

高浜発電所 2 号炉

高経年化技術評価書

( 4 0 年目 )

平成 2 6 年 1 1 月

(平成 2 7 年 3 月一部変更)

(平成 2 7 年 4 月一部変更)

(平成 2 7 年 7 月一部変更)

(平成 2 7 年 1 1 月一部変更)

(平成 2 8 年 2 月一部変更)

(平成 2 8 年 4 月一部変更)

(平成 2 8 年 6 月一部変更)

関西電力株式会社

本評価の対象とする機器・構造物および評価手法は、「高浜発電所運転期間延長認可申請書（1号発電用原子炉施設の運転の期間の延長）の添付書類二『高浜発電所1号炉 劣化状況評価書』」におけるものと同様であり、本評価書において、「劣化状況評価」とあるのは「40年目の高経年化技術評価」と読み替える。

## 目 次

1. はじめに	1
2. 高浜発電所2号炉の概要	5
2.1 高浜発電所2号炉の設備概要	5
2.2 高浜発電所2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2号炉の保全概要	12
3. 技術評価の実施体制	22
3.1 評価の実施に係る組織	22
3.2 評価の方法	22
3.3 工程管理	22
3.4 協力事業者の管理	23
3.5 評価記録の管理	23
3.6 評価に係る教育訓練	24
3.7 評価年月日	24
3.8 評価を実施した者の氏名	24
4. 技術評価方法	27
4.1 技術評価対象機器	27
4.2 技術評価手順	27
4.3 耐震安全性評価	33
4.4 耐津波安全性評価	34
4.5 冷温停止状態維持時の技術評価	35
5. 技術評価結果	42
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	42
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	45
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	46
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	47
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	48
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	49

5. 7	評価の結果に基づいた補修等の措置	49
6.	今後の高経年化対策	50
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	50
6. 2	長期保守管理方針の実施	50
6. 3	技術開発課題	54
7.	劣化状況評価で追加する項目	55
8.	まとめ	55

## 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2号炉においても、2015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<sup>注1)</sup>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、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。

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<sup>注2)</sup>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、運転延長審査基準については2016年4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、さらに「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」については2015年10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。）、2012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。）、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。

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2号炉については、平成28年7月7日まで

本評価書は、運転開始後40年を迎える高浜発電所2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 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2号炉の概要

### 2. 1 高浜発電所2号炉の設備概要

高浜発電所2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。

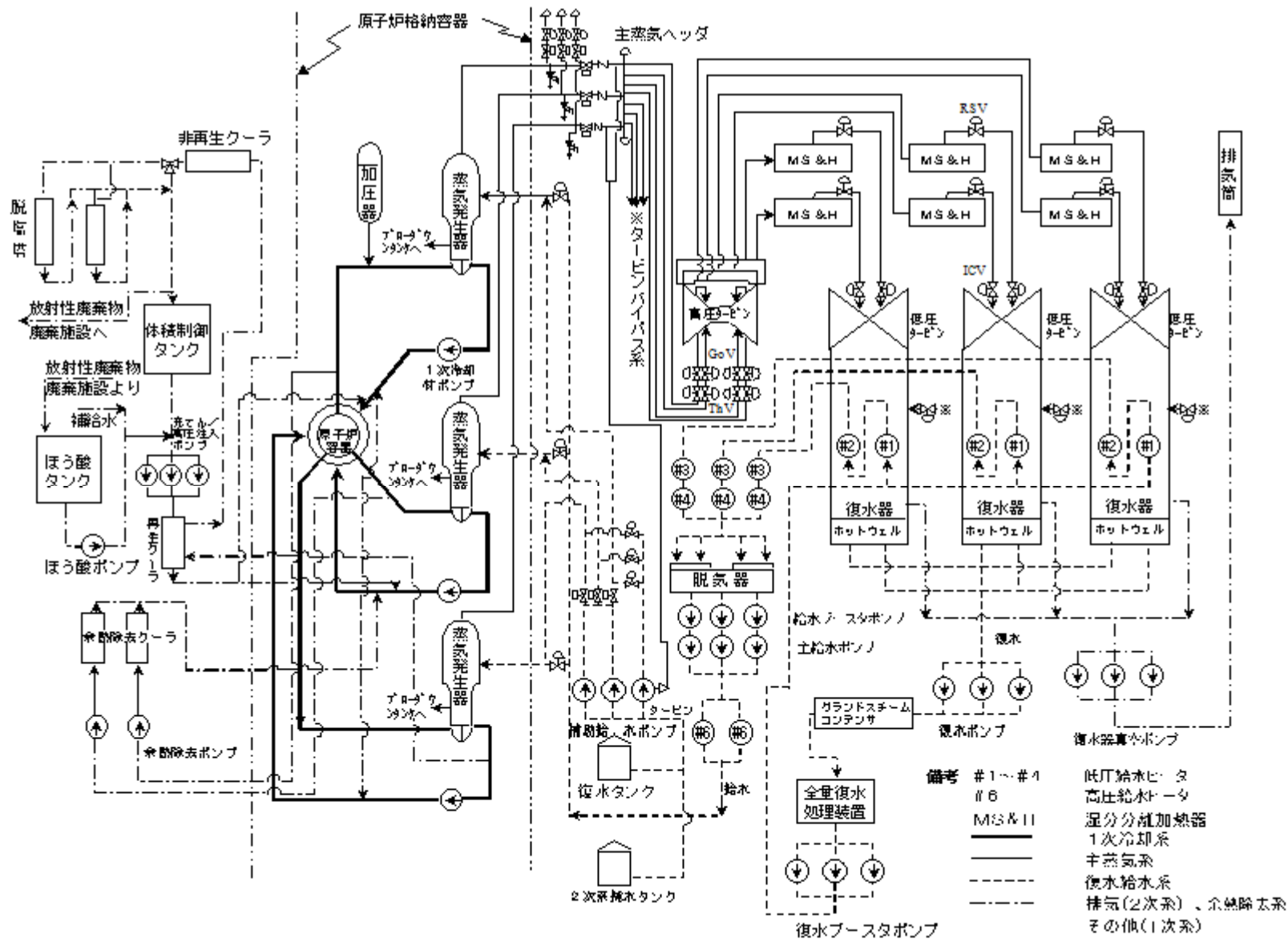
蒸気発生器で発生した蒸気は主蒸気管でタービン建屋に導かれタービンを駆動して発電し、その後復水器に流入して復水となり、復水ポンプ、低圧給水ヒータを通り給水ポンプにより高圧給水ヒータを経て再び蒸気発生器に戻される。

#### (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 2号炉系統図

## 2. 2 高浜発電所2号炉の経緯

高浜発電所2号炉は、原子炉等の主要設備については、設計から据付・試運転まで三菱重工業との契約により建設した我が国10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九州電力玄海原子力発電所1号炉に続き我が国5番目のものである。

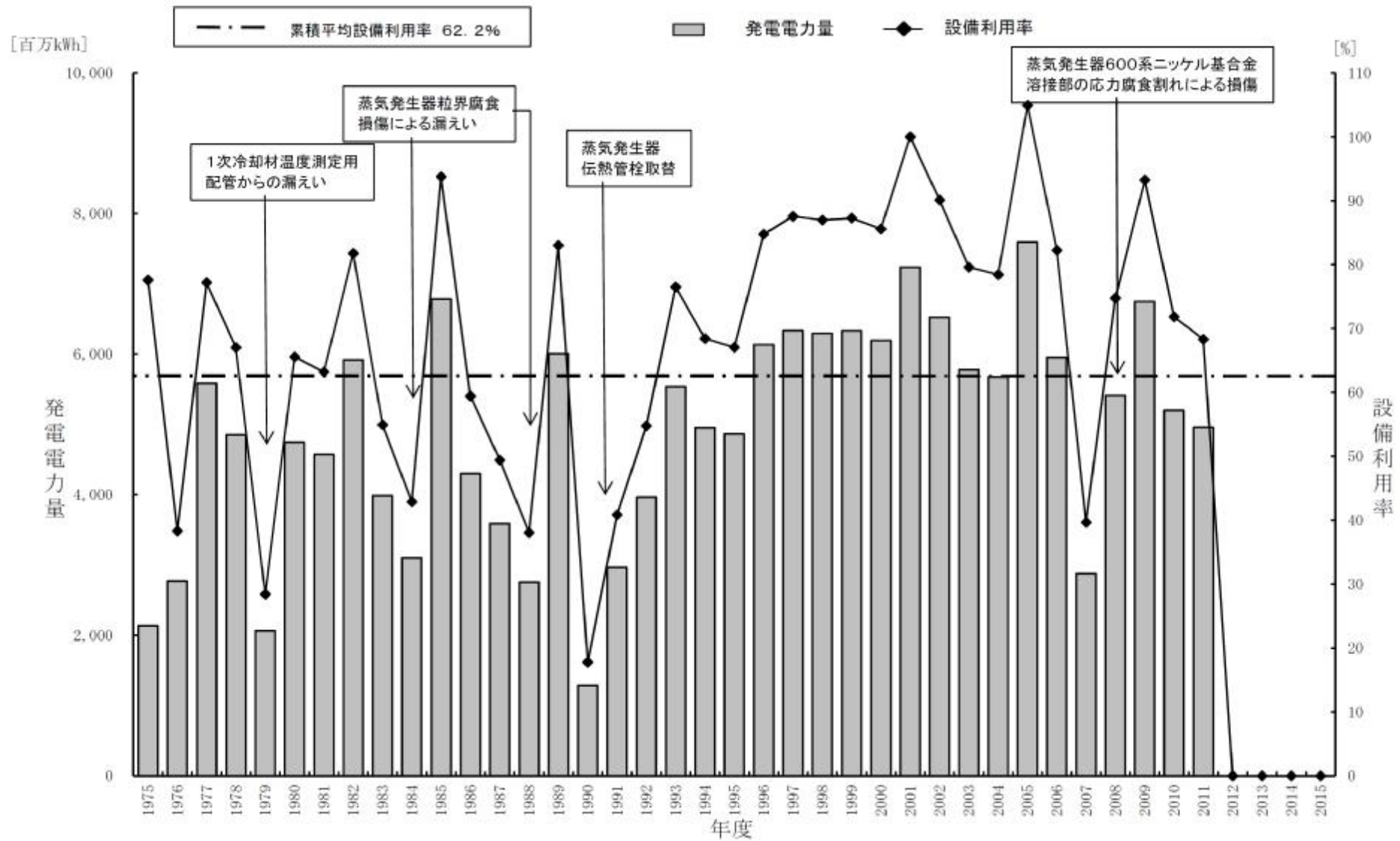
同炉は、1970年11月に原子炉設置許可を得て、通商産業大臣より電気工作物変更許可を取得した。翌年1971年1月に建設に着工し、1974年12月に初臨界、1975年1月送電系統に初並列した後、同年11月に営業運転を開始した。

また、高浜発電所2号炉では、原子力発電設備の有効利用によりCO<sub>2</sub>排出量を削減でき、地球温暖化の防止にも貢献することができる定格熱出力一定運転実施に向け、2001年12月の経済産業省通達「定格熱出力一定運転を実施する原子力発電設備に関する保安上の取扱いについて」の手續きに基づき、設備の健全性評価、運転管理方法の改善へ向けた諸対策を実施し、2002年6月から定格熱出力一定運転を開始している。

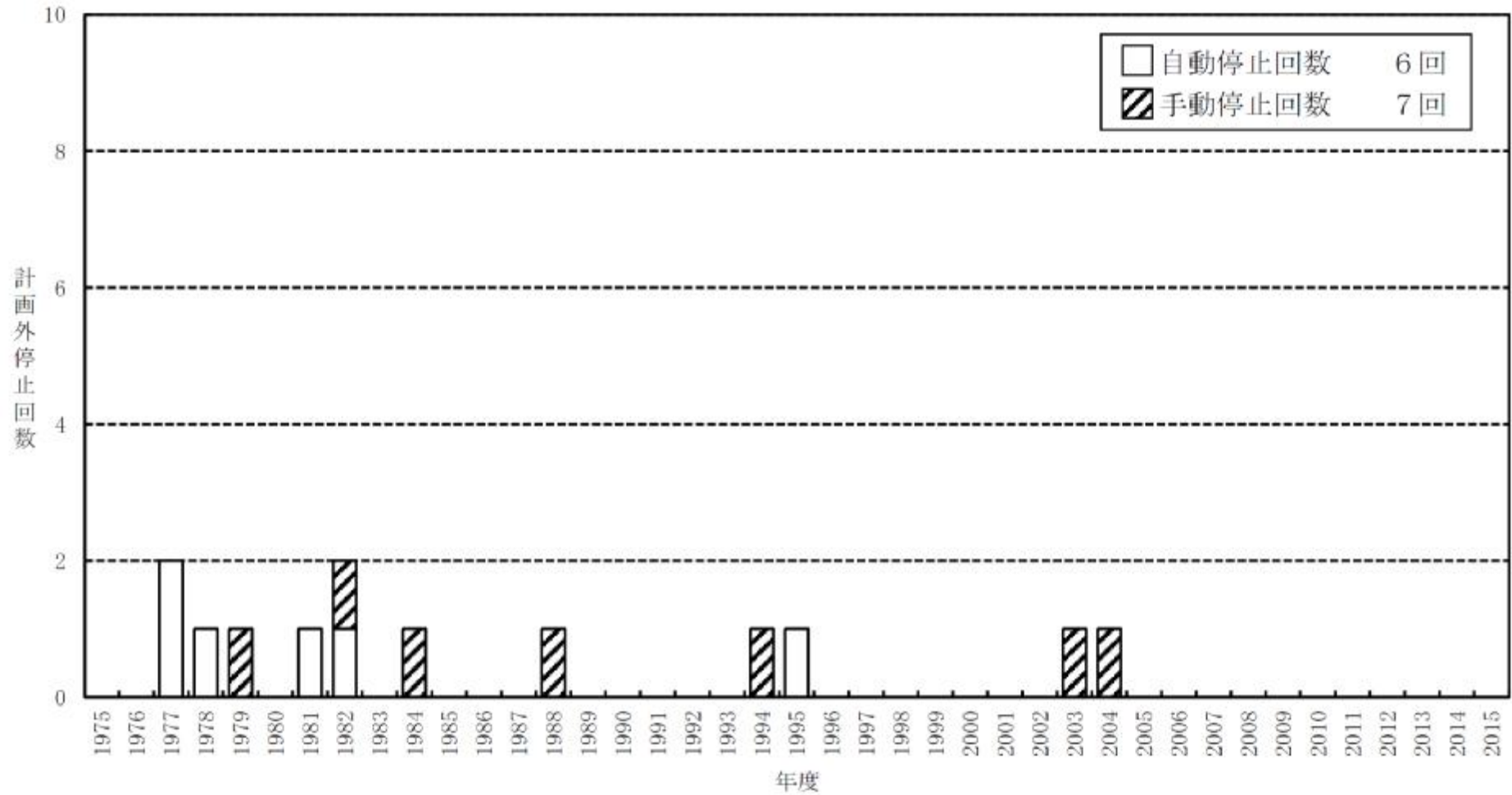
発電電力量・設備利用率の年度推移を資料2-2、計画外停止回数の年度推移を資料2-3、事故・故障等一覧を資料2-4に示す。過去約40年間を遡った時点までの計画外停止（手動停止および自動停止）件数の推移を見ると、供用期間の長期化に伴い、計画外停止件数が増加する明確な傾向は認められない。

## 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2号炉については、新規制基準へ適合させるため、平成27年3月17日付け関原発第274号をもって原子炉設置変更を申請し、平成28年4月20日付け原規規発第1604201号にて許可を受けている。また、平成27年7月3日付け関原発第74号をもって工事計画認可申請書(平成27年11月16日付け関原発第216号、平成28年1月22日付け関原発第316号、平成28年2月29日付け関原発第376号、平成28年4月27日付け関原発第57号および平成28年5月27日付け関原発第94号にて一部補正)を申請し、平成28年6月10日付け原規規発第1606105号にて認可を受けている。



資料 2 - 2 高浜発電所 2号炉 発電電力量・設備利用率の年度推移



資料 2 - 3 高浜発電所 2 号炉 計画外停止回数の年度推移

資料 2 - 4 高浜発電所 2 号炉 事故・故障等一覧 ( 1 / 2 )

No.	年 度	事 象
1	1977	EH ガバナ制御電源喪失による原子炉自動停止について
2		E 計器用電源故障による原子炉自動停止について
3	1978	送電線落雷波及による原子炉自動停止について
4		格納容器貫通配管の損傷について
5		制御棒クラスタ案内管たわみピンの損傷について
6	1979	制御棒クラスタ案内管支持ピンの損傷について
7		1 次冷却材温度測定検出器用予備座栓からの漏えいによる原子炉手動停止について
8	1981	制御棒駆動装置制御回路の不調による出力低下について
9		制御棒駆動装置制御回路の不調による原子炉自動停止について
10		燃料集合体の支持格子の損傷について
11		蒸気発生器伝熱管の損傷について
12	1982	制御棒駆動装置制御電源喪失による原子炉自動停止について
13		湿分分離器ドレンタンクバランス管の分岐管からの蒸気漏れに伴う原子炉手動停止について
14	1983	燃料集合体の外観異常について
15		制御棒クラスタ案内管支持ピンの損傷について
16		蒸気発生器伝熱管の損傷について
17		湿分分離加熱器仕切板取付溶接部の損傷について
18		6 B - 高圧給水加熱器水位制御不調による出力低下について
19	1984	3 B - 湿分分離加熱器胴板のひび割れについて
20		蒸気発生器伝熱管の損傷について
21		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
22	1986	蒸気発生器伝熱管の損傷について
23		タービン昇速時のタービン手動停止に伴う原子炉自動停止について
24	1987	蒸気発生器伝熱管の損傷について
25		湿分分離加熱器加熱蒸気制御系統不調による出力低下について
26	1988	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
27		蒸気発生器伝熱管の損傷について
28		1 次冷却材ポンプ変流翼取付ボルトの損傷について
29	1990	蒸気発生器伝熱管の損傷について
30	1991	蒸気発生器伝熱管の損傷について
31	1992	蒸気発生器伝熱管の損傷について
32	1994	A - 主給水管ドレン配管からの蒸気漏れに伴う原子炉手動停止について
33		6 A - 高圧給水加熱器伝熱管漏えいに伴う出力抑制について
34	1995	昇圧変圧器保護継電装置の動作に伴う原子炉自動停止について
35	1996	6 A - 高圧給水加熱器伝熱管漏えいに伴う出力抑制について

資料 2 - 4 高浜発電所 2 号炉 事故・故障等一覧 ( 2 / 2 )

No.	年 度	事 象
36	1997	定期検査中における核計装装置制御電源断による原子炉自動停止について
37	1999	復水器細管漏えいに伴う出力抑制について
38	2000	6 A - 高圧給水加熱器伝熱管漏えいに伴う出力抑制について
39		6 A - 高圧給水加熱器ドレン流量指示増加に伴う出力抑制について
40	2007	制御棒クラスタ動作検査時の制御棒の動作不良について
41		蒸気発生器 1 次冷却材入口管台溶接部での傷の確認について

## 2. 4 高浜発電所 2 号炉の保全概要

高浜発電所 2 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<sup>注)</sup>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基づき、保全活動を行っている。

高浜発電所では、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PSA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・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」については、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<sup>注)</sup>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）を活用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、高浜発電所保守業務所則指針に基づき制定した保全指針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

検査および点検については、当社が計画、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、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<sup>注1)</sup>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<sup>注2)</sup>)回数」および「非待機(UA)時間<sup>注3)</sup>」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、P S A（確率論的安全評価）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、列車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)。当該系統もしくは列車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ます。

また、高浜発電所2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（2008年度～2009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

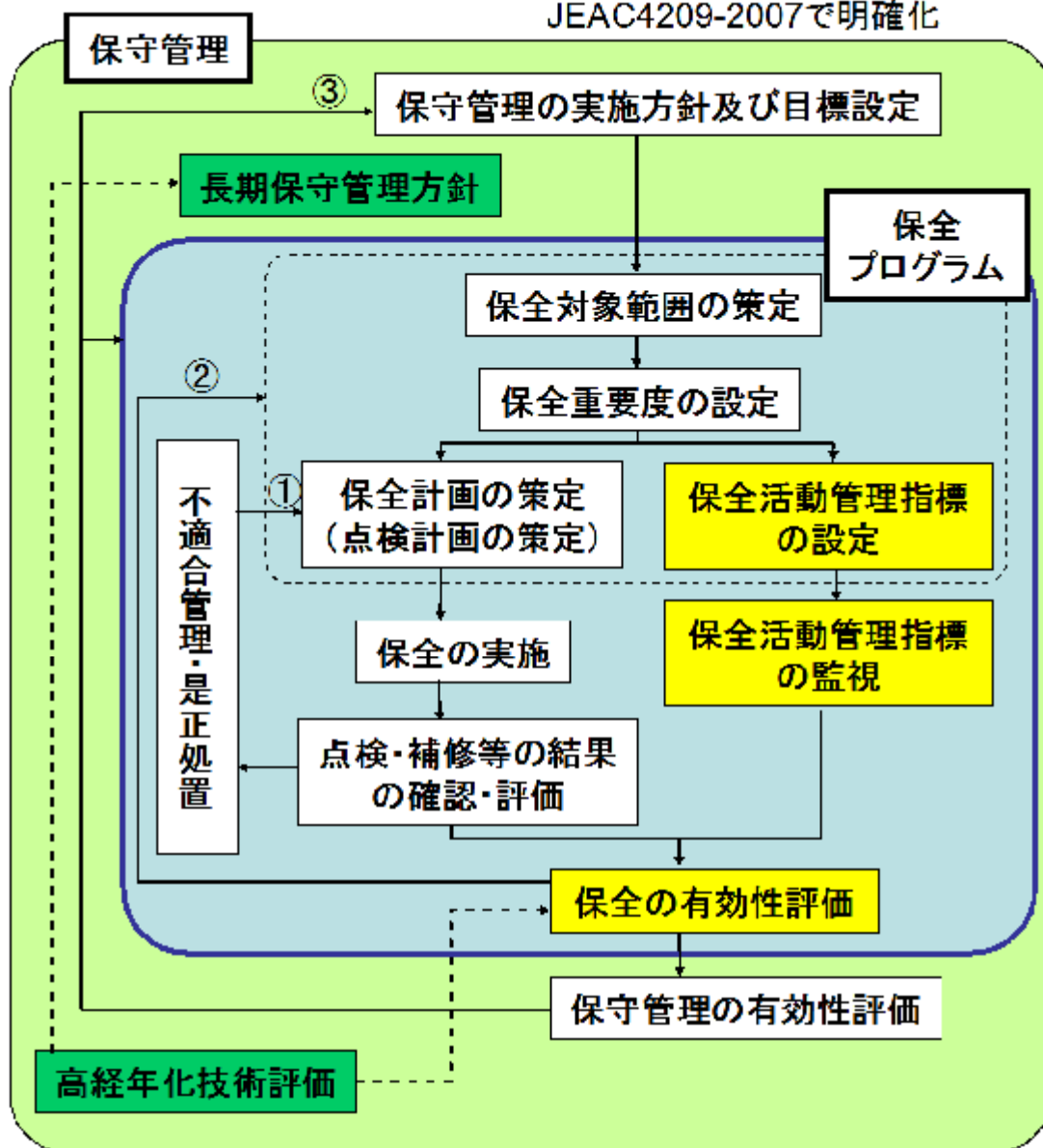
国内外PWRプラントにおける応力腐食割れ事象を踏まえ、予防保全として、第21回定期検査時（2003年度）に耐応力腐食割れ性を向上した材料に取替を実施した。

- ・原子炉容器炉内計装筒等の予防保全工事

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、600系ニッケル基合金が使用されている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（2008年度～2009年度）に蒸気発生器出口管台についてショットピーニング（応力緩和）を、第21回定期検査時（2003年度）に原子炉容器炉内計装筒母材に、第26回定期検査時（2010年度）に原子炉容器炉内計装筒J-溶接部に対してウォータージェットピーニング（応力緩和）を、それぞれ実施した。

- ・ 600系ニッケル基合金溶接部取替等

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、蒸気発生器入口管台については、第24回定期検査時（2007年度～2008年度）に表面全周をより耐食性に優れた690系ニッケル基合金での溶接に変更した。また、加圧器サージ管台については、第26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。さらに、原子炉容器冷却材出入口管台については、第26回定期検査時（2010年度）に溶接部内面全周を研削した後、耐食性に優れた690系ニッケル基合金で溶接を行った。



■ 保守プログラムの範囲

■ 新たに設けられたプログラム

■ 高経年化対策の取り組み

3つのPDCA

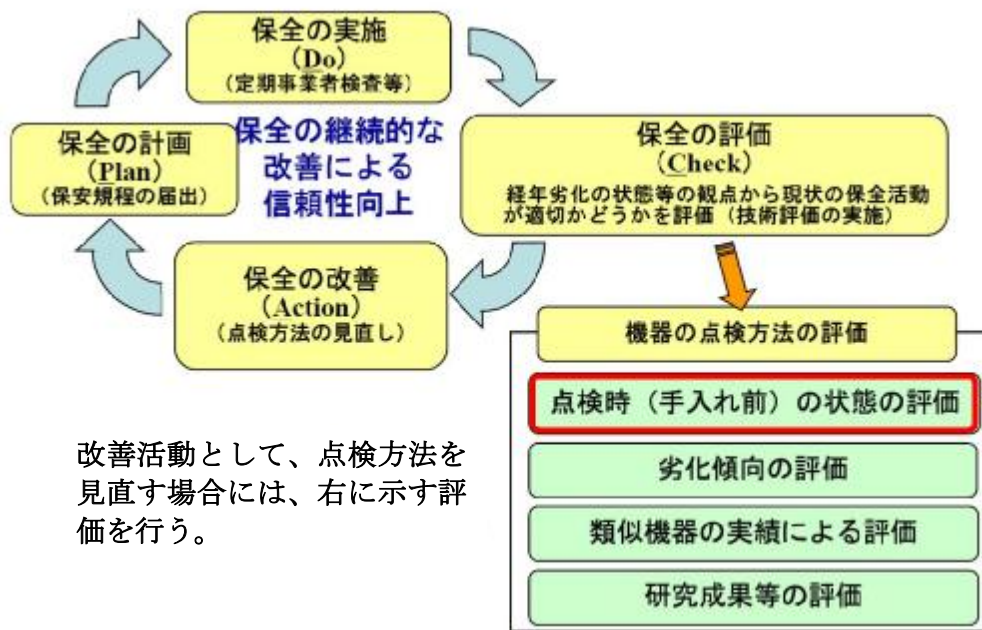
①機器の点検及び合否判定を行い機能維持を行う

②保全活動管理指標の監視、保全の有効性評価の結果から継続的改善

③保守管理の有効性評価の結果から継続的改善

資料 2-5 原子力発電所の保守管理の概要





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、技術評価および長期保守管理方針の策定を実施した。

#### 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9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。

なお、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。

さらに、2016年5月の工事計画補正申請を踏まえた評価等を本評価書に反映し、2016年5月30日に同委員会において審議を実施し確認され、2016年5月30日に原子力技術部門統括（原子力技術）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（原子力技術）	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（原子力技術）	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・部長	評価担当グループチーフマネジャー・部長	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

2016年5月26日

### 3. 8 評価を実施した者の氏名

原子力事業本部 原子力技術部門

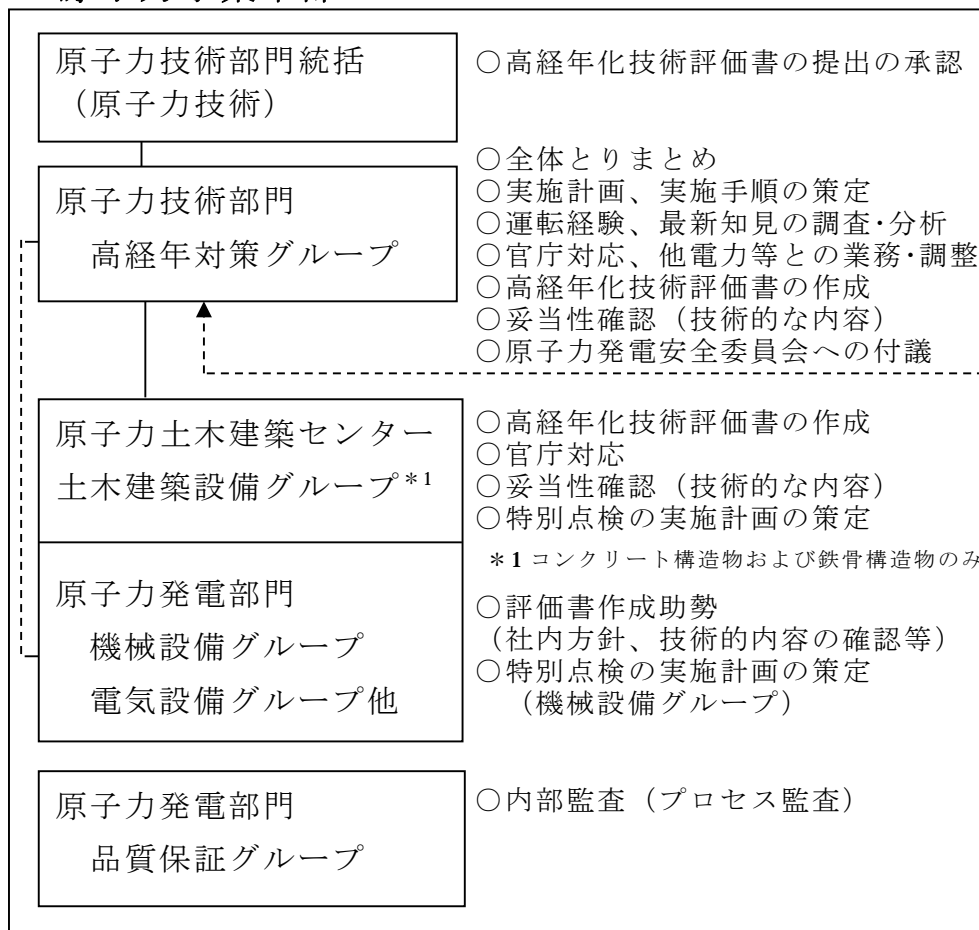
高経年対策グループチーフマネジャー 南 安彦

原子力事業本部 原子力土木建築センター

土木建築設備グループ部長 山田 淳

## 高浜発電所 2号炉 高経年化対策実施体制表

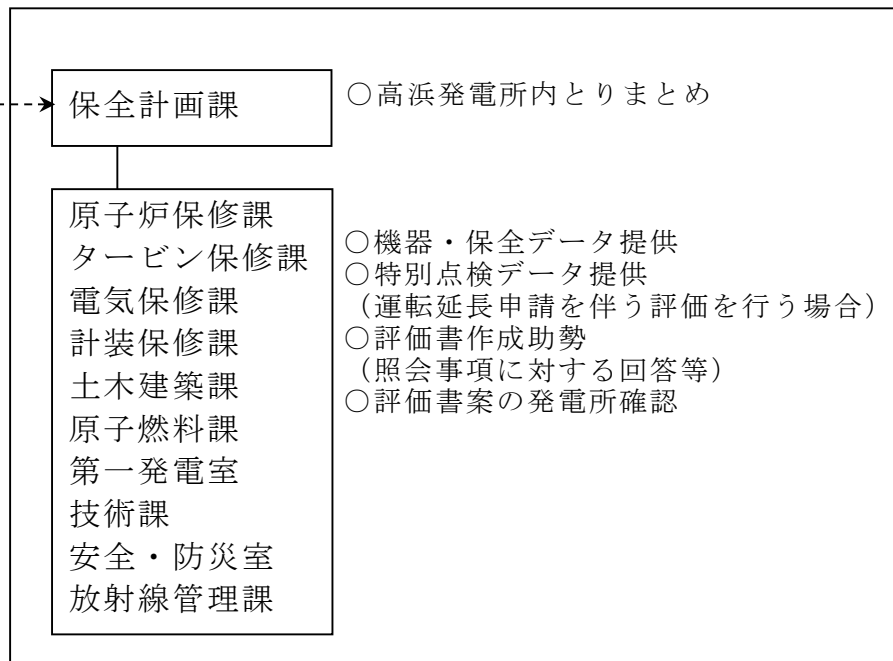
### 原子力事業本部



### 原子力発電安全委員会

原子力安全部門統括を委員長とし、各発電所長、各発電所原子炉主任技術者、各チーフマネージャー以上の職位から構成され原子炉施設保安規定の変更等を審議し確認する。

### 高浜発電所



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			…	2014							2015							2016								
	9	…	12	…	1	…	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	…	12	1	2	3	4	5	6		
手順書作成	▼													▼			▼										
評価書作成		■											■														
発電所確認						■		■						■													
妥当性確認									■						■						■		■		■		
プロセス監査										▼ <sup>*1</sup>																	
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：内部監査（プロセス監査） \*2：妥当性確認のプロセス確認 \*3：冷温停止を前提とした評価 \*4：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2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、「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・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、原子力保全総合システム（M35）、系統図等を基に抽出した。さらに、工事計画で新たに追加された機器・構造物についても、評価対象として抽出した。

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、取替基準が保全指針、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<sup>注)</sup>」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2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、その期間以外においても、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施設情報公開ライブラリーにおいて公開されている「トラブ



ル情報」、「保全品質情報」を対象とした。

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

新たに考慮して技術評価に反映した最新知見を以下に示す。

- ① 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）、2014年2月発行
- ② 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年追補版]、2014年5月発行）
- 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(平成27年10月7日、原規規発第1510071号)
- ④ 原子力発電所の高経年化対策実施基準：2015（AESJ-SC-P005:2015）、2016年3月発行
- ⑤ 実用発電用原子炉の運転の期間の延長の審査基準の一部改正について（平成28年4月13日、原規規発第1604131号）

#### 4. 2. 3 経年劣化事象の抽出

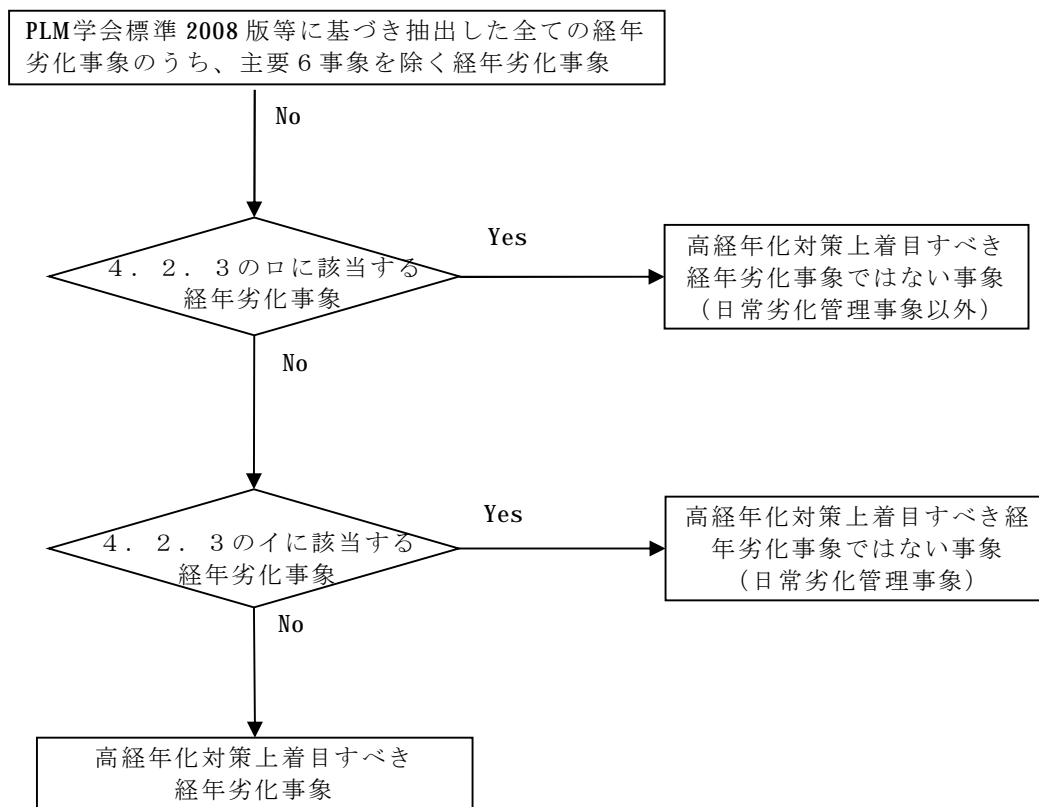
劣化状況評価を行うにあたっては、選定された評価対象機器の使用条件（型式、材料、環境条件等）を考慮し、「学会標準2008版」附属書A（規定）および「学会標準2012追補版」附属書A（規定）に基づき、「経年劣化メカニズムまとめ表」を参考に、経年劣化事象と部位の組み合わせを抽出した。

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<sup>注)</sup>」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」

- 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



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。

なお、特別点検を実施した機器は、特別点検結果を踏まえた評価を実施する。

##### 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、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のある経年劣化事象の抽出

耐津波安全性評価対象機器に対して4. 2. 3で抽出した高経年化対策上着目すべき経年劣化事象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の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の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<sup>注)</sup>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。

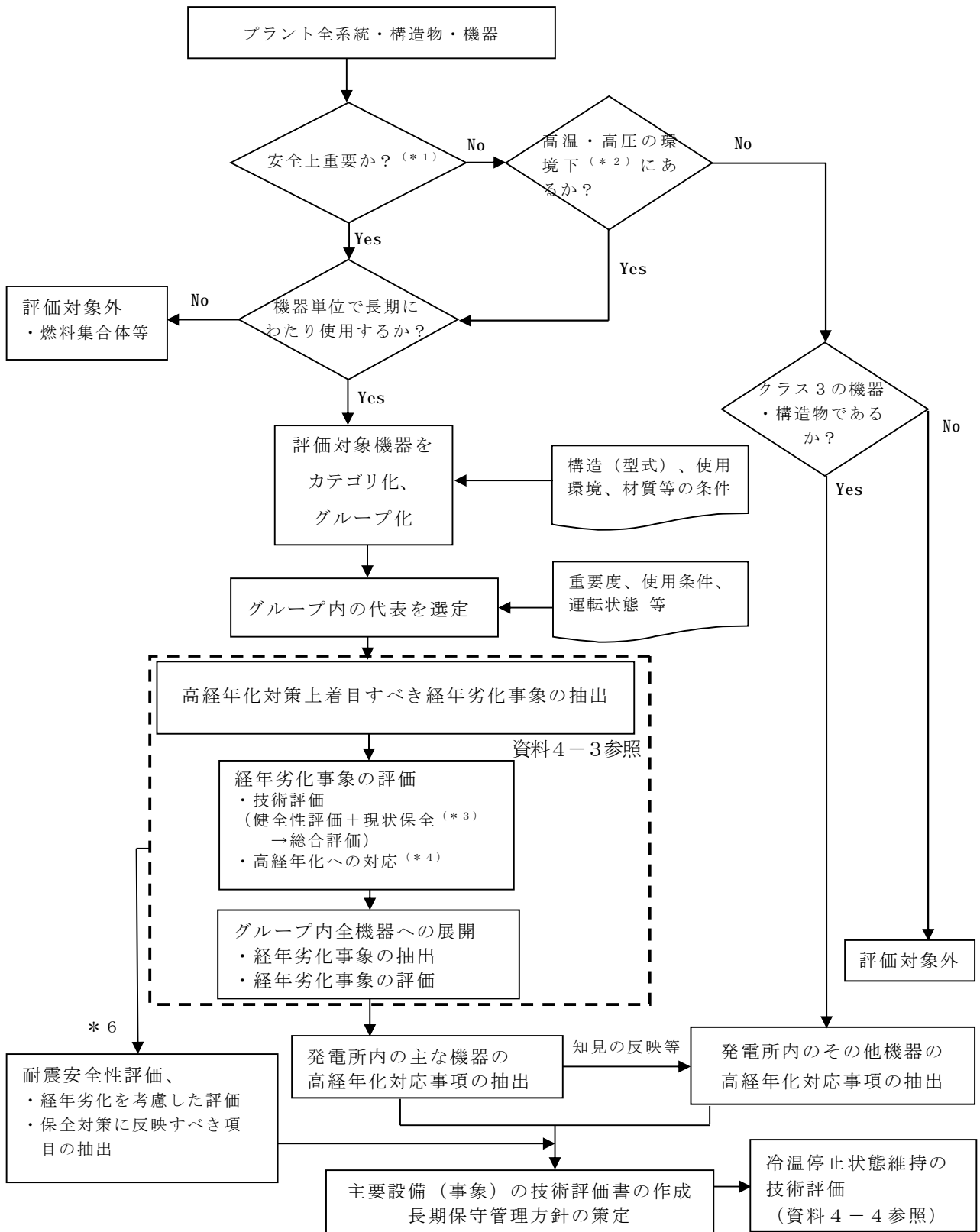
##### 4. 5. 3 評価対象機器全体への展開

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。

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。また、断続的運転を想定した場合

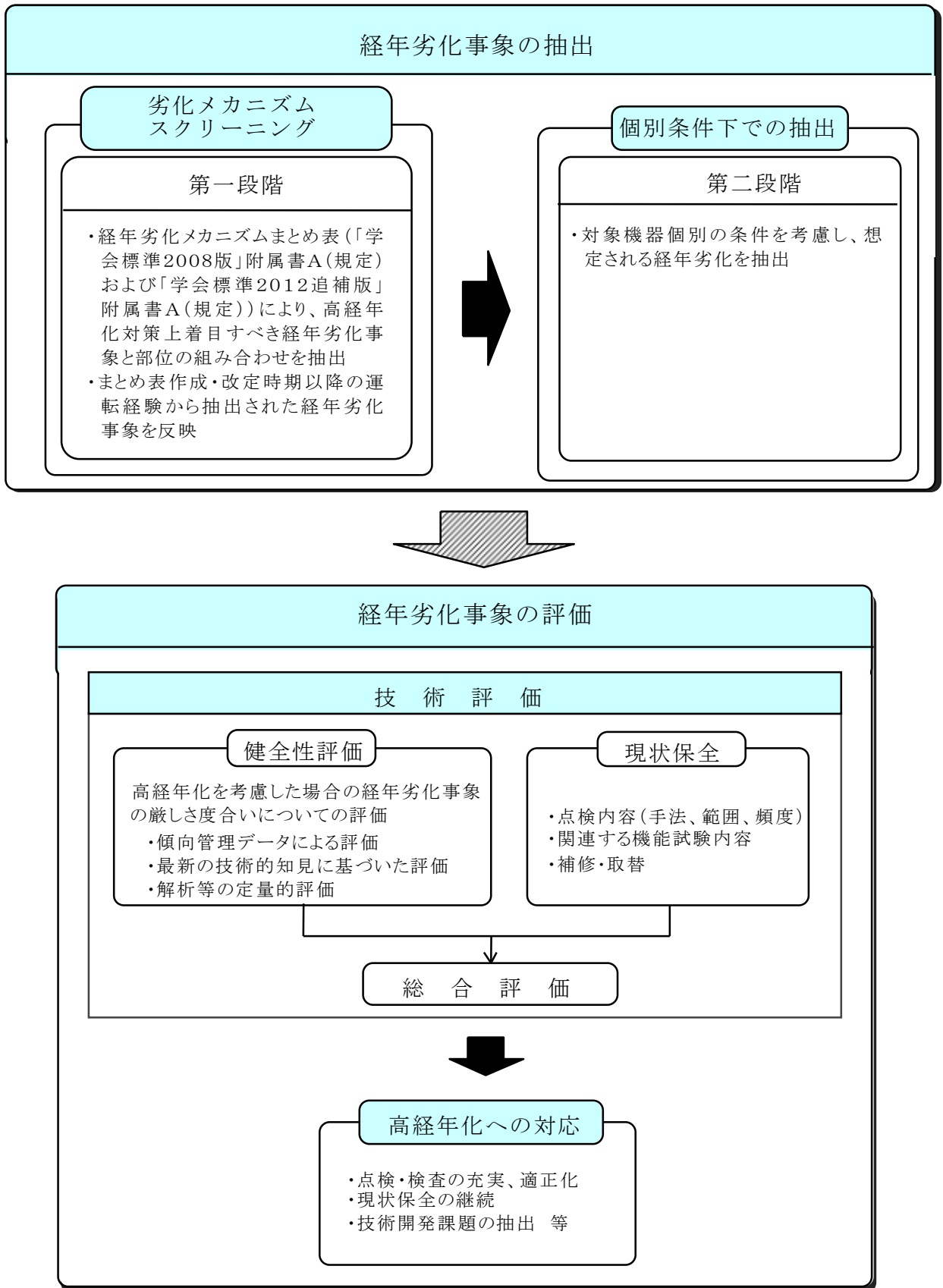
における高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象については、冷温停止を前提とした場合においても、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象として良いかを確認した。なお、プラント通常運転時に要求のある機能に対する経年劣化事象であるが、冷温停止状態維持を前提とした場合に要求がなくなるものは対象外とした。（資料4－6参照）



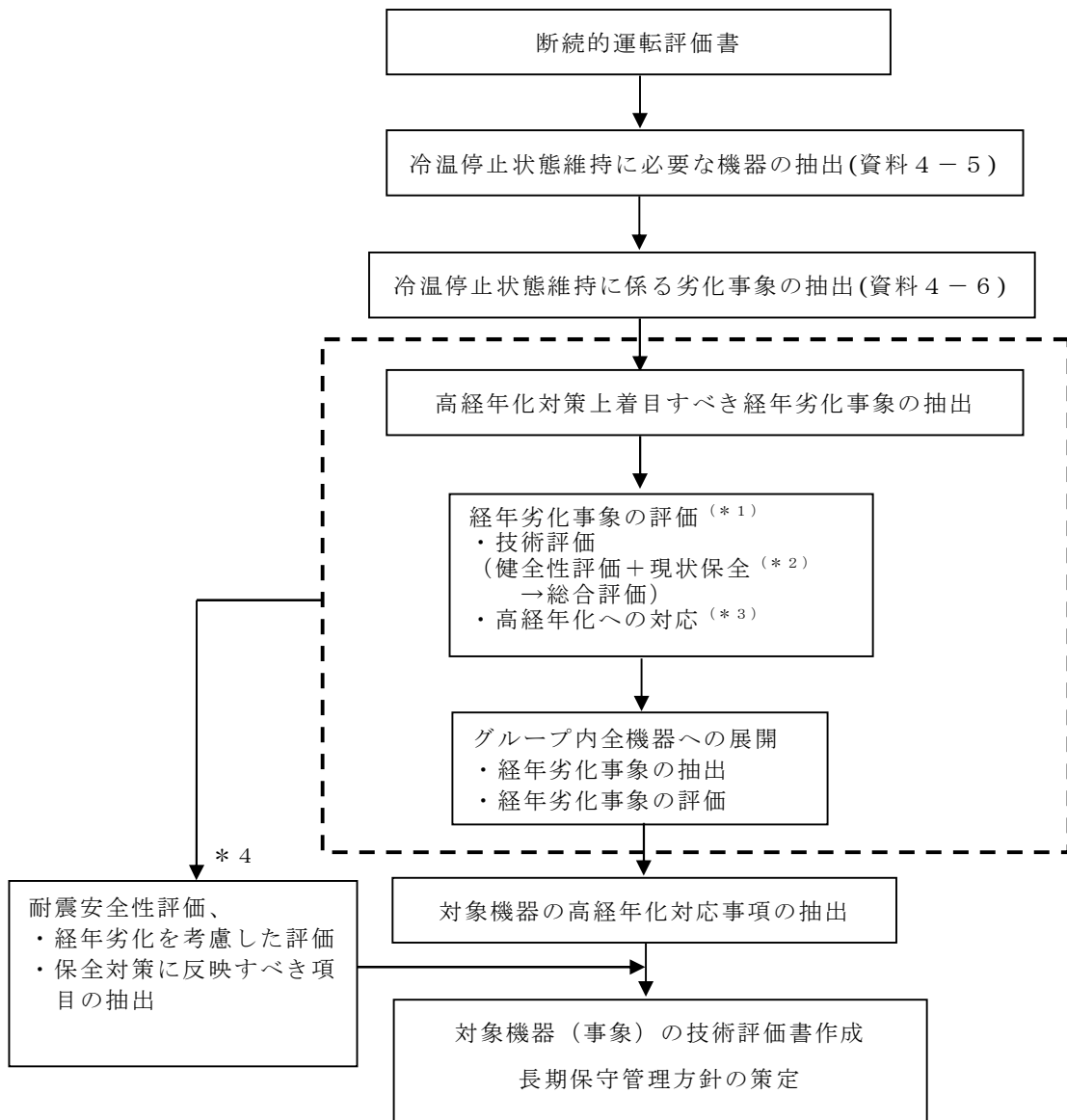


- \* 1 : 重要度クラス 1、2 (\*5)
- \* 2 : 重要度クラス 3 のうち、最高使用温度が 95℃ を超え、または最高使用圧力が 1900kPa を超える環境 (原子炉格納容器外にあるものに限る)
- \* 3 : システムレベルの機能確認を含む。
- \* 4 : 高経年化対応としての保全のあり方を論じ、高経年化に関係のない一般的な保全は切り離す。
- \* 5 : 「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」(平成 2 年 8 月 3 0 日原子力安全委員会決定)の重要度分類
- \* 6 : 経年劣化の発生・進展が否定できず、耐震安全性に影響を及ぼす可能性のある事象

資料 4 - 2 技術評価フロー

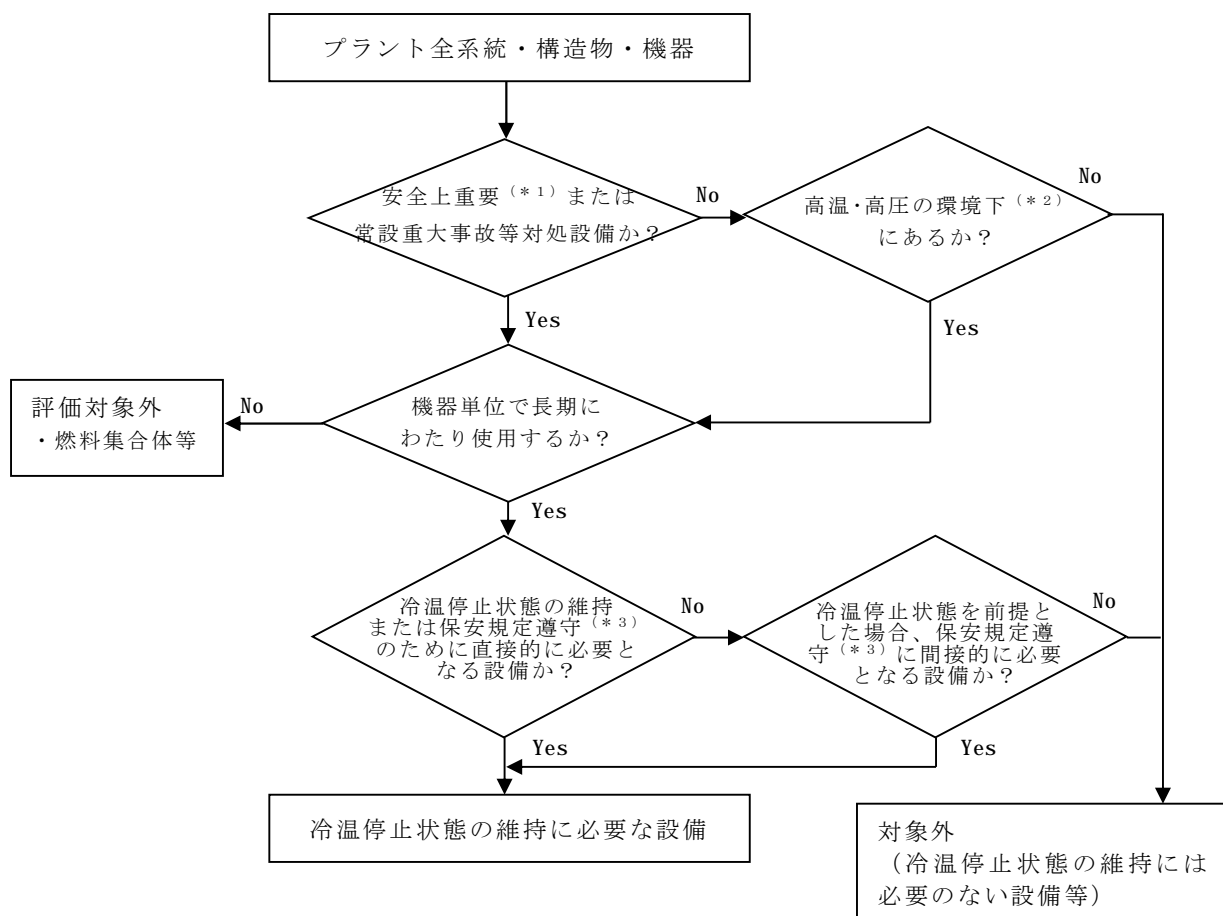


資料 4 - 3 経年劣化事象の抽出および技術評価フロー



- \* 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

資料 4 - 6 冷温停止状態維持に必要とならない機能

機種	機能	想定不要の理由
炉内構造物	制御棒クラス タ案内構造信 頼性の維持	制御棒クラスタ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 -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評価結果が得られた。

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

#### 5. 1. 1 容器等\*

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、実過渡回数に基づく評価を実施することとしているが、運転開始後60年時点の推定過渡回数では、2011年11月から2018年3月まで冷温停止状態が維持されることを評価条件としており、疲労評価結果は実過渡回数に依存するため、継続的に実過渡回数を把握する必要があることから、疲労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、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、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、今後の原子炉の運転サイクル・照射量を勘案して第5回監視試験を実施する。

### 5. 1. 3 ケーブル

事故時雰囲気内で機能要求があり、原子炉格納容器通路部に布設されている一部の難燃PHケーブルの絶縁体の絶縁低下については、「原子力発電所のケーブル経年劣化評価ガイド **JNES-RE-2013-2049**」に従った長期健全性評価結果から、現状保全に加えて評価期間に至る前に取替を実施する。

なお、溢水評価上の防護対象設備については、高エネルギー配管破損による環境が、電気・計装品の劣化に有意な影響を及ぼす可能性があり、評価上の考慮が必要と考えられるため、以下の通り評価を行った。

- 原子炉格納容器内ならびに主蒸気配管・主給水配管中間建屋区画および主蒸気配管・主給水配管ディーゼル建屋区画（**MS**区画）に設置されている機器については、当該エリアの使用環境に著しい影響を与える1次冷却材配管破断（**LOCA**）および主蒸気・主給水配管破断（**MSLB**）を踏まえた長期健全性試験により、健全性に問題のないことを確認した。
- それ以外の建屋（原子炉補助建屋や中間建屋等）に設置されている機器については、高エネルギー配管（「抽出系」、「補助蒸気系」、「蒸気発生器ブローダウンサンプリング系」、「蒸気発生器ブローダウン系」および「タービン動補助給水ポンプ駆動蒸気配管」）破損に対して蒸気影響緩和対策を施すことにより環境悪化を

緩和している\*ことなどを踏まえ、通常運転時の長期健全性試験や現状保全の妥当性確認により、健全性に問題のないことを確認した。

\*：配管破損時の環境において促進される劣化量が、通常運転サイクル中に受ける劣化量に対し考慮が不要と判断できる程度



## 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。

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

### 5. 2. 1 腐食

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対しては、耐震性が確認できる肉厚に到達するまでに、サポート改造等の設備対策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。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。

### 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。

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固定子コイル等の絶縁低下
- b. 充てん／高圧注入ポンプ主軸のフレット疲労割れ
- c. 充てん流量制御弁バイパス制御弁等の弁体、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。

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

## 5. 6 冷温停止状態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. 4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2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)

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

### 6. 2 長期保守管理方針の実施

現状の保全策に追加すべき項目で抽出された長期保守管理方針については、今後、高浜発電所2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2015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(2015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年以内の実施計画のあるもの(取替等)等

- b. 中長期（2015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（2015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2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（材料自身の持つねばり強さ）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PTS状態遷移曲線を上回っていることから、脆性破壊は起こらないと評価される。 また、上部棚吸収エネルギーの予測式（国内USE予測式）を用いて運転開始後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、JEAC4206の要求を満足しており、十分な上部棚吸収エネルギーがある。	原子炉容器に対しては、定期的に超音波探傷検査を実施し、有意な欠陥のないことを確認している。 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サイクル・照射量を勘案して第5回監視試験を実施する。	中長期
配管	第4抽気系統配管 グラウンド蒸気系統配管 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22回定期検査時（2004年度）、第23回定期検査時（2006年度）および第24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ないと考える。 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。	2	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*に対して、サポート改造等の設備対策を行い、必要最小肉厚まで減肉を想定した評価においても耐震安全性評価上問題ないことを確認する。なお、サポート改造等の設備対策が完了するまでは、減肉進展の実測データを反映した耐震安全性評価を継続して行い、サポート改造等の設備対策が完了するまでの間、耐震安全性評価上問題ないことを確認する。  *：第4抽気系統配管 グラウンド蒸気系統配管 復水系統配管 ドレン系統配管	短期

短期：2015年11月14日からの5年間、中長期：2015年11月14日からの10年間、長期：2015年11月14日からの20年間



資料6-1 高浜発電所2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
ケーブル	低圧ケーブル	絶縁低下	通路部に布設されている一部の難燃PHケーブルは、AC Aガイド*に従った長期健全性評価結果から評価期間に至る前に取替等の措置を講じることで、絶縁体の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。	絶縁体の絶縁低下に対しては、制御・計装用ケーブルについては、定期的に系統機器の動作に異常のないことを確認し、絶縁低下による機能低下のないことを確認している。 電力用ケーブルについては、定期的に絶縁抵抗測定を行い、許容値以上であることの確認を行っている。	通路部に布設の一部の難燃PHケーブルについては、絶縁低下の可能性は否定できないが、AC Aガイド*に従った長期健全性評価結果から評価期間に至る前に取替を実施することで、絶縁体の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。	3	低圧ケーブルの絶縁低下については、AC Aガイド*に従った長期健全性評価結果から評価期間に至る前に取替を実施する。  *：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」	短期
-※	-※	疲労割れ	疲労累積係数による評価を実施した結果、許容値に対し余裕のある結果が得られている。	高経年化技術評価に合わせて、実過渡回数に基づく評価を実施することとしている。	運転開始後60年時点の推定過渡回数では、2011年11月から2018年3月まで冷温停止状態が維持されることを評価条件としており、疲労評価結果は実過渡回数に依存するため、継続的に実過渡回数を把握する必要がある。	4	疲労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。	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：2015年11月14日からの5年間、中長期：2015年11月14日からの10年間、長期：2015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、ケミカルアンカの長期健全性に係る調査等、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、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、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2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であるとの見通しを得た。

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・信頼性のおお一層の向上に取り組んでいく所存である。

以上