

添付書類

浜岡原子力発電所 4 号炉

高経年化技術評価書

[冷温停止状態が維持されることを前提とした評価]

令和 4 年 7 月

中部電力株式会社

目 次

1.	はじめに	1
2.	浜岡原子力発電所4号機の概要	4
2.1	浜岡原子力発電所4号機の設備概要	4
2.2	浜岡原子力発電所4号機の運転実績	6
2.3	技術基準規則への適合に向けた取組み及びスケジュール	10
2.4	浜岡原子力発電所4号機の保全概要	11
3.	高経年化技術評価の実施体制	18
3.1	評価の実施に係る組織	18
3.2	評価の方法	18
3.3	評価の実施に係る工程管理	18
3.4	評価において協力した事業者の管理	18
3.5	評価記録の管理	19
3.6	教育訓練	19
3.7	評価年月日	22
3.8	評価を実施した者の氏名	22
4.	高経年化技術評価方法	23
4.1	高経年化技術評価対象機器	23
4.2	高経年化技術評価の個別実施手順	23
4.2.1	機器のグループ化及び代表機器の選定	23
4.2.2	国内外の原子力プラントの運転経験の反映及び最新の技術的知見の反映	24
4.2.3	経年劣化事象の抽出	25
4.2.4	経年劣化事象に対する技術評価	26
4.3	耐震安全性評価	27
4.3.1	耐震安全性評価対象機器	27
4.3.2	耐震安全性評価手順	27
5.	技術評価結果	30
5.1	機器・構造物の技術評価結果	30
5.2	耐震安全性評価結果	30
5.3	評価の結果に基づいた補修等の措置	30
6.	今後の高経年化対策	31
6.1	長期施設管理方針の策定	31
6.2	技術開発課題	31
7.	まとめ	32

1. はじめに

浜岡原子力発電所4号機（以下、「浜岡4号機」という。）は、2023年9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*1、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。

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

このような認識のもと、1996年4月に通商産業省（現：経済産業省）資源エネルギー庁は「高経年化に関する基本的な考え方」をとりまとめ、原子力発電所の高経年化対策の基本方針を示した。さらに、2003年9月及び2005年12月に「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」（以下、「実用炉規則」という。）を改正するとともに、原子力安全・保安院は「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイドライン」及び「実用発電用原子炉施設における高経年化対策標準審査要領（内規）」（以下、「高経年化対策実施ガイドライン等」という。）を発出し、原子炉の運転を開始した日以降29年を経過する日までに、また、以降10年毎に、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実用炉施設中の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月及び2011年5月に改正した。

また、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震とこれにより生じた津波に起因する東京電力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」、「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」を発行し、2021年11月に「原子力発電所の高経年化対策実施基準：2021」を最終改正版として発行した。

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及び学会標準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年を迎える浜岡4号機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版等に基づき、今後10年間の冷温停止状態を仮定し、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の有無について状況を取りまとめたものである。

また、浜岡4号機については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（以下、「技術基準規則」という。）」に定める基準への適合性を確認する審査を受けるための申請を行い、適合に向け取り組んでいる状況である。高経年化対策実施ガイド等に基づき、運転開始以後30年を経過する日において技術基準規則に定める基準の適合が見込めないことから、冷温停止状態が維持されることを前提とした技術評価としている。

なお、冷温停止状態が維持されることを前提とした技術評価は、原子炉の状態として燃料モードスイッチの位置が「停止」又は「燃料交換」であって原子炉圧力容器締付ボルトが1本以上緩められている状態を対象とし、長期停止を考慮した評価としている。以下は、用語の混同を避けるため、評価条件として用いる「冷温停止状態」は「安定停止状態」と表現する。

この結果、現状保全の継続により、今後、プラントの安定停止状態を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・構造物の技術評価、耐震安全性評価の結果の概要等を示すものであり、詳細は別冊にまとめている。

2. 浜岡原子力発電所4号機の概要

2.1 浜岡原子力発電所4号機の設備概要

浜岡4号機は沸騰水型原子炉（BWR5：113.7万kW）であり、原子炉格納容器の型式は、マークI改良型（上部半球下部円筒型）である。原子炉内で発生した熱は、原子炉冷却材再循環系統により炉心内を通る冷却材を熱して蒸気にする。この蒸気は、原子炉圧力容器内に設けられている気水分離器、蒸気乾燥器によって水分が取り除かれ飽和蒸気になってタービンに送られタービン発電機を駆動する。タービンを通った蒸気は復水器に入り、ここで冷却されて水となり、復水ポンプ、給水加熱器、給水ポンプを通過して原子炉圧力容器に戻り、ジェットポンプにより駆動されて再び炉心に送られる。

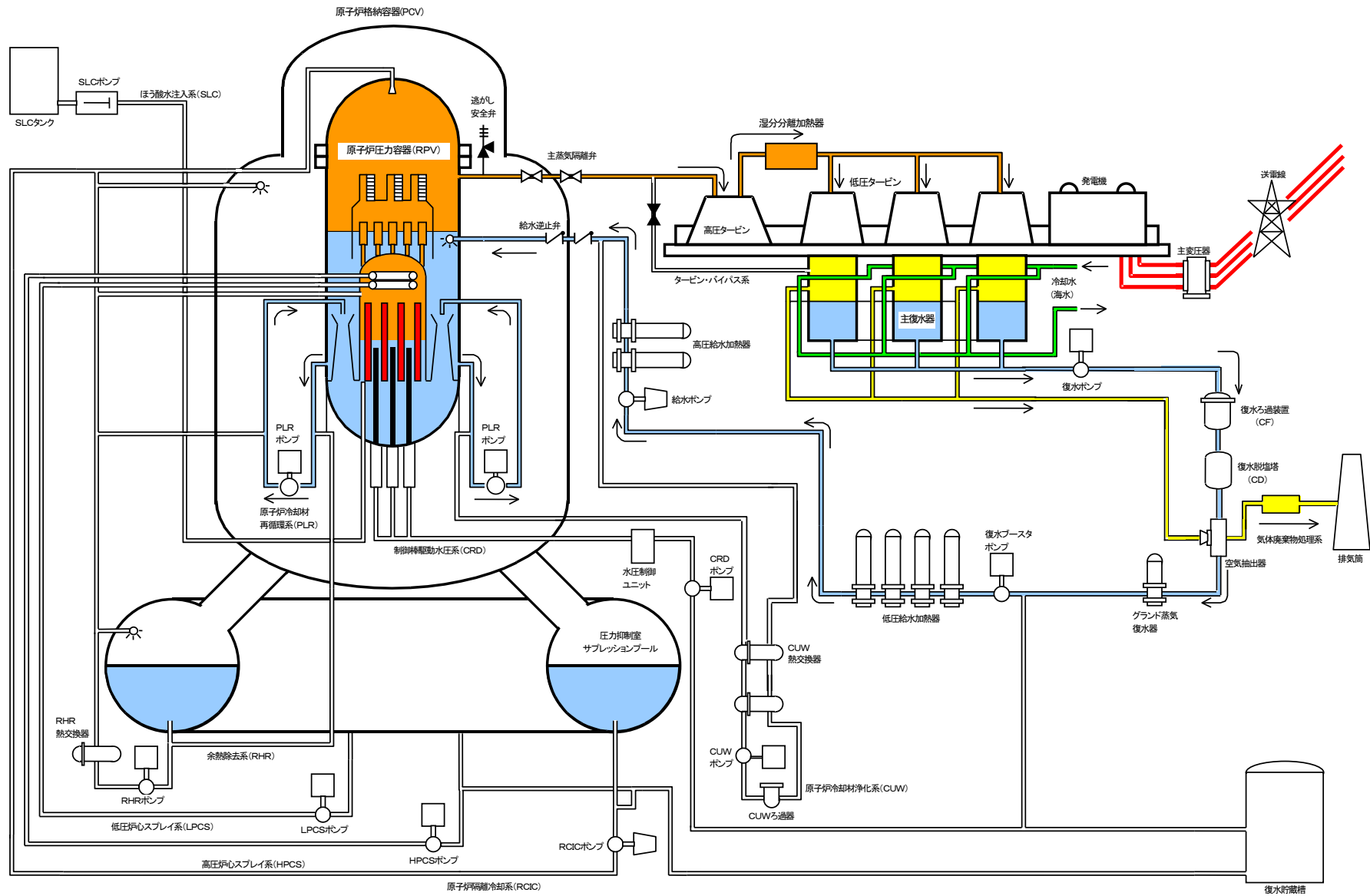
浜岡4号機の主要な仕様、系統概要を以下に示す。

(1) 主要仕様

電気出力	1,137MW
原子炉型式	沸騰水型
原子炉熱出力	3,293MW
燃料	濃縮ウラン、ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料（燃料集合体764体）
減速材	軽水
タービン	くし形6流排気復水式

(2) 全体の系統概念

プラント全体の系統概念図を資料2-1に示す。



資料 2-1 系統概念図

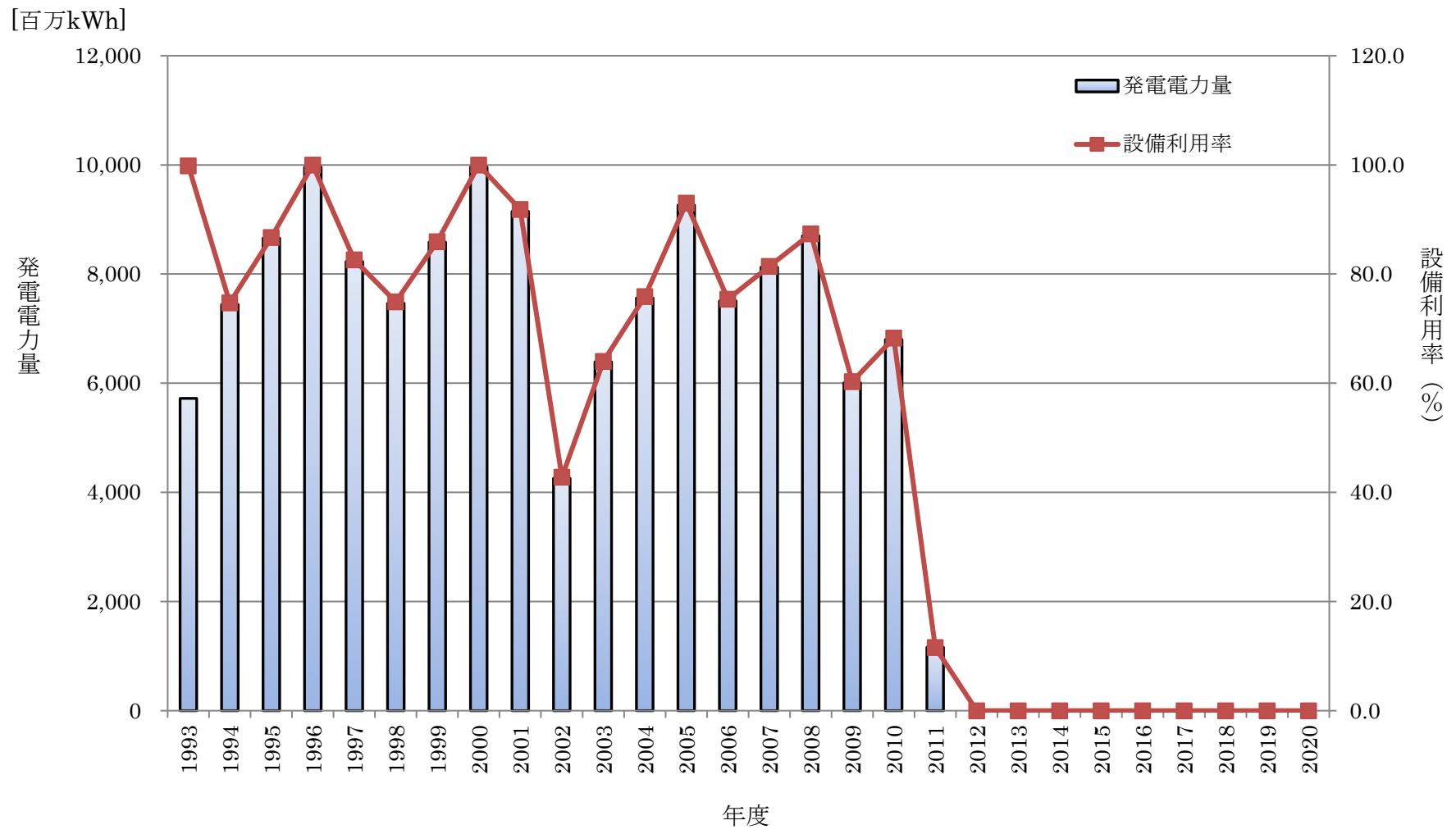
2.2 浜岡原子力発電所 4 号機の運転実績

浜岡 4 号機の建設工事は、1989 年 2 月に着工し、建屋基礎掘削工事を経て、1990 年 3 月の原子炉格納容器の組立開始によって本格化し、原子炉圧力容器据付、タービン据付、各種試験を経て燃料装荷を行い、1992 年 12 月 2 日に初臨界に達した。

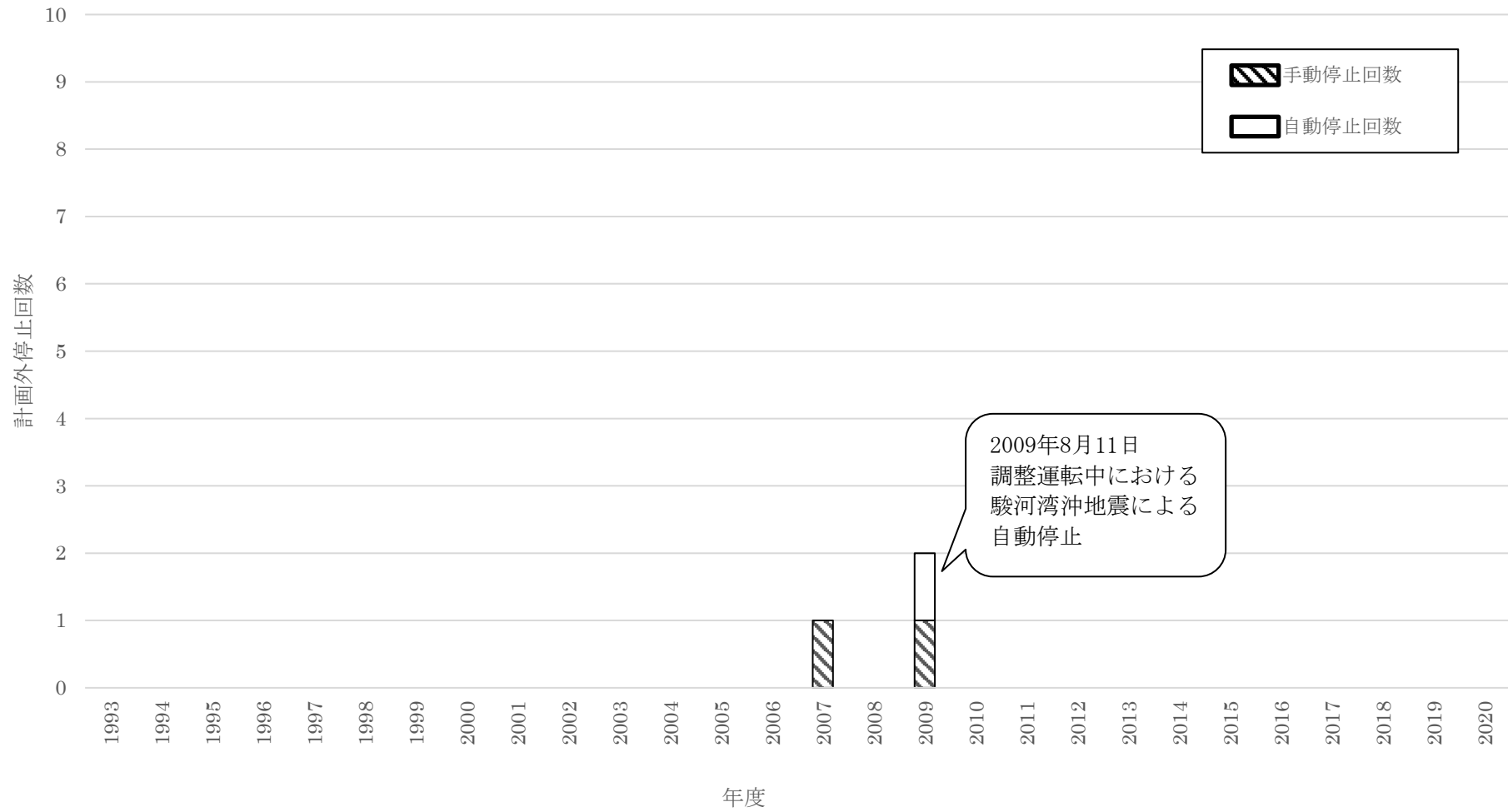
その後、1993 年 1 月 27 日に発電を開始し、1993 年 9 月 3 日に営業運転を開始した。

営業運転を開始した 1993 年 9 月から 2020 年度末までの運転経緯を資料 2-2「発電電力量・設備利用率の年度推移」、計画外停止回数の年度推移を資料 2-3「計画外停止回数の年度推移」、資料 2-4「事故・故障等一覧」に示す。過去約 30 年間に遡った時点までの計画外停止（手動停止及び自動停止）件数の推移を見ると、供用期間の長期化に伴い、計画外停止件数が増加する明確な傾向は認められない。

なお、2002 年度、2003 年度の設備利用率が特に低かったのは、第 7 回定期検査において、シールド点検及び原子炉再循環系配管取替工事等の点検・工事があったことから定期検査日数が 338 日となったことによるものである。



資料 2-2 発電電力量・設備利用率の年度推移



資料 2-3 計画外停止回数の年度推移

資料 2-4 事故・故障等一覧

No.	年度	事象
1	2007年度	調整運転中における原子炉手動停止について (原子炉冷却材浄化系の停止)
2	2009年度	調整運転中における原子炉手動停止について (気体廃棄物処理系水素濃度上昇)

2.3 技術基準規則への適合に向けた取組み及びスケジュール

浜岡4号機については、技術基準規則等への適合性を確認する審査を受けるため、以下のとおり原子炉設置変更許可申請、工事計画認可申請及び保安規定変更認可申請を行っている。引き続き、可能な限り早期に技術基準規則等へ適合するよう取組んでいる。

<新規制基準に関する申請>

- ・設置変更許可申請書（本原原発第35号，平成27年1月26日）※
- ・工事計画認可申請書（本原原発第45号，平成26年2月14日）
- ・工事計画認可申請書（本原原発第4号，平成26年4月24日）
- ・工事計画認可申請書（本原原発第28号，平成26年8月28日）
- ・保安規定変更認可申請書（本原原発第46号，平成26年2月14日）

※：平成26年2月14日申請の設置変更許可申請書に使用済燃料乾式貯蔵施設を追加し，再申請したもの。

2.4 浜岡原子力発電所 4 号機の保全概要

浜岡 4 号機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。）の劣化管理は、施設管理として行っており、その考え方を以下に記す。

施設管理は、実用炉規則第 81 条第 1 項に掲げる施設管理に係る要求事項を満たすよう、「原子力発電所の保守管理規程 (JEAC4209-2007)」に基づき、社内指針類を策定して実施している。

(1) 施設管理の実施方針及び施設管理目標

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、施設管理の実施方針を定める。また、施設管理の有効性評価の結果及び施設管理を行う観点から特別な状態を踏まえ施設管理の実施方針の見直しを行うとともに、高経年化技術評価の結果として長期施設管理方針を策定又は変更した場合には、長期施設管理方針に従い保全を実施することを同方針に反映している。

浜岡原子力発電所長は、施設管理の実施方針に基づき、施設管理の改善を図るための施設管理目標を設定する。また、施設管理の有効性評価の結果及び施設管理を行う観点から特別な状態を踏まえ施設管理目標の見直しを行っている。

この施設管理目標を達成するため、浜岡原子力発電所では、資料 2-5 に示すようなフローに基づき、保全活動を行っている。

(2) 保全の概要

原子力発電所に対する保全では、構築物、系統及び機器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、定期的な試験や点検等により経年劣化の兆候を早期に検知し、必要な処置を行うことにより、故障を未然に防止している。

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

また、実施した点検・補修等の結果について、構築物、系統及び機器の適切な単位毎に所定の機能を発揮しうる状態にあることを、その機能が要求される時期までに確認・評価している。さらに、原子炉等規制法に基づく定期事業者検査*1を受検するとともに、定期事業者検査についても、その実施に係る組織等の妥当性が定期安全管理審査において審査されている。

*1：定期事業者検査申請書には保全計画が含まれる。

なお、2013年7月7日以前は、「電気事業法」に基づく定期検査を受検するとともに、定期事業者検査についても、その実施に係る組織等の妥当性が定期安全管理審査において審査されていた。

(3) 保全の計画

浜岡原子力発電所では、原子炉施設の中から号機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（以下、「重要度分類指針」という。）」（平成2年8月30日 原子力安全委員会）の重要度と確率論的リスク評価から得られるリスク情報等を考慮して施設管理の重要度として点検に用いる重要度（以下、「保全重要度」という。）と設計及び工事に用いる重要度を設定している。

また、保全の有効性を合理的かつ客観性をもって評価し、保全を継続的に改善するために、施設管理の重要度を踏まえてプラントレベル及び系統レベルの保全活動管理指標を設定している。

そして、保全対象範囲に対し、関係法令、関係規格及び基準を遵守するとともに、施設管理の重要度を勘案し、必要に応じて次の事項を考慮して保全計画を策定している。

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

さらに、予め保全方式（時間基準保全、状態基準保全、事後保全）を選定し、点検の方法並びにそれらの実施頻度及び実施時期を具体的に定めた点検計画を策定している。なお、この保全方式の選定にあたっては、劣化事象又は偶発事象を勘案して策定するが、保全重要度を踏まえた上で保全実績、劣化、故障モード等を考慮して、効果的かつ効率的な保全方式を選定している。

上述のうち「点検の方法」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^{*2}」及びこれまでの施設管理の結果から得られた機器の部位別に想定される劣化事象に着目した保全項目の検討を行い、検討結果に基づく保全内容を担保するために必要な点検、試験項目等を選定している。

*2：過去に国内で実施してきた高経年化技術評価の評価結果を基に、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、運転・保守経験等を参考にしながら構築物、系統及び機器に応じて適切に選定し、その決定根拠を整理している。また、「実施時期」については、点検計画で定める構築物、系統及び機器の点検の方法及び実施頻度に基づき、点検の実施時期を定めている。

設計及び工事を実施する場合は、予めその方法及び実施時期を定めた設計及び工事の計画を策定している。具体的には、プラントの信頼性向上及び経年劣化等の観点から、長期的に取り組む工事について、向こう 10 年間分の補修等の実施時期を定めた長期設備保全計画を策定し、運転及び補修実績並びに工事の重要性・緊急度・経済性を勘案のうえ、年度計画を策定している。

(4) 保全の実施

以上のとおり、予め定めた保全計画に従い、「工事計画」、「設計管理」、「調達管理」、「作業管理」の各プロセスにより点検・補修等の保全を実施し、その結果について記録している。

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

そのために、現場の保全活動により得られるデータとして、点検手入れ前データ、状態監視データ、運転データ等を活用している状況にある。

(5) 不適合の処理及び再発防止

発生した不適合については、速やかに原因究明及び対策の検討、評価を行い、的確な復旧により設備の機能回復を図っている。

また、国内外プラントの同種設備で発生した不適合についても再発防止対策を検討し、事故・故障の未然防止を図っている。

(6) 改善活動

より一層の安全性、信頼性を確保するため、現状の保全活動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、保全活動管理指標の監視結果、保全データの推移及び経年劣化の長期的な傾向監視の実績、高経年化技術評価及び定期安全レビューの結果、他プラントのトラブル及び経年劣化傾向に係るデータ等に基づいて保全の有効性評価（資料 2-6）を実施するとともに、その結果と施設管理目標の達成度から定期的に施設管理の有効性評価を実施し、施設管理が有効に機能していることを確認するとともに、継続的な改善に取り組んでいる。

これらの保全活動については、原子力発電所における機器の劣化兆候の把握及び点検の最適化につながるるとともに、常に PDCA 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、今後も現状の保全を継続することで設備の健全性を維持することが可能であると考えます。

また、浜岡 4 号機において、これまでに発生した主な経年劣化事象及び発電所の安全性・信頼性を向上するために実施した主な補修・取替え実績として、次のものがある。

① 摩耗

- a. 主蒸気隔離弁は、浜岡 3 号機主蒸気第 1 隔離弁でのガイドリブ摩耗事例に鑑み、蒸気流の影響を受けやすい主蒸気第 1 隔離弁について振動対策として円筒型ガイド方式を採用し、さらに第 1 回定期点検（1994 年度）時に弁体引き当て方式に改造した。

② 腐食・減肉

- a. 配管の減肉管理については【減肉管理手引】に基づき、点検の計画を策定し、点検、評価、措置及び改善を計画的に実施している。

③ 疲労割れ

- a. 原子炉冷却材再循環ポンプの軸シール冷却水と高温炉水との流体混合により生ずる熱疲労対策として、電力共同研究により開発が行われた改良型ケーシングカバー（ヒータ付きサーマルバリア方式）へ第 4 回定期点検（1998 年度）時に取替えを実施した。

④ 応力腐食割れ

- a. 第 7 回定期点検（2002 年度）及び第 8 回定期点検（2004 年度）にて、炉心シュラウド溶接線の目視点検を実施した結果、第 7 回定期点検（2002 年度）において、炉心シュラウド中間胴と下部リングとの溶接線外側（H6a 外）近傍及びシュラウドサポートリングの溶接線内側（H7ab 内）近傍に、第 8 回定期点検（2004 年度）においてシュラウドサポートリングの溶接線外側（H7ab 外）近傍にひび割れを確認した。いずれの場合も、炉心シュラウドの健全性評価を行い、5 年後においても炉心シュラウドは構造上の必要な強度を有していることを確認し、ひび割れを補修せずに、運転を継続した。

第 9 回定期点検（2006 年度）時に炉心シュラウドの全周方向溶接線が全周分離した場合においても、炉心シュラウドの構造健全性を確保できる炉心シュラウドとシュラウドサポートの間に炉心シュラウド支持ロッドを取付ける工法により補修を実施した。

原子炉圧力容器の再循環水出口及び再循環水入口のノズルセーフエンド並びにジェットポンプ計測管貫通部ノズル貫通部シールについては、第7回定期点検（2002年度）から第8回定期点検（2004年度）において、高周波誘導加熱処理^{*3}による残留応力改善措置を行っている。また、原子炉冷却材再循環系配管については、第7回定期点検（2002年度）において、ひび割れの徴候が確認された配管の取替えや補修、高周波誘導加熱処理等による残留応力改善措置を実施した。また、1999年度において、原子炉冷却材再循環ポンプ入口配管除染座（フランジ）のキャップ化を行い、2010年度にそのキャップ化した箇所について、内面肉盛工法^{*4}による応力腐食割れの感受性改善措置を実施した。

*3：高周波誘導加熱処理：高周波誘導コイルにより配管外面を加熱すると同時に、配管内に冷却水を通し、配管の内外面の温度差で配管内面の残留応力を改善する方法。

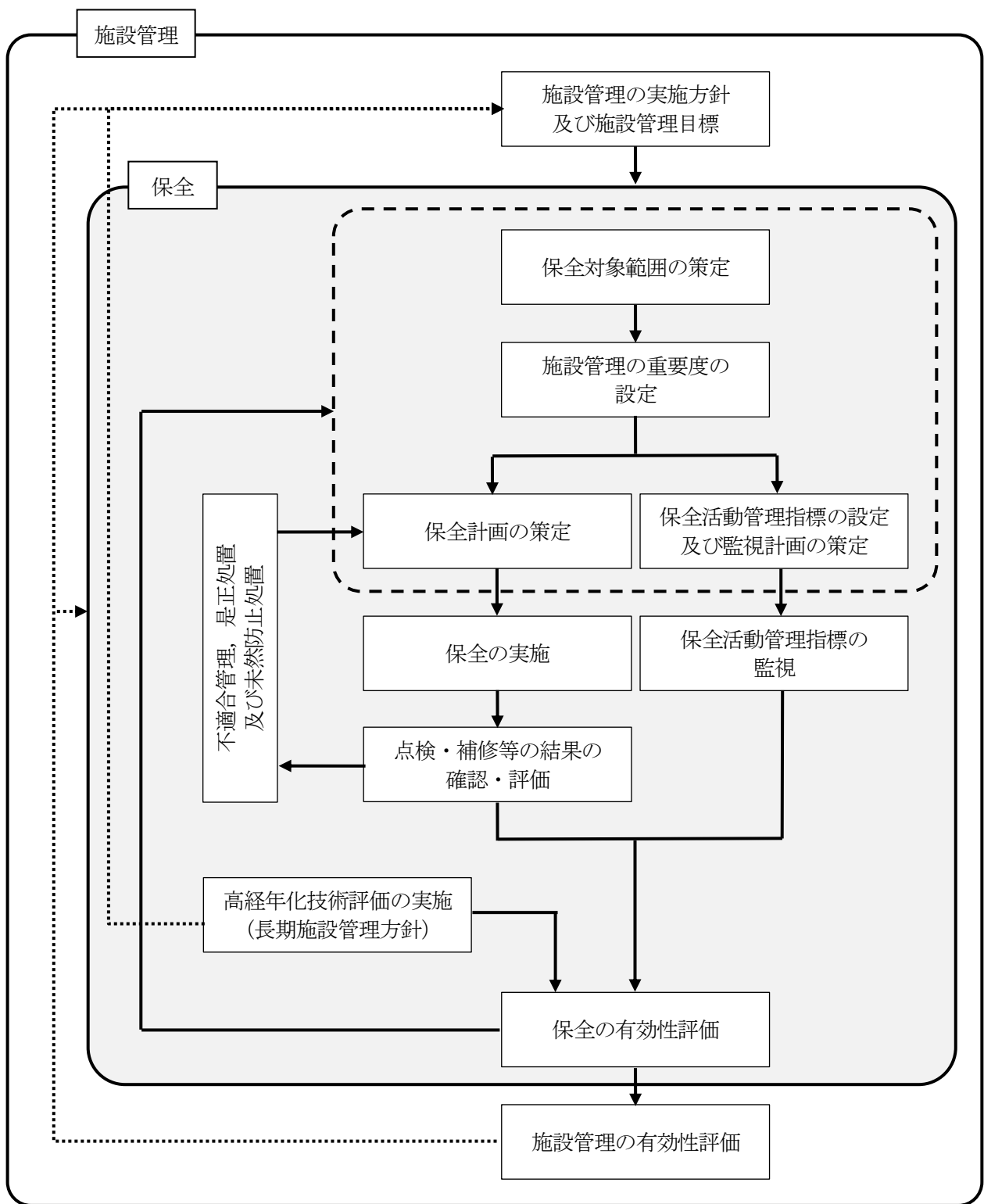
*4：内面肉盛工法：配管内面の接液部をあらかじめ溶着金属で覆い、応力腐食割れの感受性を改善する方法。

⑤ 絶縁低下

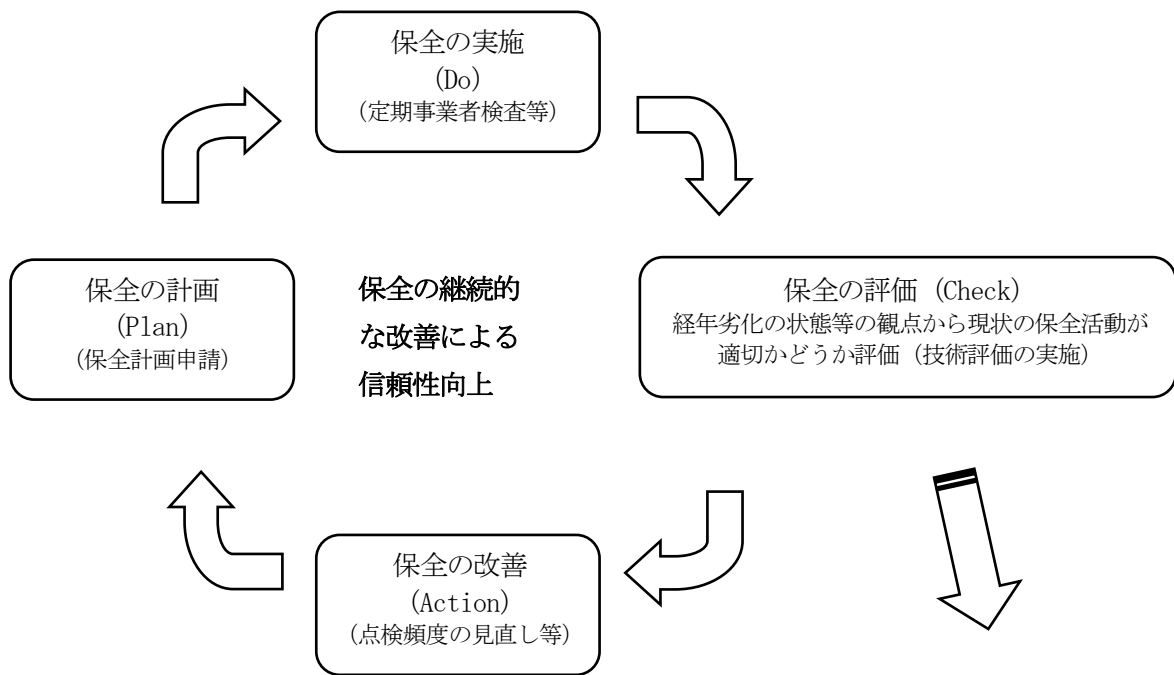
a. 460V 母線連絡バスダクトは、浜岡3号機の塩分や塵芥の付着による絶縁低下に伴う短絡によるバスダクト焼損を鑑み、第3回定期点検（1997年度）において、導体に絶縁テープを巻くとともに、換気口を閉塞し非換気化とした。また、短絡保護対策として、断路器を遮断器に変更する設備改造を実施した。

⑥ 中性子照射脆化

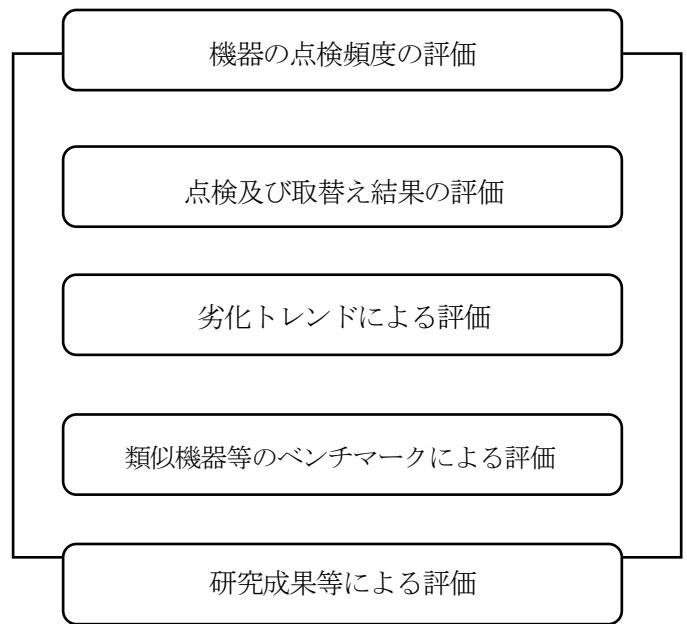
a. 原子炉圧力容器は、運転中に中性子照射を受けることにより機械的性質が変化する。この変化を定期的に調査し、原子炉が安全に運転されていることを確認するための監視試験片が原子炉圧力容器内に設置してある。原子炉圧力容器鋼材監視試験片については、第2回定期点検（1996年度）で加速照射試験片を、第11回定期点検（2009年度）で照射試験片の一部を取出し、衝撃試験及び引張試験の実施により、機械的性質を測定した結果、関連温度の上昇は国内脆化予測式を下回っており、問題のないことを確認した。



資料2-5 施設管理の実施フロー



改善活動として、点検頻度を見直す場合には、右に示す評価を活用して行う。



資料2-6 保全の有効性評価

3. 高経年化技術評価の実施体制

高経年化技術評価の実施は保安規定第 106 条の 6 に規定している。実施にあたって、保安規定に基づく品質マネジメントシステム計画に従い、実施体制を構築し、実施手順を確立した。

3.1 評価の実施に係る組織

高経年化技術評価及び長期施設管理方針策定の実施に係る体制を資料 3-1 に示す。

設備保全課長は、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及び鉄骨構造物を除く）及びとりまとめ等の全体調整を行っている。

土木課長及び建築課長は、コンクリート構造物及び鉄骨構造物の技術評価を行い、評価書を作成している。

また、評価書作成助勢として、浜岡原子力発電所及びその他の関係箇所と協力して、技術評価及び長期施設管理方針の策定を実施している。

3.2 評価の方法

高経年化対策実施ガイド等及び学会標準 2008 版等に準拠して作成した【高経年化に関する技術評価実施手引】に基づいて実施した。

評価方法の詳細については、「4. 高経年化技術評価方法」にまとめている。

3.3 評価の実施に係る工程管理

高経年化対策実施ガイド等に基づき運転開始後 28 年 9 月を経過する日から 3 月以内に国へ保安規定変更認可申請を行うべく工程管理を実施した。具体的には、高経年化技術評価計画書に基づき各担当部署で業務を進め、2022 年 6 月 22 日に原子力発電所保安運営審議会にて審議を実施した。

資料 3-2 に実施工程を示す。

3.4 評価において協力した事業者の管理

技術評価の実施にあたって必要となる調査については、機器製造・納入者へ委託を行った。また、技術評価書（案）の作成等について、株式会社中部プラントサービスへ委託を行った。

委託に関する手続き及び管理については、【調達管理指針】等に基づき行っている。また、当社は、委託先から提出された技術評価書（案）等の成果物の内容について確認している。

3.5 評価記録の管理

管理すべき文書・記録については、【高経年化に関する技術評価実施手引】に文書・記録の内容、保存期間及び作成部署等を定めている。

なお、主なものは以下のとおりである。

文書・記録の内容	文書・記録の分類	記録の保存期間	作成部署
高経年化技術評価計画書	文書	10年 見直し	設備保全課
高経年化技術評価書	記録	10年 見直し	設備保全課

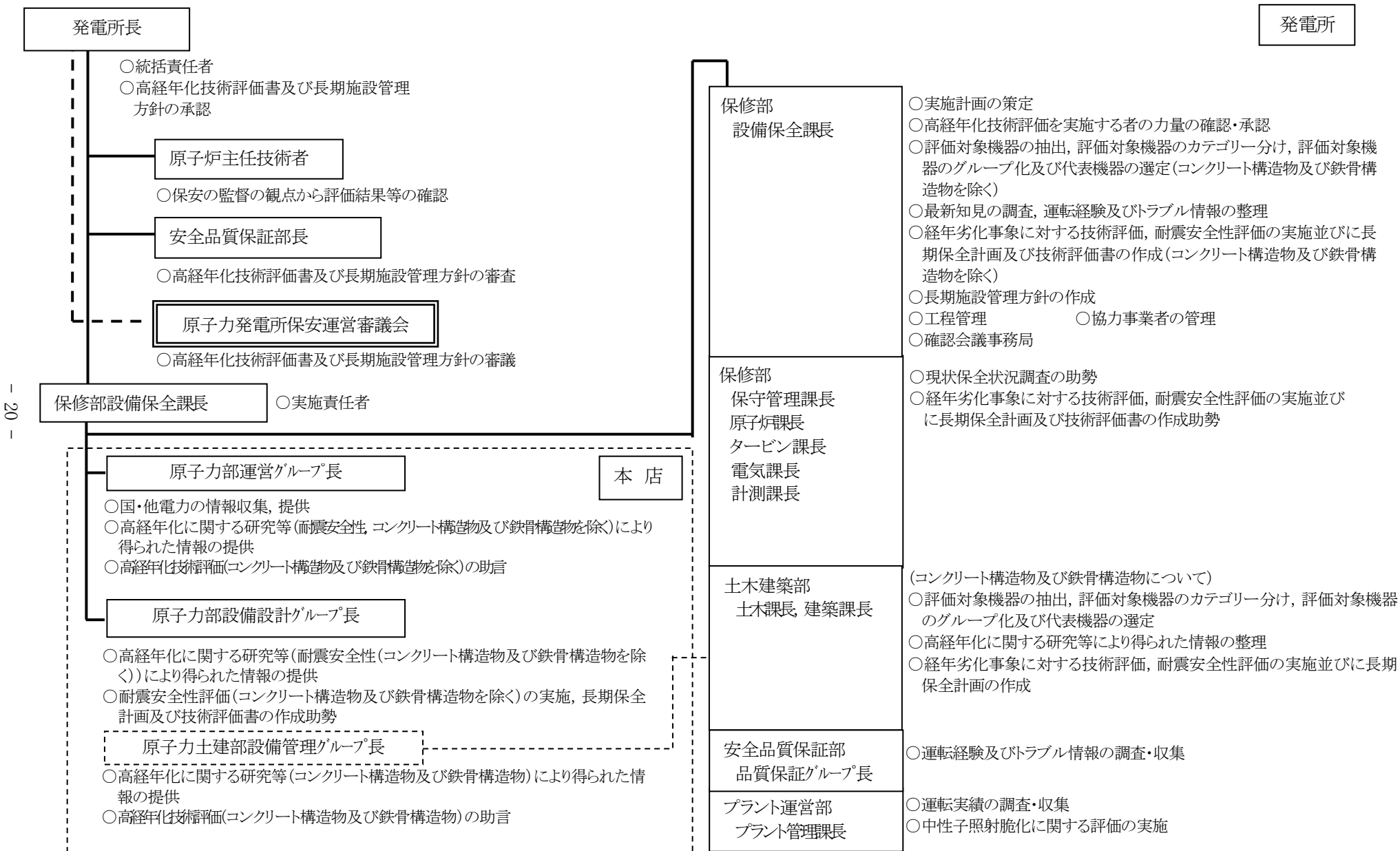
3.6 教育訓練

技術評価を実施する者の力量については、【高経年化に関する技術評価実施手引】でその要求する力量を定めている。

技術評価及び技術評価書の作成助成を実施する各所管部署は、高経年化技術評価に関する業務経験や施設管理の業務経験等を勘案し、業務に精通している者を選任して評価業務に従事させた。

具体的な力量の要件は、以下の①～③のいずれかを満足するものとしている。

- ① 【力量認定手引】で定められたプロセスに従い、「高経年化に関する技術評価業務」に関する力量を認定された者。
- ② 【本店原子力実務教育訓練実施手引】で定められたプロセスに従い、「高経年化に関する技術評価業務」に関する力量を認定された者。
- ③ 過去の業務経験、現状の業務内容及び原子力関連業務従事履歴を勘案し、①又は②と同等以上の水準に達していると「高経年化技術評価者承認書」により設備保全課長の承認を受けた者。



資料 3-1 評価の実施に係る組織

3.7 評価年月日

2022 年 6 月 22 日

3.8 評価を実施した者の氏名

中部電力株式会社

浜岡原子力発電所長 豊田 哲也

4. 高経年化技術評価方法

4.1 高経年化技術評価対象機器

本検討では、高経年化対策実施ガイド等に従い、浜岡4号機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）のうち、安定停止状態が維持されることを前提とした設備を高経年化技術評価対象機器とした。

具体的には、「重要度分類指針」におけるクラス1, 2及び3の安全機能を有する機器・構造物のうち、安定停止状態の維持に必要な設備とし、原子炉の状態として燃料モードスイッチの位置が「停止」又は「燃料交換」であって原子炉圧力容器締付ボルトが1本以上緩められている状態を対象とした。また、保全活動に必要な情報を管理しているプラントマネジメントシステム、配管計装線図（P&ID）、機器設計仕様書及び構造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、機器分解点検時に取替えを前提とするものは消耗品として評価対象から除外している。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であり、取替え基準が社内基準等により定められているものについても定期取替品として評価対象から除外している。ただし、設計上、計画的に取替えることを前提としているものであっても、高経年化技術評価の定期的な再評価期間である10年を超えて使用するものについては、経年劣化を考慮するものとして、評価対象から除外していない。

4.2 高経年化技術評価の個別実施手順

4.2.1 機器のグループ化及び代表機器の選定

評価にあたっては、選定された機器をポンプ、熱交換器、ポンプモータ、容器、配管、弁、炉内構造物、ケーブル、コンクリート構造物及び鉄骨構造物、計測制御設備、空調設備、機械設備、電源設備に分類し、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^{*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。

*1：「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及び環境に応じ発生しているか又は発生が否定できない経年劣化事象を抜け落ちなく抽出することがで

きる。

なお、2.4 項に示す「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 国内外の原子力プラントの運転経験の反映及び最新の技術的知見の反映

経年劣化事象の抽出にあたっては、これまでに高経年化技術評価を実施した浜岡 1 号機、浜岡 2 号機及び浜岡 3 号機を含む先行評価プラントの技術評価書を参考にするとともに、現在までの国内外の運転経験や研究、原子力規制委員会指示文書等によって新たに得られた知見を反映した。

運転経験の反映は、浜岡 3 号機へ反映した運転経験に加え、それ以降（2016 年 4 月～2021 年 11 月末）の国内外の運転経験を分析し、経年劣化事象抽出、健全性評価等に反映した。

国内のトラブル情報としては、一般社団法人 原子力安全推進協会が運営す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事例のうち、法律、通達対象及び保全品質情報を含んでいる。

海外のトラブル情報は、Bulletin（通達）等の NRC（米国原子力規制委員会：Nuclear Regulatory Commission）情報を含んでいる。

なお、経年劣化事象の抽出において、「経年劣化メカニズムまとめ表」に加え新たに考慮した運転経験はない。

また、浜岡 4 号機の技術評価において検討対象とした主な原子力規制委員会指示文書等を以下に示す。

- 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一部改正について」（最終改正：令和 2 年 3 月 31 日）
- 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一部改正について」（最終改正：令和 2 年 3 月 31 日）
- ③「実用発電用原子炉及びその附属施設における破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥の解釈」（原規技発第 2107219 号（令和 3 年 7 月 21 日原子力規制委員会決定））

その他、技術評価において考慮した最新知見等について以下に示す。

- ①国の定める技術基準並びに日本機械学会、日本電気協会及び日本原子力学会等の規格・基準類
- ②原子力安全基盤機構の高経年化技術情報データベースにおける試験研究の情報

4.2.3 経年劣化事象の抽出

技術評価の実施にあたっては、安全機能を有する機器・構造物に想定されるすべての経年劣化事象の中から、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象を抽出する必要があるが、過去に高経年化技術評価を実施したプラントの実績をまとめた学会標準 2008 版等の「経年劣化メカニズムまとめ表」を基にして、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象を抽出した。

(1) 機器・構造物毎に発生が否定できない経年劣化事象の抽出

経年劣化事象の抽出にあたっては、以下の二段階で実施した。抽出フローを資料 4-1、別紙-1 に示す。

① 第一段階

- ・「経年劣化メカニズムまとめ表」により、原子炉施設に想定される経年劣化事象を抽出した。
- ・「経年劣化メカニズムまとめ表」作成・改訂時期以降の運転経験や、機器の構造の違いから「経年劣化メカニズムまとめ表」に記載された経年劣化事象以外に抽出された経年劣化事象を反映した。

② 第二段階

各機器個別の条件を踏まえ、部位毎に想定される経年劣化事象を抽出した。

(2) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の抽出

前項で選定した安全機能を有する機器・構造物に想定されるすべての経年劣化事象の中から、以下の条件に該当する経年劣化事象については、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象とし、これらに該当しない事象を高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として抽出した。

このうち以下の分類の①に該当する経年劣化事象には、「主要 6 事象^{※2}」のいずれにも該当しないものであって、2009 年 1 月から施工されたプラント毎の特性に応じた個別の検査の充実を含む新しい検査制度の実績を踏まえ、2.4 項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を含んでいる。

*2：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（各技術評価書では、「疲労割れ」という。）」、「中性子照射脆化」、「照射誘起型応力腐食割れ」、「2相ステンレス鋼の熱時効」、「電気・計装品の絶縁低下」及び「コンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下」。

- ① 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難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に該当する事象（日常劣化管理事象）
- ② 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

4.2.4 経年劣化事象に対する技術評価

4.2.1 項で選定した代表機器について、下記の手順で技術評価を実施した。

a. 健全性評価

代表機器の主要部位と高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の組合せ毎に運転開始後30年以降10年間の安定停止状態の維持を仮定して、解析等の定量的評価、過去の点検実績、修理・取替え実績、一般産業で得られている知見等を用いて健全性を評価した。

b. 現状保全

評価対象部位に実施している現状保全（点検内容、関連する機能試験内容、補修・取替え等）について整理した。

c. 総合評価

上記 a, b の内容を踏まえ、現状保全の妥当性等について総合的に評価した。

d. 高経年化への対応

安定停止状態の維持を考慮した場合、現状保全の内容に対して点検・検査等充実すべき項目（新たに加えるべき保全項目）、技術開発課題等を抽出した。

4.3 耐震安全性評価

4.3.1 耐震安全性評価対象機器

技術評価対象機器と同一とした。

4.3.2 耐震安全性評価手順

a. 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出

4.2.3項で抽出した安全機能を有する機器・構造物に想定される経年劣化事象について、これらの事象が顕在化した場合、代表機器の振動応答特性又は構造・強度上、影響が「有意」であるか「軽微若しくは無視」できるかを検討し、「有意」（若しくは「軽微若しくは無視」できない）なものを耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象とした。

b. 耐震安全性評価

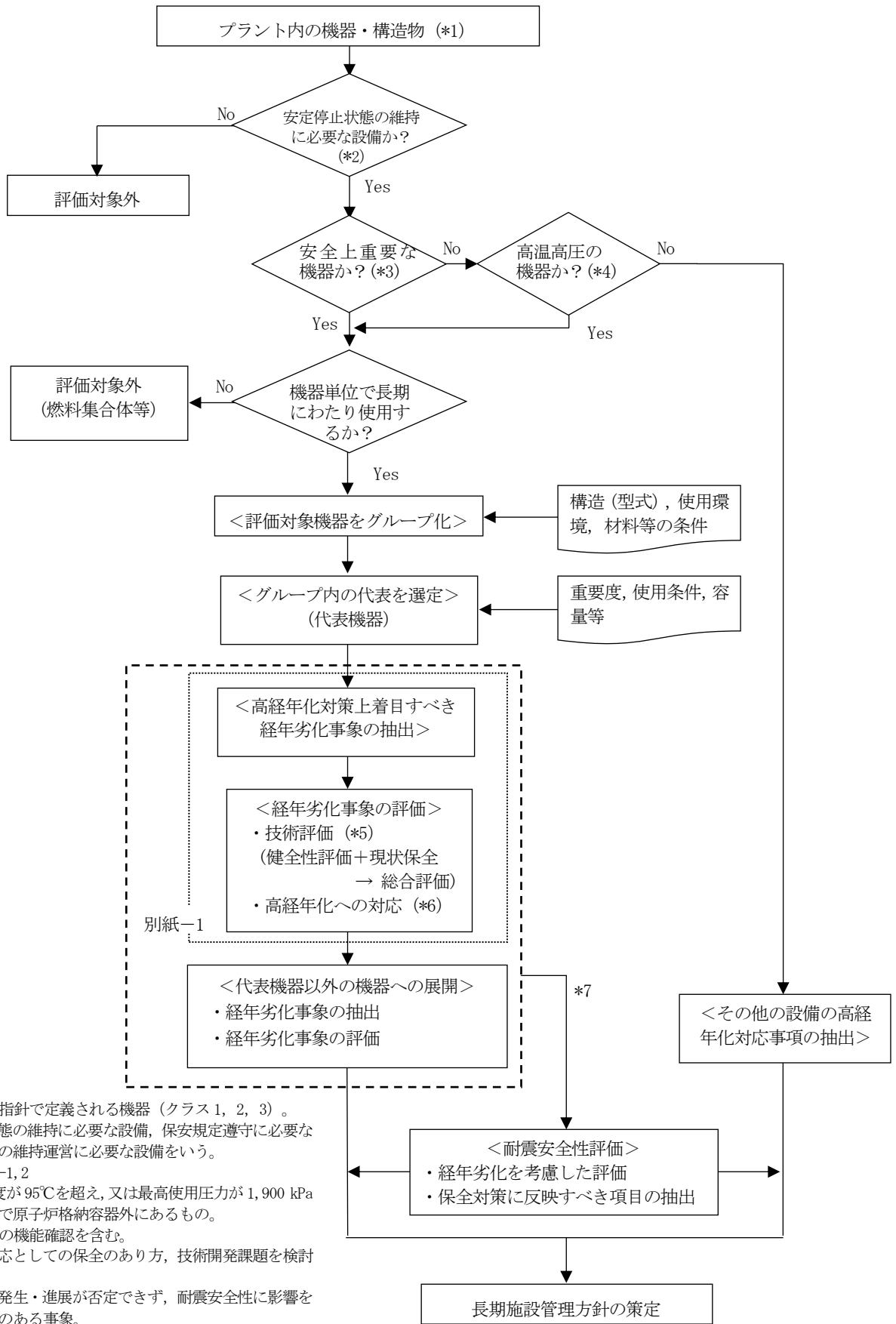
前項で抽出された耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象毎に、以下の手順に従って耐震安全性評価を実施した。

- ① 設備の耐震重要度分類
- ② 設備に作用する地震力の算定
- ③ 想定される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

なお、評価に際しては、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」（日本電気協会）等に基づき実施した。

c. 保全対策へ反映すべき項目の抽出

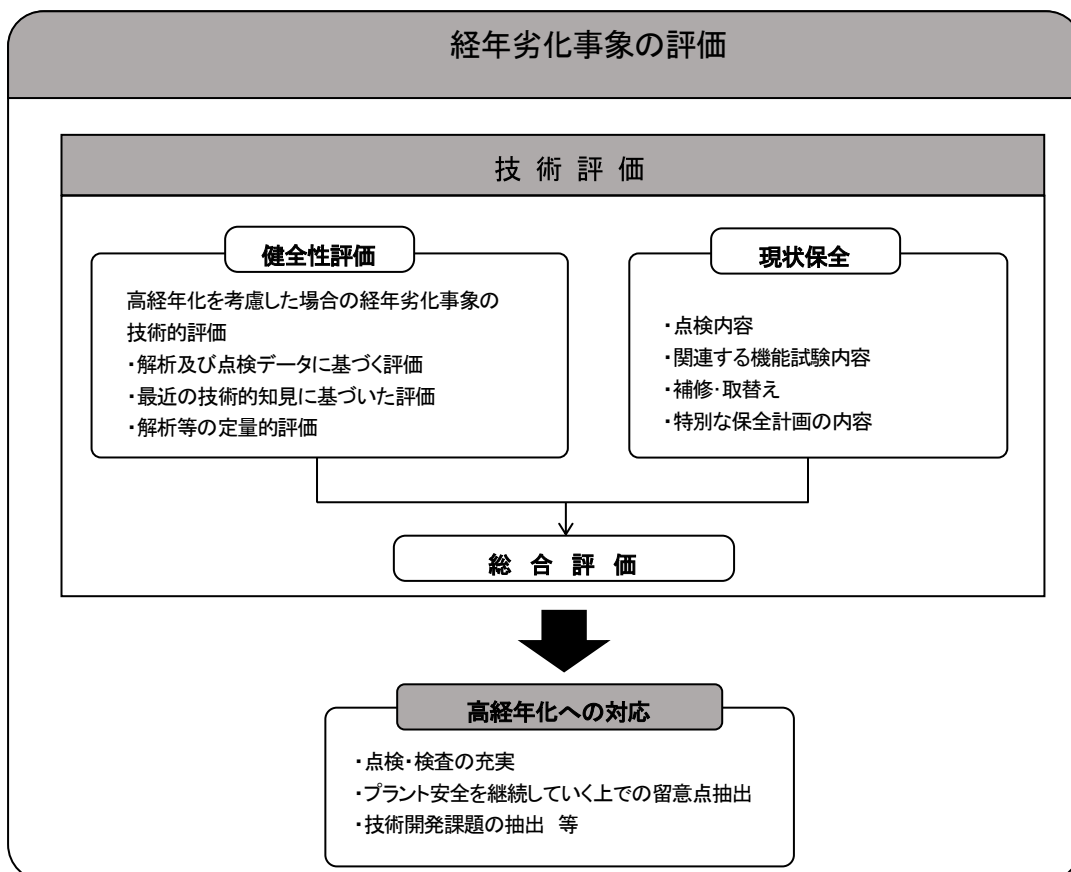
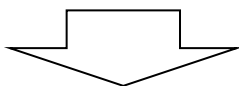
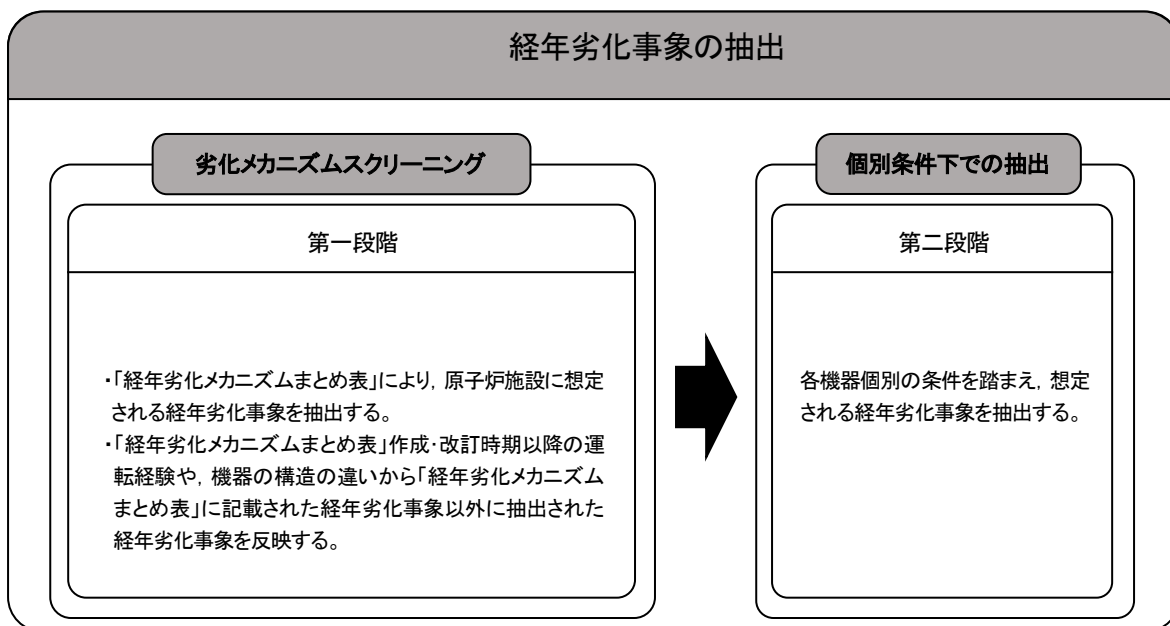
以上の検討結果を基に、耐震安全性の観点から今後新たに加えるべき保全項目を抽出した。



- *1: 重要度分類指針で定義される機器 (クラス 1, 2, 3)。
- *2: 安定停止状態の維持に必要な設備, 保安規定遵守に必要な設備, 発電所の維持運営に必要な設備をいう。
- *3: PS-1, 2 MS-1, 2
- *4: 最高使用温度が 95℃を超え, 又は最高使用圧力が 1,900 kPa を超える機器で原子炉格納容器外にあるもの。
- *5: 系統レベルの機能確認を含む。
- *6: 高経年化対応としての保全のあり方, 技術開発課題を検討する。
- *7: 経年劣化の発生・進展が否定できず, 耐震安全性に影響を及ぼす可能性のある事象。

資料4-1 高経年化技術評価フロー

経年劣化事象の抽出及び評価手順



5. 技術評価結果

本章では、資料 4-1 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 機器・構造物の技術評価結果

安定停止状態を維持する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、現状保全を継続していくことにより、安定停止状態においても、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。

5.2 耐震安全性評価結果

安定停止状態を維持することを前提とした耐震安全性評価にあたっては、5.1 項における技術評価結果を取り入れ、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象及び日常劣化管理事象を対象として耐震安全性を評価した。

対象とした経年劣化事象について、これらの事象が顕在化した場合、代表機器の振動応答特性又は構造・強度上、影響が「有意」であるか「軽微若しくは無視」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 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

安定停止状態の維持に必要な設備については、現状の保全を継続して実施することにより、設備の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

高経年化技術評価の結果、今後、高経年化対策として充実すべき課題等は抽出されなかった。

6.2 技術開発課題

高経年化技術評価は、現在までの知見と実績を基に評価を実施したものであるが、点検・検査技術の高度化、並びに更なる知見の蓄積に努める観点から、今後更に技術開発課題に取り組んでいく必要がある。このため、今後、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していくが、現時点では緊急性を有する課題はない。

7. まとめ

(1) 総合評価

運転開始以来、30年を経過する浜岡4号機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、安定停止状態の維持に必要な機器・構造物については、現状の保全を継続していくことにより、安定停止状態の維持における機器・構造物の健全性が確保される見通しを得た。

(2) 今後の取組み

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

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

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