資料１－２

美浜発電所1号炉
高経年化技術評価書（40年目）の概要

平成22年 8月27日

関西電力株式会社

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

目　次

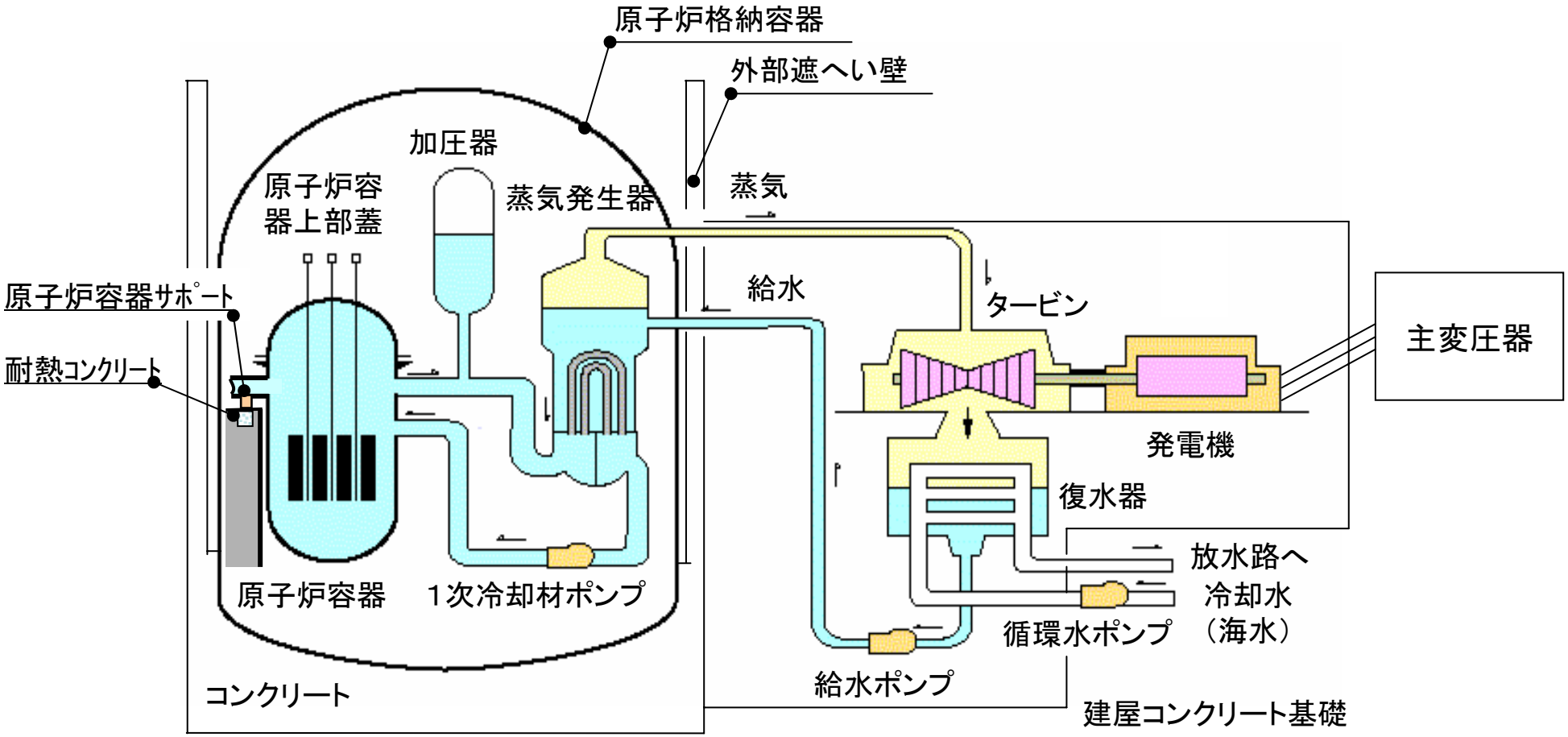
・　美浜発電所1号炉の概要と保全実績
・　美浜発電所1号炉の高経年化技術評価
・　主な経年劣化事象の評価結果
・　40年目の評価で追加する評価
・　技術評価結果の概要

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

美浜発電所1号炉の概要

電気出力	約340MW
原子炉型式	加圧水型軽水炉
原子炉熱出力	約1,031MW

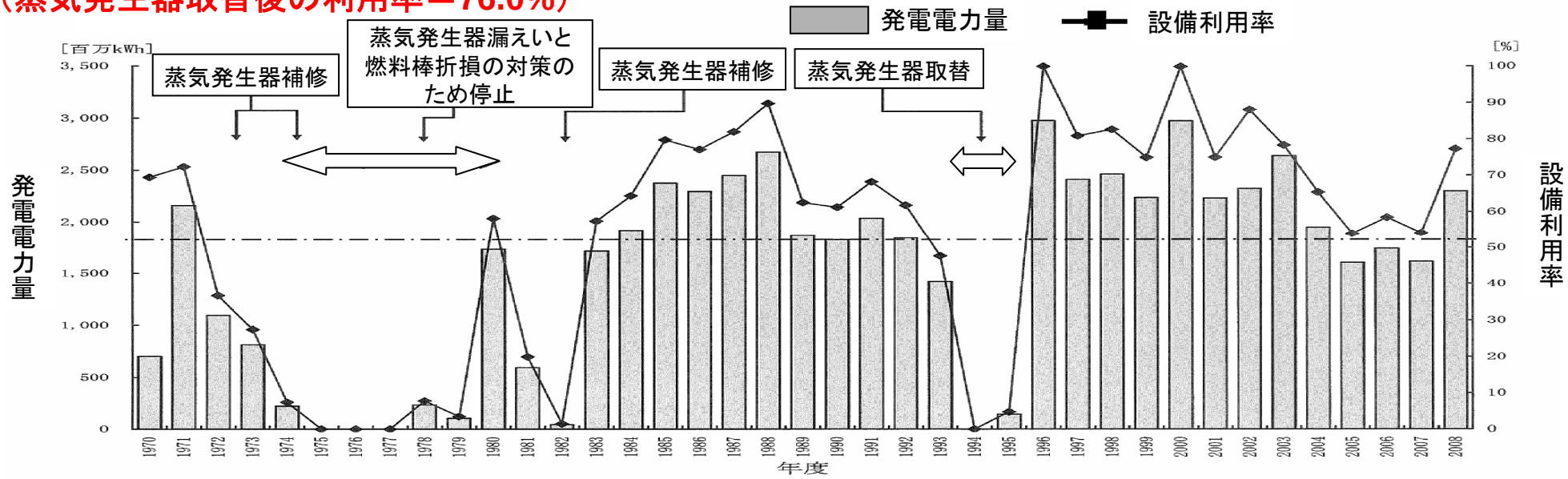
燃料	低濃縮ウラン
減速材	軽水
タービン	串型2車室再熱再生式



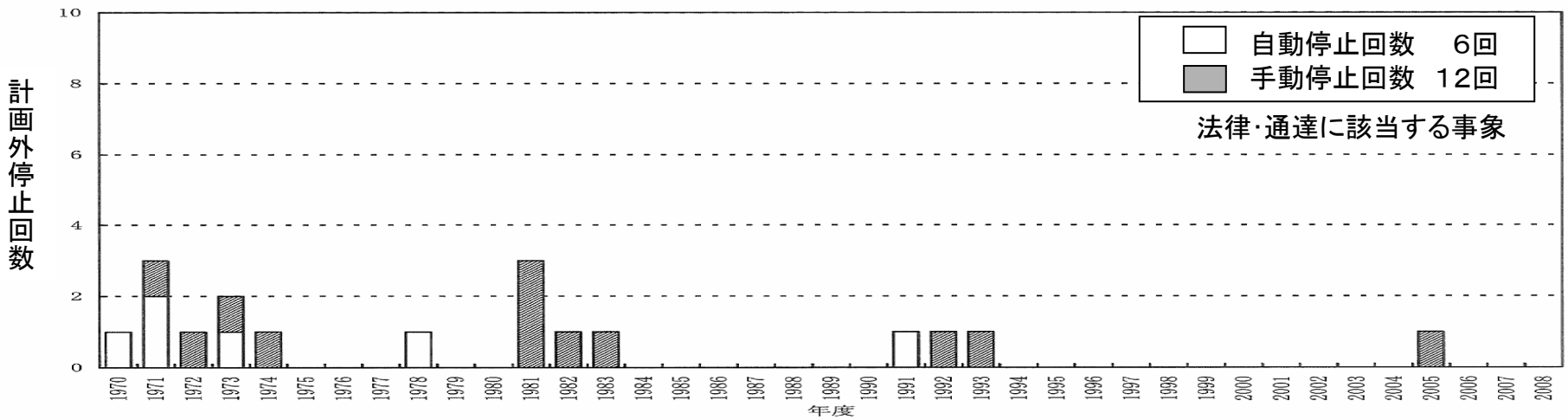
当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

美浜発電所1号炉運転状況の推移

累積平均設備利用率＝52.2%
（蒸気発生器取替後の利用率＝76.0%）



発電電力量・設備利用率の推移



計画外停止回数の推移

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

運転開始以降に実施した主要機器更新状況

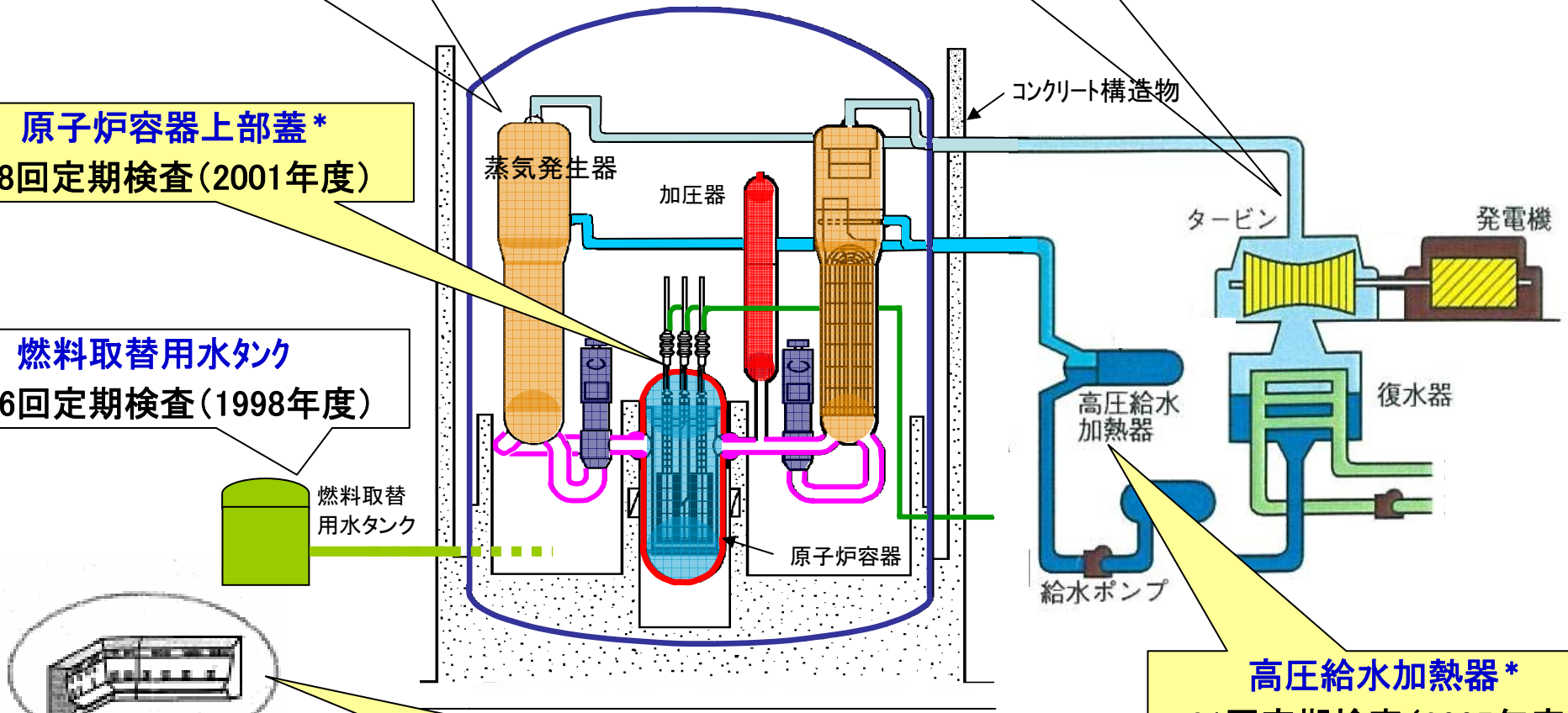
低圧タービン
17回定期検査（1999年度）

蒸気発生器
14回定期検査（1994～1995年度）

＊：プラント運開30年目以降に実施した更新

原子炉容器上部蓋＊
18回定期検査（2001年度）

燃料取替用水タンク
16回定期検査（1998年度）



高圧給水加熱器＊
21回定期検査（2005年度）

中央制御盤＊
18回定期検査（2001年度）

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

運転開始以降に実施した主な改善(1/2)

事象	実施事項	改善内容	実施時期
応力腐食割れ(SCC), 疲労	蒸気発生器取替工事	改良型の蒸気発生器への取替を実施	1994年度～1995年度 (第14回定期検査時)
疲労	1次冷却材ポンプ熱遮へい装置取替工事	A号機の熱遮へい装置の取替を実施(B号機は第24回定期検査時予定)	2007年度～2008年度 (第23回定期検査時) 2009年度(第24回定期検査時)
	余熱除去系統配管取替	余熱除去クーラ出口配管とバイパスライン配管合流部取替を実施	2007年度～2008年度 (第23回定期検査時)
応力腐食割れ(SCC)	原子炉容器上部蓋取替工事	管台材料を耐食性に優れた690系ニッケル基合金に変更するなど改良型の原子炉容器上部蓋に交換	2001年度(第18回定期検査時)
	原子炉容器炉内計装筒母材部等のｳｫｰﾀｰｼﾞｪｯﾄﾋﾟｰﾆﾝｸﾞ	600系ニッケル基合金使用部位の炉内計装筒母材部, 炉内計装J-溶接部, 冷却材出入口管台溶接部及び安全注入管台溶接部にウォータージェットピーニング(応力緩和)を実施	2002年度(第19回定期検査時) 2006年度～2007年度 (第22回定期検査時)
	燃料取替用水タンク取替	耐食性に優れた材料として炭素含有量の少ないステンレスを採用したタンクに取替を実施	1998年度(第16回定期検査時)
	バッフルフォーマボルト取替工事	バッフルフォーマボルト全数(624本)取替を実施	2002年度(第19回定期検査時)
	高圧給水加熱器取替	銅合金から耐食性に優れたステンレスの伝熱管を採用した加熱器に取替を実施	2005年度(第21回定期検査時)

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

運転開始以降に実施した主な改善(2/2)

事象	実施事項	改善内容	実施時期
応力腐食割れ（SCC）	低圧タービンロータ取替工事	低圧タービンロータを低降伏応力材料を用いるとともに，翼溝部の応力を低減したロータへの取替を実施	1999年度（第17回定期検査時）
腐食	2次系配管取替	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えを実施	適宜
	2次系熱交換器取替等	湿分分離加熱器の蒸気入口部胴板，鏡板及び蒸気入口側仕切板，蒸気溝板（減肉想定箇所のみ）へのステンレス鋼内張板取付	2005年度（第21回定期検査時） 2006年度～2007年度（第22回定期検査時）
		B第1/2低圧給水加熱器の取替	2009年度（第24回定期検査時）
絶縁低下	非常用D/G制御盤取替	保護リレーの取替を実施	1990年度（第11回定期検査時）
	固定子コイルの巻き替え、取替	循環水ポンプモータ固定子コイル巻き替えの実施	2002年度（第19回定期検査時） 2003年度（第20回定期検査時）
		1次冷却材ポンプモータ固定子コイル取替の実施	1995年度（第14回定期検査時）
コンクリート劣化	コンクリート外壁面塗装	外部遮へい壁等に塗装を施し，以降，必要に応じて塗装の塗替えの補修を実施	1986年～1988年　塗装実施 1997年　補修実施

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

美浜発電所1号炉の高経年化技術評価

高経年化技術評価実施工程

年月 / 項目	2009												2010					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	…	11 運開 40年
手順書作成			▼															
評価書作成			■	■	■	■	■	■										
発電所レビュー					■	■	■											
第三者評価							■	■										
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											▼						補正 ▼	

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

美浜発電所1号炉の高経年化技術評価

高経年化技術評価実施体制

原子力事業本部

原子力技術部門統括
○高経年化技術評価書の提出の承認

原子力技術部門 高経年対策グループ
○全体とりまとめ
○実施計画,実施手順の策定
○運転経験,最新知見の調査･分析
○官庁対応,他電力等との業務･調整
○高経年化技術評価書の作成
○第三者評価（技術的な内容）
○原子力発電安全委員会への付議

原子力技術部門 土木建築グループ※1
○高経年化技術評価書の作成
○官庁対応
○第三者評価（技術的な内容）
※1コンクリート構造物及び鉄骨構造物のみ

原子力技術・発電部門 機械技術グループ 電気技術グループ他
○評価書作成助勢
（社内方針,技術的内容の確認等）

原子力発電部門 品質保証グループ
○第三者評価（プロセス確認）

原子力発電安全委員会

原子力発電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。

美浜発電所

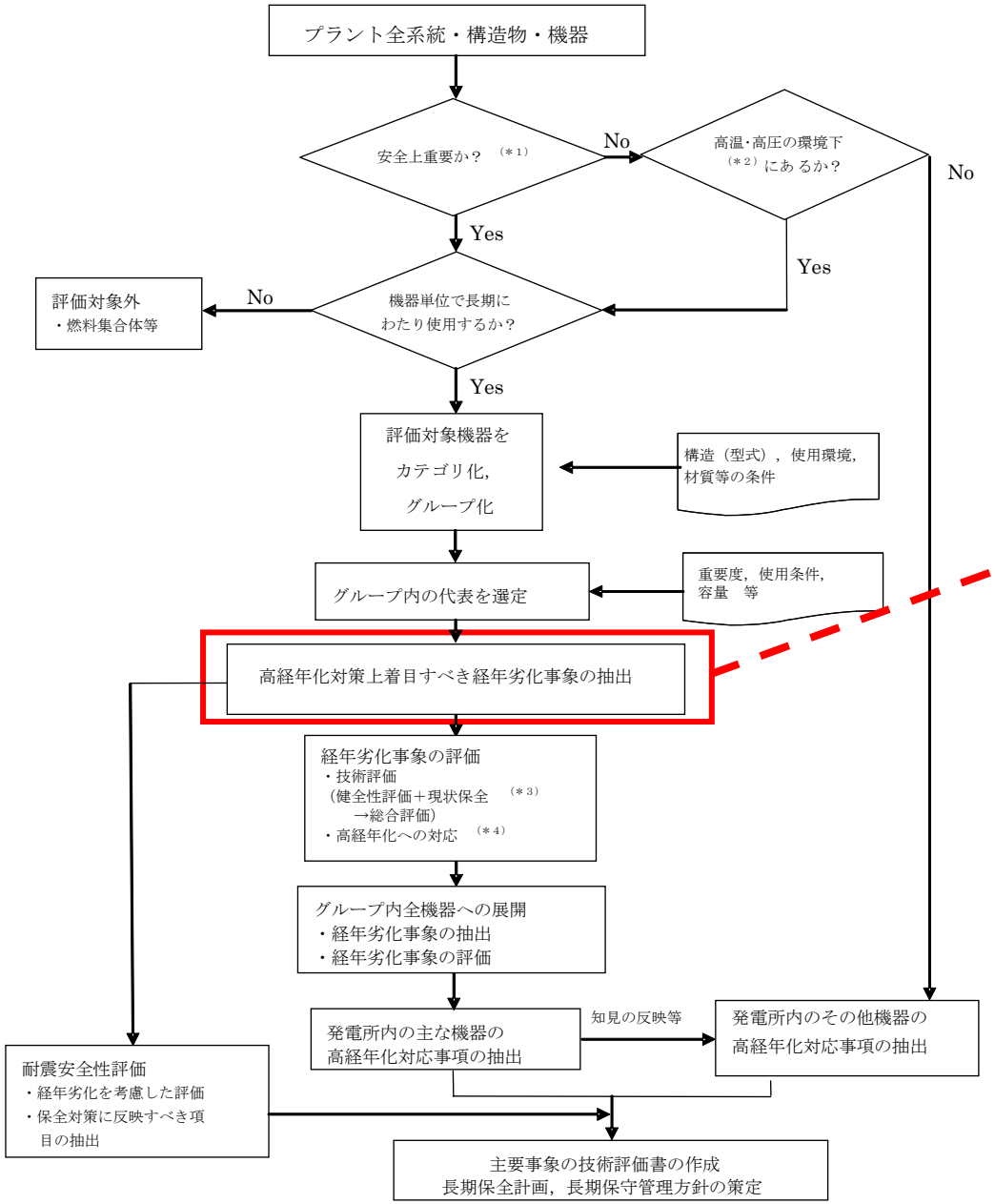
保全計画課
○美浜発電所内とりまとめ

原子炉保修課 タービン保修課 電気保修課 計装保修課 土木建築課 原子燃料課 発電室
○機器・保全データ提供
○評価書作成助勢
（照会事項に対する回答等）
○評価書案の発電所レビュー

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」及び「長期保守管理方針の維持」の管理は，発電所にて実施する。

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

高経年化技術評価のフロー



日本原子力学会標準「高経年化対策実施基準」附属書に基づき，「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。

経年劣化事象の抽出

劣化メカニズムスクリーニング

第一段階

・経年劣化メカニズムまとめ表（2008年版）により，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を抽出

・まとめ表作成・改定時期以降の運転経験から抽出された経年劣化事象を反映

個別条件下での抽出

第二段階

・対象機器個別の条件を考慮し，想定される経年劣化事象を抽出

＊1：重要度クラス1，2（＊5）
＊2：最高使用温度が95℃を超え，または最高使用圧力が1900 kPaを超える機器で原子炉格納容器外にあるもの。
＊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30日原子力安全委員会決定）の重要度分類

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

主な経年劣化事象の評価結果

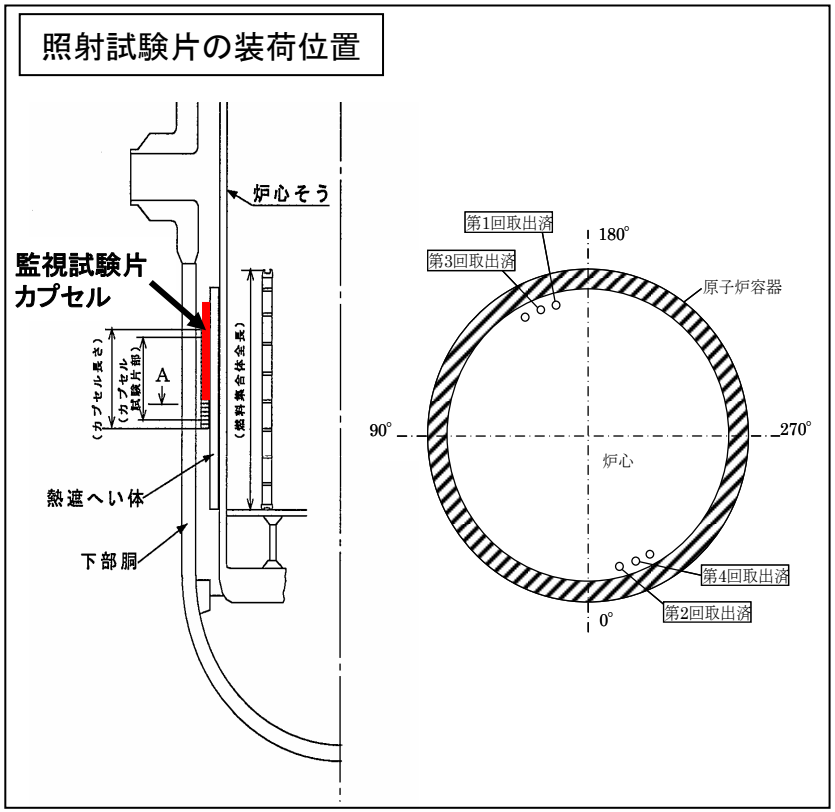
① 原子炉容器の中性子照射脆化
② 疲労割れ
③ 照射誘起型応力腐食割れ
④ 絶縁特性低下
⑤ コンクリートの強度低下
⑥ 配管の減肉
⑦ 熱時効
⑧ 耐震安全性評価

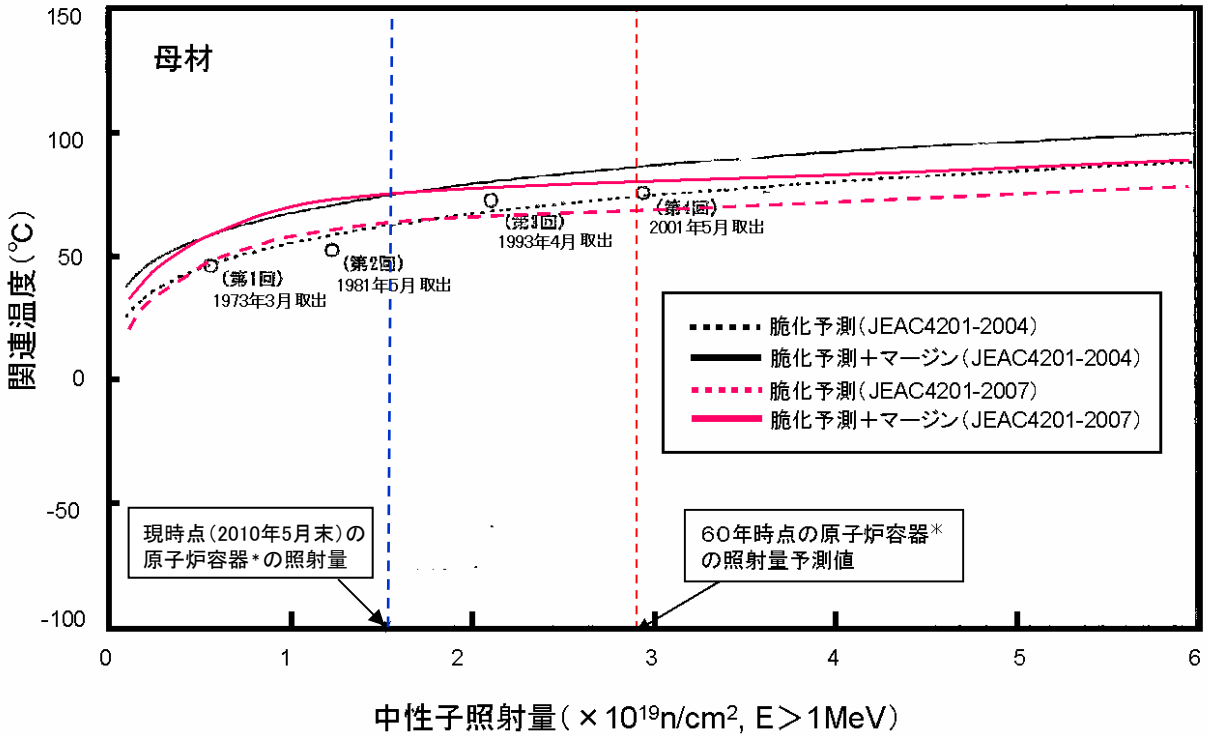
当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

① 原子炉容器の中性子照射脆化（その1）

健全性評価

JEAC4201-2004、2007のいずれの評価結果においても、脆化予測にマージンを見込んだ値を逸脱しておらず、特異な傾向は認められない。





＊：原子炉容器内表面から板厚の1/4深さの位置

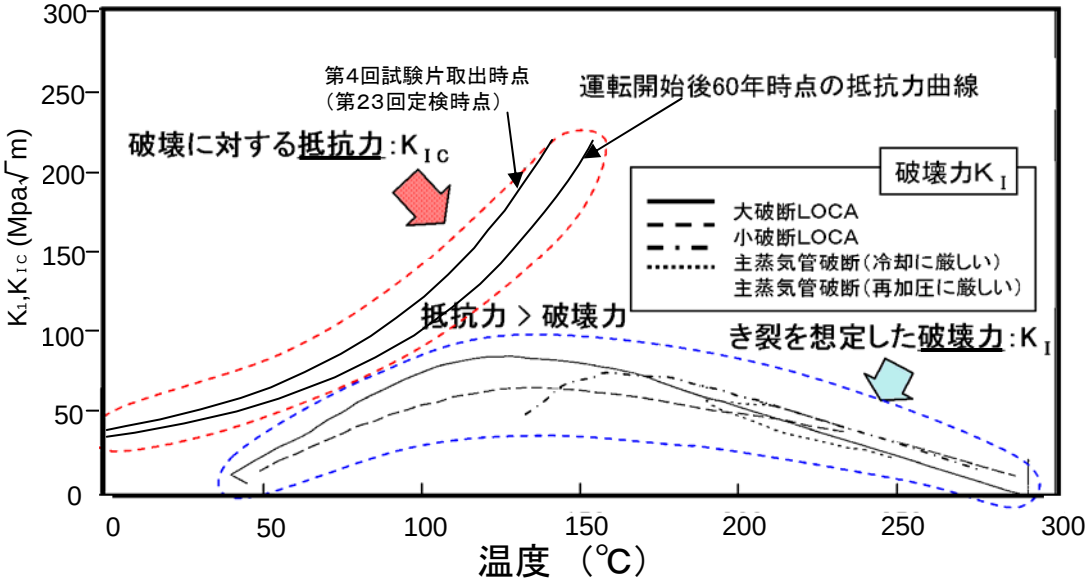
（参考）
中性子の照射を受けると金属材料は非常に微細な欠陥が生じ、靭性（破壊に対する抵抗）の低下が生じる。原子炉容器の炉心領域においては、中性子照射とともに関連温度は上昇する。

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

① 原子炉容器の中性子照射脆化（その2）

健全性評価（続き）

60年経過時点の加圧熱衝撃が生じることを仮定した評価の結果，破壊に対する抵抗力が常に破壊力を上回っており，不安定破壊しないことを確認した。



上部棚吸収エネルギー予測式による評価を実施し，JEAC4201に基づき68J以上あることを確認。

評価時期	材料	関連温度 初期値（℃）	関連温度（℃）	上部棚吸収エネルギー(J)
第23回定検時点（2007年度～2008年度）	母材	－1	73（76）	73
	溶接金属	－50	84（87）	82
	熱影響部	－66	24（28）	90
運転開始後60年時点	母材	－1	85（82）	69
	溶接金属	－50	101（91）	74
	熱影響部	－66	40（35）	85

数値は2004年版，（）内は2007年版

現状保全

○JEAC4201に基づき計画的に監視試験を実施，定期的に超音波探傷検査を実施している。
○運転管理上の制限として加熱冷却時制限曲線及び耐圧漏えい試験温度を設けて運用している。

総合評価

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ことはない。また，保全内容も適切である。

高経年化への対応

現状保全を継続して実施していく。

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

② 疲労割れ

健全性評価

プラント実過渡回数から、60年時点の過渡回数を推定し、60時点での疲れ累積係数を評価（環境を考慮した評価も実施）

現状保全

・定期的な超音波探傷検査等の非破壊検査や、漏えい試験で健全性を確認している
・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

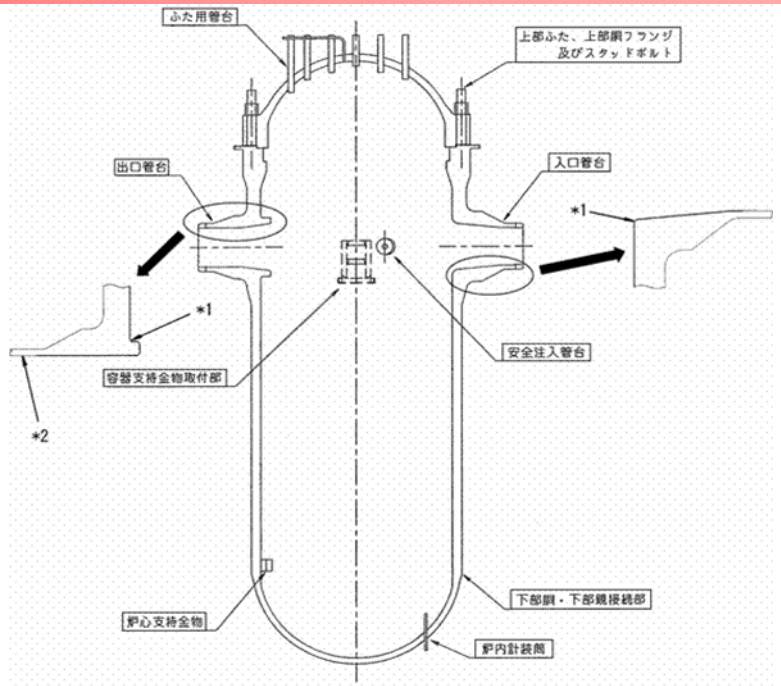
総合評価

疲労割れが問題となる可能性はないと考える。
ただし、今後も実過渡回数を把握し、評価する必要がある。また、疲労割れは超音波探傷検査等で検知可能であり、点検手法は適切

高経年化への対応

冷却材出入口管台等の疲労割れについては、現状保全項目として、実過渡回数に基づく評価を定期的に実施していく。

（参考）
疲れ累積係数：材料に何種類かの応力が組み合わさって作用したときの疲労損傷を示す指標であり、許容値は1以下



原子炉容器の疲労評価結果

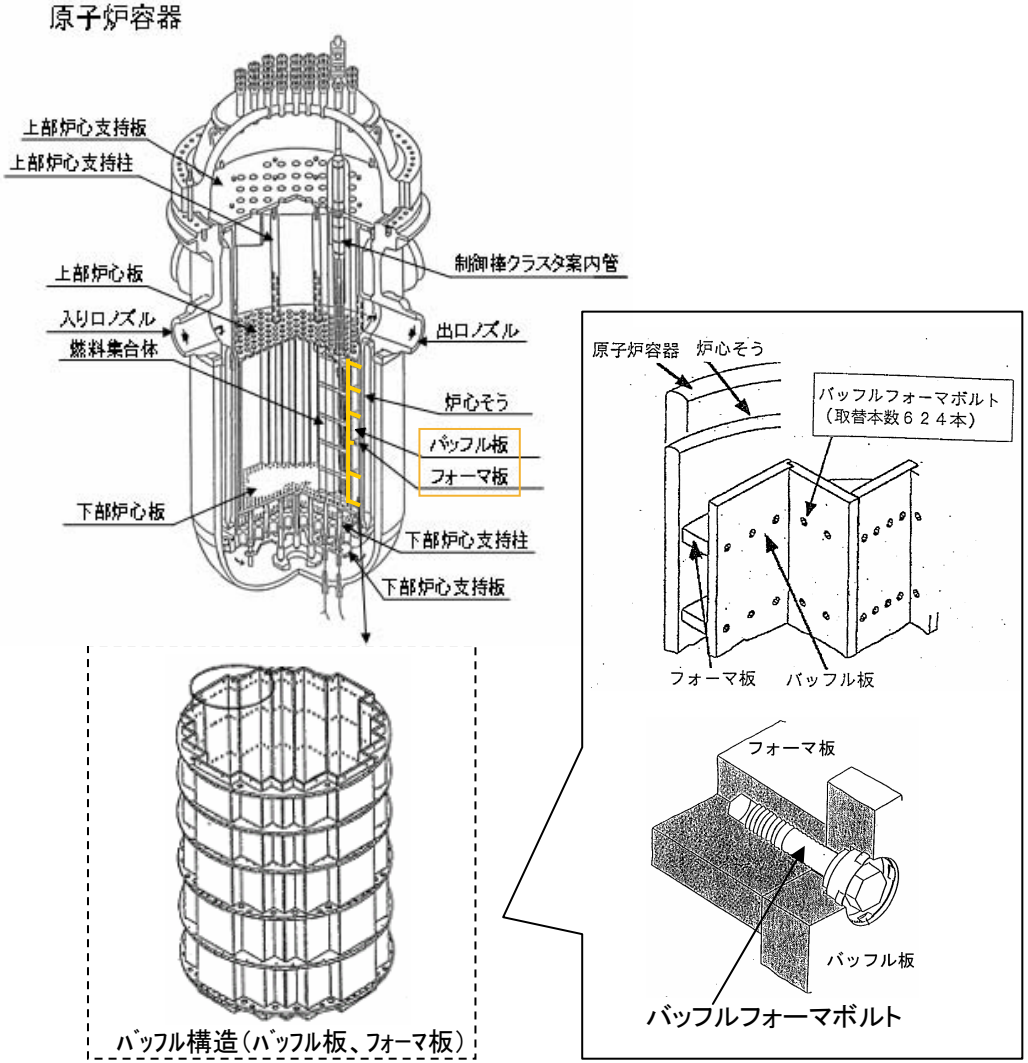
評価対象部位	疲れ累積係数（許容値：1以下）	
	設計・建設規格による解析	環境疲労評価手法による解析
冷却材入口管台	0．033	0．000*1
冷却材出口管台	0．038	0．001*1
安全注入管台	0．042	0．018*1
蓋用管台	0．041	0．001*1
炉内計装筒	0．131	0．001*1
上部蓋、上部胴フランジ	0．008	—*2
下部胴・下部鏡接続部	0．003	—*2
炉心支持金物	0．004	0．000*1
容器支持金物取付部	0．010	—*2
スタッドボルト	0．399	—*2

＊1 ：炉水環境にある箇所に絞り評価を実施しているため、設計・建設規格による解析評価対象箇所と異なる。
＊2 ：非接液部（炉水環境となる部位はない）

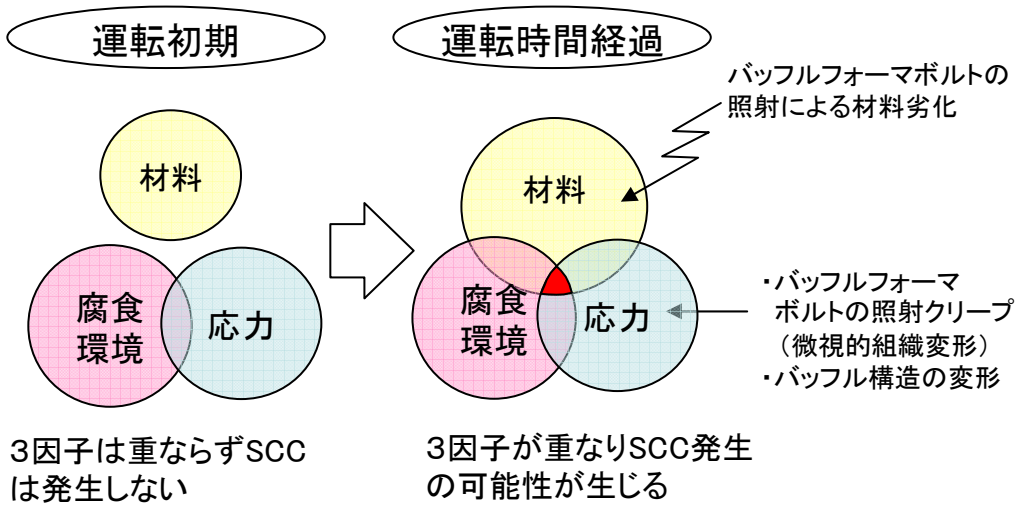
当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

③照射誘起型応力腐食割れ（その1）

- 応力腐食割れ（SCC）の発生要因は①材料、②応力、③環境の3つだが、運転時間が経過し、高い中性子照射量を受けると、材料の経年変化等に伴い応力腐食割れが発生する可能性がある。
- 中性子照射量の高い炉内構造物の中から、相対的に最も割れが発生する可能性が高く（中性子照射量、応力レベル、及び温度条件が最も厳しい）、海外で損傷事例のあるバッフルフォーマボルトを代表として詳細評価した。



バッフルフォーマボルトのSCC発生概念図



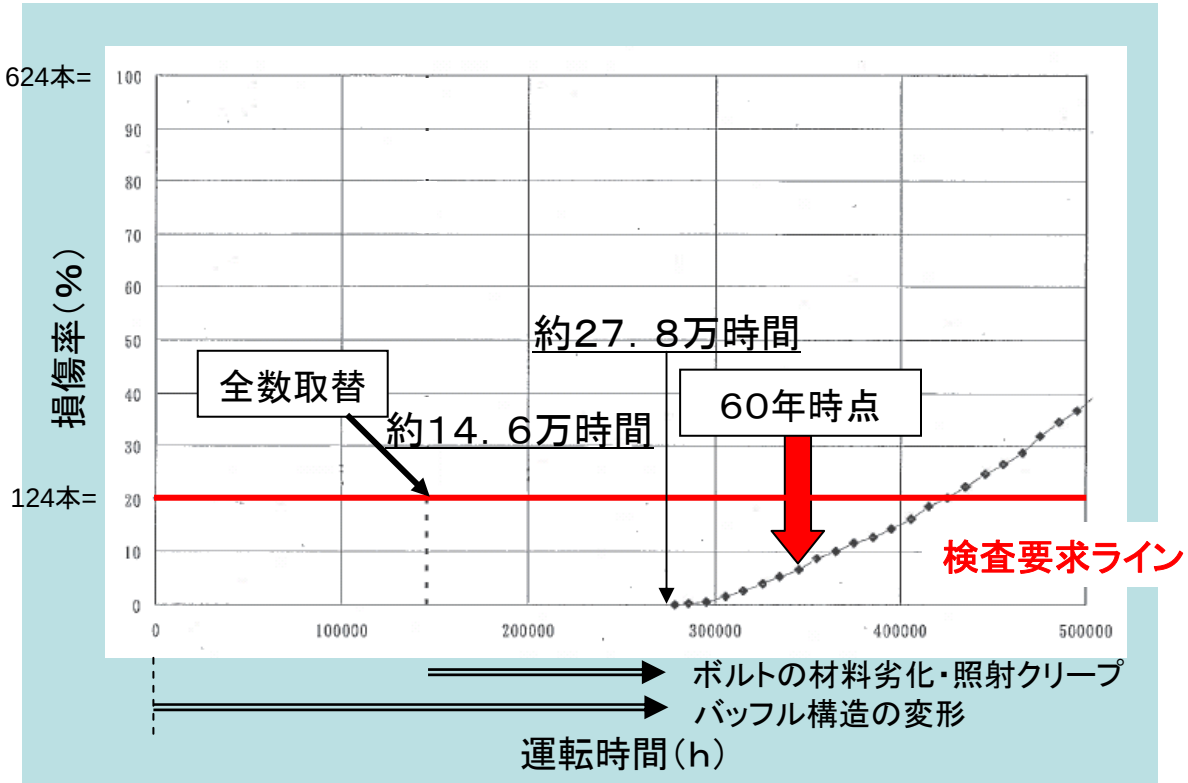
※美浜1号機では、ﾊﾞｯﾌﾙﾌｫｰﾏﾎﾞﾙﾄの材料劣化の影響をリセットするため、全数取替実施済み。

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

③ 照射誘起型応力腐食割れ（その2）

健全性評価

バッフルフォーマボルトについて日本機械学会　維持規格および最新知見を用いて評価した結果，全数（624本）の取替を実施しているが，運転時間が**約27．8万時間**（最大照射量 6×10^{22}n/cm^2）を越えると損傷の可能性が否定できない。



現状保全

○バッフルフォーマボルトに対して第11回及び第13回定期検査(1993年度)時に超音波探傷検査を実施，有意な指示なし。
○予防保全として第19回定期検査(2002年度)時に，首下部の曲率半径を大きくしたSUS316CW改良材へ全数取替
○定期的に水中テレビカメラによる可視範囲の目視検査を実施している。

総合評価

60年時点ではボルト本数全体の損傷が約7割に至ることはないと予測されるため，構造強度・機能の健全性に影響を与える可能性は低い。また，点検手法は適切である。

高経年化への対応

必要に応じて日本機械学会　維持規格（JSME S NA1-2008）に基づき，適切な時期に超音波探傷検査を実施することを検討する。

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

④ 絶縁特性低下（その1）

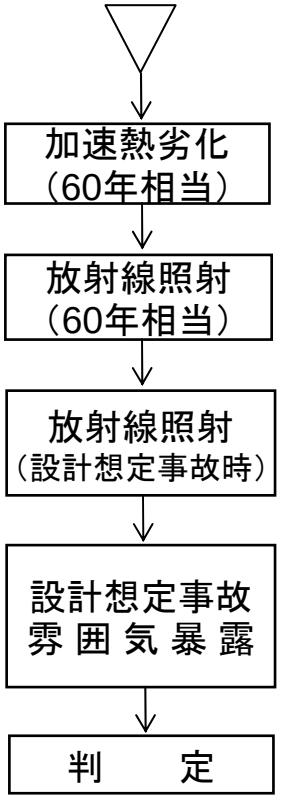
○ 評価対象機器：電気ﾍﾟﾈﾄﾚｰｼｮﾝ，ケーブル，ﾌｧﾝﾓｰﾀ，ﾀｰﾋﾞﾝ発電機等
【評価例】：低圧・同軸ケーブル

① 格納容器内の実機環境として設計平均温度49℃を用いる

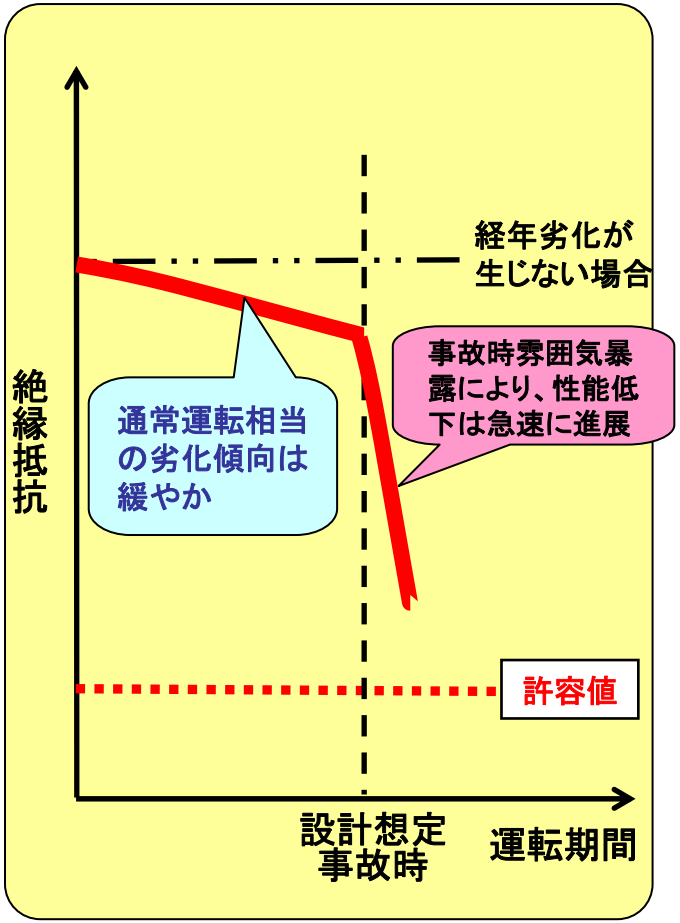
例：難燃PHケーブルの長期健全性試験条件

		試験条件	60年間の通常運転時の使用条件に基づく劣化条件または設計想定事故時の環境条件
通常運転相当	温度	140℃－9日	117℃－9日（＝60℃※－60年）
	放射線（集積線量）	500kGy	174kGy
設計想定事故相当	放射線（集積線量）	1500kGy	366kGy
	温度	最高温度：190℃	最高温度：約133℃
	圧力	最高圧力：0.41MPa[gage]	最高圧力：約0.26MPa[gage]

※ 原子炉格納容器内でのケーブル周囲温度（約49℃）に通電による温度上昇と若干の余裕を加えた温度として設定した。



長期健全性評価手順



結論：　試験条件は，実機環境に基づいて60年間の運転期間を想定した劣化条件を包絡している。

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

④ 絶縁特性低下（その2）

② 保安院指示文書に基づくケーブル布設環境の調査結果の反映（補正）

《平均温度上位3箇所》

順位	平均温度（℃）	測定箇所
1	57.9	原子炉容器上部
2	47.3	A加圧器逃し弁（PCV-455C）
3	43.4	A-SGトップ

《平均線量率上位3箇所》

順位	平均線量率（mGy/h）	測定箇所
1	254.8	Bループホットレグ温度計付近
2	86.4	Aループホットレグ温度計付近
3	73.9	Bループ低温側ドレン余剰抽出水元弁（AOV-567）

設計平均温度（49℃）を超過するホットスポットについては、当該ケーブルを個別に長期健全性評価を実施（CRDM用ケーブルは、当初申請時より実施済）、それ以外は評価で用いた温度・線量率に包絡されていることを確認。

健全性評価

電気学会推奨案に基づく長期健全性評価試験による評価を実施した結果、運転開始後60年時点においても絶縁機能を維持できる。

現状保全

定期的に系統機器の動作確認または、絶縁抵抗測定を行い異常のないことを確認している。

総合評価

現時時点の知見においては、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。絶縁低下は、系統機器の動作確認または絶縁抵抗測定で検地可能であり、点検手法として適切である。

高経年化への対応

事故時雰囲気内で機能要求のある一部のケーブルについて、製造メーカの実機調査の結果に基づき、取替を実施する。

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

⑤ コンクリートの強度低下（その1 ：評価概要）

健全性評価

コンクリートの強度について考えられる劣化要因について評価した。

要因	評価	説明
熱	○	・温度制限値（65℃、局部90℃）以下
原子炉容器支持部	○	⇒ その2参照
放射線照射	○	・運転開始後60年後の照射量は規定値（中性子 1×10^{20}n/cm^2、 ガンマ線 2×10^{10}rad）以下
中性化	○	・運転開始後60年後の中性化深さは鉄筋が腐食し始める時の深さ以下
塩分浸透	○	・運転開始後60年後の塩分による鉄筋腐食減量はかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の鉄筋腐食減量以下
アルカリ骨材反応	―	・使用材料は反応性骨材でないことが確認できていることから評価すべき事象ではない
機械振動	○	・タービン架台等振動を受ける部位には有害なひびわれなし
凍結融解	―	・地域的に凍害危険度が極めて低いことから評価すべき事象ではない
化学的侵食	―	・化学的侵食による強度低下を受ける部位がないことから評価すべき事象ではない

現状保全

・定期的にコンクリート、塗装を目視確認
・必要に応じ塗装の塗り替え等を実施
・非破壊検査にてコンクリート強度を確認

総合評価

コンクリート強度は基準強度を上回っており、優位な欠陥がないことから保全方法は適切である。

高経年化への対応

コンクリート構造物の強度低下に対しては，今後も現状の保全方法により健全性を確認していく。
さらに原子炉容器支持部のコンクリートに関しては、変形を傾向監視する。

コンクリート強度の破壊試験結果（単位：N/mm^2）

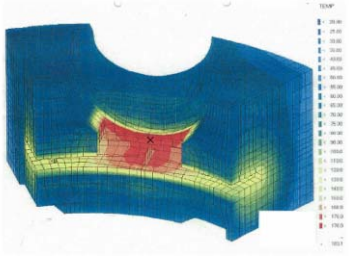
構造物	外部遮へい壁 内部コンクリート 原子炉格納施設基礎 原子炉補助建屋	ﾀｰﾋﾞﾝ架台	取水 構造物
基準強度	20．6	17．7	23．5
2008年実施測定結果 【()内は1995年実施測定結果】	32．5～41．0 （約33）	33．6 （ ― ）	32．3 （約30）

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可 関西電力株式会社

⑤ コンクリートの強度低下（その2：耐熱コンクリート）

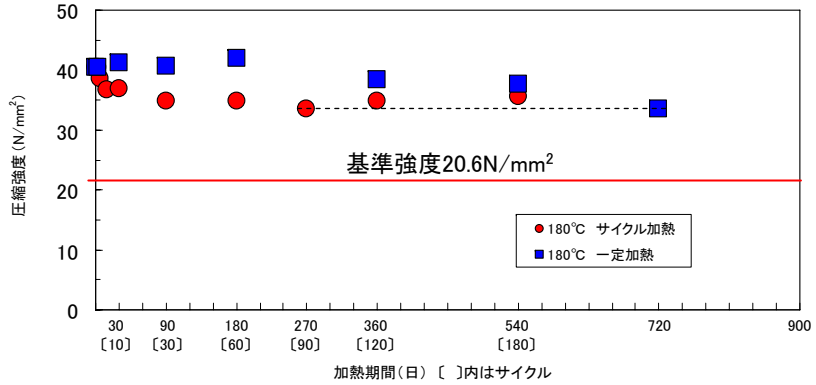
耐熱コンクリート(原子炉容器支持部)の健全性評価

・原子炉容器支持部に粗骨材として耐火レンガを採用し耐熱性を高めた耐熱コンクリートを採用。
・315℃に加熱した場合の約4割の強度低下を見込み、基準強度20.6N/mm²に対して、調合強度を34.3N/mm²に割り増し。
・3次元FEM温度分布解析の結果、耐熱コンクリートの最高温度は約180℃。



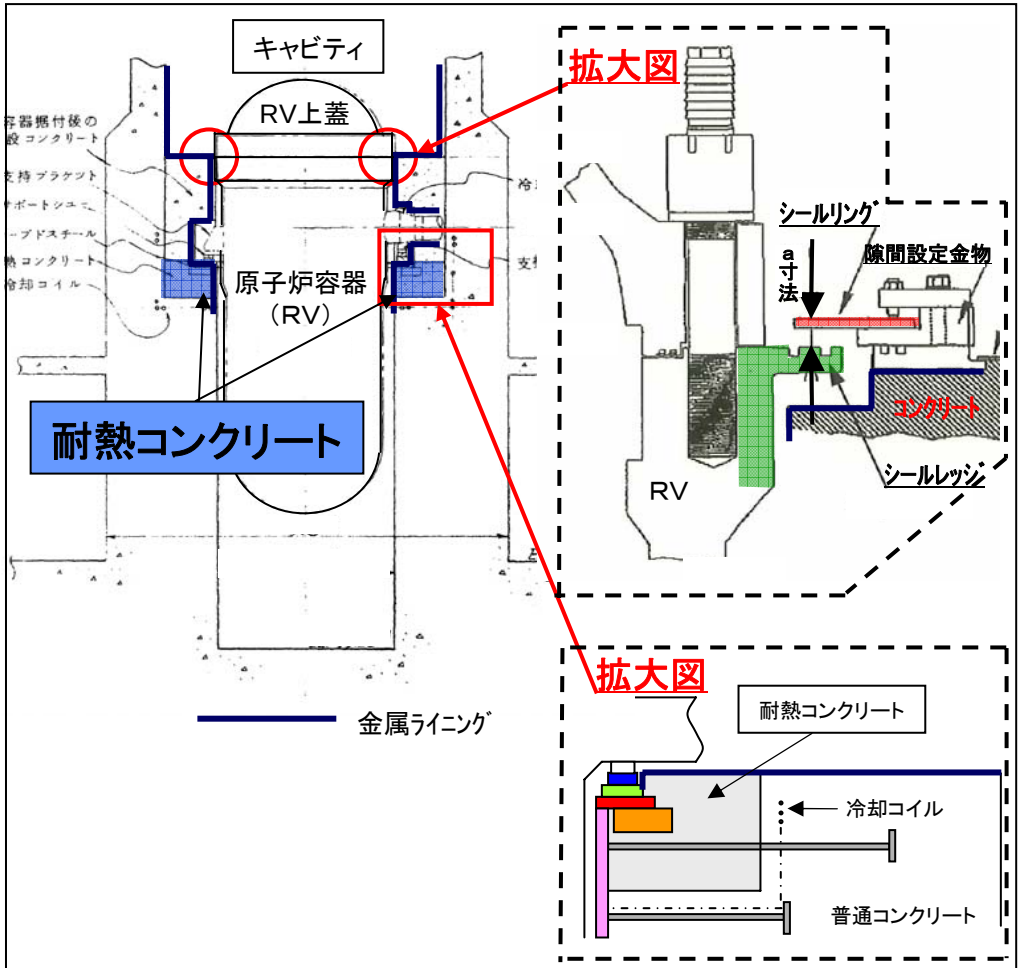
耐熱コンクリートの
3次元FEM温度分布解析結果

・既往文献や耐熱コンクリートの調合条件を模擬した供試体による180℃の一定加熱試験（720日）とサイクル加熱試験（サイクル数180回）の結果より、初期に強度低下は生じるものの、比較的短時間にほぼ収束し、基準強度を上回る水準を今後も維持すると評価。



耐熱コンクリート供試体の圧縮強度の変化

耐熱コンクリートの変形の監視方法の追加



耐熱ｺﾝｸﾘｰﾄは、金属ﾗｲﾆﾝｸﾞが施されており、直接的な点検が難しいため、監視方法を検討した結果、定期的に実施しているキャビティシール据付時の隙間計測結果（a寸法）を用いて耐熱コンクリートの変形を傾向監視する。

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

⑥ 配管の減肉

○社内指針「2次系配管肉厚の管理指針」に基づき，超音波による肉厚計測を実施。
管理指針は、「原子力設備2次系配管肉厚の管理指針（PWR）」（平成2年5月）をスタート点として、
・保安院指示文書(NISA-163c-08-2)
・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）
等の内容を適宜取り込み、内容の充実を図ってきた。

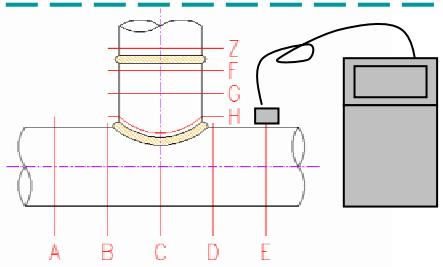
○第21回定期検査（2005年度），第22回定期検査（2006年度～2007年度）及び23回定期検査（2007年度～2008年度）で、主要点検部位及びその他の全ての管理対象箇所についての点検が完了

他社の運転経験情報や産業界大での研究成果等を取り込み、2次系配管肉厚の管理指針（社内規定）は、今後も継続的に改善

配管管理システム

データ取込み

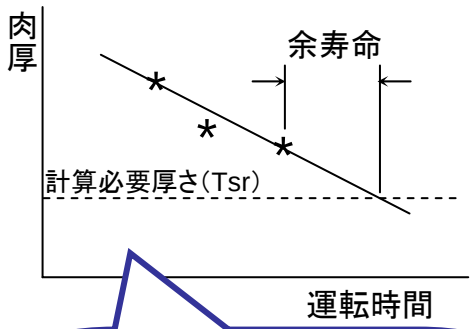
肉厚測定データの自動読込み



点検計画に基づく肉厚測定

データ計算

余寿命計算

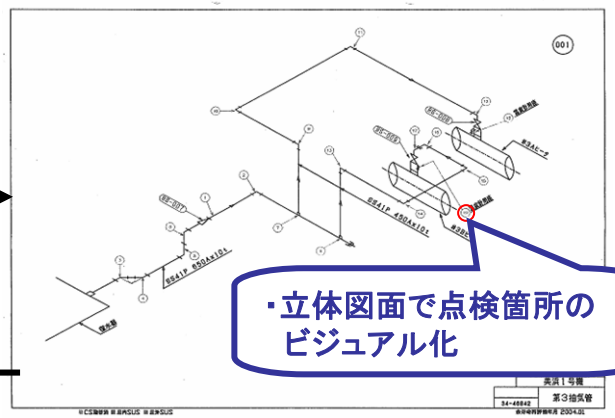


点検データに基づき，余寿命（年数）を自動計算

結果の表示

点検データシート
（点検結果整理票）
・肉厚データ
・余寿命
・次回点検時期

・寿命の5年前（10年前※）に次回点検時期を表示
※高経年化プラントの場合



・立体図面で点検箇所のビジュアル化

配管ルート図（スケルトン図）

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

⑦ 熱時効

評価対象

一次冷却材管および一次冷却材ﾎﾟﾝﾌﾟｹｰｼﾝｸﾞ

健全性評価

運転開始後60年時点までの疲労き裂進展長さを考慮した評価用き裂を想定しても，材料の破壊抵抗値は，破壊力を十分上回ることから，配管は不安定破壊することはなく，健全性評価上問題とならない。

現状保全

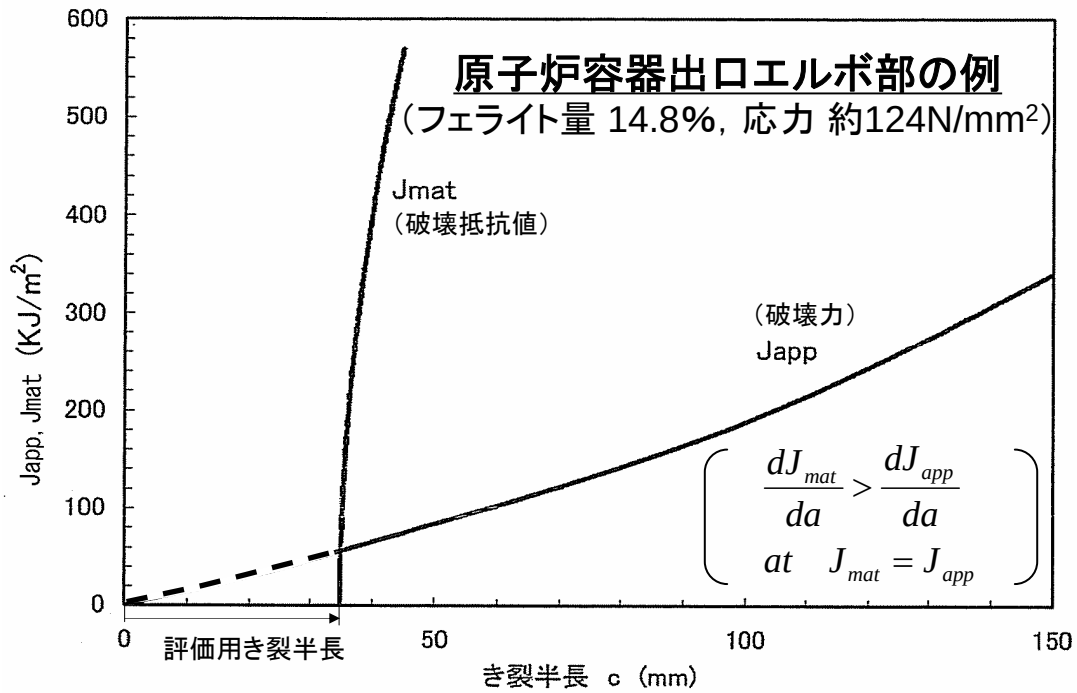
定期的に溶接部の超音波探傷検査を実施している。ｹｰｼﾝｸﾞはVT-3（可視範囲）

総合評価

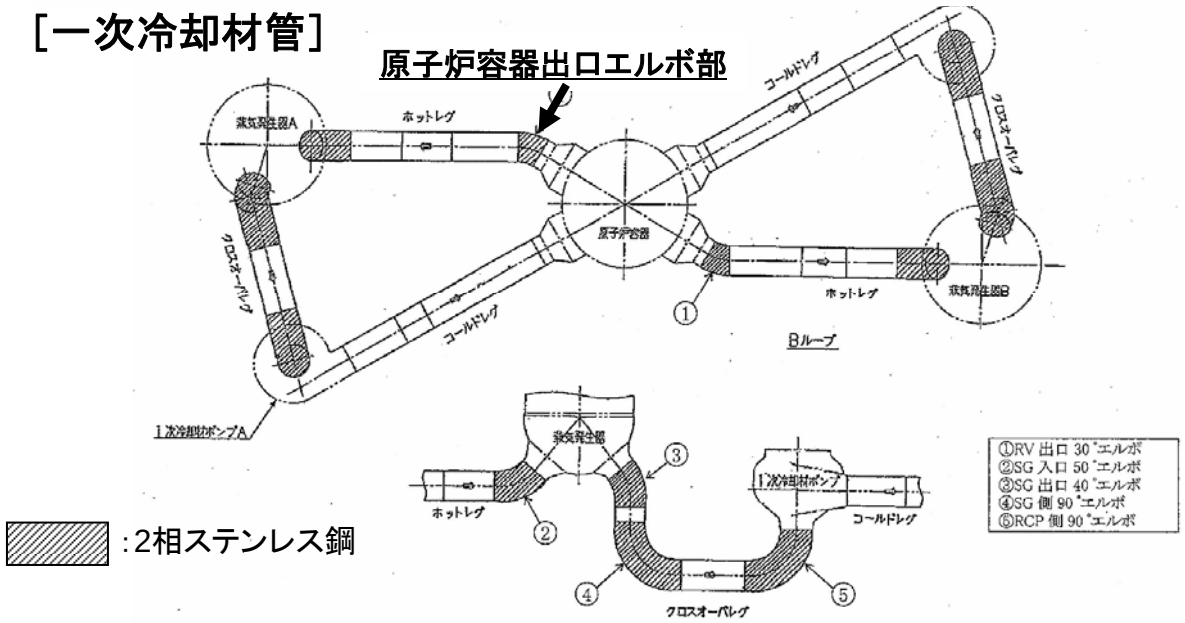
現時点の知見においては問題となる可能性はない。また，点検手法は適切である。

高経年化への対応

現状保全項目に追加すべきものはない。



［一次冷却材管］



:2相ステンレス鋼

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

⑧ 耐震安全性評価（概要一覧）

運転開始後60年時点で想定される経年劣化を仮定し、耐震安全性評価を実施した

経年劣化事象	評価結果（例）の概要
摩耗 （制御棒ｸﾗｽﾀ案内管・被覆管）	現状保全で管理される範囲内での摩耗を想定して、地震時の制御棒挿入時間を算出し、規定値を上回らないことを確認
摩耗 （重機器支持構造物）	ヒンジ摺動部に摩耗を想定して、当該部位における地震時の発生応力を算出し、許容応力を上回らないことを確認
腐食 （配管、熱交換器）	必要最小厚さまでの減肉を仮定して、当該部位における地震時の発生応力を算出し、許容応力を上回らないことを確認
腐食 （基礎ボルト）	基礎ボルトのコンクリート直上部に腐食による断面減少を仮定して、地震時の発生応力を算出し、許容応力を上回らないことを確認
疲労割れ （配管、弁、炉心そう 等）	実過渡回数から算出した運転開始後60年時点での運転による疲れ累積係数と、地震による疲れ累積係数の合計が1を上回らないことを確認
応力腐食割れ （配管、熱交換器 等）	保守的なき裂を想定して、当該部位における地震時の発生応力を算出し、き裂安定限界応力を上回らないことを確認
高サイクル疲労割れ （配管、熱交換器 等）	保守的なき裂を想定して、当該部位における地震時の発生応力を算出し、き裂安定限界応力を上回らないことを確認
照射誘起型応力腐食割れ （バッフルフォーマボルト）	保守的に、6段設置されているうちの2段目及び3段目のバッフルフォーマボルト全て（全ボルト本数の1/3に相当）に損傷を仮定して、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及び制御棒挿入時間を算出し、それぞれの許容値を上回らないことを確認
熱時効 （1次冷却材管）	き裂を保守的に想定して、当該部位における地震時の破壊力を算出し、熱時効を考慮した材料の破壊抵抗値を上回らないことを確認
中性子照射脆化 （原子炉容器胴部・支持構造物、炉心そう）	保守的なき裂を想定して、地震時の当該部位における応力拡大係数が、中性子照射をうけた材料の破壊靭性値を上回らないことを確認

【評価条件に関する特記事項】

●美浜1号機の新指針耐震バックチェックが完了していないことから、評価用基準地震動は旧指針に基づき、$S_1$270Gal、$S_2$405 Galとした。
　なお耐震バックチェック終了後、新指針基準地震動Ssによる再評価を実施予定

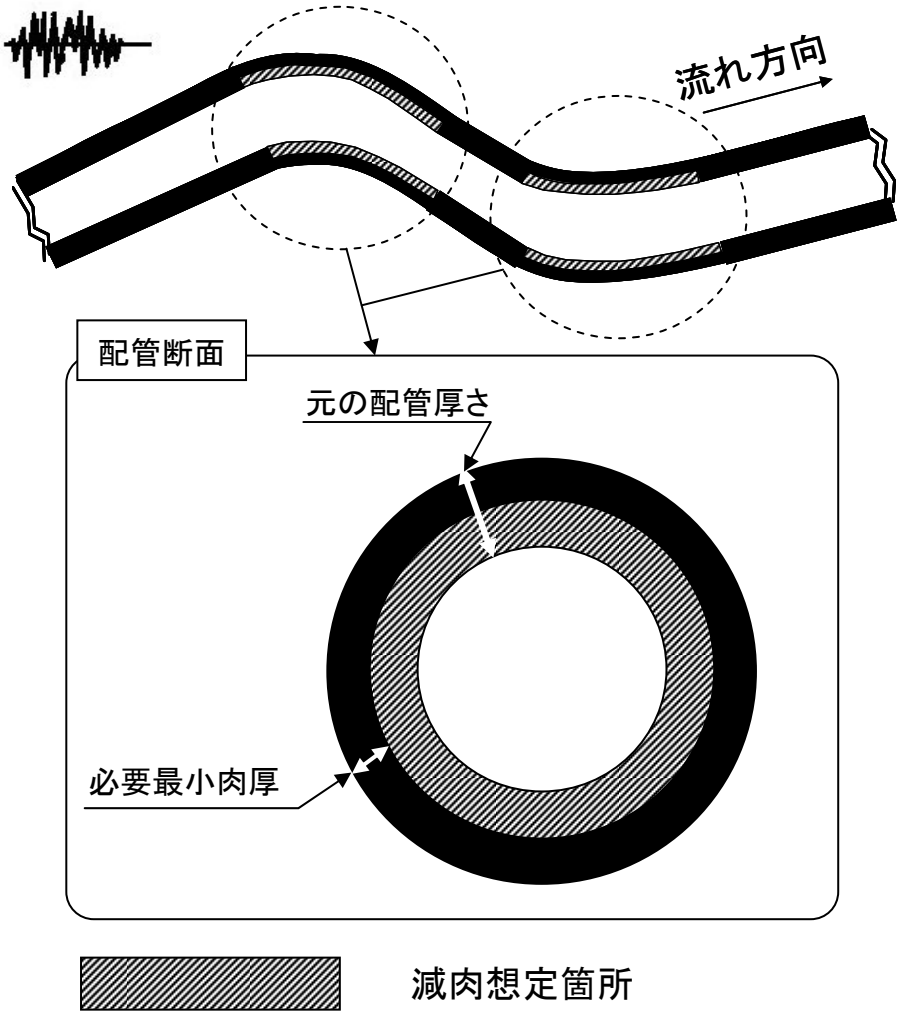
（耐震バックチェック中間報告の評価対象である安全上特に重要な設備については、新指針基準地震動Ssにより、経年劣化を仮定した耐震評価を行い、安全性を確認済み）

●配管減肉を想定した一部の耐震安全性評価については、第24回定検でのサポート修繕等を反映した条件で実施

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

⑧ 耐震安全性評価（配管減肉の例）

配管減肉の起こり得る、エルボ、レジューサ、分岐、および弁下流部が、管理値厚さ（Tsr：必要最小肉厚）まで、周軸方向に一様に減肉した状態を想定して、地震時に発生する応力を算出し、許容応力を上まわらないこと、または疲れ累積係数が許容値1を上まわらないことを確認した。



＜応力比評価＞

評価対象	応力比＊1
補助蒸気系統配管	0．17
低温再熱蒸気系統配管	0．26
第3抽気系統配管	0．72
グランド蒸気系統配管	0．63
復水系統配管	0．93
抽気・ドレン系統配管	0．93
主蒸気系統配管	0．97
主給水系統配管	0．69

＊1：応力比＝一次応力／許容応力
主給水系統配管は、（一次＋二次）応力／許容応力

（主給水系統配管の許容応力：
クラス2の一次＋二次応力の許容応力ⅣASの2Sy
主給水系統配管以外の許容応力：
発電用火力設備扱いとし，クラス3の一次応力の許容応力ⅢASを準用しSy）

＜疲れ累積係数評価＞

評価対象	疲れ累積係数
蒸気発生器ブローダウン系統配管	0．036

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

①経年劣化傾向の評価（30年目評価との比較例）

40年目の評価は30年目の評価から乖離するものではないことを確認

＜低サイクル疲労の評価例＞

機器・設備	部　位	60年時点の予測値（許容値：1以下）（（　）内は環境疲労を考慮した値）		相違の理由
		30年目評価	40年目評価	
1次冷却材ポンプ	ｹｰｼﾝｸﾞ脚部	0.008（0.007未満）	0.084（0.046）	疲労評価，環境疲労評価手法の変更 評価モデルの変更
	ｹｰｼﾝｸﾞ吐出ﾉｽﾞﾙ	0.008（0.007未満）	0.010（0.024）	

＜原子炉容器の中性子照射脆化の評価例＞

項　目	部　位	60年時点の予測値		相違の理由
		30年目	40年目	
関連温度（℃）	胴部（母材）	85	85（82）	・第4回監視試験結果を反映 ・JEAC4201-1991からJEAC4201-2004/2007に変更 ・上部棚吸収エネルギーの評価式をRegulatory Guide 1.99 Rev.2から国内USE予測式に変更
	胴部（溶接金属）	105	101(91)	
	胴部（熱影響部）	40	40（35）	
上部棚吸収ｴﾈﾙｷﾞｰ（J）	胴部（母材）	67	69（69）	
	胴部（溶接金属）	71	74（74）	
	胴部（熱影響部）	84	85（85）	

注：（　）はJEAC4201−2007に基づく評価結果を参考として示す。

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

①経年劣化傾向の評価（30年目評価後に発生したトラブル分析）

30年目の高経年化技術評価以降に美浜1号炉で発生した事故・トラブル等；31件

・法令に基づく報告対象情報；　4件
・保全品質情報に係わるもの；　27件

→ 時間依存性がある事象；　9件

①A-1次冷却材ポンプシール水漏洩に伴う原子炉手動停止について（法令対象）
②復水器清掃について
③原子炉補助建屋内での海水漏洩について
④復水器清掃について
⑤原子炉冷態停止中における「中性子源領域中性子束高」警報発信について
⑥原子炉格納容器送気ラインベローズの点検結果
⑦主給水管の減肉について
⑧2次系配管肉厚測定結果について
⑨原子炉格納容器内Bループ室壁面からの僅かな水のにじみについて

原因分析結果	事故・トラブル事象	40年目の評価への対応
保守管理上の不備	①，⑦	①シールスプリングの取替基準が明確ではなく、長期的な傾向管理が困難な部位のため毎定検取り替える運用とし、定期取替品のため評価対象外とした。 ⑦配管減肉管理において、必要厚さの評価に用いる技術基準の解釈に誤りがあり、人的過誤を防止するため管理指針に明記し、これに基づき減肉管理が行われているのを確認した。
異物等の要因	②，④	海生物の異常発生により運転中に復水器の洗浄が必要となったものであり、厳密には経年劣化事象ではない。
運用管理上の不備	③，⑤	③海水系バタフライ弁の開度設定不良により、弁下流で発生したキャビテーションでライニングが損傷したため、運転マニュアルにキャビテーション発生防止を反映されているのを確認した。 ⑤定期検査中に格納容器内小型クレーン電源回路の電磁接触器接点より発生したノイズで中性子源領域中性子束高警報が発信したため、電磁接触器を定期取替品とし、炉外核計装装置の耐ノイズ性を向上した。
技術規格の反映	⑧	減肉管理対象外であったｽﾁｰﾑｺﾝﾊﾞｰﾀｰﾄﾞﾚﾝ配管を、新規格（JSME S NG1-2006)に則り肉厚測定を実施した際、必要厚さを下回っていた箇所をステンレス鋼配管に取り替えた。
知見がなく評価できなかったもの	⑥，⑨	外気の吸気の際、フィルタで取りきれない僅かな海塩粒子が下流の送排気管ベローズ内面に付着（⑥）及びプラント建設時に持ち込まれた海塩粒子がプール型容器のキャビティのコーナー部に付着（⑨）し、塩素型応力腐食割れが発生したため、「着目すべき経年劣化事象」として評価を実施。

40年目の高経年化技術評価では、事故・トラブルの再発防止対策が図られていることを確認

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

②保全実績の評価

30年目の評価で現状保全の継続により健全性を維持できるとした事象を、過去10年間の保全実績により評価した結果、5つの課題が抽出された。

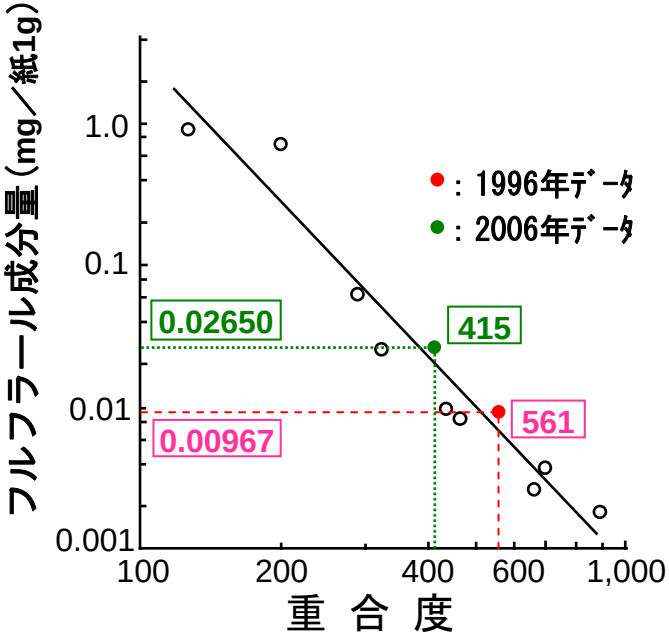
課題例;主変圧器 コイルの絶縁低下

健全性評価

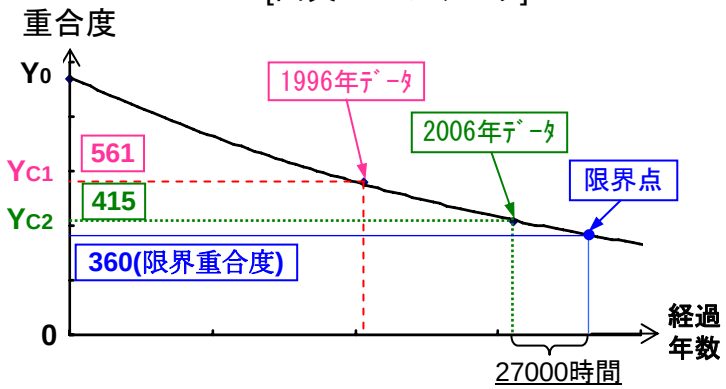
- 2006年12月に油中フルフラール成分測定を実施しており、フルフラール成分量の測定による方法で重合度を推定
- 油中フルフラール成分の測定以降、絶縁紙のホットスポットの重合度が、三相外部短絡時に生じるコイル導体応力に耐える強度を維持するために必要な限界重合度360に達するまでの実運転時間は、約27千時間と評価され、絶縁低下の可能性は否定できない

高経年化への対応

- 第25回定期検査時に主変圧器の取替を実施する



フルフラール成分量と絶縁紙の重合度の関係
[出典:メーカデータ]



絶縁紙の重合度の回帰式

30年評価で現状保全の継続とした重合度測定を実施し、最新の測定ﾃﾞｰﾀに基づく技術評価にて取替計画を策定

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

②保全実績の評価（インコネル600合金に関する対応）

【原子炉容器】

上蓋管台

第18回定期検査（2001年度）に690系ニッケル基合金に取替

予防保全

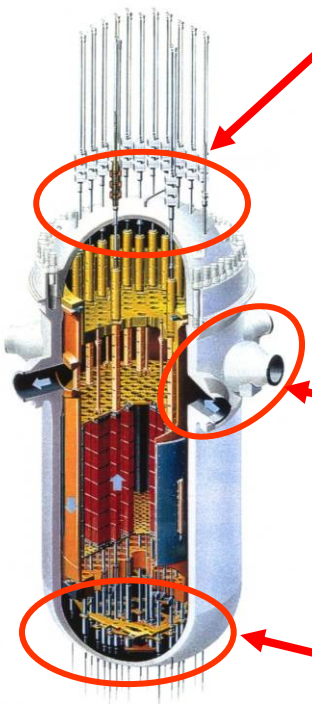
ウォータージェットピーニングを実施
第19回定期検査（2002年度）に炉内計装筒内面
第22回定期検査（2006年度～2007年度）に出入口管台，安全注入管台，炉内計装筒管台の溶接部

超音波探傷検査

第19回定期検査（2002年度）にて安全注入管台2／2箇所及び冷却材出入口管台4／4箇所

ベアメタル検査

第20回定期検査（2003年度）に冷却材出入口管台3／4箇所及び底部管台30／30箇所
第21回定期検査（2005年度）に冷却材出入口管台1／4箇所
第23回定期検査（2007年度～2008年度）に底部管台30／30箇所



大飯3号機RV上蓋；2004.5

環境条件（温度低減）の改善で発生を抑制。しかし、バフ研磨がかけられていない溶接部にき裂が発生。管台母材部にはき裂は発生せず。

大飯3号機RV出口管台；2008.5

WJPで予防保全を図る。しかし、き裂が確認され切削後、肉盛補修を実施

炉内計装筒

米国サウステキサス1号機；2003

美浜2号機のSG入口管台

SGR時に狭開先加工で内面応力を低減。しかし、機械加工による表面加工痕から亀裂が発生

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

③長期保守管理方針の有効性評価

30年目に策定した長期保守管理方針（20件）

①有効性が認められた方針；　15件
②有効ではあったものの、追加的措置が必要とみなされた方針；　5件

	長期保守管理方針（30年目）の例	長期保守管理方針の有効性評価
①	原子炉容器のニッケル基合金（600系ニッケル基合金）の応力腐食割れについては，原子力安全・保安院指示文書「加圧水型軽水炉の一次冷却材圧力バウンダリにおけるNi基合金使用部位に係る検査等について」（平成15年12月12日）又は「加圧水型軽水炉の一次冷却材バウンダリにおけるNi基合金使用部位に係る検査等について」（平成17年6月16日）に基づく超音波探傷検査及びベアメタル検査を実施する。	原子力安全・保安院指示文書の発出前である第18回定期検査時（2001年度）に上蓋管台を690系ニッケル基合金に取り替えるとともに，第19回定期検査（2002年度）以降，安全注入管台，冷却材出入口管及び底部管台の超音波探傷検査，ベアメタル検査並びに予防保全としてのｳｫｰﾀｰｼﾞｪｯﾄﾋﾟｰﾆﾝｸﾞを計画的に実施することにより健全性が確認できていることから，長期保守管理方針は有効であったと考える。
②	低圧ケーブルの絶縁体の絶縁低下については，実機環境確認又は，これらを取り外す場合若しくは機器の取替が行われる場合に調査を実施する。 また，原子力安全・保安院指示文書「原子炉格納容器内の安全機能を有するケーブルの布設環境等の調査実施について」（平成19年10月30日）に基づくCV内環境調査を実施する。	1998年度に実機環境確認を先行実施し，健全性評価（30年目）の妥当性を確認できた。 また，原子力安全・保安院指示文書に基づくCV内ケーブル布設環境の調査結果については，第24回定期検査時に温度メモリ及び線量計を回収し，評価に用いた設計平均温度及び放射線線量率に包絡されていることを確認できた。 しかしながら，事故時雰囲気内で機能要求のある一部のケーブルについては，**製造メーカの調査結果に基づき取り替えることを40年目の長期保守管理方針とした。**

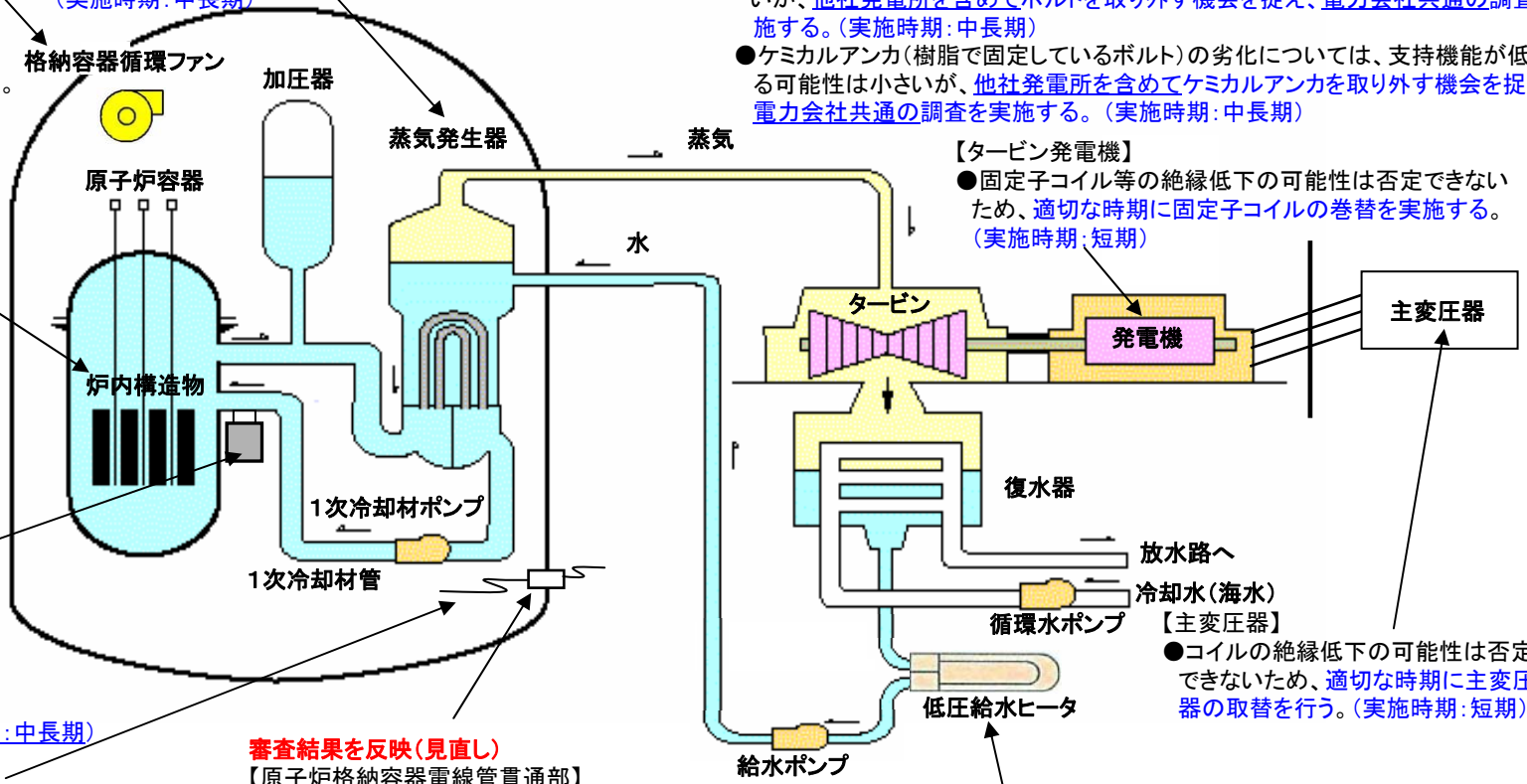
当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

技術評価結果の概要（補正後）

【格納容器循環ファンモータ※】
●固定子コイル等の絶縁低下の可能性は否定できないため、適切な時期にモータの取替を実施する。（実施時期：短期）
※格納容器内の温度を調整するため、格納容器内の空気を循環しているファンのモータ。

【炉内構造物】
●制御棒クラスタ案内管（案内板）※1の摩耗が急激に進展する可能性は小さいが、日本機械学会の維持規格等に基づき、必要な場合には目視検査を計画する。（実施時期：中長期）
●バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れ※2によりバッフル板の健全性に影響を与える可能性は小さいが、日本機械学会の維持規格に基づき、必要な場合には超音波探傷検査を計画する。（実施時期：中長期）
※1　制御棒の挿入をガイドする管。
※2　中性子線照射の影響で化学組成等が変化した材料に、環境要因、応力要因が重なることで発生する応力腐食割れ。

【蒸気発生器】
●伝熱管のスケール付着の可能性は否定できないため、スケール除去が必要な場合には実施計画を策定する。（実施時期：中長期）



審査結果を反映（見直し）　※下線部を追加。
【ポンプ等の基礎ボルト】
●ボルトの大気接触部の全面腐食により支持機能が低下する可能性は小さいが、他社発電所を含めてボルトを取り外す機会を捉え、電力会社共通の調査を実施する。（実施時期：中長期）
●ケミカルアンカ（樹脂で固定しているボルト）の劣化については、支持機能が低下する可能性は小さいが、他社発電所を含めてケミカルアンカを取り外す機会を捉え、電力会社共通の調査を実施する。（実施時期：中長期）

【タービン発電機】
●固定子コイル等の絶縁低下の可能性は否定できないため、適切な時期に固定子コイルの巻替を実施する。（実施時期：短期）

【主変圧器】
●コイルの絶縁低下の可能性は否定できないため、適切な時期に主変圧器の取替を行う。（実施時期：短期）

審査結果を反映（追加）
【原子炉容器支持部】
●原子炉容器支持部のコンクリートは、熱影響による変形が急激に発生する可能性は小さいが、変形を傾向監視する。（実施時期：中長期）

ケーブル布設環境の調査結果を反映（見直し）
【低圧・同軸ケーブル】
●一部のケーブルでは、絶縁体等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否定できないため、事故発生時に使用できることが求められているケーブルについて、製造メーカを特定する調査の結果に基づき、過去の長期健全性試験の対象と異なるメーカのケーブルを取り替える。（実施時期：短期）
※以下参考：補正前の記載概要は下記のとおり。
〇一部のケーブルでは、絶縁体等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否定できないため、事故発生時に使用できることが求められているケーブルについて製造メーカの調査や布設環境の調査等を行い、その結果に基づきケーブルの取替を実施する。（実施時期：短期）

審査結果を反映（見直し）
【原子炉格納容器電線管貫通部】
●ポッティング材（電線管貫通部の内部にある充てん材）及び外部リード（内部の機器との接続用ケーブル）は、長期健全性試験の結果から絶縁機能を維持できると判断するが、長期健全性試験の対象と異なる製造メーカのものについては、実機同等品による再評価を実施する。（実施時期：中長期）
※以下参考：補正前の記載概要は下記のとおり。
〇外部リード（内部の機器との接続用ケーブル）の絶縁低下の可能性は否定できないため、実機の外部リードの再評価または耐環境性向上策（気密化等）が必要な場合には、実施計画を策定する。（実施時期：中長期）

第24回定期検査時の肉厚測定結果を反映（全削除）
※以下参考：全削除した補正前の記載概要は下記のとおり。
【第1／2低圧給水ヒータ（A号機）】
〇胴板の急激な腐食進行の可能性は小さいが、B号機の肉厚測定結果に基づき、減肉進行程度の監視が必要な場合には点検（または取替）を行う。（実施時期：短期）

注1：下線部は国の審査結果等を踏まえて補正した部分を示す。
注2：青字は長期保守管理方針を示す。
注3：実施時期の「短期」は平成22年11月28日から5年間，「中長期」は平成22年11月28日から10年間を示す。

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

高経年化技術評価結果と長期保守管理方針（1／2）

○60年間の運転期間を仮定しても、大部分の機器・構造物は、現在行っている保全活動（分解・点検・手入れ等）を継続していくことで、健全性を維持可能と評価

○一部の機器については、実施すべき項目（点検・検査項目の追加、データの蓄積、知見の拡充、試験の実施等）を長期保守管理方針としてまとめた

＜高経年化対策に基づく長期保守管理方針（1／2）＞

No.	保守管理の項目	実施時期※1
1	蒸気発生器の伝熱管のスケール付着については，伝熱性能の傾向監視結果に基づき，スケール除去の要否を判断し，要の場合には実施計画を策定する。	中長期
2	三重同軸型電気ペネトレーション及び代表機器と製造メーカが異なるピッグテイル型電気ペネトレーションのポッティング材及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を実施する。	中長期
3	炉内構造物の制御棒クラスタ案内管（案内板）の摩耗については，火力原子力発電技術協会「PWR炉内構造物点検評価ガイドライン」及び日本機械学会「発電用原子力設備規格　維持規格　JSME S NA1-2008」に基づき，保全への適用の要否を判断し，要の場合には目視検査の実施計画を策定する。	中長期
4	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，日本機械学会「発電用原子力設備規格　維持規格　JSME S NA1-2008」に基づく超音波探傷検査の実施の要否を判断し，要の場合には実施計画を策定する。	中長期
5	事故時雰囲気内で機能要求のあるKAケーブル，難燃PHケーブル及び難燃三重同軸ケーブルの絶縁体及び内部シースの絶縁低下については，製造メーカの実機調査を行い，その調査結果に基づき，取替を実施する。	短期

※1：実施時期における，短期とは平成22年11月28日からの5年間，中長期とは平成22年11月28日からの10年間をいう。

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

高経年化技術評価結果と長期保守管理方針（2／2）

＜高経年化対策に基づく長期保守管理方針（2／2）＞

No.	保守管理の項目	実施時期※1
6	耐熱コンクリートの強度低下については，定期的に実施しているキャビティシール据付時の隙間計測結果を用いて，耐熱コンクリートの変形を傾向監視する。	中長期
7	格納容器循環ファンモータの固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下については，モータの取替を実施する。	短期
8	スタッドボルト等＊の大気接触部の全面腐食については，美浜1号炉も含め原子力発電所共通として，基礎ボルトを取り外す場合に調査を実施する。 ＊：スタッドボルト テーパボルト及びシールド（メカニカルアンカ） アンカボルト（ケミカルアンカ）	中長期
9	ケミカルアンカの樹脂の劣化については，美浜1号炉も含め原子力発電所共通として，ケミカルアンカを取り外す場合に調査を実施する。	中長期
10	タービン発電機の固定子コイル及び固定子相リードの絶縁低下については，固定子コイルの巻替を実施する。	短期
11	主変圧器のコイルの絶縁低下については，主変圧器の取替を実施する。	短期

※1：実施時期における，短期とは平成22年11月28日からの5年間，中長期とは平成22年11月28日からの10年間をいう。

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

技術開発課題について

高経年化技術評価書

6．3　技術開発課題

高経年化対策のための技術情報基盤の整備のための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の場において，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，毎年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を実施していく。

高経年化対応における文書体系が成熟

高経年化対策実施ガイドライン

日本原子力学会標準；2008年度版

技術開発課題の取扱い

産官学が連携して戦略的，効果的に実施する安全研究の一部として，計画・実施されるものである。

高経年化対応戦略マップ

安全基盤研究

- ◆ケーブル劣化
  国プロのデータから、**環境条件を設定**すれば評価が可能
- ◆IASCC
  国プロのデータから、**応力履歴解析**ができれば評価が可能
- ◆照射脆化
  国プロデータから、民間規格評価式の見直し要否を検討

技術情報基盤

- ◆専門的知識の獲得技術の適用化研究

美浜発電所　保安規定第120条

保全の有効性評価

以下の評価方法を活用して評価する

- ・点検および取替結果の評価
- ・劣化トレンドによる評価
- ・類似機器等のベンチマークによる評価
- **・研究成果等による評価**

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

まとめ

◆一部の機器については、現状の保全に加えて実施すべき保全項目を抽出し、11件の長期保守管理方針を策定

◆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はない

◆低サイクル疲労に係る10年毎の再評価については、社内標準に基づき策定する実施計画書にて規定

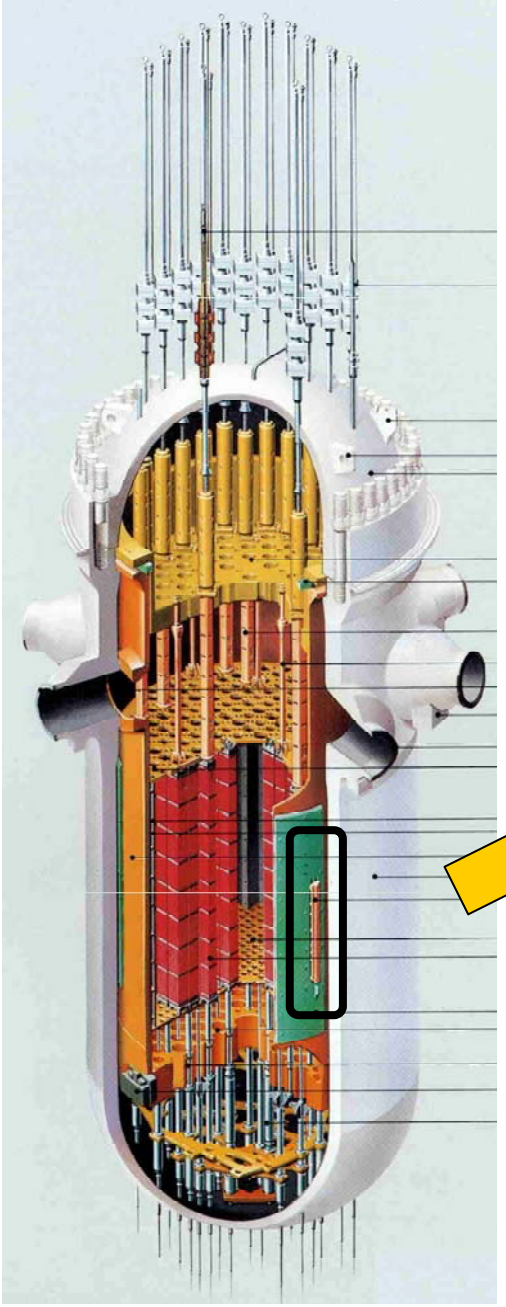
◆技術開発については、高経年化対応技術戦略マップのローリングの中で整合を図りつつ実施していく

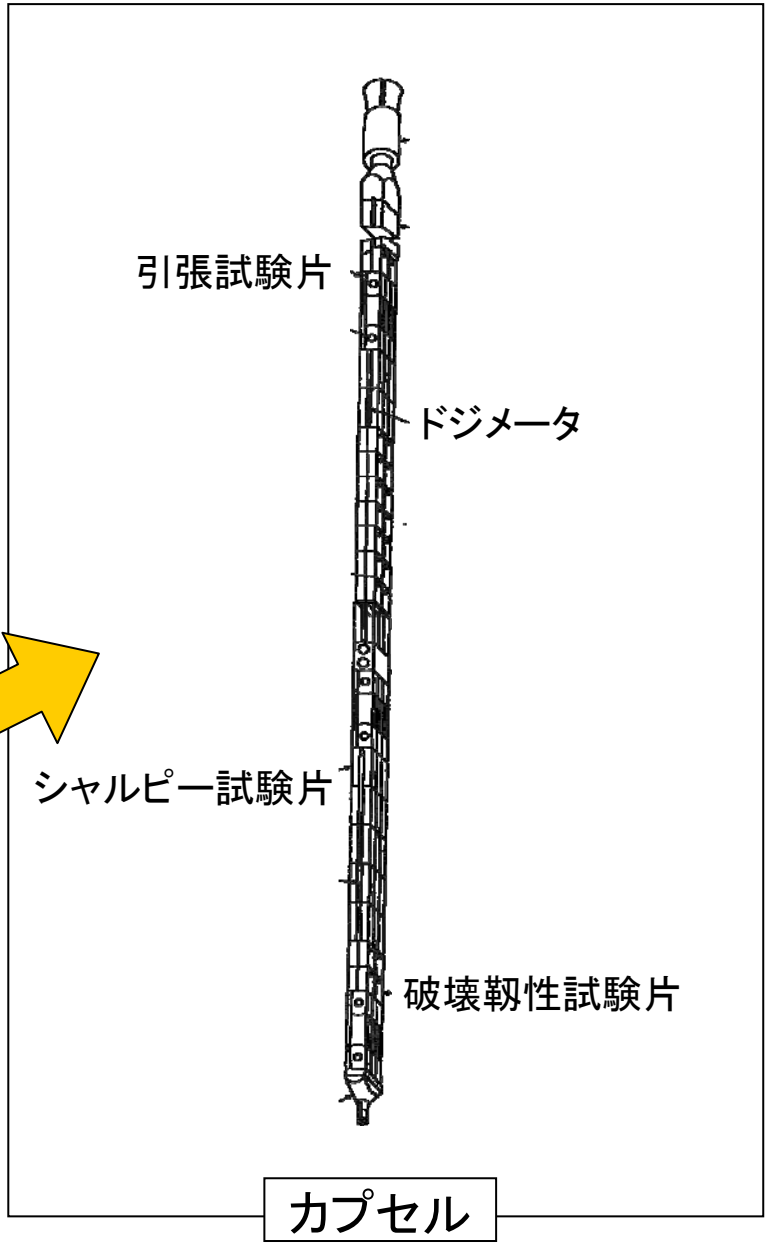
当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

補足説明図

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

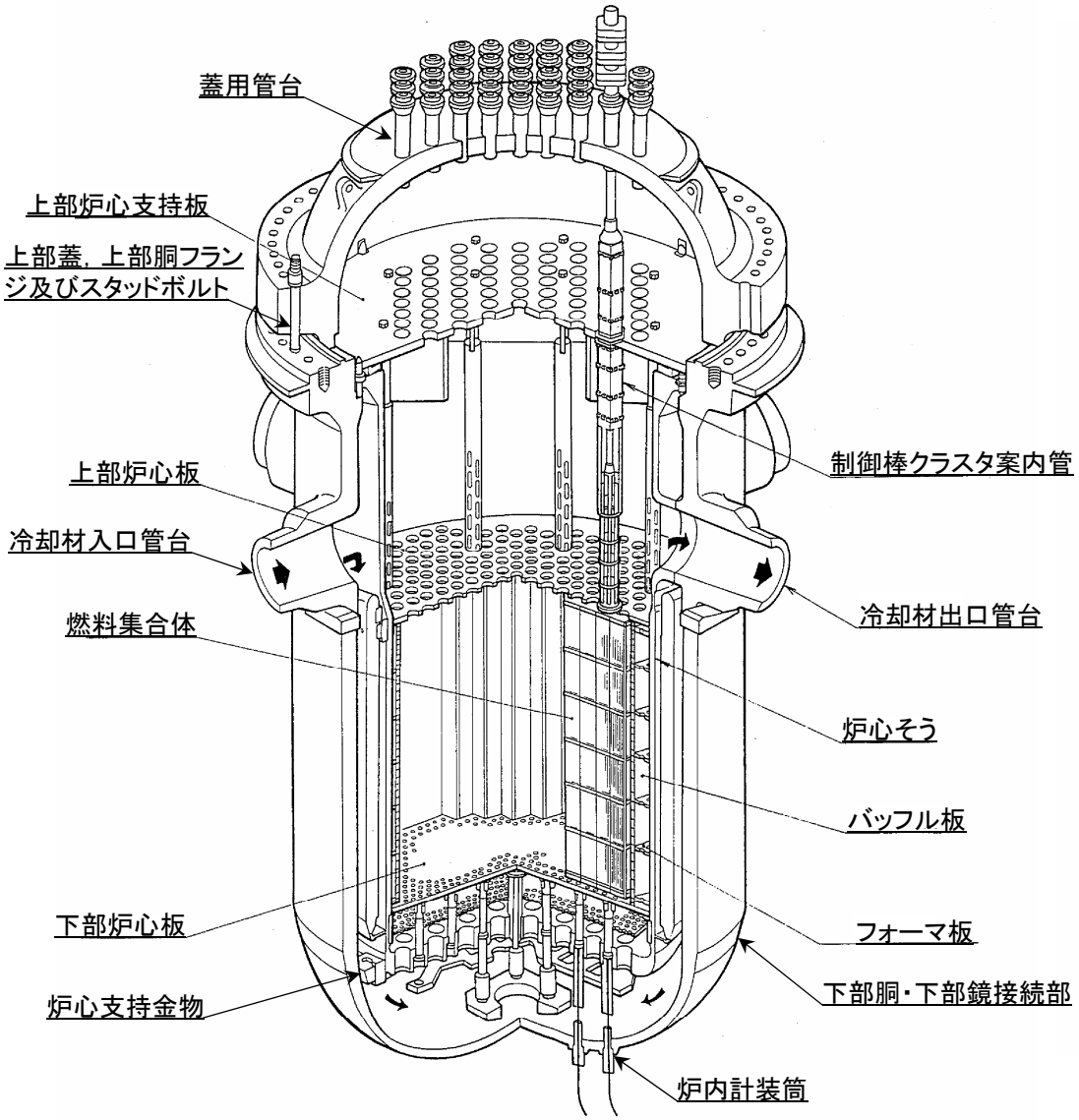
監視試験片の装荷位置

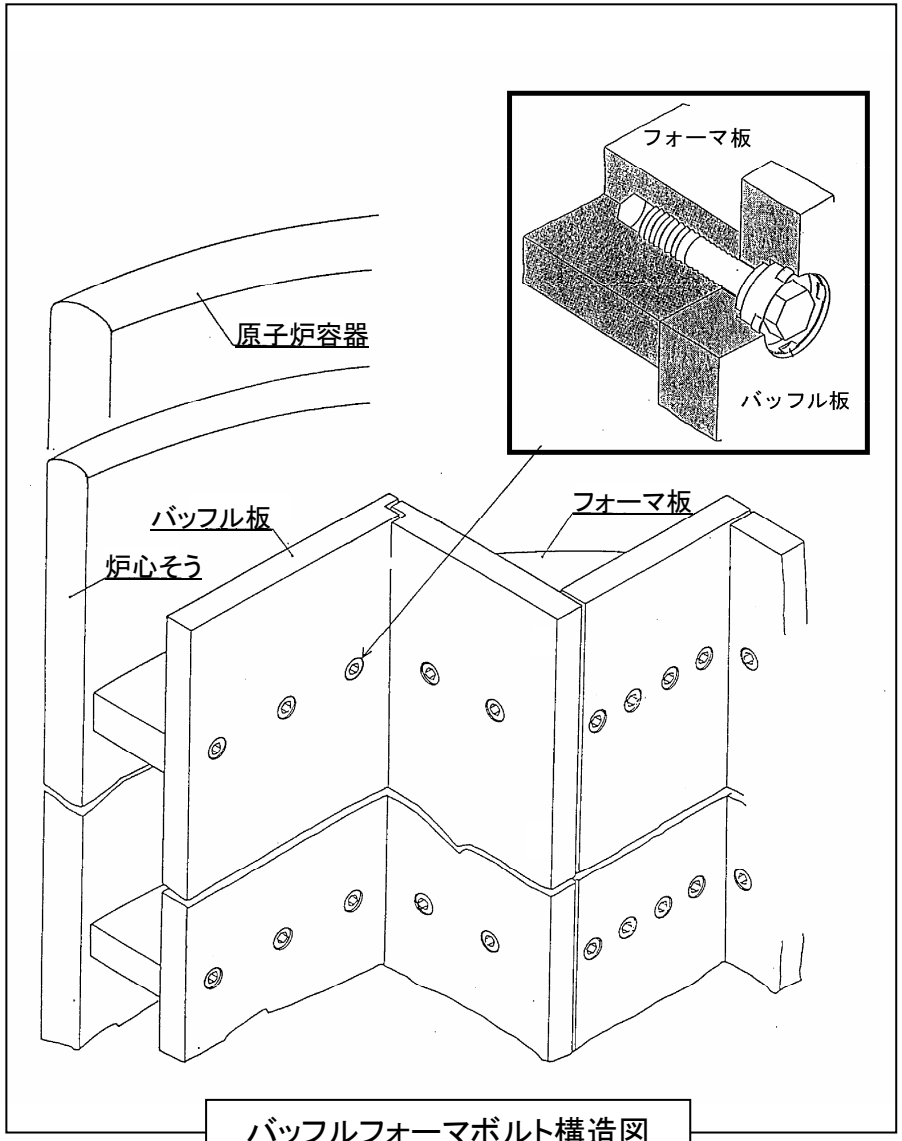




当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

原子炉容器の内部構造図

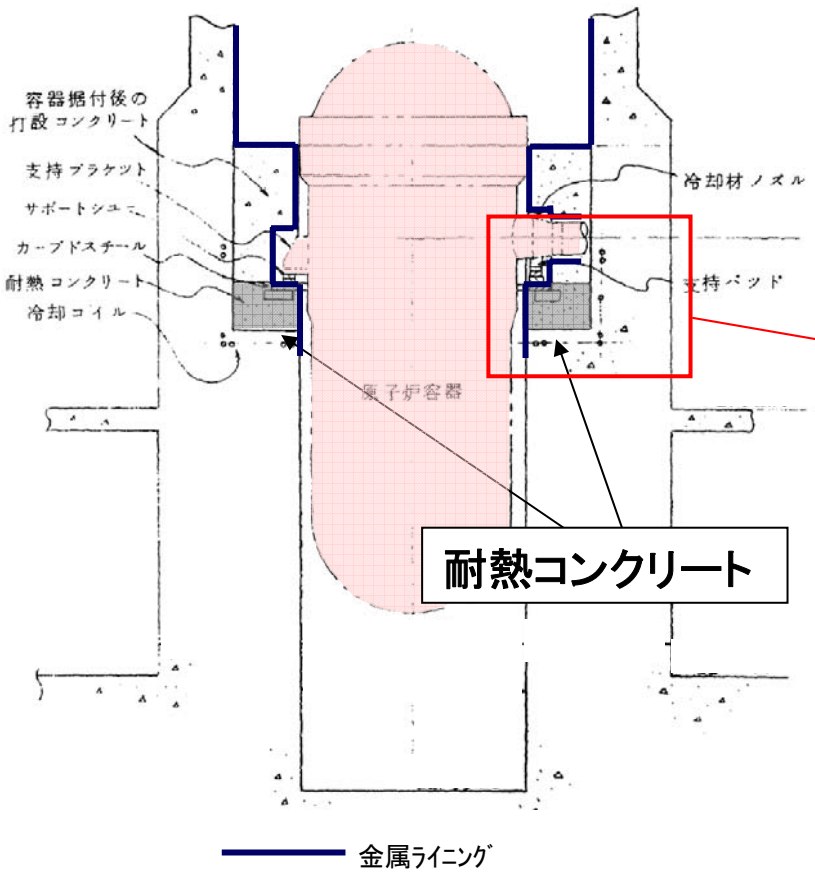




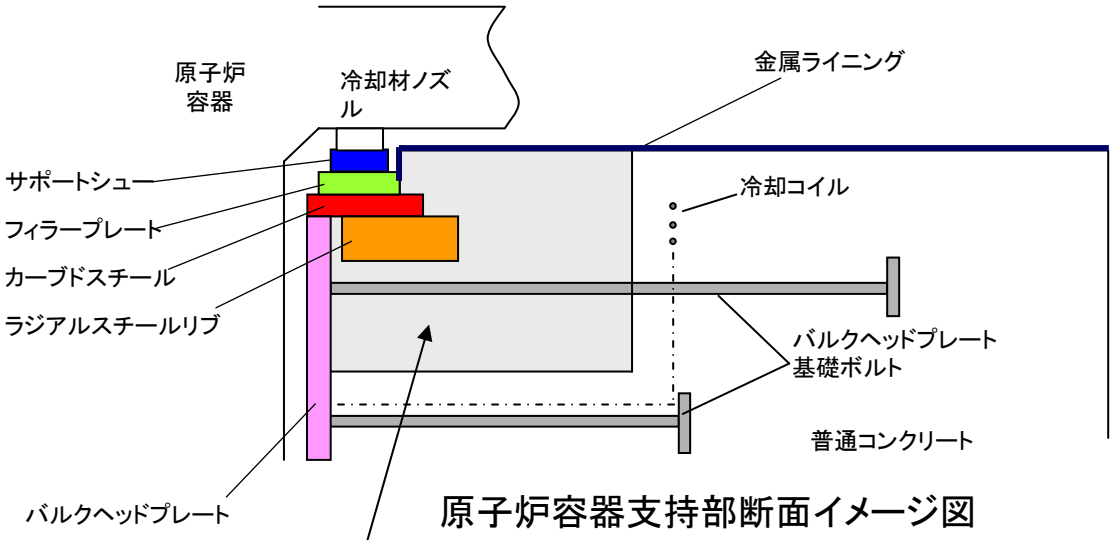
バッフルフォーマボルト構造図

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社

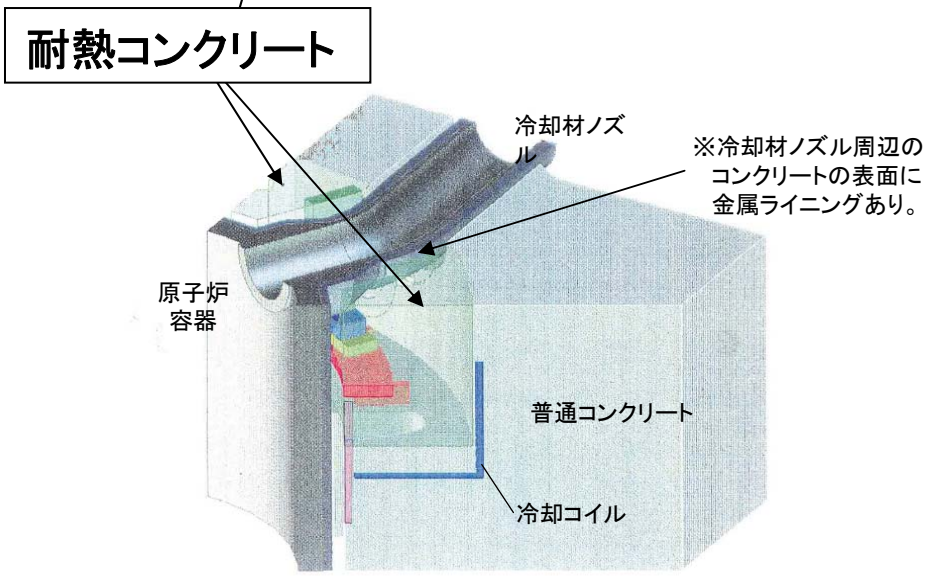
原子炉容器支持部の耐熱コンクリート



原子炉容器周辺イメージ図



原子炉容器支持部断面イメージ図



原子炉容器支持部3次元イメージ図

当社又は他社等の秘密情報を含むため、複製、目的外使用並びに第三者に開示不可　関西電力株式会社