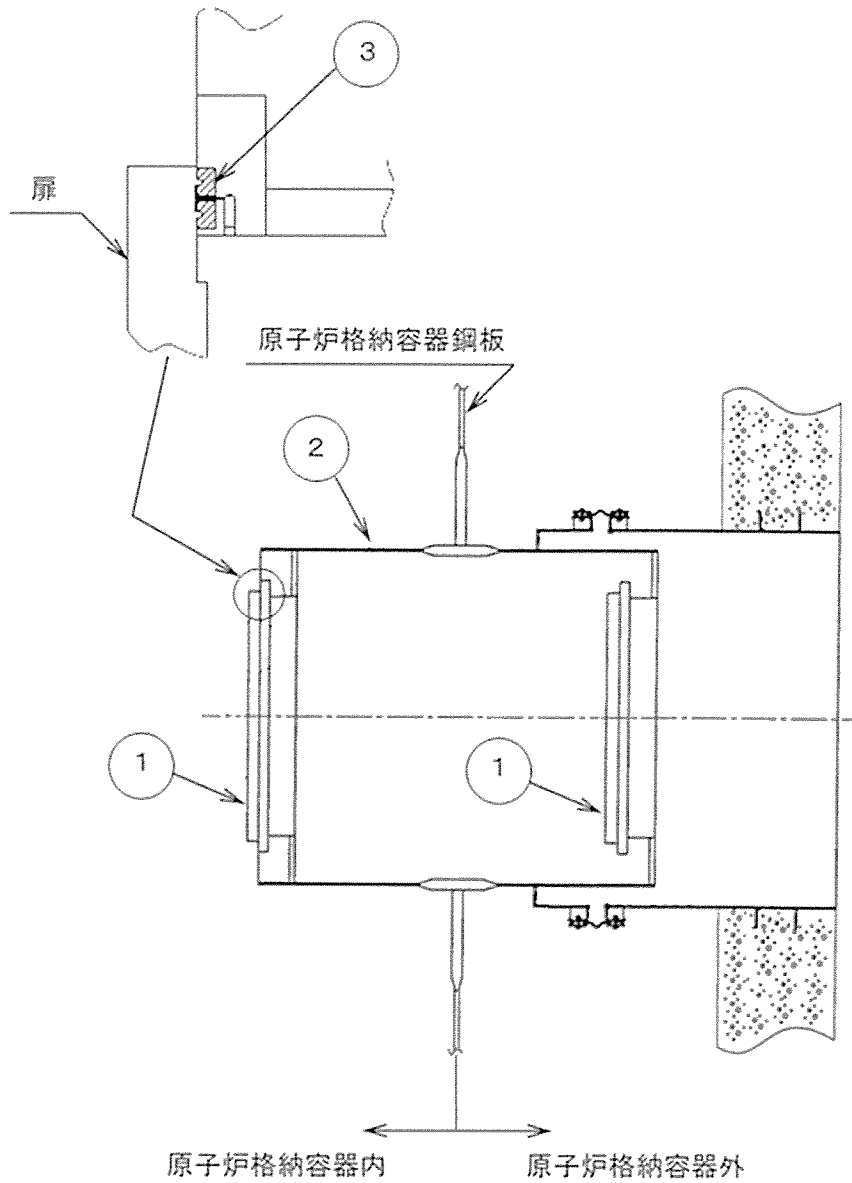


図2.1-4 伊方3号炉 通常用エアロック構造図

表2.1-7 伊方3号炉 通常用エアロック主要部位の使用材料

部位	材料
扉	炭素鋼
胴	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-8 伊方3号炉 通常用エアロックの使用条件

最高使用圧力	約0.283MPa [gage]
最高使用温度	約132℃

2.1.5 燃料移送管貫通部

(1) 構造

伊方3号炉の燃料移送管貫通部は、スリーブと貫通配管およびそれらを接続する端板により構成されている。

伊方3号炉の燃料移送管貫通部の構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の燃料移送管貫通部の使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。

No.	部位
①	端板
②	スリーブ
③	貫通配管
④	ガスケット

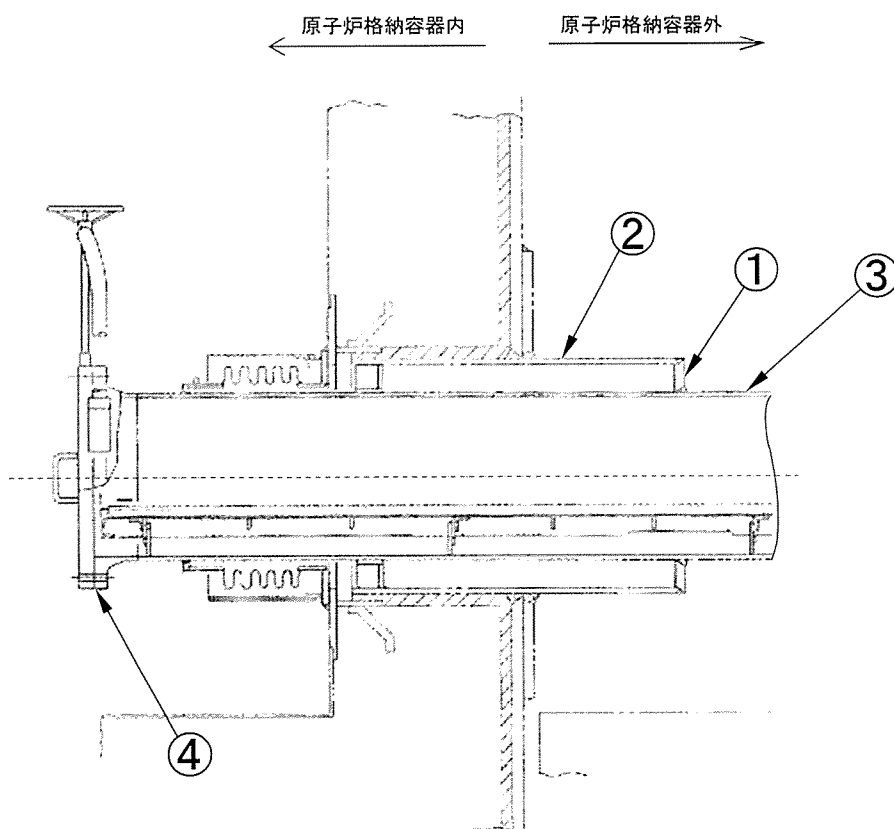


図2.1-5 伊方3号炉 燃料移送管貫通部構造図

表2.1-9 伊方3号炉 燃料移送管貫通部主要部位の使用材料

部位	材料
端板	ステンレス鋼
スリーブ	炭素鋼
貫通配管	ステンレス鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-10 伊方3号炉 燃料移送管貫通部の使用条件

最高使用圧力	約0.283MPa [gage]
最高使用温度	約132℃

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

機械ペネトレーションとしての機能を維持するためには、次の項目が必要である。

① バウンダリの維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

機械ペネトレーション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、使用条件および現在までの運転経歴を考慮し、代表機器毎に表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) 端板の疲労割れ [余熱除去出口配管貫通部]

プラント起動・停止等運転状態の変化に伴う貫通配管熱移動により余熱除去出口配管貫通部の端板は繰り返し荷重を受け、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) 伸縮継手の疲労割れ [主蒸気・主給水管貫通部]

プラント起動・停止等運転状態の変化に伴う貫通配管熱移動により主蒸気・主給水管貫通部の伸縮継手は伸縮を繰り返し、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。

2.2.3 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、また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)または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) スリーブ等耐圧構成品の腐食（全面腐食）〔共通〕

スリーブ、スリーブ取付端板、配管取付端板、蓋、胴および扉は炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

また、原子炉格納容器漏えい率試験時等の目視確認で塗膜等の状態を確認し、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。

(2) 胴等耐圧構成品の疲労割れ〔機器搬入口、通常用エアロック、燃料移送管貫通部〕

機器搬入口、通常用エアロックおよび燃料移送管貫通部の胴等耐圧構成品は、プラントの起動・停止時等の過渡により、疲労割れが想定される。

しかしながら、原子炉格納容器と同様に運転中の温度変化およびそれに伴う圧力変化等しか過渡を受けず、有意な過渡を受けないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、原子炉格納容器漏えい率試験により、機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットは分解点検時に取替える消耗品であり、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(1/5) 伊方3号炉 余熱除去出口配管貫通部に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		材質変化				その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食 割れ	熱時効	劣化			
バウンダリの維持	端板		ステンレス 鋼			○						
	スリーブ		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 2.2-1(2/5) 伊方3号炉 主蒸気・主給水管貫通部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	熟時効	劣化				
バウンダリの維持	伸縮継手		ステンレス鋼				○						
	スリーブ取付端板		炭素鋼		△								
	配管取付端板		炭素鋼		△								
	スリーブ		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2.2-1(3/5) 伊方3号炉 機器搬入口に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考		
				減肉		割れ		材質変化				その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化				
バウンダリの維持	蓋		炭素鋼		△		△						
	胴		炭素鋼		△		△						
	ガスケット	◎	—										

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(4/5) 伊方3号炉 通常用エアロック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						
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化	その他				
バウンダリの維持	扉		炭素鋼		△		△							
	胴		炭素鋼		△		△							
	ガスケット	◎	—											

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(5/5) 伊方3号炉 燃料移送管貫通部に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	端板		ステンレス鋼			△					
	スリーブ		炭素鋼		△						
	貫通配管		ステンレス鋼			△					
	ガスケット	◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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 端板の疲労割れ [余熱除去出口配管貫通部]

a. 事象の説明

固定式配管貫通部のうち余熱除去出口配管貫通部は、プラントの起動・停止等運転状態の変化に伴い熱過渡を受けるため、図2.3-1に示す貫通配管と端板との溶接部およびスリーブと端板との溶接部に比較的高い応力が発生し、疲労が蓄積することになる。

b. 技術評価

① 健全性評価

熱過渡による疲労評価上厳しいと考えられる余熱除去出口配管貫通部を対象として「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。

評価点を図2.3-1に、疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。なお、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的に設定した過渡回数とした。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

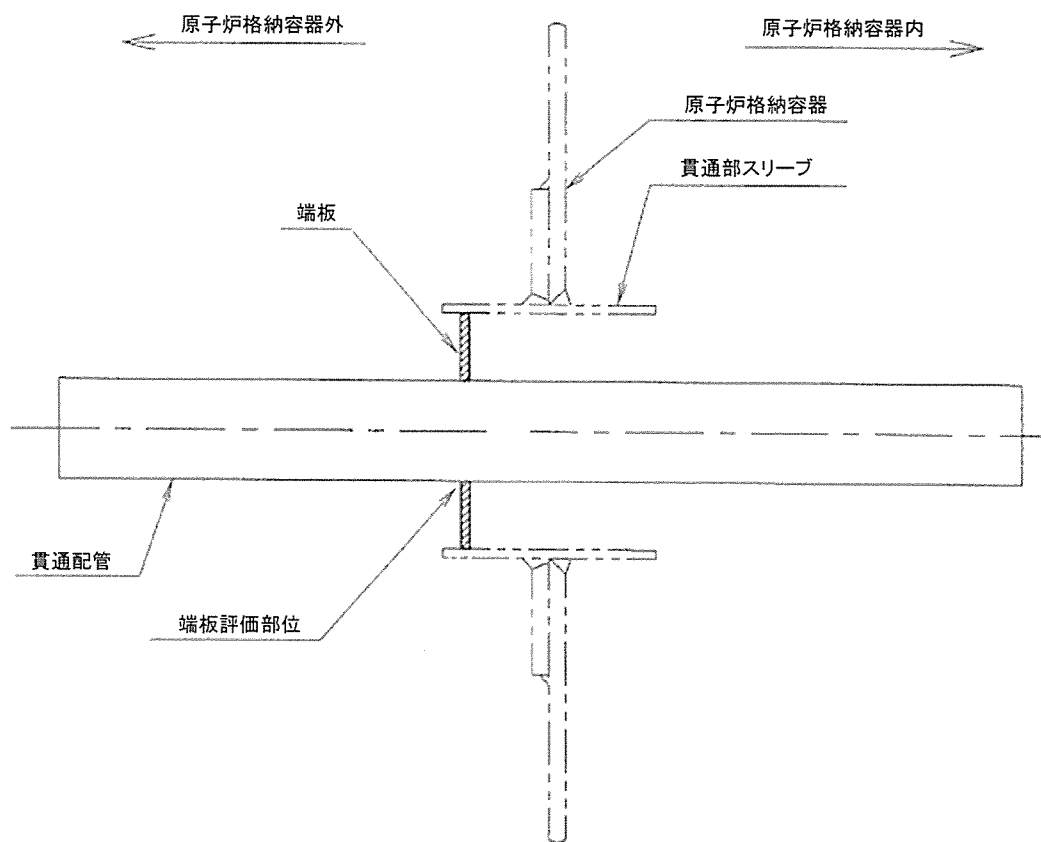


図2.3-1 伊方3号炉 余熱除去出口配管貫通部の疲労評価対象部位

表2.3-1 伊方3号炉 余熱除去出口配管貫通部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年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
起動(温度上昇率55.6°C/h)	25	69
停止(温度下降率55.6°C/h)	25	69
1次系漏えい試験	21	61

表2.3-2 伊方3号炉 余熱除去出口配管貫通部の疲労評価結果

部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値：1以下)
端板 (ステンレス鋼)	0.000

② 現状保全

端板の疲労割れに対しては、定期的に原子炉格納容器漏えい率試験にて原子炉格納容器に著しい漏えいが生じてい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。

端板の疲労割れに関しては、原子炉格納容器漏えい率試験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

端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。

2.3.2 伸縮継手の疲労割れ [主蒸気・主給水管貫通部]

a. 事象の説明

伸縮式配管貫通部のうち主蒸気・主給水管貫通部は、プラントの起動・停止等運転状態の変化に伴い熱過渡を受けるため、図2.3-2に示す伸縮継手本体は伸縮を繰り返し、疲労が蓄積することになる。

b. 技術評価

① 健全性評価

熱過渡による疲労評価上厳しいと考えられる主蒸気・主給水管貫通部を対象として「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。

評価点を図2.3-2に、疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-3に示す。なお、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的に設定した過渡回数とした。

評価結果を表2.3-4に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

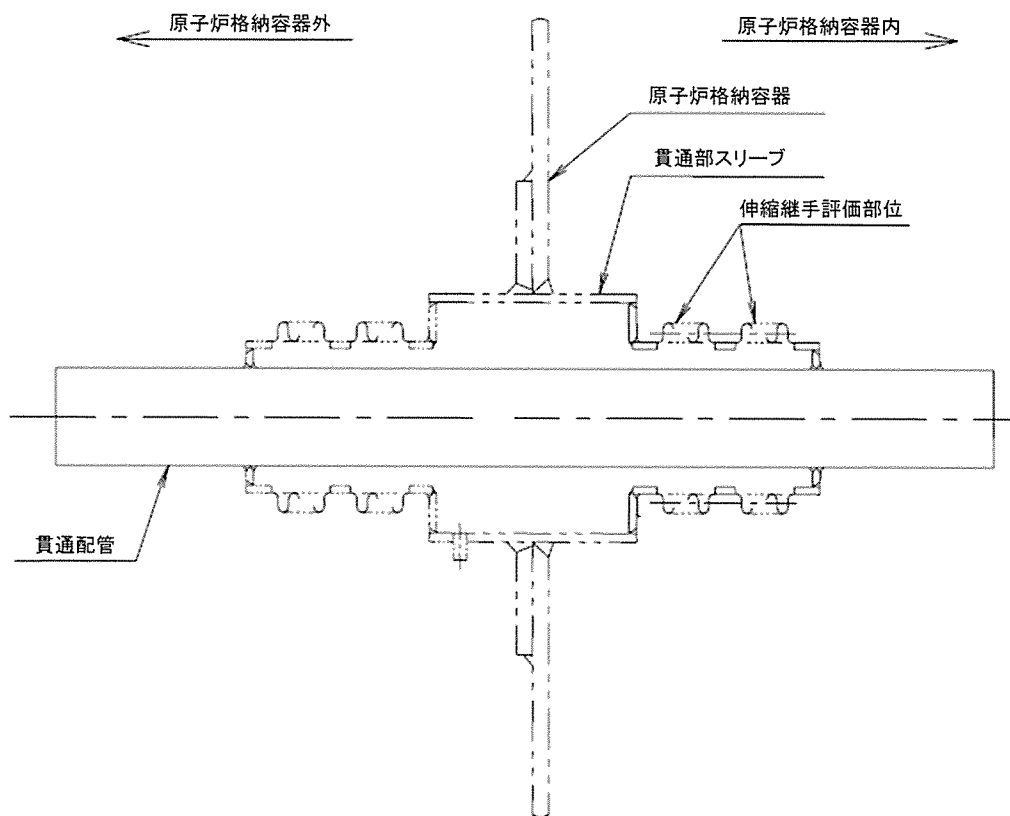


図2.3-2 伊方3号炉 主蒸気・主給水管貫通部の疲労評価対象部位

表2.3-3 伊方3号炉 主蒸気・主給水管貫通部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年度末時点	運転開始後60年時点の推定値
起動(温度上昇率55.6℃/h)	25	69
停止(温度下降率55.6℃/h)	25	69
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	164	843
負荷減少(負荷減少率5%/min)	157	836
90%から100%負荷へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%負荷へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	5
定常負荷運転時の変動 ^{*1}	-	-
0%から15%への負荷上昇	25	67
15%から0%への負荷減少	19	64
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年度末時点	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SIを伴うトリップ	0	2
1次冷却材の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	3
出力運転中の非常用冷却系の誤起動	0	2
1次冷却材停止ループの誤起動	0	2
タービン回転試験	5	5
1次系漏えい試験	21	61

*1：設計評価においては、1次冷却材温度は±1.7℃、1次冷却材圧力は±0.34MPa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2.3-4 伊方3号炉 主蒸気・主給水管貫通部の疲労評価結果

貫通部	部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値：1以下)
主蒸気管貫通部	伸縮継手 (ステンレス鋼)	0.017
主給水管貫通部	伸縮継手 (ステンレス鋼)	0.146

② 現状保全

伸縮継手の疲労割れに対しては、定期的に原子炉格納容器漏えい率試験にて原子炉格納容器に著しい漏えいが生じてい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。

伸縮継手の疲労割れに関しては、原子炉格納容器漏えい率試験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

伸縮継手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章の代表機器および「配管の技術評価書」における経年劣化事象の抽出と同様に水平展開貫通部各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① 固定式配管貫通部（余熱除去出口配管以外）
- ② 伸縮式配管貫通部（主蒸気・主給水管以外）
- ③ 非常用エアロック

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 端板の疲労割れ〔固定式配管貫通部〕

固定式配管貫通部の端板は、代表機器同様、プラント起動・停止等運転状態の変化に伴う貫通配管熱移動により繰り返し荷重を受ける。

ただし、代表機器として選定した余熱除去出口配管貫通部は、配管反力の大きな大口径管であること、プラント起動・停止時に高温となることおよび、運転状態の変化に伴い繰り返し荷重を受ける頻度が高いことから、端板の疲労評価上厳しいと想定される貫通部である。余熱除去出口配管以外の固定式配管貫通部端板についても、代表機器とほぼ同等またはそれ以下の評価になると考えられるため、代表機器の健全性評価結果から、端板の疲労割れ発生の可能性はないと考える。

また、代表機器と同様に他の固定式配管貫通部も定期的に原子炉格納容器漏えい率試験にて原子炉格納容器に著しい漏えいが生じていないことを確認している。

したがって、端板の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

3.1.2 伸縮継手の疲労割れ [伸縮式配管貫通部]

伸縮式配管貫通部の伸縮継手は、代表機器同様、プラント起動・停止等運転状態の変化に伴う貫通配管熱移動により伸縮継手は伸縮を繰り返す。

ただし、代表機器として選定した主蒸気・主給水管貫通部は、プラント運転中に高温となるため配管熱移動が大きく、かつ、運転状態の変化に伴う伸縮継手の繰り返しが多いことから、伸縮継手の疲労評価上厳しいと想定される貫通部である。主蒸気・主給水管以外の伸縮式配管貫通部の伸縮継手についても、代表機器とほぼ同等またはそれ以下の評価になると考えられるため、代表機器の健全性評価から、伸縮継手の疲労割れ発生の可能性はないと考える。

また、代表機器と同様に他の伸縮式配管貫通部も定期的に原子炉格納容器漏えい率試験にて原子炉格納容器に著しい漏えいが生じていないことを確認している。

したがって、伸縮継手の疲労割れについては、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

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 1)または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 スリーブ等耐圧構成品の腐食（全面腐食）〔共通〕

スリーブ等耐圧構成品の炭素鋼使用部位は、腐食が想定される。

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

また、原子炉格納容器漏えい率試験時等の目視確認で塗膜等の状態を確認し、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。

3.2.2 貫通配管の内面からの腐食（全面腐食）〔消火用配管（#314）〕

消火用配管の貫通配管は炭素鋼であり、消火用配管は内部流体が飽和溶存酸素濃度水（約8ppm）であることから、内面からの腐食が想定される。

しかしながら、系統機器の目視確認により、腐食の傾向のないことを確認するとともに、定期的に原子炉格納容器漏えい率試験によりバウンダリ機能の健全性を確認することにより、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 胴等耐圧構成品の疲労割れ〔非常用エアロック〕

非常用エアロックの胴等耐圧構成品は、プラントの起動・停止時等の過渡により、疲労割れが想定される。

しかしながら、原子炉格納容器と同様に運転中の温度変化およびそれに伴う圧力変化等しか過渡を受けず、有意な過渡を受けないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、原子炉格納容器漏えい率試験により、機器の健全性を確認している。

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

3.2.4 貫通配管の内面からの腐食（全面腐食）〔蒸気発生器ブローダウン配管（# 3 1 1、# 3 1 2、# 3 1 3）、制御棒駆動装置冷却ユニット，余剰抽出冷却器冷却水供給配管（# 3 1 9）、制御棒駆動装置冷却ユニット，余剰抽出冷却器冷却水戻り配管（# 3 2 0）、格納容器水素パージ排気配管（# 3 2 9、# 3 3 0）、E C T電線用配管（# 4 0 1）、格納容器漏えい試験空気出口配管（# 4 0 3）、格納容器漏えい試験空気入口配管（# 4 0 4）、U Tマシン電線用配管（# 4 0 5、# 4 0 6）、格納容器減圧配管（# 4 1 0）、真空逃がし配管（# 4 1 2、# 4 1 3）、格納容器再循環ユニット冷却水供給配管（# 2 2 3、# 2 2 9）、格納容器再循環ユニット冷却水戻り配管（# 2 2 4、# 2 2 5、# 2 2 6、# 2 2 8）、1次冷却材ポンプ冷却水供給配管（# 3 2 1）、1次冷却材ポンプ冷却水戻り配管（# 3 2 2）〕

これらの貫通配管は炭素鋼であり、腐食が想定される。

しかしながら、内部流体は乾燥空気または防錆剤注入水であり、腐食発生の可能性はないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3. 3 電気ペネトレーション

[対象機器]

- ① MV型モジュール
- ② LV型モジュール

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	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、材料および使用条件	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	26
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	26
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	27

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

伊方3号炉で使用されている電気ペネトレーションの主な仕様を表1-1に示す。

これらの電気ペネトレーションを経年劣化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および結果

表1-1に示す電気ペネトレーションは経年劣化の観点からは同一のグループになるが、用途の観点から分類すると以下の合計2つに分類される。

① MV型モジュール

1次冷却材ポンプの高電圧電力供給に用いられる電気ペネトレーション

② LV型モジュール

格納容器再循環ファン等の低電圧電力供給、制御、計装用に用いられる電気ペネトレーション

1.2 代表機器の選定

電気ペネトレーションに要求される主な機能である原子炉格納容器の気密性維持とペネトレーション内部の電気特性維持については、2つのタイプで基本的には同じであるが、接続機器の原子炉保護上の重要度が高く、事故時雰囲気内で気密性維持と電気特性維持の両方の機能要求があるLV型モジュールを代表機器とする。

表I-1 伊方3号炉 電気ペネトレーションの主な仕様

分離基準	電気ペネトレーション名称 (台数)	仕様 (径×長さ) *1 (mm)	選定基準			代表機器の選定	
			重要度*2	最高使用圧力 (MPa [gage])	使用条件*1, *5 最高使用温度 (°C)	代表 機器	選定理由
モジュール型	MV型モジュール	高压電力ノントレン (3)	MS-1、重*3	約0.283	約132	◎	用途
		低压電力ノントレン (4)	MS-1、重*3	約0.283	約132		
	LV型モジュール	低压電力トレン (2)	MS-1、重*3	約0.283	約132		
		低压電力ノントレン (8)	MS-1、重*3	約0.283	約132		
		制御トレン (3)	MS-1、重*3	約0.283	約132		
		制御ノントレン (4)	MS-1、重*3	約0.283	約132		
		計装チャンネル (8)	MS-1、重*3	約0.283	約132		
		計装ノントレン (6)	MS-1、重*3	約0.283	約132		

*1：長さ (L) には外部リードは含まない。

*2：機能は最上位の機能を示す。

*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および構造物であることを示す。

*4：設計基準事故 (1次冷却材管の破断による原子炉冷却材喪失) を考慮する条件。

*5：重大事故等 (格納容器器過温破損、格納容器器過圧破損) も別途考慮する。

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の電気ペネトレーションについて技術評価を実施する。

① LV型モジュール

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 LV型モジュール

(1) 構造

伊方3号炉のLV型モジュールは、原子炉格納容器に35台設置されている。

LV型モジュールの気密性は、エポキシ樹脂およびOリングにより維持している。

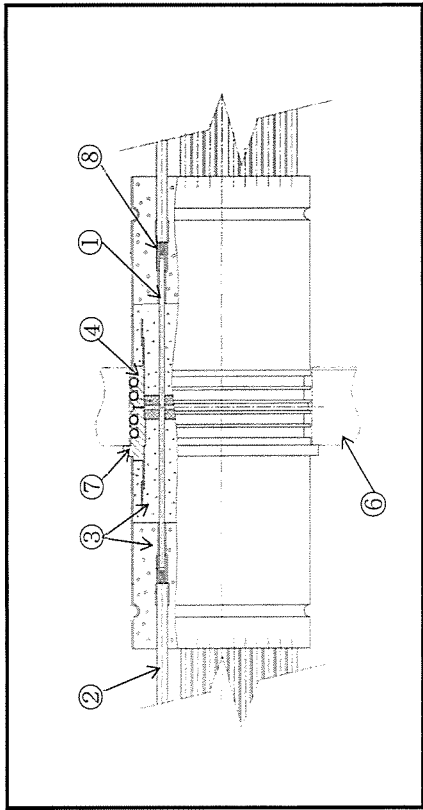
隣接する銅棒あるいは外部リード間の電気絶縁は、エポキシ樹脂のポッティング材により維持している。

また、銅棒と外部リードの中心導体は、接続金具を用いて電氣的に接続している。

伊方3号炉のLV型モジュールの構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉のLV型モジュールの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



a 部詳細図

No.	部位
①	銅棒
②	外部リード
③	ポッティング材
④	Oリング
⑤	本体
⑥	端板
⑦	ヘッド
⑧	接続金具

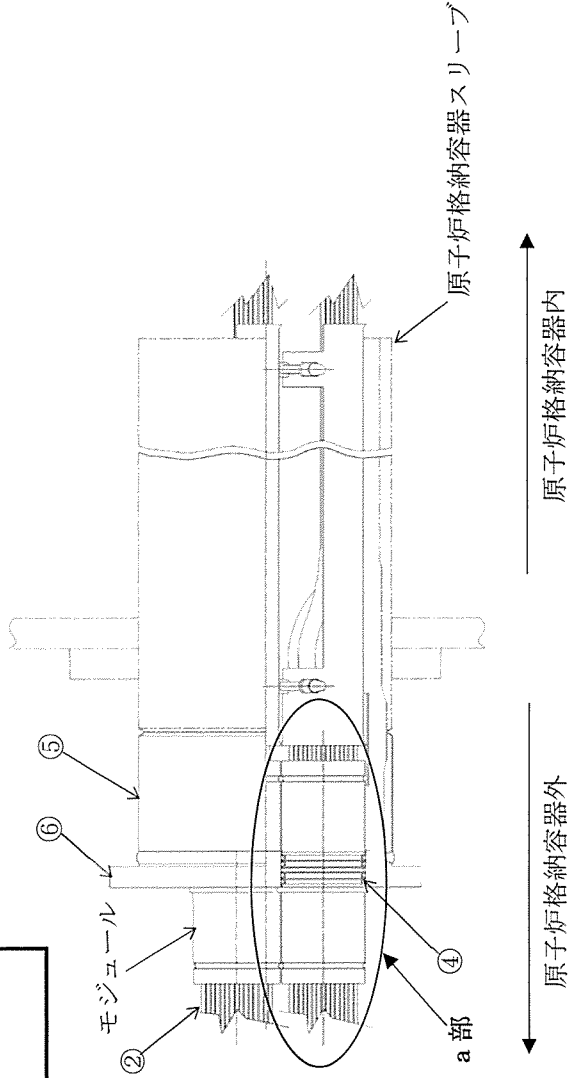


図2.1-1 伊方3号炉 L V型モジュール構造図

表2.1-1 伊方3号炉 LV型モジュール主要部位の使用材料

部位	材料
銅棒	銅
外部リード	銅、絶縁物（難燃EPゴム、架橋ポリエチレン）
ポッティング材	エポキシ樹脂
Oリング	EPゴム
本体	炭素鋼
端板	ステンレス鋼
ヘッダー	ステンレス鋼
接続金具	銅

表2.1-2 伊方3号炉 LV型モジュールの使用条件

	通常運転時	設計基準事故時	重大事故等時
圧力	約0.0098MPa [gage]以下	約0.22MPa [gage] (最高圧力)	約0.35MPa [gage] (最高圧力)
温度	約38°C*1	約120°C (最高温度)	約138°C*3 (最高温度)
放射線	1.0mGy/h*2	675kGy (最大集積線量)	500kGy (最大集積線量)

*1: 通常運転時の原子炉格納容器内電気ペネトレーション周囲の平均温度の最大実測値。

*2: 通常運転時の原子炉格納容器内電気ペネトレーション周囲の平均線量率の最大実測値。

*3: 健全性評価上、最も厳しい重大事故等における最高温度。

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

LV型モジュールとしての機能を維持するためには、次の項目が必要である。

- ① 電力・制御・計装信号送受
- ② 電気絶縁性維持
- 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

LV型モジュールについて機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件および現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1の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) 外部リードの絶縁低下ならびにポッティング材およびOリングの気密性低下による絶縁低下

外部リードの絶縁体は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

また、ポッティング材として使用しているエポキシ樹脂は有機物であり、熱および放射線により経年劣化が進行し、接着力の低下により気密性が低下した場合、湿気が電気ペネトレーション内部に浸入し、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。

さらに、Oリングとして使用しているEPゴムは有機物であり、熱および放射線により経年劣化が進行し、気密性が低下した場合、湿気が電気ペネトレーション内部に浸入し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

- (2) ポッティング材およびOリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下

LV型モジュールのポッティング材として使用しているエポキシ樹脂は有機物であり、熱および放射線により経年劣化が進行し、接着力の低下により気密性が低下した場合、リークパスが原子炉格納容器内より電気ペネトレーション内部を通り、原子炉格納容器外側まで至ることによって、原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必

要である。

また、Oリングとして使用しているEPゴムは有機物であり、熱および放射線により経年劣化が進行し、気密性が低下した場合、リークパスが原子炉格納容器内より原子炉格納容器外側まで至ることによって、原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、また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)または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 外部リードの導通不良

外部リードは、大きな荷重が作用すると断線するため、導通不良が想定される。

しかしながら、断線に至るような荷重は作用しないことを目視にて確認している。

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、系統機器の動作確認等により、機器の健全性を確認している。

(2) 本体の腐食（全面腐食）

本体は炭素鋼であり、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、塗膜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膜の状態を確認し、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。

(3) 端板およびヘッダーの応力腐食割れ

端板およびヘッダー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、端板およびヘッダーは水環境にないこと、さらに温度も低く、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、原子炉格納容器漏えい率試験および電気ペネトレーションに封入しているN₂ガスの圧力確認により、機器の健全性を確認している。

表2.2-1 伊方3号炉 L V型モジュールに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象								備考	
				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			
電力・制御 ・計装信号 送受	銅棒		銅										*1：気密性低下
	外部リード		銅、絶縁物					○	△				
	接続金具		銅										
電気絶縁性 維持および ハウジングの 維持	ポティング材		エポキシ樹脂					○				○*1	
	Oリング		EPゴム					○				○*1	
ハウジングの 維持	本体		炭素鋼			△							
	端板		ステンレス鋼						△				
	ヘッド		ステンレス鋼						△				

○：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 外部リードの絶縁低下ならびにポッティング材およびOリングの気密性低下による絶縁低下

a. 事象の説明

外部リードの絶縁体は有機物であり、熱的、電氣的、環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

また、ポッティング材として使用しているエポキシ樹脂は有機物であり、熱および放射線により経年劣化が進行し、接着力の低下により気密性が低下した場合、図2.3-1に示すように湿気が電気ペネトレーション内部に浸入する可能性がある。

湿気が浸入した場合、銅棒間あるいは銅棒とヘッダー間の絶縁性能が低下する可能性がある。

さらに、Oリングとして使用しているEPゴムは有機物であり、熱および放射線により経年劣化が進行し、気密性が低下した場合、図2.3-1に示すように湿気が電気ペネトレーション内部に浸入する可能性がある。

湿気が浸入した場合、銅棒間または銅棒とヘッダー間の絶縁性能が低下する可能性がある。

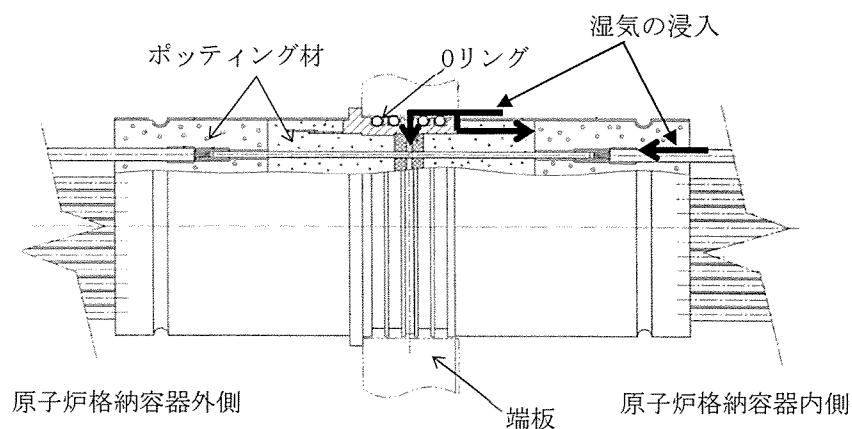


図2.3-1 伊方3号炉 LV型モジュールの絶縁低下に係る湿気の浸入経路

b. 技術評価

① 健全性評価

ポッティング材およびOリングの気密性低下による絶縁低下については、L V型モジュールと同等のモジュラー型電気ペネトレーションにより、IEEE Std. 317-2013「IEEE Standard for Electric Penetration Assemblies in Containment Structures for Nuclear Power Generating Stations」に準拠した長期健全性試験を実施しており、この結果に基づき健全性評価を行う。

また、外部リードの絶縁性能については、IEEE Std. 323-1974「IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations」およびIEEE Std. 383-1974「IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations」の規格を根幹としてまとめられた「電気学会推奨案」*1または「原子力発電所のケーブル経年劣化評価ガイド (JNES-RE-2013-2049)」*1に従って実機同等品による長期健全性試験を実施しており、これらの組み合わせで健全性評価を行う。

なお、外部リードは、絶縁体の種類と製造メーカーの違いにより、難燃EPゴム（以下「外部リード-1-1」および「外部リード-1-2」という。）と架橋ポリエチレン（以下「外部リード-2」という。）の3種類があるため、それぞれについて評価を行う。

*1:「ケーブルの技術評価書」低圧ケーブルの絶縁体の絶縁低下 b. 技術評価

①健全性評価、および同軸ケーブルの絶縁体および内部シースの絶縁低下

b. 技術評価 ①健全性評価を参照のこと。

図2.3-2にモジュラー型電気ペネトレーションの長期健全性試験の手順を、表2.3-1に試験条件を示す。ポットイング材およびOリングについて、これらの条件は伊方3号炉の60年間の運転および設計基準事故、ならびに60年間の運転および重大事故等時を想定した熱および放射線による劣化条件を包絡している。

表2.3-2に長期健全性試験での絶縁抵抗の変化を示す。耐電圧試験の結果は判定基準を満足している。

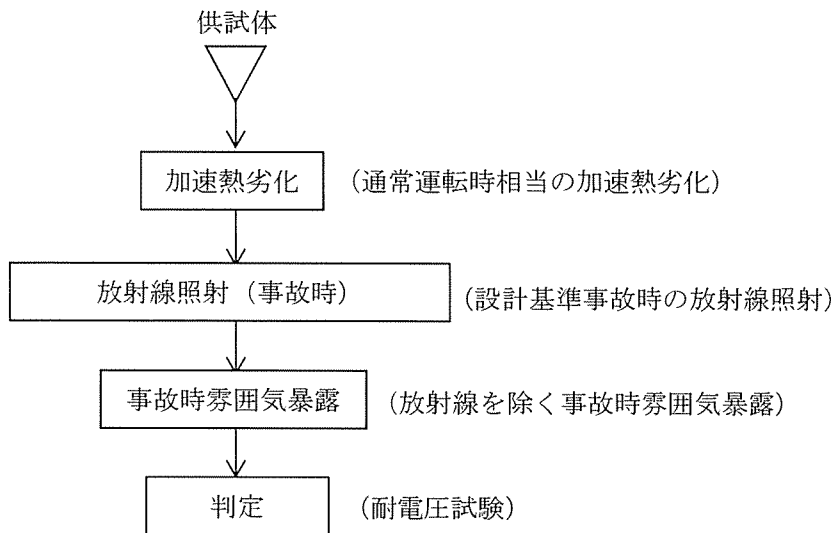


図2.3-2 モジュラー型電気ペネトレーション 長期健全性試験の手順

表2.3-1 モジュール型電気ペネトレーション 長期健全性試験の条件

	試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件、設計基準事故および重大事故等時の環境条件
加速熱劣化	熱劣化： 120℃－241日間	114℃－241日 (=44℃*1－60年)
放射線照射	1,500kGy (10kGy/h以下)	通常運転相当：0.53kGy*2 設計基準事故時線量：675kGy 重大事故当時線量：500kGy
事故時 雰囲気 暴露	最高温度：190℃ 最高圧力：0.41MPa[gage] 試験時間：15日間	設計基準事故時：約120℃（最高温度） ：約0.22MPa[gage]（最高圧力） 重大事故等時：約138℃（最高温度） ：約0.35MPa[gage]（最高圧力）

*1：電気ペネトレーションの周囲温度（約38℃）に通電による温度上昇と若干の余裕を加えた温度

*2：原子炉格納容器内電気ペネトレーション近傍で最も放射線レベルが高い区域の空間線量率は1.0mGy/hであり、この値より60年間の平常時の集積線量を評価すると、
 $1.0 \text{ [mGy/h]} \times (24 \times 365.25) \text{ [h/y]} \times 60 \text{ [y]} = 0.53\text{kGy}$ となる。

表 2.3-2 モジュール型電気ペネトレーション 長期健全性試験結果

項目	判定基準	試験結果	判定
通課電試験	通課電可能なこと。	通課電可能。	良
絶縁耐圧試験	絶縁破壊の無いこと。	絶縁破壊無し。	良

[出典：電力共同研究「電気計装設備に関する経年劣化評価研究Phase II」
2015年度]

また、外部リード-1-1および外部リード-1-2の長期健全性試験手順については、「ケーブルの技術評価書」低圧ケーブルの絶縁体の絶縁低下

b. 技術評価 ①健全性評価を参照のこと。

外部リード-1-1および外部リード-1-2の長期健全性試験条件ならびに長期健全性試験結果を表2.3-3～表2.3-10に示す。これらの条件は伊方3号炉の60年間の運転および設計基準事故、または60年間の運転および重大事故等時を想定した熱および放射線による劣化条件を包絡している。

表2.3-3 外部リード-1-1の長期健全性試験条件（設計基準事故）

		試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件または設計基準事故時の環境条件
通常運転相当	温度	140℃-9日	98℃-9日 (=46℃*1-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (7.3kGy/h以下)	0.53kGy*2
設計基準事故相当	放射線 (集積線量)	1500kGy (7.3kGy/h以下)	675kGy
	温度	最高温度：190℃	最高温度：約120℃
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]	最高圧力：約0.22MPa[gage]

*1：電気ペネトレーションの周囲温度（約38℃）に通電による温度上昇と若干の余裕を加えた温度

*2：1.0 [mGy/h] × (24×365.25) [h/y] × 60 [y] = 0.53kGy

表2.3-4 外部リード-1-1の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
屈曲浸水 耐電圧試験	供試体外径：11.5mm マンドレル径：400mm 絶縁厚さ：0.8mm 課電電圧：2.6kV/5分間	良

[出典：メーカーデータ]

表2.3-5 外部リード-1-1の長期健全性試験条件（重大事故等時）

		試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件または重大事故等時の環境条件
通常運転相当	温度	140℃-11h	122℃-11h (=46℃*1-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	0.53kGy*2
重大事故等時相当	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	500kGy
	温度	最高温度：150℃	最高温度：約138℃
	圧力	最高圧力：0.5MPa[gage]	最高圧力：約0.35MPa[gage]

*1：電気ペネトレーションの周囲温度（約38℃）に温度上昇と若干の余裕を加えた温度

*2：1.0 [mGy/h] × (24×365.25) [h/y] × 60 [y] = 0.53kGy

表2.3-6 外部リード-1-1の長期健全性試験結果

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

[出典：電力共同委託「SA時の計装品の耐環境性能評価委託2014年度」]

表2.3-7 外部リード-1-2の長期健全性試験条件（設計基準事故）

		試験条件	60年間の通常運転時の使用条件 に基づく劣化条件または 設計基準事故時の環境条件
通常 運転 相当	温度	125℃-10日	96℃-10日 (=46℃*1-60年)
	放射線 (集積線量)	500kGy (7.1kGy/h以下)	0.53kGy*2
設計 基準 事故 相当	放射線 (集積線量)	1500kGy (7.1kGy/h以下)	675kGy
	温度	最高温度：190℃	最高温度：約120℃
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]	最高圧力：約0.22MPa[gage]

*1：電気ペネトレーションの周囲温度（約38℃）に通電による温度上昇と若干の余裕を加えた温度

*2： $1.0 \text{ [mGy/h]} \times (24 \times 365.25) \text{ [h/y]} \times 60 \text{ [y]} = 0.53 \text{ kGy}$

表2.3-8 外部リード-1-2の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	課電電圧：3kV/1分間	良

[出典：メーカーデータ]

表2.3-9 外部リーダー1-2の長期健全性試験条件（重大事故等時）

		試験条件*1	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件または重大事故等時の環境条件
通常運転相当	温度	120℃－115日	119℃－115日 (=46℃－60年) *2
	放射線 (集積線量)	—	0.53kGy*3
重大事故等時相当	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	500kGy
	温度	最高温度：153℃	最高温度：約138℃
	圧力	最高圧力：0.45MPa[gage]	最高圧力：約0.35MPa[gage]

*1：実機環境の線量率が低く、熱による劣化が支配的な領域のため、熱加速劣化のみとした。また、33.4℃の布設環境で15.6年間（稼働率86%）使用したケーブルを供試体とし、追加で劣化させた条件を示す。

*2：電気ペネトレーションの周囲温度（約38℃）に通電による温度上昇と若干の余裕を加えた温度とし、実機での劣化分も加味して換算した。

*3： $1.0 \text{ [mGy/h]} \times (24 \times 365.25) \text{ [h/y]} \times 60 \text{ [y]} = 0.53\text{kGy}$

表2.3-10 外部リーダー1-2の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	課電電圧：1,500V/1分間	良

[出典：電力共通研究「PWRにおける過酷事故用電気計装品に関する経年劣化評価研究PhaseⅡ（ケーブル）」]

また、外部リード-2の長期健全性試験手順については、「ケーブルの技術評価書」同軸ケーブルの絶縁体および内部シースの絶縁低下 b. 技術評価 ①健全性評価を参照のこと。

外部リード-2の長期健全性試験条件ならびに長期健全性試験結果を表2.3-11～表2.3-14に示す。これらの条件は伊方3号炉の60年間の運転および設計基準事故、または60年間の運転および重大事故等時を想定した熱および放射線による劣化条件を包絡している。

表2.3-11 外部リード-2の長期健全性試験条件（設計基準事故）

		試験条件*1	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件または設計基準事故時の環境条件
通常運転相当	温度	110℃-154日	109℃-154日 (=40℃-60年)*2
	放射線	—	0.53kGy*3
設計基準事故相当	放射線 (集積線量)	1,500kGy (10kGy/h以下)	675kGy
	温度	最高温度：190℃	最高温度：約120℃
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]	最高圧力：約0.22MPa[gage]

*1：実機環境の線量率が低く、熱による劣化が支配的な領域のため、熱加速劣化のみとした。また、45.1℃-2.2mGy/hの布設環境で18.9年間使用したケーブルを供試体とし、追加で劣化させた条件を示す。

*2：電気ペネトレーションの周囲温度（約38℃）に若干の余裕を加えた温度とし、実機での劣化分も加味して換算した。

*3： $1.0 \text{ [mGy/h]} \times (24 \times 365.25) \text{ [h/y]} \times 60 \text{ [y]} = 0.53\text{kGy}$

表2.3-12 外部リード-2の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	課電電圧： C-1S間 10kV/1分間 1S-2S間 2kV/1分間	良

[出典：電力共同研究「ケーブル加速劣化試験データの整備に関する研究（ACA評価ケーブル以外）2014年度」]

表2.3-13 外部リーダー2の長期健全性試験条件（重大事故等時）

		試験条件*1	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件または重大事故等時の環境条件
通常運転相当	温度	110℃－450日	99℃－450日 (=40℃－60年) *2
	放射線 (集積線量)	—	0.53kGy*3
重大事故等時相当	放射線 (集積線量)	500kGy (10kGy/h以下)	500kGy
	温度	150℃ (最高温度)	最高温度：約138℃
	圧力	0.5MPa [gage] (最高圧力)	最高圧力：約0.35MPa [gage]

*1：実機環境の線量率が低く、熱による劣化が支配的な領域のため、熱加速劣化のみとした。また、25.7℃の布設環境で18.9年間使用したケーブルを供試体とし、追加で劣化させた条件を示す。

*2：電気ペネトレーションの周囲温度（約38℃）に若干の余裕を加えた温度とし、実機での劣化分も加味して換算した。

*3： $1.0 \text{ [mGy/h]} \times (24 \times 365.25) \text{ [h/y]} \times 60 \text{ [y]} = 0.53\text{kGy}$

表2.3-14 外部リーダー2の長期健全性試験結果

項目	試験条件	判定
耐電圧試験	課電電圧： C-1S間 10kV／1分間 1S-2S間 2kV／1分間	良

[出典：電力共通研究「PWRにおける過酷事故用電気計装品に関する経年劣化評価研究Phase II（ケーブル）2019年度」]

したがって、外部リーダーの絶縁低下ならびにポッティング材およびOリングの気密性低下による絶縁低下については、60年間の通常運転とその後の設計基準事故、または60年間の通常運転とその後の重大事故等時においても、絶縁機能を維持できると判断する。

② 現状保全

外部リードの絶縁低下ならびにポッティング材およびOリングの気密性低下による絶縁低下に対しては、定期的にケーブルを含めた絶縁抵抗測定または系統機器の動作確認を実施し、有意な絶縁低下のないことを確認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、外部リードの絶縁低下ならびにポッティング材およびOリングの気密性低下による絶縁低下により機器の健全性に影響を与える可能性はないと考える。

また、外部リードの絶縁低下ならびにポッティング材およびOリングの気密性低下による絶縁低下は、絶縁抵抗測定または系統機器の動作確認で検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

外部リードの絶縁低下ならびにポッティング材およびOリングの気密性低下による絶縁低下については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

2.3.2 ポッティング材およびOリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下

a. 事象の説明

L V型モジュールのポッティング材として使用しているエポキシ樹脂は有機物であり、熱および放射線により経年劣化が進行し、接着力の低下により気密性が低下した場合、図2.3-3に示すようにリークパスが原子炉格納容器内より電気ペネトレーション内部を通り、原子炉格納容器外側まで至ることによって、原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下を起こす可能性がある。

また、Oリングとして使用しているEPゴムは有機物であり、熱および放射線により経年劣化が進行し、気密性が低下した場合、図2.3-3に示すようにリークパスが原子炉格納容器内より原子炉格納容器外側まで至ることによって、原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下を起こす可能性がある。

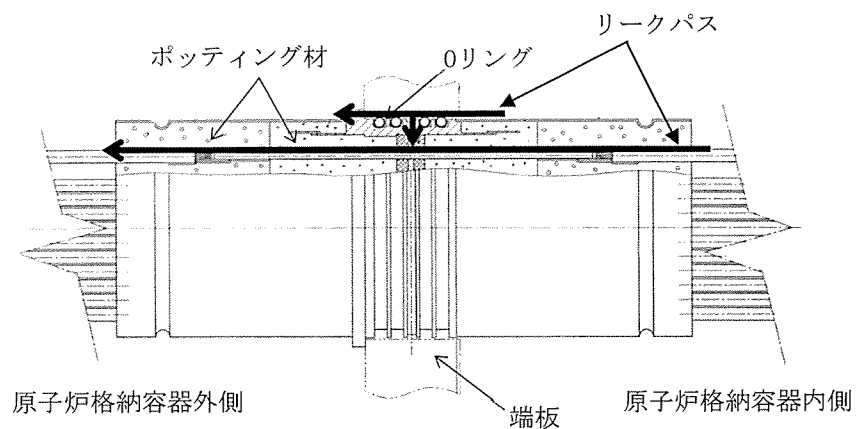


図2.3-3 伊方3号炉 LV型モジュールのバウンダリ機能に係るリークパス

b. 技術評価

① 健全性評価

ポッティング材およびOリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下については、LV型モジュールと同等のモジュラー型電気ペネトレーションにより、IEEE Std. 317-2013「IEEE Standard for Electric Penetration Assemblies in Containment Structures for Nuclear Power Generating Stations」に準拠した長期健全性試験を実施しており、この結果に基づき健全性評価を行う。

図2.3-4にモジュラー型電気ペネトレーションの長期健全性試験の手順を、表2.3-15に試験条件を示す。ポッティング材およびOリングについて、これらの条件は伊方3号炉の60年間の運転および設計基準事故、ならびに60年間の運転および重大事故等時を想定した熱および放射線による劣化条件を包絡している。

表2.3-16に長期健全性試験での漏えい量確認試験の結果を示す。結果は判定基準を満足している。

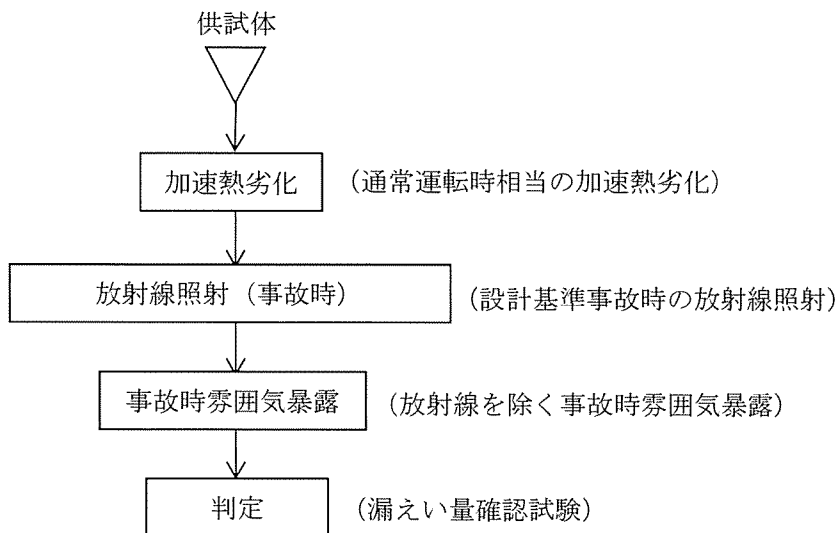


図2.3-4 モジュラー型電気ペネトレーション 長期健全性試験の手順

表2.3-15 モジュール型電気ペネトレーション 長期健全性試験の条件

	試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件、設計基準事故および重大事故等時の環境条件
加速 熱劣化	熱劣化： 120℃-241日間	114℃-241日 (44℃*1-60年)
放射線 照射	1,500kGy (10kGy/h以下)	通常運転相当：0.53kGy*2 設計基準事故時線量：675kGy 重大事故等時線量：500kGy
事故時 雰囲気 暴露	最高温度：190℃ 最高圧力：0.41MPa[gage] 試験時間：15日間	設計基準事故時：約120℃（最高温度） ：約0.22MPa[gage]（最高圧力） 重大事故等時：約138℃（最高温度） ：約0.35MPa[gage]（最高圧力）

*1：電気ペネトレーションの周囲温度（約38℃）に通電による温度上昇と若干の余裕を加えた温度

*2：原子炉格納容器内電気ペネトレーション近傍で最も放射線レベルが高い区域の空間線量率は1.0mGy/hであり、この値より60年間の平常時の集積線量を評価すると、
 $1.0 \text{ [mGy/h]} \times (24 \times 365.25) \text{ [h/y]} \times 60 \text{ [y]} = 0.53\text{kGy}$ となる。

表 2.3-16 モジュール型電気ペネトレーション 長期健全性試験結果

項目	判定基準	測定値	判定
漏えい量 確認試験	$1 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{sec}$ 以下	$0.77 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{sec}$	良

[出典：電力共同研究「電気計装設備に関する経年劣化評価研究Phase II」
2015年度]

② 現状保全

ポッティング材およびOリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下に対しては、定期的に原子炉格納容器漏えい率試験および電気ペネトレーションに封入しているN₂ガスの圧力確認を実施し、機器の健全性を確認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、ポッティング材およびOリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下の可能性はないと考える。

c. 高経年化への対応

ポッティング材およびOリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

3. 代表機器以外への展開

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

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

① MV型モジュール

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 ポッティング材およびOリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下

MV型モジュールのポッティング材およびOリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下については、ポッティング材として使用しているエポキシ樹脂およびOリングとして使用しているEPゴムが実機と同等であるLV型モジュールでの劣化を考慮した長期健全性試験結果により、60年間の運転および設計基準事故、ならびに60年間の運転および重大事故等時においても機器の健全性が維持できることを確認している。

ポッティング材およびOリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下は、定期的な原子炉格納容器漏えい率試験および電気ペネトレーションに封入しているN₂ガスの圧力確認で検知可能であり、点検手法として適切である。

したがって、ポッティング材およびOリングの原子炉格納容器バウンダリ機能に係る気密性低下については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)または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 本体の腐食（全面腐食）

本体は炭素鋼であり、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、塗膜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膜の状態を確認し、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。

3.2.2 端板およびヘッダーの応力腐食割れ

端板およびヘッダー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、端板およびヘッダーは水環境になく、かつ温度も低いことから応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

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

なお、原子炉格納容器漏えい率試験および電気ペネトレーションに封入しているN₂ガスの圧力確認により、機器の健全性を確認している。

4 補機タンク

[対象機器]

- ① 蓄圧タンク
- ② 体積制御タンク
- ③ 燃料取替用水タンク
- ④ ほう酸タンク
- ⑤ ガス減衰タンク
- ⑥ 水素再結合ガス減衰タンク
- ⑦ pH調整剤貯蔵タンク
- ⑧ よう素除去薬品タンク
- ⑨ 原子炉補機冷却水サージタンク
- ⑩ SGBD熱回収装置フラッシュタンク
- ⑪ スチームコンバータ給水タンク
- ⑫ 第1段湿分分離加熱器ドレンタンク
- ⑬ 第2段湿分分離加熱器ドレンタンク
- ⑭ 湿分分離器ドレンタンク
- ⑮ スチームコンバータドレンタンク
- ⑯ 補助蒸気ドレンタンク
- ⑰ 補助給水タンク

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	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、材料および使用条件	4
2.2 経年劣化事象の抽出	31
3. 代表機器以外への展開	47
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	47

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

伊方3号炉で使用されている補機タンクの主な仕様を表1-1に示す。

これらの補機タンクを設置場所・型式、内部流体およ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および結果

表1-1に示す補機タンクについて、設置場所・型式、内部流体および材料を分離基準として考えると、合計9つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

- (1) 設置場所・型式：屋内・たて置円筒形、内部流体：1次冷却材、ほう酸水、材料：炭素鋼（内面ステンレス鋼内張り）
このグループには蓄圧タンクのみが属するため、代表機器は蓄圧タンクとする。
- (2) 設置場所・型式：屋内・たて置円筒形、内部流体：1次冷却材、ほう酸水、材料：ステンレス鋼
このグループには体積制御タンク、燃料取替用水タンクおよびほう酸タンクが属するが、最高使用圧力が高い体積制御タンクを代表機器とする。
- (3) 設置場所・型式：屋内・たて置円筒形、内部流体：希ガス、材料：炭素鋼
このグループにはガス減衰タンクおよび水素再結合ガス減衰タンクが属するが、使用頻度が多いガス減衰タンクを代表機器とする。
- (4) 設置場所・型式：屋内・たて置円筒形、内部流体：苛性ソーダ溶液、材料：ステンレス鋼
このグループにはpH調整剤貯蔵タンクのみが属するため、代表機器はpH調整剤貯蔵タンクとする。
- (5) 設置場所・型式：屋内・横置円筒形、内部流体：ヒドラジン水、材料：ステンレス鋼
このグループにはよう素除去薬品タンクのみが属するため、代表機器はよう素除去薬品タンクとする。

- (6) 設置場所・型式：屋内・横置円筒形、内部流体：ヒドラジン水、材料：炭素鋼
このグループには原子炉補機冷却水サージタンクのみが属するため、代表機器は原子炉補機冷却水サージタンクとする。
- (7) 設置場所・型式：屋内・たて置円筒形、内部流体：給水、材料：ステンレス鋼
このグループにはS G B D熱回収装置フラッシュタンクのみが属するため、代表機器はS G B D熱回収装置フラッシュタンクとする。
- (8) 設置場所・型式：屋内・たて置・横置円筒形、内部流体：給水、材料：炭素鋼
このグループにはスチームコンバータ給水タンク、第1段湿分分離加熱器ドレンタンク、第2段湿分分離加熱器ドレンタンク、湿分分離器ドレンタンク、スチームコンバータドレンタンクおよび補助蒸気ドレンタンクが属するが、最高使用圧力が高い第2段湿分分離加熱器ドレンタンクを代表機器とする。
- (9) 設置場所・型式：屋外・たて置円筒形、内部流体：給水、材料：炭素鋼
このグループには補助給水タンクのみが属するため、代表機器は補助給水タンクとする。

表1-1 伊方3号炉 補機タンクの主な仕様

分離基準		選定基準			代表機器の選定				
設置場所 型式	内部流体	材料	機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件		代表 機器	選定理由	
					最高使用圧力 (MPa [gauge])	最高使用温度 (°C)			
屋内・たて置円筒形	1次冷却材 ほう酸水	炭素鋼 (内面ステンレス鋼内張り) ステンレス鋼	蓄圧タンク (3)	MS-1、重*3	約 4.9	約150	◎		
			体積制御タンク (1)	PS-2	約0.49	約 95	◎	最高使用圧力	
	希ガス	炭素鋼	燃料取替用水タンク (1)	MS-1、重*3	大気圧	約 95			
			ほう酸タンク (2)	MS-1、重*3	大気圧	約 95			
			ガス減衰タンク (6)	PS-2	約0.98	約 95	◎	使用頻度	
			水素再結合ガス減衰タンク (4)	PS-2	約0.98	約 95			
屋内・横置円筒形	苛性ソーダ溶液	ステンレス鋼	pH調整剤貯蔵タンク (1)	MS-2	約0.07	約 65	◎		
			よう素除去薬品タンク (1)	MS-1	約0.07	約 65	◎		
			原子炉補機冷却水サージタンク (1)	MS-1、重*3	約0.34	約 95	◎		
屋内・たて置円筒形	給水	ステンレス鋼	SGBD熱回収装置フラッシュタンク (1)	高*2	約1.47	約205	◎		
			スチームコンバータ給水タンク (1)	高*2	大気圧	約100			
			第1段湿分離加熱器ドレンタンク (4)	高*2	約 2.8	約235			
			第2段湿分離加熱器ドレンタンク (4)	高*2	約 7.5	約291	◎	最高使用圧力	
			湿分離器ドレンタンク (2)	高*2	約1.47	約205			
			スチームコンバータドレンタンク (1)	高*2	約 3.1	約240			
			補助蒸気ドレンタンク (1)	高*2	大気圧	約100			
			補助給水タンク (1)	MS-1、重*3	大気圧/約0.93 (本体側/蒸気側)	約40/約185 (本体側/蒸気側)	◎		

*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、または最高使用圧力が1900kPa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：重要度クラスとは別に常設重大事故対処設備に属する機器およ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9種類の補機タンクについて技術評価を実施する。

- ① 蓄圧タンク
- ② 体積制御タンク
- ③ ガス減衰タンク
- ④ pH調整剤貯蔵タンク
- ⑤ よう素除去薬品タンク
- ⑥ 原子炉補機冷却水サージタンク
- ⑦ SGBD熱回収装置フラッシュタンク
- ⑧ 第2段湿分分離加熱器ドレンタンク
- ⑨ 補助給水タンク

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 蓄圧タンク

(1) 構造

伊方3号炉の蓄圧タンクは、屋内たて置円筒形タンクであり、3台設置されている。

伊方3号炉の蓄圧タンクの構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の蓄圧タンクの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

No.	部位
①	胴板
②	鏡板
③	充てん管台
④	出口管台
⑤	水位計管台
⑥	サンプリング管台
⑦	安全弁取付管台
⑧	窒素供給管台
⑨	マンホール
⑩	マンホール用ボルト
⑪	スカート
⑫	基礎ボルト
⑬	ガスケット

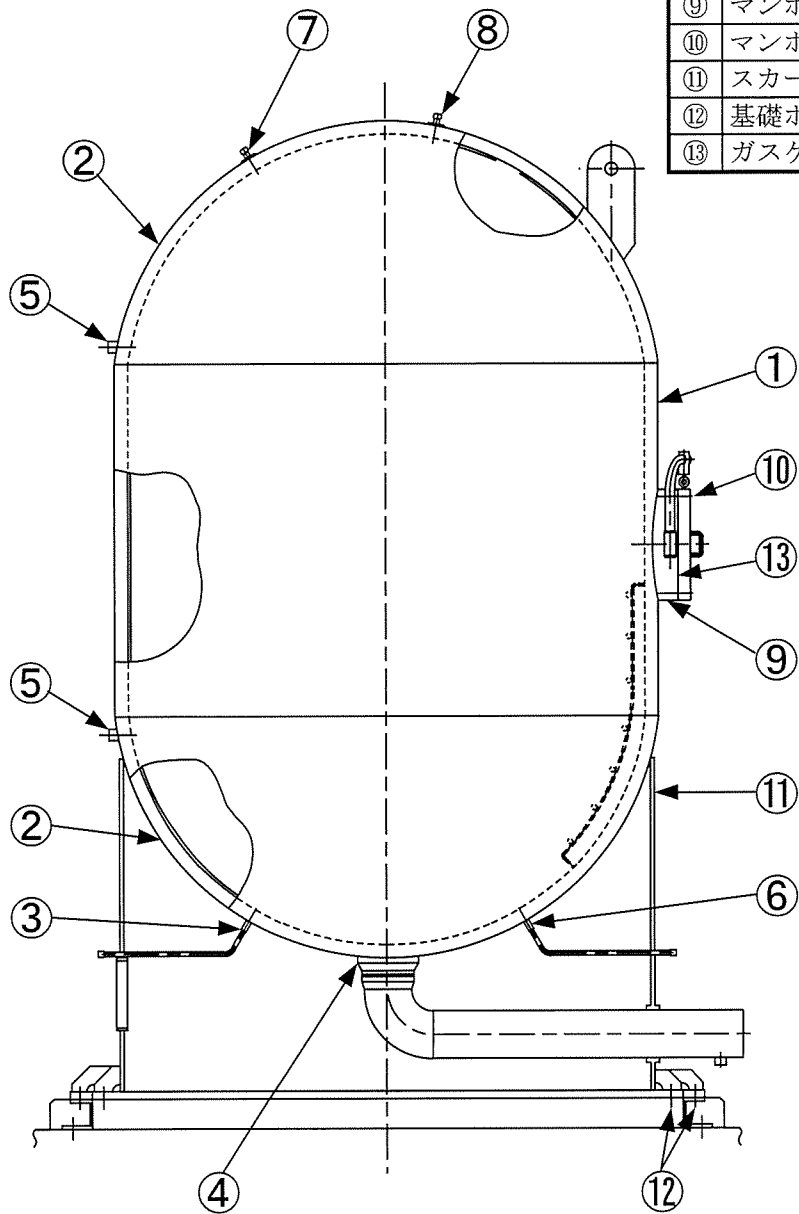


図2.1-1 伊方3号炉 蓄圧タンク構造図

表2.1-1 伊方3号炉 蓄圧タンク主要部位の使用材料

部位	材料
胴板	炭素鋼 ステンレス鋼（内張り）
鏡板	炭素鋼 ステンレス鋼（内張り）
充てん管台	ステンレス鋼
出口管台	炭素鋼 ステンレス鋼（内張り）
水位計管台	ステンレス鋼
サンプリング管台	ステンレス鋼
安全弁取付管台	ステンレス鋼
窒素供給管台	ステンレス鋼
マンホール	炭素鋼 ステンレス鋼（内張り）
マンホール用ボルト	低合金鋼
スカート	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼 低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-2 伊方3号炉 蓄圧タンクの使用条件

最高使用圧力	約4.9MPa[gage]
最高使用温度	約150℃
内部流体	ほう酸水

2.1.2 体積制御タンク

(1) 構造

伊方3号炉の体積制御タンクは、屋内たて置円筒形タンクであり、1台設置されている。

伊方3号炉の体積制御タンクの構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の体積制御タンクの使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。

No.	部位
①	胴板
②	鏡板
③	水素・窒素封入管台
④	抽出水入口管台
⑤	ベント管台
⑥	封水戻り管台
⑦	水位計管台
⑧	出口管台
⑨	ドレン管台
⑩	逃がし弁出口管台
⑪	マンホール
⑫	マンホール用ボルト
⑬	スカート
⑭	基礎ボルト
⑮	ガスケット

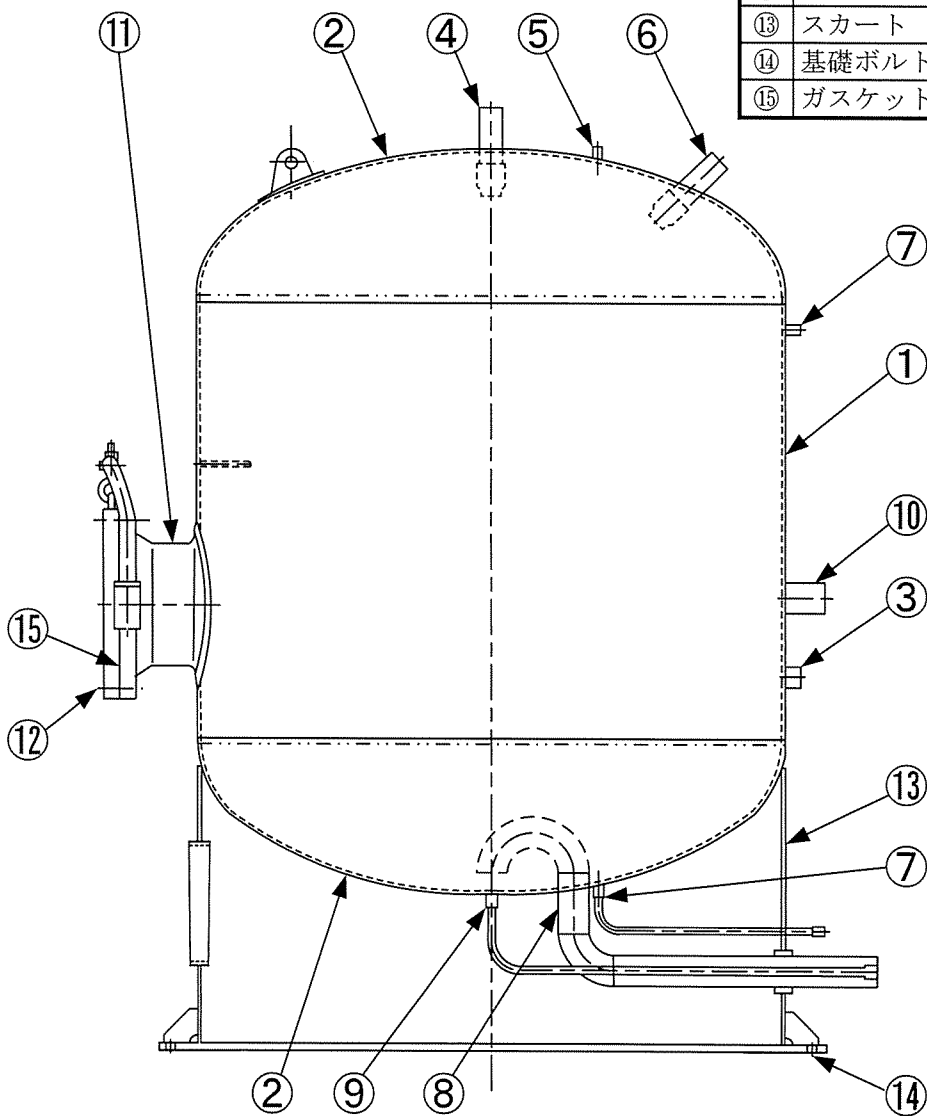


図2.1-2 伊方3号炉 体積制御タンク構造図

表2.1-3 伊方3号炉 体積制御タンク主要部位の使用材料

部位	材料
胴板	ステンレス鋼
鏡板	ステンレス鋼
水素・窒素封入管台	ステンレス鋼
抽出水入口管台	ステンレス鋼
ベント管台	ステンレス鋼
封水戻り管台	ステンレス鋼
水位計管台	ステンレス鋼
出口管台	ステンレス鋼
ドレン管台	ステンレス鋼
逃がし弁出口管台	ステンレス鋼
マンホール	ステンレス鋼
マンホール用ボルト	低合金鋼
スカート	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-4 伊方3号炉 体積制御タンクの使用条件

最高使用圧力	約0.49MPa[gage]
最高使用温度	約95℃
内部流体	1次冷却材

2.1.3 ガス減衰タンク

(1) 構造

伊方3号炉のガス減衰タンクは、屋内たて置円筒形タンクであり、6台設置されている。

伊方3号炉のガス減衰タンクの構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉のガス減衰タンクの使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。

No.	部位
①	胴板
②	鏡板
③	ガス入口管台
④	ガス出口管台
⑤	試料採取管台
⑥	ドレン管台
⑦	マンホール
⑧	マンホール用ボルト
⑨	スカート
⑩	基礎ボルト
⑪	ガスケット

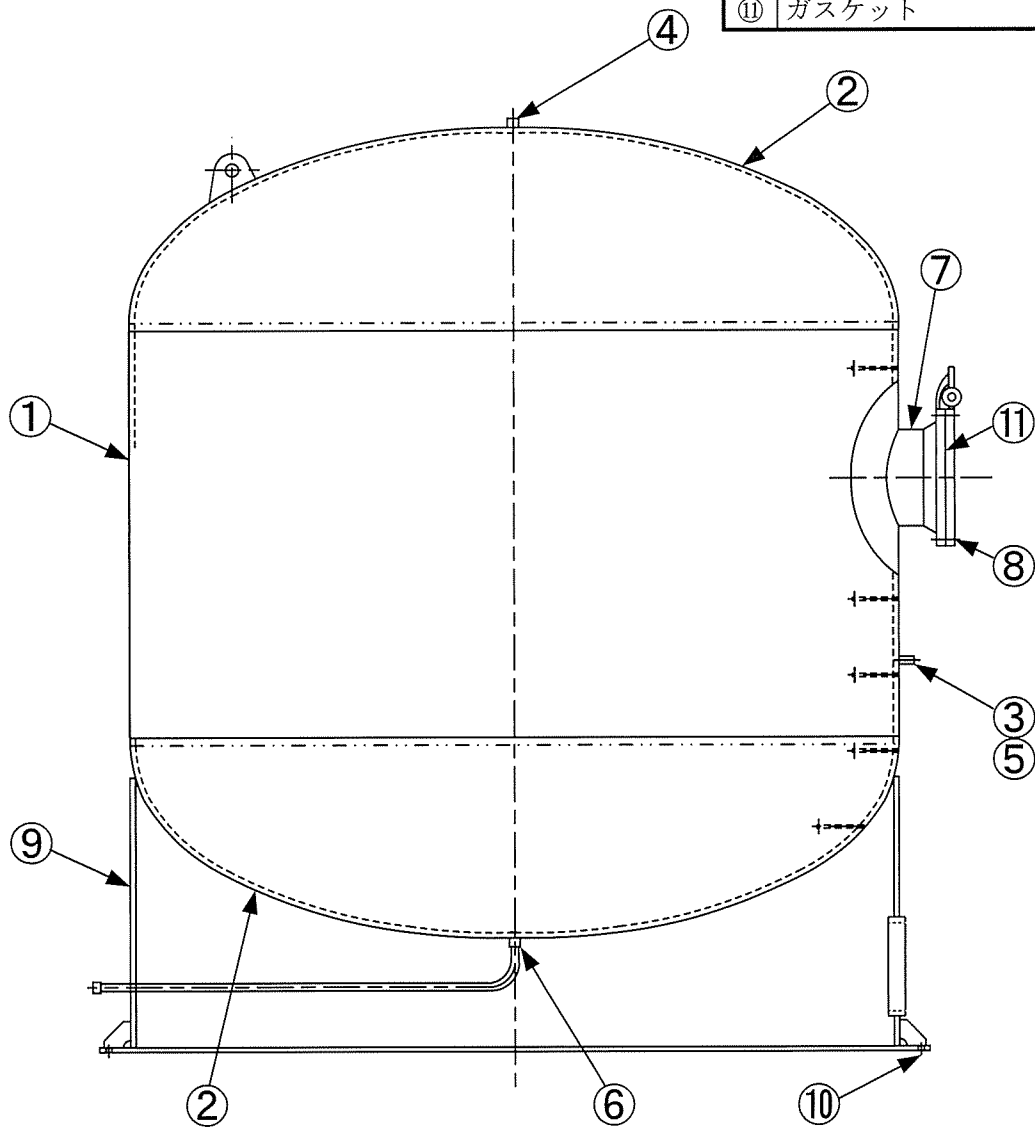


図2.1-3 伊方3号炉 ガス減衰タンク構造図

表2.1-5 伊方3号炉 ガス減衰タンク主要部位の使用材料

部位	材料
胴板	炭素鋼
鏡板	炭素鋼
ガス入口管台	炭素鋼
ガス出口管台	炭素鋼
試料採取管台	炭素鋼
ドレン管台	炭素鋼
マンホール	炭素鋼
マンホール用ボルト	低合金鋼
スカート	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-6 伊方3号炉 ガス減衰タンクの使用条件

最高使用圧力	約0.98MPa[gage]
最高使用温度	約95℃
内部流体	希ガス

2.1.4 pH調整剤貯蔵タンク

(1) 構造

伊方3号炉のpH調整剤貯蔵タンクは、屋内たて置円筒形タンクであり、1台設置されている。

伊方3号炉のpH調整剤貯蔵タンクの構造図を図2.1-4に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉のpH調整剤貯蔵タンクの使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。

No.	部位
①	胴板
②	鏡板
③	薬品供給管台
④	窒素供給管台
⑤	ドレン管台
⑥	サンプリング管台
⑦	水位計管台
⑧	出口管台
⑨	マンホール
⑩	マンホール用ボルト
⑪	基礎ボルト
⑫	支持脚
⑬	ガスケット

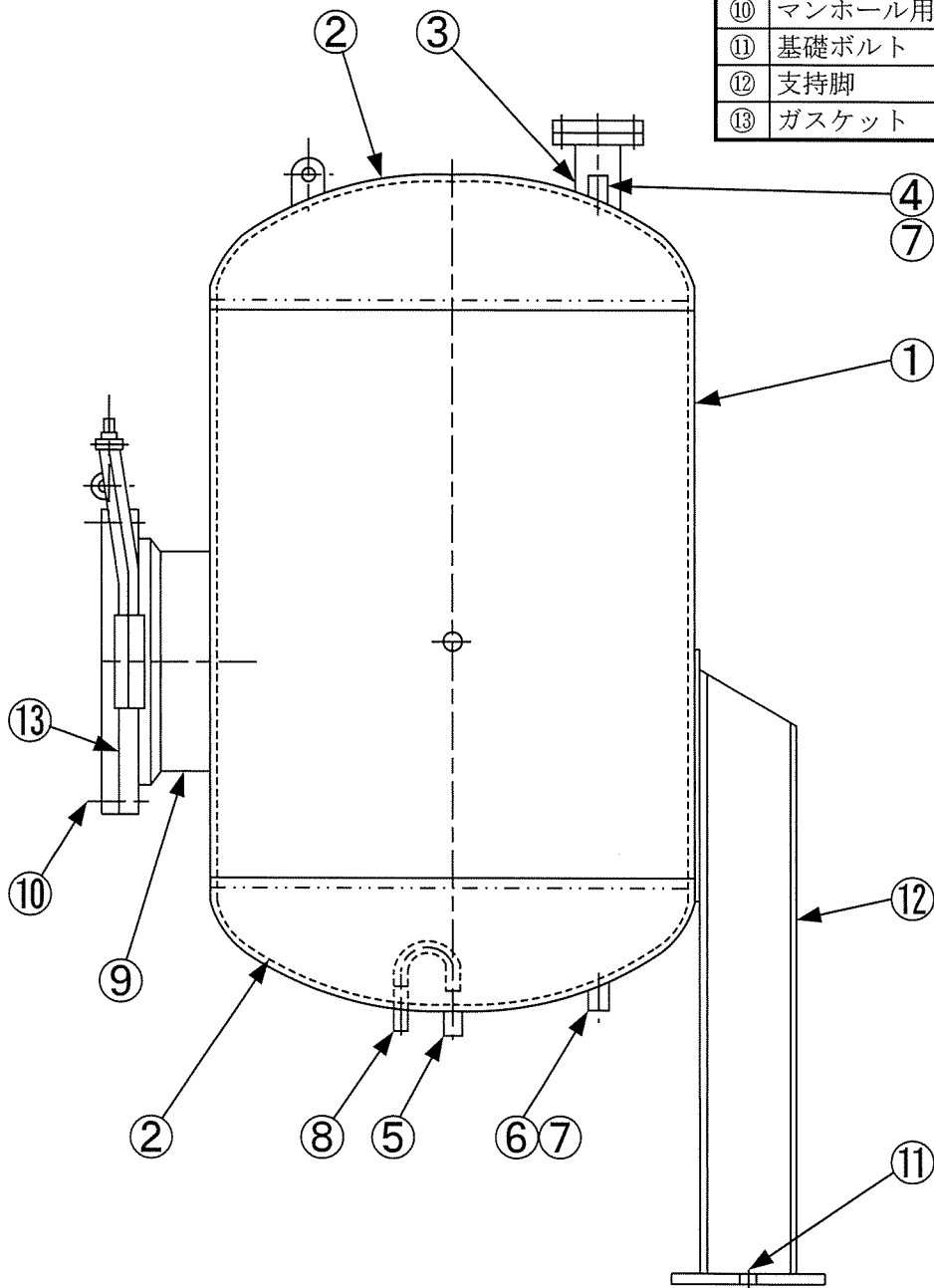


図2.1-4 伊方3号炉 pH調整剤貯蔵タンク構造図

表2.1-7 伊方3号炉 pH調整剤貯蔵タンク主要部位の使用材料

部位	材料
胴板	ステンレス鋼
鏡板	ステンレス鋼
薬品供給管台	ステンレス鋼
窒素供給管台	ステンレス鋼
ドレン管台	ステンレス鋼
サンプリング管台	ステンレス鋼
水位計管台	ステンレス鋼
出口管台	ステンレス鋼
マンホール	ステンレス鋼
マンホール用ボルト	低合金鋼
支持脚	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-8 伊方3号炉 pH調整剤貯蔵タンクの使用条件

最高使用圧力	約0.07MPa[gage]
最高使用温度	約65℃
内部流体	苛性ソーダ溶液

2.1.5 よう素除去薬品タンク

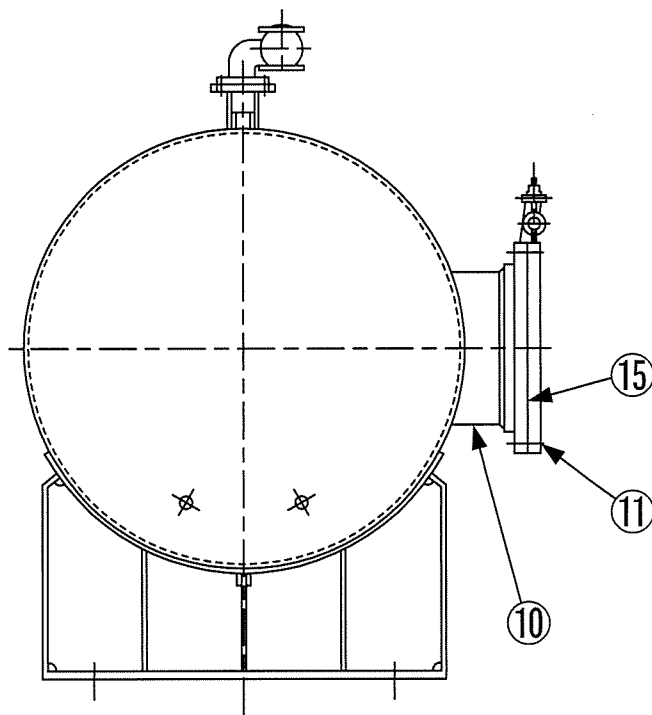
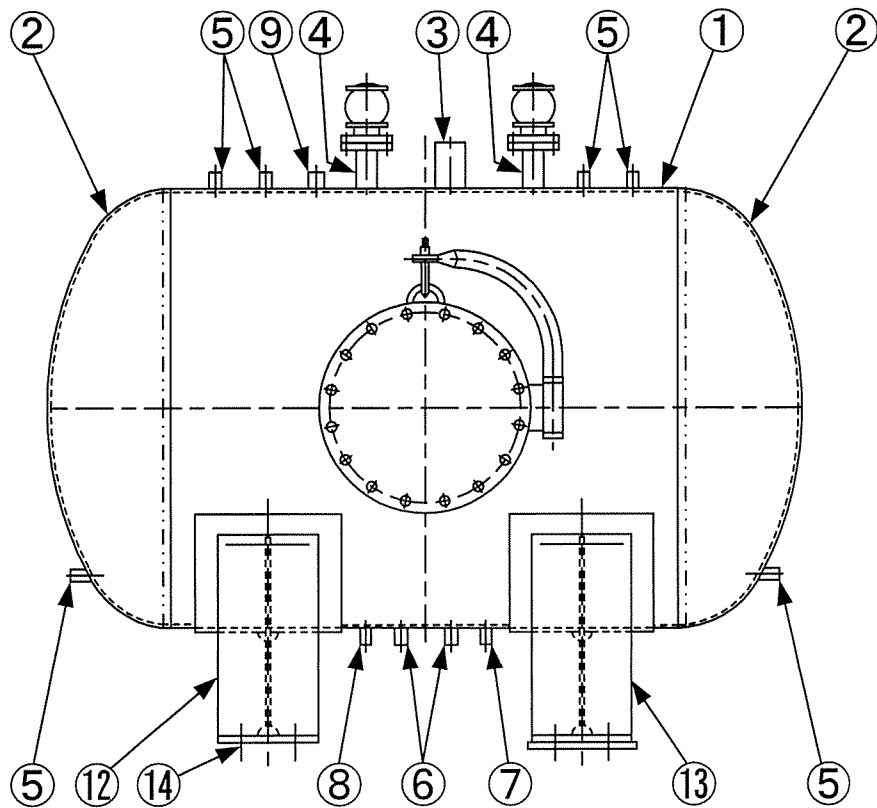
(1) 構造

伊方3号炉のよう素除去薬品タンクは、屋内横置円筒形タンクであり、1台設置されている。

伊方3号炉のよう素除去薬品タンクの構造図を図2.1-5に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉のよう素除去薬品タンクの使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。



No.	部位
①	胴板
②	鏡板
③	薬品供給管台
④	真空破壊弁管台
⑤	水位計管台
⑥	出口管台
⑦	ドレン管台
⑧	サンプリング管台
⑨	安全弁管台
⑩	マンホール
⑪	マンホール用ボルト
⑫	支持脚
⑬	支持脚 (スライド脚)
⑭	基礎ボルト
⑮	ガスケット

図2.1-5 伊方3号炉 よう素除去薬品タンク構造図

表2.1-9 伊方3号炉 よう素除去薬品タンク主要部位の使用材料

部位	材料
胴板	ステンレス鋼
鏡板	ステンレス鋼
薬品供給管台	ステンレス鋼
真空破壊弁管台	ステンレス鋼
水位計管台	ステンレス鋼
出口管台	ステンレス鋼
ドレン管台	ステンレス鋼
サンプリング管台	ステンレス鋼
安全弁管台	ステンレス鋼
マンホール	ステンレス鋼
マンホール用ボルト	低合金鋼
支持脚	炭素鋼
支持脚（スライド脚）	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-10 伊方3号炉 よう素除去薬品タンクの使用条件

最高使用圧力	約0.07MPa[gage]
最高使用温度	約65℃
内部流体	ヒドラジン水

2.1.6 原子炉補機冷却水サージタンク

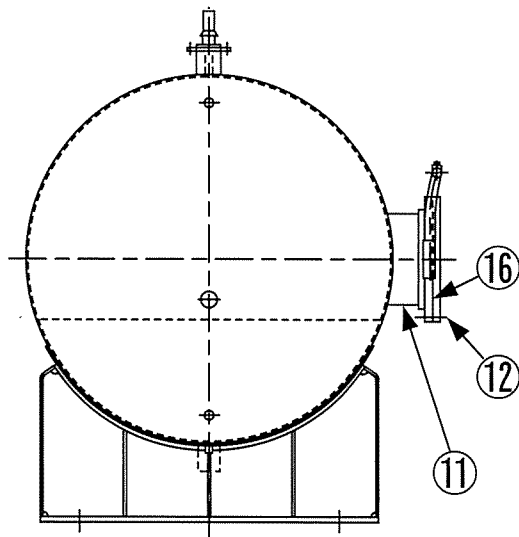
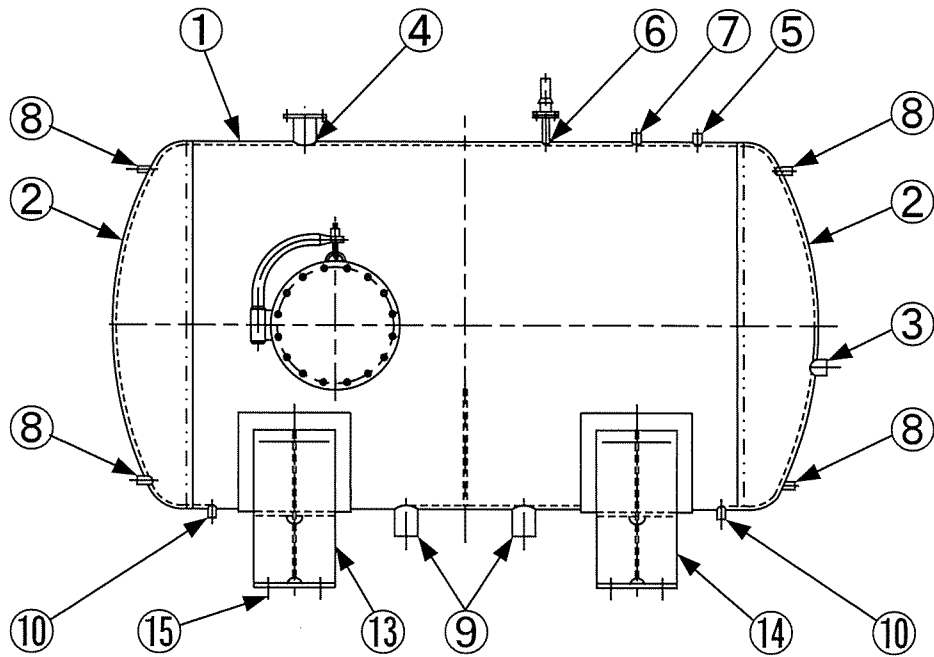
(1) 構造

伊方3号炉の原子炉補機冷却水サージタンクは、屋内横置円筒形タンクであり、1台設置されている。

伊方3号炉の原子炉補機冷却水サージタンクの構造図を図2.1-6に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の原子炉補機冷却水サージタンクの使用材料および使用条件を表2.1-11および表2.1-12に示す。



No.	部位
①	胴板
②	鏡板
③	循環ライン管台
④	逃がし弁管台
⑤	薬品添加管台
⑥	真空破壊弁管台
⑦	ベント管台
⑧	水位計管台
⑨	サージ管管台
⑩	ドレン管台
⑪	マンホール
⑫	マンホール用ボルト
⑬	支持脚
⑭	支持脚 (スライド脚)
⑮	基礎ボルト
⑯	ガスケット

図2.1-6 伊方3号炉 原子炉補機冷却水サージタンク構造図

表2.1-11 伊方3号炉 原子炉補機冷却水サージタンク主要部位の使用材料

部位	材料
胴板	炭素鋼
鏡板	炭素鋼
循環ライン管台	炭素鋼
逃がし弁管台	炭素鋼
薬品添加管台	炭素鋼
真空破壊弁管台	炭素鋼
ベント管台	炭素鋼
水位計管台	炭素鋼
サージ管管台	炭素鋼
ドレン管台	炭素鋼
マンホール	炭素鋼
マンホール用ボルト	低合金鋼
支持脚	炭素鋼
支持脚（スライド脚）	炭素鋼
基礎ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-12 伊方3号炉 原子炉補機冷却水サージタンクの使用条件

最高使用圧力	約0.34MPa[gage]
最高使用温度	約95℃
内部流体	ヒドラジン水

2.1.7 SGBD熱回収装置フラッシュタンク

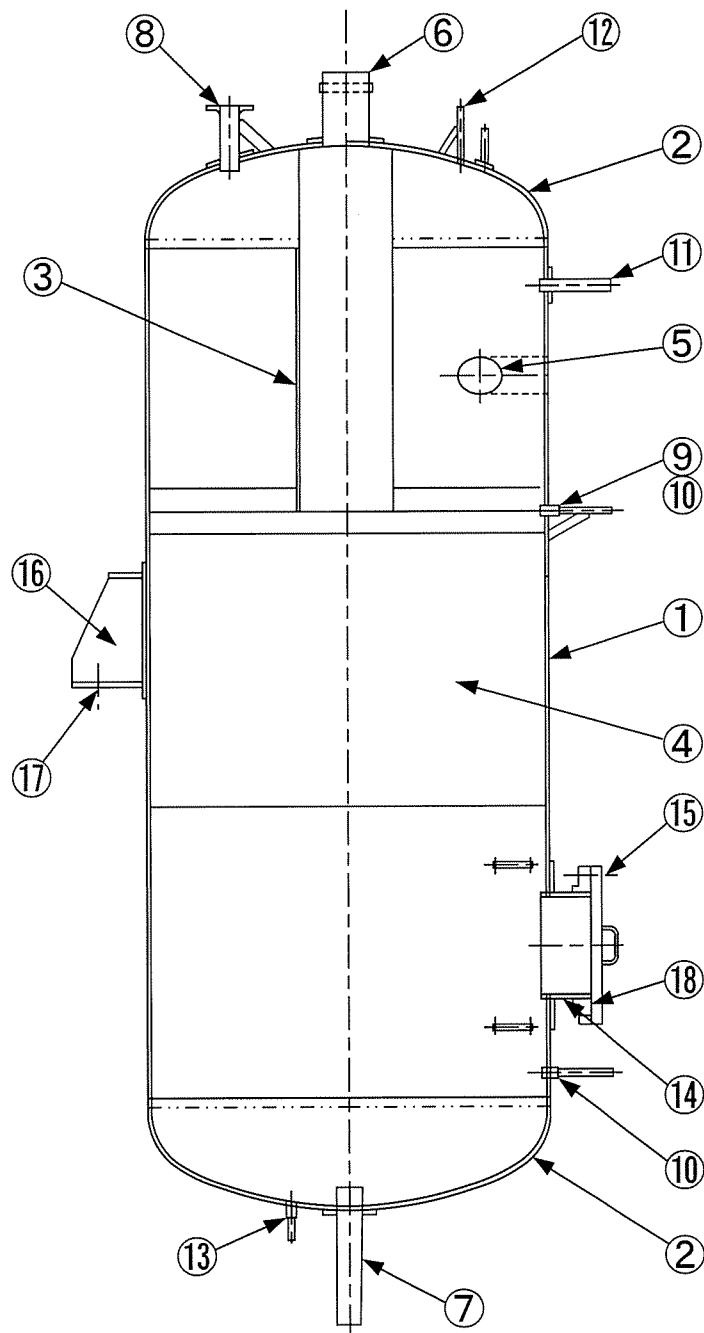
(1) 構造

伊方3号炉のSGBD熱回収装置フラッシュタンクは、屋内たて置円筒形タンクであり、1台設置されている。

伊方3号炉のSGBD熱回収装置フラッシュタンクの構造図を図2.1-7に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉のSGBD熱回収装置フラッシュタンクの使用材料および使用条件を表2.1-13および表2.1-14に示す。



No.	部位
①	胴板
②	鏡板
③	内筒
④	仕切板
⑤	SGブロー入口管台
⑥	フラッシュ蒸気出口管台
⑦	フラッシュブロー出口管台
⑧	安全弁取付管台
⑨	タンク圧力検出管台
⑩	水位計管台
⑪	洗浄水入口管台
⑫	タンクベント管台
⑬	タンクドレン管台
⑭	マンホール管台
⑮	マンホール用ボルト
⑯	支持脚
⑰	取付ボルト
⑱	ガスケット

図2.1-7 伊方3号炉 SGBD熱回収装置フラッシュタンク構造図

表2.1-13 伊方3号炉 SGBD熱回収装置フラッシュタンク主要部位の使用材料

部位	材料
胴板	ステンレス鋼
鏡板	ステンレス鋼
内筒	ステンレス鋼
仕切板	ステンレス鋼
SGブロー入口管台	ステンレス鋼
フラッシュ蒸気出口管台	ステンレス鋼
フラッシュブロー出口管台	ステンレス鋼
安全弁取付管台	ステンレス鋼
タンク圧力検出管台	ステンレス鋼
水位計管台	ステンレス鋼
洗浄水入口管台	ステンレス鋼
タンクベント管台	ステンレス鋼
タンクドレン管台	ステンレス鋼
マンホール管台	ステンレス鋼
マンホール用ボルト	低合金鋼
支持脚	炭素鋼
取付ボルト	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-14 伊方3号炉 SGBD熱回収装置フラッシュタンクの使用条件

最高使用圧力	約1.47MPa[gage]
最高使用温度	約205℃
内部流体	給水

2.1.8 第2段湿分分離加熱器ドレンタンク

(1) 構造

伊方3号炉の第2段湿分分離加熱器ドレンタンクは、屋内横置円筒形タンクであり、4台設置されている。

伊方3号炉の第2段湿分分離加熱器ドレンタンクの構造図を図2.1-8に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の第2段湿分分離加熱器ドレンタンクの使用材料および使用条件を表2.1-15および表2.1-16に示す。

No.	部位
①	胴板
②	鏡板
③	ドレン入口管台
④	ドレン出口管台
⑤	バランス管台
⑥	計器用管台
⑦	温度計用管台
⑧	空気抜用管台
⑨	圧力計用管台
⑩	ドレン抜用管台
⑪	マンホール
⑫	マンホール用ボルト
⑬	支持脚
⑭	支持脚 (スライド脚)
⑮	取付ボルト
⑯	ダイヤフラム板

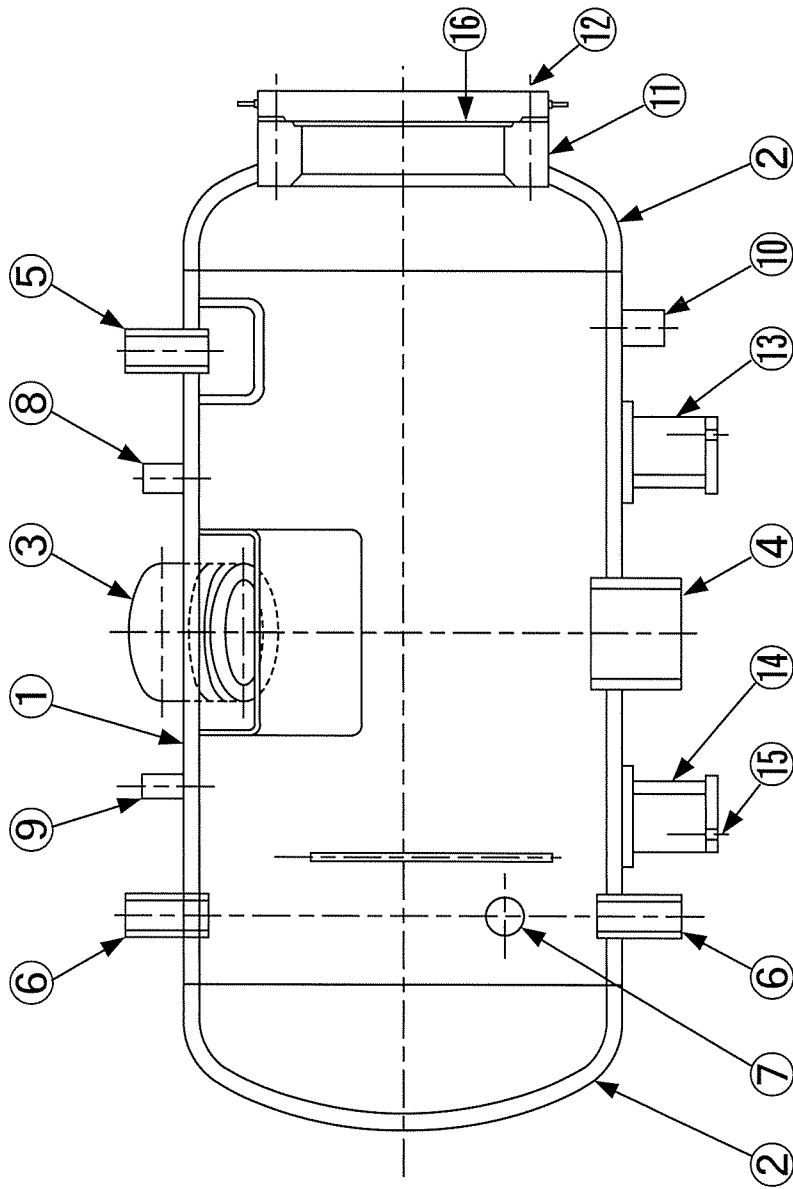


図2.1-8 伊方3号炉 第2段湿分離加熱器ドレンタンク構造図

表2.1-15 伊方3号炉 第2段湿分分離加熱器ドレンタンク主要部位の使用材料

部位	材料
胴板	炭素鋼
鏡板	炭素鋼
ドレン入口管台	炭素鋼
ドレン出口管台	炭素鋼
バランス管台	炭素鋼
計器用管台	炭素鋼
温度計用管台	炭素鋼
空気抜用管台	炭素鋼
圧力計用管台	炭素鋼
ドレン抜用管台	炭素鋼
マンホール	炭素鋼
マンホール用ボルト	低合金鋼
支持脚	炭素鋼
支持脚（スライド脚）	炭素鋼
取付ボルト	低合金鋼
ダイヤフラム板	消耗品・定期取替品

表2.1-16 伊方3号炉 第2段湿分分離加熱器ドレンタンクの使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa[gage]
最高使用温度	約291℃
内部流体	給水

2.1.9 補助給水タンク

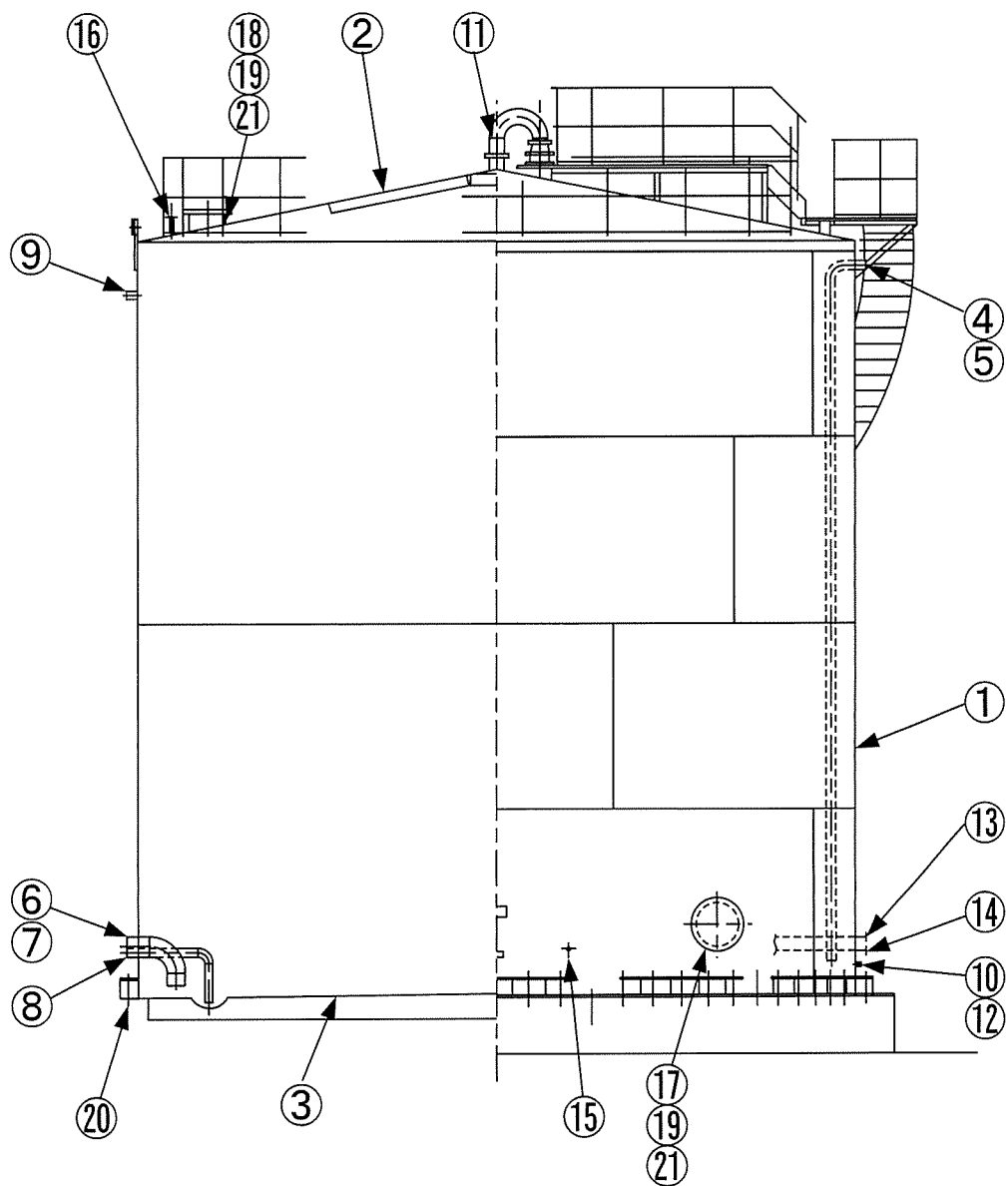
(1) 構造

伊方3号炉の補助給水タンクは、屋外たて置円筒形タンクであり、1台設置されている。

伊方3号炉の補助給水タンクの構造図を図2.1-9に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の補助給水タンクの使用材料および使用条件を表2.1-17および表2.1-18に示す。



No.	部位	No.	部位
①	側板	⑫	サンプル用管台
②	屋根板	⑬	加熱蒸気管台 (入口)
③	底板	⑭	加熱蒸気管台 (出口)
④	補助給水ポンプミニマムフロー管台	⑮	温度計管台
⑤	補給水管台	⑯	薬注管台
⑥	電動補助給水ポンプ入口管台	⑰	側マンホール
⑦	タービン動補助給水ポンプ入口管台	⑱	屋根マンホール
⑧	ドレン管台	⑲	マンホール用ボルト
⑨	オーバーフロー管台	⑳	基礎ボルト
⑩	水位計管台	㉑	ガスケット
⑪	空気抜管台		

図2.1-9 伊方3号炉 補助給水タンク構造図

表2.1-17 伊方3号炉 補助給水タンク主要部位の使用材料

部位	材料
側板	炭素鋼
屋根板	炭素鋼
底板	炭素鋼
補助給水ポンプミニマムフロー管台	ステンレス鋼
補給水管台	ステンレス鋼
電動補助給水ポンプ入口管台	ステンレス鋼
タービン動補助給水ポンプ入口管台	ステンレス鋼
ドレン管台	ステンレス鋼
オーバーフロー管台	ステンレス鋼
水位計管台	ステンレス鋼
空気抜管台	ステンレス鋼
サンプル用管台	ステンレス鋼
加熱蒸気管台（入口）	ステンレス鋼
加熱蒸気管台（出口）	ステンレス鋼
温度計管台	ステンレス鋼
薬注管台	ステンレス鋼
側マンホール	炭素鋼
屋根マンホール	炭素鋼
マンホール用ボルト	低合金鋼
基礎ボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-18 伊方3号炉 補助給水タンクの使用条件

最高使用圧力	大気圧/約0.93MPa[gage] (本体側/蒸気側)
最高使用温度	約40℃/約185℃ (本体側/蒸気側)
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

補機タンクの機能である貯蔵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 バウンダリの維持
- ② 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

補機タンク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）およ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△または▲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、また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)または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) 胴板等耐圧構成品の外表面からの腐食（全面腐食）〔蓄圧タンク、ガス減衰タンク、原子炉補機冷却水サージタンク、第2段湿分分離加熱器ドレンタンク、補助給水タンク〕

胴板等耐圧構成品は炭素鋼であり、外表面からの腐食が想定される。

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

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、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、さらに防水措置（保温）が設置されている場合は防水措置（保温）の状態を確認することにより、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) スカートおよび支持脚の腐食（全面腐食）〔補助給水タンクを除く〕
スカートおよび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、塗膜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膜の状態を確認し、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、さらに防水措置（保温）が設置されている場合は防水措置（保温）の状態を確認することにより、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) 支持脚（スライド脚）の腐食（全面腐食）〔よう素除去薬品タンク、原子炉補機冷却水サージタンク、第2段湿分分離加熱器ドレンタンク〕
タンクは横置きであり、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、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。
- (4) 取付ボルトの腐食（全面腐食）〔第2段湿分分離加熱器ドレンタンク、SGBD熱回収装置フラッシュタンク〕
取付ボルトは低合金鋼または炭素鋼であり、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、塗膜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膜の状態を確認し、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) 胴板等耐圧構成品の内面からの腐食（全面腐食）〔ガス減衰タンク、原子炉補機冷却水サージタンク、第2段湿分分離加熱器ドレンタンク、補助給水タンク〕
ガス減衰タンクの胴板等耐圧構成品は炭素鋼であり、ドレン水がタンク下部に滞留していることから、長期使用により、内面からの腐食が想定される。

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。

原子炉補機冷却水サージタンクおよび第2段湿分分離加熱器ドレンタンクの胴板等耐圧構成品は炭素鋼であり、胴板等の内面からの腐食が想定される。

しかしながら、原子炉補機冷却水サージタンクは内部流体がヒドラジン水（防錆剤注入水）、第2段湿分分離加熱器ドレンタンクは内部流体がpH等を管理した脱気水（給水）で腐食が発生しがたい環境であり、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がたい。

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。

補助給水タンクの側板等耐圧構成品は炭素鋼であり、側板等の内面からの腐食が想定される。

しかしながら、タンク内面を塗装しているとともに内部流体がpH等を管理した脱気水（給水）で腐食が発生しがたい環境であり、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がたい。

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。

(6) 管台の内面からの応力腐食割れ [蓄圧タンク]

1977年10月、米国H. B. ロビンソン (H. B. Robinson) 発電所のほう酸注入タンクでカップリングから管台 (ともにステンレス鋼) にかけて内面からの応力腐食割れによる損傷が発生している。この事象は、飽和溶存酸素濃度 (最大約8ppm) のほう酸水環境下で、高炭素量のステンレス鋼を使用していた管台が著しく鋭敏化していたことが原因となり発生したものである。

しかしながら、伊方3号炉の蓄圧タンクでは、タンク本体の熱処理を行った後に管台を溶接しており、材料の鋭敏化はないと判断される。

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、開放点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) マンホール用ボルトの腐食 (全面腐食) [共通]

マンホール用ボルトは、ガスケットまたはダイヤフラム板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がたい。

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。

(8) 基礎ボルトの腐食 (全面腐食) [蓄圧タンク、体積制御タンク、ガス減衰タンク、pH調整剤貯蔵タンク、よう素除去薬品タンク、原子炉補機冷却水サージタンク、補助給水タンク]

基礎ボルトは炭素鋼または低合金鋼であり、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」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

(9) 管台の外表面からの応力腐食割れ [補助給水タンク]

屋外に設置されたステンレス鋼製の管台等は大気中の海塩粒子等の塩分が付着した場合、塩化物イオンにより応力腐食割れが想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装を施しており、大気中の海塩粒子が付着する可能性は小さく、塗装が健全であれば応力腐食割れの可能性は小さい。したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

また、巡視点検等で、目視により塗膜の状態を確認し、必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

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。

(10) 胴板等耐圧構成品の内面からの腐食（全面腐食） [pH調整剤貯蔵タンク]

pH調整剤貯蔵タンクは内部流体が苛性ソーダ溶液であり、胴板等耐圧構成品の内面からの腐食が想定される。

しかしながら、接液部材料がステンレス鋼であること、苛性ソーダの濃度および使用温度が低いことから、腐食が発生しがたい環境であり、今後もこれらの環境が変化する要因があるとは考えがたい。

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。

(11) 銅板等耐圧構成品の内面からの応力腐食割れ [pH調整剤貯蔵タンク]

pH調整剤貯蔵タンクの銅板等耐圧構成品はステンレス鋼であり、内部流体が苛性ソーダ溶液であることから応力腐食割れが想定される。

しかしながら、図2.2-1に示すように応力腐食割れ発生条件と比較して、苛性ソーダの濃度および使用温度が低いことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

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

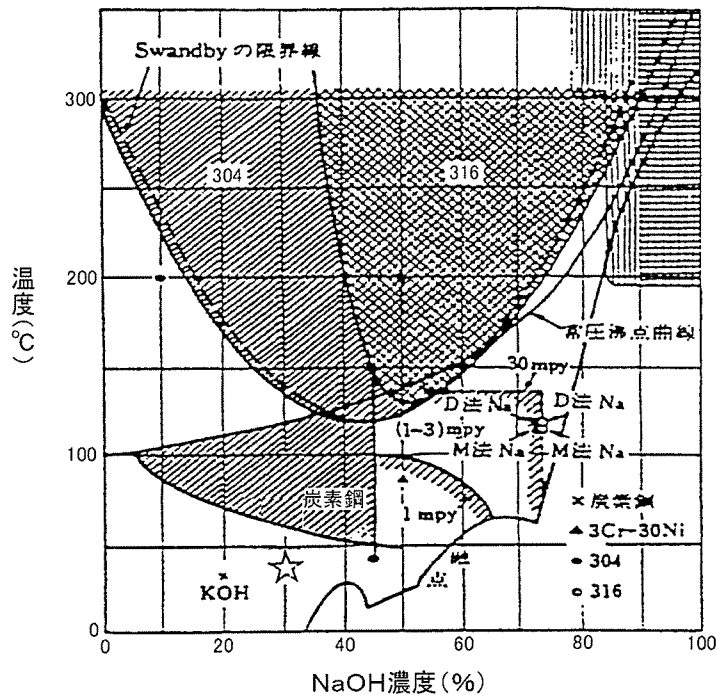


図2.2-1 SUS304/316材のNaOH溶液中でのSCC感受性

[出典：大久保勝夫、徳永一弘：化学工学、40（1976）]

(☆：pH調整剤貯蔵タンクの使用環境：40℃、30%を出典文献に追記)

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットおよびダイヤフラム板は開放点検時に取替える消耗品である。いずれも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(1/9) 伊方3号炉 蓄圧タンク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		
ハウンドガリの維持	胴板		炭素鋼 ステンレス鋼 (内張り)		△ ^{*1}						*1：外面からの腐食
	鏡板		炭素鋼 ステンレス鋼 (内張り)		△ ^{*1}						
	充てん管台		ステンレス鋼			△					
	出口管台		炭素鋼 ステンレス鋼 (内張り)		△ ^{*1}						
	水位計管台		ステンレス鋼			△					
	サンプリング管台		ステンレス鋼			△					
	安全弁取付管台		ステンレス鋼			△					
	窒素供給管台		ステンレス鋼			△					
	マンホール		炭素鋼 ステンレス鋼 (内張り)		△ ^{*1}						
	マンホール用ボルト		低合金鋼		△						
機器の支持	ガスケット	◎	—								
	スカート		炭素鋼		△						
	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ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/9) 伊方3号炉 体積制御タンク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													
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化	その他											
バウンダリの維持	胴板		ステンレス鋼																		
	鏡板		ステンレス鋼																		
	水素・窒素封入管台		ステンレス鋼																		
	抽出水入口管台		ステンレス鋼																		
	ベント管台		ステンレス鋼																		
	封水戻り管台		ステンレス鋼																		
	水位計管台		ステンレス鋼																		
	出口管台		ステンレス鋼																		
	ドレン管台		ステンレス鋼																		
	逃がし弁出口管台		ステンレス鋼																		
	マンホール		ステンレス鋼																		
	マンホール用ボルト		低合金鋼																		
	ガスケット		◎	—																	
	スカート			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）

表2.2-1(3/9) 伊方3号炉 ガス減衰タンクに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考	
				減肉		割れ		材質変化		その他			
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化				
バウンダリの維持	胴板		炭素鋼		△ ^{*1,2}								*1：内面からの腐食 *2：外面からの腐食
	鏡板		炭素鋼		△ ^{*1,2}								
	ガス入口管台		炭素鋼		△ ^{*1,2}								
	ガス出口管台		炭素鋼		△ ^{*1,2}								
	試料採取管台		炭素鋼		△ ^{*1,2}								
	ドレン管台		炭素鋼		△ ^{*1,2}								
	マンホール		炭素鋼		△ ^{*1,2}								
	マンホール用ボルト		低合金鋼		△								
	ガスケット		◎	-									
	スカート			炭素鋼		△							
機器の支持	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2.2-1(4/9) 伊方3号炉 p H調整剤貯蔵タンク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					
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化	その他			
バウンダリの維持	胴板		ステンレス鋼		▲*1			▲					*1：内面からの腐食
	鏡板		ステンレス鋼		▲*1			▲					
	薬品供給管台		ステンレス鋼		▲*1			▲					
	水位計管台		ステンレス鋼		▲*1			▲					
	出口管台		ステンレス鋼		▲*1			▲					
	ドレン管台		ステンレス鋼		▲*1			▲					
	サンプリング管台		ステンレス鋼		▲*1			▲					
	窒素供給管台		ステンレス鋼		▲*1			▲					
	マンホール		ステンレス鋼		▲*1			▲					
	マンホール用ボルト		低合金鋼		△								
	ガスケット		◎										
	支持脚			炭素鋼		△							
	基礎ボルト			炭素鋼		△							

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-1(6/9) 伊方3号炉 原子炉補機冷却サージタンクに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考		
				減肉		割れ		材質変化			その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化			
バウンダリの維持	胴板		炭素鋼		△ ^{*1,2}							*1：外面からの腐食
	鏡板		炭素鋼		△ ^{*1,2}							*2：内面からの腐食
	循環ライン管台		炭素鋼		△ ^{*1,2}							*3：スライド部の腐食
	逃がし弁管台		炭素鋼		△ ^{*1,2}							
	薬品添加管台		炭素鋼		△ ^{*1,2}							
	真空破壊弁管台		炭素鋼		△ ^{*1,2}							
	ベント管台		炭素鋼		△ ^{*1,2}							
	水位計管台		炭素鋼		△ ^{*1,2}							
	サージ管管台		炭素鋼		△ ^{*1,2}							
	ドレン管台		炭素鋼		△ ^{*1,2}							
	マンホール		炭素鋼		△ ^{*1,2}							
	マンホール用ボルト		低合金鋼		△							
	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		△ ^{*3}							
	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）

表2.2-1(7/9) 伊方3号炉 SGBD熱回収装置フラッシュタンクに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	胴板		ステンレス鋼								
	鏡板		ステンレス鋼								
	内筒		ステンレス鋼								
	仕切板		ステンレス鋼								
	SGブロー入口管台		ステンレス鋼								
	フラッシュ蒸気出口管台		ステンレス鋼								
	フラッシュブロー出口管台		ステンレス鋼								
	安全弁取付管台		ステンレス鋼								
	タンク圧力検出管台		ステンレス鋼								
	水位計管台		ステンレス鋼								
	洗浄水入口管台		ステンレス鋼								
	タンクベント管台		ステンレス鋼								
	タンクドレン管台		ステンレス鋼								
	マンホール管台		ステンレス鋼								
	マンホール用ボルト		低合金鋼						△		
ガスケット		◎	—								
支持脚			炭素鋼							△	
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ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(8/9) 伊方3号炉 第2段湿分分離加熱器ドレンタンクに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象							備考		
				減肉		割れ		材質変化		その他			
				摩耗	腐食	疲労 割れ	応力腐 食割れ	熱時効	劣化				
バウンダリの維持	胴板		炭素鋼		△ ^{*1,2}								*1：内面からの腐食
	鏡板		炭素鋼		△ ^{*1,2}								*2：外面からの腐食
	ドレン入口管台		炭素鋼		△ ^{*1,2}								*3：スライド部の腐食
	ドレン出口管台		炭素鋼		△ ^{*1,2}								
	バランス管台		炭素鋼		△ ^{*1,2}								
	計器用管台		炭素鋼		△ ^{*1,2}								
	温度計用管台		炭素鋼		△ ^{*1,2}								
	空気抜用管台		炭素鋼		△ ^{*1,2}								
	圧力計用管台		炭素鋼		△ ^{*1,2}								
	ドレン抜用管台		炭素鋼		△ ^{*1,2}								
	マンホール		炭素鋼		△ ^{*1,2}								
	マンホール用ボルト		低合金鋼		△								
	ダイヤフラム板		◎	—									
機器の支持	支持脚		炭素鋼		△								
	支持脚 (スライド脚)		炭素鋼		△ ^{*3}								
	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2.2-1(9/9) 伊方3号炉 補助給水タンクに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考		
				減肉		割れ		材質変化			その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化			
バウンダリの維持	側板		炭素鋼		△ ^{*1,2}							#1：内面からの腐食 #2：外面からの腐食
	屋根板		炭素鋼		△ ^{*1,2}							
	底板		炭素鋼		△ ^{*1,2}							
	補助給水ポンプ		ステンレス鋼				△					
	ミニマムフロー管台		ステンレス鋼				△					
	補給水管台		ステンレス鋼				△					
	電動補助給水ポンプ入口管台		ステンレス鋼				△					
	タービン動補助給水ポンプ入口管台		ステンレス鋼				△					
	ドレン管台		ステンレス鋼				△					
	オーバーフロー管台		ステンレス鋼				△					
	水位計管台		ステンレス鋼				△					
	空気抜管台		ステンレス鋼				△					
	サンプル用管台		ステンレス鋼				△					
	加熱蒸気管台（入口）		ステンレス鋼				△					
	加熱蒸気管台（出口）		ステンレス鋼				△					
	温度計管台		ステンレス鋼				△					
	薬注管台		ステンレス鋼				△					
側マンホール		炭素鋼			△ ^{*1,2}							
屋根マンホール		炭素鋼			△ ^{*1,2}							
マンホール用ボルト		低合金鋼			△							
ガスケット		—									◎	
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）

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 燃料取替用水タンク
- ② ほう酸タンク
- ③ 水素再結合ガス減衰タンク
- ④ スチームコンバータ給水タンク
- ⑤ 第1段湿分分離加熱器ドレンタンク
- ⑥ 湿分分離器ドレンタンク
- ⑦ スチームコンバータドレンタンク
- ⑧ 補助蒸気ドレンタンク

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)または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。

- ##### 3.1.1 胴板等耐圧構成品の外表面からの腐食（全面腐食）[水素再結合ガス減衰タンク、スチームコンバータ給水タンク、第1段湿分分離加熱器ドレンタンク、湿分分離器ドレンタンク、スチームコンバータドレンタンク、補助蒸気ドレンタンク]
- 胴板等耐圧構成品は炭素鋼であり、外表面からの腐食が想定される。

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

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、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、さらに防水措置（保温）が設置されている場合は防水措置（保温）の状態を確認することにより、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。

- 3.1.2 スカートおよび支持脚の腐食（全面腐食）〔ほう酸タンク、水素再結合ガス減衰タンク、スチームコンバータ給水タンク、第1段湿分分離加熱器ドレンタンク、湿分分離器ドレンタンク、スチームコンバータドレンタンク〕

スカートおよび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、塗膜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膜の状態を確認し、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。

- 3.1.3 支持脚（スライド脚）の腐食（全面腐食）〔スチームコンバータ給水タンク、第1段湿分分離加熱器ドレンタンク、湿分分離器ドレンタンク、スチームコンバータドレンタンク〕

支持脚（スライド脚）の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。

- 3.1.4 取付ボルトの腐食（全面腐食）〔第1段湿分分離加熱器ドレンタンク、湿分分離器ドレンタンク〕

取付ボルトは炭素鋼または低合金鋼であり、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、塗膜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膜の状態を確認し、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。

- 3.1.5 胴板等耐圧構成品の内面からの腐食（全面腐食）〔水素再結合ガス減衰タンク、スチームコンバータ給水タンク、第1段湿分分離加熱器ドレンタンク、湿分分離器ドレンタンク、スチームコンバータドレンタンク、補助蒸気ドレンタンク〕
胴板等耐圧構成品は炭素鋼であるため、長期使用により、内面からの腐食が想定される。

しかしながら、開放点検等の目視確認により、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。

- 3.1.6 胴板等耐圧構成品の内面からの応力腐食割れ〔ほう酸タンク、燃料取替用水タンク〕

ほう酸タンクおよび燃料取替用水タンクの胴板等耐圧構成品については、溶接部は溶接入熱により鋭敏化している可能性があり、内面からの応力腐食割れが想定される。

しかしながら、溶接後熱処理を施していないこと、また、温度条件的にも約95℃以下と低いことにより、内面からの応力腐食割れ発生の可能性はない。

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

なお、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。

- 3.1.7 マンホール用ボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕

マンホール用ボルトは、ガスケットまたはダイヤフラム板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がたい。

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。

- 3.1.8 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔燃料取替用水タンク、ほう酸タンク、水素再結合ガス減衰タンク、スチームコンバータ給水タンク、スチームコンバータドレンタンク、補助蒸気ドレンタンク〕

基礎ボルトは炭素鋼または低合金鋼であり、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」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

5 フィルタ

[対象機器]

- ① ほう酸フィルタ
- ② 冷却材フィルタ
- ③ 封水注入フィルタ
- ④ 冷却材脱塩塔入口フィルタ
- ⑤ 封水フィルタ
- ⑥ 格納容器再循環サンプスクリーン
- ⑦ 海水ストレーナ

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	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、材料および使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	12
3. 代表機器以外への展開	18
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	18

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

伊方3号炉で使用されているフィルタの主な仕様を表1-1に示す。

これらのフィルタを設置場所・型式、内部流体およ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および結果

表1-1に示すフィルタについて、設置場所・型式、内部流体および材料を分離基準として考えると、合計3つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

- (1) 設置場所・型式：屋内・たて置円筒形、内部流体：1次冷却材、ほう酸水、材料：ステンレス鋼

このグループにはほう酸フィルタ、冷却材フィルタ、封水注入フィルタ、冷却材脱塩塔入口フィルタおよび封水フィルタが属するが、重要度の高いほう酸フィルタを代表機器とする。

- (2) 設置場所・型式：屋内・ディスク型、内部流体：空気、材料：ステンレス鋼

このグループには格納容器再循環サンプスクリーンのみが属するため、代表機器は格納容器再循環サンプスクリーンとする。

- (3) 設置場所・型式：屋外・たて置円筒形、内部流体：海水、材料：炭素鋼

このグループには海水ストレーナのみが属するため、代表機器は海水ストレーナとする。

表1-1 伊方3号炉 フィルタの主な仕様

分離基準		選定基準			代表機器の選定			
設置場所 型式	内部流体	材料	機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件		代表 機器	選定理由
					最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)		
屋内・ たて置円筒形	1次冷却材 ほう酸水	ステンレス鋼	ほう酸フィルタ (1)	MS-1、重*2	約 1.4	約 95	◎	重要度
			冷却材フィルタ (1)	PS-2	約 2.1	約 95		
			封水注入フィルタ (2)	PS-2	約20.0	約150		
			冷却材脱塩塔入口フィルタ (2)	PS-2	約 2.1	約 65		
			封水フィルタ (1)	PS-2	約0.98	約 95		
屋内・ ダイスク型	空気	ステンレス鋼	格納容器再循環サンプスクリーン (2)	MS-1、重*2	約0.283	約132	◎	
屋外・ たて置円筒形	海水	炭素鋼	海水ストレーナ (4)	MS-1、重*2	約 0.7	約 50	◎	

*1: 機能は最上位の機能を示す。

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

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の3種類のフィルタについて技術評価を実施する。

- ① ほう酸フィルタ
- ② 格納容器再循環サンプスクリーン
- ③ 海水ストレーナ

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 ほう酸フィルタ

(1) 構造

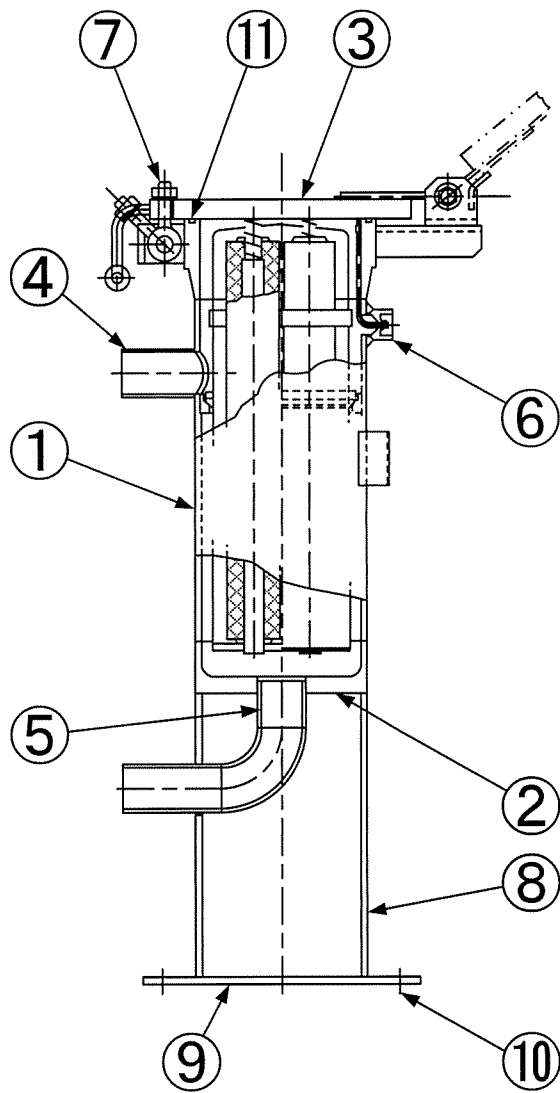
伊方3号炉のほう酸フィルタは、ステンレス鋼製の屋内たて置円筒形のフィルタであり、1台設置されている。

胴および底板等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。

伊方3号炉のほう酸フィルタの構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉のほう酸フィルタの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	胴板
②	底板
③	蓋板
④	入口管台
⑤	出口管台
⑥	ベント管台
⑦	ボルト
⑧	スカート
⑨	ベアリングプレート
⑩	基礎ボルト
⑪	リング

図2.1-1 伊方3号炉 ほう酸フィルタ構造図

表2.1-1 伊方3号炉 ほう酸フィルタ主要部位の使用材料

部位	材料
胴板	ステンレス鋼
底板	ステンレス鋼
蓋板	ステンレス鋼
入口管台 出口管台 ベント管台	ステンレス鋼
ボルト	低合金鋼
スカート	ステンレス鋼
ベアリングプレート	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
Oリング	消耗品・定期取替品

表2.1-2 伊方3号炉 ほう酸フィルタの使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa[gage]
最高使用温度	約95℃
内部流体	ほう酸水

2.1.2 格納容器再循環サンプスクリーン

(1) 構造

伊方3号炉の格納容器再循環サンプスクリーンは、ステンレス鋼製の屋内ディスク型のスクリーンであり、2台設置されている。

各構成品にはステンレス鋼を使用しており、格納容器再循環サンプ上に設置されている。

伊方3号炉の格納容器再循環サンプスクリーンの構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の格納容器再循環サンプスクリーンの使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。

No.	部位
①	テンションロッド
②	カバープレート
③	ディスク
④	コアチューブ
⑤	ラテラルサポート
⑥	基礎ボルト

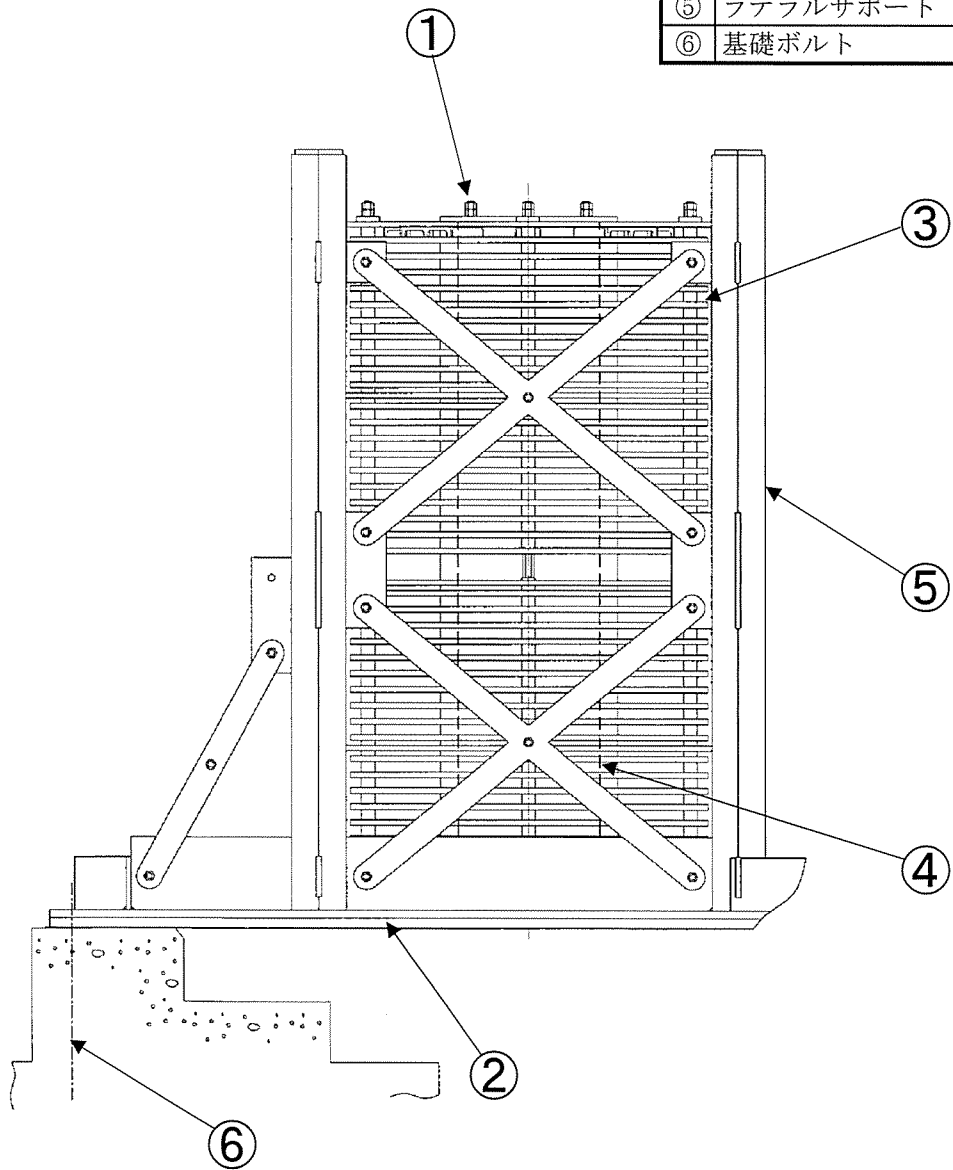


図2.1-2 伊方3号炉 格納容器再循環サンプルスクリーン構造図

表2.1-3 伊方3号炉 格納容器再循環サンプスクリーン主要部位の使用材料

部位	材料
テンションロッド	ステンレス鋼
カバープレート	ステンレス鋼
ディスク	ステンレス鋼
コアチューブ	ステンレス鋼
ラテラルサポート	ステンレス鋼
基礎ボルト	ステンレス鋼

表2.1-4 伊方3号炉 格納容器再循環サンプスクリーンの使用条件

最高使用圧力	約0.283MPa[gage]
最高使用温度	約132℃
内部流体	空気

2.1.3 海水ストレーナ

(1) 構造

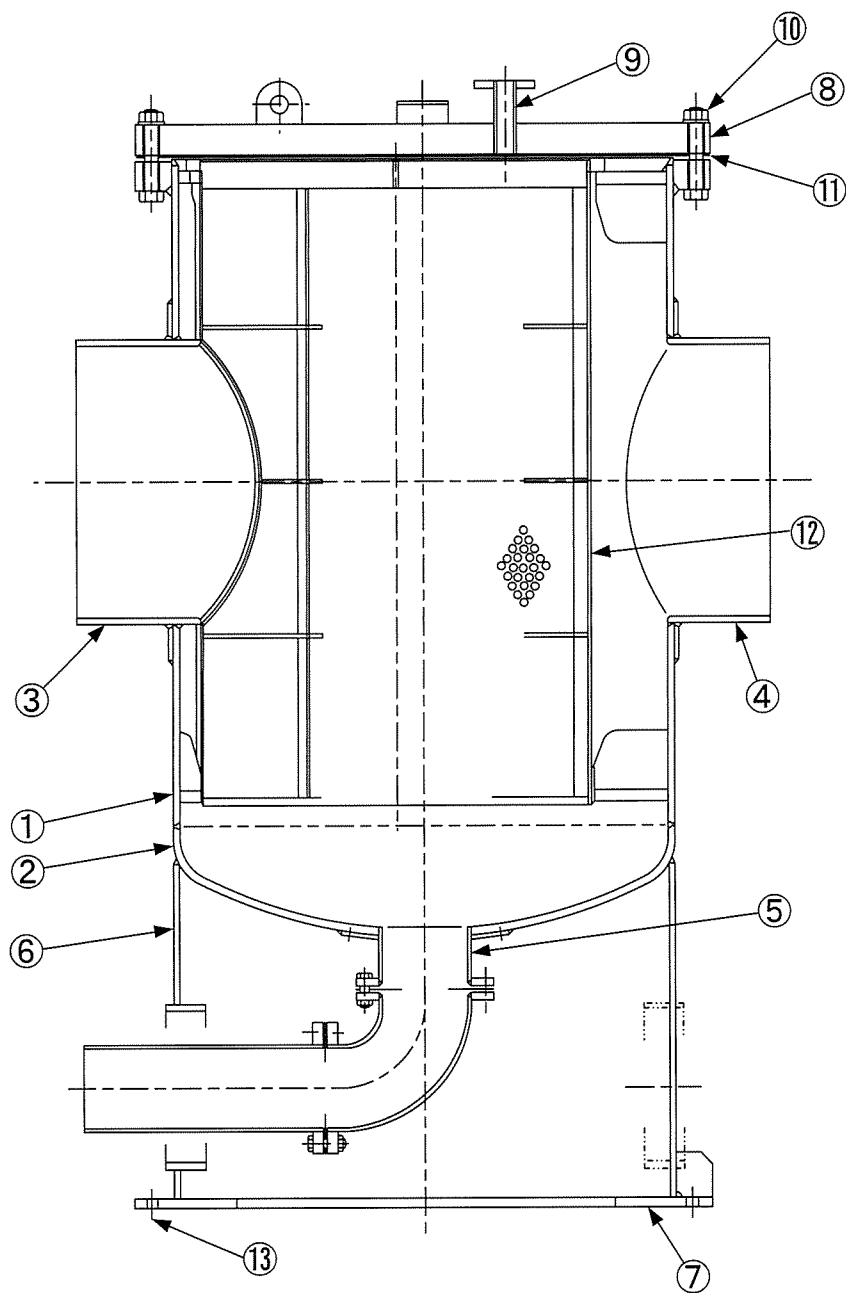
伊方3号炉の海水ストレーナは、炭素鋼製の屋外たて置円筒形のフィルタであり、4台設置されている。

胴板および鏡板等には炭素鋼（内面ゴムライニング）を使用しており、海水に接液している。

伊方3号炉の海水ストレーナの構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の海水ストレーナの使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。



No.	部位	No.	部位
①	胴板	⑧	平板
②	鏡板	⑨	空気抜管台
③	入口管台	⑩	ボルト
④	出口管台	⑪	ガスケット
⑤	ドレン管台	⑫	こし筒
⑥	スカート	⑬	基礎ボルト
⑦	ベースプレート		

図2.1-3 伊方3号炉 海水ストレーナ構造図

表2.1-5 伊方3号炉 海水ストレーナ主要部位の使用材料

部位	材料
胴板	炭素鋼+ゴムライニング
鏡板	炭素鋼+ゴムライニング
入口管台	炭素鋼+ゴムライニング
出口管台	炭素鋼+ゴムライニング
ドレン管台	炭素鋼+ゴムライニング
平板	炭素鋼+ゴムライニング
空気抜管台	炭素鋼+ゴムライニング
ボルト	ステンレス鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品
こし筒	炭素鋼+ナイロンコーティング
スカート	炭素鋼
ベースプレート	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-6 伊方3号炉 海水ストレーナの使用条件

最高使用圧力	約0.7MPa[gage]
最高使用温度	約50℃
内部流体	海水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

フィルタの機能である浄化機能を維持するためには、次の3つの項目が必要である。

- ① バウンダリの維持
- ② 機器の支持
- ③ 流路の確保

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

フィルタ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）およ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、また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)または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) ボルトの腐食（全面腐食）〔ほう酸フィルタ〕

ボルトは低合金鋼であり、Oリングからの漏えいにより、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、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がたい。

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。

(2) ベアリングプレートの腐食（全面腐食）〔ほう酸フィルタ〕

ベアリングプレートは炭素鋼であり、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、塗膜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膜の状態を確認し、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。

(3) スクリーン流路の減少 [格納容器再循環サンプスクリーン]

ディスク部は原子炉格納容器内空気環境へ開放されており、異物混入によるスクリーン流路の減少が想定される。

しかしながら、目視確認と清掃により、スクリーン流路の減少につながる異物は適切に取り除かれている。

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) 基礎ボルトの腐食（全面腐食） [ほう酸フィルタ、海水ストレーナ]

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」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

(5) 胴板等耐圧構成品等の腐食（全面腐食） [海水ストレーナ]

内部流体が海水であり、胴板等耐圧構成品およびこし筒の炭素鋼使用部位には、海水が接するためゴムライニングおよびナイロンコーティ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、腐食が想定される。

しかしながら、開放点検時の目視確認等により、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。

(6) 胴板等の外面からの腐食（全面腐食） [海水ストレーナ]

胴板、鏡板、管台、平板、スカートおよびベースプレートの炭素鋼使用部位は、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、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜の状態を確認し、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。

2.2.4 消耗品および定期取替品

リング、ガスケットは開放点検時に取替える消耗品であり、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 (1/3) 伊方3号炉 ほう酸フィルタに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		材質変化				その他
				摩耗	腐食	疲労 割れ	応力腐 食割れ	熱時効	劣化			
バウンダリの維持	胴板		ステンレス鋼									
	底板		ステンレス鋼									
	蓋板		ステンレス鋼									
	入口管台 出口管台 ベント管台		ステンレス鋼									
	ボルト		低合金鋼				△					
	リング		◎	-								
機器の支持	スカート		ステンレス鋼									
	ベアリングプレート		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）

表2.2-1 (2/3) 伊方3号炉 格納容器再循環サンプルスクリューに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象								備考
				減肉		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			
流路の確保	ディスク		ステンレス鋼								△ ^{*1}	*1：流路の減少
	コアチューブ		ステンレス鋼									
機器の支持	テンションロッド		ステンレス鋼									
	カバープレート		ステンレス鋼									
	ラテラルサポート		ステンレス鋼									
	基礎ボルト		ステンレス鋼									

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-2-1 (3/3) 伊方3号炉 海水ストレーナに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ			材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化			
バウンダリの維持	胴板		炭素鋼 (ゴムライニング)	△ ^{*1,2}								*1：内面からの腐食 *2：外面からの腐食
	鏡板		炭素鋼 (ゴムライニング)	△ ^{*1,2}								
	平板		炭素鋼 (ゴムライニング)	△ ^{*1,2}								
	入口管台 出口管台 ドレン管台 空気抜管台		炭素鋼 (ゴムライニング)	△ ^{*1,2}								
	ボルト		ステンレス鋼									
流路の維持	ガスケット	◎	—									
	こし筒		炭素鋼 (ナイロンコーティング)	△								
機器の支持	スカート		炭素鋼	△								
	ベースプレート		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）

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 冷却材フィルタ
- ② 封水注入フィルタ
- ③ 冷却材脱塩塔入口フィルタ
- ④ 封水フィルタ

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)または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。

3.1.1 ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

ボルトは低合金鋼であり、Oリングからの漏えいにより、内部流体による腐食が想定される。

しかしながら、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がたい。

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。

3.1.2 ベアリングプレートの腐食（全面腐食） [共通]

ベアリングプレートは炭素鋼であり、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、塗膜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膜の状態を確認し、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、さらに防水措置（保温）が設置されている場合は防水措置（保温）の状態を確認することにより、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。

3.1.3 基礎ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

6 脱塩塔

[対象機器]

- ① 冷却材混床式脱塩塔
- ② 冷却材陽イオン脱塩塔
- ③ ほう素除去脱塩塔

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	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、材料および使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	6
3. 代表機器以外への展開	9
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	9

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

伊方3号炉で使用されている脱塩塔の主な仕様を表1-1に示す。

これらの脱塩塔を設置場所・型式、内部流体およ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および結果

表1-1に示す脱塩塔について、設置場所・型式および材料を分離基準として考えると、1つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

- (1) 設置場所・型式：屋内・たて置円筒形、内部流体：1次冷却材、材料：ステンレス鋼

このグループには冷却材混床式脱塩塔、冷却材陽イオン脱塩塔およびほう素除去脱塩塔が属するが、使用頻度の多い冷却材混床式脱塩塔を代表機器とする。

表1-1 伊方3号炉 脱塩塔の主な仕様

分離基準		選定基準			代表機器の選定			
設置場所 型式	内部流体	材料	機器名称 (台数)	重要度*1	使用条件 最高使用圧力 (MPa [gauge])	最高使用温度 (°C)	代表 機器	選定理由
屋内・ たて置円筒形	1次冷却材	ステンレス鋼	冷却材泥床式脱塩塔 (2)	PS-2	約2.1	約65	◎	使用頻度
			冷却材陽イオン脱塩塔 (1)	PS-2	約2.1	約65		
			ほう素除去脱塩塔 (2)	PS-2	約2.1	約65		

*1：機能は最上位の機能を示す。

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1種類の脱塩塔について技術評価を実施する。

① 冷却材混床式脱塩塔

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 冷却材混床式脱塩塔

(1) 構造

伊方3号炉の冷却材混床式脱塩塔は、ステンレス鋼製の屋内たて置円筒形脱塩塔であり、2台設置されている。

胴板および鏡板等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。

伊方3号炉の冷却材混床式脱塩塔の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の冷却材混床式脱塩塔の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

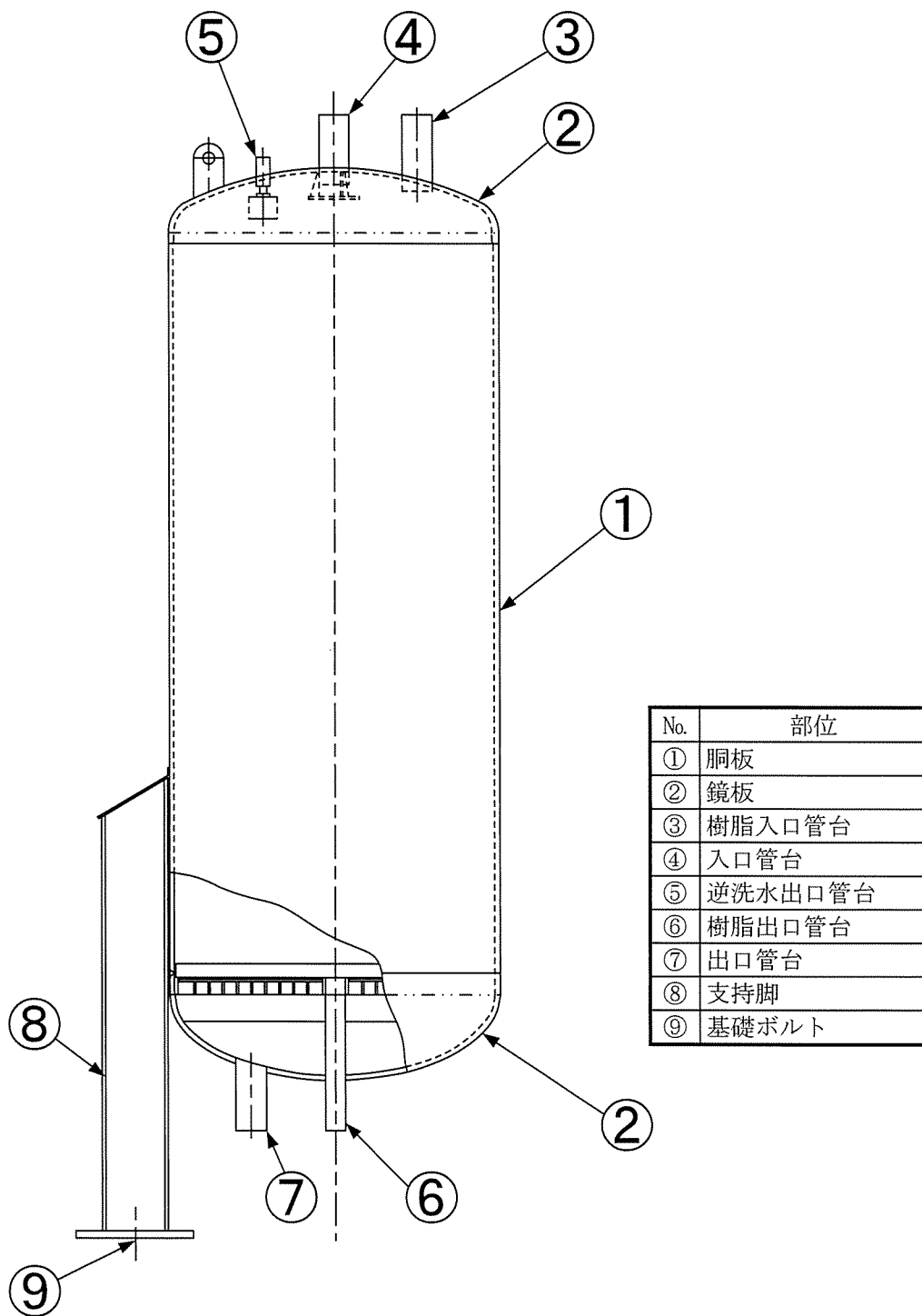


図2.1-1 伊方3号炉 冷却材混床式脱塩塔構造図

表2.1-1 伊方3号炉 冷却材混床式脱塩塔主要部位の使用材料

部位	材料
胴板	ステンレス鋼
鏡板	ステンレス鋼
樹脂入口管台	ステンレス鋼
入口管台	ステンレス鋼
逆洗水出口管台	ステンレス鋼
樹脂出口管台	ステンレス鋼
出口管台	ステンレス鋼
支持脚	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼

表2.1-2 伊方3号炉 冷却材混床式脱塩塔の使用条件

最高使用圧力	約2.1MPa [gage]
最高使用温度	約65℃
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

冷却材混床式脱塩塔の機能である冷却材の浄化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 バウンダリの維持
- ② 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

冷却材混床式脱塩塔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）およ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、また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)または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) 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、塗膜が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検で目視により塗膜の状態を確認し、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。

(2) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

表2.2-1 伊方3号炉 冷却材混床式脱塩塔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					
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化	その他			
バウンダリの維持	胴板		ステンレス鋼										
	鏡板		ステンレス鋼										
	樹脂入口管台		ステンレス鋼										
	入口管台		ステンレス鋼										
	逆洗水出口管台		ステンレス鋼										
	樹脂出口管台		ステンレス鋼										
	出口管台		ステンレス鋼										
	支持脚		炭素鋼								△		
機器の支持	基礎ボルト		炭素鋼										△

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

3. 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 冷却材陽イオン脱塩塔
- ② ほう素除去脱塩塔

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)または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。

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

また、巡視点検で目視により塗膜の状態を確認し、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。

3.1.2 基礎ボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

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

7 プール型容器

[対象機器]

- ① 使用済燃料ピット
- ② 原子炉キャビティ
- ③ 燃料取替用チャネル
- ④ キャスクピット
- ⑤ 燃料検査ピット

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	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、材料および使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	6
3. 代表機器以外への展開	10
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	10

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

伊方3号炉で使用されているプール型容器の主な仕様を表1-1に示す。

これらのプール型容器を設置場所・型式、内部流体およ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。

なお、格納容器再循環サンプはコンクリート製であり、「コンクリート構造物および鉄骨構造物の技術評価書」にて内部コンクリートとして評価するものとし、本評価書には含んでいない。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すプール型容器について、設置場所・型式、内部流体および材料を分離基準として考えると、1つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

- (1) 設置場所・型式：屋内・コンクリート製埋込みプール型、内部流体：ほう酸水、
材料：鉄筋コンクリート（ステンレス鋼内張り）

このグループには使用済燃料ピット、原子炉キャビティ、燃料取替用キャナル、キャスクピットおよび燃料検査ピットが属するが、常時使用しており、部位が多い使用済燃料ピットを代表機器とする。

表1-1 伊方3号炉 プール型容器の主な仕様

分離基準		機器名称 (台数)	選定基準			代表機器の選定		
設置場所・型式	内部流体		材料	重要度*1	使用条件 最高使用圧力 (MPa [gauge])	最高使用温度 (°C)	代表 機器	選定理由
屋内・ コンクリート製 埋込みプール型	ほう酸水	鉄筋コンクリート (ステンレス鋼内張り)	使用済燃料ピット (2)	PS-2、重*3	大気圧	約65	◎	常時使用*2 部位数
			原子炉キャビテイ (1)	PS-2	大気圧	約65		
			燃料取替用キャナル (1)	PS-2	大気圧	約65		
			キャスクピット (1)	PS-2	大気圧	約65		
			燃料検査ピット (1)	PS-2	大気圧	約65		

*1：機能は最上位の機能を示す。

*2：使用済燃料ピットは常時使用、原子炉キャビテイ、燃料取替用キャナルおよび燃料検査ピットは定期検査時使用、キャスクピットは使用済燃料運搬用容器移送時使用。

*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およ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1種類のプール型容器について技術評価を実施する。

① 使用済燃料ピット

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 使用済燃料ピット

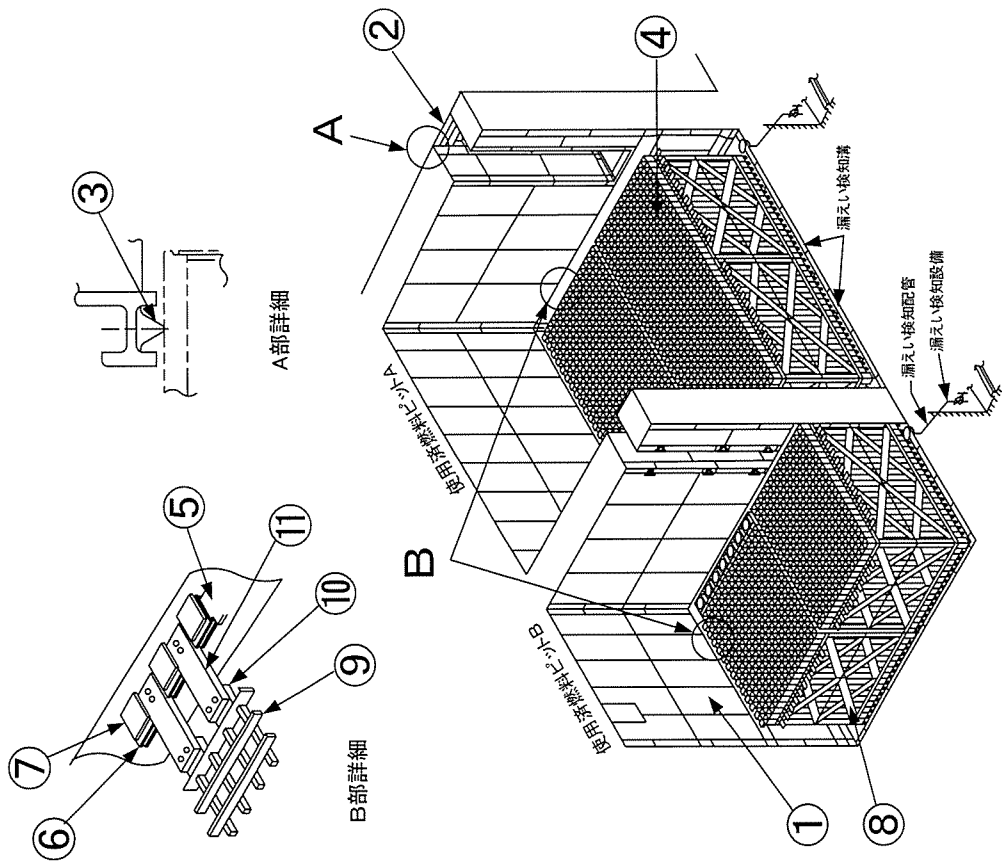
(1) 構造

伊方3号炉の使用済燃料ピットは、屋内コンクリート製の埋込みプール型容器であり、2台設置されている。

伊方3号炉の使用済燃料ピットの構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の使用済燃料ピットの使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。



No.	部位
①	ステンレスライニング
②	ピットゲート
③	ゲートパッキン
④	使用済燃料ラックセル
⑤	使用済燃料ラックサポート板
⑥	使用済燃料ラック保持金具
⑦	使用済燃料ラック固定金具
⑧	使用済燃料ラックステー
⑨	使用済燃料ラック支持格子
⑩	使用済燃料ラックボルトプレート
⑪	使用済燃料ラック連接板

図2.1-1 伊方3号炉 使用済燃料ピット構造図

表2.1-1 伊方3号炉 使用済燃料ピット主要部位の使用材料

部位	材料
ステンレスライニング	ステンレス鋼
ピットゲート	アルミニウム合金
ゲートパッキン	消耗品・定期取替品
使用済燃料ラックセル	ステンレス鋼+ボロン添加ステンレス鋼 /ボロン添加ステンレス鋼
使用済燃料ラックサポート板	ステンレス鋼
使用済燃料ラック保持金具	ステンレス鋼
使用済燃料ラック固定金具	ステンレス鋼
使用済燃料ラックステー	ステンレス鋼
使用済燃料ラック支持格子	ステンレス鋼
使用済燃料ラックボルトプレート	ステンレス鋼
使用済燃料ラック接続板	ステンレス鋼

表2.1-2 伊方3号炉 使用済燃料ピットの使用条件

最高使用圧力	大気圧
最高使用温度	約65℃
内部流体	ほう酸水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

プール型容器の機能の達成に必要な項目としては、次の3つの項目がある。

- ① ピット水の保持
- ② 燃料保持
- ③ ラック保持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

プール型容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）およ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結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象はない。

なお、ピット組立品の一部である躯体等のコンクリートについては、「コンクリート構造物および鉄骨構造物の技術評価書」にて評価するものとし、本評価書には含んでいない。

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、また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。

なお、上記の1)または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）はない。

(1) ステンレス鋼使用部位の応力腐食割れ

2007年3月、美浜1号炉において原子炉キャビティのステンレスライニングで応力腐食割れが発生している。この事象は、プラント建設時に原子炉格納容器開口部から持ち込まれた海塩粒子がコーナアングルやコーナプレート表面に付着、その後の定期検査時の原子炉キャビティ水張りにより発生した結露水により、塩化物イオンがコーナプレートの溶接線近傍の狭隘部分に持ち込まれ、さらに原子炉の運転で水分が蒸発し、ドライアンドウェット現象を繰り返すことで塩化物イオンが濃縮したことが原因と考えられているが、伊方3号炉の使用済燃料ピットには塩化物イオンの濃縮が想定される類似した箇所はないことから、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

したがって、使用済燃料ピットのステンレス鋼使用部位の応力腐食割れは、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(2) ピットゲートの腐食（隙間腐食）

ピットゲートとゲートパッキンにおけるピットゲート側の隙間腐食については、使用済燃料ピット水中の塩化物イオン濃度が0.05ppmを超えないように管理されており発生する可能性は小さい。また、ゲートパッキン取替時の目視確認において隙間腐食の兆候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、使用済燃料ピットのピットゲートの腐食（隙間腐食）は、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 消耗品および定期取替品

ゲートパッキンは消耗品であり、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 伊方3号炉 使用済燃料ピットに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考		
				減肉		割れ		材質変化					
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化	その他			
ピット水の保持	ステンレスライニング		ステンレス鋼				▲						*1：隙間腐食
	ピットゲート		アルミニウム合金		▲*1								
	ゲートパッキン	◎	—										
燃料保持	使用済燃料ラックセル		ステンレス鋼+ボロン添加ステンレス鋼/ボロン添加ステンレス鋼				▲						
	使用済燃料ラックサポート板		ステンレス鋼				▲						
ラック保持	使用済燃料ラック保持金具		ステンレス鋼				▲						
	使用済燃料ラック固定金具		ステンレス鋼				▲						
	使用済燃料ラックステー		ステンレス鋼				▲						
	使用済燃料ラック支持格子		ステンレス鋼				▲						
	使用済燃料ラックボルトプレート		ステンレス鋼				▲						
	使用済燃料ラック接続板		ステンレス鋼				▲						
				ステンレス鋼				▲					

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

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、水平展開機器個々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① 原子炉キャビティ
- ② 燃料取替用チャンネル
- ③ キャスクピット
- ④ 燃料検査ピット

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

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

なお、2.2.3 1)または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）はない。

3.1.1 ステンレス鋼使用部位の応力腐食割れ〔共通〕

2007年3月、美浜1号炉において原子炉キャビティのステンレスライニングで応力腐食割れが発生している。この事象は、プラント建設時に原子炉格納容器開口部から持ち込まれた海塩粒子がコーナアングルやコーナプレート表面に付着、その後の定期検査時の原子炉キャビティ水張りにより発生した結露水により、塩化物イオンがコーナプレートの溶接線近傍の狭隘部分に持ち込まれ、さらに原子炉の運転で水分が蒸発し、ドライアンドウェット現象を繰り返すことで塩化物イオンが濃縮したことが原因と考えられているが、伊方3号炉の原子炉キャビティ、燃料取替用チャンネル、キャスクピットおよび燃料検査ピットには塩化物イオンの濃縮が想定される類似した箇所はないことから、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

したがって、ステンレス鋼使用部位の応力腐食割れは、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.1.2 ピットゲートの腐食（隙間腐食）〔キャスクピット、燃料検査ピット〕

ピットゲートとゲートパッキンにおけるピットゲート側の隙間腐食については、ほう酸水中の塩化物イオン濃度が0.05ppmを超えないように管理されており発生する可能性は小さい。また、ゲートパッキン取替時の目視確認において隙間腐食の兆候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、キャスクピットのピットゲートの腐食（隙間腐食）は、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

伊方発電所 3 号炉

配管の技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

四国電力株式会社

伊方3号炉の配管のうち、評価対象機器である安全重要度分類審査指針におけるクラス1、2の機器、高温・高圧の環境下にあるクラス3の機器および常設重大事故等対処設備に属する機器を材料、内部流体でグループ化し、同一グループ内の複数の機器の存在を考慮して、重要度、使用条件の観点から代表機器を選定した。これらの一覧表を表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の技術評価を行うとともに、代表機器以外の機器について技術評価を展開している。また、配管サポートについては配管の機能を維持するための1部品として位置づけられるが、サポートの種類が表3に示すように多種多様であり、かつそれぞれの配管にはそれらのサポートの何種類かのサポートが設置されていることを考慮し、独立してとりまとめている。本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考えられる。

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

本評価書では配管の材料等を基に、以下の5つに分類している。

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

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

表 1 (1/5) 伊方 3 号炉の主要な配管

分離基準		名称	選定基準				代表機器の選定			
材料	内部流体		重要性 ^{*1}	設置場所	使用条件 運転状態 最高使用圧力 (MPa [gauge])	最高使用温度 (°C)	代表 機器	選定理由		
ステンレス鋼	1 次冷却材	1 次冷却配管 ^{*2}	PS-1、重 ^{*3}	屋内	連続 約 17.2	約 343	◎			
		1 次冷却系統配管 ^{*2}	PS-1、重 ^{*3}	屋内	連続	約 360				
		化学体積制御系統配管	MS-1、重 ^{*3}		連続	約 343				
		余熱除去系統配管	MS-1、重 ^{*3}		一時	約 343		◎ 重要性、環境条件 ^{*1}		
		使用済燃料ピット水浄化冷却系統配管	MS-2	連続	約 1.4	約 95				
		試料採取系統配管	MS-1	連続	約 17.2	約 360				
		安全注入系統配管	MS-1、重 ^{*3}	一時	約 17.2	約 343				
		原子炉格納容器スプレイ系統配管	MS-1、重 ^{*3}	一時	約 2.7	約 150				
		燃料取替用水系統配管	MS-1	連続	約 1.4	約 132				
		蒸気		主蒸気系統配管	高 ^{*5}	屋内	連続 約 7.5	約 291	◎	圧力、温度
				抽気系統配管	高 ^{*5}	連続	約 3.1	約 240		
				タービンドラフト蒸気系統配管	高 ^{*5}	連続	約 0	約 155		
				補助蒸気系統配管	高 ^{*5}	連続	約 0.9	約 185		

*1：機能は最上位の機能を示す。

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

*3：重要性クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器および構造物であることを示す。

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

*5：最高使用温度が 95°C を超え、または最高使用圧力が 1900kPa を超える環境下にある原子炉格納容器外の重要性クラス 3 の機器。

表 1 (2/5) 伊方3号炉の主要な配管

分離基準		名称	選定基準				代表機器の選定	
材料	内部流体		重要度 ^{*1}	設置場所	使用条件 運転状態 最高使用圧力 (MPa [Gage])	最高使用温度 (°C)	代表 機器	選定理由
ステンレス鋼	給水	補助給水系統配管	MS-1、重 ^{*2}	屋内	一時	約 12.3	約 40	◎ 重要度、圧力
		蒸気発生器ブローダウン系統配管	高 ^{*3}		連続	約 7.5	約 291	
		主給水系統配管	高 ^{*3}		連続	約 10.3	約 205	
		復水系統配管	高 ^{*3}		連続	約 3.8	約 205	
		ドレン系統配管	高 ^{*3}		連続	約 7.5	約 291	
		モニタ空気サンプリング系統配管	MS-1		連続	約 0.28	約 132	
空気		試料採取系統配管 (空気)	MS-1	一時	約 1.0	約 132	◎ 重要度、運転状態	
		緊急時対策所 (EL. 32m) 空気浄化設備系 統配管	重 ^{*2}	一時	約 0.003	約 50		
		緊急時対策所 (EL. 32m) 加圧設備系統配 管	重 ^{*2}	一時	約 1.0	約 50		
ヒドラジン水		原子炉格納容器スプレイ系統配管	MS-1	一時	約 0.07	約 65		

*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および構造物であることを示す。

*3：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

表 1 (3/5) 伊方 3 号炉の主要な配管

分離基準		名称	選定基準				代表機器の選定	
材料	内部流体		重要度*1	設置場所	使用条件 運転状態 最高使用圧力 (MPa [Gage])	最高使用温度 (°C)	代表 機器	選定理由
低合金鋼	蒸気	タービン・ドラム・蒸気系統配管	高*2	屋内	連続 約 0	約 155	◎	
	給水	主給水系統配管	高*2		連続 約 10.3	約 205	◎	圧力
		ドレン系統配管	高*2		連続 約 2.8	約 235		

*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、または最高使用圧力が 1900kPa を超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス 3 の機器。

表 1 (4/5) 伊方 3 号炉の主要な配管

分離基準		名称	選定基準				代表機器の選定	
材料	内部流体		重要性 ^{*1}	設置場所	使用条件 運転状態 最高使用圧力 (MPa [gage]) 最高使用温度 (°C)	代表 機器	選定理由	
炭素鋼	蒸気	主蒸気系統配管	MS-1、重 ^{*3}	屋内	連続 約 7.5	約 291	◎	重要度
		タービン・ラジアン・ド蒸気系統配管	高 ^{*2}		連続 約 7.5	約 291		
		抽気系統配管	高 ^{*2}		連続 約 7.5	約 291		
		補助蒸気系統配管	高 ^{*2}	屋内外	連続 約 0.9	約 185		
	給水	補助給水系統配管	MS-1、重 ^{*3}	屋内	一時 約 12.3	約 291	◎	重要度、環境条件 ^{*4}
		蒸気発生器・ブローダウン系統配管	MS-1、重 ^{*3}		連続 約 7.5	約 291		
		復水系統配管	高 ^{*2}		連続 約 3.8	約 205		
純水	主給水系統配管	MS-1、重 ^{*3}		連続 約 7.5	約 291	◎	重要度、環境条件 ^{*4}	
	ドレン系統配管	高 ^{*2}		連続 約 7.5	約 291			
	水消火設備系統配管	MS-1、重 ^{*3}	屋内外	一時 約 1.5	約 132			

*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、または最高使用圧力が1900kPa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：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および構造物であることを示す。

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

表 1 (5/5) 伊方3号炉の主要な配管

分離基準		名称	重要度*1	選定基準				代表機器の選定	
材料	内部流体			設置場所	運転状態	最高使用圧力 (MPa [gauge])	最高使用温度 (°C)	代表 機器	選定理由
炭素鋼	ヒドラジン水	原子炉補機冷却水系統配管	MS-1、重*2	屋内	連続	約 1.4	約 132	◎	重要度
		タービン潤滑油・制御油系統配管	高*3		連続	約 16.2	約 75		
	希ガス等 空気 窒素	気体廃棄物処理系統配管	PS-2	屋内	連続	約 1.0	約 95	◎	重要度
		制御用空気系統配管	MS-1、重*2		連続	約 0.8	約 132		
		原子炉補機冷却水系統配管	重*2		一時	約 1.0	約 95		
海水	原子炉補機冷却海水系統配管	MS-1、重*2	屋内外	連続	約 0.7	約 50	◎		

*1：機能は最上位の機能を示す。

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

表 2 (1/2) 伊方 3 号炉 主要な配管の機能

配 管	機 能
1 次冷却材管 1 次冷却系統配管	炉心で発生した熱を蒸気発生器で 2 次系に伝達する 1 次冷却系統を構成する配管である。
化学体積制御系統配管	1 次冷却系統の 1 次冷却材保有量を適正に調整し、1 次冷却材中の核分裂生成物、腐食生成物等の不純物を浄化する化学体積制御系統を構成する配管である。
余熱除去系統配管	炉を停止した後に 1 次冷却系統に残留している熱、炉心の崩壊熱および 1 次冷却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 次冷却系統を降温させる余熱除去系統を構成する配管である。
使用済燃料ピット水浄化冷却系統配管	使用済燃料ピット中の使用済燃料からの崩壊熱を除去し、使用済燃料ピット水の冷却を行うとともに、使用済燃料ピット、原子炉キャビティおよび燃料取替用水タンクのほう酸水を浄化するための使用済燃料ピット水浄化冷却系統を構成する配管である。
試料採取系統配管	1 次冷却材の化学的性質および放射性物質の種類と量を把握するための流体サンプルを採取する試料採取系統を構成する配管である。
安全注入系統配管	1 次冷却材喪失事故時あるいは主蒸気管破断事故時等に、ほう酸水を原子炉容器に注入することにより炉心の冷却かつ負の反応度添加を行う安全注入系統を構成する配管である。
原子炉格納容器スプレイ系統配管	事故時における原子炉格納容器からの放射性物質の漏えいを最小にし、公衆の安全を確保するための原子炉格納容器スプレイ系統を構成する配管である。
燃料取替用水系統配管	燃料取替用水タンク水の浄化および水温の維持ならびに使用済燃料ピットの補給水としてほう酸水を補給するための燃料取替用水系統を構成する配管である。
主蒸気系統配管	蒸気発生器にて発生した蒸気をタービンに送る主蒸気系統を構成する配管である。
抽気系統配管	タービンからの抽気を湿分分離加熱器、脱気器および給水加熱器へ供給するための抽気系統を構成する配管である。
タービングランド蒸気系統配管	タービンのグランド部のシール用蒸気を供給および回収するためのグランド蒸気系統を構成する配管である。
補助蒸気系統配管	スチームコンバータ本体にて発生した蒸気を各補機に送る補助蒸気系統を構成する配管である。
補助給水系統配管	主給水が使用できない場合に補助給水を蒸気発生器に供給する補助給水系統を構成する配管である。

表 2 (2/2) 伊方 3 号炉 主要な配管の機能

配 管	機 能
蒸気発生器ブローダウン 系統配管	蒸気発生器 2 次側水の水質維持のために一部を復水器に回収する ための蒸気発生器ブローダウン系統配管を構成する配管である。
主給水系統配管	蒸気発生器の水位を維持するために給水を蒸気発生器に供給する 主給水系統を構成する配管である。
復水系統配管	復水器により回収された復水を脱気器へ供給するための復水系統 を構成する配管である。
ドレン系統配管	各加熱器より発生したドレンを移送、回収するためのドレン系統 を構成する配管である。
気体廃棄物処理系統配管	気体廃棄物を貯蔵または放出するための気体廃棄物処理系統を構 成する配管である。
制御用空気系統配管	清浄で乾燥した圧縮空気をタービン建屋、補助建屋、原子炉建屋 および格納容器内の空気作動弁等に供給する制御用空気系統を構 成する配管である。
緊急時対策所 (EL. 32m) 空気浄化設備系統配管	重大事故発生時に緊急時対策所の居住性を確保するための空気浄 化設備系統を構成する配管である。
緊急時対策所 (EL. 32m) 加圧設備系統配管	重大事故発生時に緊急時対策所の居住性を確保するための加圧設 備系統を構成する配管である。
原子炉補機冷却水系統配 管	1 次系補機に冷却水を供給する原子炉補機冷却水系統を構成する 配管である。
水消火設備系統配管	原子力発電所を構成する機器の火災を消火するための水消火設備 系統を構成する配管である。
タービン潤滑油・制御油 系統配管	タービン潤滑油・制御油を移送、回収するためのタービン潤滑 油・制御油系統を構成する配管である。
原子炉補機冷却海水系統 配管	1 次系の系統および補機において発生または蓄積された熱を除去 する原子炉補機冷却海水系統を構成する配管である。
モニタ空気サンプリング 系統配管	原子炉格納容内の空気を採取しモニタに移送するためのモニタ空 気サンプリング系統を構成する配管である。

表3 伊方3号炉 配管サポートの機能

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

1 ステンレス鋼配管

[対象機器]

- ① 1次冷却系統配管
- ② 化学体積制御系統配管
- ③ 余熱除去系統配管
- ④ 使用済燃料ピット水浄化冷却系統配管
- ⑤ 試料採取系統配管
- ⑥ 安全注入系統配管
- ⑦ 原子炉格納容器スプレイ系統配管
- ⑧ 燃料取替用水系統配管
- ⑨ 主蒸気系統配管
- ⑩ 抽気系統配管
- ⑪ タービンランド蒸気系統配管
- ⑫ 補助蒸気系統配管
- ⑬ 補助給水系統配管
- ⑭ 蒸気発生器ブローダウン系統配管
- ⑮ 主給水系統配管
- ⑯ 復水系統配管
- ⑰ ドレン系統配管
- ⑱ モニタ空気サンプリング系統配管
- ⑲ 試料採取系統配管（空気）
- ⑳ 緊急時対策所（EL. 32m）空気浄化設備系統配管
- ㉑ 緊急時対策所（EL. 32m）加圧設備系統配管

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	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、材料および使用条件	4
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	22
3. 代表機器以外への展開	26
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	27
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	31

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

伊方3号炉で使用されているステンレス鋼配管（1次冷却材管を除く）の主な仕様を表1-1に示す。

これらの配管を内部流体の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示すステンレス鋼配管について、内部流体を分離基準として考えると、合計4つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 内部流体：1次冷却材

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

(2) 内部流体：蒸気

このグループには主蒸気系統配管、抽気系統配管、タービンランド蒸気系統配管および補助蒸気系統配管が属するが、最高使用圧力、温度が高い主蒸気系統配管を代表機器とする。

(3) 内部流体：給水

このグループには補助給水系統配管、蒸気発生器ブローダウン系統配管、主給水系統配管、復水系統配管およびドレン系統配管が属するが、重要度が高く、最高使用圧力が高い補助給水系統配管を代表機器とする。

(4) 内部流体：空気またはヒドラジン水

このグループにはモニタ空気サンプリング系統配管、試料採取系統配管（空気）、緊急時対策所（EL. 32m）空気浄化設備系統配管、緊急時対策所（EL. 32m）加圧設備系統配管および原子炉格納容器スプレイ系統配管が属するが、重要度が高く、連続運転であるモニタ空気サンプリング系統配管を代表機器とする。

表1-1(1/2) 伊方3号炉 ステンレス鋼配管の主な仕様

分離基準	名称	選定基準				代表機器の選定	
		重要度*1	設置場所	使用条件 運転状態 最高使用圧力 (MPa [gauge])	最高使用温度 (°C)	代表 機器	選定理由
内部流体	1次冷却材		屋内	連続	約17.2	約360	◎ 重要度、環境条件*1
	1次冷却系統配管*2	PS-1、重*3		連続	約20.0	約343	
	化学体積制御系統配管	MS-1、重*3		一時	約17.2	約343	
	余熱除去系統配管	MS-1、重*3		連続	約1.4	約95	
	使用済燃料ピット水浄化冷却系統配管	MS-2		連続	約17.2	約360	
	試料採取系統配管	MS-1		一時	約17.2	約343	
	安全注入系統配管	MS-1、重*3		一時	約2.7	約150	
	原子炉格納容器スプレイ系統配管	MS-1、重*3		連続	約1.4	約132	
	燃料取替用水系統配管	MS-1		連続	約7.5	約291	
	主蒸気系統配管	高*5		連続	約3.1	約240	
蒸気	抽気系統配管	高*5	連続	約0	約155	◎ 圧力、温度	
	タービンランタド蒸気系統配管	高*5	連続	約0.9	約185		
	補助蒸気系統配管	高*5	連続				

*1：機態は最上位の機態を示す。

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

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

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

*5：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

表1-1(2/2) 伊方3号炉 ステンレス鋼配管の主な仕様

分離基準	内部流体	名称	選定基準				使用条件			代表機器の選定	
			重要度*1	設置場所	運転状態	最高使用圧力 (MPa [gauge])	最高使用温度 (°C)	代表機器	選定理由		
給水		補助給水系統配管	MS-1、重*2	屋内	一時	約12.3	約40	◎	重要度、圧力		
		蒸気発生器ブローダウン系統配管	高*3		連続	約7.5	約291				
		主給水系統配管	高*3		連続	約10.3	約205				
		復水系統配管	高*3		連続	約3.8	約205				
		ドレン系統配管	高*3		連続	約7.5	約291				
		モニタ空気サンプリング系統配管	MS-1		連続	約0.28	約132				
空気		試料採取系統配管 (空気)	MS-1	屋内	一時	約1.0	約132	◎	重要度、運転状態		
		緊急時対策所 (EL. 32m) 空気浄化設備系統配管	重*2		一時	約0.003	約50				
		緊急時対策所 (EL. 32m) 加圧設備系統配管	重*2		一時	約1.0	約50				
		原子炉格納容器スプレイ系統配管	MS-1		一時	約0.07	約65				

*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および構造物であることを示す。

*3：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPa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4種類の配管について技術評価を実施する。

- ① 余熱除去系統配管
- ② 主蒸気系統配管
- ③ 補助給水系統配管
- ④ モニタ空気サンプリング系統配管

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 余熱除去系統配管

(1) 構造

伊方3号炉の余熱除去系統配管は、母管にステンレス鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の余熱除去系統配管の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

表2.1-1 伊方3号炉 余熱除去系統配管主要部位の使用材料

部位	材料
母管	ステンレス鋼
小口径管台	ステンレス鋼
温度計ウェル	ステンレス鋼
フランジボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-2 伊方3号炉 余熱除去系統配管の使用条件

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

2.1.2 主蒸気系統配管

(1) 構造

伊方3号炉の主蒸気系統配管は、母管の一部にステンレス鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の主蒸気系統配管の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。

表2.1-3 伊方3号炉 主蒸気系統配管主要部位の使用材料

部位	材料
母管	ステンレス鋼
小口径管台	ステンレス鋼
フランジボルト	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-4 伊方3号炉 主蒸気系統配管の使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa[gage]
最高使用温度	約291℃
内部流体	蒸気

2.1.3 補助給水系統配管

(1) 構造

伊方3号炉の補助給水系統配管は、母管の一部にステンレス鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の補助給水系統配管の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。

表2.1-5 伊方3号炉 補助給水系統配管主要部位の使用材料

部位	材料
母管	ステンレス鋼
フランジボルト	低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-6 伊方3号炉 補助給水系統配管の使用条件

最高使用圧力	約12.3MPa[gage]
最高使用温度	約40℃
内部流体	給水

2.1.4 モニタ空気サンプリング系統配管

(1) 構造

伊方3号炉のモニタ空気サンプリング系統配管は、母管にステンレス鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉のモニタ空気サンプリング系統配管の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。

表2.1-7 伊方3号炉 モニタ空気サンプリング系統配管の使用材料

部位	材料
母管	ステンレス鋼

表2.1-8 伊方3号炉 モニタ空気サンプリング系統配管の使用条件

最高使用圧力	約0.28MPa[gage]
最高使用温度	約132℃
内部流体	空気

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

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

① バウンダリの維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

ステンレス鋼配管個々について機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（水質、圧力、温度等）および現在までの運転経験を考慮し、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2.2-3で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 母管の疲労割れ [余熱除去系統配管]

余熱除去ポンプの運転・停止時に発生する1次冷却材の温度、圧力の変化により、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-3で△または▲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、また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)または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 母管の高サイクル熱疲労割れ〔余熱除去系統配管〕

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

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

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

評価結果を表2.2-2に示すが、許容値を満足する結果を得た。

また、漏えい検査により機器の健全性を維持している。

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

表2.2-1 伊方3号炉 余熱除去冷却器出口配管・バイパスライン
合流部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
	運転開始後60年 時点での推定値*1
起動	51
停止	51
1次系漏えい試験	47

*1：第10回定期検査時（2007年度）に取替を実施

表2.2-2 伊方3号炉 余熱除去冷却器出口配管・バイパスライン
合流部の疲労評価結果

評価対象部位 (使用材料)	疲労累積係数 (許容値：1以下)
余熱除去冷却器出口配管・ バイパスライン合流部 (ステンレス鋼)	0.853

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

しかしながら、隔離弁の分解点検を実施し、弁ディスク位置の調整により弁シート部の隙間を適正に管理していくことにより、機器の健全性を維持している。

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

(2) 母管の外表面からの応力腐食割れ [共通]

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

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

また、巡視点検等で目視により塗装または保温材の状態を確認し、必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

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

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

(3) 母管の内表面からの応力腐食割れ [余熱除去系統配管]

1996年5月、米国セコイヤ(Sequoyah)発電所2号炉で、一次系水質環境下においても局所的に溶存酸素濃度が高くなる等の理由で内表面からの応力腐食割れによる漏えいが発生していることから、応力腐食割れが想定される。

しかしながら、高温かつ溶存酸素濃度が高くなる可能性のある範囲の溶接部については、耐応力腐食割れ性に優れたSUS316系材料を使用している。

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

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

(4) 溶接部の施工条件に起因する内面からの粒界割れ〔余熱除去系統配管〕

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

一方、国内外のPWRプラントにおいて類似の事象は確認されておらず、伊方3号炉において同様の事象発生の可能性があるとして推定された部位全てに対し、第15回および第16回定期検査において超音波探傷検査を実施し、溶接部の健全性に問題のないことを確認している。

なお、大飯3号炉で発生した事象は特異であるが、メカニズムが全て明らかになっていないことから、類似性の高い個所に対しては第17回定期検査までの間、毎回検査を実施することとしている。また、第18回定期検査以降については、今後の知見拡充結果を踏まえて、対象・頻度を検討する。

(5) フランジボルトの腐食（全面腐食）〔余熱除去系統配管、主蒸気系統配管、補助給水系統配管〕

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

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

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

なお、巡視点検時の目視確認により機器の健全性を確認している。

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

(6) 小口径管台の高サイクル疲労割れ〔余熱除去系統配管、主蒸気系統配管〕

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

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

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

(7) 温度計ウェルの高サイクル疲労割れ〔余熱除去系統配管〕

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

しかしながら、伊方3号炉の温度計ウェルは、原子力安全・保安院指示文書「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の改正に伴う電気事業法に基づく定期事業者検査の実施について（平成17・12・22原院第6号 平成17年12月27日 NISA-163a-05-3）」に基づき「日本機械学会 配管内円柱状構造物の流力振動評価指針(JSME S 012-1998)」による評価を行い、問題としないことを確認しており、同様な設計方針に基づき施設されているその他の箇所についても同様と考える。このような条件は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットは取替える消耗品であり、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2.2-3(1/4) 伊方3号炉 余熱除去系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				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			
ハウダリの維持	母管		ステンレス鋼			○ △ ^{*1}	△ ^{*2,3}				△ ^{*4}	*1：高サイクル熱疲労割れ（高低温水合流型、弁グラウンドリーク型） *2：外面からの応力腐食割れ *3：内面からの応力腐食割れ *4：溶接部の施工条件に起因する内面からの粒界割れ *5：高サイクル疲労割れ
	小口径管台		ステンレス鋼			▲ ^{*5}						
	温度計ウエル		ステンレス鋼			▲ ^{*5}						
	フランジボルト		低合金鋼		△							
	ガスケット	◎	—									

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-3(2/4) 伊方3号炉 主蒸気系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		材質変化		その他		
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化			
バウンダリ の 維持	母管		ステンレス鋼				△*1					*：外面からの応力腐食割れ *2：高サイクル疲労割れ
	小口径管台		ステンレス鋼			▲*2						
	フランジボルト		炭素鋼		△							
	ガスケット	◎	—									

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-3(3/4) 伊方3号炉 補助給水系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考		
				減肉		割れ		材質変化				その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化				
バウンダリの維持	母管		ステンレス鋼						△*1				*1:外面からの応力腐食割れ
	フランジボルト		低合金鋼		△								
	ガスケット	◎	—										

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-3(4/4) 伊方3号炉 モニタ空気サンプリング系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考		
				減肉		割れ		材質変化			その他	
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化			
バウンダリの維持	母管		ステンレス鋼					疲労割れ	△*1			*1:外面からの応力腐食割れ

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 母管の疲労割れ [余熱除去系統配管]

a. 事象の説明

プラントの起動・停止時等に熱過渡を繰返し受けるため、疲労が蓄積することになる。

b. 技術評価

① 健全性評価

余熱除去系統配管の評価対象部位としては、余熱除去系統配管（1次冷却材管高温側出口管台から原子炉格納容器貫通部）および余熱除去系統配管（1次冷却材管低温側入口第2逆止弁から1次冷却材管低温側余熱除去系戻り管台まで）とした。

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

また、使用環境を考慮した疲労について、「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、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的に設定した過渡回数とした。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

表2.3-1(1/3) 伊方3号炉 余熱除去系統配管の疲労評価に用いた過渡回数
 (1次冷却材管低温側入口第2逆止弁～1次冷却材管低温側余熱除去系戻り管台)

運転状態Ⅰ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度 末時点	運転開始後60年 時点での推定値
起動(温度上昇率55.6°C/h)	25	69
停止(温度下降率55.6°C/h)	25	69
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	164	843
負荷減少(負荷減少率5%/min)	157	836
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	5
定常負荷運転時の変動 ^{*1}	-	-
燃料交換	16	69
0%から15%への負荷上昇	25	67
15%から0%への負荷減少	19	64
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年度 末時点	運転開始後60年 時点での推定値
負荷の喪失	4	7
外部電源喪失	1	5
1次冷却材流量の部分喪失	0	2
100%からの原子炉トリップ		
Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	1	8
Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2
Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴う トリップ	0	2
1次冷却系の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	3
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	0	2
1次系漏えい試験	21	61
タービン回転試験	5	5

*1: 設計評価においては、1次冷却材温度は±1.7°C、1次冷却材圧力は±0.34MPaの変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

表2.3-1(2/2) 伊方3号炉 余熱除去系統配管の疲労評価に用いた過渡回数
 (1次冷却材管高温側余熱除去系第2入口弁～原子炉格納容器貫通部)

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度 末時点	運転開始後60年 時点での推定値
起動(温度上昇率55.6°C/h)	25	69
停止(温度下降率55.6°C/h)	25	69
1次系漏えい試験	21	61

表2.3-2 伊方3号炉 余熱除去系統配管の疲労評価結果

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
余熱除去系統配管 「1次冷却材管低温側入口第2逆止 弁～1次冷却材管低温側余熱除去系 戻り管台」 (ステンレス鋼)	0.005	0.099
余熱除去系統配管 「1次冷却材管高温側余熱除去系第 2入口弁～原子炉格納容器貫通部」 (ステンレス鋼)	0.006	0.038

② 現状保全

母管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または浸透探傷検査を実施し、有意な欠陥がないことを確認している。また、定期的に漏えい検査を実施し、健全性を確認している。さらに、高経年化技術評価に合わせて実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、疲労割れ発生の可能性はないと考える。ただし、疲労評価は実績過渡回数に依存するため、今後も実績過渡回数を把握し評価する必要がある。

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

c. 高経年化への対応

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

3. 代表機器以外への展開

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

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

- ① 1次冷却系統配管
- ② 化学体積制御系統配管
- ③ 使用済燃料ピット水浄化冷却系統配管
- ④ 試料採取系統配管
- ⑤ 安全注入系統配管
- ⑥ 原子炉格納容器スプレイ系統配管
- ⑦ 燃料取替用水系統配管
- ⑧ 抽気系統配管
- ⑨ タービンランド蒸気系統配管
- ⑩ 補助蒸気系統配管
- ⑪ 蒸気発生器ブローダウン系統配管
- ⑫ 主給水系統配管
- ⑬ 復水系統配管
- ⑭ ドレン系統配管
- ⑮ 試料採取系統配管（空気）
- ⑯ 緊急時対策所（EL. 32m）空気浄化設備系統配管
- ⑰ 緊急時対策所（EL. 32m）加圧設備系統配管

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 母管の疲労割れ [1次冷却系統配管、化学体積制御系統配管、試料採取系統配管]

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

また、充てん配管については、定期的な浸透探傷検査により有意な割れのないことを確認している。

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

1次冷却系統配管のうち加圧器サージ配管および加圧器スプレイ配管においては以下のとおり、プラントの通常運転操作において熱成層の発生、消滅が生じ疲労評価上厳しくなる可能性がある。

・加圧器サージ配管

プラントの起動・停止時および通常運転時等において加圧器サージ流量が少ない場合、加圧器器内水温度と1次冷却材管内部流体温度の温度差に起因して加圧器サージ配管水平部に熱成層が発生する。熱成層が発生している状態から、加圧器サージ配管内にアウトサージまたはインサージの過渡が発生すると加圧器サージ配管内に温度差がなくなり、熱成層が消滅する。

・加圧器スプレイ配管

プラントの起動・停止時等において加圧器スプレイ弁の開閉操作に伴い、加圧器直上部および水平部配管において熱成層が発生、消滅する。加圧器スプレイ弁を閉じた状態ではスプレイ流量が少なく、加圧器スプレイ配管内に蒸気とスプレイ水による気液二相型の熱成層が発生し、加圧器スプレイ弁を開くと配管内は、スプレイ水で満たされるため熱成層が消滅する。

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

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

疲労評価に用いた過渡回数を表3.1-1に示す。なお、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的に設定した過渡回数とした。

評価結果を表3.1-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

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

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

表3.1-1 伊方3号炉 加圧器サージ配管および加圧器スプレイ配管の
疲労評価に用いた過渡回数

運転状態Ⅰ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度 末時点	運転開始後60年 時点での推定値
起動(温度上昇率55.6℃/h)	25	69
停止(温度下降率55.6℃/h)	25	69
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	164	843
負荷減少(負荷減少率5%/min)	157	836
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	5
定常負荷運転時の変動 ^{*1}	-	-
燃料交換	16	69
ほう素濃度の均一化	950	2900
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年度 末時点	運転開始後60年 時点での推定値
負荷の喪失	4	7
外部電源喪失	1	5
1次冷却材流量の部分喪失	0	2
100%からの原子炉トリップ		
Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	1	8
Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2
Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴う トリップ	0	2
1次冷却系の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	3
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	0	2
1次系漏えい試験	21	61
タービン回転試験	5	5

*1：設計評価においては、1次冷却材温度は±1.7℃、1次冷却材圧力は±0.34MPaの変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

表3.1-2 伊方3号炉 1次冷却系統配管の疲労評価結果

機器	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
1次冷却系統配管	加圧器サージ配管 (ステンレス鋼)	0.006	0.011 ^{*1}
	加圧器スプレイ配管 (ステンレス鋼)	0.009	0.174 ^{*1}

*1 熱成層による発生応力を含めた解析結果

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 1)または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 ヒートトレースの断線〔化学体積制御系統配管〕

ヒートトレースは、ほう酸水の温度を維持するために設けており、ヒータON-OFF時に発生する熱伸縮により繰り返し応力を受けるため、材料に疲労が蓄積され、疲労割れによる断線に至ることが想定される。

しかしながら、化学体積制御系統配管については、ほう酸水温度の連続監視を行っており、断線が生じた場合には検知し、2トレンのうち健全側に切替えた後、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 母管の腐食（エロージョン）〔ドレン系統配管〕

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

エロージョンによる減肉は、個々の肉厚測定結果による進展評価以外に正確に定量的な評価を行うことは困難であるため、配管の減肉管理については減肉の可能性のある箇所の肉厚測定を行い、減肉の有無、減肉率を判断し、寿命評価を実施することとしている。

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

また、美浜3号炉2次系配管破損事故（2004年8月）以降は、保安院指示文書「原子力発電工作物の保安のための点検、検査等に関する電気事業法施行規則の規定の解釈（内規）の制定について」（平成20・12・22原院第4号 NISA-163c-08-5）や日本機械学会の規格（加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NG1-2006およびJSME S NG1-2016））に定められた内容に従い、対象系統および部位や実施時期等の考え方を「2次系配管経年変化調査マニュアル*」に反映し、これに基づき配管減肉の管理を実施している。

現状保全として、「2次系配管肉厚検査計画*」に基づき、超音波を用いた肉厚

測定を実施し、減肉の管理を行っている。また、肉厚測定およびデータの管理にあたっては、検査装置から計測結果をパソコンに取り込み、データベース化し管理している。

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

＊：「原子力設備 2 次系配管肉厚の管理指針（PWR）」（平成2年5月）に従い、社内管理方法を定めたもの。

3.2.3 母管の外面からの応力腐食割れ [共通]

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

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

また、巡視点検等で目視により保温材の状態を確認し必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

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

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

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

3.2.4 母管の高サイクル熱疲労割れ [1 次冷却系統配管]

1 次冷却材管からの閉塞分岐管においては、分岐管に設置された止め弁のシートリークにより低温水が 1 次冷却材管へ流入するため、高温の 1 次冷却材との混合により熱成層が発生（弁シートリーク型熱成層）し、成層界面が変動することにより、高サイクル熱疲労割れが想定される。

1 次冷却系統配管のうち、加圧器補助スプレイラインにおいては、止め弁がリークした場合、逆止弁を通じて低温水が 1 次冷却材管へ流入するため、弁シートリーク型熱成層による、高サイクル熱疲労割れが想定される。

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

さらに、隔離弁の分解点検により、弁リークの発生を防止することで、機器の健全性を維持している。

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

3.2.5 母管の内面からの応力腐食割れ [1次冷却系統配管、化学体積制御系統配管、安全注入系統配管]

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

しかしながら、高温かつ溶存酸素濃度が高くなる可能性のある範囲の溶接部については、耐応力腐食割れ性に優れたSUS316系材料を使用している。

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

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

3.2.6 溶接部の施工条件に起因する内面からの粒界割れ [1次冷却系統配管、安全注入系統配管]

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

一方、国内外のPWRプラントにおいて類似の事象は確認されておらず、伊方3号炉において同様の事象発生の可能性があるとして推定された部位全てに対し、第15回および第16回定期検査において超音波探傷検査を実施し、溶接部の健全性に問題のないことを確認している。

なお、大飯3号炉で発生した事象は特異であるが、メカニズムが全て明らかになっていないことから、類似性の高い個所に対しては第17回定期検査までの間、毎回検査を実施することとしている。また、第18回定期検査以降については、今後の知見拡充結果を踏まえて、対象・頻度を検討する。

3.2.7 フランジボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕

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

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

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等により、機器の健全性を確認している。

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

2003年9月、泊2号炉の再生熱交換器胴側出口配管で高サイクル熱疲労による疲労割れが発生しているが、この事象は内筒付再生熱交換器特有のものである。伊方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、高サイクル熱疲労割れ発生の可能性は小さい。

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

なお、溶接部を対象とした超音波探傷検査により、機器の健全性を確認している。

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

3.2.9 小口径管台の高サイクル疲労割れ〔1次冷却系統配管、化学体積制御系統配管、安全注入系統配管、原子炉格納容器スプレイ系統配管〕

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

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

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

3.2.10 温度計ウェルの高サイクル疲労割れ [共通]

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

しかしながら、伊方3号炉の温度計ウェルは、原子力安全・保安院指示文書「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の改正に伴う電気事業法に基づく定期事業者検査の実施について（平成17・12・22原院第6号 平成17年12月27日 NISA-163a-05-3）」に基づき「日本機械学会 配管内円柱状構造物の流力振動評価指針(JSME S 012-1998)」による評価を行い、問題とならないことを確認しており、同様な設計方針に基づき施設されているその他の箇所についても同様と考える。このような条件は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2 低合金鋼配管

[対象機器]

- ① タービングランド蒸気系統配管
- ② 主給水系統配管
- ③ ドレン系統配管

目次

1.	技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1	グループ化の考え方および結果	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、材料および使用条件	3
2.2	経年劣化事象の抽出	7
3.	代表機器以外への展開	12
3.1	高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	12

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

伊方3号炉で使用されている低合金鋼配管の主な仕様を表1-1に示す。

これらの配管を内部流体の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方および結果

表1-1に示す低合金鋼配管について、内部流体を分離基準として考えると、合計2つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 内部流体：蒸気

このグループにはタービンランド蒸気系統配管のみが属するため、タービンランド蒸気系統配管を代表機器とする。

(2) 内部流体：給水

このグループには主給水系統配管およびドレン系統配管が属するが、最高使用圧力が高い主給水系統配管を代表機器とする。

表 1-1 伊方3号炉 低合金鋼配管の主な仕様

分離基準	名称	選定基準				代表機器の選定		
		重要度*1	設置場所	使用条件 運転状態	最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)	代表 機器	選定理由
蒸気	タービングラウンド蒸気系統配管	高*2	屋内	連続	約 0	約 155	◎	
	主給水系統配管	高*2		連続	約 10.3	約 205	◎	圧力
給水	ドレン系統配管	高*2		連続	約 2.8	約 235		

*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、または最高使用圧力が1900kPaを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超え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種類の配管について技術評価を実施する。

- ① タービンランド蒸気系統配管
- ② 主給水系統配管

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 タービンランド蒸気系統配管

(1) 構造

伊方3号炉のタービンランド蒸気系統配管の母管の一部には低合金鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉のタービンランド蒸気系統配管の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

表2.1-1 伊方3号炉 タービンランド蒸気系統配管の使用材料

部位	材料
母管	低合金鋼

表2.1-2 伊方3号炉 タービンランド蒸気系統配管の使用条件

最高使用圧力	約0MPa[gage]
最高使用温度	約155℃
内部流体	蒸気

2.1.2 主給水系統配管

(1) 構造

伊方3号炉の主給水系統配管の母管の一部には低合金鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の主給水系統配管の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。

表2.1-3 伊方3号炉 主給水系統配管の使用材料

部位	材料
母管	低合金鋼
小口径管台	低合金鋼

表2.1-4 伊方3号炉 主給水系統配管の使用条件

最高使用圧力	約10.3MPa[gage]
最高使用温度	約205℃
内部流体	給水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

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

① バウンダリの維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

低合金鋼配管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）およ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△または▲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、また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)または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 母管の腐食（流れ加速型腐食） [共通]

高温水または2相流体を内包する低合金鋼配管では、エルボ部、分岐部、レジューサ部等の流れの乱れが起きる箇所では流れ加速型腐食により減肉が発生する可能性がある。

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

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

また、美浜3号炉2次系配管破損事故（2004年8月）以降は、保安院指示文書「原子力発電工作物の保安のための点検、検査等に関する電気事業法施行規則の規定の解釈（内規）の制定について」（平成20・12・22原院第4号 NISA-163c-08-5）や日本機械学会の規格（加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NG1-2006およびJSME S NG1-2016））に定められた内容に従い、対象系統および部位や実施時期等の考え方を「2次系配管経年変化調査マニュアル*」に反映し、これに基づき配管減肉の管理を実施している。具体的には、「2次系配管肉厚検査計画*」に基づき、超音波を用いた肉厚測定を実施し、測定結果を検査装置からパソコンに取り込み、データベース化して管理している。

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

*：「原子力設備 2次系配管肉厚の管理指針（PWR）」（平成2年5月）に従い、社内管理方法を定めたもの。

(2) 母管の腐食（エロージョン） [共通]

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

エロージョンによる減肉は、個々の肉厚測定結果による進展評価以外に正確に定量的な評価を行うことは困難であるため、配管の減肉管理については減肉の可能性のある箇所肉厚測定を行い、減肉の有無、減肉率を判断し、寿命評価を実施することとしている。

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

また、美浜3号炉2次系配管破損事故（2004年8月）以降は、保安院指示文書「原子力発電工作物の保安のための点検、検査等に関する電気事業法施行規則の規定

の解釈（内規）の制定について」（平成20・12・22原院第4号 NISA-163c-08-5）や日本機械学会の規格（加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NG1-2006およびJSME S NG1-2016））に定められた内容に従い、対象系統および部位や実施時期等の考え方を「2次系配管経年変化調査マニュアル*」に反映し、これに基づき配管減肉の管理を実施している。具体的には、「2次系配管肉厚検査計画*」に基づき、超音波を用いた肉厚測定を実施し、測定結果を検査装置からパソコンに取り込み、データベース化して管理している。

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

*：「原子力設備 2次系配管肉厚の管理指針（PWR）」（平成2年5月）に従い、社内管理方法を定めたもの。

(3) 母管の外表面からの腐食（全面腐食）〔共通〕

低合金鋼配管は、外表面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等を施しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、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。

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。

(4) 小口径管台の高サイクル疲労割れ

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

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

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

表2.2-1(1/2) 伊方3号炉 タービングラント蒸気系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食 割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	母管		低合金鋼		△ ^{*1,2,3}						*1：流れ加速型腐食 *2：エロージョン *3：外面からの腐食

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2-1(2/2) 伊方3号炉 主給水系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食 割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	母管		低合金鋼	△ ^{*1,2,3}							*1：流れ加速型腐食 *2：エロージョン *3：外面からの腐食
	小口径管台		低合金鋼		▲ ^{*1}						*4：高サイクル疲労 割れ

△：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当たっては、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 ドレン系統配管

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)または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。

3.1.1 母管の腐食（流れ加速型腐食）

高温水または2相流体を内包する低合金鋼配管では、エルボ部、分岐部、レジューサ部等の流れの乱れが起きる箇所流れ加速型腐食により減肉が発生する可能性がある。

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

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

また、美浜3号炉2次系配管破損事故（2004年8月）以降は、保安院指示文書「原子力発電工作物の保安のための点検、検査等に関する電気事業法施行規則の規定の解釈（内規）の制定について」（平成20・12・22原院第4号 NISA-163c-08-5）や日本機械学会の規格（加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NG1-2006およびJSME S NG1-2016））に定められた内容に従い、対象系統および部位や実施時期等の考え方を「2次系配管経年変化調査マニュアル*」に反映し、これに基づき配管減肉の管理を実施している。具体的には、「2次系配管肉厚検査計画*」に基づき、超音波を用いた肉厚測定を実施し、測定結果を検査装置

からパソコンに取り込み、データベース化して管理している。

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

＊：「原子力設備 2 次系配管肉厚の管理指針（PWR）」（平成2年5月）に従い、社内管理方法を定めたもの。

3.1.2 母管の腐食（エロージョン）

凝縮水が流れる配管では、高減圧部で流速が大きくなるため、エロージョンにより減肉が想定される。

エロージョンによる減肉は、個々の肉厚測定結果による進展評価以外に正確に定量的な評価を行うことは困難であるため、配管の減肉管理については減肉の可能性のある箇所の肉厚測定を行い、減肉の有無、減肉率を判断し、寿命評価を実施することとしている。

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

また、美浜 3 号炉 2 次系配管破損事故（2004年8月）以降は、保安院指示文書「原子力発電工作物の保安のための点検、検査等に関する電気事業法施行規則の規定の解釈（内規）の制定について」（平成20・12・22原院第4号 NISA-163c-08-5）や日本機械学会の規格（加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NG1-2006およびJSME S NG1-2016））に定められた内容に従い、対象系統および部位や実施時期等の考え方を「2 次系配管経年変化調査マニュアル*」に反映し、これに基づき配管減肉の管理を実施している。具体的には、「2 次系配管肉厚検査計画*」に基づき、超音波を用いた肉厚測定を実施し、測定結果を検査装置からパソコンに取り込み、データベース化して管理している。

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

＊：「原子力設備 2 次系配管肉厚の管理指針（PWR）」（平成2年5月）に従い、社内管理方法を定めたもの。

3.1.3 母管の外面からの腐食（全面腐食）

低合金鋼配管は、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を施しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、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。

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

3.1.4 小口径管台の高サイクル疲労割れ

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

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

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

3 炭素鋼配管

[対象機器]

- ① 主蒸気系統配管
- ② タービングランド蒸気系統配管
- ③ 抽気系統配管
- ④ 補助蒸気系統配管
- ⑤ 補助給水系統配管
- ⑥ 蒸気発生器ブローダウン系統配管
- ⑦ 復水系統配管
- ⑧ 主給水系統配管
- ⑨ ドレン系統配管
- ⑩ 水消火設備系統配管
- ⑪ 原子炉補機冷却水系統配管
- ⑫ 気体廃棄物処理系統配管
- ⑬ 制御用空気系統配管
- ⑭ 原子炉補機冷却海水系統配管
- ⑮ タービン潤滑油・制御油系統配管

目次

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方および結果	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、材料および使用条件	4
2.2 経年劣化事象の抽出	14
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	25
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ではない事象	29

1. 技術評価対象機器および代表機器の選定

伊方3号炉で使用されている炭素鋼配管の主な仕様を表1-1に示す。

これらの配管を内部流体およ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および結果

表1-1に示す炭素鋼配管について、内部流体を分離基準として考えると、合計5つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 内部流体：蒸気

このグループには主蒸気系統配管、タービンランド蒸気系統配管、抽気系統配管および補助蒸気系統配管が属するが、重要度が高い主蒸気系統配管を代表機器とする。

(2) 内部流体：給水または純水

このグループには補助給水系統配管、蒸気発生器ブローダウン系統配管、復水系統配管、主給水系統配管、ドレン系統配管および水消火設備系統配管が属するが、重要度が高く、環境条件が経年劣化評価上厳しくなる可能性のある主給水系統配管を代表機器とする。

(3) 内部流体：ヒドラジン水または油

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

(4) 内部流体：希ガス等、空気または窒素

このグループには気体廃棄物処理系統配管、制御用空気系統配管および原子炉補機冷却水系統配管が属するが、重要度が高い制御用空気系統配管を代表機器とする。

(5) 内部流体：海水

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

表1-1(1/2) 伊方3号炉 炭素鋼配管の主な仕様

分機基準	名称	選定基準				使用条件			代表機器の選定	
		重要度 ^{*1}	設置場所	運転状態	最高使用圧力 (MPa [gauge])	最高使用温度 (°C)	代表 機器	選定理由		
蒸気	主蒸気系統配管	MS-1、重 ^{*3}	屋内	連続	約7.5	約291	◎	重要度		
	タービングラント蒸気系統配管	高 ^{*2}		連続	約7.5	約291				
	抽気系統配管	高 ^{*2}	連続	約7.5	約291					
	補助蒸気系統配管	高 ^{*2}	連続	約0.9	約185					
給水	補助給水系統配管	MS-1、重 ^{*3}	屋内外	連続	約12.3	約291	◎	重要度、環境条件 ^{*4}		
	蒸気発生器ブローダウン系統配管	MS-1、重 ^{*3}		一時	約7.5	約291				
	復水系統配管	高 ^{*2}	連続	約3.8	約205					
	主給水系統配管	MS-1、重 ^{*3}	連続	約7.5	約291					
	ドレン系統配管	高 ^{*3}	連続	約7.5	約291					
	水消火設備系統配管	MS-1、重 ^{*3}	屋内外	連続	約1.5	約132				

*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、または最高使用圧力が1900kPa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：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および構造物であることを示す。

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

表1-1(2/2) 伊方3号炉 炭素鋼配管の主な仕様

分離基準	名称	重要度 ^{*1}	設置場所	使用条件			代表機器の選定	
				運転状態	最高使用圧力 (MPa [gage])	最高使用温度 (°C)	代表 機器	選定理由
内部流体	ヒドラジン水	MS-1、重 ^{*2}	屋内	連続	約1.4	約132	◎	重要度
	油	高 ^{*3}		連続	約16.2	約75		
希ガス等	原子炉補機冷却水系統配管	PS-2	屋内	連続	約1.0	約95	◎	重要度
	気体廃棄物処理系統配管	MS-1、重 ^{*2}		連続	約0.8	約132		
空気	制御用空気系統配管	重 ^{*2}	屋内外	一時	約1.0	約95	◎	重要度
窒素	原子炉補機冷却水系統配管	MS-1、重 ^{*2}		連続	約0.7	約50		
海水	原子炉補機冷却海水系統配管							

*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および構造物であることを示す。

*3：最高使用温度が95°Cを超え、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器。

2. 代表機器の技術評価

本章では1章で代表機器とした以下の5種類の配管について技術評価を実施する。

- ① 主蒸気系統配管
- ② 主給水系統配管
- ③ 原子炉補機冷却水系統配管
- ④ 制御用空気系統配管
- ⑤ 原子炉補機冷却海水系統配管

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 主蒸気系統配管

(1) 構造

伊方3号炉の主蒸気系統配管は、母管には主に炭素鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の主蒸気系統配管の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

表2.1-1 伊方3号炉 主蒸気系統配管主要部位の使用材料

部位	材料
母管	炭素鋼
小口径管台	炭素鋼
温度計ウェル	ステンレス鋼
サンプルノズル	ステンレス鋼
フランジボルト	炭素鋼、低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-2 伊方3号炉 主蒸気系統配管の使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa[gage]
最高使用温度	約291℃
内部流体	蒸気

2.1.2 主給水系統配管

(1) 構造

伊方3号炉の主給水系統配管は、母管には主に炭素鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の主給水系統配管の使用材料および使用条件を表2.1-3および表2.1-4に示す。

表2.1-3 伊方3号炉 主給水系統配管主要部位の使用材料

部位	材料
母管	炭素鋼
小口径管台	炭素鋼、ステンレス鋼
温度計ウェル	ステンレス鋼
サンプルノズル	ステンレス鋼
フランジボルト	炭素鋼、低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-4 伊方3号炉 主給水系統配管の使用条件

最高使用圧力	約7.5MPa[gage]
最高使用温度	約291℃
内部流体	給水

2.1.3 原子炉補機冷却水系統配管

(1) 構造

伊方3号炉の原子炉補機冷却水系統配管は、母管に炭素鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の原子炉補機冷却水系統配管の使用材料および使用条件を表2.1-5および表2.1-6に示す。

表2.1-5 伊方3号炉 原子炉補機冷却水系統配管主要部位の使用材料

部位	材料
母管	炭素鋼
小口径管台	炭素鋼
温度計ウェル	ステンレス鋼
フランジボルト	炭素鋼、低合金鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-6 伊方3号炉 原子炉補機冷却水系統配管の使用条件

最高使用圧力	約1.4MPa[gage]
最高使用温度	約132℃
内部流体	ヒドラジン水

2.1.4 制御用空気系統配管

(1) 構造

伊方3号炉の制御用空気系統配管は、母管に炭素鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の制御用空気系統配管の使用材料および使用条件を表2.1-7および表2.1-8に示す。

表2.1-7 伊方3号炉 制御用空気系統配管主要部位の使用材料

部位	材料
母管	炭素鋼

表2.1-8 伊方3号炉 制御用空気系統配管の使用条件

最高使用圧力	約0.8MPa[gage]
最高使用温度	約132℃
内部流体	空気

2.1.5 原子炉補機冷却海水系統配管

(1) 構造

伊方3号炉の原子炉補機冷却海水系統配管は、母管に海水が接液するためライニング施工した炭素鋼を使用している。

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の原子炉補機冷却海水系統配管の使用材料および使用条件を表2.1-9および表2.1-10に示す。

表2.1-9 伊方3号炉 原子炉補機冷却海水系統配管の使用材料

部位	材料
母管	炭素鋼+ライニング
小口径管台	炭素鋼+ライニング
温度計ウェル	銅合金
フランジボルト	炭素鋼
ガスケット	消耗品・定期取替品

表2.1-10 伊方3号炉 原子炉補機冷却海水系統配管の使用条件

最高使用圧力	約0.7MPa[gage]
最高使用温度	約50℃
内部流体	海水

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

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

① バウンダリの維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

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

(1) 母管の疲労割れ〔主給水系統配管〕

プラントの起動時等に発生する内部流体の温度、圧力の変化により、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

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

(1) 母管の腐食（流れ加速型腐食）〔主蒸気系統配管、主給水系統配管〕

高温水または2相流体を内包する炭素鋼配管では、エルボ部、分岐部、レジューサ部等の流れの乱れが起きる箇所流れ加速型腐食により減肉が発生する可能性がある。

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

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

また、美浜3号炉2次系配管破損事故（2004年8月）以降は、保安院指示文書「原子力発電工作物の保安のための点検、検査等に関する電気事業法施行規則の規定の解釈（内規）の制定について」（平成20・12・22原院第4号 NISA-163c-08-5）や日本機械学会の規格（加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NG1-2006およびJSME S NG1-2016））に定められた内容に従い、対象系統および部位や実施時期等の考え方を「2次系配管経年変化調査マニュアル*」に反映し、これに基づき配管減肉の管理を実施している。具体的には、「2次系配管肉

厚検査計画*」に基づき、超音波を用いた肉厚測定を実施し、測定結果を検査装置からパソコンに取り込み、データベース化して管理している。

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

*：「原子力設備 2 次系配管肉厚の管理指針（PWR）」（平成2年5月）に従い、社内管理方法を定めたもの。

(2) 母管の腐食（エロージョン）〔主蒸気系統配管、主給水系統配管〕

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

エロージョンによる減肉は、個々の肉厚測定結果による進展評価以外に正確に定量的な評価を行うことは困難であるため、配管の減肉管理については減肉の可能性のある箇所肉厚測定を行い、減肉の有無、減肉率を判断し、寿命評価を実施することとしている。

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

また、美浜 3 号炉 2 次系配管破損事故（2004年8月）以降は、保安院指示文書「原子力発電工作物の保安のための点検、検査等に関する電気事業法施行規則の規定の解釈（内規）の制定について」（平成20・12・22原院第4号 NISA-163c-08-5）や日本機械学会の規格（加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NG1-2006およびJSME S NG1-2016））に定められた内容に従い、対象系統および部位や実施時期等の考え方を「2 次系配管経年変化調査マニュアル*」に反映し、これに基づき配管減肉の管理を実施している。具体的には、「2 次系配管肉厚検査計画*」に基づき、超音波を用いた肉厚測定を実施し、測定結果を検査装置からパソコンに取り込み、データベース化して管理している。

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

*：「原子力設備 2 次系配管肉厚の管理指針（PWR）」（平成2年5月）に従い、社内管理方法を定めたもの。

(3) 母管の内面からの腐食（全面腐食）〔原子炉補機冷却海水系統配管〕

原子炉補機冷却海水系統配管には海水が接するため、内部にライニングを施工しているが、ライニングのはく離等により海水が接した場合は、内面からの腐食が想定される。

しかしながら、開放点検（目視確認またはピンホール検査）を実施し、機器の健全性を維持している。

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

(4) 母管の外表面からの腐食（全面腐食）〔共通〕

炭素鋼配管は、外表面からの腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装等を施しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、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) フランジボルトの腐食（全面腐食）〔主蒸気系統配管、主給水系統配管、原子炉補機冷却水系統配管、原子炉補機冷却海水系統配管〕

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がたい。

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。

(6) 母管の内面からの腐食（全面腐食）〔原子炉補機冷却水系統配管〕

原子炉補機冷却水系統配管は炭素鋼配管であり、内面からの腐食が想定される。

しかしながら、原子炉補機冷却水系統配管については、内部流体がヒドラジン水（防錆材注入水）で腐食が発生しがたい環境であり、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がたい。

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。

(7) 母管の内面からの腐食（全面腐食）〔制御用空気系統配管〕

制御用空気系統配管は、炭素鋼配管であり、内面からの腐食が想定される。

しかしながら、内部流体は乾燥空気です腐食が発生しがたい環境であり、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がたい。

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。

(8) 小口径管台の高サイクル疲労割れ〔主蒸気系統配管、主給水系統配管、原子炉補機冷却水系統配管〕

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

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

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

(9) 温度計ウェルおよびサンプルノズルの高サイクル疲労割れ〔主蒸気系統配管、主給水系統配管、原子炉補機冷却水系統配管、原子炉補機冷却海水系統配管〕

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

しかしながら、伊方3号炉の温度計ウェルおよびサンプルノズルは、原子力安全・保安院指示文書「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の改正に伴う電気事業法に基づく定期事業者検査の実施について（平成17・12・22原院第6号 平成17年12月27日 NISA-163a-05-3）」に基づき「日本機械学会 配管内円柱状構造物の流力振動評価指針(JSME S 012-1998)」による評価を行い、問題とならないことを確認しており、同様な設計方針に基づき施設されているその他の箇所についても同様と考える。このような条件は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品および定期取替品

ガスケットは開放点検時に取替える消耗品であり、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(1/5) 伊方3号炉 主蒸気系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	母管		炭素鋼	△ ^{*1,2,3}							*1：流れ加速型腐食 *2：エロージョン *3：外面からの腐食 *4：高サイクル疲労割れ
	小口径管台		炭素鋼			▲ ^{*1}					
	温度計ウエル		ステンレス鋼			▲ ^{*1}					
	サンプルノズル		ステンレス鋼			▲ ^{*1}					
	フランジボルト		炭素鋼 低合金鋼	△							
ガスケット		◎	—								

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-1(2/5) 伊方3号炉 主給水系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	母管		炭素鋼		△ ^{*1,2,3}		○				*1：流れ加速型腐食 *2：エロージョン *3：外面からの腐食 *4：高サイクル疲労割れ
	小口径管台		炭素鋼 ステンレス鋼				▲ ^{*4}				
	温度計ウエル		ステンレス鋼				▲ ^{*4}				
	サンプルノズル		ステンレス鋼				▲ ^{*4}				
	フランジボルト		炭素鋼 低合金鋼			△					
	ガスケット	◎	—								

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-1 (3/5) 伊方3号炉 原子炉補機冷却水系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象								備考	
				減肉		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				
					△*1 ▲*2								
バウンダリの 維持	母管		炭素鋼										*1：外面からの腐食 *2：内面からの腐食 *3：高サイクル疲労 割れ
	小口径管台		炭素鋼			▲*3							
	温度計ウエル		ステンレス鋼			▲*3							
	フランジボルト		炭素鋼 低合金鋼		△								
	ガスケット	◎	—										

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-1(4/5) 伊方3号炉 制御用空気系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品 ・定期 取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	母管		炭素鋼		△ ^{*1} ▲ ^{*2}						*1：外面からの腐食 *2：内面からの腐食

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

表2.2-1(5/5) 伊方3号炉 原子炉補機冷却海水系統配管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		割れ		材質変化			その他
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化		
バウンダリの維持	母管		炭素鋼 (ライニンゲ)	△ ^{*1,2}							*1：外面からの腐食 *2：内面からの腐食 *3：高サイクル疲労割れ
	小口径管台		炭素鋼 (ライニンゲ)								
	温度計ウエル		銅合金			▲ ^{*3}					
	フランジボルト		炭素鋼	△							
	ガスケット	◎	—								

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

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 母管の疲労割れ〔主給水系統配管〕

a. 事象の説明

プラントの起動・停止時等に熱過渡を繰返し受けるため、疲労が蓄積することになる。

b. 技術評価

① 健全性評価

評価対象部位としては、原子炉格納容器貫通部から蒸気発生器給水管台までとした。

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

また、使用環境を考慮した疲労について、「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、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的に設定した過渡回数とした。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

表2.3-1 伊方3号炉 主給水系統配管の疲労評価に用いた過渡回数

運転状態Ⅰ

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度 末時点	運転開始後 60 年 時点での推定値
起動(温度上昇率55.6℃/h)	25	69
停止(温度下降率55.6℃/h)	25	69
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	164	843
負荷減少(負荷減少率5%/min)	157	836
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	5
定常負荷運転時の変動*1	-	-
0%から15%への負荷上昇	25	67
15%から0%への負荷減少	19	64
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年度 末時点	運転開始後 60 年 時点での推定値
負荷の喪失	4	7
外部電源喪失	1	5
1次冷却材流量の部分喪失	0	2
100%からの原子炉トリップ		
Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	1	8
Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2
Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴う トリップ	0	2
1次冷却系の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	3
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	0	2
2次系漏えい試験*2	21	61
タービン回転試験	5	5

*1：設計評価においては、1次冷却材温度は±1.7℃、1次冷却材圧力は±0.34MPaの変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

*2：1次系漏えい試験と同じ回数とした。

表2.3-2 伊方3号炉 主給水系統配管の疲労評価結果

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
主給水系統配管 (原子炉格納容器貫通部～ 蒸気発生器給水管台) (炭素鋼)	0.017	0.127

② 現状保全

母管の疲労割れに対しては、定期的に漏えい検査を実施し、健全性を確認している。さらに、高経年化技術評価に合わせて実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、疲労割れの発生の可能性はないと考える。ただし、疲労評価は実績過渡回数に依存するため、今後も実績過渡回数を把握し評価する必要がある。

また、疲労割れによる機器の健全性への影響は、漏えい検査により検知可能であり、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

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

3. 代表機器以外への展開

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

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

- ① タービングランド蒸気系統配管
- ② 抽気系統配管
- ③ 補助蒸気系統配管
- ④ 補助給水系統配管
- ⑤ 蒸気発生器ブローダウン系統配管
- ⑥ 復水系統配管
- ⑦ ドレン系統配管
- ⑧ 水消火設備系統配管
- ⑨ 気体廃棄物処理系統配管
- ⑩ 原子炉補機冷却水系統配管
- ⑪ タービン潤滑油・制御油系統配管

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3 1)または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。

3.1.1 母管の腐食（流れ加速型腐食）〔タービンランド蒸気系統配管、抽気系統配管、補助蒸気系統配管、蒸気発生器ブローダウン系統配管、復水系統配管、ドレン系統配管〕

高温水または2相流体を内包する炭素鋼配管では、エルボ部、分岐部、レジューサ部等の流れの乱れが起きる箇所では流れ加速型腐食により減肉が想定される。

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

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

また、美浜3号炉2次系配管破損事故（2004年8月）以降は、保安院指示文書「原子力発電工作物の保安のための点検、検査等に関する電気事業法施行規則の規定の解釈（内規）の制定について」（平成20・12・22原院第4号 NISA-163c-08-5）や日本機械学会の規格（加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NG1-2006およびJSME S NG1-2016））に定められた内容に従い、対象系統および部位や実施時期等の考え方を「2次系配管経年変化調査マニュアル*」に反映し、これに基づき配管減肉の管理を実施している。具体的には、「2次系配管肉厚検査計画*」に基づき、超音波を用いた肉厚測定を実施し、測定結果を検査装置からパソコンに取り込み、データベース化して管理している。

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

*：「原子力設備2次系配管肉厚の管理指針（PWR）」（平成2年5月）に従い、社内管理方法を定めたもの。

3.1.2 母管の腐食（エロージョン）〔ドレン系統配管、タービングランド蒸気系統配管〕

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

エロージョンによる減肉は、個々の肉厚測定結果による進展評価以外に正確に定量的な評価を行うことは困難であるため、配管の減肉管理については減肉の可能性のある箇所の肉厚測定を行い、減肉の有無、減肉率を判断し、寿命評価を実施することとしている。

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

また、美浜 3 号炉 2 次系配管破損事故（2004年8月）以降は、保安院指示文書「原子力発電工作物の保安のための点検、検査等に関する電気事業法施行規則の規定の解釈（内規）の制定について」（平成20・12・22原院第4号 NISA-163c-08-5）や日本機械学会の規格（加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NG1-2006およびJSME S NG1-2016））に定められた内容に従い、対象系統および部位や実施時期等の考え方を「2 次系配管経年変化調査マニュアル*」に反映し、これに基づき配管減肉の管理を実施している。具体的には、「2 次系配管肉厚検査計画*」に基づき、超音波を用いた肉厚測定を実施し、測定結果を検査装置からパソコンに取り込み、データベース化して管理している。

したがって、機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。*：「原子力設備 2 次系配管肉厚の管理指針（PWR）」（平成2年5月）に従い、社内管理方法を定めたもの。

3.1.3 母管の外側からの腐食（全面腐食）〔共通〕

炭素鋼配管は、外側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を施しており、塗膜等が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗膜等の状態を確認し、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。

3.1.4 母管の内側からの腐食（全面腐食）〔補助給水系統配管〕

補助給水系統配管は炭素鋼であり、内部流体が飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）水であることから、内側からの腐食が想定される。

しかしながら、系統の弁の分解点検時にあわせて内側を目視確認することで、機器の健全性を維持している。

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

3.1.5 母管の内側からの腐食（全面腐食）〔水消火設備系統配管〕

水消火設備系統配管は炭素鋼であり、内部流体が飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）水であることから、内側からの腐食が想定される。

しかしながら、系統の弁の分解点検時にあわせて内側を目視確認することで、機器の健全性を維持している。

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

3.1.6 母管の内側からの腐食（全面腐食）〔気体廃棄物処理系統配管〕

気体廃棄物処理系統配管は炭素鋼であり、内部流体に水分等も含まれていることから、内側からの腐食が想定される。

しかしながら、系統の弁の分解点検時にあわせて内側を目視確認することで、機器の健全性を維持している。

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

3.1.7 母管の内面からの腐食（全面腐食）〔原子炉補機冷却水系統配管、タービン潤滑油・制御油系統配管〕

原子炉補機冷却水系統配管およびタービン潤滑油・制御油系統配管は炭素鋼であり、内面からの腐食が想定される。

しかしながら、内部流体は窒素または油であり、腐食が発生しがたい環境にある。

また、系統の弁または機器の分解点検時等にあわせて内面を目視確認することで、機器の健全性を維持している。

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

3.1.8 フランジボルトの腐食（全面腐食）〔共通〕

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

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

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等により、機器の健全性を確認している。

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

3.1.9 小口径管台の高サイクル疲労割れ〔補助給水系統配管、主給水系統配管〕

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

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

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

3.1.10 温度計ウェルの高サイクル疲労割れ〔ドレン系統配管〕

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

しかしながら、伊方3号炉の温度計ウェルは、原子力安全・保安院指示文書「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の改正に伴う電気事業法に基づく定期事業者検査の実施について（平成17・12・22原院第6号 平成17年12月27日 NISA-163a-05-3）」に基づき「日本機械学会 配管内円柱状構造物の流力振動評価指針(JSME S 012-1998)」による評価を行い、問題としないことを確認しており、同様な設計方針に基づき施設されているその他の箇所についても同様と考える。このような条件は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

4 1次冷却材管

[対象機器]

- ① 1次冷却材管

目次

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

1. 技術評価対象機器

伊方3号炉で使用されている1次冷却材管の主な仕様を表1-1に示す。

表1-1 伊方3号炉 1次冷却材管の主な仕様

機器名称	重要度*1	使用条件		
		運転状態	最高使用圧力 (MPa[gage])	最高使用温度 (°C)
1次冷却材管	PS-1、重*2	連続	約17.2	約343

*1：機能は最上位の機能を示す。

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

2. 1次冷却材管の技術評価

2.1 構造、材料および使用条件

2.1.1 1次冷却材管

(1) 構造

1次冷却材管は原子炉容器、蒸気発生器および1次冷却材ポンプ相互を連絡し、循環回路を形成している。

1次冷却材管は直管部とエルボ部からなる母管と母管に取り付けられた複数の管台および温度計ウェル等から構成されている。

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

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

(2) 材料および使用条件

伊方3号炉の1次冷却材管の使用材料および使用条件を表2.1-1および表2.1-2に示す。

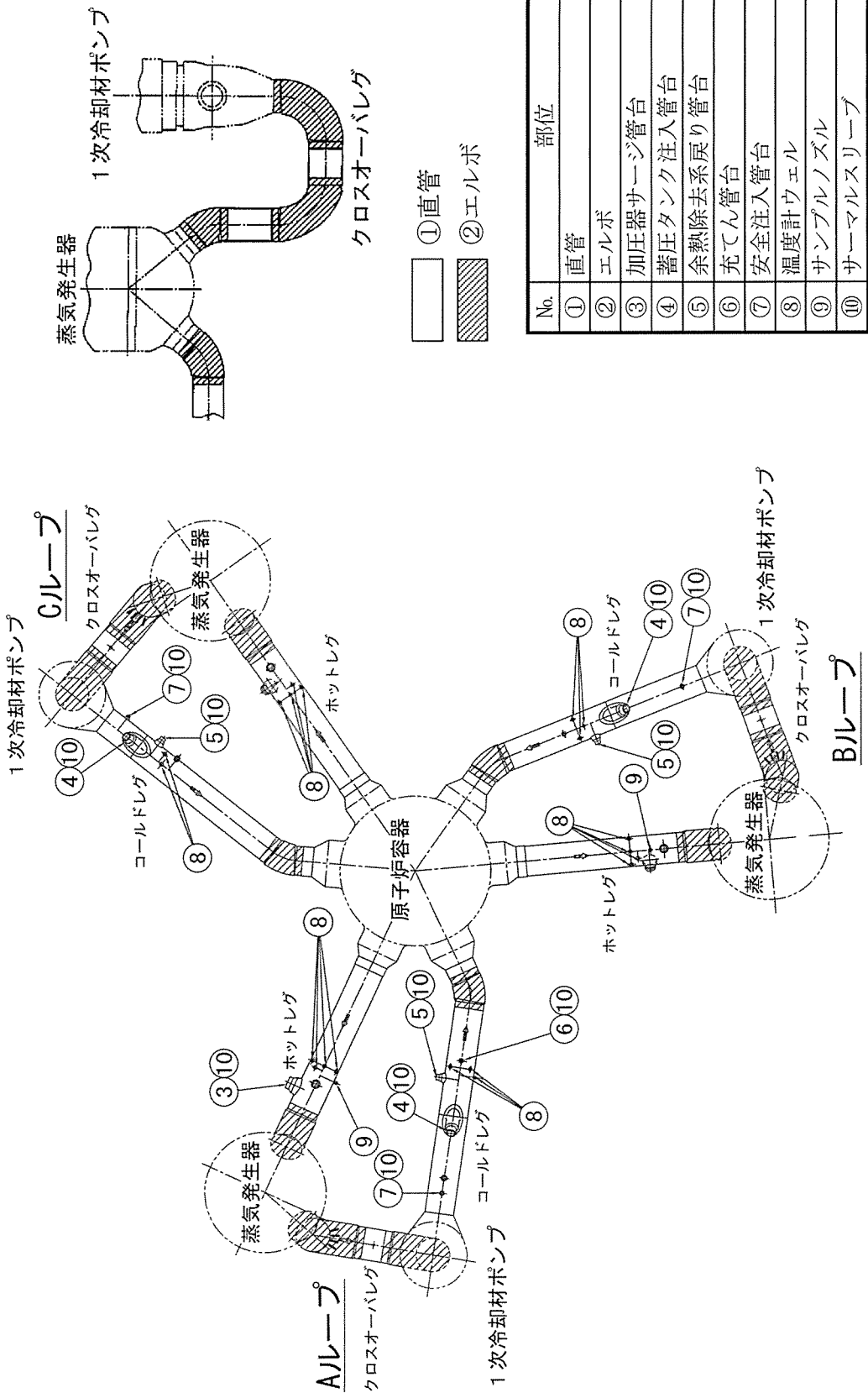


図2.1-1 伊方3号炉 1次冷却材管配置図

表2.1-1 伊方3号炉 1次冷却材管の使用材料

部位		材料
母管	直管	ステンレス鋼鋳鋼
	エルボ	ステンレス鋼鋳鋼
管台	加圧器サージ管台	ステンレス鋼
	蓄圧タンク注入管台	ステンレス鋼
	余熱除去系戻り管台	ステンレス鋼
	充てん管台	ステンレス鋼
	安全注入管台	ステンレス鋼
温度計ウェル		ステンレス鋼
サンプルノズル		ステンレス鋼
サーマルスリーブ		ステンレス鋼

表2.1-2 伊方3号炉 1次冷却材管の使用条件

最高使用圧力	約17.2MPa[gage]
最高使用温度	約343℃
一次冷却材流量	約4.57×10 ⁴ t/h
内部流体	1次冷却材

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

1 次冷却材管の機能である耐圧機能を維持するためには、次の項目が必要である。

① バウンダリの維持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

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

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

(1) 母管および管台の疲労割れ

プラントの起動・停止時等に発生する 1 次冷却材の温度、圧力、流量変化による応力変動によって、材料に疲労が蓄積することから、経年劣化に対する評価が必要である。

(2) 母管の熱時効

母管に使用しているステンレス鋼は、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△または▲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、また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)または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) 母管および管台の応力腐食割れ

母管（原子炉容器および蒸気発生器と接続するセーフエンドの溶接部を含む）および管台はステンレス鋼鋳鋼またはステンレス鋼を使用しており応力腐食割れが想定される。

しかしながら、定期検査時に飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）の流体が流入する際は流体温度が低い（最高でも80℃程度）ため、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

また、定期検査後のプラント起動時には1次冷却材中の溶存酸素濃度低減のための運転操作を実施するため、高温（100℃以上）で使用する場合は溶存酸素濃度が0.1ppm以下に低減された流体となっていることから応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

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

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

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

(2) 温度計ウェルおよびサンプルノズルの高サイクル疲労割れ

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

しかしながら、伊方3号炉の温度計ウェルおよびサンプルノズルは、原子力安全・保安院指示文書「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の改正に伴う電気事業法に基づく定期事業者検査の実施について（平成17・12・22原院第6号 平成17年12月27日 NISA-163a-05-3）」に基づき「日本機械学会 配管内円柱状構造物の流力振動評価指針(JSME S 012-1998)」による評価を行い、問題とならないことを確認している。このような条件は経年的に変化するものではないことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) サーマルスリーブの高サイクル疲労割れ

1981年7月、大飯2号炉の2点溶接タイプのサーマルスリーブで流体振動による高サイクル疲労割れが発生しているが、伊方3号炉のサーマルスリーブは全て全周溶接タイプ（図2.2-1）であり、2点溶接タイプに比べて発生応力が十分小さいことから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

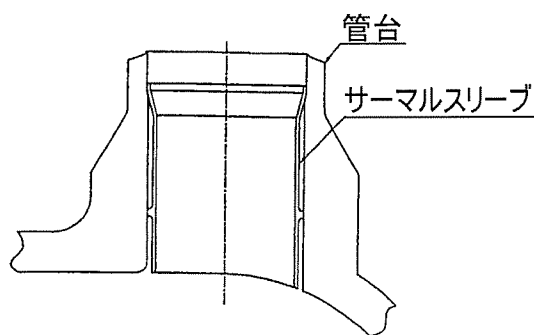


図2.2-1 サーマルスリーブ概念図

(4) 温度計ウェル等の応力腐食割れ

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

しかしながら、定期検査時に飽和溶存酸素濃度（最大約8ppm）の流体が流入する際は流体温度が低い（最高でも80℃程度）ため、応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

また、定期検査後のプラント起動時には1次冷却材中の溶存酸素濃度低減のための運転操作を実施するため、高温（100℃以上）で使用する場合は溶存酸素濃度が0.1ppm以下に低減された流体となっていることから応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

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

表2.2-1 伊方3号炉 1次冷却材管に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		割れ		材質変化		その他		
				摩耗	腐食	疲労割れ	応力腐食割れ	熱時効	劣化			
												○
バウンダリの維持	直管		ステンレス鋼			○	△	○				*1：高サイクル疲労割れ
	エルボ		ステンレス鋼			○	△	○				
	加圧器サージ管台		ステンレス鋼			○	△					
	蓄圧タンク注入管台		ステンレス鋼			○	△					
	余熱除去系戻り管台		ステンレス鋼			○	△					
	充てん管台		ステンレス鋼			○	△					
	安全注入管台		ステンレス鋼			○	△					
	温度計ウエル		ステンレス鋼			▲*1	▲					
	サンプルノズル		ステンレス鋼			▲*1	▲					
	サーマルスリーブ		ステンレス鋼			▲*1	▲					

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 母管および管台の疲労割れ

a. 事象の説明

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

b. 技術評価

① 健全性評価

母管および管台の健全性評価にあたっては、「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。

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

評価点を図2.3-1に、疲労評価に用いた過渡回数を表2.3-1に示す。なお、2019年度末までの運転実績に基づき推定した2020年度以降の評価対象期間での推定過渡回数を包含し、より保守的に設定した過渡回数とした。

評価結果を表2.3-2に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

表2.3-1 伊方3号炉 1次冷却材管の疲労評価に用いた過渡回数
(ホットレグ、コールドレグ、クロスオーバーレグ、管台)

運転状態 I

過渡項目	運転実績に基づく過渡回数	
	2019年度 末時点	運転開始後 60 年 時点での推定値
起動(温度上昇率55.6°C/h)	25	69
停止(温度下降率55.6°C/h)	25	69
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	164	843
負荷減少(負荷減少率5%/min)	157	836
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	5
定常負荷運転時の変動*1	—	—
燃料交換	16	69
0%から15%への負荷上昇	25	67
15%から0%への負荷減少	19	64
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年度 末時点	運転開始後 60 年 時点での推定値
負荷の喪失	4	7
外部電源喪失	1	5
1次冷却材流量の部分喪失	0	2
100%からの原子炉トリップ		
Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	1	8
Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2
Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴う トリップ	0	2
1次冷却系の異常な減圧	0	2
制御棒クラスタの落下	0	3
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	0	2
タービン回転試験	5	5
1次系漏えい試験	21	61

*1：設計評価においては、1次冷却材温度は±1.7°C、1次冷却材圧力は±0.34MPa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 伊方3号炉 1次冷却材管の疲労評価結果

評価対象部位 (使用材料)	評価点	疲労累積係数 (許容値：1以下)	
		設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
ホットレグ (ステンレス鋼鋳鋼)	図2.3-1	0.001	0.008
クロスオーバレグ (ステンレス鋼鋳鋼)		0.002	0.010
コールドレグ (ステンレス鋼鋳鋼)		0.001	0.005
加圧器サージ管台 (ステンレス鋼)		0.031	0.163
蓄圧タンク注入管台 (ステンレス鋼)		0.008	0.031
余熱除去系戻り管台 (ステンレス鋼)		0.001	0.001
充てん管台 (ステンレス鋼)		0.003	0.024
安全注入管台 (ステンレス鋼)		0.013	0.045

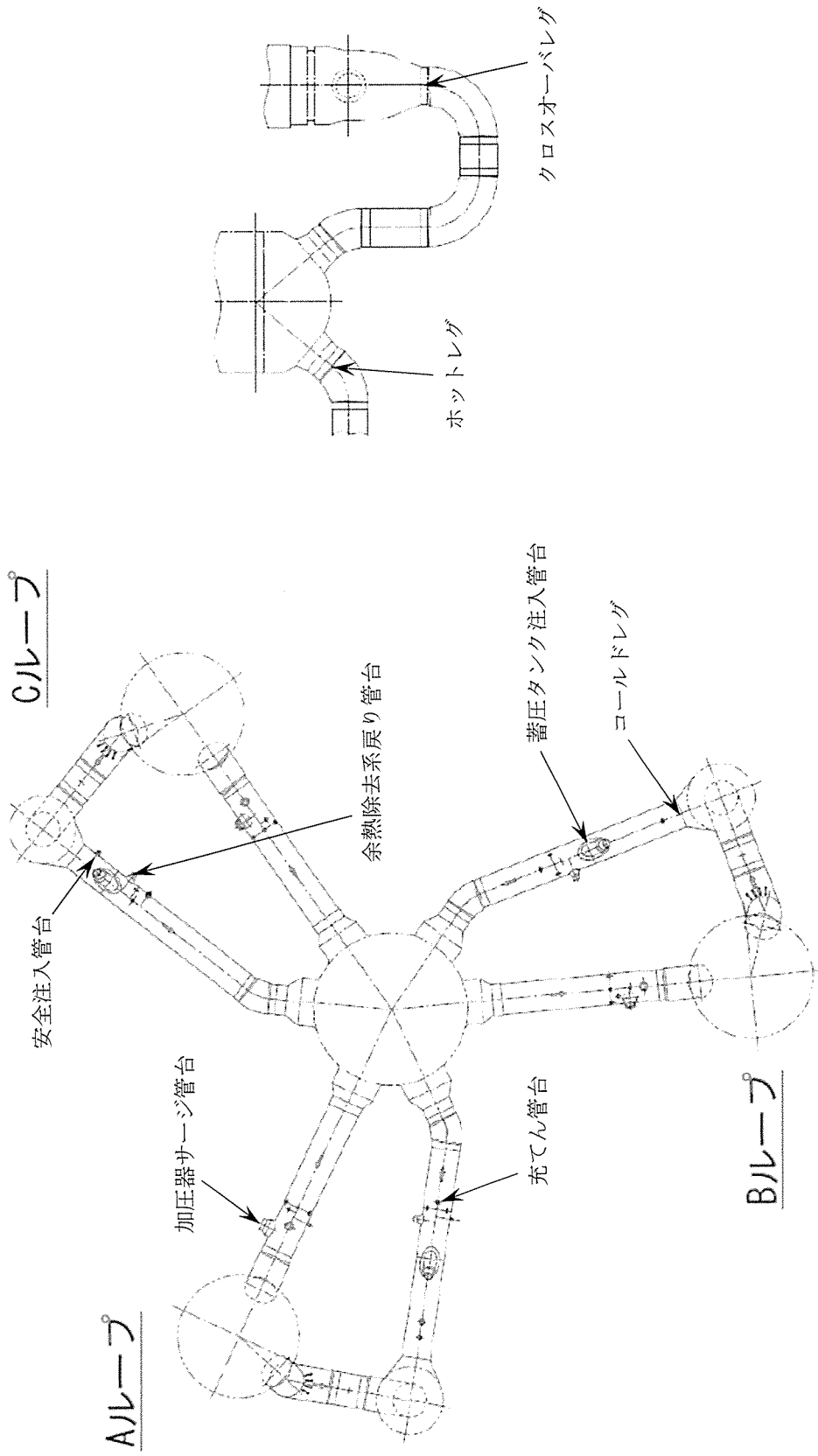


図2.3-1 伊方3号炉 1次冷却材管の疲労評価点

② 現状保全

母管および管台の疲労割れに対しては、定期的に溶接部の超音波探傷検査または浸透探傷検査を実施し、有意な欠陥のないことを確認している。また、定期的に漏えい検査を実施し、健全性を確認している。さらに、高経年化技術評価に合わせて実績過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、疲労割れ発生の可能性はないと考える。ただし、疲労評価は実績過渡回数に依存するため、今後も実績過渡回数を把握し評価する必要がある。

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

c. 高経年化への対応

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

2.3.2 母管の熱時効

a. 事象の説明

母管に使用しているステンレス鋼鋳鋼は、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、高温での長期の使用に伴い、時間とともにフェライト相内でより安定な組織形態へ移行しようとし、相分離が起こることにより、靱性の低下等、材料特性変化を起こす。

b. 技術評価

① 健全性評価

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

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

初期亀裂については、「日本電気協会 原子力発電所配管破損防護設計技術指針 (JEAG 4613-1998)」を準用し設定している。また、熱時効後の材料試験データを見ても延性安定亀裂成長が認められるため、弾塑性破壊力学的解析手法に基づき評価を行った。

熱時効による靱性低下への影響は、フェライト量が多いほど大きくなる。また、使用条件としては、応力が大きいほど厳しくなることから、1次冷却材管として使用されているステンレス鋼鋳鋼の部位で、応力が最も大きいホットレグ直管とフェライト量^{*1}が最も多く、エルボで応力が高くなると考えられるSG入口50°エルボを評価部位として選定した。

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

具体的には、伊方3号炉評価対象部位の熱時効後の材料の亀裂進展抵抗^{*2}(J_{mat})と構造系に作用する応力(重大事故等時^{*3}+地震動による荷重)から算出される亀裂進展力(J_{app})を求めてその比較を行った。なお、供用状態A、Bの破壊力学評価結果は、より評価が厳しくなる重大事故等時の評価結果に包含される。

その結果、図2.3-2に示すように、運転開始後60年時点までの疲労亀裂進展

長さを考慮した評価用亀裂^{*1}を想定しても、材料のJmatとJappの交点においてJmatの傾きがJappの傾きを上回ることから^{*5}、配管は不安定破壊することではなく、健全性評価上問題とならないと判断する。

*1：フェライト量は、製造時記録の材料成分を用いて「Standard Practice for Steel Casting, Austenitic Alloy, Estimating Ferrite Content Thereof (ASTM A800/A800M-14)」に示される線図により決定した。

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

*3：重大事故等時におけるプラント条件(ピーク温度360℃、ピーク圧力18.5MPa)を考慮した。

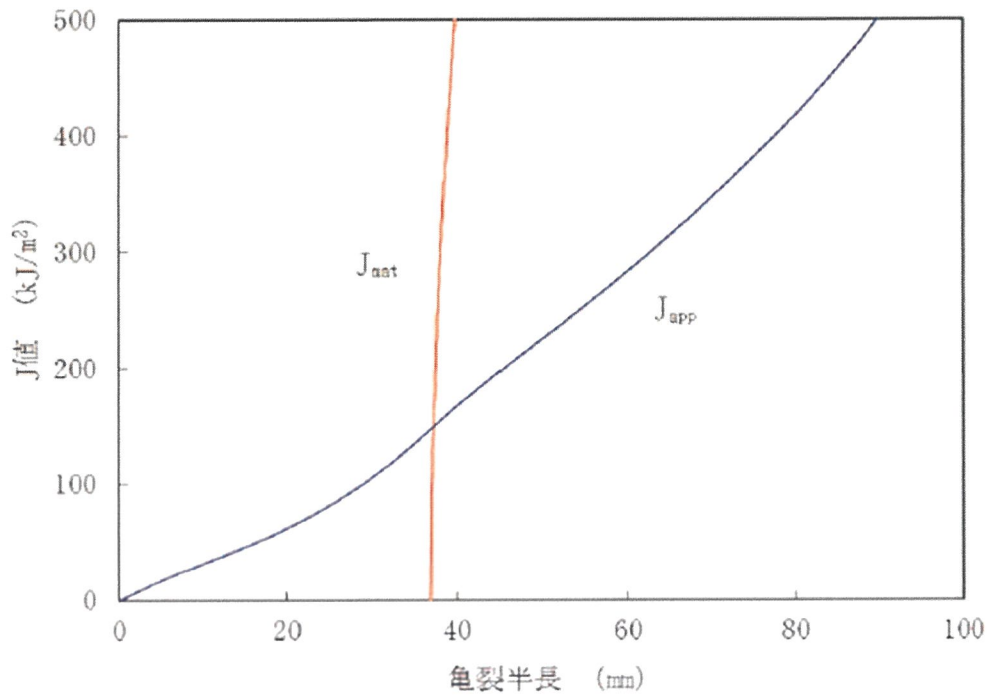
*4：表2.3-1に示す運転過渡および地震動による運転開始後60年時点までの疲労亀裂の進展を考慮しても、当該亀裂は配管を貫通しない評価結果となったが、その後の弾塑性破壊力学解析においては、解析の簡便性のため、保守的に貫通亀裂を想定した。

*5：初期亀裂の想定、亀裂進展、貫通亀裂の想定および亀裂進展力は「日本電気協会 原子力発電所配管破損防護設計技術指針(JEAG 4613-1998)」の評価手法に準拠した。そのため、亀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。

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

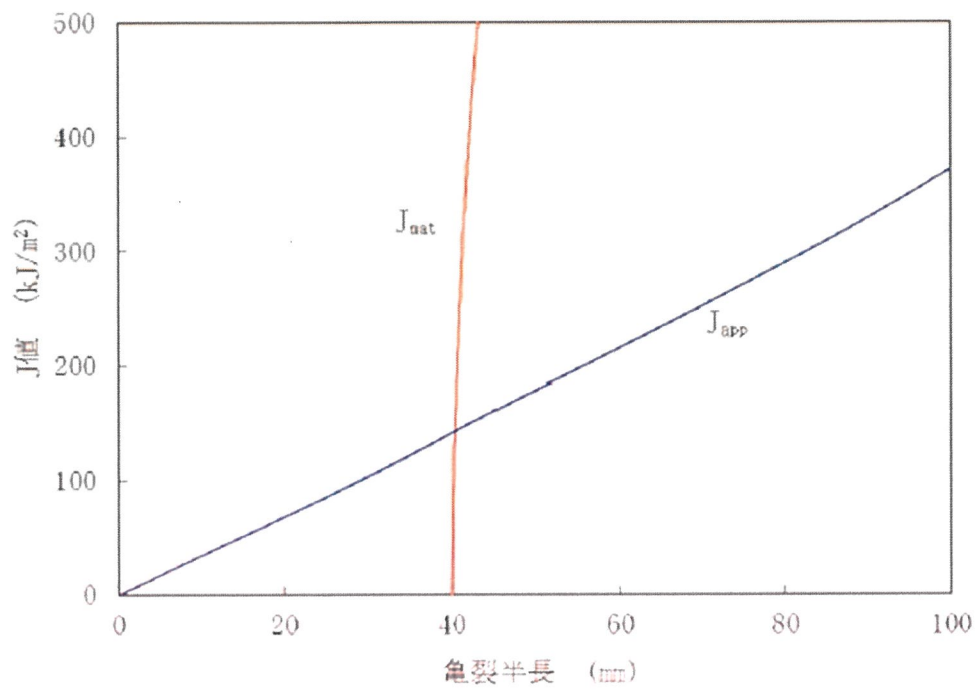
評価部位	フェライト量 (%)	使用温度 (℃)	応力 (MPa)
1次冷却材管 (ホットレグ直管)	約10.1 ^{*1}	約321	約194
1次冷却材ポンプケーシング (吐出ノズル)	約12.4	約284	約119

*1：1次冷却材管(ホットレグ直管)のフェライト量は約10.1%であるが、保守的に厳しい値である約12.4%とした場合の評価も実施した。



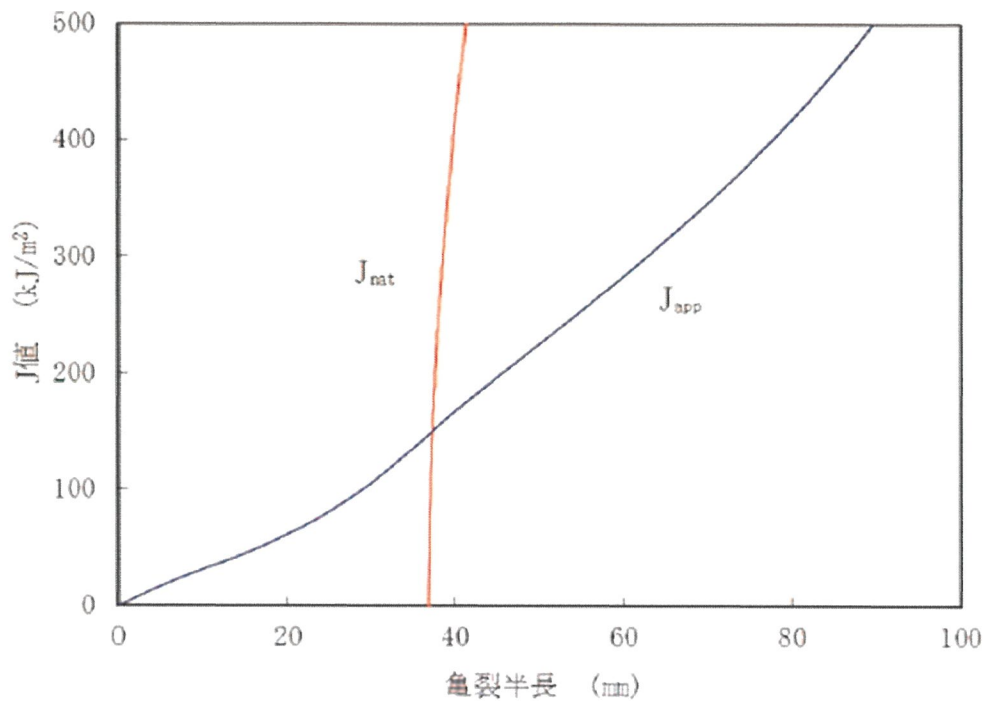
ホットレグ直管

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



SG 入口 50° エルボ

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



ホットレグ直管（フェライト量を約12.4%とした場合）

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

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

② 現状保全

母管の熱時効に対しては、定期的に溶接部の超音波探傷検査を実施し、評価で想定した亀裂のないことを確認している。また、定期的に漏えい検査を実施し、健全性を確認している。

③ 総合評価

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

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

c. 高経年化への対応

母管の熱時効については、現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

5 配管サポート

[対象機器]

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

目次

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

1. 技術評価対象機器

伊方3号炉で使用されている配管サポートの主な仕様を表1-1に示す。

これらの配管サポートについては、型式毎に各々対象とした。

表1-1 伊方3号炉 配管サポートの主な仕様

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

2. 配管サポートの技術評価

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

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

2.1 構造および材料

2.1.1 アンカー

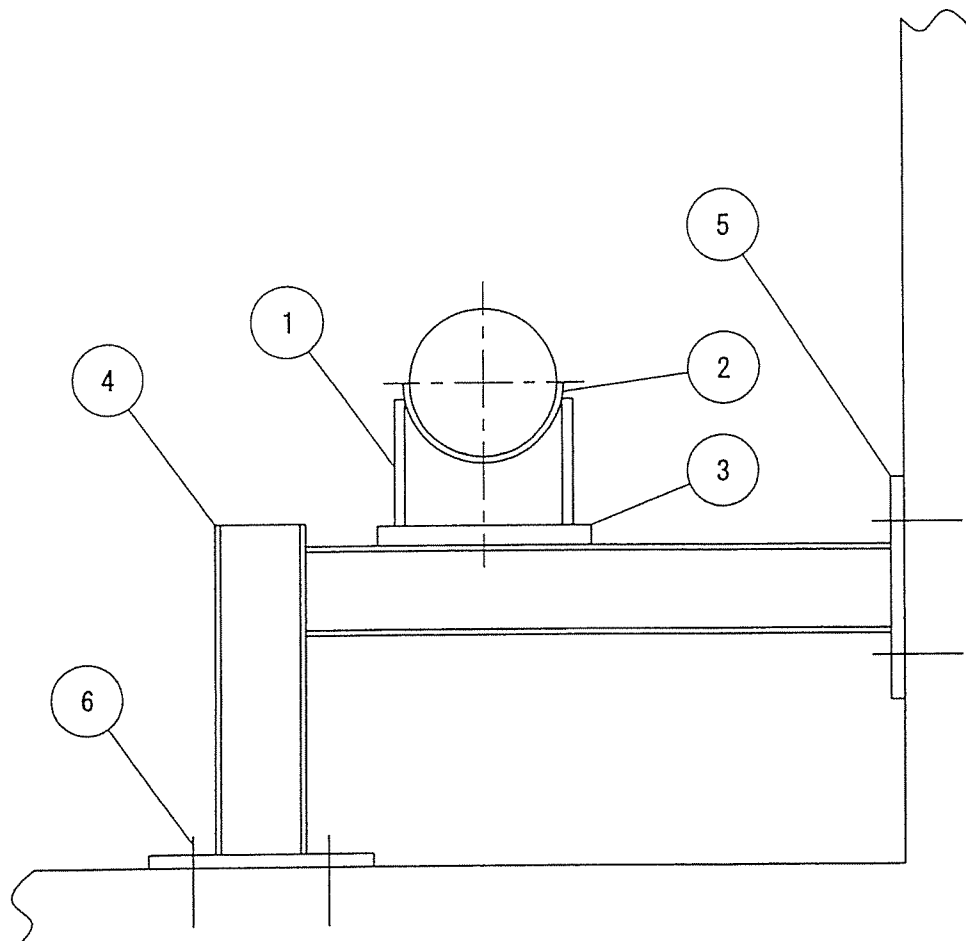
(1) 構造

アンカーは、配管の全方向の変位および全方向のモーメントを拘束する構造である。

伊方3号炉のアンカーの構造図（概念図）を図2.1-1に示す。

(2) 材料

伊方3号炉のアンカー主要部位の使用材料を表2.1-1に示す。



No.	部位
①	ラグ
②	パッド
③	プレート
④	鋼材
⑤	ベースプレート
⑥	基礎ボルト

図2.1-1 伊方3号炉 配管サポート アンカー構造図 (概念図)

表2.1-1 伊方3号炉 配管サポート アンカー主要部位の使用材料

部位	材料
ラグ	炭素鋼
パッド	ステンレス鋼 炭素鋼
プレート	炭素鋼
鋼材	炭素鋼
ベースプレート	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
基礎ボルト (ケミカルアンカ)	炭素鋼 樹脂

2.1.2 Uバンド

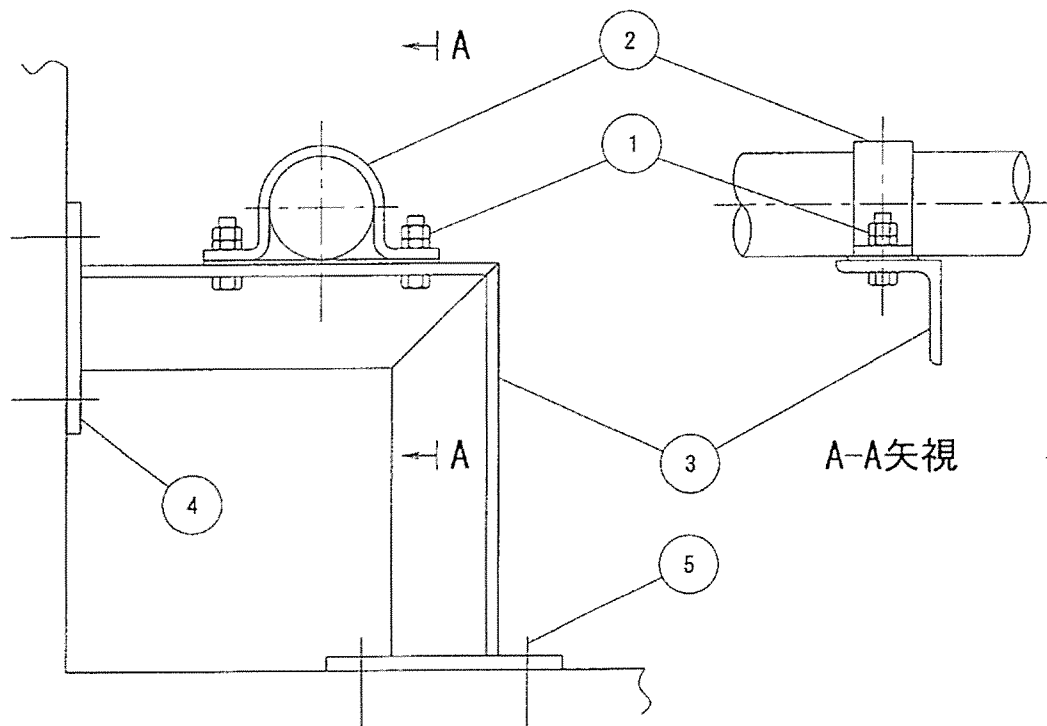
(1) 構造

Uバンドは、配管の全方向の変位を拘束する構造である。

伊方3号炉のUバンドの構造図（概念図）を図2.1-2に示す。

(2) 材料

伊方3号炉のUバンド主要部位の使用材料を表2.1-2に示す。



No.	部位
①	ボルト、ナット
②	Uバンド本体
③	鋼材
④	ベースプレート
⑤	基礎ボルト

図2.1-2 伊方3号炉 配管サポート Uバンド構造図 (概念図)

表2.1-2 伊方3号炉 配管サポート Uバンド主要部位の使用材料

部位	材料
ボルト、ナット	ステンレス鋼 炭素鋼
Uバンド本体	ステンレス鋼 炭素鋼
鋼材	炭素鋼
ベースプレート	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
基礎ボルト (ケミカルアンカ)	炭素鋼 樹脂

2.1.3 Uボルト

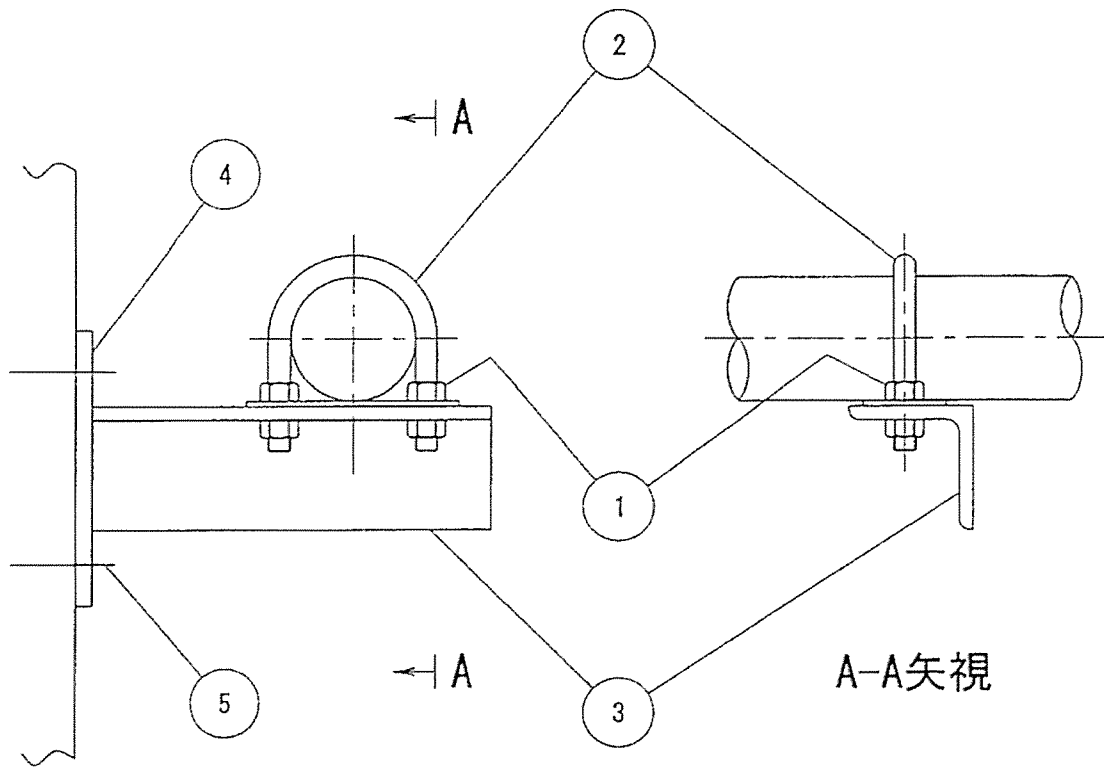
(1) 構造

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

伊方3号炉のUボルトの構造図（概念図）を図2.1-3に示す。

(2) 材料

伊方3号炉のUボルト主要部位の使用材料を表2.1-3に示す。



No.	部位
①	ナット
②	Uボルト本体
③	鋼材
④	ベースプレート
⑤	基礎ボルト

図2.1-3 伊方3号炉 配管サポート Uボルト構造図 (概念図)

表2.1-3 伊方3号炉 配管サポート Uボルト主要部位の使用材料

部位	材料
ナット	ステンレス鋼 炭素鋼
Uボルト本体	ステンレス鋼 炭素鋼
鋼材	炭素鋼
ベースプレート	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
基礎ボルト (ケミカルアンカ)	炭素鋼 樹脂

2.1.4 スライドサポート

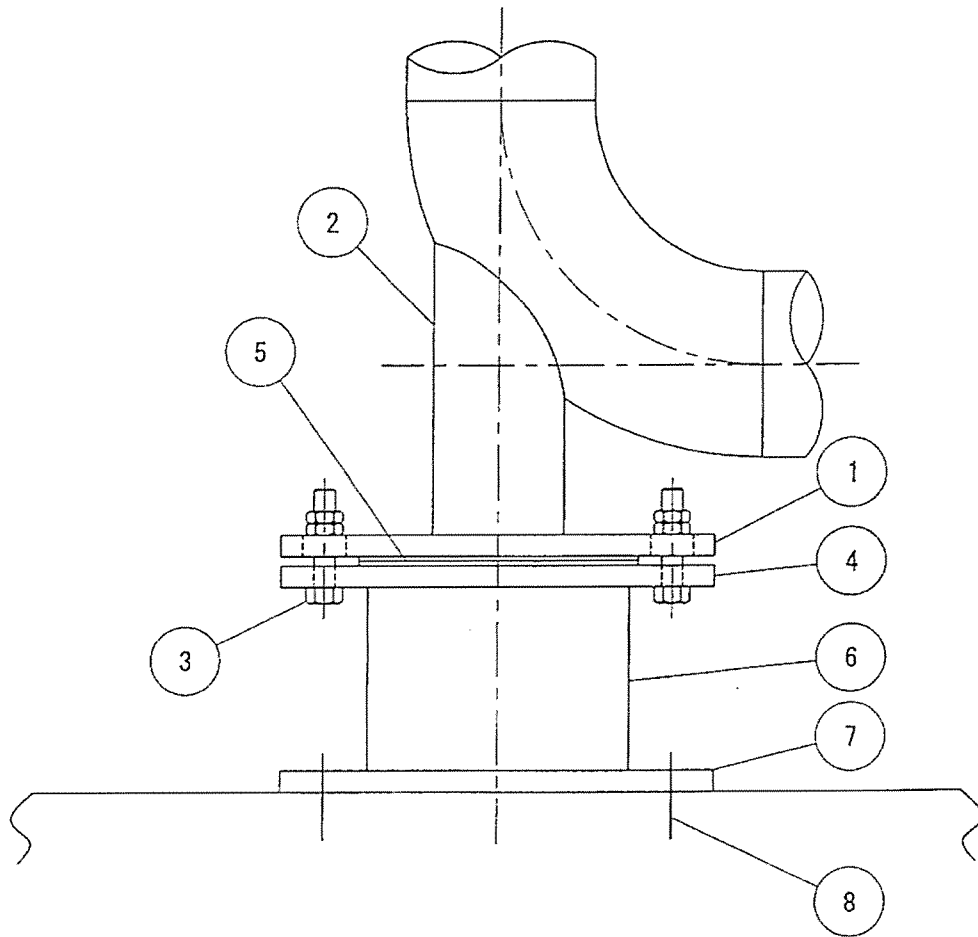
(1) 構造

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

伊方3号炉のスライドサポートの構造図（概念図）を図2.1-4に示す。

(2) 材料

伊方3号炉のスライドサポート主要部位の使用材料を表2.1-4に示す。



No.	部位
①	上部プレート
②	ラグ
③	ボルト、ナット
④	下部プレート
⑤	スライドプレート
⑥	鋼材
⑦	ベースプレート
⑧	基礎ボルト

図2.1-4 伊方3号炉 配管サポート スライドサポート構造図 (概念図)

表2.1-4 伊方3号炉 配管サポート スライドサポート主要部位の使用材料

部位	材料
上部プレート	炭素鋼
ラグ	炭素鋼
ボルト、ナット	炭素鋼
下部プレート	炭素鋼
スライドプレート	ステンレス鋼 炭素鋼 + テフロン
鋼材	炭素鋼
ベースプレート	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
基礎ボルト (ケミカルアンカ)	炭素鋼 樹脂

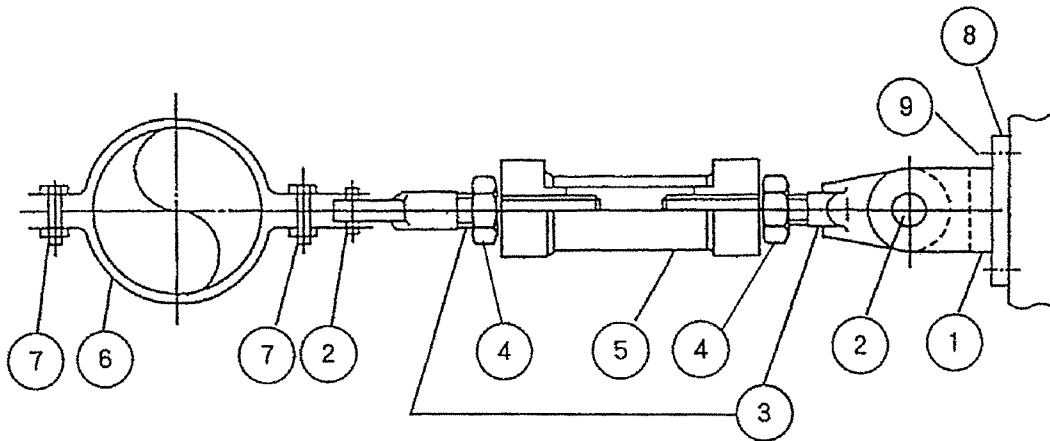
2.1.5 レストレイント

(1) 構造

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

(2) 材料

伊方3号炉のレストレイント主要部位の使用材料を表2.1-5に示す。



No.	部位
①	ブラケット
②	ピン
③	スphericalアイボルト
④	アジャストナット
⑤	パイプ
⑥	パイプクランプ
⑦	ボルト、ナット
⑧	ベースプレート
⑨	基礎ボルト

図2.1-5 伊方3号炉 配管サポート レストレイント構造図 (概念図)

表2.1-5 伊方3号炉 配管サポート レストレイント主要部位の使用材料

部位	材料
ブラケット	炭素鋼
ピン	炭素鋼
スヘリカルアイボルト	炭素鋼
アジャストナット	炭素鋼
パイプ	炭素鋼
パイプクランプ	炭素鋼 ステンレス鋼
ボルト、ナット	炭素鋼
ベースプレート	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
基礎ボルト (ケミカルアンカ)	炭素鋼 樹脂

2.1.6 スプリングハンガ

(1) 構造

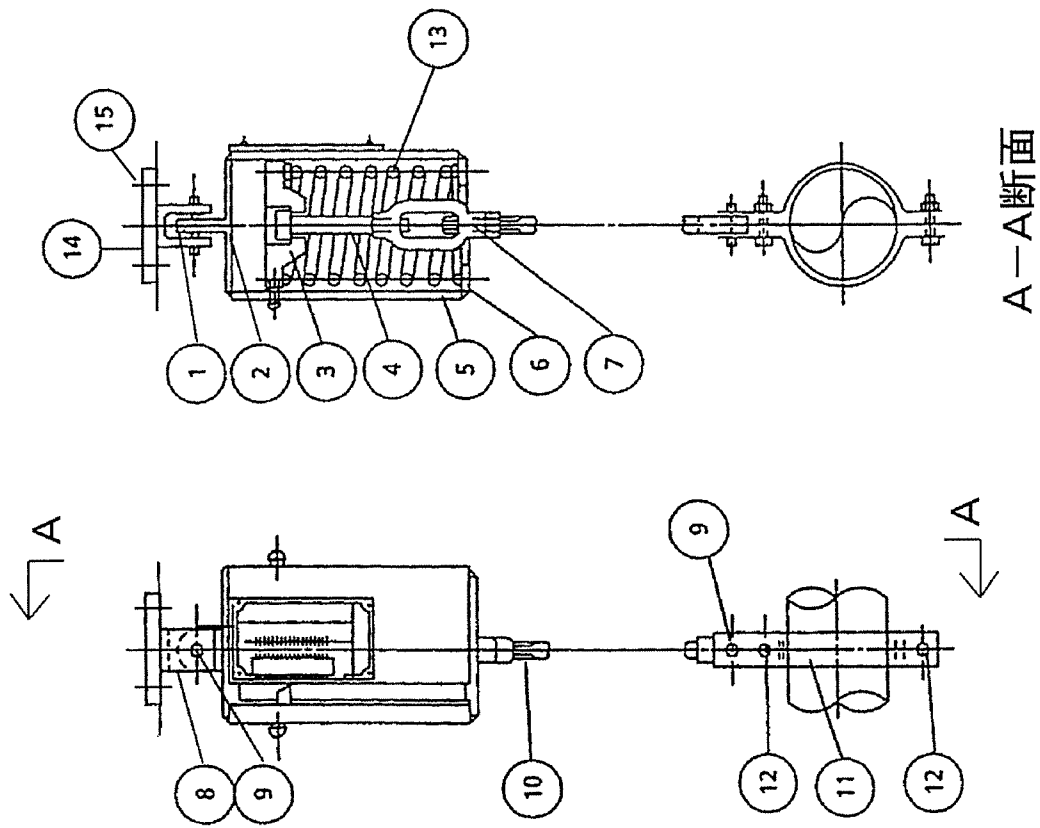
スプリングハンガは、配管自重を支持する構造である。

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

伊方3号炉のスプリングハンガの構造図（概念図）を図2.1-6に示す。

(2) 材料

伊方3号炉のスプリングハンガ主要部位の使用材料を表2.1-6に示す。



No.	部位
①	イヤ
②	上部カバー
③	ピストンプレート
④	ハンガーロッド
⑤	スプリングケース
⑥	下部カバー
⑦	ターンバツクル
⑧	クレビスブラケット
⑨	ピン
⑩	アイボルト
⑪	パイプクランプ
⑫	ボルト、ナット
⑬	ばね
⑭	埋込金物
⑮	基礎ボルト

図2.1-6 伊方3号炉 配管サポート スプリングハンガ構造図 (概念図)

表2.1-6 伊方3号炉 配管サポート スプリングハンガ主要部位の使用材料

部位	材料
イヤ	炭素鋼
上部カバー	炭素鋼
ピストンプレート	炭素鋼
ハンガーロッド	炭素鋼
スプリングケース	炭素鋼
下部カバー	炭素鋼
ターンバックル	炭素鋼
クレビスブラケット	炭素鋼
ピン	炭素鋼 ステンレス鋼
アイボルト	炭素鋼
パイプクランプ	炭素鋼 ステンレス鋼
ボルト、ナット	炭素鋼
ばね	ばね鋼 ばね用オイルテンパー線
ベースプレート	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼

2.1.7 オイルスナバ

(1) 構造

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

伊方3号炉のオイルスナバの構造図（概念図）を図2.1-7に示す。

(2) 材料

伊方3号炉のオイルスナバ主要部位の使用材料を表2.1-7に示す。

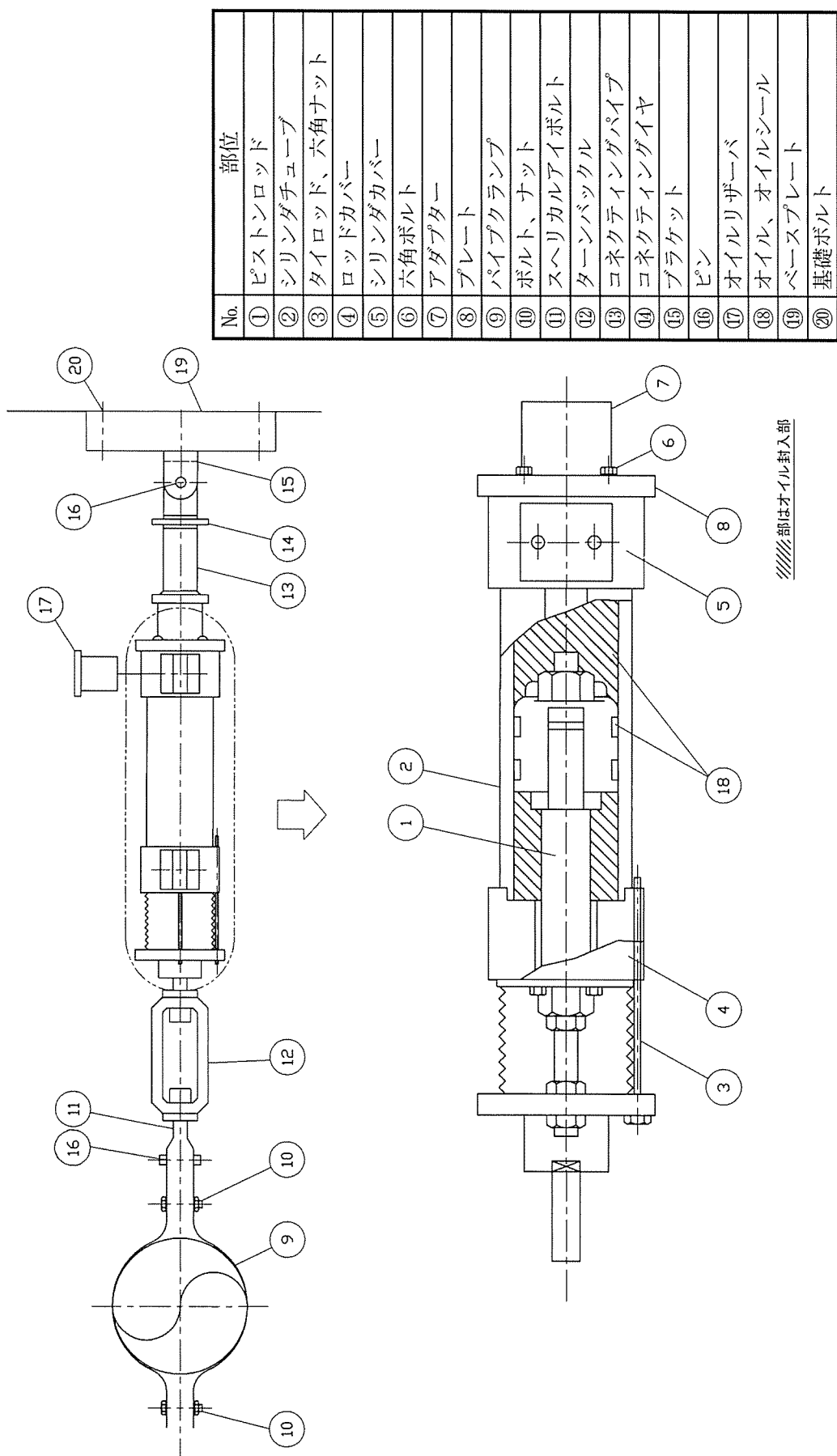


図2.1-7 伊方3号炉 配管サポート オイルスナバ構造図 (概念図)

表2.1-7 伊方3号炉 配管サポート オイルスナバ主要部位の使用材料

部位	材料
ピストンロッド	炭素鋼
シリンダチューブ	炭素鋼
タイロッド、六角ナット	炭素鋼
ロッドカバー	炭素鋼
シリンダカバー	炭素鋼
六角ボルト	低合金鋼
アダプター	炭素鋼
プレート	炭素鋼
パイプクランプ	炭素鋼
ボルト、ナット	炭素鋼
スヘリカルアイボルト	炭素鋼
ターンバックル	炭素鋼
コネクティングパイプ	炭素鋼
コネクティングイヤ	炭素鋼
ブラケット	炭素鋼
ピン	炭素鋼
オイルリザーバ	ステンレス鋼
オイル	消耗品・定期取替品
オイルシール	消耗品・定期取替品
ベースプレート	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼

2.1.8 メカニカルスナバ

(1) 構造

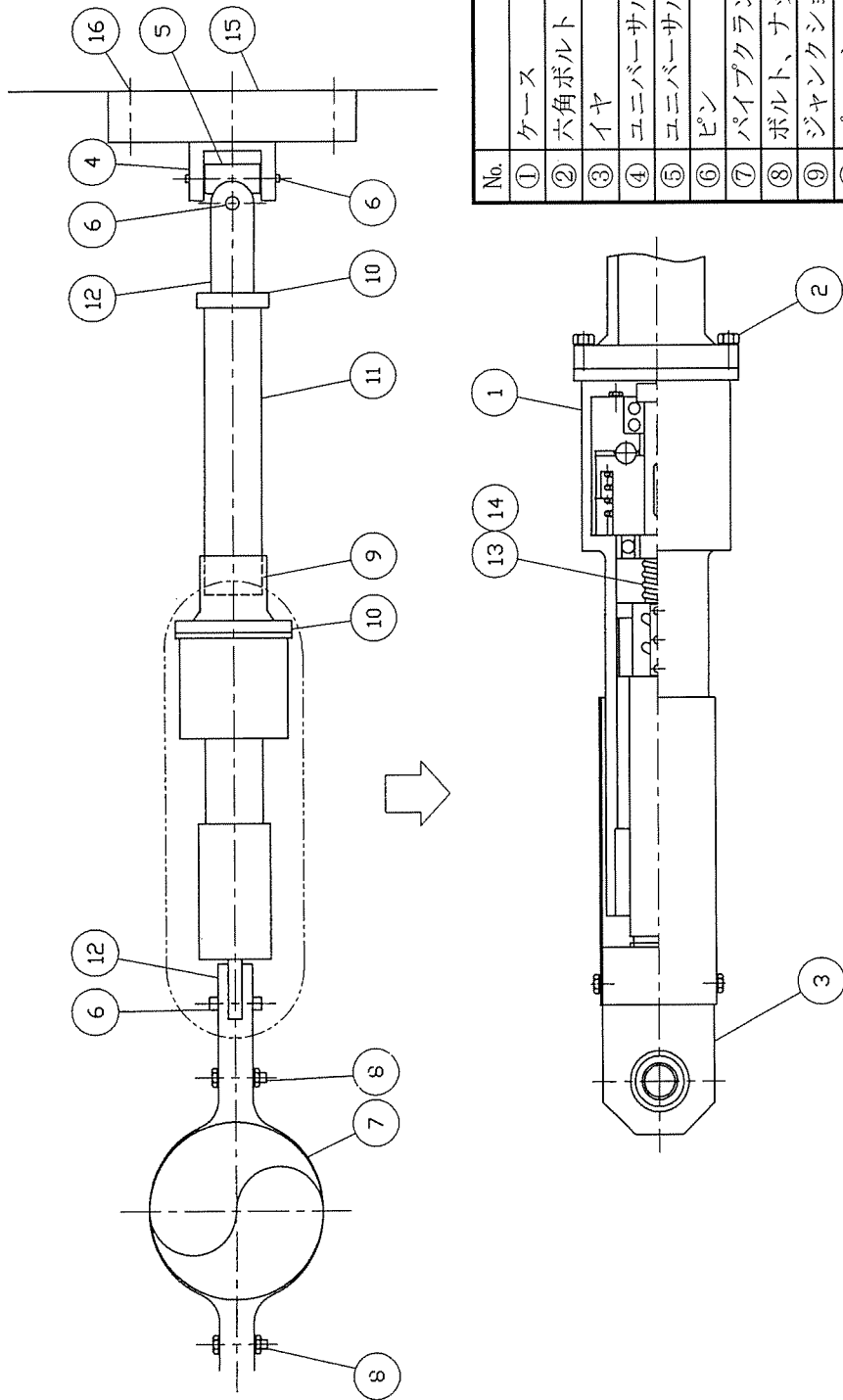
メカニカルスナバは、地震時に、配管の特定1方向の変位を拘束する構造である。

機構は全て機械的な部位で構成されており、ボールナットにより往復運動（地震時の変位）を回転運動に変換することで抵抗力を発生する。

伊方3号炉のメカニカルスナバの構造図（概念図）を図2.1-8に示す。

(2) 材料

伊方3号炉のメカニカルスナバ主要部位の使用材料を表2.1-8に示す。



No.	部位
①	ケース
②	六角ボルト
③	イヤ
④	ユニバーサルブラケット
⑤	ユニバーサルボックス
⑥	ピン
⑦	パイプクランプ
⑧	ボルト、ナット
⑨	ジャンクションコラムアダプター
⑩	プレート
⑪	コネクティングチューブ
⑫	ブラケット
⑬	ボールネジ、ボールナット
⑭	グリス
⑮	ベースプレート
⑯	基礎ボルト

図2.1-8 伊方3号炉 配管サポート メカニカルスナバ構造図 (概念図)

表2.1-8 伊方3号炉 配管サポート メカニカルスナバ主要部位の使用材料

部位	材料
ケース	炭素鋼
六角ボルト	低合金鋼
イヤ	炭素鋼
ユニバーサルブラケット	炭素鋼
ユニバーサルボックス	炭素鋼
ピン	炭素鋼
パイプクランプ	炭素鋼 ステンレス鋼
ボルト、ナット	炭素鋼
ジャンクションコラムアダプター	炭素鋼
プレート	炭素鋼
コネクティングチューブ	炭素鋼
ブラケット	炭素鋼
ボールネジ、ボールナット	低合金鋼
グリス	シリコン系オイル
ベースプレート	炭素鋼
埋込金物	炭素鋼
基礎ボルト	炭素鋼
基礎ボルト (ケミカルアンカ)	炭素鋼 樹脂

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

配管サポートとしての機能を維持するためには、次の項目が必要である。

① 配管支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

配管サポート個々について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料および現在までの運転経験を考慮し、型式毎に表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) ラグとプレートの溶接部等のサポート取付部の疲労割れ [アンカー、スライドサポート、レストレイント]

配管熱変位の拘束に伴う繰返し荷重により、取付部の溶接部に疲労が蓄積することから、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△または▲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、また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)または2)に該当する事象であるが保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

(1) ベースプレート、クランプ等の腐食（全面腐食）[共通]

ベースプレート、クランプ等は炭素鋼また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、塗膜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膜の状態を確認し、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。

(2) 埋込金物の腐食（全面腐食）[共通]

埋込金物は炭素鋼であり腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗膜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膜の状態を確認し、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。

- (3) ピン等摺動部材の摩耗 [Uボルト、スライドサポート、レストレイント、スプリングハンガ、オイルスナバ、メカニカルスナバ]

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

しかしながら、巡視点検等で目視によりサポートの動作状況に異常のないことを確認し、必要に応じて部品の交換を実施することで、機器の健全性を維持している。

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

- (4) スライドプレートのテフロンのはく離 [スライドサポート]

主蒸気配管等の大口径配管のスライドサポートのスライド部には摩擦力を低減するために炭素鋼表面にテフロン加工したスライドプレートを使用しているが、高温条件下で長期にわたり使用した場合、テフロンのはく離が生じ、スライド部の固着等により支持機能への影響が想定される。

しかしながら、巡視点検等で目視によりスライドサポートの動作状況に異常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。

- (5) 基礎ボルトの腐食（全面腐食）および樹脂の劣化 [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」にて評価を実施するものとし、本評価書には含んでいない。

- (6) ばねの変形（応力緩和） [スプリングハンガ]

スプリングハンガのばねは応力が発生した状態にて長期間保持されることにより、変形（応力緩和）が発生し、支持機能への影響が想定される。

しかしながら、ばねに発生する応力は弾性範囲であり、日本ばね工業会にて実施したばね材料と使用環境温度の実態調査結果と比べて、当該ばねは同等か余裕のある環境で使用していることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、巡視点検等で目視によりスプリングハンガの動作状況に異常のないことを確認し、機器の健全性を確認している。

(7) グリスの劣化 [メカニカルスナバ]

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

しかしながら、熱によるグリスの固化は、グリスの油分減少に伴い発生するものであるが、蒸発試験を実施した結果を用いて、60年間の油分減少量を外挿により推定した値は、安全側に設定した許容値に対して十分低いことを確認した。

さらに、放射線によるグリスの固化については、耐放射線試験を実施し、長期の運転を考慮しても特に問題ないことを確認している。

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

なお、巡視点検等で目視によりメカニカルスナバの動作状況に異常のないことを確認し、機器の健全性を確認している。

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。

(8) 埋込金物のコンクリート埋設部の腐食（全面腐食） [共通]

埋込金物は炭素鋼であり腐食が想定される。

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

2.2.4 消耗品および定期取替品

オイル、オイルシールは分解点検時に取替える消耗品であり、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(1/9) 伊方3号炉 配管サポート アンカーに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		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			
配管支持	ラグ		炭素鋼	△		○						*1：大気接触部 *2：コンクリート埋設部 *3：樹脂の劣化
	パッド		ステンレス鋼 炭素鋼	△								
	プレート		炭素鋼	△								
	鋼材		炭素鋼	△								
	ベースプレート		炭素鋼	△								
	埋込金物		炭素鋼	△ ^{*1} ▲ ^{*2}								
	基礎ボルト		炭素鋼	△								
	基礎ボルト (ケミカルアンカ)		炭素鋼 樹脂	△						△ ^{*3}		

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-1(2/9) 伊方3号炉 配管サポート Uバンドに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象								備考	
				減肉		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				
配管支持	ボルト、ナット		ステンレス鋼 炭素鋼	△									*1：大気接触部 *2：コンクリート埋設部 *3：樹脂の劣化
	Uバンド本体		ステンレス鋼 炭素鋼	△									
	鋼材		炭素鋼	△									
	ベースプレート		炭素鋼	△									
	埋込金物		炭素鋼	△ ^{*1} ▲ ^{*2}									
	基礎ボルト		炭素鋼	△									
	基礎ボルト (ケミカルアンカ)		炭素鋼 樹脂	△							△ ^{*3}		

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-1(3/9) 伊方3号炉 配管サポート Uボルトに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		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		
配管支持	ナット		ステンレス鋼 炭素鋼		△						*1：大気接触部 *2：コンクリート埋設部 *3：樹脂の劣化
	Uボルト本体		ステンレス鋼 炭素鋼	△	△						
	鋼材		炭素鋼		△						
	ベースプレート		炭素鋼		△						
	埋込金物		炭素鋼		△ ^{*1}						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						
	基礎ボルト (ケミカルアンカ)		炭素鋼 樹脂		△					△ ^{*3}	

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

表2.2-1(4/9) 伊方3号炉 配管サポート スライドサポートに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		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		
配管支持	上部プレート		炭素鋼		△						*1：テフロンのはく離 *2：大気接触部 *3：コンクリート埋設部 *4：樹脂の劣化
	ラグ		炭素鋼		△	○					
	ボルト、ナット		炭素鋼		△						
	下部プレート		炭素鋼		△						
	スライドプレート		ステンレス鋼 炭素鋼+テフロン	△	△				△*1		
	鋼材		炭素鋼		△						
	ベースプレート		炭素鋼		△						
	埋込金物		炭素鋼		△ ^{*2} ▲ ^{*3}						
	基礎ボルト		炭素鋼		△						
	基礎ボルト (ケミカルアンカ)		炭素鋼 樹脂		△					△*1	

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2.2-1(5/9) 伊方3号炉 配管サポート レストメントに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象							備考	
				減肉		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			
配管支持	ブラケット		炭素鋼	△	△	○						*1：大気接触部 *2：コンクリート埋設部 *3：樹脂の劣化
	ピン		炭素鋼	△	△							
	スヘリカルアイボルト		炭素鋼	△	△							
	アジャストナット		炭素鋼		△							
	パイプ		炭素鋼		△							
	パイプクランプ		炭素鋼 ステンレス鋼	△	△							
	ボルト、ナット		炭素鋼		△							
	ベースプレート		炭素鋼		△							
	埋込金物		炭素鋼		△ ^{*1} △ ^{*2} ▲							
	基礎ボルト		炭素鋼		△							
基礎ボルト (ケミカルアンカ)		炭素鋼 樹脂		△						△ ^{*3}		

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

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

表2. 2-1(6/9) 伊方3号炉 配管サポート スプリングハンガに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		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		
配管支持	イヤ		炭素鋼	△	△						*1：変形（応力緩和） *2：大気接触部 *3：コンクリート埋設部
	上部カバー		炭素鋼		△						
	ピストンプレート		炭素鋼		△						
	ハンガーロッド		炭素鋼		△						
	スプリングケース		炭素鋼		△						
	下部カバー		炭素鋼		△						
	タンバックル		炭素鋼		△						
	クレビスブラケット		炭素鋼	△	△						
	ピン		炭素鋼 ステンレス鋼	△	△						
	アイボルト		炭素鋼	△	△						
	パイプクランプ		炭素鋼 ステンレス鋼	△	△						
	ボルト、ナット		炭素鋼		△						
	ばね		ばね鋼 ばね用オイルテンパー線		△				△ ^{*1}		
	ベースプレート		炭素鋼		△						
埋込金物		炭素鋼		△ ^{*2} ▲ ^{*3}							
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）

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

表2.2-1(7/9) 伊方3号炉 配管サポート オイルスナバに想定される経年劣化事象(1/2)

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					
配管支持	ピストンロッド		炭素鋼		△									
	シリンダチューブ		炭素鋼		△									
	タイロッド、六角ナット		炭素鋼		△									
	ロッドカバナー		炭素鋼		△									
	シリンダカバナー		炭素鋼		△									
	六角ボルト		低合金鋼		△									
	アダプター		炭素鋼		△									
	プレート		炭素鋼		△									
	パイプクランプ		炭素鋼		△									
	ボルト、ナット		炭素鋼		△									
スヘリカルアイボルト		炭素鋼		△										
ターンバックル		炭素鋼		△										

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2. 2-1(8/9) 伊方3号炉 配管サポート オイルスナバに想定される経年劣化事象 (2/2)

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			
配管支持	コネクティンググパイプ		炭素鋼		△							*1: 大気接触部 *2: コンクリート埋設部
	コネクティンググイヤ		炭素鋼	△								
	ブラケット		炭素鋼	△								
	ピン		炭素鋼	△								
	オイルリザーバ		ステンレス鋼									
	オイル	◎	-									
	オイルシール	◎	-									
	ベースプレート		炭素鋼		△							
	埋込金物		炭素鋼		△ ^{*1} ▲ ^{*2}							
	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）

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

表2.2-1(9/9) 伊方3号炉 配管サポート メカニカルスナバに想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象						備考	
				減肉		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		
配管支持	ケース		炭素鋼		△						*1：大気接触部 *2：コンクリート埋設部 *3：樹脂の劣化
	六角ボルト		低合金鋼		△						
	イヤ		炭素鋼	△							
	ユニバーサルブラケット		炭素鋼	△							
	ユニバーサルボックス		炭素鋼	△							
	ピン		炭素鋼	△							
	パイプクランプ		炭素鋼 ステンレス鋼	△							
	ボルト、ナット		炭素鋼		△						
	ジャンクシヨコンラムアダプター		炭素鋼		△						
	プレート		炭素鋼		△						
	コネクティングチェーン		炭素鋼		△						
	ブラケット		炭素鋼	△							
	ボールネジ、ボールナット		低合金鋼	△							
	グリス		シリコン系オイル							△	
ベースプレート		炭素鋼		△							
埋込金物		炭素鋼	△ ^{*1}								
基礎ボルト		炭素鋼	▲ ^{*2}								
基礎ボルト (ケミカルアンカ)		炭素鋼 樹脂	△						△ ^{*3}		

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

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 ラグとプレートの溶接部等のサポート取付部の疲労割れ

[アンカー、スライドサポート、レストレイント]

a. 事象の説明

プラントの起動・停止等に伴う配管内部流体の温度過渡により配管は熱変位する。配管熱変位を拘束するサポートは、配管熱変位の拘束に伴う繰返し荷重を受け、図2.3-1に示すような荷重を受ける面積が小さい溶接部において疲労が蓄積する。

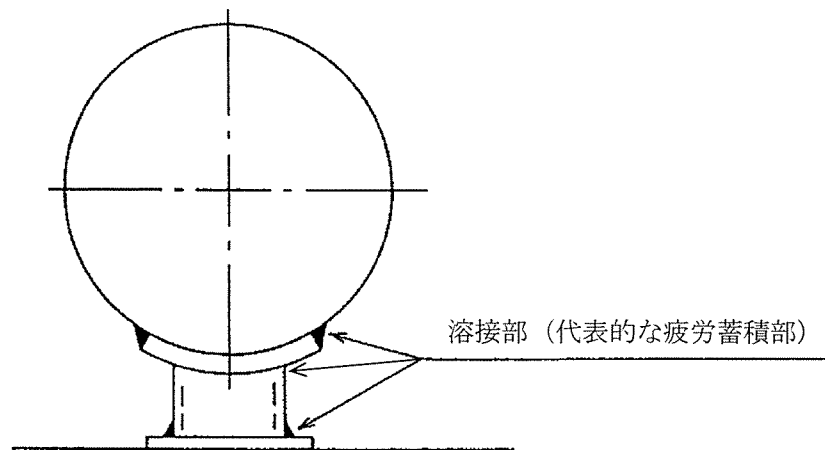


図2.3-1 配管サポート 代表的な疲労蓄積部

b. 技術評価

① 健全性評価

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

図2.3-2に評価を行った配管サポートの構造および評価部位を示す。評価部位は、荷重を受ける面積が小さく評価上最も厳しいと考えられる配管とパッドの溶接部、パッドとラグの溶接部およびラグとプレートの溶接部とした。

配管とパッド、パッドとラグおよびラグとプレートの溶接部の評価方法については、配管系の3次元梁モデルを用いて荷重の算出を実施した上で、「日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007)」等に基づき評価を行った。

評価結果を表2.3-1に示すが、許容値を満足する結果が得られている。

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

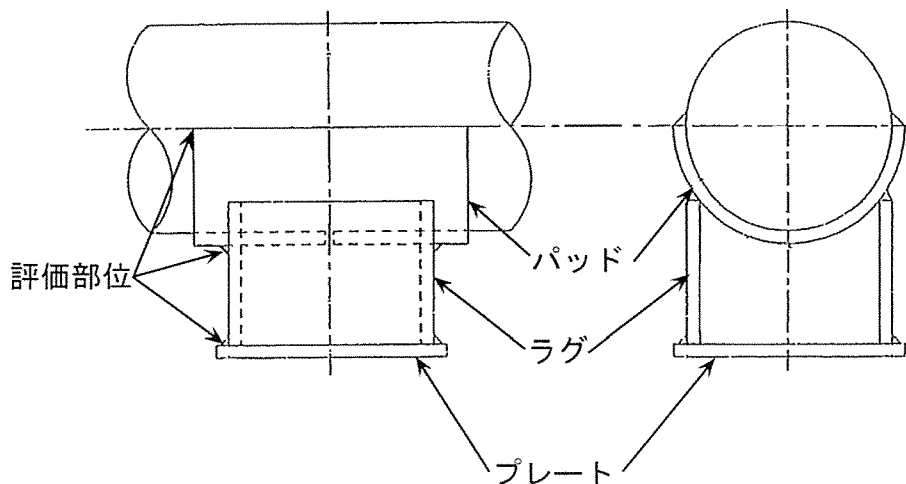


図2.3-2 伊方3号炉 配管サポート

疲労評価対象配管サポートの構造 (アンカー) および評価対象部位

表2.3-1 伊方3号炉 余熱除去系統配管 配管サポートの溶接部の応力評価結果

評価対象部位 (使用材料)	応力比*1
配管とパッドの溶接部 (ステンレス鋼)	0.35
パッドとラグの溶接部 (ステンレス鋼、炭素鋼)	0.26
ラグとプレートの溶接部 (炭素鋼)	0.24

*1：応力比＝発生応力／許容応力

(注)設計・建設規格(SSB-3122)のとおり、配管サポートは「一次＋二次応力」をシェイクダウン限界に制限することで、有意な疲労累積が発生しないよう設計していることから、一次＋二次応力の評価を行っている。

② 現状保全

サポート取付部の疲労割れに対しては、クラス1、クラス2の配管サポート（配管とパッドの溶接部）については定期的に浸透探傷検査または目視確認にて溶接部に有意な割れのないことを確認している。

また、それ以外については、巡視点検等で目視により支持状態に異常のないことを確認し、機器の健全性を維持している。

③ 総合評価

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

サポート取付部の疲労割れに関しては、浸透探傷検査または目視確認で疲労割れを検知可能であり、また、疲労割れが発生するとすれば応力の観点から考えて溶接部であると判断されることから、点検手法として適切である。

c. 高経年化への対応

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