

# 川内原子力発電所2号炉 高経年化技術評価(30年目)の概要

平成27年6月15日  
九州電力株式会社

## 目次

川内原子力発電所2号炉の概要と保全実績	2
川内原子力発電所2号炉の高経年化技術評価	8
主な経年劣化事象の評価結果	20
技術評価結果の概要	33

# 川内原子力発電所2号炉の概要と保全実績

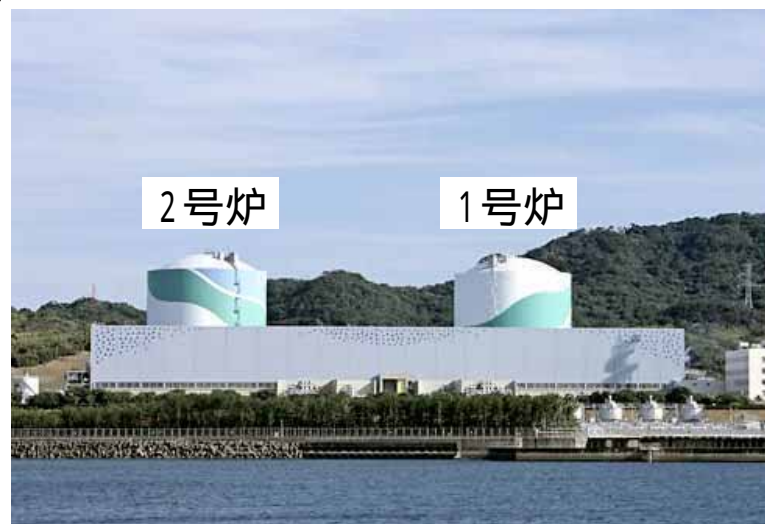
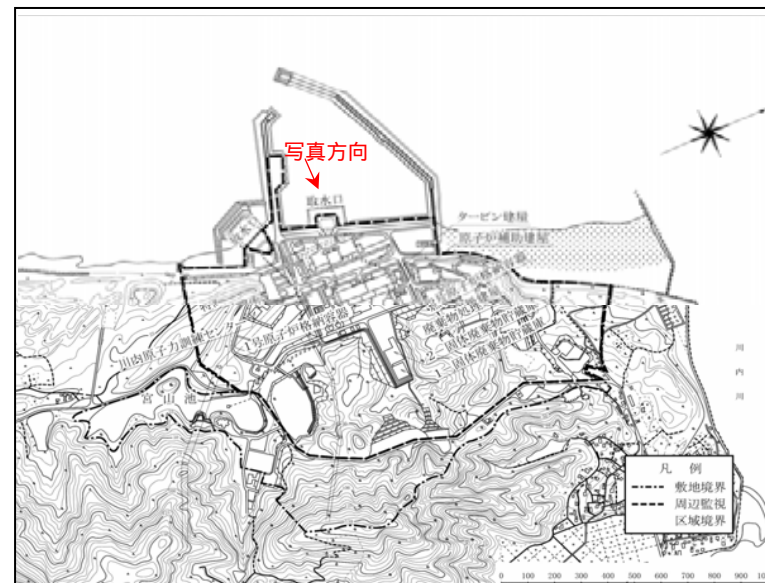
# 川内原子力発電所2号炉の概要

## 2号炉の主要仕様

- ・電気出力 約890MW
- ・原子炉型式 加圧水型軽水炉
- ・原子炉熱出力 約2,660MW
- ・燃料 低濃縮ウラン(燃料集合体157体)
- ・減速材 軽水
- ・タービン 串型4車室6分流排気再熱再生式

## 2号炉の主な経緯

- ・原子炉設置許可日 昭和55年12月
- ・建設工事開始 昭和56年 5月
- ・営業運転開始 昭和60年11月

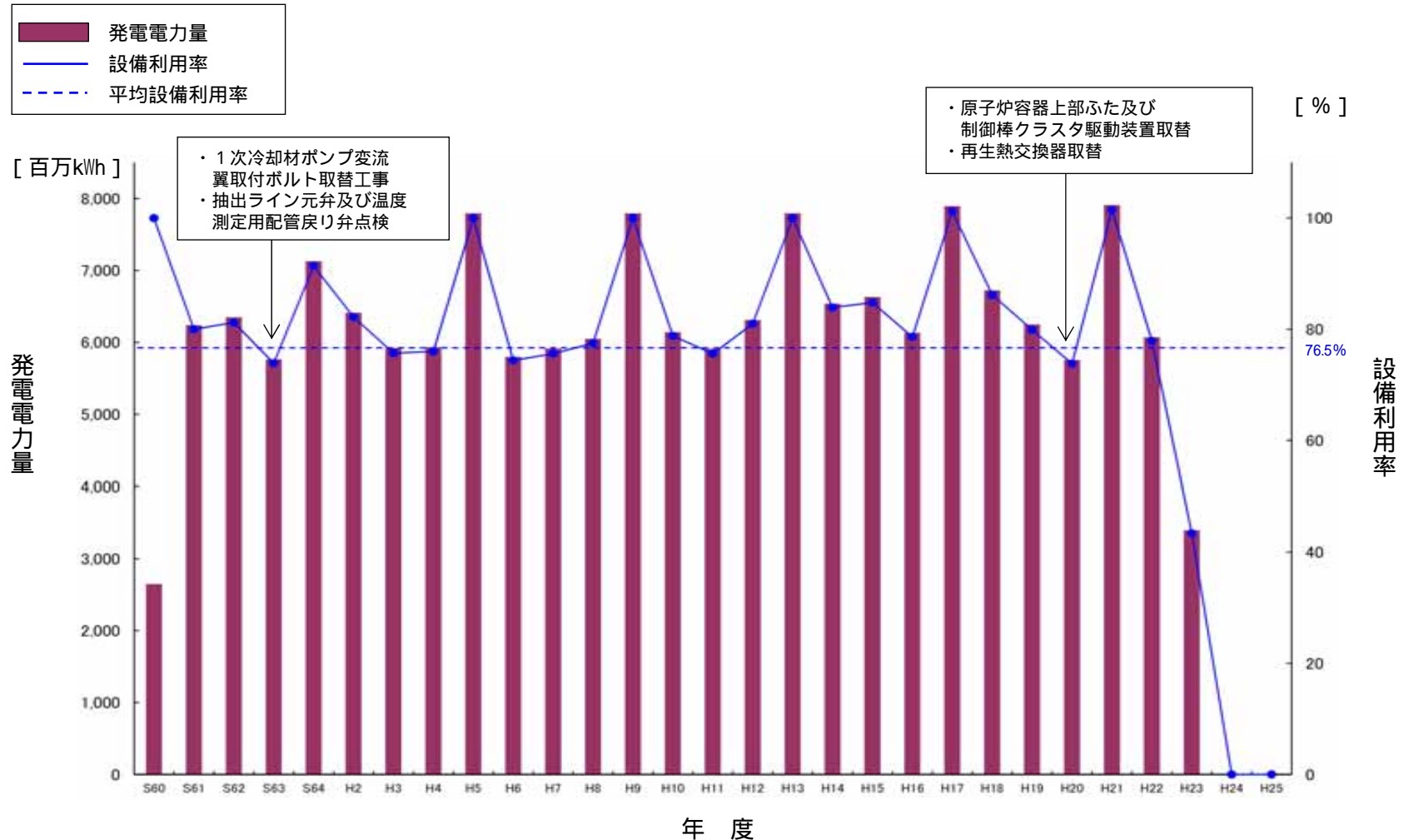


川内原子力発電所1・2号炉の全景

# 川内原子力発電所2号炉運転状況の推移

## 発電電力量・設備利用率の年度推移

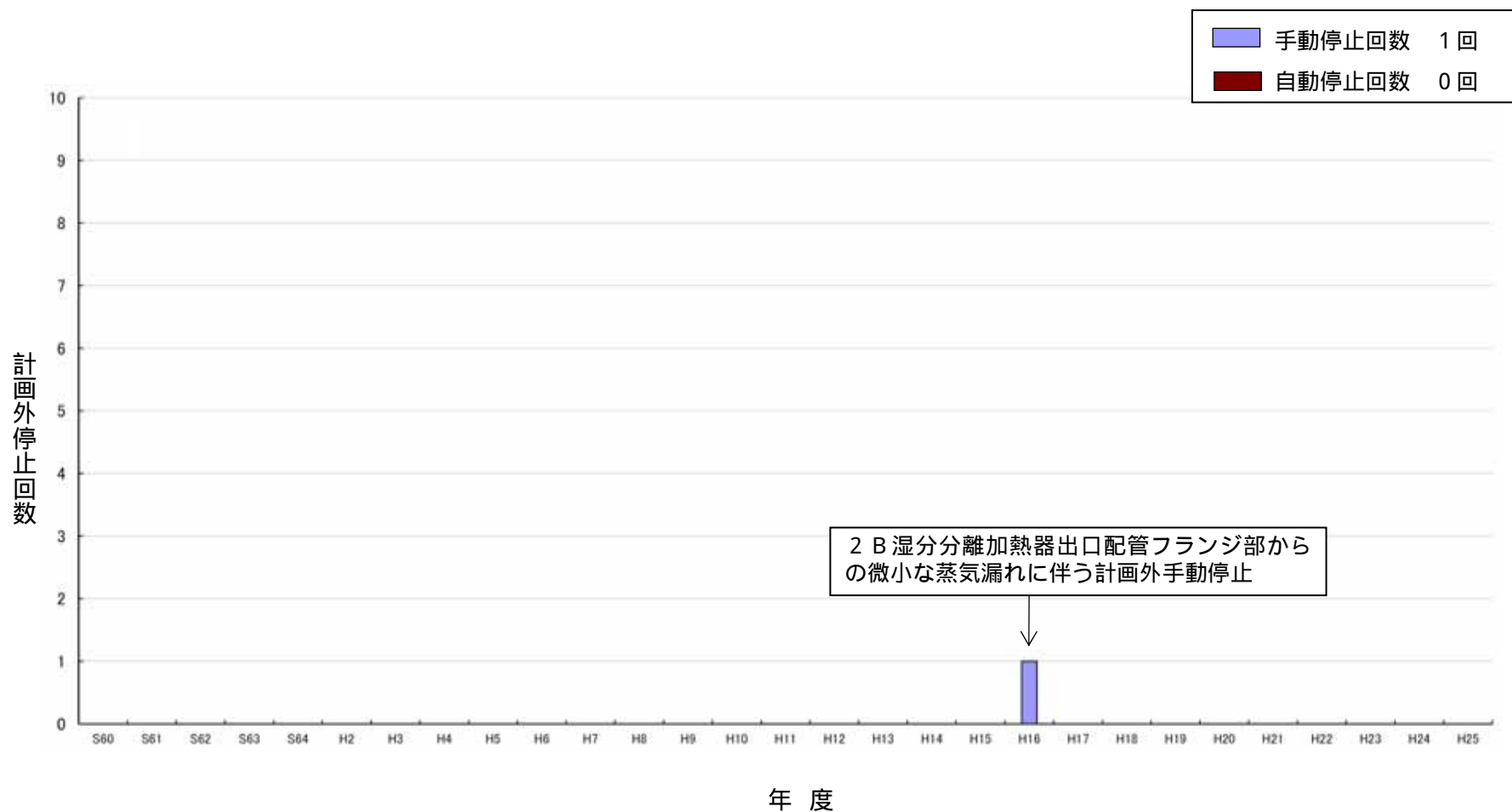
過去約30年を遡った時点までの発電電力量・設備利用率の推移を見ると、供用期間の長期化に伴い、発電電力量・設備利用率が低下する明確な傾向は認められない。



# 川内原子力発電所2号炉運転状況の推移

## 計画外停止回数の年度推移

過去約30年を遡った時点までの計画外停止（手動停止及び自動停止）回数の推移を見ると、供用期間の長期化に伴い、計画外停止回数が増加する明確な傾向は認められない。



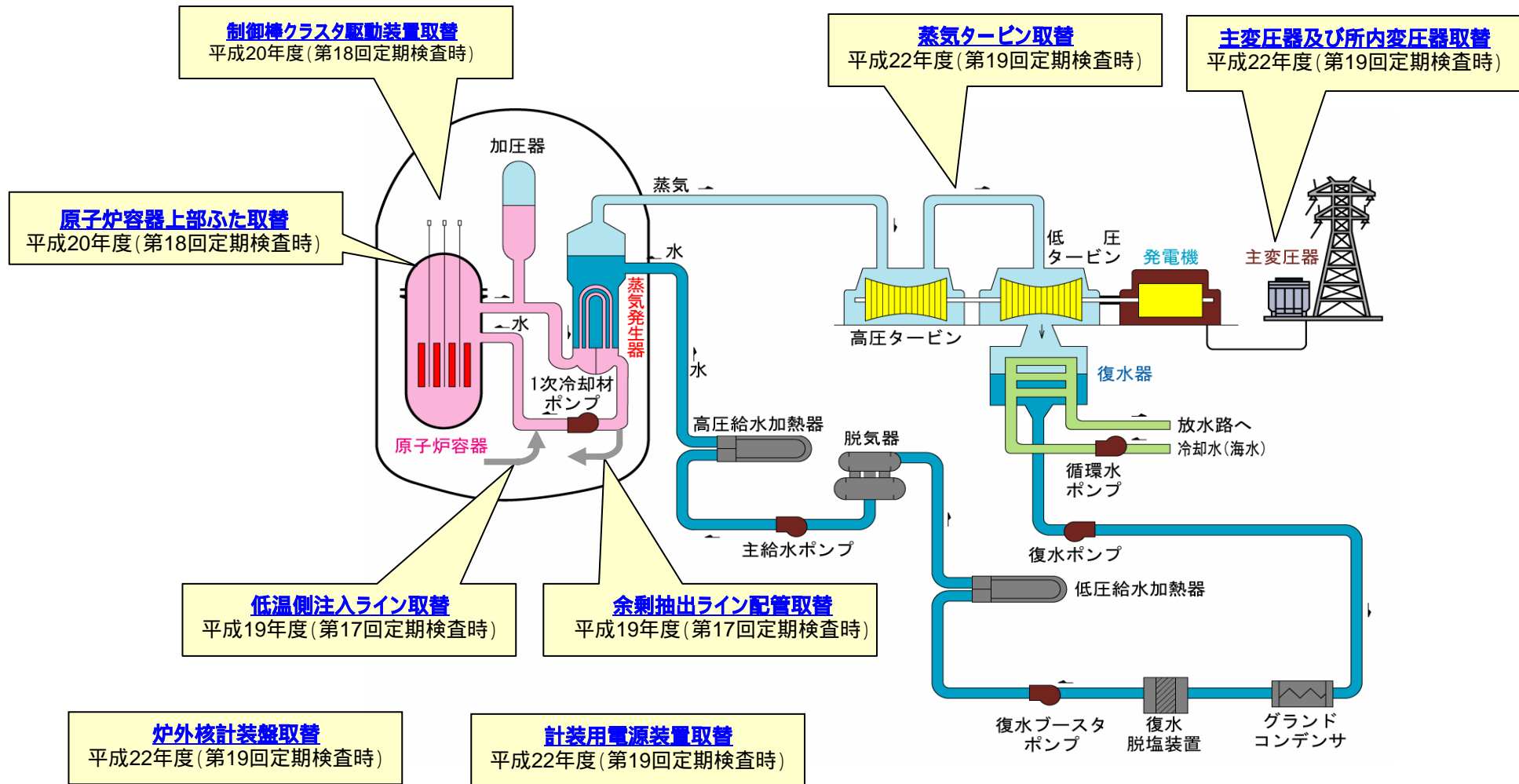
# 運転開始以降に実施した主な改善

## 主要機器更新状況・改善の状況

以下に運転開始後からの主要機器更新状況・改善の状況を示す

工事名	時期	内容
余剰抽出ライン配管取替	平成19年度 (第17回定期検査時)	玄海2号炉で発生した余剰抽出ラインのキャビティーフロー型熱成層による損傷事例に鑑み、配管ルートを変更した。
低温側注入ライン取替	平成19年度 (第17回定期検査時)	低温側注入ラインの配管及び弁の取り替えを実施し、合わせて熱成層の発生位置が配管の曲がり部に位置しないように配管ルートを変更した。
原子炉容器上部ふた及び制御棒クラスタ駆動装置取替	平成20年度 (第18回定期検査時)	海外における原子炉容器上部ふた管台部の応力腐食割れによる損傷事象に鑑み、予防保全の観点から、原子炉容器上部ふた及び付属品である制御棒クラスタ駆動装置等を取り替えた。これに合わせ、管台材料をより耐食性に優れたものに変更した。
蒸気タービン取替	平成22年度 (第19回定期検査時)	翼取付部の応力腐食割れに対する予防保全の観点から低圧タービンを取り替えた。また、低圧タービンの取り替えに合わせて高圧タービンも取り替えた。
主変圧器及び所内変圧器取替	平成22年度 (第19回定期検査時)	主変圧器の絶縁低下の予防保全の観点から、所内変圧器と一体型として取り替えた。
炉外核計装盤取替	平成22年度 (第19回定期検査時)	信頼性、保守性の向上の観点から、炉外核計装盤を取り替えた。
計装用電源装置取替	平成22年度 (第19回定期検査時)	信頼性、保守性の向上等の観点から、計装用電源装置を取り替えた。

# 運転開始以降に実施した主要設備更新状況

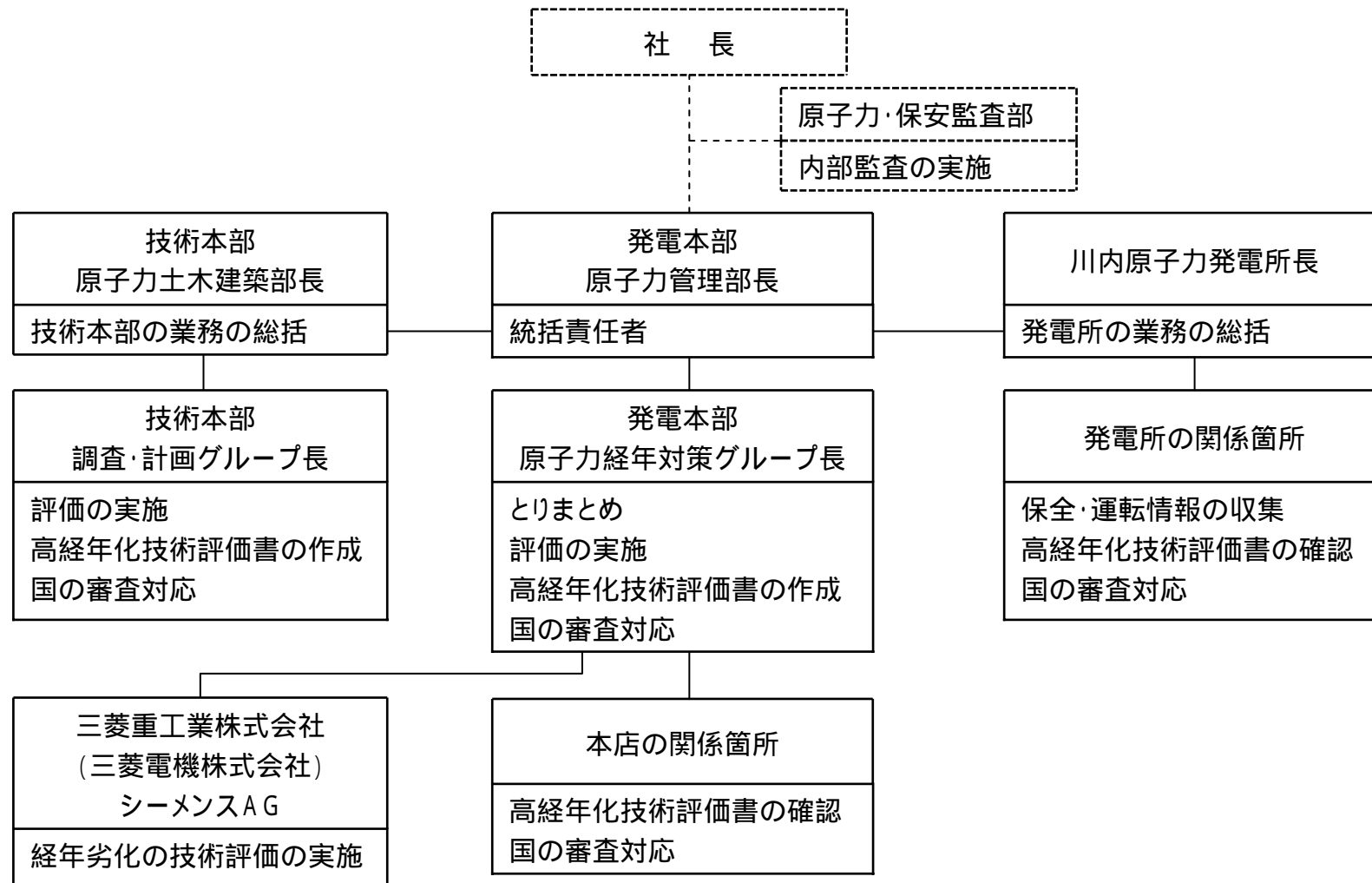




# 川内原子力発電所2号炉の高経年化技術評価

# 高経年化技術評価及び長期保守管理方針の策定にあたる体制

- ・ 発電本部原子力管理部長を統括責任者として、発電本部、技術本部、川内原子力発電所の組織で評価の実施に係る役割を設定
- ・ 内部監査は独立した組織である原子力・保安監査部で実施
- ・ 高経年化技術評価にあたっては、評価者の力量を設定し管理を実施





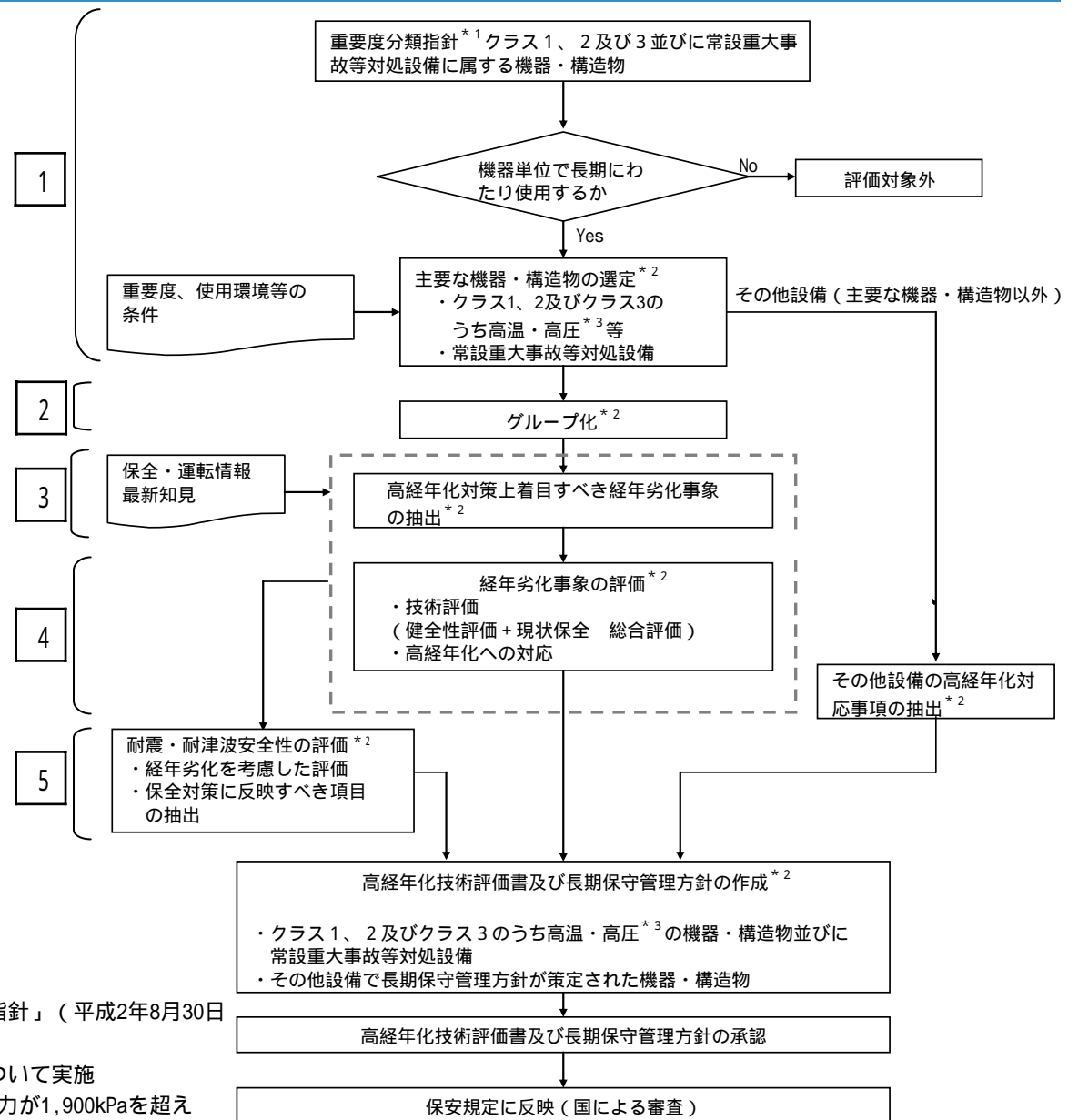
# 高経年化技術評価の実施手順(1 / 8)

## 評価の方法

評価のフローは社内マニュアル「原子炉施設の経年劣化に関する技術的な評価実施基準」で明確にして実施  
各ステップの実施内容は「高経年化技術評価の実施手順(次々頁以降)」に記載  
右図に技術評価フローを示す

評価は、以下の流れで実施しており、次頁以降で説明

- 1 技術評価対象機器の抽出
- 2 機器のグループ化及び代表機器の選定
- 3 劣化事象の抽出
- 4 経年劣化事象に対する技術評価
- 5 耐震・耐津波安全性評価



\* 1 : 「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

\* 2 : 断続的運転評価及び冷温停止状態維持評価(次頁参照)の各々について実施

\* 3 : 重要度クラス3のうち、最高使用温度が95 を超え又は最高使用圧力が1,900kPaを超える環境下にある機器(原子炉格納容器外に限る)

技術評価フロー

# 高経年化技術評価の実施手順(2 / 8)

## 1 技術評価対象機器の抽出

対象機器は、川内2号炉の安全上重要な機器等（「実用炉規則 第八十二条第1項」で定める機器・構造物）

「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）」におけるクラス1、2及び3の機能を有する機器・構造物並びに常設重大事故等対処設備に属する機器・構造物とし、系統図等を基に抽出

対象機器については、運転を断続的に行うことを前提とした評価（以下、「断続的運転評価」という。）及び冷温停止状態が維持されることを前提とした評価（以下、「冷温停止状態維持評価」という。）の各々について抽出

供用に伴う消耗が予め想定され、設計時に取り替えを前提とする部品又は機器分解点検時等に伴い必然的に取り替えている部品は、消耗品として対象から除外  
また、設計時に耐用期間内に計画的に取り替えることを前提とする部品であり、取替周期が発電所の作業管理要領等により定められているものは定期取替品として対象から除外

# 高経年化技術評価の実施手順(3 / 8)

## 2 機器のグループ化及び代表機器の選定

評価にあたっては、ポンプ、熱交換器、ポンプ用電動機、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及び鉄骨構造物、計測制御設備、空調設備、機械設備、電源設備に分類し評価

評価対象機器は合理的にとりまとめるため、構造（型式）、使用環境、材質等により、日本原子力学会標準「原子力発電所の高経年化対策実施基準」の「経年劣化メカニズムまとめ表<sup>注)</sup>」を参考に、対象機器をグループ化し、代表機器を選定

グループ化及び代表機器の選定は、断続的運転評価及び冷温停止状態維持評価の各々について実施

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合せを整理した表であることから、「経年劣化メカニズムまとめ表」を活用することで、これまでに確認されている使用材料及び環境に応じ発生しているか又は発生が否定できない経年劣化事象を抜け落ちなく抽出することができる。

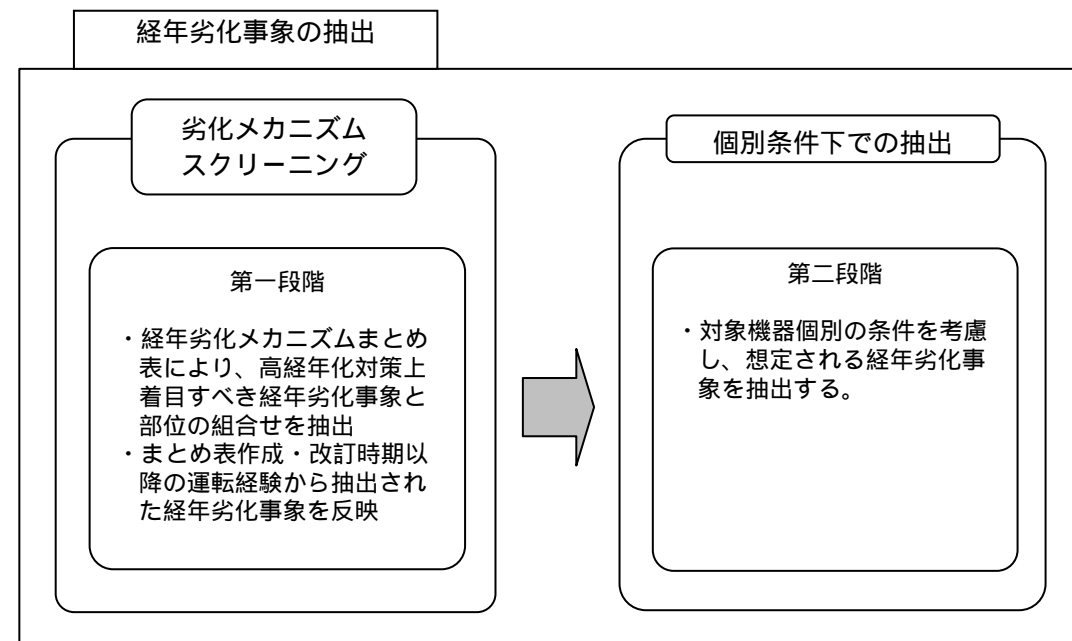
# 高経年化技術評価の実施手順(4 / 8)

## 3 経年劣化事象の抽出

高経年化技術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（構造（型式）、使用環境、材質等）を考慮し、日本原子力学会標準「原子力発電所の高経年化対策実施基準」に基づき、「経年劣化メカニズムまとめ表」を参考にして経年劣化事象と部位の組合せを抽出

抽出された経年劣化事象と部位の組合せのうち、以下のいずれか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

- a . 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
- b . 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象
- c . 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、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、運転開始後30年を経過する日以降において経年劣化の進展が考えられない経年劣化事象



経年劣化事象の抽出フロー

# 高経年化技術評価の実施手順(5 / 8)

## 4 経年劣化事象に対する技術評価

選定された評価対象機器について、「3. 経年劣化事象の抽出」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合せに対する技術評価を以下に示す手順で実施

### (1) 健全性評価

機器ごとに抽出した部位・経年劣化事象の組合せごとに、評価期間として運転を開始した日から60年間の期間について、傾向管理データによる評価及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

### (2) 現状保全

評価対象部位に対して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

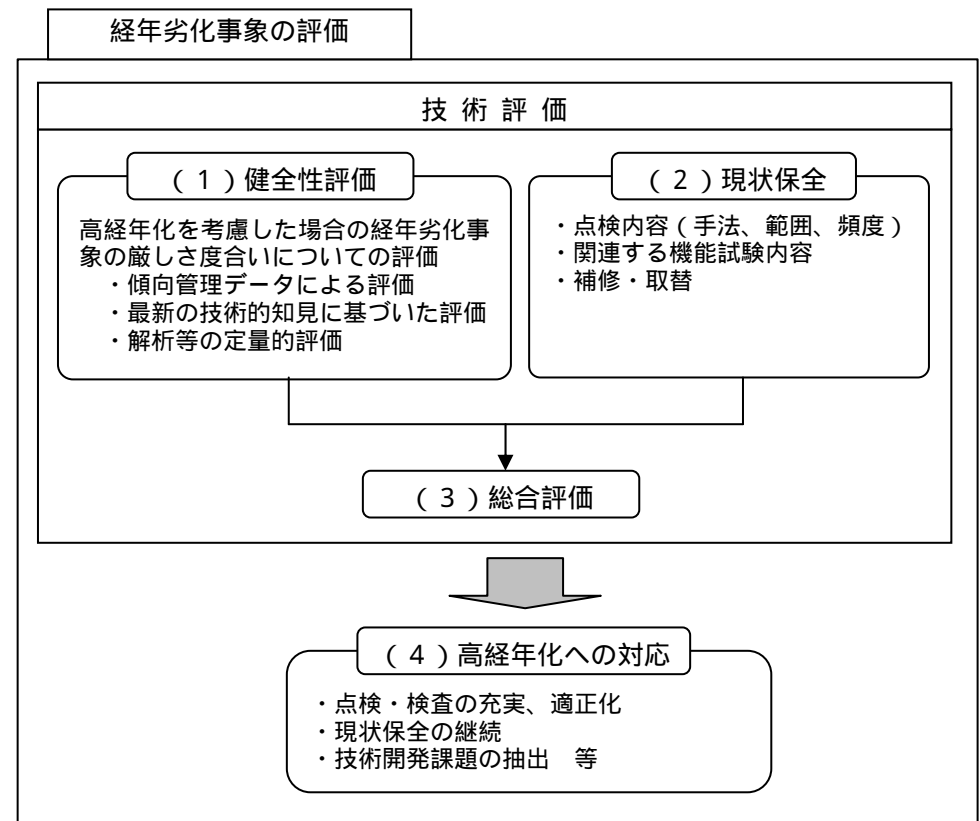
### (3) 総合評価

「(1) 健全性評価」、「(2) 現状保全」を合わせて、現状保全の内容の妥当性等を評価  
具体的には、健全性評価結果と整合の取れた点検等が、発電所における保全活動で実施されているか、当該の経年劣化事象の検知が可能か等を評価

### (4) 高経年化への対応

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

なお、評価は「断続的運転評価」及び「冷温停止状態維持評価」の各々について実施



技術評価フロー



# 高経年化技術評価の実施手順(6 / 8)

## 5 - 1 耐震安全性評価

### 評価対象機器

- ・ 「技術評価対象機器」と同じ

### 経年劣化事象の抽出

- ・ 「技術評価」における評価結果を取り入れ、経年劣化事象を以下のとおり整理し、b . の事象についてのみ耐震安全性評価を実施
  - a . 現在発生しておらず、今後も発生の可能性がないもの又は小さいもの
  - b . 現在発生しているか、又は将来にわたって起こることが否定できないもの
- ・ ここで、整理されたb . の経年劣化事象について、これらの事象が顕在化した場合、機器の振動応答特性又は構造・強度上、影響が「有意」であるか「軽微もしくは無視」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実施

### 耐震安全性評価

- ・ 上記「経年劣化事象の抽出」で抽出した経年劣化事象ごとに、耐震安全性評価を実施
- ・ 評価の基本となる項目は、大別すると以下のとおり分類
- ・ 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
  - a . 機器の耐震クラス
  - b . 機器に作用する地震力の算定
  - c . 想定される経年劣化事象のモデル化
  - d . 振動特性解析（地震応答解析）
  - e . 地震荷重と内圧等他の荷重との組合せ
  - f . 許容限界との比較

### 保全対策へ反映すべき項目の抽出

- ・ 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事象について検討

# 高経年化技術評価の実施手順(7 / 8)

## 5 - 2 耐津波安全性評価

### 評価対象機器

- ・ 浸水防護施設に属する施設のうち、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

### 経年劣化事象の抽出

- ・ 「技術評価」における評価結果を取り入れ、経年劣化事象を以下のとおり整理し、b . の事象についてのみ耐津波安全性評価を実施
  - a . 現在発生しておらず、今後も発生の可能性がないもの又は小さいもの
  - b . 現在発生しているか、又は将来にわたって起こることが否定できないもの
- ・ ここで、整理されたb . の経年劣化事象について、これらの事象が顕在化した場合、施設の強度及び止水性上、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、耐津波安全性上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出を実施

### 耐津波安全性評価

- ・ 上記「経年劣化事象の抽出」で抽出した経年劣化事象ごとに、耐津波安全性評価を実施

### 保全対策へ反映すべき項目の抽出

- ・ 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事象について検討

# 高経年化技術評価の実施手順(8/8)

## 6 冷温停止状態維持評価

### 対象設備の抽出

右図に対象設備の抽出フローを示す

### 評価方法

「断続的運転評価」の評価対象機器に対して、冷温停止状態維持に必要な設備の選定を行うと共に、断続的運転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維持における劣化の発生・進展に関する整理を行い、その結果を基に冷温停止状態維持評価を実施

### 具体的な実施手順

#### (1) 代表機器の選定

各機器の分類基準に基づきグループ化し、使用条件等を考慮し代表機器を選定

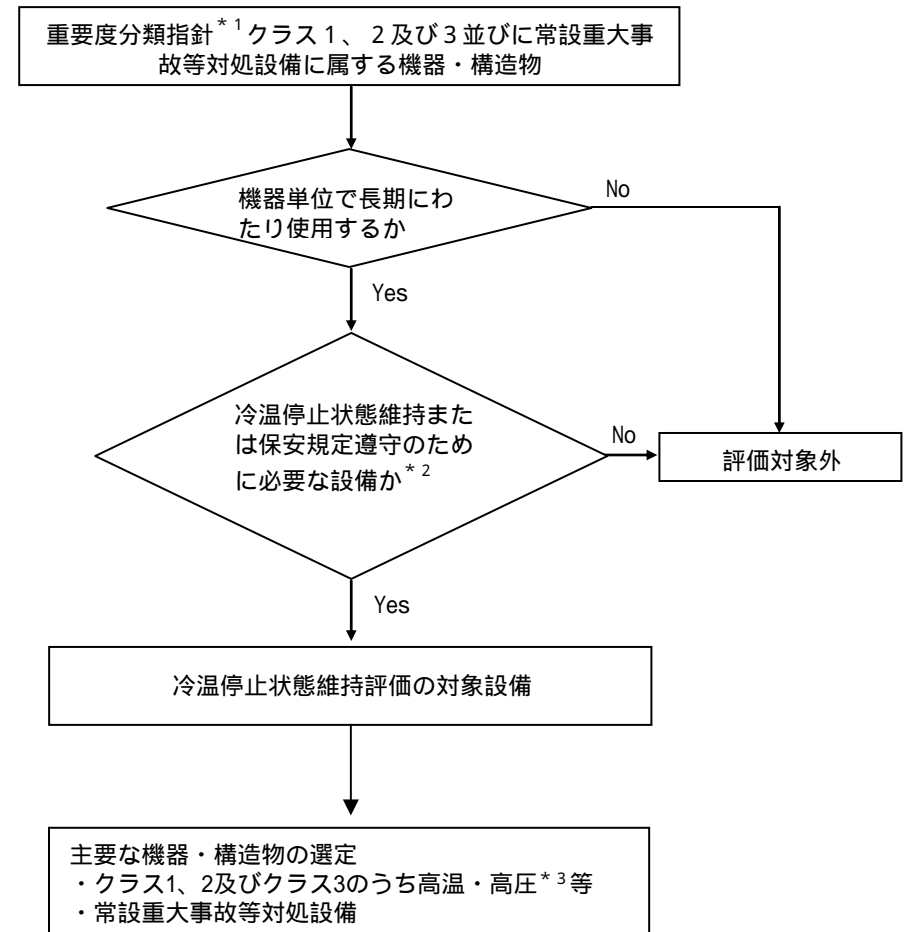
#### (2) 冷温停止状態維持評価

- ・断続的運転評価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維持における劣化の発生・進展に関する整理を実施し、冷温停止状態維持において発生・進展が断続的運転評価より厳しくなることが想定される経年劣化事象を抽出
- ・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、冷温停止状態を踏まえた評価を実施
- ・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

\*：断続的運転評価における着目すべき経年劣化事象以外の事象が冷温停止状態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合わせて抽出する。

#### (3) 代表機器以外への展開

- ・代表機器以外の機器に対し、冷温停止状態維持において、発生・進展が断続的運転評価より厳しくなることが想定される経年劣化事象を抽出
- ・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、冷温停止状態を踏まえた評価を実施
- ・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



- \* 1：「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
- \* 2：保安規定において「運転モード5、6及び照射済燃料の移動に対して要求される設備」並びに「運転モードによらず要求される設備」
- \* 3：重要度クラス3のうち、最高使用温度が95℃を超え又は最高使用圧力が1,900kPaを超える環境下にある機器（原子炉格納容器外に限る）

### 冷温停止状態維持評価の対象設備抽出フロー

# 高経年化技術評価の実施手順(最新知見の反映)

## 国内外の新たな運転経験及び最新知見の反映

川内2号炉の高経年化技術評価を実施するにあたり、当社至近に認可を受けた先行プラントである玄海原子力発電所2号炉の高経年化技術評価書を参考にするとともに、それ以降平成21年4月～平成25年7月までの国内外の運転経験及び最新知見を確認し、高経年化への影響を判断して反映を実施

### (国内の運転経験)

(社)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

### (国外の運転経験)

NRC(米国原子力規制委員会:Nuclear Regulatory Commission)のうち

- ・ Bulletin
- ・ Generic Letter
- ・ Information Notice

### (指示文書他)

- ・ 原子力規制委員会からの指示文書等
- ・ 国の定める技術基準、(社)日本機械学会、(社)日本電気協会及び(社)日本原子力学会等の規格・基準類 他

## 主な経年劣化事象の評価結果

低サイクル疲労割れ

原子炉容器の中性子照射脆化

照射誘起型応力腐食割れ

熱時効

絶縁特性低下

コンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下

その他劣化事象(蒸気発生器伝熱管の応力腐食割れ)

耐震安全性評価

耐津波安全性評価

# 低サイクル疲労割れ

評価対象機器：原子炉容器、蒸気発生器、1次冷却材ポンプ 等

【評価例】：原子炉容器

## 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年時点での疲労累積係数を評価し(環境疲労評価含)、許容値に対し余裕のある評価結果を得た。

## 現状保全

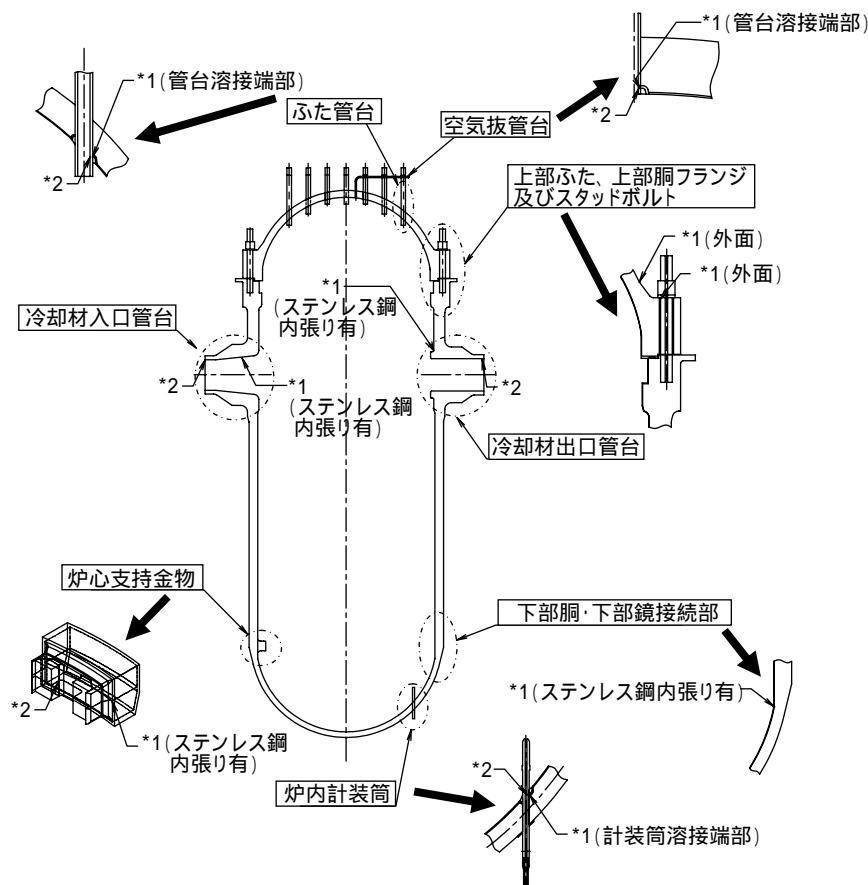
定期的に超音波探傷検査等を実施し、有意な欠陥のないことを確認しているとともに、定期検査時に漏れい試験を行い、耐圧部の健全性を確認している。

## 総合評価

評価結果から疲労割れ発生の可能性はないと考える。ただし、今後実過渡回数を把握し評価する必要がある。また、超音波探傷検査等で疲労割れは検知可能であり、点検手法として適切である。

## 高経年化への対応

現状保全項目に加えて、高経年化対策の観点から、今後実過渡回数に基づく評価を定期的実施していく。  
(長期保守管理方針)

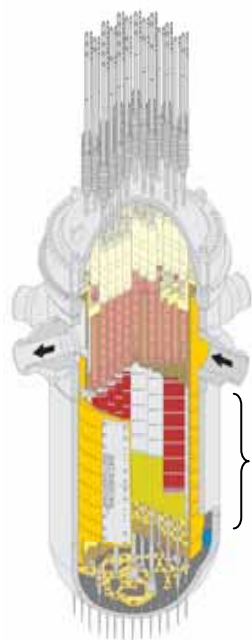


評価対象部位	疲労累積係数(許容値:1以下)	
	設計・建設規格 による解析 1	環境疲労評価手法 による解析 2
入口管台	0.037	0.001
出口管台	0.045	0.001
ふた管台	0.105	0.001
空気抜管台	0.012	0.001
炉内計装筒	0.134	0.004
上部ふた、上部胴フランジ	0.007	非接液部
下部胴・フランジ・下部鏡接続部	0.004	非接液部
炉心支持金物	0.005	0.001
スタッドボルト	0.221	非接液部

# 原子炉容器の中性子照射脆化(その1)

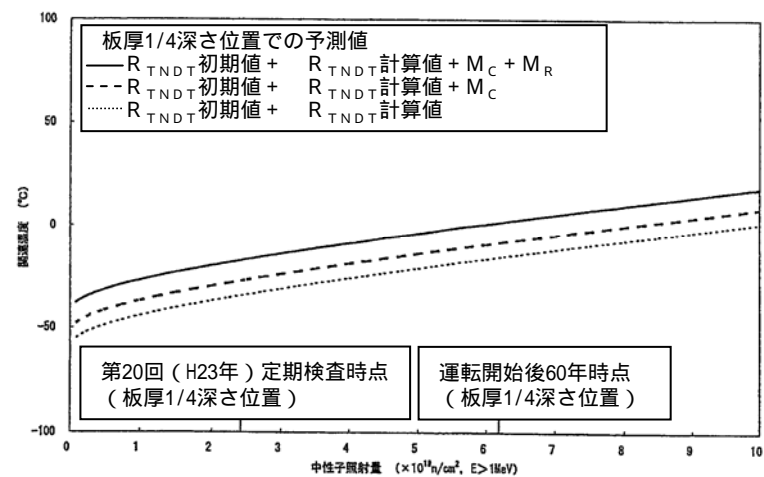
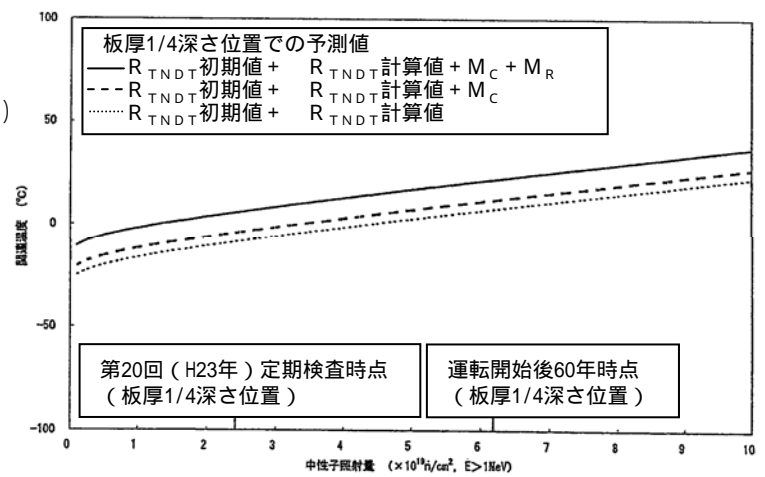
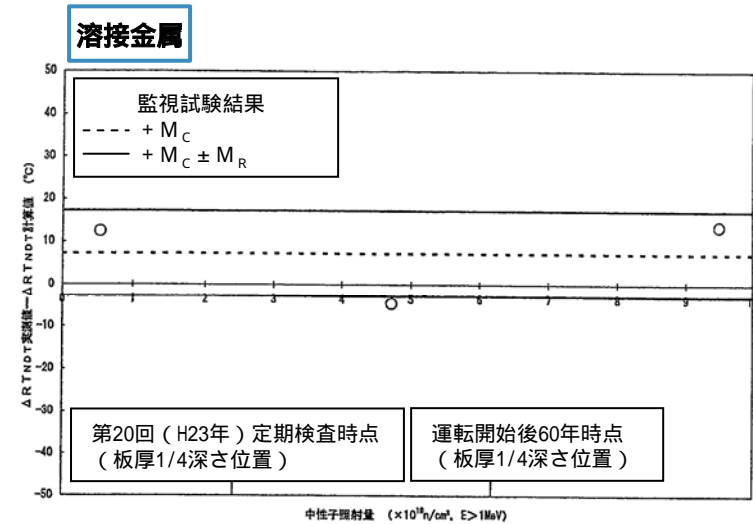
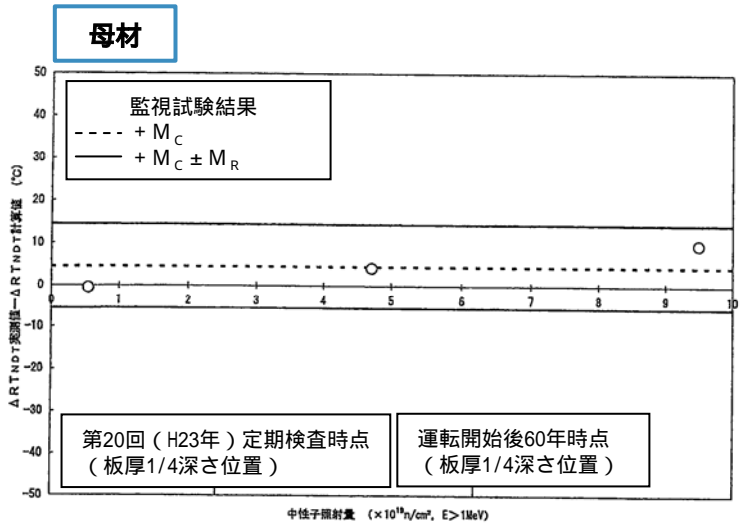
## 健全性評価

監視試験結果より、評価上厳しい箇所である原子炉容器下部胴の中性子照射脆化は国内脆化予測式(JEAC4201-2007 / 2010追補版)にマージンを見込んだ値を逸脱しておらず、特異な脆化は認められないことを確認した。



原子炉容器

原子炉容器  
下部胴  
(炉心領域部)



( $M_C$  : 実測値で補正する場合に用いるマージン、 $M_R$  : マージン)

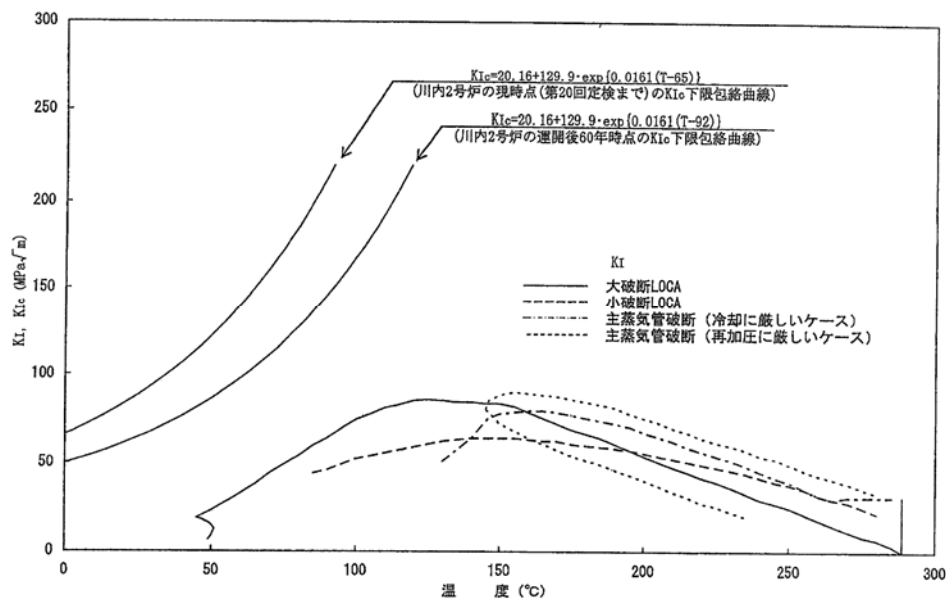
中性子照射脆化に対する関連温度の国内脆化予測式による予測と監視試験結果



# 原子炉容器の中性子照射脆化(その2)

## 健全性評価(続き)

材料の持つ粘り強さを示す $K_{IC}$ 曲線は、加圧熱衝撃事象の応力拡大係数 $K_I$ を上回ることから、脆性破壊は起こらないことを確認した。



上部棚吸収エネルギー低下に対する評価を実施し、JEAC4206で要求している68J以上あることを確認した。

(単位:J)

	方向	初期値	第20回(H23)定期検査時点 <sup>*1</sup>	運転開始後60年時点 <sup>*1</sup>
母材	L方向 <sup>*2</sup>	222	198	193
	T方向 <sup>*3</sup>	229	207	201
溶接金属	溶接線に直角方向	247	199	190

\*1 板厚tの1/4t深さでの予測値 \*2 圧延方向(参考値) \*3 圧延方向に対して直角方向

## 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  
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

中性子照射脆化が原子炉容器の健全性に影響を与えることはない。また、現状保全の内容も適切である。

## 高経年化への対応

現状保全項目に加えて、高経年化対策の観点から、関連温度上昇に対する精度向上が図られた脆化予測式に基づく評価を実施していく。  
(長期保守管理方針)

# 照射誘起型応力腐食割れ

評価対象機器：炉内構造物（炉心バツフル、炉心そう、バツフルフォーマボルト 等）

【評価例】：バツフルフォーマボルト

## 健全性評価

最も実機条件(応力レベル等)が厳しいバツフルフォーマボルトについて、最新知見を用いた損傷予測を行った結果、運転開始60年時点でバツフルフォーマボルトに照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性は低いことを確認した。

## 現状保全

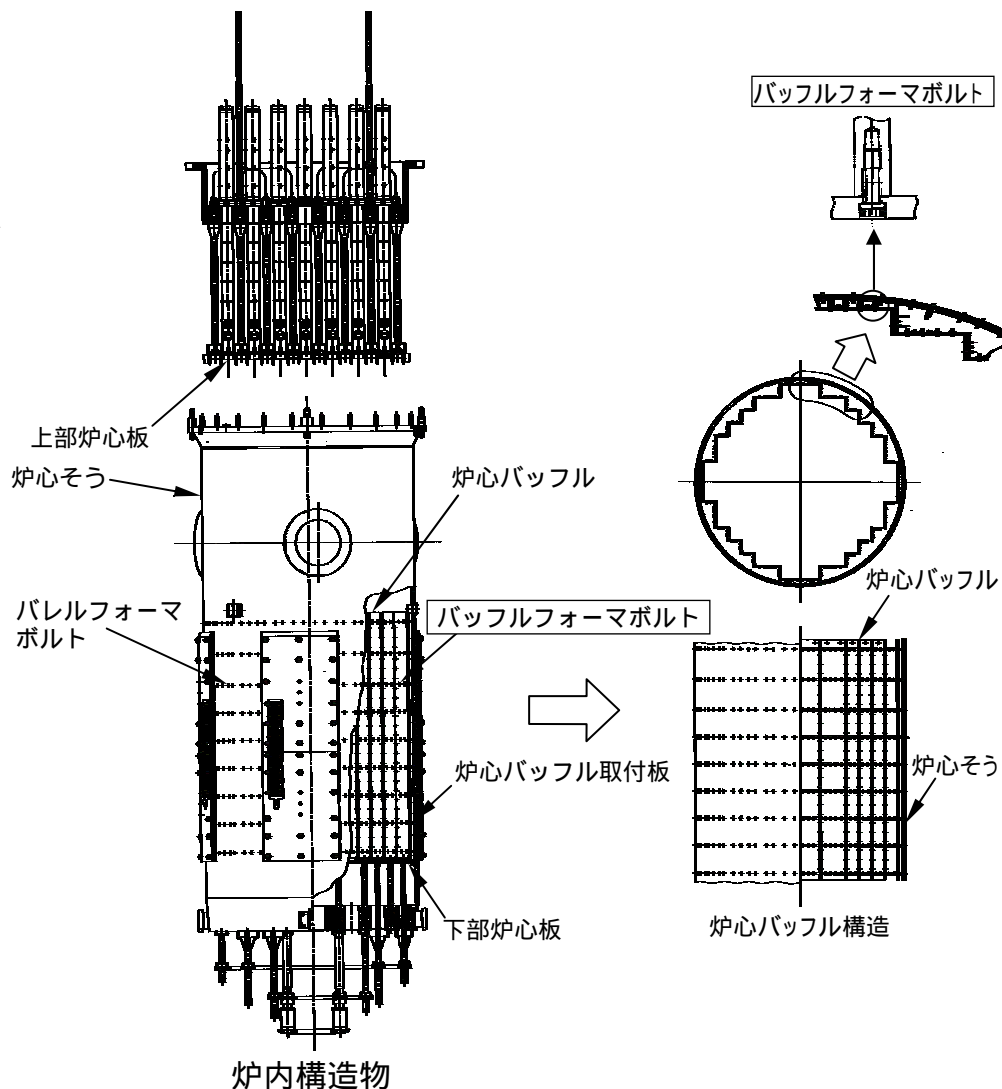
定期的に可能な範囲について、水中カメラによる目視確認を全数実施し、有意な欠陥がないことを確認している。

## 総合評価

損傷発生予測の結果、運転開始後60年時点までに損傷が発生する可能性は小さい。さらに、万一、一部のボルトが損傷しても損傷ボルト本数の増加は緩やかであり、炉心の健全性は確保可能である。

## 高経年化への対応

現状保全項目に、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。



# 熱時効

評価対象機器：1次冷却材管、  
1次冷却材ポンプケーシング等

【評価例】：1次冷却材管

## 健全性評価

評価用想定き裂に運転開始後60年時点までの疲労き裂進展を考慮しても、破壊力(Japp)と破壊抵抗値(Jmat)の交点において、Jmatの傾きがJappの傾きを上回っていることから、配管は不安定破壊することはない、母管及び管台の熱時効は、健全性評価上問題ない。

## 現状保全

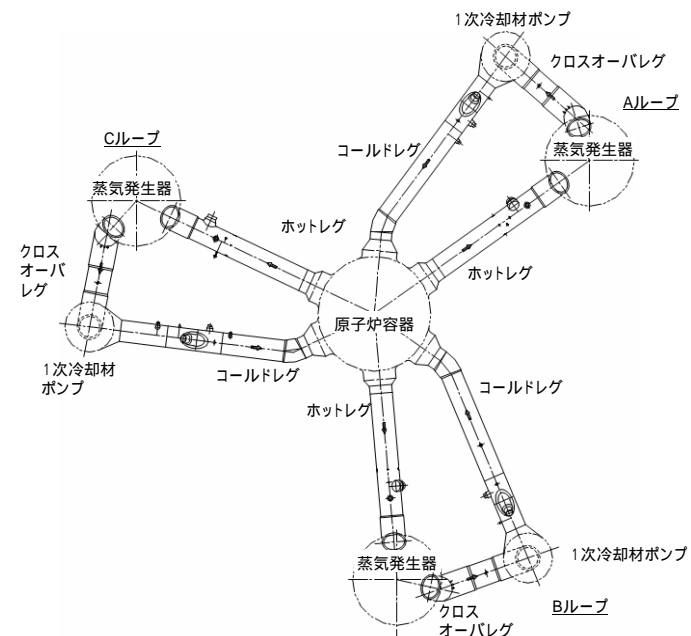
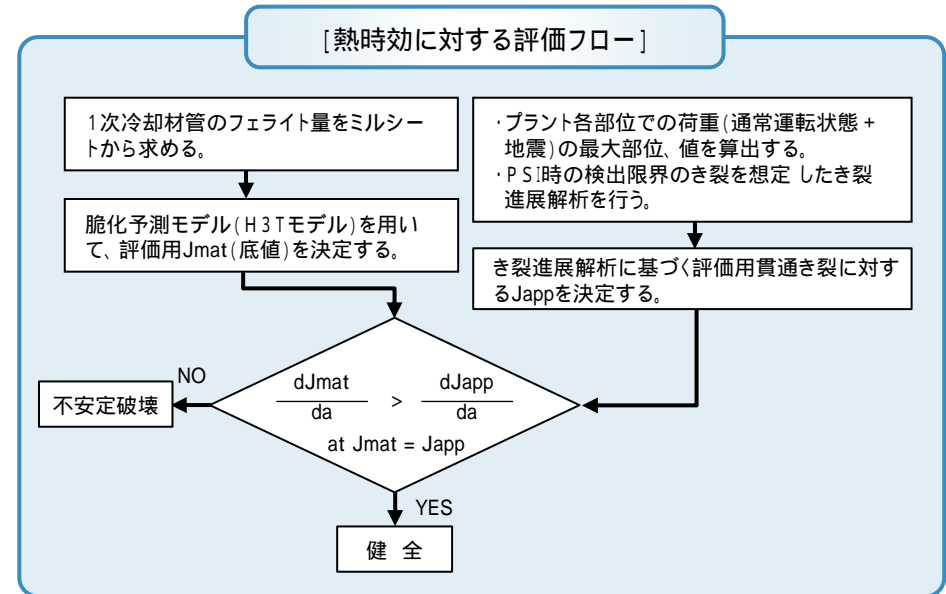
定期的に溶接部の超音波探傷検査を実施し、評価で想定したき裂のないことを確認している。

## 総合評価

現時点の知見においては、高経年化上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、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

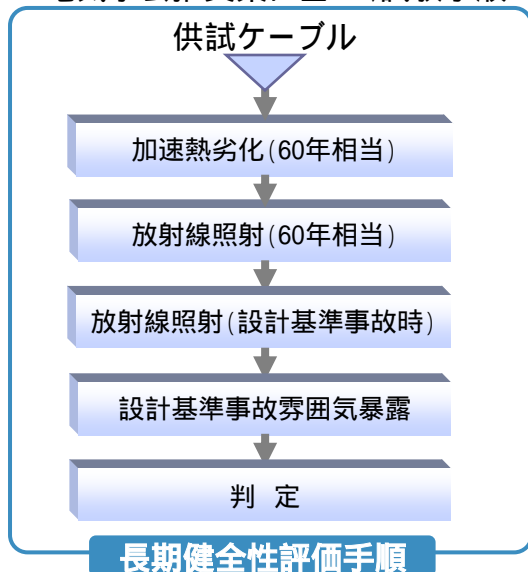


# 絶縁特性低下

評価対象機器：ポンプモータ、電気ペネトレーション、ケーブル、ファンモータ 等

【評価例】：低圧ケーブル(難燃PHケーブルの長期健全性評価)

電気学会推奨案に基づく試験手順



試験条件と川内2号炉の実機環境に基づき想定した劣化条件の比較

		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又は設計基準事故時の環境条件
通常運転相当	温度	140 - 9日	124 <sup>*1</sup> - 9日 (= 65 <sup>*1</sup> - 60年)
	放射線(集積線量)	500kGy (7.3kGy/h)	164kGy <sup>*2</sup>
設計想定事故相当	放射線(集積線量)	1,500kGy (7.3kGy/h)	602kGy
	温度	最高温度: 190	最高温度: 約 127
	圧力	最高圧力: 0.41MPa[gauge]	最高圧力: 約 0.245MPa[gauge]

\*1: 原子炉格納容器内でのケーブル布設エリアの温度(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。

\*2:  $0.31[\text{Gy/h}] \times (24 \times 365.25)[\text{h/y}] \times 60[\text{y}] = 164\text{kGy}$

試験条件は、川内2号炉の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。

## 健全性評価

電気学会推奨案に基づく長期健全性評価の結果、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

定期的に絶縁抵抗測定、系統機器の動作確認または計器の指示値確認等を行い異常のないことを確認している。

## 総合評価

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、絶縁抵抗測定、系統機器の動作確認または計器の指示値確認等で検知可能であり、点検手法として適切である。

## 高経年化への対応

現状保全項目に加えて、高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

事故時雰囲気内で機能要求のある電気・計装設備は、60年間の通常運転環境内での経年劣化と事故時雰囲気内での環境を模擬した長期健全性試験にて健全性評価を行っている。

# コンクリートの強度低下及び遮蔽能力の低下

## 健全性評価

60年の供用を想定して、熱、放射線照射、中性化、塩分浸透等の評価

### 1. コンクリートの強度低下

熱	温度分布解析の結果、最高温度は約64 であり、温度制限値(局部90 、一般部分65 )以下である。
放射線照射	中性子照射 運転開始後60年時点の中性子照射量は、放射線照射量解析の結果、照射量が最大となる一次遮蔽壁炉心側コンクリートにおいて約 $4.6 \times 10^{19}n/cm^2$ であり、有意な強度低下がみられないとされる $1 \times 10^{20}n/cm^2$ 以下である。
	ガンマ線照射 運転開始後60年時点のガンマ線照射量は、放射線照射量解析の結果、照射量が最大となる一次遮蔽壁炉心側コンクリートにおいて約 $2.3 \times 10^{10}rad$ となり、有意な強度低下がみられないとされる $2.0 \times 10^{10}rad$ を超えるが、その範囲は深さ方向に最大で6cm程度であり、最小壁厚279cmに比べて小さいことから、構造強度上問題とならない。
中性化	運転開始後60年時点の中性化深さは、鉄筋が腐食し始めるときの中性化深さを下回っている。
塩分浸透	運転開始後60年時点の塩分による鉄筋の腐食減量は、かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の腐食減量を下回っている。
機械振動	大きな振動を受けるタービン架台等の機器支持部表面にこれまで有意なひび割れ等の異常は確認されていない。機械振動により受ける応力は表面部の方が内部より大きくなるためコンクリートにひび割れが発生する場合は表面から発生する可能性が高い。従って、定期的なコンクリート表面の目視点検等により60年間の健全性を維持できる。

### 2. コンクリートの遮蔽能力低下

熱	温度分布解析の結果、最高温度は約64 であり、温度制限値(中性子遮蔽88 、ガンマ線遮蔽:177 )以下である。
---	--

## 現状保全

- ・定期的にコンクリート表面の目視点検を実施
- ・必要に応じ塗装の塗替え等の補修を実施
- ・破壊試験や非破壊試験を実施

## 総合評価

- ・現状保全の継続により健全性の維持は可能

## 高経年化への対応

- ・現状保全を継続し、高経年化対策の観点から追加すべき項目なし

# その他劣化事象事象 ( 蒸気発生器伝熱管の応力腐食割れ )

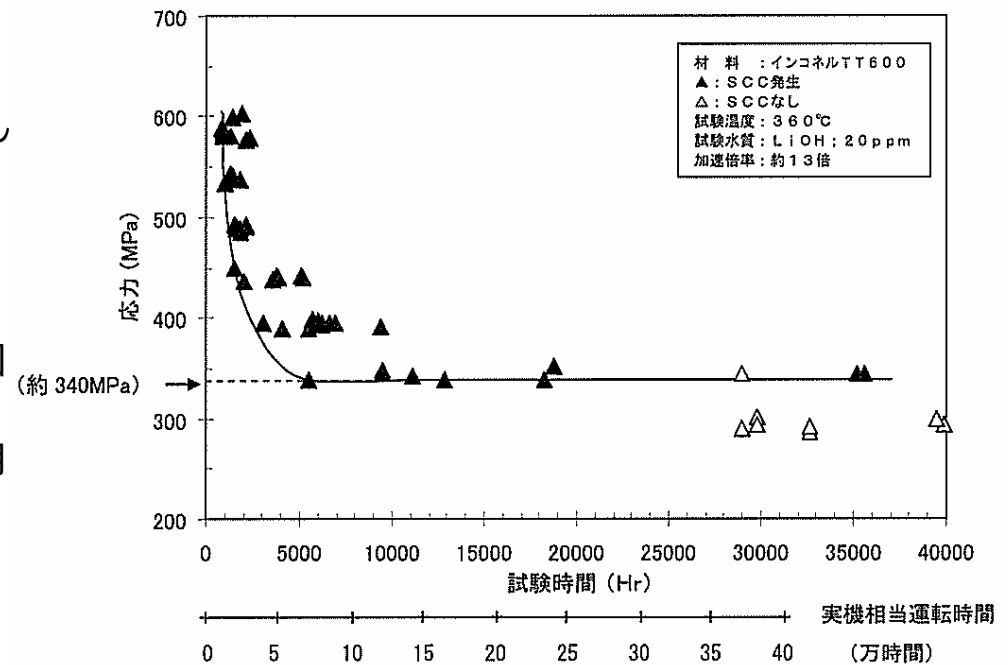
## 健全性評価

応力腐食割れは、材料・応力・環境の3要因により発生し、運転時間の経過に伴い顕在化してくる時間依存型の損傷であり、600系ニッケル基合金(特殊熱処理材)は、PWR1次系水質環境下で応力腐食割れ感受性を有していることが知られている。

民間研究による定荷重応力腐食割れ試験の結果を右図に示す。

600系ニッケル基合金(特殊熱処理材)の伝熱管を使用していた川内1号炉取替前蒸気発生器等において高温側管板拡管部に応力腐食割れが確認されている。

しかしながら、川内2号炉では、管板部での伝熱管拡管方法を改良(全厚液圧拡管+1ステップローラ拡管)し、残留応力の低減を図っており、これまでに応力腐食割れの検出実績はない。



蒸気発生器伝熱管材の定荷重応力腐食割れ(SCC)試験結果  
(600系ニッケル基合金(特殊熱処理材))  
[出典:電力共通研究「蒸気発生器伝熱管応力腐食割れの寿命予測に関する研究(フェイズ5)」(2003年度)]

## 現状保全

定期的に伝熱管全数について渦流探傷検査を実施し、応力腐食割れの無いことを確認している。

## 総合評価

現時点の知見においては、管板拡管部において応力腐食割れが発生する可能性は小さい。

## 高経年化への対応

伝熱管材料は600系ニッケル基合金(特殊熱処理材)であることから、更なる信頼性向上のため現状保全項目に加えて、より耐食性の優れた690系ニッケル基合金を採用した蒸気発生器への取替を含めた保全方法を検討していく。

(長期保守管理方針)

# 耐震安全性評価(概要一覧)

技術評価の結果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。

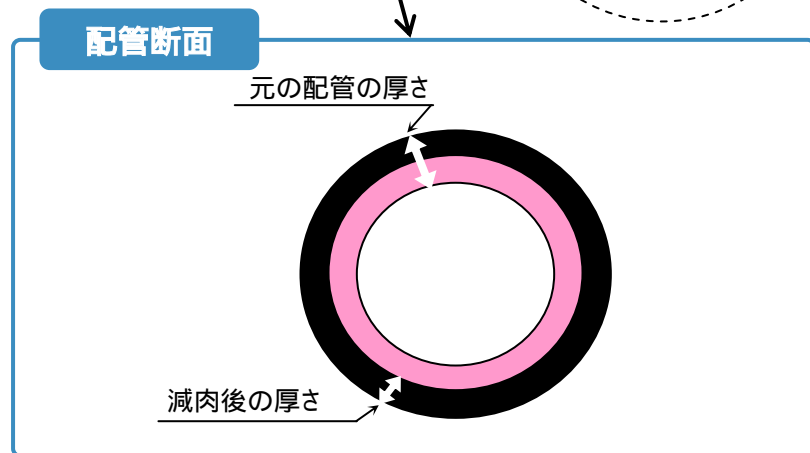
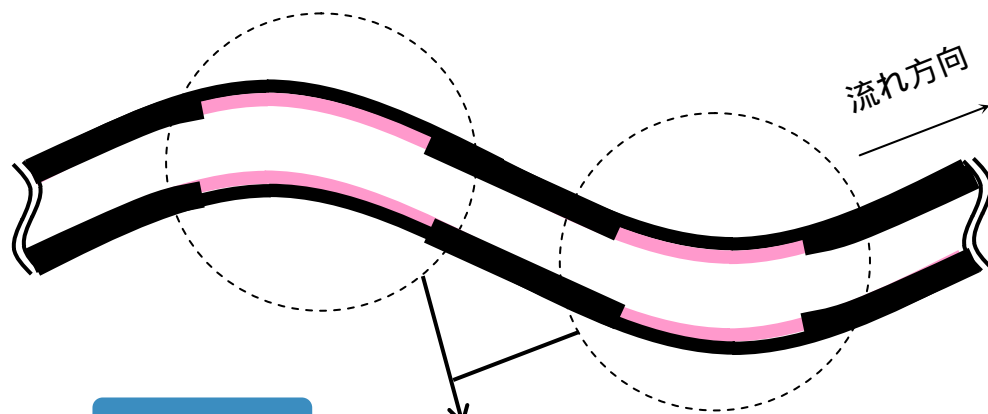
JEAG4601「原子力発電所耐震設計技術指針」等に準じて評価を実施

経年劣化事象	評価結果(例)の概要
「疲労割れ」 (原子炉容器、配管等)	通常運転時及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
「中性子照射脆化」 (原子炉容器胴部)	想定き裂に対し、加圧熱衝撃事象に地震を考慮した応力拡大係数を算出し、中性子照射を受けた材料の破壊靱性値を上回らないことを確認
「中性子(線)照射脆化/靱性低下」 (原子炉容器サポート/炉内構造物炉心そう)	想定欠陥に対し、地震時における応力拡大係数を算定し、中性子等の照射を受けた材料の破壊靱性値を上回らないことを確認
「熱時効」 (1次冷却材管等)	想定欠陥に対し、材料の時効による劣化を考慮した破壊抵抗値が、地震等による破壊力を十分上回ることを確認
「応力腐食割れ」 (廃液蒸発装置蒸発器等)	割れの発生を想定し、地震時の発生応力がき裂安定限界応力以下であることを確認
「照射誘起型応力腐食割れ(IASCC)」 (バッフルフォーマボルト)	照射誘起型応力腐食割れによるバッフルフォーマボルトの折損を仮定し、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定し、それぞれ許容値以下であることを確認
「摩耗」 (制御棒クラスタ案内管及び被覆管)	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許容値以下であることを確認
「腐食」 (配管、基礎ボルト等)	保全活動の範囲内で発生する減肉量を仮定し、地震時の腐食発生部位の発生応力を算出し、許容応力以下であることを確認

評価の結果、経年劣化を考慮しても耐震安全性に問題のないことを確認したが、一部の配管については今後の実測データ等を反映した耐震安全性評価を実施する。(長期保守管理方針)

# 耐震安全性評価(配管減肉の例)

配管減肉の起こり得る、エルボ部、レジューサ部、オリフィス等の偏流発生部位及びその下流部が周軸方向に減肉したと想定して、地震時の発生応力を算出し、応力比(発生応力/許容応力)、または、疲労累積係数が許容値である1を上まわらないことを確認した。



■ : 減肉想定箇所

減肉想定イメージ

## <耐震重要度Cクラス配管>

評価対象	応力比
低温再熱蒸気系統配管	0.33
第3抽気系統配管	0.58
第4抽気系統配管	0.54
第6抽気系統配管	0.31
グランド蒸気系統配管	0.13
補助蒸気系統配管	0.90
2次系復水系統配管	0.78
2次系ドレン系統配管	0.89

## <耐震重要度Sクラス配管>

評価対象	応力比 <sup>*1</sup>		疲労累積係数
	一次	一次+二次	
主蒸気系統配管	0.70	1.51	0.763
主給水系統配管	0.50	0.86	- <sup>*2</sup>
蒸気発生器フローダウン系統配管	0.40	0.97	- <sup>*2</sup>

\*1: Ss及びSd地震力のうち、Ss地震力による評価結果を例示。  
 なお、Sd地震力による評価においても許容値を満足していることを確認している。  
 \*2: 一次+二次応力が許容応力を下回っているため、疲労累積係数は評価不要



# 耐津波安全性評価

## 評価対象構造物

浸水防護施設に属する施設のうち原子炉補助建屋水密扉

## 耐津波安全性上着目すべき経年劣化事象

原子炉補助建屋水密扉における経年劣化事象として鉄骨の腐食による強度低下は、将来にわたって起こることが否定できないものの、下記に示す技術評価結果から、構造・強度上及び止水性上「軽微もしくは無視」できるため、耐津波安全性評価対象外とした。

- ▶目視点検による健全性確認を実施していること。
- ▶鉄骨の腐食発生の可能性が小さいこと。
- ▶仮に鉄骨の腐食が発生したとしても、現状保全により健全性の確保が可能であること。

## 追加保全策

現状保全を継続することにより、耐津波安全性を確保できることから追加すべき項目はない。

## 技術評価結果の概要

# 高経年化技術評価結果

健全性評価

・解析等

現状保全

・点検等

総合評価

断続的運転を条件とした評価の結果、各劣化事象において健全性に影響はないことを確認した。また、冷温停止状態を前提とした評価においては、一部、断続的運転評価条件より厳しいものが抽出されたが、評価の結果、健全性に影響のないことを確認した。

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、長期間の運転を仮定しても、安全に運転を継続することは可能との見通しを得た。

一部の機器・構造物については、新たに講じる必要がある保全項目が抽出され、4件の長期保守管理方針を策定した。

# 長期保守管理方針

現状の保全項目に追加すべき新たな保全策(追加保全策)について、具体的な実施内容、実施方法及び実施時期を長期保守管理方針として取りまとめた。

	保守管理の項目	実施時期*
1	原子炉容器の胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化については、精度向上が図られた脆化予測式に基づく評価を実施する。	中長期
2	蒸気発生器伝熱管の損傷については、蒸気発生器取替を含めた保全方式を検討する。	中長期
3	肉厚計測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*の腐食（流れ加速型腐食）については、今後の実測データを反映した耐震安全性評価を実施する。なお、設備対策を行った場合、その内容も反映した耐震安全性評価を実施する。 *：タービングランド蒸気系統配管 2次系ドレン系統配管	中長期
4	1次冷却材ポンプ（ケーシング）等の疲労割れについては、実過渡回数に基づく疲労評価を実施する。	中長期

\* 実施時期における中長期とは、平成27年11月28日からの10年間をいう。

## 今後の取組み

今回実施した高経年化技術評価及び長期保守管理方針の策定は、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、適切な時期に再評価及び変更を実施していく。

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

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。