

二 類 書 付 添

高 浜 電 所 1 号 炉

劣 化 状 況 評 価 書

平 成 2 7 年 4 月

関 西 電 力 株 式 会 社

目 次

1. はじめに	1
2. 高浜発電所 1 号炉の概要	5
2. 1 高浜発電所 1 号炉の設備概要	5
2. 2 高浜発電所 1 号炉の経緯	7
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	7
2. 4 高浜発電所 1 号炉の保全概要	12
3. 技術評価の実施体制	21
3. 1 評価の実施に係る組織	21
3. 2 評価の方法	21
3. 3 工程管理	21
3. 4 協力事業者の管理	22
3. 5 評価記録の管理	22
3. 6 評価に係る教育訓練	23
3. 7 評価年月日	23
3. 8 評価を実施した者の氏名	23
4. 技術評価方法	26
4. 1 技術評価対象機器	26
4. 2 技術評価手順	26
4. 3 耐震安全性評価	32
4. 4 耐津波安全性評価	33
4. 5 冷温停止状態維持時の技術評価	34
5. 技術評価結果	43
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	43
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	60
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	63
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	64
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	65
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	66

5. 7	評価の結果に基づいた補修等の措置	66
6.	今後の高経年化対策	67
6. 1	保守管理に関する方針および長期保守管理方針の策定 .	67
6. 2	長期保守管理方針の実施	67
6. 3	技術開発課題	71
7.	劣化状況評価で追加する項目	72
8.	まとめ	72

1. はじめに

我が国の原子力発電所においては、1970年3月に運転を開始した日本原子力発電敦賀発電所1号炉を始め、2014年12月末時点で5ユニットが運転開始後40年を経過しており、高浜発電所1号炉においても、2014年11月に運転開始後40年を経過している。

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、電気事業法に基づく定期検査^{注1)}により、技術基準への適合が確認されるとともに、保守管理における機器・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、これまでのところ30年の運転期間を超え40年目以降においても劣化の傾向が大きく変化することを示す技術的知見は得られていないことや、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。

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した日以降29年を経過する日までに、また、以降10年毎に同様の期間内に、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

電気事業者に求めている。

その後、２００８年８月に実用炉規則が改正され、高経年化対策を通常の保全の中に位置づけ一体化することで、原子力発電所の運転当初からの経年劣化管理を義務付けるとともに、「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、「長期保守管理方針」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月に改正している。

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。

さらに、２０１３年７月には、同法により、発電用原子炉の運転することができる期間について、最初に使用前検査に合格した日から起算して４０年^{注２）}と規定され、当該期間満了に際しては、原子力規制委員会の認可を受けて、２０年を超えない期間を限度として一回に限り延長できることとなった。

それらを踏まえ、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、「実用発電用原子炉の運転期間延長認可申請に係る運用ガイド」（以下、「運転延長ガイド」という。）にて、運転期間延長認可申請書の記載内容等を定め、２０１３年１１月に「実用発電用原子炉の運転の期間の延長の審査基準」（以下、「運転延長審査基準」という。）を制定し、運転の期間の延長の審査にあたって確認すべき事項を定めている。また、運転延長ガイドについては、２０１３年１２月および２０１４年８月に改正されている。

加えて、原子力規制委員会・規制庁は２０１３年６月に「高経年化対策実施ガイドライン等」に代わるものとして「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」（以下、「高経年化対策実施ガイド等」という。）を制定し、２０１３年１２月に改正している。

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。さらに、２０１０年９月に「原子力発電所の高経年化対策実施基準：２０１０追補１」（以下、「学会標準２０１０追補版」という。）、２０１１年６月に「原子力発電所の高経年化対策実施基準：２０１１追補２」（以下、「学会標準２０１１追補版」という。）、２０１２年１２月に「原子力発電所の高経年化対策実施基準：２０１２追補３」（以下、「学会標準２０１２追補版」という。）を発行している。

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。

注１：２０１３年７月以降は、「核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律」に基づき、原子力規制委員会が施設定期検査を実施

注２：原子力規制委員会設置法附則第２５条第２項の規定が適用される高浜発電所１号炉については、平成２８年４月８日まで

本評価書は、運転開始後４０年を迎えた高浜発電所１号炉のプラントを構成する機器・構造物に対し、「運転延長ガイド」、「高経年化対策実施ガイド等」、「学会標準２００８版」、「学会標準２０１０追補版」、「学会標準２０１２追補版」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「延長しようとする期間における運転に伴い生ずる原子炉その他の設備の劣化の状況に関する技術的な評価」（以下、「劣化状況評価」という。）として実施するとともに、運転を開始した日から４０年以降の２０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、「延長しようとする期間における原子炉その他の設備についての保守管理に関する方針」（以下、「保守管理に関する方針」という。）としてとりまとめたものである。さらに、運転開始後３０年目の高経年化技術評価の検証として、劣化傾向の評価、保全実績の評価および長期保守管理方針の有効性評価についてもとりまとめている。

なお、劣化状況評価の対象とする機器・構造物および評価手法は、４０年目の高経年化技術評価におけるものと同様である。

この結果、現状の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、抽出した「保守管理に関する方針」については、長期保守管理

方針として策定するとともに、保安規定に記載し、変更認可申請する。

今後は、認可された長期保守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 8 2 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・構造物の劣化状況評価内容の概要等を示すものであり、各機器・構造物の詳細な劣化状況評価、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。

2. 高浜発電所 1 号炉の概要

2. 1 高浜発電所 1 号炉の設備概要

高浜発電所 1 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、低圧給水ヒータを通り給水ポンプにより高圧給水ヒータ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 2 6 MW
原子炉型式	加圧水型軽水炉
原子炉熱出力	約 2 4 4 0 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	横置串型 4 車室再熱再生式

(2) 主要系統

主要系統を資料 2 - 1 に示す。

資料 2-1 高浜発電所 1 号炉系統図

2. 2 高浜発電所 1 号炉の経緯

高浜発電所 1 号炉は、原子炉等の主要設備については、設計から据付・試運転まで米国ウエスチングハウス社との契約により建設した我が国 8 番目の商業用原子力発電所で、加圧水型原子力発電所としては美浜発電所 2 号炉に続き我が国 3 番目のものである。

同炉は、1969 年 12 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。同年同月に建設に着工し、1974 年 3 月に初臨界、送電系統に初並列した後、同年 11 月に営業運転を開始した。

また、高浜発電所 1 号炉では、原子力発電設備の有効利用により CO_2 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、2003 年 2 月から定格熱出力一定運転を開始している。

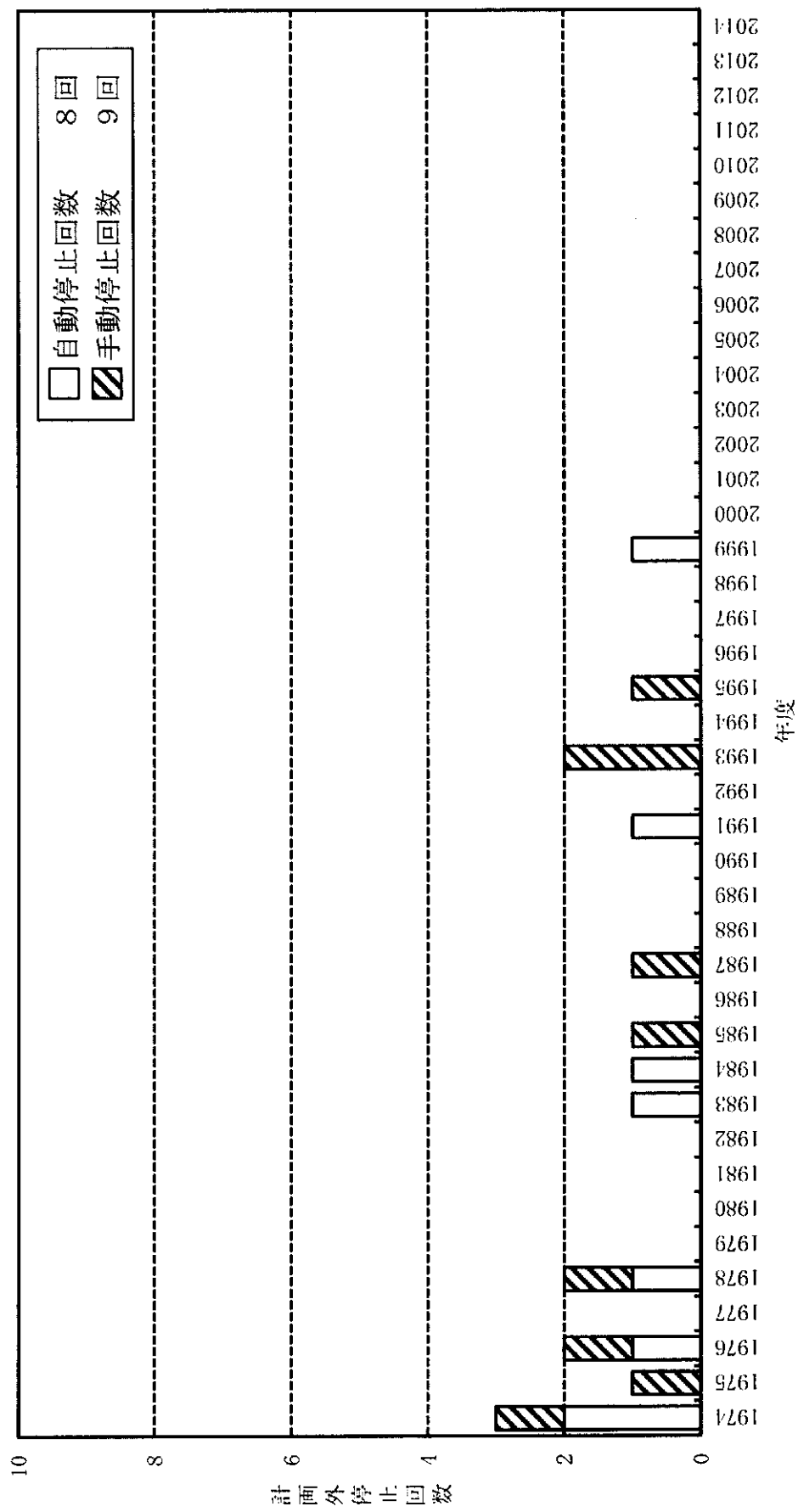
発電電力量・設備利用率の年度推移を資料 2-2、計画外停止回数の年度推移を資料 2-3、事故・故障等一覧を資料 2-4 に示す。過去約 40 年間に遡った時点までの計画外停止（手動停止および自動停止）件数の推移を見ると、供用期間の長期化に伴い、計画外停止件数が増加する明確な傾向は認められない。

2. 3 技術基準規則への適合に向けた取組およびそのスケジュール

高浜発電所 1 号炉については、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、2015 年 3 月に原子力規制委員会へ、原子炉設置変更許可を申請している。

また、今後速やかに、工事計画認可および保安規定変更認可の申請を原子力規制委員会に行なうべく取り組んでいる。

資料 2－3 高浜発電所 1 号炉 計画外停止回数の年度推移



資料 2 - 4 高浜発電所 1 号炉 事故・故障等一覧 (1 / 2)

No.	年 度	事 象
1	1974	高圧タービンからの蒸気漏れによる原子炉手動停止について
2		送電系統事故波及（外部電源喪失）による原子炉自動停止について
3		タービン軸受油圧低に伴う原子炉自動停止について
4	1975	A - 主給水制御弁不調による原子炉手動停止について
5	1976	制御棒クラスタ駆動用電源故障による原子炉自動停止について
6		蒸気発生器伝熱管漏えいによる原子炉手動停止について
7		燃料集合体支持格子の一部欠落について
8	1978	原子炉保護系ロジック試験中の誤動作による原子炉自動停止について
9		C - 1 次冷却材ポンプの振動増加による原子炉手動停止について
10	1979	A - 充てん高圧注入ポンプの主軸損傷について
11		制御棒クラスタ案内管たわみピンの損傷について
12	1980	1 次冷却材ポンプ入口エルボスプリッタの損傷について
13		C ループ安全注入系蓄圧注入ラインベント管の漏えいについて
14	1981	蒸気発生器水位低と給水低の一致による原子炉自動停止（調整運転中）について
15		タービンランバック制御系の不調による出力低下について
16	1982	計器用空気圧力低下による出力低下について
17		燃料集合体の漏えいについて
18		高圧タービン翼環締付ボルトの損傷について
19		蒸気発生器伝熱管の損傷について
20	1983	制御棒駆動回路不調による原子炉自動停止について
21		燃料集合体の漏えいについて
22		2 A - 低圧給水加熱器受衝板の損傷について
23	1984	蒸気発生器伝熱管の損傷について
24		所内電源切替に伴う原子炉自動停止について
25		使用済燃料搬出時の燃料漏えいについて
26	1985	6 A、B - 高圧給水加熱器受衝板の損傷について
27		蒸気発生器伝熱管の損傷について
28		1 次冷却材ポンプオイルクーラから冷却水漏えいに伴う原子炉手動停止について
29	1986	蒸気発生器伝熱管の損傷について
30	1987	B - 1 次冷却材ポンプ振動発生に伴う原子炉手動停止について
31		B - 循環水ポンプモータ用ケーブル取替による出力低下について
32	1988	1 次冷却材ポンプ変流翼取付ボルトの損傷について
33		蒸気発生器伝熱管の損傷について
34	1989	蒸気発生器伝熱管の損傷について
35	1990	蒸気発生器伝熱管の損傷について

資料 2－4 高浜発電所 1 号炉 事故・故障等一覧（2／2）

No.	年 度	事 象
36	1991	タービン保安装置試験失敗に伴う原子炉自動停止について
37	1992	燃料集合体の漏えいについて
38		蒸気発生器伝熱管の損傷について
39		復水器細管漏えいに伴う出力抑制について
40	1993	蒸気発生器伝熱管の損傷について
41		主蒸気配管ベント管取付溶接部からの漏えいに伴う原子炉手動停止について
42		1 次冷却材ポンプ計装配管溶接部からの漏えいに伴う原子炉手動停止について
43	1994	蒸気発生器伝熱管の損傷について
44	1995	B－主給水制御弁点検に伴う原子炉手動停止について
45	2000	復水器細管漏えいに伴う出力抑制について
46	2001	6 B 高圧給水加熱器伝熱管漏えいに伴う出力抑制について

2. 4 高浜発電所 1 号炉の保全概要

高浜発電所 1 号炉での日常的な保守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、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に基づく原子力規制委員会の施設定期検査^注を受検するとともに、定期事業者検査についても、その実施に係わ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。

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、定期点検工事または定期修繕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。

注：施設定期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」に基づく経済産業大臣の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、その実施に係わ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。

具体的には、国が技術的な妥当性を評価し、実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則 第81条第1項（当時は第11条第1項）に掲げる保守管理に係る要求事項を満たすものとなった、「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保守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、保守管理の継続的な改善を図るため、保守管理の現状を踏まえて保守管理の

実施方針を定める。同方針は、保守管理の有効性評価の結果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保守管理方針を策定または変更した場合には、長期保守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、原子力事業本部長、高浜発電所長は、保守管理の実施方針に基づき、年度毎に保守管理目標を設定し、保守管理の有効性評価の結果を踏まえて同目標の見直しを実施している。

この保守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。

高浜発電所では、原子力発電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設備・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、重要度分類指針の重要度と P S A から得られるリスク情報を考慮して保全重要度を設定する。

また、保全の有効性を監視し、合理的、客観性をもって評価するために、保全重要度を踏まえてプラントレベルおよび系統レベルの保全活動監視指標を設定している。

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

- a. 運転実績、事故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（各種技術情報）

そして、予め保全方式（時間基準保全、状態監視保全、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、劣化事象・偶発事象を勘案し、保全重要度を踏まえた上で保全実績、劣化、故障モード等を考慮し、効果的な保全方式を選定している。

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

注：過去に国内で実施してきた高経年化技術評価の評価結果をもとに、原子力発電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、過去の点検履歴等を参考にしながら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、保全指針で定める機器の点検方法および実施頻度に基づき、点検の実施時期を「点検計画表」として定めている。

補修、取替え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。具体的には、信頼性向上、経年劣化の観点から長期的に取り組む工事について、実施内容と実施時期を明確にする長期工事計画の策定、長期工事計画を基に、運転、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工事を策定している。

以上のとおり、予め定められた保全計画に従い、「工事計画」、「設計管理」、「調達管理」、「工事管理」の各プロセスにより点検・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監視保全、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）の活用をしている状況にある。

一方、当社の原子力発電所で発生した事故・故障については、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・故障の対策についても予防処置を行い、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

「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に基づき原子力規制委員会が行う施設定期検査に合わせ、定期的にプラントを停止し、高浜発電所保修業務所則指針に基づき制定した保全指針等に基づき保修部門が点検を実施し、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・故障の未然防止を図るとともに、環境、防災の維持を図っている。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) 保守体制および業務

点検および検査は、当社の保修部門および発電部門が点検および検査計画、作業管理を行い、分解点検等の実作業は協力会社が実施している。

分解点検等にあたっては、保修部門が協力会社の行う作業および品質の管理を行っている。

(5) 予防保全

プラントの運転監視、巡視点検、定期的な点検および検査により、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、予防保全の考え方に基づき、故障に至る前に補修、取替を行い、事故・故障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・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予防処置を実施し、事故・故障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、高経年化技術評価や定期安全レビュー結果、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（資料2-6）を実施するとともに、その結果と保守管理目標の達成度から定期的に保守管理の有効性評価を実施し、保守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守管理が有効に機能したかという評価の手法として、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、監視しており、至近（第26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自動スクラム回数」、「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、すべ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、保全重要度の高い系統^{注1)}のうち、重要度分類指針クラス1、クラス2およびリスク重要度の高い系統機能に対して設定した「予防可能故障（MPFF^{注2)}）回数」および「非待機（UA）時間^{注3)}」について、すべて実績値が目標値を満足していることから、保全は有効に機能していると評価した。

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

注 2 : M P F F (Maintenance Preventable Function Failure) 。系統もしくは、トレイン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 : U A 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、今後も日常点検を継続することで健全性を維持することが可能であると考ええる。

また、高浜発電所 1 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

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」

- ・ 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 25 回定期検査時（2007 年度～2008 年度）に、予防保全の観点から、余熱除去冷却器バイパスライン合流部について、温度揺らぎを抑制できる合流部形状に変更するとともに、応力集中が小さい溶接形状に変更した。

「応力腐食割れ」

- ・ 燃料取替用水タンク取替

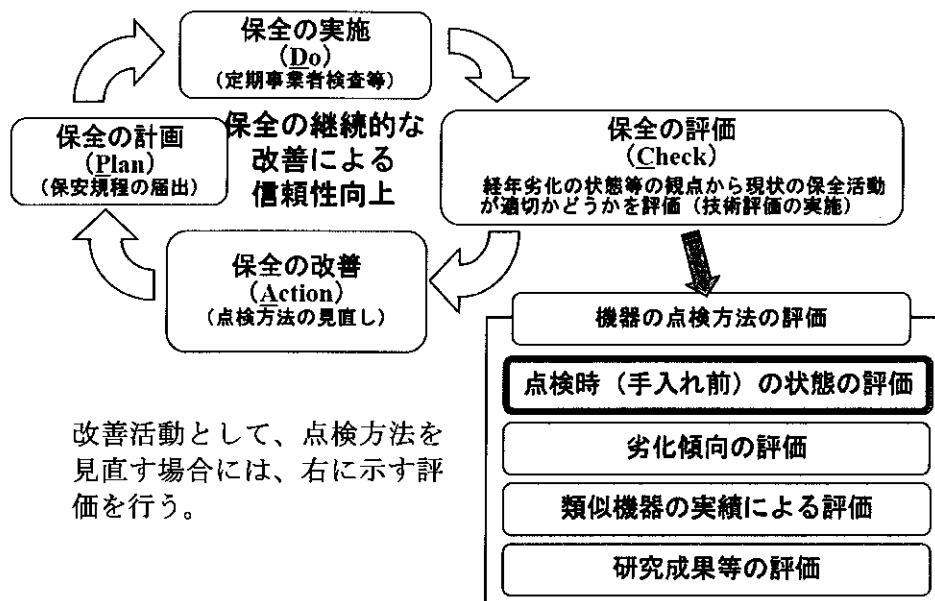
国内外 PWR プラントにおける応力腐食割れ事象を踏まえ、予防保全として、第 22 回定期検査時（2004 年度）に耐応力腐食割れ性を向上した材料に取替を実施した。

- ・ 原子炉容器炉内計装筒 J-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、第 25 回定期検査時（2007 年度～2008 年度）に 600 系ニッケル基合金が使用されている炉内計装筒 J-溶接部および冷却材出入口管台溶接部について、ウォータージェットピーニング（応力緩和）を実施した。

- ・ 加圧器サージ管台取替

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、加圧器サージ管台については第 27 回定期検査時（2010 年度～）に、600 系ニッケル基合金で溶接された管台から、より耐食性に優れた 690 系ニッケル基合金で溶接された管台への取替を実施した。



資料 2 - 6 保全の有効性評価

3. 技術評価の実施体制

3. 1 評価の実施に係る組織

技術評価等にあたる体制を資料3-1に示す。高経年対策グループは、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。

土木建築設備グループは、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、機械設備に関する保守等を行う機械設備グループ、電気・計装設備に関する保守等を行う電気設備グループ、高浜発電所およびその他の関係箇所と協力して、技術評価等を実施した。

3. 2 評価の方法

劣化状況評価は、「運転延長ガイド」、「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基づいて実施した。

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

「実用炉規則」および「運転延長ガイド」等に基づき、2015年4月8日から2015年7月8日までに運転期間延長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、2012年1月19日および2015年3月3日に実施計画および実施手順を策定し、技術評価の実施を開始した。2015年4月3日に高浜発電所の評価書レビューを完了し、2015年4月9日にグループ内での評価者以外による技術的な妥当性確認を完了した。

また、原子力事業本部品質保証グループによるプロセス確認のための内部監査を2015年4月10日までに完了した。

また、2015年4月22日に、社内の原子力発電安全委員会において本評価書の審議を実施し確認され、2015年4月22日に原子力技術部門統括が承認した。

3. 4 協力事業者の管理

社内標準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、関電プラントには、技術評価対象機器リストの整備を委託し、原子力エンジニアリングには、国内外運転経験等の整理等を委託し、三菱重工業および三菱電機には、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

管理すべき文書・記録の名称、審査者、承認者、保有責任者および保有期間は、社内標準で定めている。高経年化対策技術評価に係る記録の主なものは以下の通りである。

名称	区別		審査者	承認者	保有責任者	保有期間
	内部 文書	記録				
P L M 実施計画書	○	○	高経年対策グループ チーフマネジャー	原子力技術部門統括	高経年対策グループ チーフマネジャー	永年
P L M 評価書	—	○	—	原子力技術部門統括	高経年対策グループ チーフマネジャー	永年
P L M 評価書 妥当性確認 チェックシート	—	○	—	評価担当 グループ チーフマネジャー	評価担当 グループ チーフマネジャー	10年

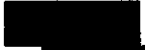
3. 6 評価に係る教育訓練

社内標準に基づき、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。

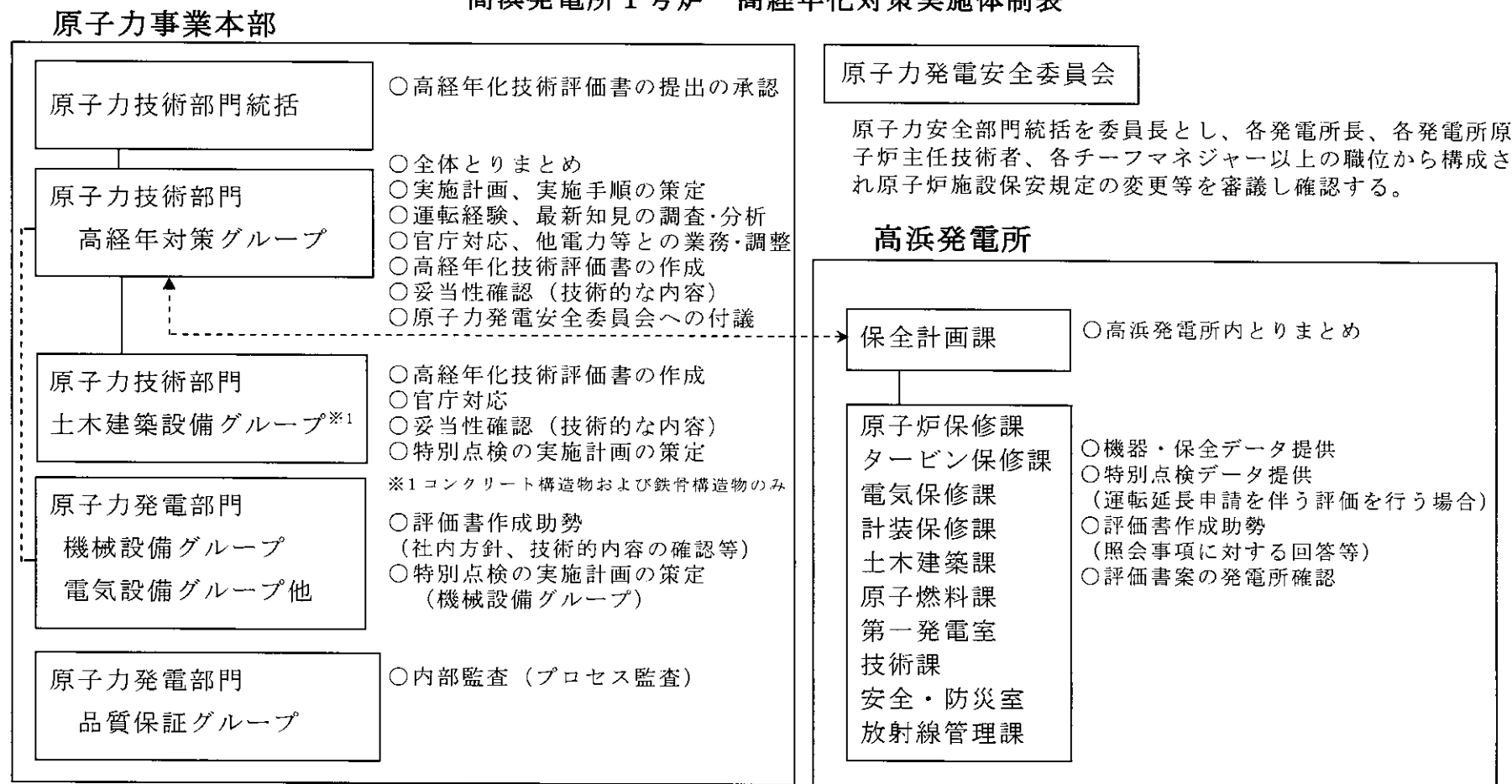
3. 7 評価年月日

2015年4月21日

3. 8 評価を実施した者の氏名

原子力事業本部 高経年対策グループチーフマネジャー 
原子力事業本部 土木建築設備グループチーフマネジャー 

高浜発電所 1 号炉 高経年化対策実施体制表



注）必要により評価書作成助勢等の外部委託を実施するものとする。

「長期保守管理方針に基づく保守管理の実施」および「長期保守管理方針の維持」の管理は、発電所にて実施する。

年月 項目	2012			2013								2014			2015				
	1	...	12	1	2	3	...	9	10	11	12	1	...	12	1	2	3	4	5
手順書作成	▼																▼		
評価書作成																			
発電所確認																			
妥当性確認																			
内部監査 (プロセス監査)																			
原子力発電安全委員会 (審議)																			
保安規定変更認可申請																			
運転期間延長認可申請																			

*1：冷温停止を前提とした評価 *2：断続的運転および冷温停止を前提とした評価

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、高浜発電所 1 号炉の安全上重要な機器等（「実用炉規則 第 8 2 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、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針（1990 年 8 月 30 日原子力安全委員会決定）」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および構造物を含む。）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（2013 年原子力規制委員会規則第 5 号）第 4 3 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、原子力保全総合システム（M35）、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であり、交換基準が保全指針、業務決定文書または原子力発電所保修業務要綱指針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）および「学会標準 2012 追補版」附属書 A（規定）に基づき、「経年劣化メカニズムまとめ表^{注）}」を参考に、対象機器を分類しグループ化を行った。

次に、グループ化した対象機器から重要度、使用条件、運転状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となる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 節に示す「経年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保守管理に活用する情報を集約してまとめたものであり、保守管理の結果により充実していくものである。この「経年劣化メカニズム整理表」に反映される保守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

高浜発電所 1 号炉の高経年化対策を検討するにあたり、美浜発電所 1、2、3 号炉、高浜発電所 1、2 号炉および大飯発電所 1、2 号炉を含む先行号炉の 30 年目の技術評価報告書、美浜発電所 1、2 号炉の 40 年目の技術評価報告書および高浜発電所 1、2 号炉の 40 年目の技術評価報告書（冷温停止状態が維持されることを前提とした評価）を参考にするとともに、それ以降 2014 年 4 月～2014 年 12 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、その期間以降においても、劣化状況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発電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、N R C（米国原子力規制委員会；Nuclear Regulatory Commission）のBulletin（通達）、Generic LetterおよびInformation Noticeを対象とした。

検討対象とした最新知見の情報を以下に示す。

- ・ 国の定める技術基準および日本機械学会、日本電気協会ならびに日本原子力学会等の規格・基準類
- ・ 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

以上の情報を整理した結果、高浜発電所1号炉の高経年化の検討で、新たに考慮すべき運転経験、最新知見はなかった。

4. 2. 3 経年劣化事象の抽出

劣化状況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）および「学会標準2012追補版」附属書A（規定）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。

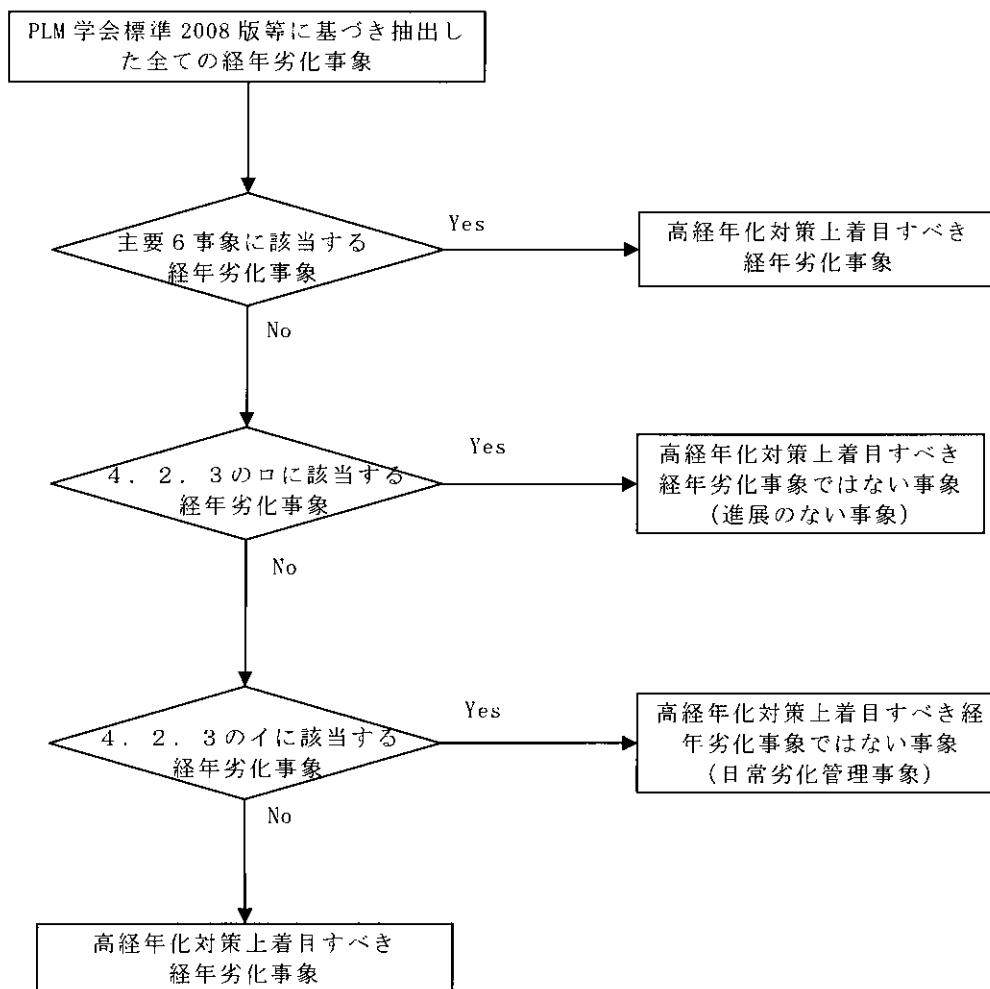
なお、抽出された経年劣化事象と部位の組み合わせのうち、下記の「イ」または「ロ」に該当する場合は、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象として除外した（資料4-1）。

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1}」のいずれにも該当しないものであって、2009年1月から施行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章で記載した日常的な保守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な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」

また、下記分類にて「ハ」に属する経年劣化事象の対象分類については、4. 5章にて別途検討を行なう。

- 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
- ハ 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、運転を断続的に行うことを前提とした場合には経年劣化の進展が考えられるが、冷温停止状態が維持されることを前提とした場合には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



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手順で実施した。

a. 健全性評価

機器毎に抽出した部位・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、過去の点検実績、一般産業で得られている知見等により健全性の評価を実施する。

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 を合わせて現状の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のある経年劣化事象の抽出

4. 2. 3で抽出した安全機能を有する機器・構造物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年の供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、「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、“基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド”（原子力規制委員会、平成25年6月19日）において津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備および津波影響軽減施設・設備が耐津波設計の対象とされていることから、それらを対象とし、津波による浸水高または波力等による影響を受けると考えられるものを、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・強度上または止水性への影響が「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。

冷温停止状態維持を前提とした場合、断続運転を前提とした場合と比較し運転条件や環境が変わるため、冷温停止状態維持を前提とした評価に考慮する必要のない経年劣化事象が存在する。そのため資料4-6で示すフローに従い、冷温停止状態維持を前提とした場合に評価が必要となる劣化事象を抽出した。

フローの結果、「冷温停止状態維持の運転条件を考慮した劣化評価を実施」となった事象に対しては、冷温停止状態を前提とした場合に、断続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経年劣化事象を選定し、運転条件や環境を考慮し、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」）を実施する。

他の事象に関しては、断続運転を前提とした場合と比較して、発生・進展が同程度か以後の発生・進展がない経年劣化事象であるため、断続運転を前提とした評価の知見を活用することとし、冷温停止を踏まえた再評価は実施しない。

なお、冷温停止状態維持を前提とした場合に、以後の進展評価をする必要のない経年劣化事象として『プラントが通常運転している状態での熱、放射線、プラントの起動・停止に伴うプラント過渡等により発生・進展が想定される劣化事象であり、冷温停止状態維持の前提においては、発生・進展が想定されないもの（4. 2. 3のハに相当）』がある。

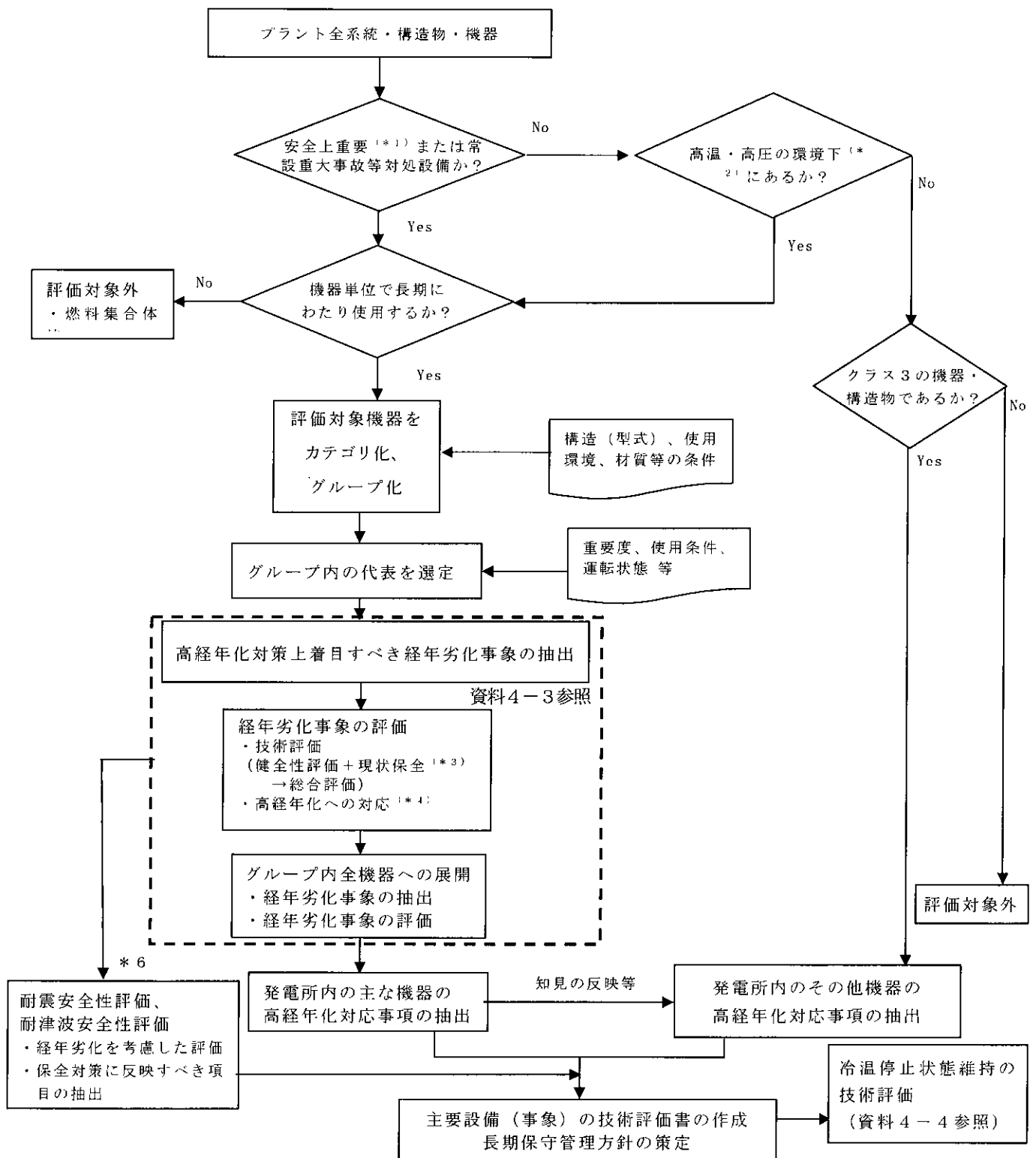
また、冷温停止状態維持を前提とした場合に、考慮する必要のない経年劣化事象としては、『プラント通常運転時に要求のある機能に対する経年劣化事象であるが、冷温停止状態維持を前提とした場合に要求がなくなるもの。』に該当するものがある。

なお、その他評価条件が大きく変わるものとして、『プラント通常運転時に起き得る設計基準事故を考慮すべき劣化事象であるが、冷温停止状態維持の前提においては、設計基準事故を考慮する必要がなくなる劣化事象』に該当するものがある。

それぞれの具体的な経年劣化事象等は以下の通りである。

1. プラントが通常運転している状態での熱、放射線、プラントの起動・停止に伴うプラント過渡等により発生・進展が想定される劣化事象であり、冷温停止状態維持の前提においては、発生・進展が想定されないもの。（資料4-7参照）

2. プラント通常運転時に起き得る設計基準事故を考慮すべき劣化事象であり、冷温停止状態維持の前提においては、設計基準事故を想定する必要がなくなるもの。（事故時雰囲気内での機能要求かかる部分に限る）（資料4－8参照）
3. 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。（資料4－9参照）



* 1 : 重要度クラス 1、2 (※5)

* 2 : 重要度クラス 3 の内、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)

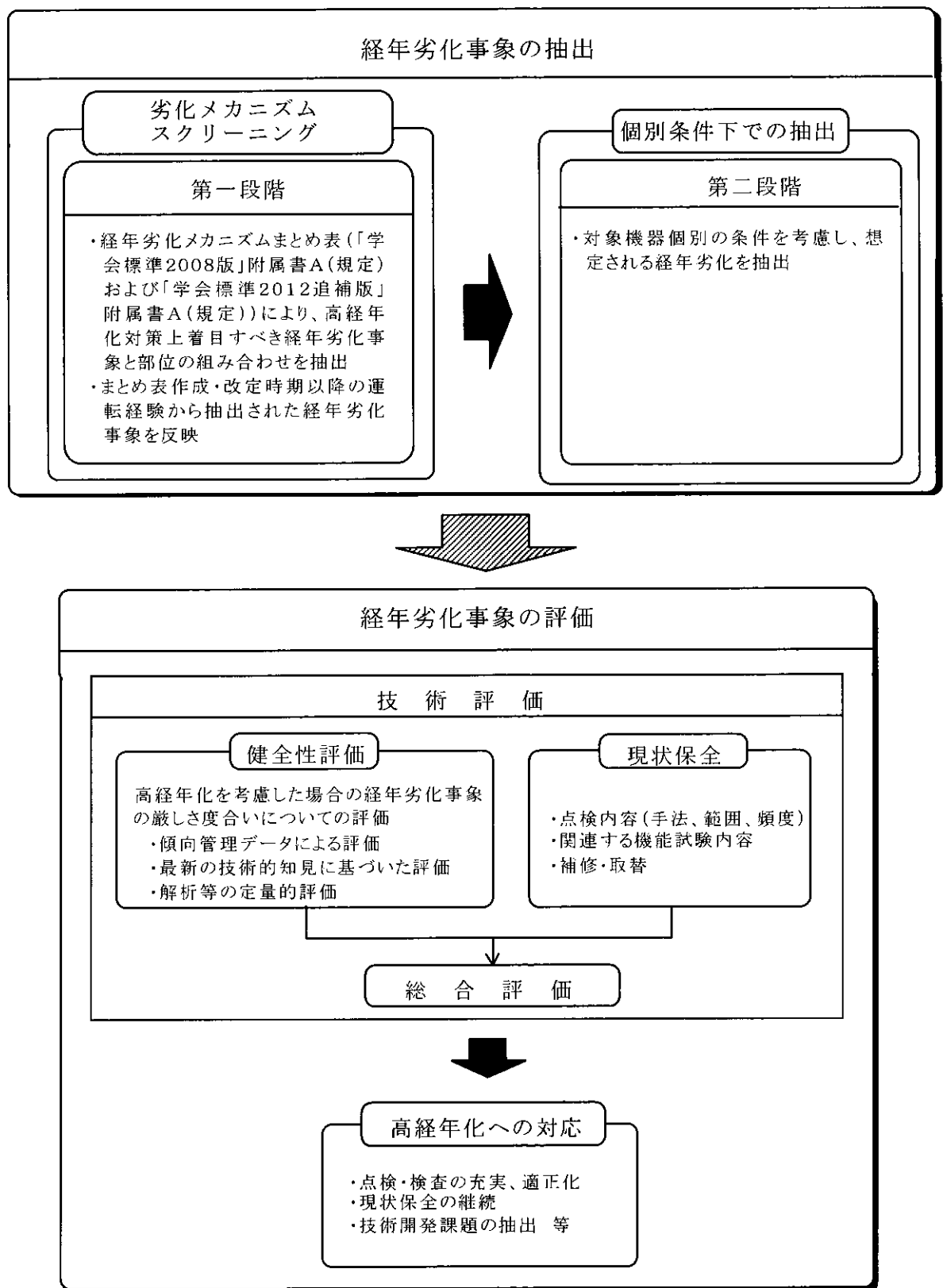
* 3 : 系統レベルの機能確認を含む。

* 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。

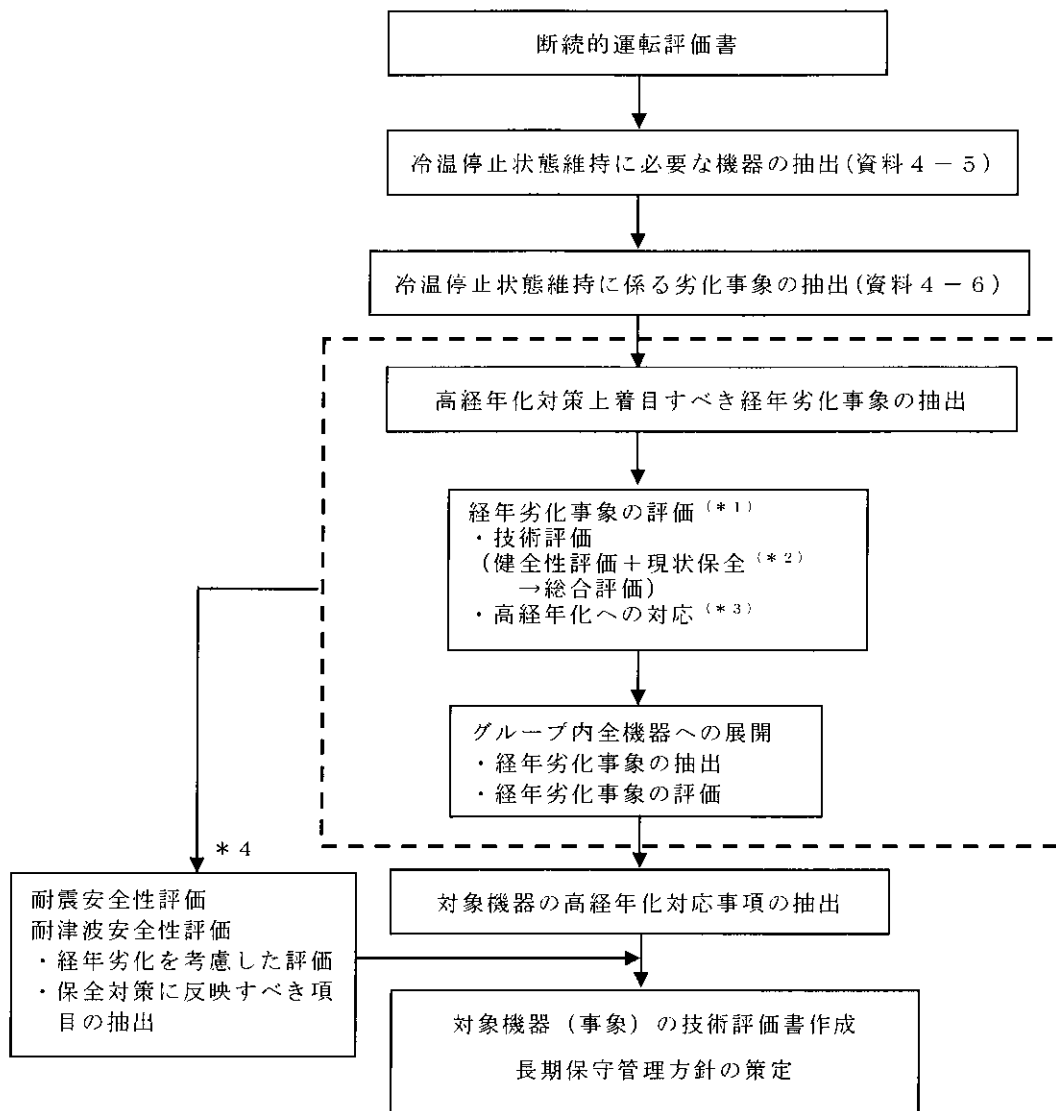
* 5 : 「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」(平成 2 年 8 月 3 0 日原子力安全委員会決定)の重要度分類

* 6 : 経年劣化の発生・進展が否定できず、耐震安全性・耐津波安全性に影響を及ぼす可能性のある事象

資料 4 - 2 技術評価フロー

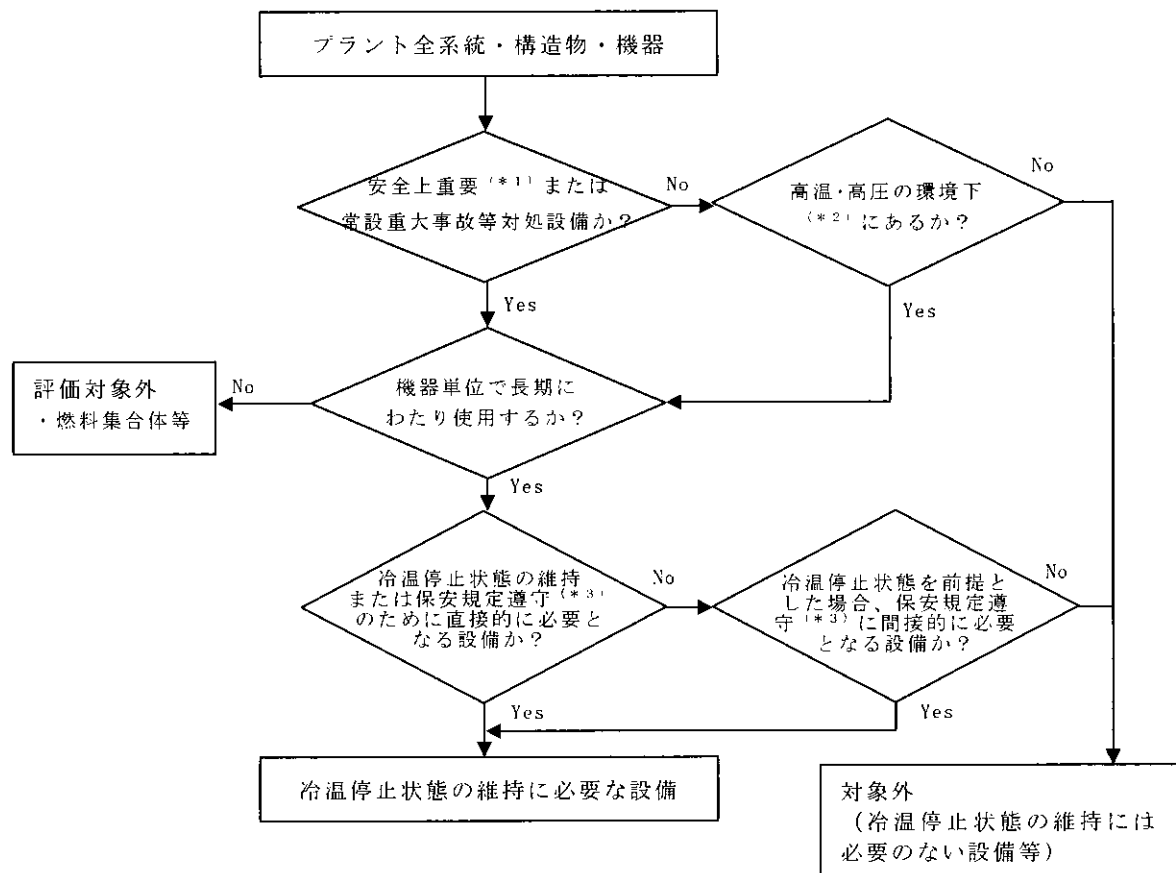


資料 4 - 3 経年劣化事象の抽出および技術評価フロー



- * 1 : 運転を前提とした評価の代表機器として評価されている機器に関しては、冷温停止を前提とした場合に必要な機器として抽出されてなくても、次頁のフローより抽出する機器を評価するための代表機器として妥当な場合は、代表機器としての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

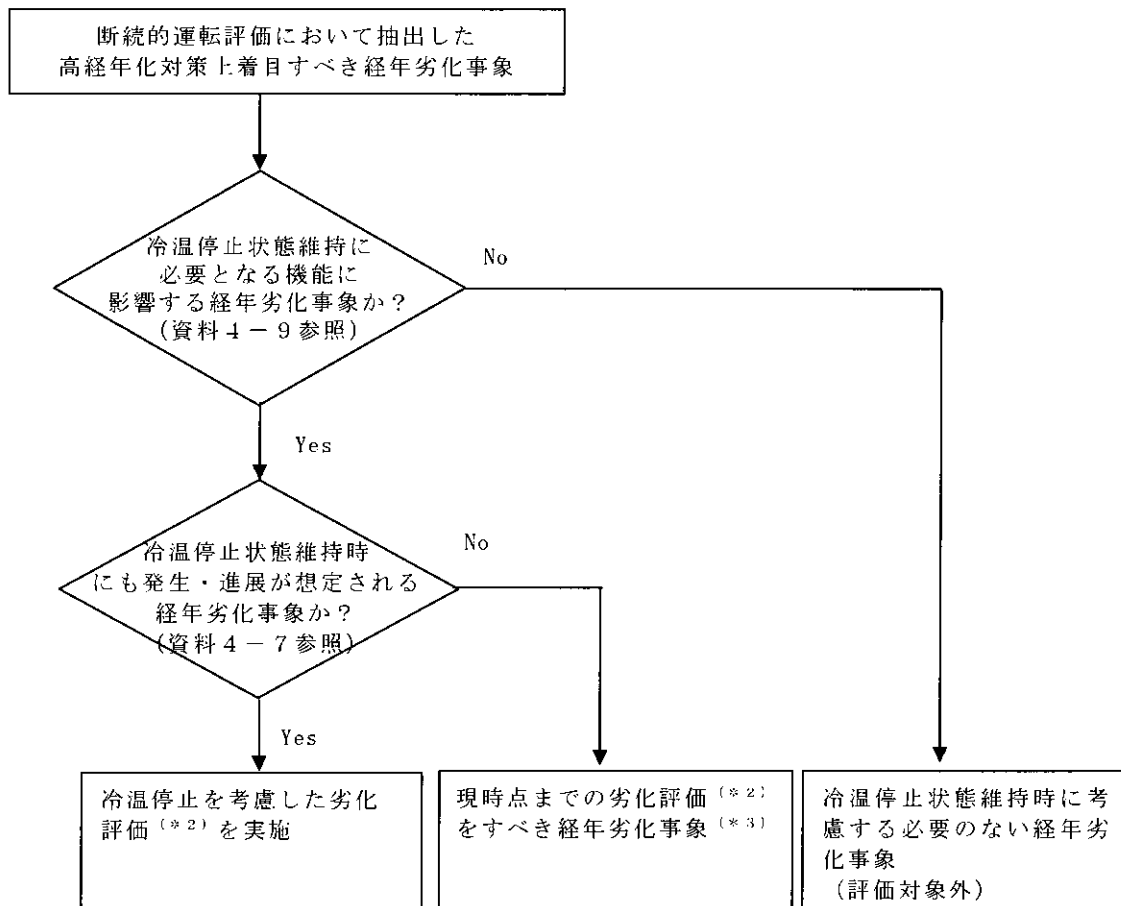


* 1 : 重要度クラス 1、2 (* 4)

* 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 : 「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 3 0 日原子
力安全委員会決定)の重要度分類



- ※1：断続的運転評価において着目すべき経年劣化事象ではない事象が、冷温停止維持時には着目すべき経年劣化事象になると判断した場合は、それらも合わせて抽出する。
- ※2：プラント通常運転時に起き得る設計基準事故時の評価は要しない（資料4-8参照）。
- ※3：技術評価対象外の事象であるが、耐震安全性評価の前提条件として必要となるため、必要に応じて現時点までの評価を実施する。

資料4-6 冷温停止状態維持を考慮した劣化事象抽出フロー

資料 4－7 冷温停止時に発生・進展が想定されない劣化事象

経年劣化事象	想定不要の理由
低サイクル疲労	原子炉の起動・停止に伴う大きな熱変動によって発生・進展する事象であることから、冷温停止状態においては進展しない。
中性子およびγ線照射脆化	通常運転時の燃料からの中性子照射等によって発生・進展する事象であることから、冷温停止状態においては進展しない。
熱時効	高温域でのみ発生・進展する事象であることから、冷温停止状態においては進展しない。
照射誘起型応力腐食割れ (IASCC) (照射下クリープおよび照射スウェリングを含む)	通常運転時の燃料からの中性子照射によって発生・進展する事象であることから、冷温停止状態においては進展しない。
内面からの応力腐食割れ (冷温停止状態で高温域にならない設備)	高温域でのみ発生・進展する事象であることから、冷温停止状態においては進展しない。
1次冷却水中の環境下における応力腐食割れ (PWSCC)	高温域でのみ発生・進展する事象であることから、冷温停止状態においては進展しない。
放射線照射によるコンクリートの強度低下	通常運転時の燃料からの中性子照射等によって発生・進展する事象であることから、冷温停止状態においては進展しない。
熱によるコンクリートの強度低下および遮へい能力の低下	高温域でのみ発生・進展する事象であることから、冷温停止状態においては進展しない。
摩耗（重機器サポート）	原子炉の起動・停止に伴う熱伸縮に伴う摺動により発生・進展する事象であることから、冷温停止状態においては進展しない。
流れ加速型腐食、エロージョン (冷温停止状態で流れがない配管／弁)	内部に流れがある条件でのみ発生・進展する事象であることから、冷温停止状態においては進展しない。
高サイクル熱疲労割れ (冷温停止状態で高温流体の流れがない配管)	内部に高温流体の流れがある条件でのみ発生・進展する事象であることから、冷温停止状態においては進展しない。
伝熱管の損傷、スケール付着、流れ加速型腐食 (蒸気発生器)	内部に流れがある条件でのみ発生・進展する事象であることから、冷温停止状態においては進展しない。
摩耗（炉内構造物：シンブルチューブ、制御棒クラスタ：被覆管）	内部に流れがある条件でのみ発生・進展する事象であることから、冷温停止状態においては進展しない。
照射誘起割れ（制御棒クラスタ：被覆管先端）	通常運転時の燃料からの中性子照射によって発生・進展する事象であることから、冷温停止状態においては進展しない。

資料 4－8 プラント通常運転時に起き得る設計基準事故を考慮すべき劣化事象

経年劣化事象	想定不要の理由
電気・計装品の絶縁低下 (事故時雰囲気内での機能要求に限る)	設計基準事故時の熱、放射線による雰囲気暴露される電気・計装品について、事故時雰囲気暴露を考慮した健全性評価が必要となる劣化事象であり、冷温停止状態維持を前提とした場合、設計基準事故時の雰囲気になり得ないことから、本劣化事象は想定不要となる。
配管サポートのオイル、オイルシールおよびグリスの劣化 (事故時雰囲気内での機能要求に限る)	設計基準事故時の熱、放射線による雰囲気暴露される配管サポートについて、事故時雰囲気暴露を考慮した健全性評価が必要となる劣化事象であり、冷温停止状態維持を前提とした場合、設計基準事故時の雰囲気になり得ないことから、本劣化事象は想定不要となる。

資料 4－9 冷温停止状態維持に必要なとならない機能

機種	機能	想定不要の理由
炉内構造物	制御棒クラスター案内構造信頼性の維持	制御棒クラスター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。
	中性子しゃへい構造信頼性の維持	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-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	制御棒クラスター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

本節においては、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についてまとめた。

- 5. 1. 1 ポンプ
- 5. 1. 2 熱交換器
- 5. 1. 3 ポンプモータ
- 5. 1. 4 容器
- 5. 1. 5 配管
- 5. 1. 6 弁
- 5. 1. 7 炉内構造物
- 5. 1. 8 ケーブル
- 5. 1. 9 電気設備
- 5. 1. 10 タービン設備
- 5. 1. 11 コンクリート構造物および鉄骨構造物
- 5. 1. 12 計測制御設備
- 5. 1. 13 空調設備
- 5. 1. 14 機械設備
- 5. 1. 15 電源設備

5. 1. 1 ポンプ

各部位に対する着目すべき経年劣化事象を抽出し、経年劣化事象毎にまとめたものを以下に示す。

- a. ケーシング等の疲労割れ
- b. ケーシングの熱時効

これらの経年劣化事象について評価した結果、高経年化への対応が必要な項目（現状保全を継続すべき項目および現状保全に新たに加えるべき項目）を以下に抽出した。

「疲労割れ」

- ① 余熱除去ポンプケーシング等の疲労割れについては、疲労評価の結果、疲労累積係数は許容値に対して余裕のある結果が得られた。ただし、疲労評価は実過渡回数に依存するため、現状、高経年化技術評価に合わせて、実過渡回数に基づく評価を実施することとしており、今後も現状保全を継続していく。

5. 1. 2 熱交換器

各部位に対する着目すべき経年劣化事象を抽出し、経年劣化事象毎にまとめたものを以下に示す。

a. 管板等の疲労割れ

これらの経年劣化事象について評価した結果、高経年化への対応が必要な項目（現状保全を継続すべき項目および現状保全に新たに加えるべき項目）を以下に抽出した。

「疲労割れ」

- ① 再生クーラ管板等の疲労割れについては、疲労評価の結果、疲労累積係数は許容値に対して余裕のある結果が得られた。ただし、疲労評価は実過渡回数に依存するため、現状、高経年化技術評価に合わせて、実過渡回数に基づく評価を実施することとしており、今後も現状保全を継続していく。

5. 1. 3 ポンプモータ

各部位に対する着目すべき経年劣化事象を抽出し、経年劣化事象毎にまとめたものを以下に示す。

a. 固定子コイル等の絶縁低下

これらの経年劣化事象について評価した結果、高経年化への対応が必要な項目（現状保全を継続すべき項目および現状保全に新たに加えるべき項目）を以下に抽出した。

「絶縁低下」

- ① 海水ポンプモータ固定子コイル等の絶縁低下については、発生の可能性は否定できない。現状、絶縁診断により許容値以上（または以下）であることを確認し傾向管理を行うとともに、運転年数と絶縁診断に基づき取替を実施している。絶縁低下については、絶縁診断により検知可能であり、今後も現状保全を継続していく。
- ② ほう酸ポンプモータ固定子コイル等の絶縁低下については、発生の可能性は否定できない。現状、絶縁抵抗測定により許容値以上であることを確認するとともに、点検結果に基づき取替等を実施している。絶縁低下については、絶縁抵抗測定により検知可能であり、今後も現状保全を継続していく。

5. 1. 4 容器

各部位に対する着目すべき経年劣化事象を抽出し、経年劣化事象毎にまとめたものを以下に示す。

- a. 冷却材出入口管台等の疲労割れ
- b. 原子炉容器胴部の中性子照射脆化
- c. ポッティング材等の絶縁低下

これらの経年劣化事象について評価した結果、高経年化への対応が必要な項目（現状保全を継続すべき項目および現状保全に新たに加えるべき項目）を以下に抽出した。

「疲労割れ」

- ① 原子炉容器冷却材出入口管台等の疲労割れについては、疲労評価の結果、疲労累積係数は許容値に対して余裕のある結果が得られた。ただし、疲労評価は実過渡回数に依存するため、現状、高経年化技術評価に合わせて、実過渡回数に基づく評価を実施することとしており、今後も現状保全を継続していく。

「中性子照射脆化」

- ② 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、最新の破壊力学的手法を用いて、運転開始後60年間の中性子照射を考慮し、初期き裂を想定して評価を行っても脆性破壊は起こらないことを確認した。現状、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、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が、今後、JEAC4201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、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、原子炉の運転時間および照射量を勘案して適切な時期に第5回監視試験を実施する。

「絶縁低下」

- ③ 電気ペネトレーションのポッティング材および外部リードについては、60年間の通常運転とその後の設計基準事故後においても絶縁機能を維持できると判断する。現状、絶縁抵抗測定等を行い有意な絶縁低下のないことを確認している。なお、より実機条件に即した電気・計装設備の長期健全性評価手法の構築に関する検討が国プロジェクト「電気・計装設備の健全性評価技術調査研究」で実施されており、今後その成果の反映を検討していく。また、念のため、三重同軸型電気ペネトレーションのポッティング材および外部リードの絶縁低下については、現状保全項目に加えて、実機同等品による再評価または取替を実施する。

5. 1. 5 配管

各部位に対する着目すべき経年劣化事象を抽出し、経年劣化事象毎にまとめたものを以下に示す。

- a. 母管等の疲労割れ
- b. 母管等の熱時効

これらの経年劣化事象について評価した結果、高経年化への対応が必要な項目（現状保全を継続すべき項目および現状保全に新たに加えるべき項目）を以下に抽出した。

「疲労割れ」

- ① 余熱除去系統配管母管等の疲労割れについては、疲労評価の結果、疲労累積係数は許容値に対して余裕のある結果が得られた。ただし、疲労評価は実過渡回数に依存するため、現状、高経年化技術評価に合わせて、実過渡回数に基づく評価を実施することとしており、今後も現状保全を継続していく。

5. 1. 6 弁

各部位に対する着目すべき経年劣化事象を抽出し、経年劣化事象毎にまとめたものを以下に示す。

- a. 弁箱の疲労割れ
- b. 電動装置モータ等の絶縁低下

これらの経年劣化事象について評価した結果、高経年化への対応が必要な項目（現状保全を継続すべき項目および現状保全に新たに加えるべき項目）を以下に抽出した。

「疲労割れ」

- ① 1次冷却系統仕切弁弁箱等の疲労割れについては、疲労評価の結果、疲労累積係数は許容値に対し余裕のある結果が得られた。ただし、疲労評価は実過渡回数に依存するため、現状、高経年化技術評価に合わせて、実過渡回数に基づく評価を実施することとしており、今後も現状保全を継続していく。

「絶縁低下」

- ② 事故時環境内で機能要求がある電動装置モータの固定子コイル等の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後においても絶縁機能を維持できると判断する。現状、定期的な絶縁抵抗測定により、許容値以上であることの確認を行っている。なお、より実機条件に即した電気・計装設備の長期健全性評価手法の構築に関する検討が国プロジェクト「電気・計装設備の健全性評価技術調査研究」で実施されており、今後その成果の反映を検討していく。また、事故時雰囲気内で機能要求がない弁電動装置モータの固定子コイル等の絶縁低下については、絶縁低下が生じる可能性は否定できない。絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、今後も現状保全を継続していく。

5. 1. 7 炉内構造物

各部位に対する着目すべき経年劣化事象を抽出し、経年劣化事象毎にまとめたものを以下に示す。

- a. 炉心支持構造物の疲労割れ
- b. バッフルフォーマボルト等の照射誘起型応力腐食割れ
- c. 下部炉心支持柱の熱時効

これらの経年劣化事象について評価した結果、高経年化への対応が必要な項目（現状保全を継続すべき項目および現状保全に新たに加えるべき項目）を以下に抽出した。

「疲労割れ」

- ① 炉心支持構造物の疲労割れについては、疲労評価の結果、疲労累積係数は許容値に対して余裕のある結果が得られた。ただし、疲労評価は実過渡回数に依存するため、現状、高経年化技術評価に合わせて、実過渡回数に基づく評価を実施することとしており、今後も現状保全を継続していく。

「応力腐食割れ」

- ② バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れについては、損傷発生予測の結果、運転開始後60年時点においてもボルトの損傷本数は管理損傷ボルト数以下であり、安全に関わる機能を維持できると考える。バレルフォーマボルト等については、バッフルフォーマボルトと比較して応力や照射量が小さいことから発生の可能性は小さい。現状、水中テレビカメラによる可視範囲の目視確認を実施し、異常がないことを確認しており、今後も現状保全を継続していく。

5. 1. 8 ケーブル

各部位に対する着目すべき経年劣化事象を抽出し、経年劣化事象毎にまとめたものを以下に示す。

a. 絶縁体等の絶縁低下

これらの経年劣化事象について評価した結果、高経年化への対応が必要な項目（現状保全を継続すべき項目および現状保全に新たに加えるべき項目）を以下に抽出した。

「絶縁低下」

- ① 難燃高圧C S H Vケーブル（屋外に布設）の絶縁体の絶縁低下（水トリー劣化）については、屋外布設ケーブルが長時間浸水状態となる可能性は低く、水トリー劣化による絶縁低下の可能性は小さいと考えるが、高湿度環境となることを考慮すると、発生の可能性は否定できない。現状、絶縁低下は絶縁診断で、浸水状態はトレンチ内の目視で確認している。絶縁低下は絶縁診断で、浸水状態は目視確認により検知可能であり、今後も現状保全を継続していく。
- ② 代表機器と構造および絶縁体材料が類似する難燃高圧C S H Vケーブル等の絶縁体の絶縁低下については、絶縁低下の可能性は否定できないが、絶縁体の絶縁低下は絶縁抵抗測定により検知可能であり、今後も現状保全を継続していく。
- ③ P Aケーブル等については、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または系統機器の動作確認で検知可能であり、今後も現状保全を継続していく。
- ④ 複合同軸コネクタ接続等の絶縁低下については、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または系統機器の動作確認で検知可能であり、今後も現状保全を継続していく。

5. 1. 9 電気設備

各部位に対する着目すべき経年劣化事象を抽出し、経年劣化事象毎にまとめたものを以下に示す。

a. ばね蓄勢用モータ（遮断器）等の絶縁低下

これらの経年劣化事象について評価した結果、高経年化への対応が必要な項目（現状保全を継続すべき項目および現状保全に新たに加えるべき項目）を以下に抽出した。

「絶縁低下」

- ① メタクラ（安全系）ばね蓄勢用モータ等の絶縁低下については、絶縁低下の可能性は否定できない。現状、絶縁抵抗測定を行い異常のないことを確認している。絶縁低下は、絶縁抵抗測定で検知可能であり、今後も現状保全を継続していく。

5. 1. 10 タービン設備

各部位に対する着目すべき経年劣化事象を抽出し、経年劣化事象毎にまとめたものを以下に示す。

a. 固定子コイル等の絶縁低下

これらの経年劣化事象について評価した結果、高経年化への対応が必要な項目（現状保全を継続すべき項目および現状保全に新たに加えるべき項目）を以下に抽出した。

「絶縁低下」

- ① タービン動補助給水ポンプ蒸気タービン補助油ポンプの固定子コイル等の絶縁低下については、発生の可能性は否定できない。現状、絶縁抵抗測定により許容値以上であることを確認するとともに、点検結果に基づき取替等を実施している。絶縁低下については、絶縁抵抗測定により検知可能であり、今後も現状保全を継続していく。

5. 1. 1 1 コンクリート構造物および鉄骨構造物

各部位に対する着目すべき経年劣化事象を抽出し、経年劣化事象毎にまとめたものを以下に示す。

- a. コンクリートの強度低下
- b. コンクリートの遮へい能力低下

これらの経年劣化事象について評価した結果、高経年化への対応が必要な項目（現状保全を継続すべき項目および現状保全に新たに加えるべき項目）を以下に抽出した。

「強度低下」

- ① コンクリート構造物の熱、放射線照射、中性化、塩分浸透および機械振動による強度低下については、健全性評価結果から、強度低下が発生する可能性は小さい。現状、コンクリート表面のひび割れ、塗膜の劣化等の目視確認を定期的を実施し、強度に支障をきたす可能性のあるような有意な欠陥がないことを確認し、必要に応じて塗装の塗替え等の補修を実施している。また、長期保守管理方針に基づき定期的に非破壊試験による点検を実施し、強度に急激な経年劣化が生じていないことを確認している。現状の保全方法は適切であり、今後も現状保全を継続していく。

5. 1. 1 2 計測制御設備

各部位に対する着目すべき経年劣化事象を抽出し、経年劣化事象毎にまとめたものを以下に示す。

a. 測温抵抗体等の絶縁低下

これらの経年劣化事象について評価した結果、高経年化への対応が必要な項目（現状保全を継続すべき項目および現状保全に新たに加えるべき項目）を以下に抽出した。

「絶縁低下」

- ① 使用済燃料ピット測温抵抗体等の絶縁低下については、絶縁低下の可能性は否定できない。現状、絶縁抵抗測定を実施し、異常のないことを確認している。絶縁低下については、絶縁抵抗測定で検知可能であり、今後も現状保全を継続していく。
- ② 非常用ディーゼル発電機制御盤励磁装置の絶縁低下については、絶縁低下の可能性は否定できない。現状、絶縁抵抗測定および適切な頻度で精密点検として $\tan \delta$ 測定等を実施し、異常のないことを確認している。絶縁低下については、絶縁抵抗測定および $\tan \delta$ 測定等で検知可能であり、今後も現状保全を継続していく。

5. 1. 1 3 空調設備

各部位に対する着目すべき経年劣化事象を抽出し、経年劣化事象毎にまとめたものを以下に示す。

a. モータ固定子コイル等の絶縁低下

これらの経年劣化事象について評価した結果、高経年化への対応が必要な項目（現状保全を継続すべき項目および現状保全に新たに加えるべき項目）を以下に抽出した。

「絶縁低下」

- ① 制御建屋送気ファンモータ固定子コイル等の絶縁低下については、発生の可能性は否定できない。現状、絶縁抵抗測定により許容値以上であることを確認するとともに、点検結果に基づき取替等を実施している。絶縁低下については、絶縁抵抗測定により検知可能であり、今後も現状保全を継続していく。
- ② チラーユニット用圧縮機モータ固定子コイル等の絶縁低下については、発生の可能性は否定できない。現状、絶縁診断により許容値以上（または以下）であることを確認し傾向管理を行うとともに、運転年数と絶縁診断に基づき取替を実施している。絶縁低下については、絶縁診断により検知可能であり、今後も現状保全を継続していく。

5. 1. 1 4 機械設備

各部位に対する着目すべき経年劣化事象を抽出し、経年劣化事象毎にまとめたものを以下に示す。

- a. 加圧器スカーツ溶接部の疲労割れ
- b. モータ固定子コイル等の絶縁低下

これらの経年劣化事象について評価した結果、高経年化への対応が必要な項目（現状保全を継続すべき項目および現状保全に新たに加えるべき項目）を以下に抽出した。

「疲労割れ」

- ① 加圧器スカーツ溶接部の疲労割れについては、疲労評価の結果、疲労累積係数は許容値に対して余裕のある結果が得られた。ただし、疲労評価は実過渡回数に依存するため、現状、高経年化技術評価に合わせて、実過渡回数に基づく評価を実施することとしており、今後も現状保全を継続していく。

「絶縁低下」

- ② 計器用空気圧縮機モータ固定子コイル等の絶縁低下については、発生の可能性は否定できない。現状、絶縁抵抗測定により許容値以上であることを確認するとともに、点検結果に基づき取替等を実施している。絶縁低下については、絶縁抵抗測定により検知可能であり、今後も現状保全を継続していく。
- ③ 燃料取換クレーン電磁ブレーキ固定鉄心等の絶縁低下については、発生の可能性は否定できない。現状、絶縁抵抗測定を行い、有意な絶縁低下がないことを確認している。絶縁低下は、絶縁抵抗測定により検知可能であり、今後も現状保全を継続していく。

5. 1. 15 電源設備

各部位に対する着目すべき経年劣化事象を抽出し、経年劣化事象毎にまとめたものを以下に示す。

a. 固定子コイル等の絶縁低下

これらの経年劣化事象について評価した結果、高経年化への対応が必要な項目（現状保全を継続すべき項目および現状保全に新たに加えるべき項目）を以下に抽出した。

「絶縁低下」

- ① 非常用ディーゼル発電機固定子コイル等の絶縁低下については、発生の可能性は否定できない。現状、絶縁診断により許容値以上（または以下）であることを確認し傾向管理を行うとともに、点検結果に基づき取替を実施することとしている。絶縁低下については、絶縁診断により検知可能であり、今後も現状保全を継続していく。
- ② 非常用ディーゼル発電機回転子コイル等の絶縁低下については、発生の可能性は否定できない。現状、絶縁抵抗測定により許容値以上であることを確認するとともに、点検結果に基づき必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替を実施することとしている。絶縁低下については、絶縁抵抗測定により検知可能であり、今後も現状保全を継続していく。
- ③ 安全系インバータ変圧器等の絶縁低下については、発生の可能性は否定できないが、絶縁低下については、絶縁抵抗測定等により検知可能であり、今後も現状保全を継続していく。

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、第5. 1節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。

耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の主な評価結果を以下に示す。なお、機器に共通のものは経年劣化事象毎に整理した。機器個別に独自の評価を行っているものについては、個別に記載した。

「摩耗」

- ① 炉内構造物制御棒クラスタ案内管および制御棒クラスタ被覆管の摩耗については、保全活動の範囲内で発生する摩耗量を仮定し、地震時に制御棒挿入時間が規定値を上回らないことを確認した。
- ② 炉内計装用シングルチューブおよび蒸気発生器支持脚等のヒンジ摺動部の摩耗については、保全活動の範囲内で発生する摩耗量を仮定し、地震時の発生応力を算出し許容応力以下であることを確認した。

「腐食」

- ③ 腐食については、保全活動の範囲内で発生し得る腐食量を仮定し、地震時の発生応力を算出し許容応力以下であること、または、疲労累積係数が1以下であることを確認した。なお、配管減肉において、肉厚測定による実測データに基づき耐震安全性評価を実施した炭素鋼配管については、耐震性が確認できる板厚に到達するまでに、サポート改造等の設備対策工事を行う計画としていることから、工事完了後に、設備対策を反映した耐震安全性評価を行う必要がある。

「疲労割れ」

- ④ 疲労割れについては、地震時の発生応力が許容応力以下であること、または、通常運転時および地震時の疲労累積係数の合計値が1以下であることを確認した。また、疲労評価を実施していない箇所については、割れの発生を安全側に想定し、地震時の割れ発生部位の発生応力を算出し、想定き裂に基づく安定限界応力以下であることを確認した。

「応力腐食割れ」

- ⑤ 応力腐食割れについては、割れの発生を安全側に想定し、地震時の割れ発生部位の発生応力を算出し、き裂安定限界応力以下であることを確認した。
- ⑥ 炉内構造物のバッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れについては、損傷パターンは2段目～7段目のバッフルフォーマボルト全て（全バッフルフォーマボルトの3/4に損傷）を仮定し、評価上最も厳しいバッフルフォーマボルトに生じる地震時の発生応力および制御棒挿入時間を算定し、それぞれの許容値以下であることを確認した。

「熱時効」

- ⑦ 1次冷却材管等の熱時効については、運転期間60年での疲労き裂に通常運転状態で働く荷重に加えて地震発生時の荷重を考慮しても、配管は不安定破壊しないことを確認した。

「中性子照射脆化」

- ⑧ 原子炉容器胴部の中性子照射による関連温度上昇については、初期き裂と地震時荷重を想定した場合の破壊力学的評価を実施し、地震を考慮した応力拡大係数が十分小さいことを確認した。
- ⑨ 原子炉容器の中性子照射による上部棚領域の靱性低下については、想定欠陥に対し、地震時のき裂は不安定成長しないことを確認した。
- ⑩ 原子炉容器サポートの中性子および γ 線照射脆化については、地震時の発生応力を算定し、材料の破壊靱性値が地震による応力拡大係数を上回っていることを確認した。

「中性子照射による靱性低下」

- ⑪ 炉内構造物炉心そうの中性子照射による靱性低下については、想定欠陥に対し、地震時のき裂の進展の有無を評価し、材料の破壊靱性値が地震による応力拡大係数を上回っていることを確認した。

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、第5. 1節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・強度上または止水性への影響が「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。

その結果、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固定子コイル等の絶縁低下

これらの経年劣化事象について評価した結果、高経年化への対応が必要な項目（現状保全を継続すべき項目および現状保全に新たに加えるべき項目）を以下に抽出した。

「絶縁低下」

- ① 余熱除去ポンプモータ固定子コイル等の絶縁低下については、発生の可能性は否定できない。断続運転を前提とした場合と比べ年間の運転時間が長くなるが、現状実施している絶縁診断については、機器の運転年数に基づき絶縁診断の周期を短縮することとしているため、冷温停止維持状態を前提とした点検手法としても適切である。絶縁低下については、絶縁診断により検知可能であり、今後も現状保全を継続していく。

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、第5. 2節における耐震安全性評価結果および第5. 4節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、第5. 4節で抽出した断続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、第5. 2節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、第5. 3節における耐津波安全性評価結果および第5. 4節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、第5. 4節で抽出した断続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・強度上または止水性への影響が「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、第5. 4節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 保守管理に関する方針および長期保守管理方針の策定

(1) 総合評価結果

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

(2) 現状の保全策に追加すべき項目

総合評価結果を基に、高経年化対策上現状の保全項目に追加すべき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保守管理に関する方針および長期保守管理方針として策定した。（資料6-1 高浜発電所1号炉 劣化状況評価に基づく保守管理に関する方針および長期保守管理方針）

6. 2 長期保守管理方針の実施

上記(2)で抽出された長期保守管理方針については、今後、高浜発電所1号炉の具体的な保全計画に反映し、運転開始後40年を迎える2014年11月14日を始期とした20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。

長期保守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3つに大別する。

a. 短期（2014年11月14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（2014年11月14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
- c. 長期（2014年11月14日からの20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、更なる信頼性向上のための取り組みが必要であるもの等

策定した長期保守管理方針については、具体的な保全計画に反映され、保全サイクル毎に保全計画の実施状況も含めて核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律に定める保安規程の変更として国に届出されることになる。2009年から導入された新検査制度では、長期保守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ており、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。

さらに、保全のPDCAサイクルを回す過程で得られた知見は、その他の運転経験や最新知見と共に、高経年化対策の評価のインプットとして扱い、高経年化対策の再評価に反映し、さらに改善された高経年化対策および保全計画策定に努めていくものとする。

資料6-1 高浜発電所1号炉 劣化状況評価に基づく保守管理に関する方針および長期保守管理方針(1/2)

機種名	機器名	経年劣化事象	健全性評価結果	現状保全	総合評価	保守管理に関する方針 (長期保守管理方針)		
						No.	保守管理の項目	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	JEAC4201-2007/2013追補版を用いた評価において、関連温度実測値は予測の範囲内であった。関連温度の上昇については、JEAC4206-2007に定められた加圧熱衝撃評価手法に基づき評価した結果、初期き裂を想定しても、運転開始後60年時点において、脆性破壊に対する抵抗値(材料自身の持つべり強さ)を示すKIC曲線は、負荷状態を応力拡大係数KI(脆性破壊を起こそうとする値)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、初期き裂を想定しても、運転開始後60年時点において、き裂進展抵抗がき裂進展力を上回ること等から、不安定破壊は起こらないと評価される。	原子炉容器に対しては、定期的(供用期間中検査時)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。さらに、第27回定期検査時(2011年度)までに胴部の炉心領域溶接部に対し100%の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。運転期間延長認可申請に際して実施した特別点検において、原子炉容器炉心領域部の母材および溶接部に対して超音波探傷検査を実施した結果、中性子照射脆化による脆性破壊の起点となるような欠陥は認められなかった。	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時間・照射量を勘案して適切な時期に第5回監視試験を実施する。	中長期
	電気ベネレーション	ボッティング材および外部リード絶縁低下	実機同等品による長期健全性試験結果に基づき評価を行った結果、ビッグテイル型電気ベネレーションについては60年間の通常運転とその後の設計基準事故後においても絶縁機能を維持できると判断する。三重同軸型電気ベネレーションについては、実機相当品による長期健全性試験結果に基づき評価を行った結果、60年間の通常運転とその後の設計基準事故後においても絶縁機能を維持できると判断する。	定期的(系統機器の絶縁抵抗測定時または系統機器の動作確認時)にケーブルおよび機器を含めた絶縁抵抗測定または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	ボッティング材および外部リードの絶縁低下は、絶縁抵抗測定または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。	2	三重同軸型電気ベネレーションのボッティング材および外部リードの絶縁低下については、実機同等品による再評価または取替を実施する。	短期

短期：2014年11月14日からの5年間、中長期：2014年11月14日からの10年間、長期：2014年11月14日からの20年間

資料 6-1 高浜発電所 1 号炉 劣化状況評価に基づく保守管理に関する方針および長期保守管理方針 (2/2)

機種名	機器名	経年劣化事象	健全性評価結果	現状保全	総合評価	保守管理に関する方針 (長期保守管理方針)		
						No.	保守管理の項目	実施時期
配管	第4抽気系統配管 グランド蒸気系統配管 復水系統配管 ドレン系統配管	母管 腐食(流れ加速型腐食)	保安院指示文書や「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)」に定められた内容に従い「2次系配管肉厚の管理指針」に反映し、これに基づき配管減肉管理を実施している。	「2次系配管肉厚の管理指針」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おり、第23回定期検査時(2005年度)、第24回定期検査時(2006年度)および第25回定期検査時(2007年度～2008年度)で主要点検部位およびその他の全ての管理対象箇所について点検を完了した。また、肉厚測定およびデータ管理にあたっては、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。	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くことで、機器の健全性に影響を与える可能性は無いと考える。 減肉は超音波を用いた肉厚測定により検知可能であり、点検手法として適切である。	3	配管の腐食(流れ加速型腐食)については、肉厚測定による実測データに基づき耐震安全性評価を実施した炭素鋼配管*について、耐震性が確認できる板厚に到達するまでに、サポート改造等の設備対策を行い、これを反映した耐震安全性評価を実施する。なお、サポート改造等の設備対策が完了するまでは、減肉傾向の把握およびデータ蓄積を継続して行い、減肉進展の実測データを反映した耐震安全性評価を実施する。 *:第4抽気系統配管 グランド蒸気系統配管 復水系統配管 ドレン系統配管	短期

短期: 2014年11月14日からの5年間、中長期: 2014年11月14日からの10年間、長期: 2014年11月14日からの20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したものであるが、点検・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。現時点では緊急性を有する課題はないが、今後も、電力研究や高経年化技術評価高度化事業の成果等を活用し、必要なものは保全計画に反映することとしている。

なお、高経年化対策のための技術情報基盤の整備を目的とした産官学の有機的連携を行う総合調整の場である原子力安全基盤機構の技術情報調整委員会において、2009年7月に高経年化対応技術戦略マップ2009が策定されている。高経年化対応技術戦略マップでは、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、今後実施されるローリングの中で整合を図ってこれらの技術開発課題への取り組みを実施していく。

7. 劣化状況評価で追加する項目

運転開始後40年目に実施する劣化状況評価では、「高経年化対策実施ガイド等」により30年時点で実施した高経年化技術評価をその後の運転経験、安全基盤研究成果等技術的知見をもって検証するとともに、長期保守管理方針の意図した効果が現実に得られているか等の有効性評価を行い、これらの結果を適切に反映することとしており、「高経年化技術評価審査マニュアル」において以下の3項目を追加評価項目としている。

- ①経年劣化傾向の評価
- ②保全実績の評価
- ③長期保守管理方針の有効性評価

経年劣化傾向については、40年目の評価は30年目の評価から大きく予測が変わるものではないことが確認できた。保全実績の評価については、40年目の評価から抽出された課題はあったものの、現状保全の継続による健全性維持の観点から課題は無いことを確認した。さらに、30年目の高経年化技術評価に基づき策定した長期保守管理方針が有効であり、必要に応じて現状保全に反映されていると確認した。

以上については、評価結果を「劣化状況評価で追加する評価に係る技術評価書」にまとめる。

8. まとめ

(1) 総合評価

運転開始以来、40年を経過した高浜発電所1号炉のプラントを構成する機器・構造物について、高経年化対策に関する評価を実施した結果、大部分の機器・構造物については、現状の保全を継続していくことにより、長期間の運転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との見通しを得た。

さらに、緊急性を有する課題ではないが、今後さらに充実すべき技術開発課題を抽出した。これらについては成果等を活用し、保全活動等に反映していくものとする。

(2) 今後の取組み

今回実施した劣化状況評価は、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