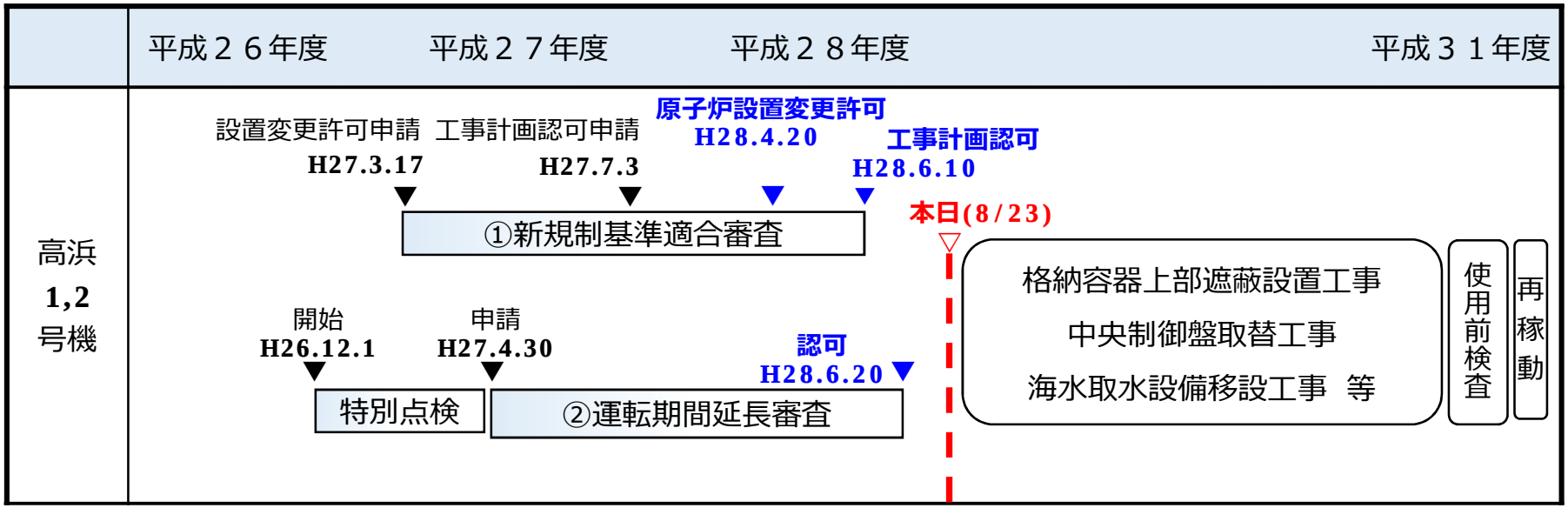
資料１－２

高浜発電所１，２号機
運転期間の延長について

平成２８年８月２3日
関西電力株式会社

高浜発電所１，２号機の審査状況

新規制基準の適合における許認可（①）に加え、６０年までの運転期間延長について認可（②）



○平成２８年４月２０日　原子炉設置変更許可
○平成２８年６月１０日　工事計画認可
○平成２８年６月２０日　運転期間延長認可

今後、安全対策工事を実施する必要があり、
工事完了およびその後の再稼動までには数年が必要

設計・建設段階において仮定した運転期間

◆設計・建設段階

○ 原子力発電所は、相当長期間の運転が可能となるよう、材料、強度、寸法等に十分な余裕を持たせて設計し、高い品質で製作・施工・据付している。

○ 機器の設計においては、運転期間中の起動／停止などにより蓄積する金属疲労について評価するため、40年などの年数を入力条件に、起動／停止などの発生回数を保守的に仮定した評価を実施している。

○ 原子力発電所の運転期間については、経年劣化に係るデータを蓄積して評価を精緻化し、実機の状態も確認したうえで見極めていくこととしていた。

＜参考＞

○米国の状況として、当初(1954年頃～)運転認可期間は40年とし、これは技術的な観点から決められたものではなく、独占禁止と経済性の観点から決められたものである。

○その後(1991年)、さらに20年の更新を可能として、技術評価により現在稼働中99基のうち、約8割以上が20年の運転認可更新済。

高浜1、2号機　これまでの保守管理について

発電所では設備・機器全てについて、これまで**保全計画に基づくきめ細かい保守管理を実施してきている。**
経年劣化が顕在化しないよう、大型機器の取替えも積極的に実施しており、プラント全体が高い水準に維持されている。

蒸気発生器
美浜２号機蒸気発生器伝熱管損傷事象を踏まえ、改良型への取替を実施。
高浜1:Ｈ7～8年度、高浜2:Ｈ5～6年度

原子炉容器上蓋
上蓋用管台の応力腐食割れに対する予防保全処置として、取替を実施。
高浜1:Ｈ7～8年度、高浜2:Ｈ8～9年度

燃料取替用水タンク
海塩粒子による塩素型応力腐食割れに対する長期保全の観点から、取替を実施。
高浜1:Ｈ16年度、高浜2:Ｈ15年度
高浜1、2号機

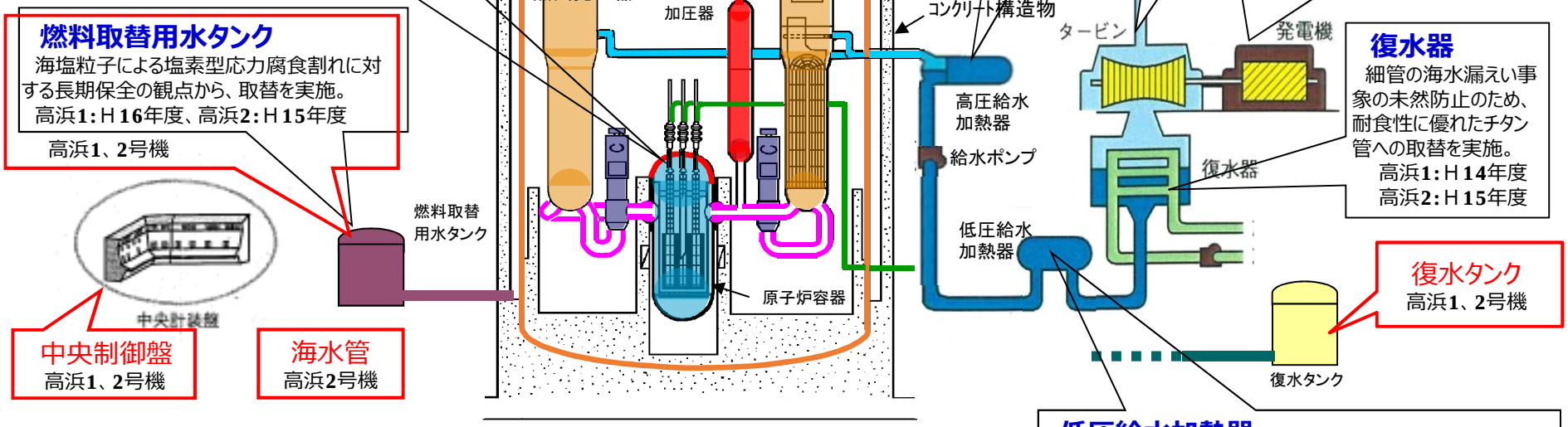
格納容器上部遮蔽
高浜1、2号機

高圧給水加熱器
蒸気発生器内の水質向上のため、細管のステンレス管への取替を実施。
高浜1:H14年度、高浜2:H12/Ｈ15年度

低圧タービン
ロータの応力腐食割れに対する予防保全処置として、取替を実施。
高浜1:Ｈ4～6年度、高浜2:Ｈ5～7年度

発電機（固定子コイル巻替）
固定子コイルの絶縁低下に対する予防保全処置として、巻替を実施。
高浜1:Ｈ８年度、高浜2:Ｈ5年度

復水器
細管の海水漏えい事象の未然防止のため、耐食性に優れたチタン管への取替を実施。
高浜1:Ｈ14年度
高浜2:Ｈ15年度



中央制御盤
高浜1、2号機

海水管
高浜2号機

復水タンク
高浜1、2号機

低圧給水加熱器
蒸気発生器内の水質向上のため、細管のステンレス管への取替を実施。　高浜1:H14/Ｈ16年度、高浜2:Ｈ15年度

青字：予防保全対策等の観点から取替済み
赤字：今後の安全性向上対策（新規制基準適合対応）等で実施予定

60年の運転を念頭においた対応

◆従来から進めてきた対応 （福島第一原子力発電所事故前）

○法令上の運転期間の制限はなく、国の法律（実用炉規則）に基づいて、プラント運転開始から30年の時点と、それ以降10年ごとに機器等に対する高経年化対策を行うことが義務付けられてきた。

○**高浜1，2号機**については、運転開始後30年に相当する2003年に、60年間の運転を想定した評価を実施し、60年間の運転が可能との見通しを得ていた。

国は、この評価結果の妥当性を確認した。

運転期間法制化への対応

◆新たなしくみによる対応 （福島第一原子力発電所事故後）

u 法的に運転期間を40年とし、認可を得れば1回に限り最大20年の運転期間の延長ができる**運転期間延長認可制度**が設けられた。

運転期間延長のためには、60年を想定した劣化に対する評価だけでなく、
最新の新規制基準への適合が必要。 ⇒さらなる安全性向上対策の実施

40年運転延長

- 経年劣化対応
- 新規制基準対応

○安全上重要な設備・機器全てについて、部品レベルに展開し、想定される劣化事象について、６０年を想定した劣化評価を実施し健全性を確認するとともに、長期の保守管理方針を策定。

○取替が困難な、原子炉容器、原子炉格納容器、コンクリート構造物については、特別点検を実施し、点検結果を踏まえた健全性評価を行って、改めて**60**年運転に問題がないことを確認。

【高浜１， ２号機の例】

○基準への適合のため以下の対策工事を実施

・事故時の被ばく低減対策（格納容器上部遮へい設置）

・海水管の埋設部対策（高浜２号のみ）

・ケーブル火災対策

安全上重要な機器の部品展開した評価

◆劣化状況評価（60年を想定した評価）

評価対象設備※を構成する部品レベルに分解し、これまで蓄積してきた高経年化技術評価の知見を基に、最新のトラブル情報等の運転経験や研究成果等の知見も踏まえて、想定される劣化事象を抽出、それらに対する健全性評価を実施している。

余熱除去ポンプに想定される劣化事象の例

機器	部位	材料	経年劣化事象
余熱除去ポンプ	主軸	ステンレス鋼	摩耗
			疲労割れ（フレッティング疲労割れ）
			疲労割れ（高サイクル疲労割れ）
	羽根車	ステンレス鋼鋳鋼	腐食（キャビテーション）
	軸受箱	鋳鉄，炭素鋼鋳鋼	腐食（全面腐食）
	軸継手	低合金鋼，炭素鋼	摩耗
	潤滑油ユニット	炭素鋼，鋳鉄	腐食（全面腐食）
	増速機歯車	低合金鋼	摩耗
	増速機ケーシング	鋳鉄	腐食
	ケーシング	ステンレス鋼鋳鋼	疲労割れ
			応力腐食割れ
	ケーシングカバー	ステンレス鋼鋳鋼	疲労割れ
			応力腐食割れ

※評価対象設備数
高浜１号機：約3200
高浜２号機：約3100

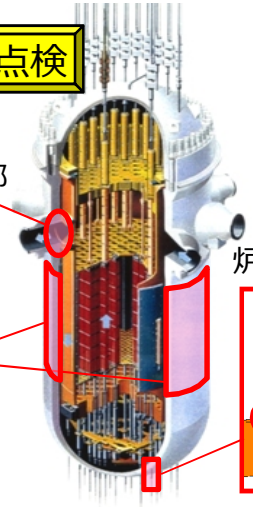
容器、配管、熱交換器、ポンプ、弁、電気計装設備、タービン等

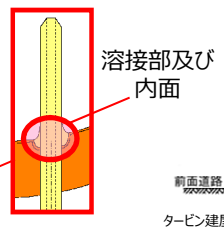
取替困難な機器の特別点検の概要

○特別点検の内容

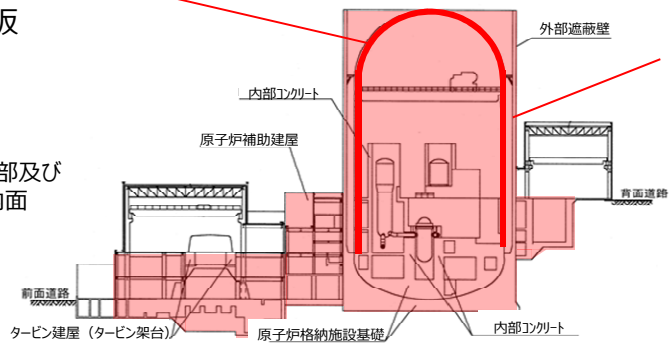
対象機器	対象部位	点検方法
原子炉容器	母材及び溶接部（炉心領域100%）	超音波探傷試験※1 による欠陥の有無の確認
	一次冷却材ノズルコーナー部	渦流探傷試験※2 による欠陥の有無の確認
	炉内計装筒（全数）	目視試験による溶接部の欠陥の有無の確認及び渦流探傷試験による計装筒内面の欠陥の有無の確認
原子炉格納容器	原子炉格納容器鋼板 （接近できる点検可能範囲の全て）	目視試験による塗膜状態の確認
コンクリート構造物	原子炉格納施設 原子炉補助建屋　等	採取したコアサンプル（試料）による強度等の確認

原子炉容器点検





原子炉格納容器点検



コンクリート構造物点検

原子炉格納施設
原子炉補助建屋　等

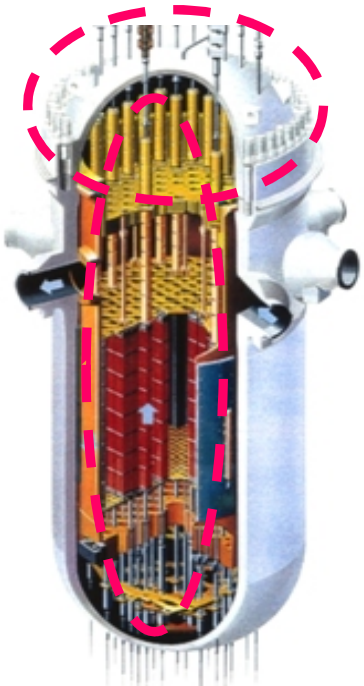
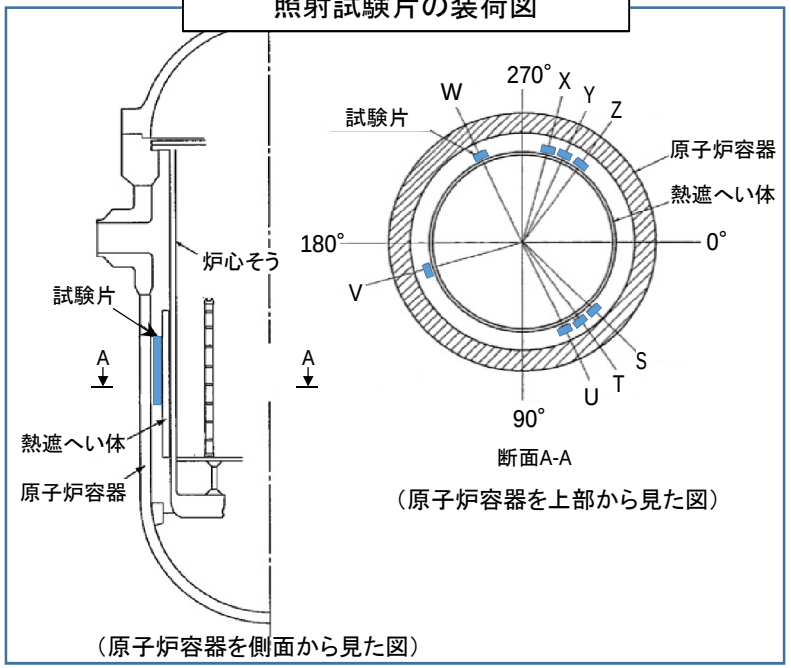
※１：超音波の反射によって欠陥の有無を確認

※２：材料に渦電流を発生させ、その電流の変化によって表面欠陥の有無を確認

点検結果 :異常は認められなかった。

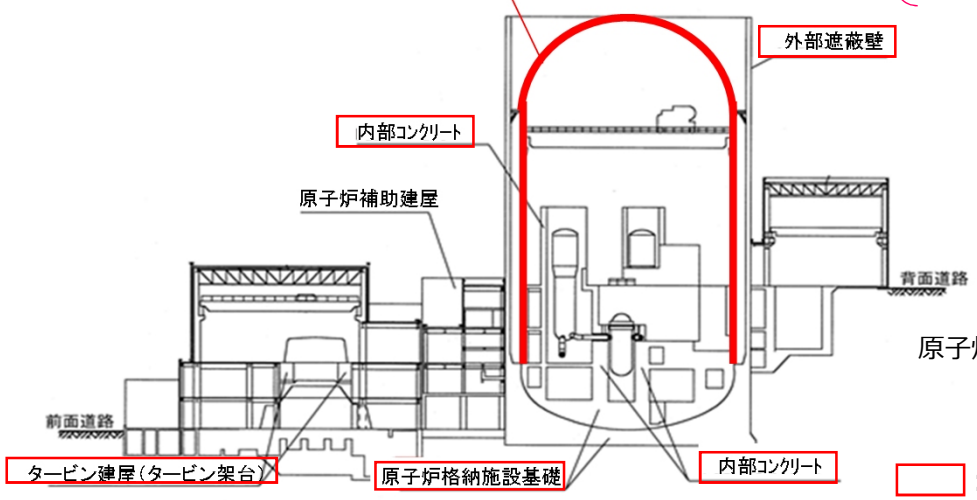
取替え困難な機器の評価（原子炉容器）

◆原子炉容器の劣化評価

機器	経年劣化事象	劣化に対する評価内容
原子炉容器	中性子 照射脆化	燃料からの高い中性子照射を受ける胴部（炉心領域）については中性子照射脆化が想定される。 しかしながら、炉内に装荷している監視試験片の分析結果などを基に60年間の照射量を受けた胴部の脆化予測を実施し、健全性に問題ないことを確認している。 また、特別点検において胴部内表面の超音波探傷検査を実施し、脆性破壊の起点となるような有意なき裂がないことを確認している。 **【中性子照射脆化が想定される部位】**  上蓋、内部構成品は取替が可能 照射試験片の装荷図  原子炉容器よりも内側に照射試験片を装荷し、計画的に取り出して試験することにより脆化の程度を先行的に把握。

取替え困難な機器の評価（原子炉格納容器）

◆原子炉格納容器の劣化評価

機器	経年劣化事象	劣化に対する評価内容
原子炉格納容器	腐食	【劣化評価の対象部位：原子炉格納容器鋼板】 原子炉格納容器鋼板は、炭素鋼製であるが表面に防食塗装を施工しているので、塗膜が健全であるかぎり、鋼板の腐食の懸念はない。（塗膜の健全性が損なわれた場合には鋼板の結露等により腐食環境に曝され、腐食発生の可能性がある。） 原子炉格納容器の塗装は、定期的に塗膜の点検・保修を実施することにより塗膜の健全性を維持しており、今後も現状の保守管理により原子炉格納容器鋼板に腐食が発生する可能性はないと評価。 特別点検では、改めて原子炉格納容器鋼板の点検を実施し、有意な腐食、塗膜の劣化等のないことを確認した。 部分的に取替可能なところはあるが、全体としての取替困難 原子炉格納容器鋼板  原子炉格納容器鋼板板厚： 約１９～約３８mm ：コンクリート構造物を示す

取替え困難な機器の劣化評価（コンクリート）

◆コンクリート構造物の劣化評価

構造物	経年劣化事象	劣化に対する評価内容
コンクリート	遮蔽能力低下 ・強度低下	原子炉格納容器外部遮蔽壁などからコアサンプルを採取し、試験により強度等の低下が生じていないことを確認するとともに、試験結果に基づいて日本建築学会、土木学会等の評価方法を用いて６０年での健全性が確保されることを評価している。 （特別点検では約**150**本／プラントのコアサンプルを採取） 部分的に取替可能なところはあるが、全体としての取替困難 コアサンプル ○熱、放射線照射による強度低下 コンクリートの最高温度が制限値以下であり、また、60年時点の中性子照射量が基準値以下であること、ガンマ線照射量はごく一部基準値を超えるがその範囲は軽微であることから、健全性評価上問題とならない。 ○中性化 60年時点の中性化深さの評価値が基準値以下であり、健全性評価上問題とならない。また、特別点検結果から十分保守的な評価であることを確認した。 ○塩分浸透 特別点検結果を踏まえ、60年時点の鉄筋腐食減量を評価した結果、基準値以下であり、健全性評価上問題とならないことを確認した。

補足資料

参考１

海外（米国）における運転期間への対応

- **フランス**など欧州の多くの国では**10年ごとに実施する定期安全レビューにより運転継続の妥当性を評価**している。

- **米国では運転ライセンスを当初40年*で発給、その後20年の更新が可能としている。**

※米国の40年運転認可は、経済性（減価償却）の観点から決められたもの

＜米国の状況＞

○　2016年7月現在、**９割以上のプラントが60年の運転認可更新を申請済み。**

状況			プラント数
稼動中			９９
	60年運転申請済		９３
		認可済	８１
		審査中	１２
	未申請		6

稼働中の９９基のうち、３８基は既に４０年を超えて運転
（３８基の２０１５年平均設備利用率：約９０％）

○米国では、**さらに、60年を超える運転期間（認可更新）について、検討を進めている。**

NRC（原子力規制委員会）は、2015年12月 運転期間が60年を超える２回目の運転認可更新の申請を対象とした標準審査指針案を公表。

参考２

海外における運転期間の考え方

- **フランス**など欧州の多くの国では**10年ごとに実施する定期安全レビューにより運転継続の妥当性を評価**している。

- **米国では運転ライセンスを当初40年*で発給、その後20年の更新が可能。**

  ＊米国の40年運転認可は、以下のように、独占禁止と発電所の費用回収（減価償却）の観点から決められたもの

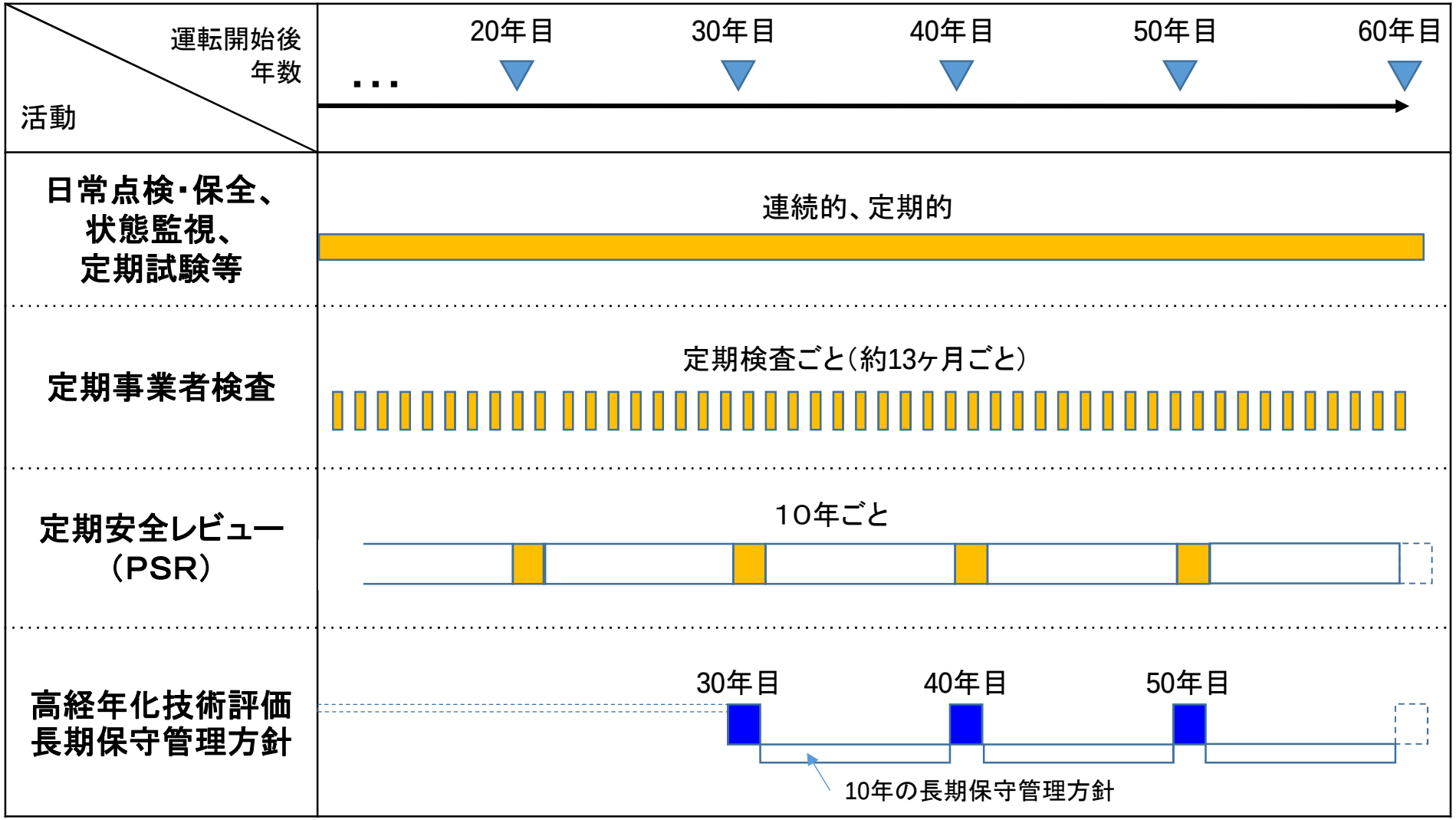
- 運転認可更新規則を最初に発行した際の官報（1991年12月13日付）
  - 「司法省及び電気共同組合は**、独占禁止の観点から**20**年の認可期間**を支持したが、**電気事業者は、原子力発電所の減価償却の観点からより長い認可**が必要であるとの見解を示し、議会が40年の期限を決定した。」
- NRCの許認可更新に関するホームページ（Fact Sheet）
  - 「**原子炉認可に対する最初の**40**年間の認可期間は、**原子力技術の制限によるものではなく、**経済性と独占禁止の観点から決められたもの**である。」

※日本保全学会学術講演会（H27.7.15）
「我国の原子力発電所の40年制限問題に関する規制上の課題と提言」（海外のプラント運転期間とプラント寿命に関する考え方」より

原子力発電所の保全活動の概要

参考３

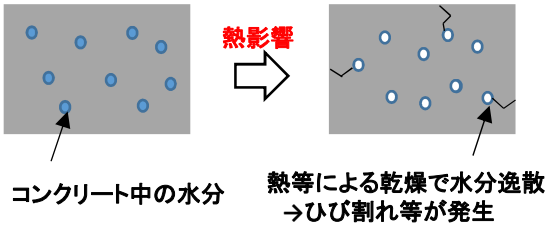
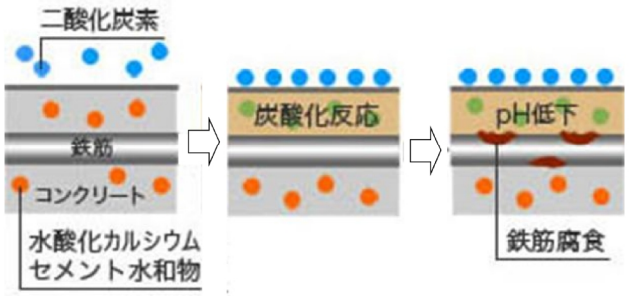
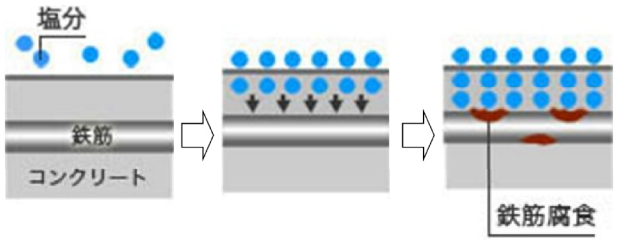
○発電所の設備は、その重要度を勘案して策定した保全計画に基づいてきめ細かい保守管理を実施
○年に１回の定期検査時に、設備・機器ごとの保全計画に基づく点検・検査と経年劣化予測に基づき、必要に応じて補修・取替を実施

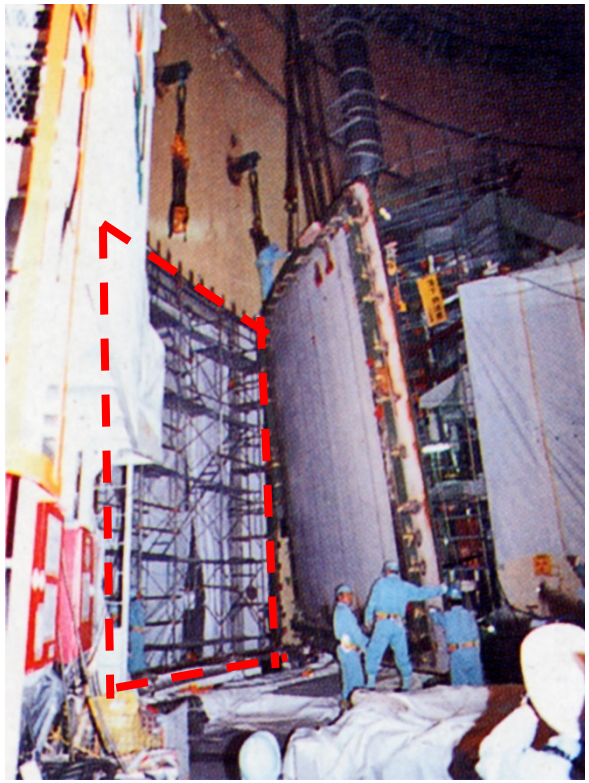
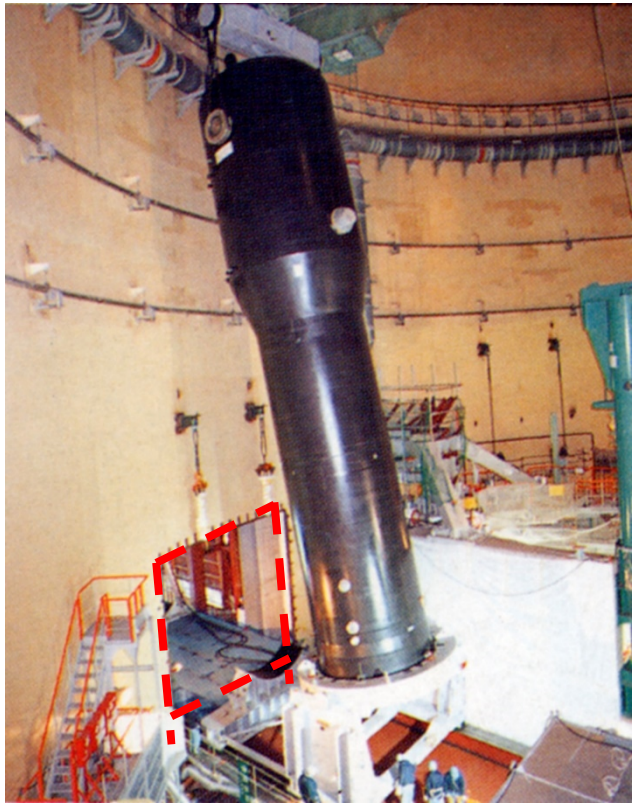


取替え困難な機器の劣化評価（コンクリート）

参考４

◆コンクリート構造物の劣化評価

構造物	経年劣化事象	主な劣化要因	劣化に対する評価内容
コンクリート	遮蔽能力低下	熱	コンクリートが熱や放射線による内部発熱を受けると、温度条件によっては、コンクリート中の水分が逸散し、微細なひび割れ、強度低下、遮蔽能力低下が生じる可能性がある。 熱による強度低下および遮蔽能力低下は、コンクリートの最高温度が制限値以下であり、健全性評価上問題とならない。 
	強度低下	放射線照射	放射線照射による強度低下は、60年時点の中性子照射量が基準値以下であること、ガンマ線照射量はごく一部基準値を超えるがその範囲は軽微であり、構造耐力上影響がないことから、健全性評価上問題とならない。
		中性化	通常、コンクリートの内部はアルカリ性であり、鉄筋は錆びることがなく長期にわたって健全な状態を保つが、二酸化炭素がコンクリート内部に侵入すると、化学反応により、コンクリートの内部が炭酸化により、アルカリ性から中性に変化（中性化）するため、鉄筋が腐食し始め、強度低下につながる可能性がある。 中性化による強度低下は、60年時点の中性化深さの最大値が基準値以下であり、健全性評価上問題とならない。  $Ca(OH)_2+CO_2 \rightarrow CaCO_3+H_2O$
		塩分浸透	コンクリートの表面から塩分が侵入し、時間とともに、コンクリート内部の鉄筋の周りの塩化物イオンの濃度が高くなってくると、鉄筋が腐食し始め、強度低下につながる可能性がある。 塩分浸透による強度低下は、60年時点の鉄筋腐食減量が基準値以下であり、健全性評価上問題とならない。 

参考５

蒸気発生器取替時の原子炉格納容器鋼板、外部遮蔽壁開口復旧状況