

前回の委員会（5/13）における
委員からの質問に対する回答について

平成28年8月31日

- 高浜1、2号機 ケーブルの保守管理および火災防護対策について …… 1 ~ 7
 - ・ケーブルの保守管理はどのように行うのか
 - ・防火シートの施工方法と保守管理はどのように行うのか
 - ・防火シートで覆われたケーブルの異常検知はどのように行うのか

- 高浜1、2号機 中央制御盤取替工事について …… 8 ~ 11
 - ・重大事故(全交流電源喪失)への対応にあたり最適化されているのか
 - ・運転員の習熟期間は確保されているのか

- 高浜1、2号機 高経年化技術評価について …… 12 ~ 15
 - ・バッフルフォーマボルトの劣化について、現状どのようになっているのか

- 高浜1、2号機 大型工事における安全管理体制について …… 16 ~ 18
 - ・限られた敷地内で複数の工事が輻輳することから、十分な安全管理に努めていただきたい

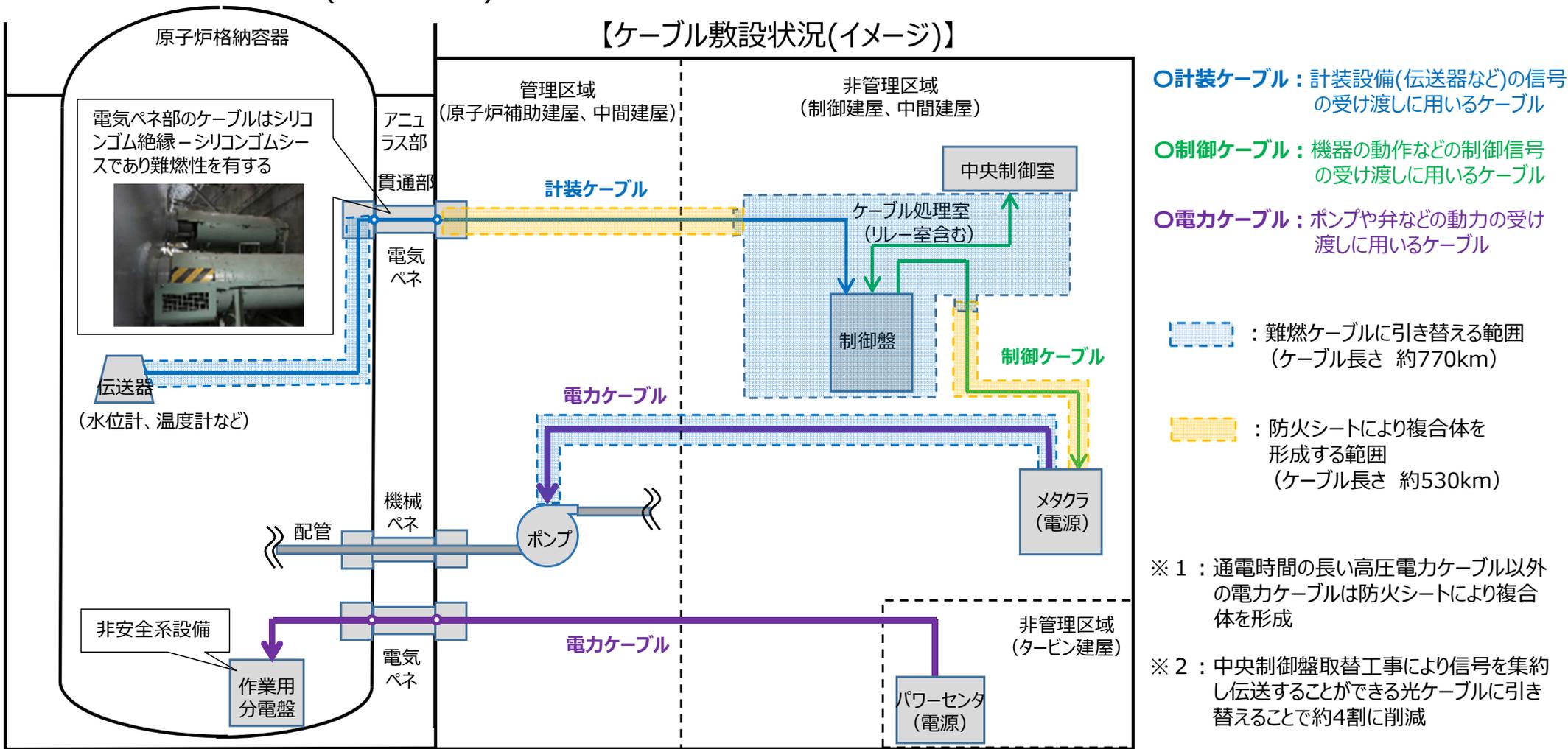
- 高浜発電所 中長期対策の対応状況について …… 19 ~ 22

高浜1、2号機 ケーブルの保守管理および火災防護対策について

- ケーブルの保守管理はどのように行うのか 2 ~ 4
- 防火シートの施工方法と保守管理はどのように行うのか 5 ~ 6
- 防火シートで覆われたケーブルの異常検知はどのように行うのか 7

ケーブルの保守管理および火災防護対策について 「ケーブルの保守管理はどのように行うのか(1/3)」

- 発電所で使用するケーブルは計装、制御及び電力ケーブルの3種類に分けられる。
- 安全機能を有する機器に使用する非難燃ケーブルは、不燃材の防火シートによりケーブル及びケーブルトレイを覆った複合体を形成することで難燃性を確保。
- 以下の非難燃ケーブルについては安全性向上及びリスク低減の観点より、複合体の形成ではなく難燃ケーブルに取替え。
 - ・ 原子炉格納容器内の安全機能を有する機器等のケーブル（防火シートがデブリとなるリスクを低減）
 - ・ 通電時間の長い高圧電力ケーブル※¹（過電流による発火リスクを低減）
 - ・ ケーブル処理室(リレー室含む)のケーブル（可燃物であるケーブル物量の大幅な削減※²）



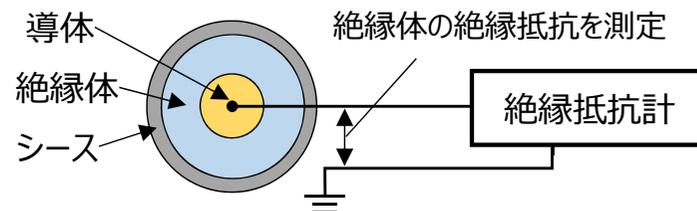
○ケーブルの保守管理

ケーブル機能(絶縁機能)の健全性確認のため、ケーブルの機能維持に必要な部位の故障モードから点検方法を検討し、点検を実施。

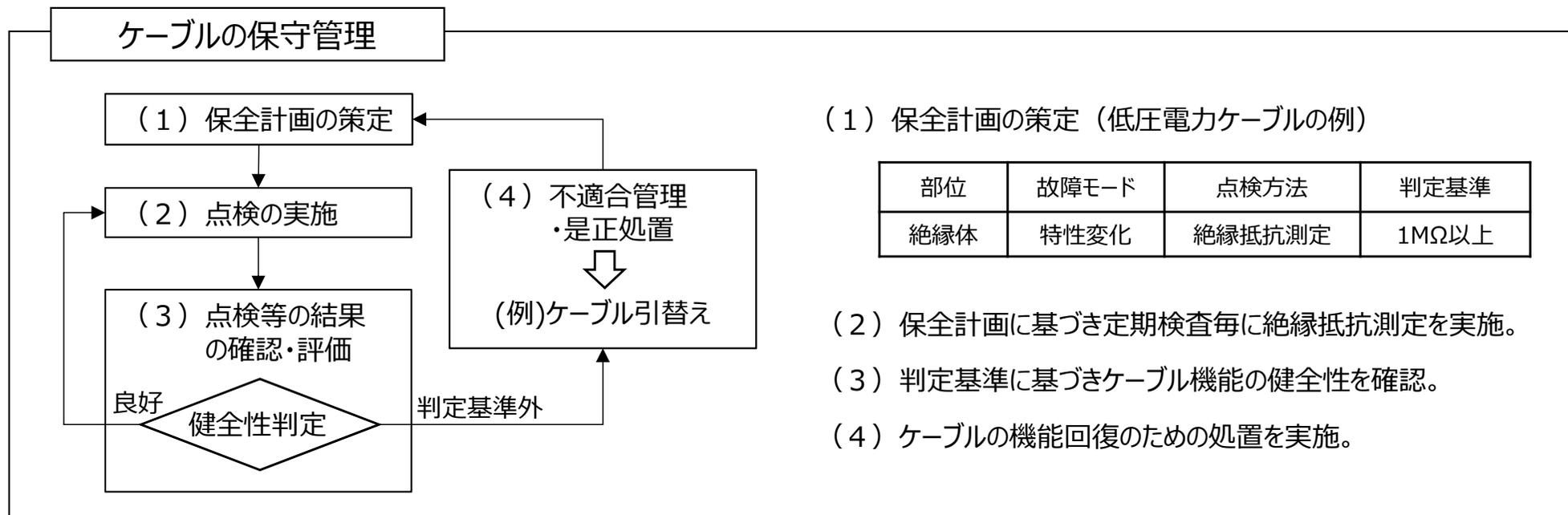
- ① 構成する部位(導体、絶縁体及びシース)のうち、故障モードから点検が必要となるのは絶縁体の特性変化。
- ② ①より、以下の点検を計画的に実施し、ケーブル機能(絶縁機能)の健全性を確認。

ケーブル機能	点検方法
絶縁機能	絶縁抵抗測定

<絶縁抵抗測定>



絶縁抵抗測定は、防火シートで覆う必要のないケーブル終端部(端子部)で行なうため、難燃ケーブルと非難燃ケーブルで保守管理方法に違いはない。



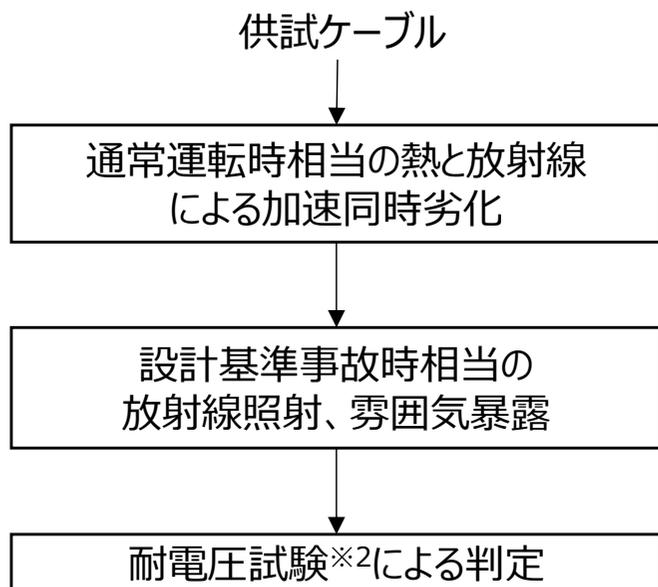
○ケーブルの高経年化技術評価

- ・事故環境下で機能要求されるケーブル(高浜1、2号機で合計約300本)の高経年化技術評価においては、通常運転時の劣化及び事故時の劣化を考慮した長期健全性試験により、ケーブルの絶縁特性に対しての60年間の健全性を評価。
- ・健全性評価の結果、2本のケーブルのみ取替えが必要となり、それ以外のケーブルについては60年以上の健全性を確認。
- ・なお、60年までの健全性が確認できていない2本のケーブルについては、余寿命までに取替え。

難燃PHケーブル※の評価例

【長期健全性試験】

試験手順及び健全性判定方法※1



【長期健全性試験を踏まえた高経年化技術評価の結果】

対象プラント	ケーブル総数	取替えが必要なケーブル本数 (寿命年)
高浜1号機	約150本	1本 (54年) →50年までに取替え
高浜2号機	約150本	1本 (47年) →45年までに取替え

※1 : 「原子力発電所のケーブル経年劣化評価ガイド (JNES- RE-2013-2049) 」(ACAガイド) に基づく試験手順及び健全性判定方法

※2 : 日本工業規格「ゴム・プラスチック絶縁電線試験方法」(JIS C 3005:2000) に基づく耐電圧試験

※ : 難燃エチレンプロピレンゴム絶縁、難燃クロロスルホン化ポリエチレンシースケーブル

ケーブルの保守管理および火災防護対策について 「防火シートの施工方法と保守管理はどのように行うのか(1/2)」

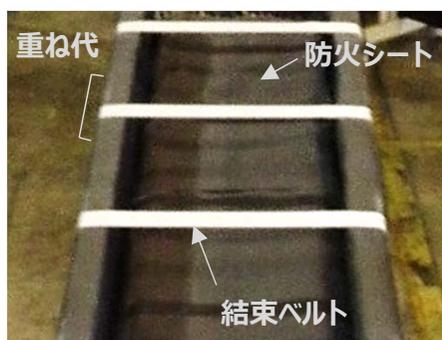
○防火シートの施工方法と保守管理

- ① 非難燃ケーブルについて、不燃材の防火シートによりケーブル及びケーブルトレイを覆った複合体に施工することで難燃性を確保。
- ② 施工後も複合体として難燃性を維持するため、防火シート等の保守管理を実施。

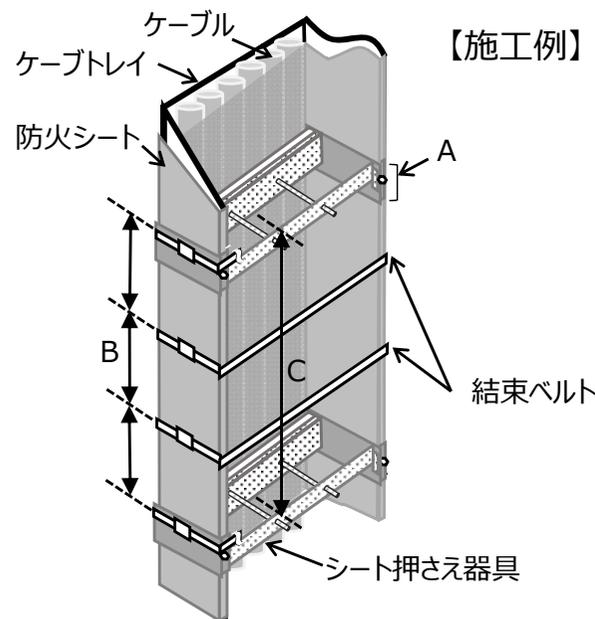
① 防火シートの施工方法



【施工前】



【施工後】



下記の寸法を満たすように施工

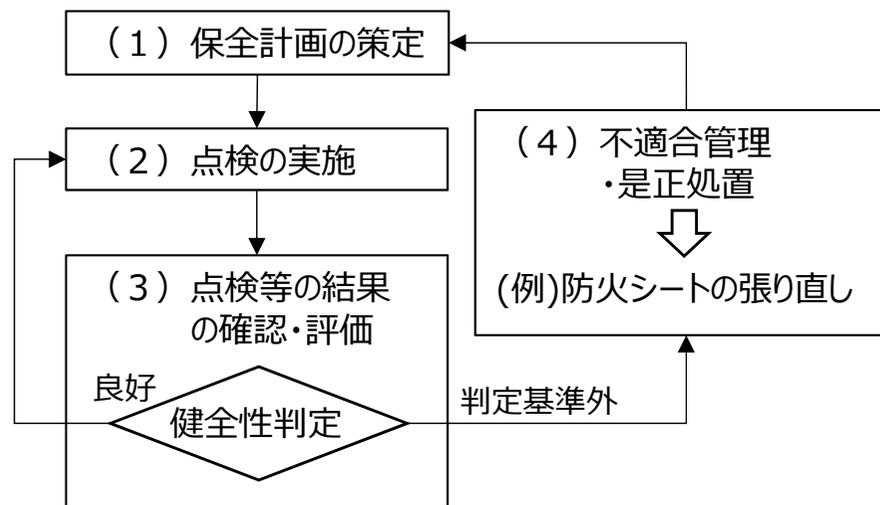
- A. 防火シート間重ね代：
≥120mm
- B. 結束ベルト間隔：
≤300mm
- C. シート押さえ器具間隔：
≤900mm

② 防火シートの保守管理

- ・複合体の性能維持に必要な部位の故障モードから点検方法を検討し、保全計画を策定のうえ点検を実施。
- ・点検結果を保全計画にフィードバック。

保全計画（シートの例）

部位	故障モード	点検方法	判定基準
シート	ずれ	目視点検	防火シート間重ね代が確保されていること



ケーブルの保守管理および火災防護対策について 「防火シートの施工方法と保守管理はどのように行うのか(2/2)」

○実証試験結果を考慮した防火シート(複合体)の施工

- ・ 実証試験により難燃ケーブルと同等以上の難燃性能が確保されることを確認した複合体を形成。
- ・ 実機施工における複合体は、実証試験及び評価結果を考慮した保守的な構造及び寸法を設定。

○実証試験の確認項目

	確認の観点	確認項目
防火シート	不燃性	発熱性試験
	遮炎性	遮炎性試験
	耐久性	耐久性試験
	非腐食性	pH試験
複合体	被覆性	加振試験
	耐延焼性	ケーブル種類毎の耐延焼性
		加熱熱量の違いによる耐延焼性
		複合体構成品の組合せによる耐延焼性
		複合体内部発火時の耐延焼性
	シートの隙間、ずれ、傷を想定した耐延焼性	
	遮炎性	過電流試験
複合体形成による悪影響	熱の蓄積による影響 重量増加の影響	



実証試験の中から複合体の耐延焼性を評価した例

複合体の加熱熱量の違いによる耐延焼性の評価結果

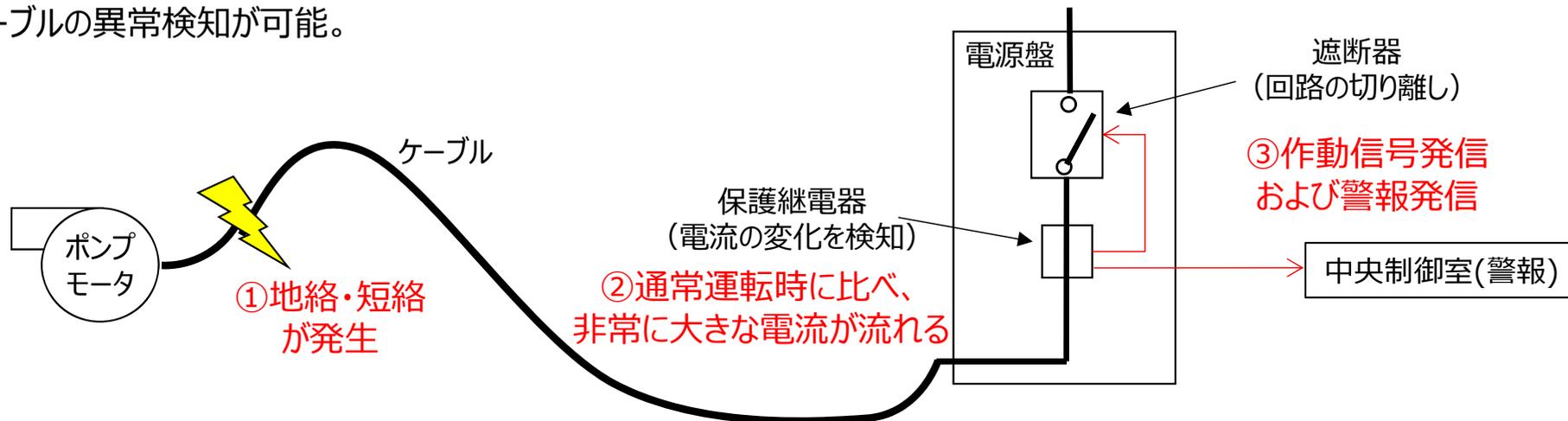
試験方法	<難燃ケーブル> 	<複合体> 															
	ケーブルの損傷長を確認	複合体の損傷長を確認															
試験条件	耐延焼性試験※1の燃焼条件のうち、防火シート遮炎性が確保される範囲で熱量を変化(加熱熱量10~40kW)																
試験結果	<table border="1"> <caption>試験結果のデータ</caption> <thead> <tr> <th>加熱熱量 (kW)</th> <th>難燃ケーブル (mm)</th> <th>複合体 (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>780</td> <td>600</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>1650</td> <td>1490</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>2190</td> <td>1670</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>2760</td> <td>2430</td> </tr> </tbody> </table> <p>⇒複合体の耐延焼性が難燃ケーブルを上回ることを確認</p>		加熱熱量 (kW)	難燃ケーブル (mm)	複合体 (mm)	10	780	600	20	1650	1490	30	2190	1670	40	2760	2430
加熱熱量 (kW)	難燃ケーブル (mm)	複合体 (mm)															
10	780	600															
20	1650	1490															
30	2190	1670															
40	2760	2430															

※1：防耐火性能試験・評価業務方法書(一般財団法人 日本建築総合試験所)により規定された試験

ケーブルの保守管理および火災防護対策について 「防火シートで覆われたケーブルの異常検知はどのように行うのか」

○「地絡・短絡」の検知

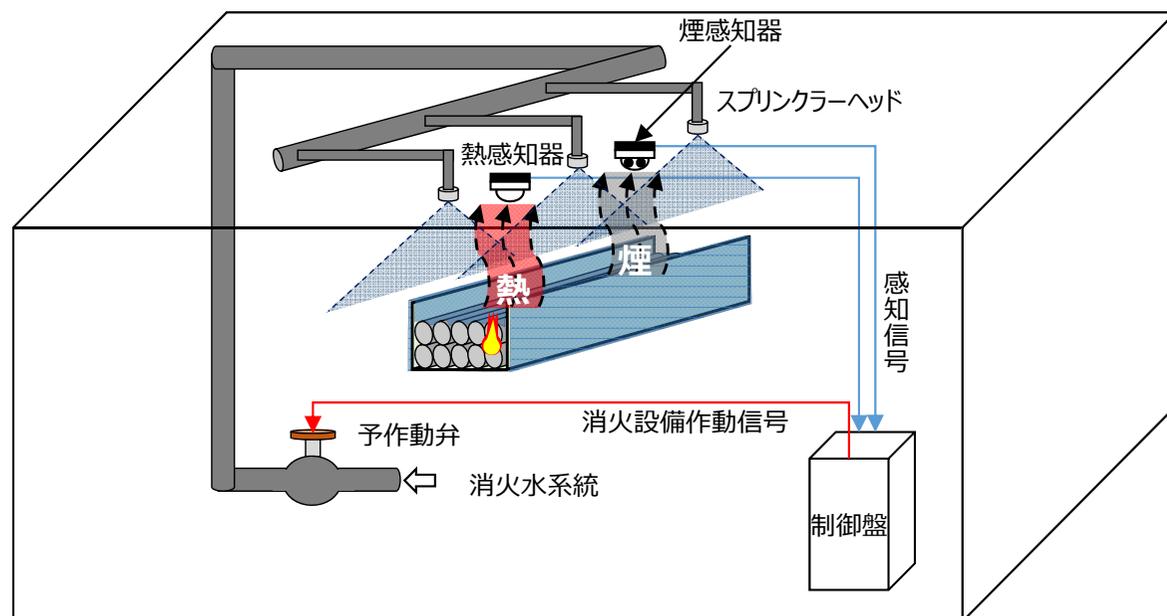
- ・ ケーブルに地絡・短絡が発生した場合、通電電流の変化により保護継電器が作動し、遮断器が回路を切り離すことで、ケーブルの異常箇所を隔離するとともに、中央制御室に警報を発信。
- ・ 難燃ケーブルと非難燃ケーブルで異常検知方法に違いはなく、防火シートによる防火措置を施工した後も、これまでどおりケーブルの異常検知が可能。



○「火災」の検知

- ・ ケーブル火災が発生した場合、火災区域又は火災区画に設置する2種類(煙、熱)の感知器が火災を感知し、消火設備による消火を実施。
- ・ 防火シートによる防火措置を施工しても、火災発生時は難燃ケーブルと同様に火災の感知及び消火が可能。

同一区画内に安全系ケーブルトレイ2系統が設置されている箇所については、どちらか1系統のケーブルトレイに対して1時間耐火隔壁とケーブルトレイ消火設備を設置し、システムを分離。



高浜1、2号機 中央制御盤取替工事について

- 重大事故(全交流電源喪失)への対応にあたり最適化されているのか ... 9 ~ 10
- 運転員の習熟期間は確保されているのか 11

中央制御盤取替工事について

「重大事故(全交流電源喪失)への対応にあたり最適化されているのか(1/2)」

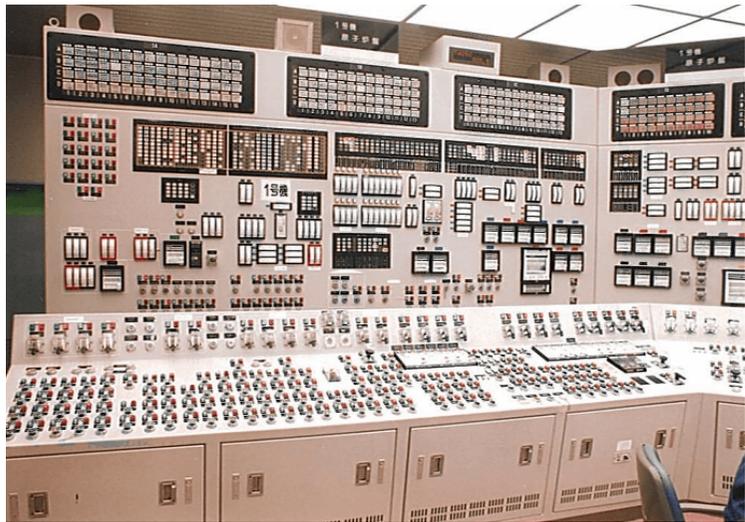
中央制御盤※の指示計等は、既に多くが生産中止となっており、保守性向上の観点から、中央制御盤全体を最新のデジタル式に取り替える。取替えにより、保守性の向上に加えて、運転員の監視操作性の向上を図ると共に、ヒューマンエラー率低減による信頼性の向上を図る。

※：運転員が24時間常駐する中央制御室で、機器の遠隔操作やパラメータの監視、警報の確認等を行うための盤

【工事概要】

従来の中央制御盤上にある指示計による監視から、運転コンソールのディスプレイ及び大型表示装置での監視に変更。

既設中央制御盤

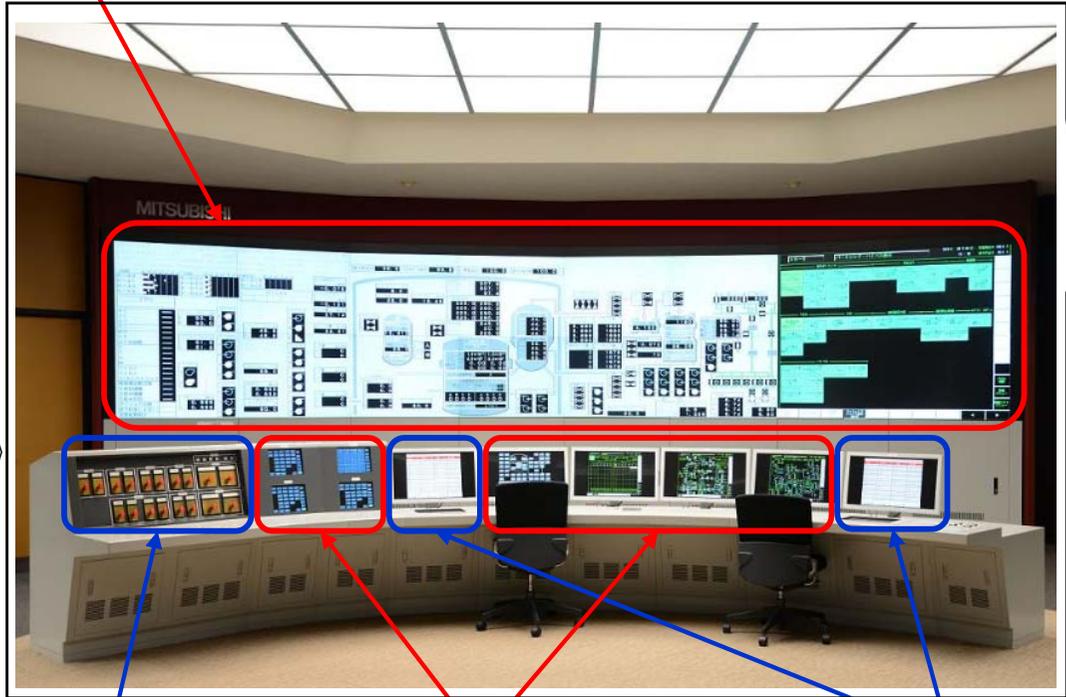


更新

デジタル式中央制御盤 (イメージ図)

大型表示装置

プラント全体をビジュアル化し、プラント全体の把握を容易化することにより、運転員間の共通認識情報を提供可能とした大型表示画面を採用。(監視性向上)



ヒューマンエラー率の低減による信頼性の向上

ハードスイッチ

原子炉の緊急停止等の急速な動作を必要とする機器について、ハードスイッチを設置。

監視操作
ディスプレイ

指示計・記録計等との情報統合及びタッチパネルによる操作方式を採用し、監視操作性を向上。
(保守性、監視操作性向上)

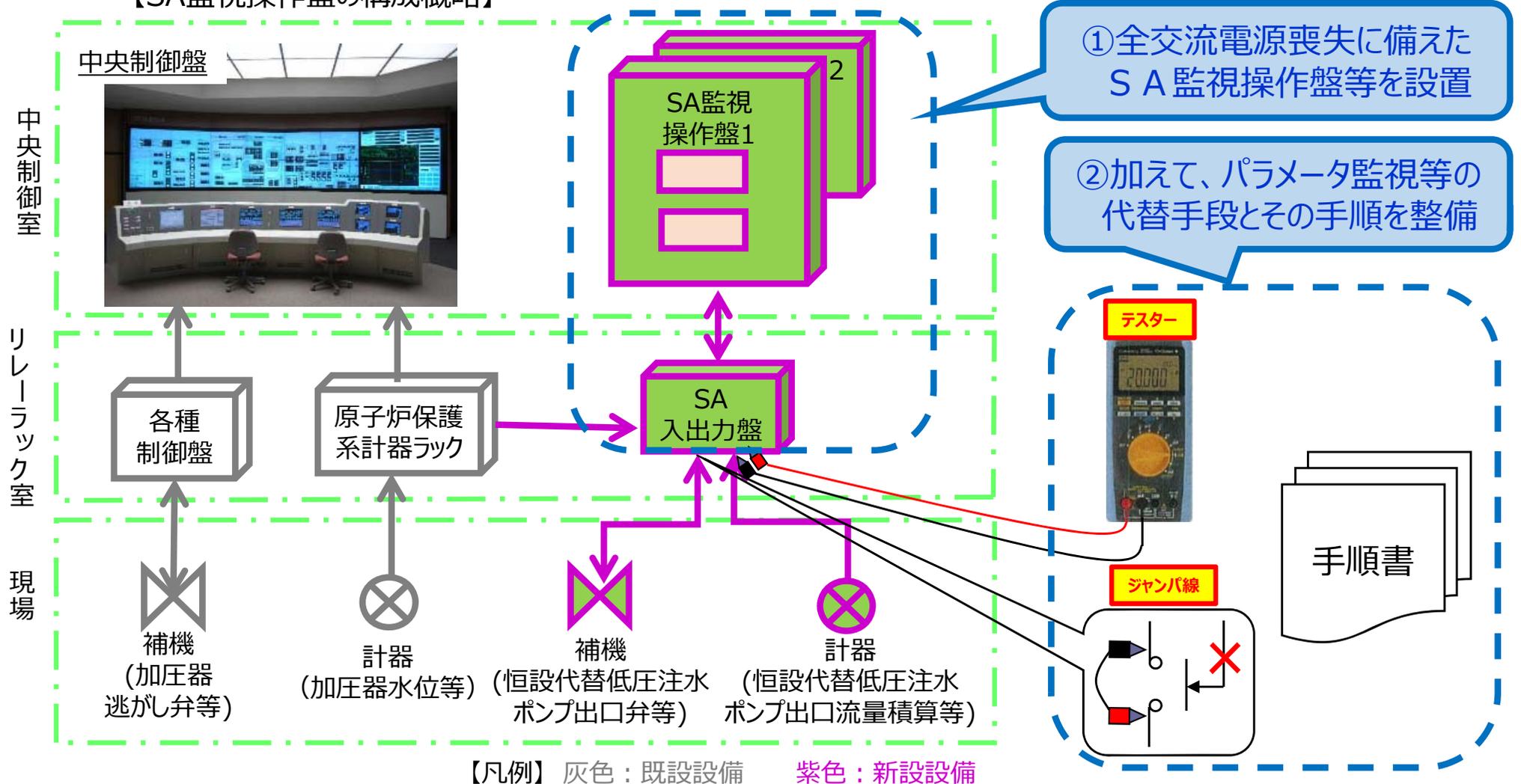
警報装置

集約化され、重要度・優先度に応じた警報を表示する「新型警報システム」を採用。
(監視性向上)

「重大事故(全交流電源喪失)への対応にあたり最適化されているのか(2/2)」

- 福島第一原子力発電所事故を踏まえ、新規制基準のシビアアクシデント(SA)対応設備として、全交流電源喪失時でも必要な監視・操作が可能となるよう、中央制御室にSA監視操作盤等を新規設置。…①
- これに加えて、中央制御盤、SA監視操作盤が活用できなかつた場合に備えて、パラメータ監視等の代替手段(テスター、ジャンパ線)を準備するとともに、手順を整備。…②

【SA監視操作盤の構成概略】



中央制御盤取替工事について 「運転員の習熟期間は確保されているのか」

運転員の新型中央制御盤習熟の取組みについては、既に取り替えを実施した四国電力伊方1、2号機での実績を参考とし、「導入」⇒「通常操作」⇒「事故・故障対応」の順で効果的に訓練が実施されていたことを踏まえ、遜色ない訓練内容とするべく、以下のとおり計画。

○運転員の新型中央制御盤習熟に係る訓練の内容(案)について

訓練項目		訓練内容	教材
机上教育	新型中央制御盤の取扱い方法に関する教育	<ul style="list-style-type: none"> 中央制御盤の構成 警報機能、監視操作機能 	<ul style="list-style-type: none"> メーカー資料
導入訓練	VDU画面の選択訓練 (Visual display unit)	<ul style="list-style-type: none"> 指定された画面、パラメータのリクエストおよび確認訓練 大型表示盤の状態表示をVDU画面で確認する訓練 	<ul style="list-style-type: none"> 新規手順書 新型中央制御盤シミュレータ
	操作器の選択訓練	<ul style="list-style-type: none"> 指定された操作器、制御器のリクエスト訓練 	
	警報の確認訓練	<ul style="list-style-type: none"> 指定された警報をVDU警報画面で確認する訓練 大型表示盤の代表警報をVDU警報画面で確認する訓練 	
通常操作訓練	起動・停止操作訓練	<ul style="list-style-type: none"> プラント起動・停止操作訓練、定期検査時操作訓練 制御棒作動試験等、運転定期点検 	<ul style="list-style-type: none"> 新規手順書 新型中央制御盤シミュレータ
事故・故障対応操作訓練	<ul style="list-style-type: none"> プラントトリップ 故障時対応訓練 	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉トリップ、タービントリップ、発電機トリップ 軽微な故障(プラントトリップを伴わない)、送電線事故等、故障時対応訓練(過渡変化事象を含む) 	<ul style="list-style-type: none"> 新規手順書 新型中央制御盤シミュレータ
	事故時対応訓練 (設計基準外事象を含む)	<ul style="list-style-type: none"> 1次冷却材喪失、蒸気発生器細管破断等、事故時対応訓練 VDU故障等、新型中央制御盤特有の故障対応訓練他 	

新型中央制御盤シミュレータは原子力運転サポートセンターへの設置を検討中

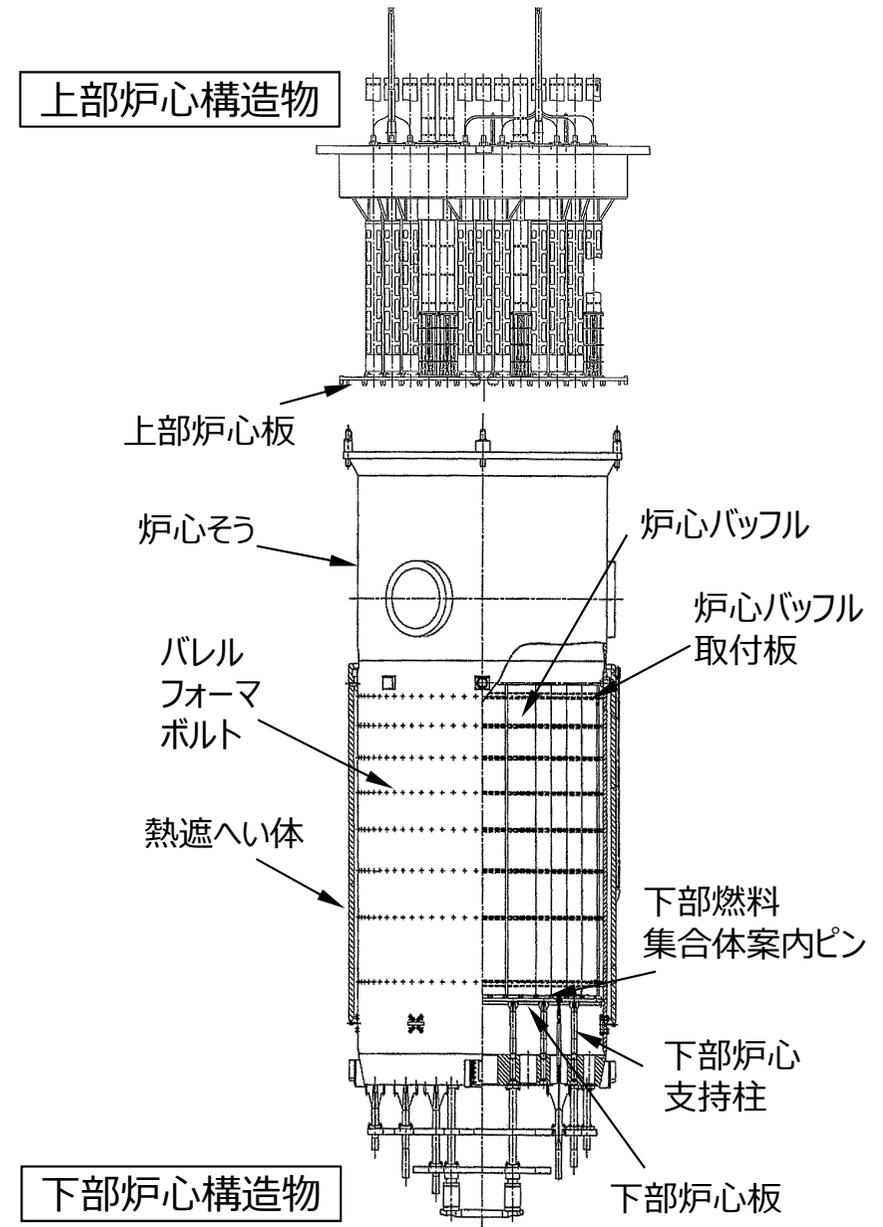
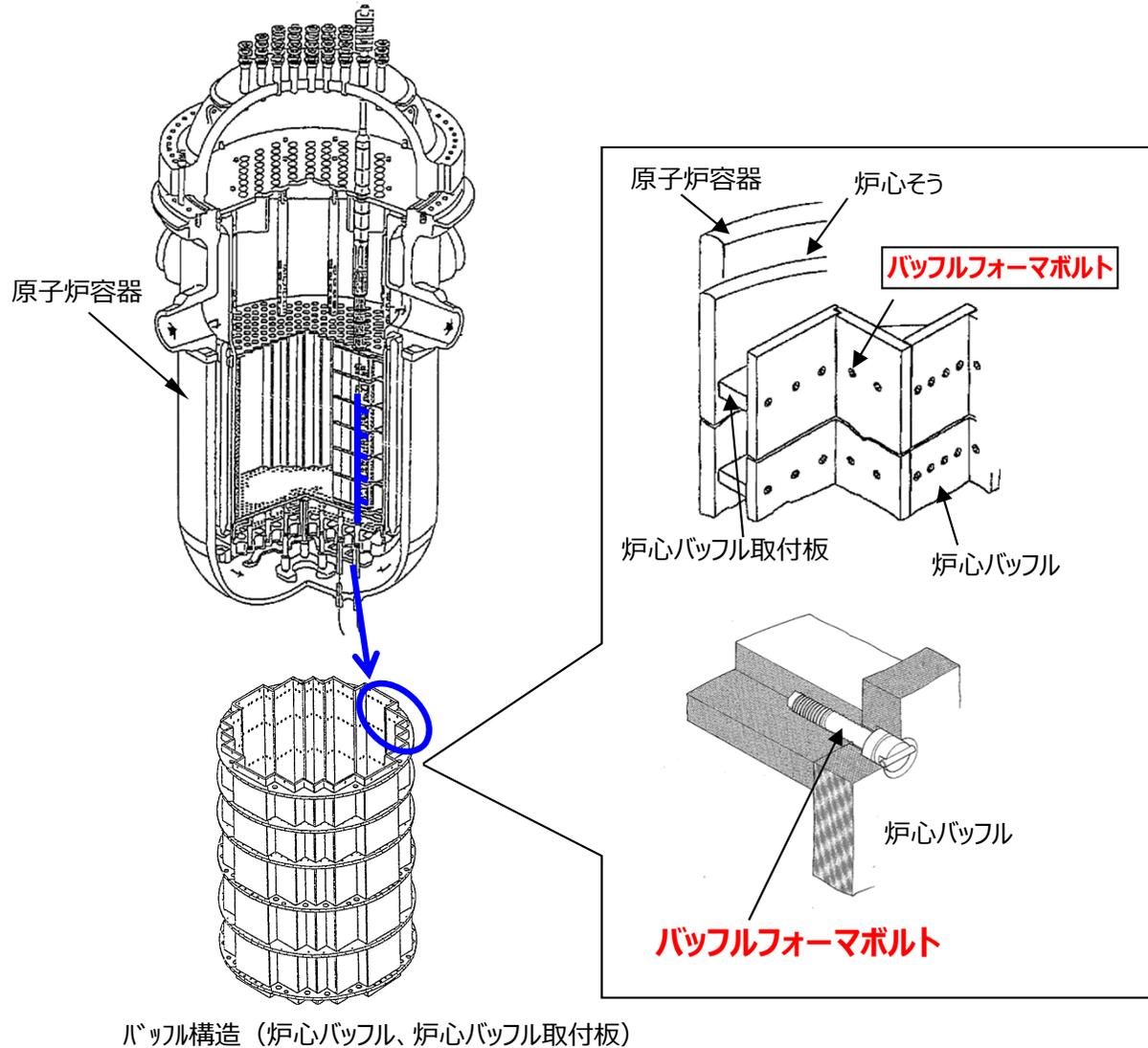
○訓練期間

約12ヶ月(中央制御盤取替工事完了までに実施)

高浜1、2号機 高経年化技術評価について

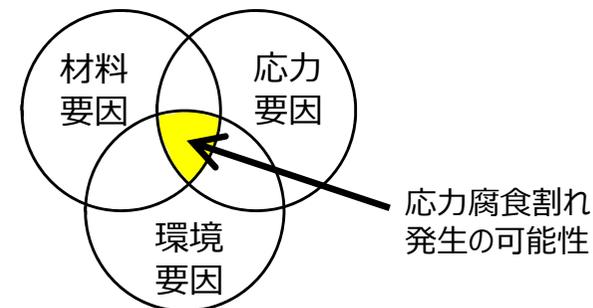
- バッフルフォーマボルトの劣化について、現状どのようになっているのか … 13 ~ 15

○炉内構造物の構造



○照射誘起型応力腐食割れ（IASCC）

照射誘起型応力腐食割れの発生要因としては、材料、環境及び応力の3つの要因が考えられ、非常に高い中性子照射量を受けたステンレス鋼において発生する可能性がある。

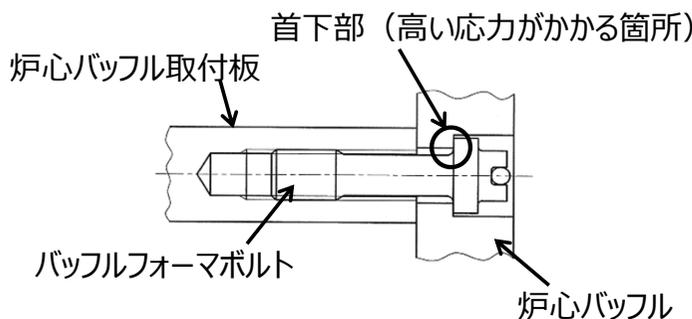


○バブルフォーマボルト

燃料集合体に1次冷却材を流すための流路を形成する炉心バブルと炉心バブル取付板を締結している。

本数：1,088本／号機
 材料：SUS316CW

【バブルフォーマボルトの構造】



【バブルフォーマボルトの写真】



○当社プラントにおけるバブルフォーマボルトの取替え状況

海外における不具合事例を踏まえ、長期的信頼性確保の観点から、美浜1、2号機のバブルフォーマボルト全数について、材質等を改良したものに取替えた。

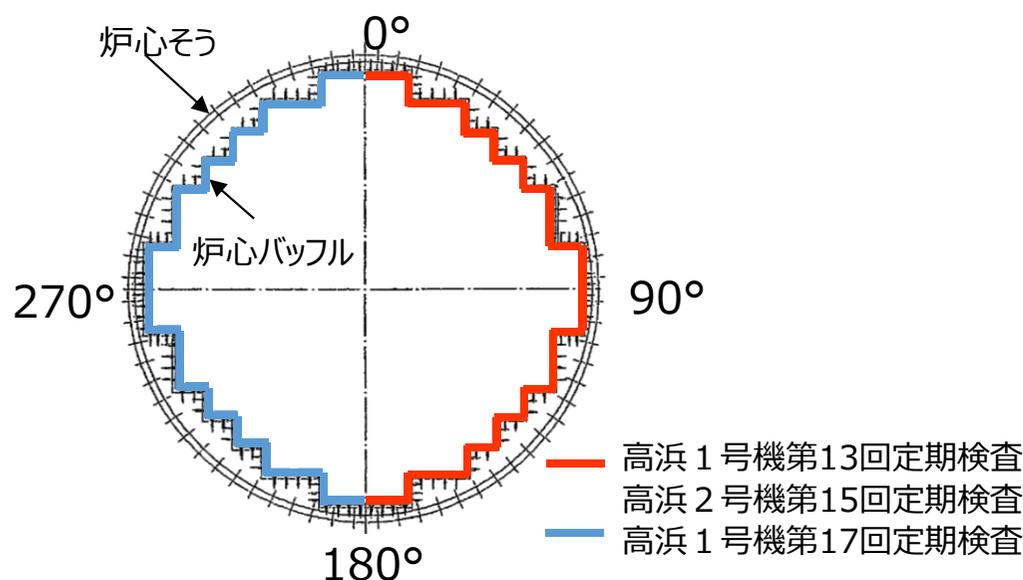
当社バブルフォーマボルト取替実績	他社 炉内構造物の取替実績
美浜1号機：2002年度 美浜2号機：2000～2001年度	伊方1号機（2005年度）、伊方2号機（2006年度）、 玄海1号機（2005年度）、玄海2号機（2008年度）

○高浜1、2号機バブルフォーマボルトの健全性評価

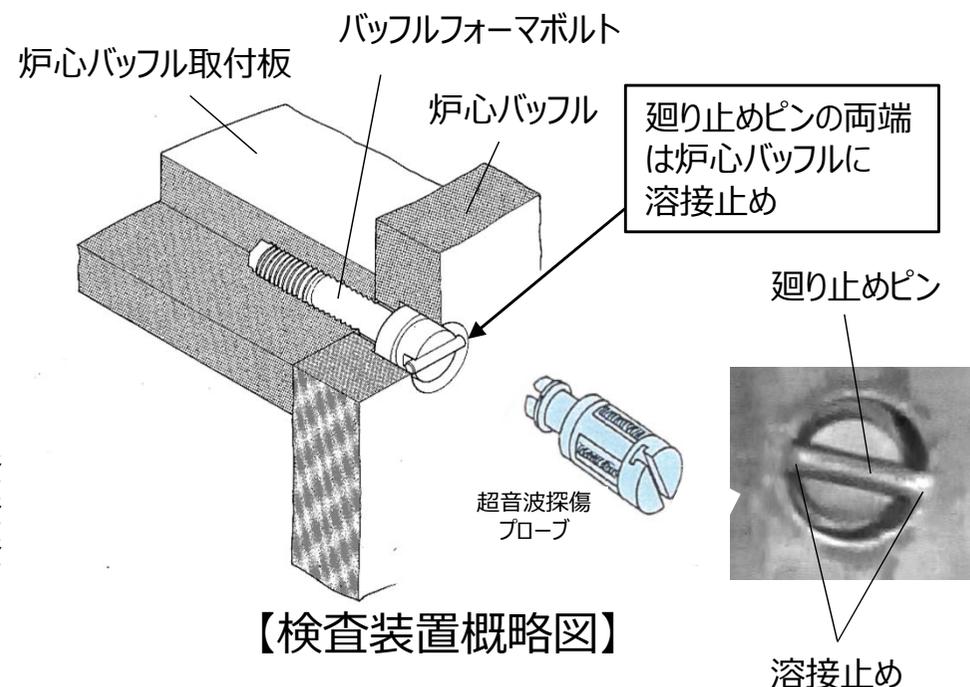
原子力安全基盤機構「照射誘起応力腐食割れ（IASCC）評価技術」事業で得られた最新知見を用いて評価した結果、高浜1、2号機の運転開始後60年時点でのボルトの損傷本数は「日本機械学会 維持規格」に規定される管理損傷ボルト数（全体の20%）以下であり、安全に関わる機能を維持できることを確認。

○現状保全

- ・ 定期的に炉内構造物の可視範囲に対して水中カメラによる目視確認を実施し、異常のないことを確認。
- ・ バッフルフォーマボルトに対して、高浜1号機は第13回定期検査時(1991～1992年度)、第17回定期検査時(1997年度)に、高浜2号機は第15回定期検査時(1995年度)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。



【超音波探傷検査実施範囲※】



【検査装置概略図】

※：炉心の対称性を勘案し、各定期検査でバッフルフォーマボルト全数の1/2に対して検査を実施

○高経年化への対応

- ・ 炉内構造物の照射誘起型応力腐食割れに対しては、可視範囲について定期的に水中テレビカメラによる目視確認を実施し、炉心バッフル等の過度の変形やボルト脱落など異常のないことの確認を実施していく。
- ・ 予防保全の観点から、今後、炉内構造物の一式取替等を計画している。

高浜1、2号機 大型工事における安全管理体制について

・限られた敷地内で複数の工事が輻輳することから、
十分な安全管理に努めていただきたい 17 ~ 18

大型工事における安全管理体制について

「限られた敷地内で複数の工事が輻輳することから、十分な安全管理に努めていただきたい(1/2)」

○高浜発電所 今後の主な工事の予定作業エリア



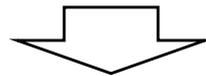
○高浜1、2号機の大型工事に向けた安全管理の取り組み

高浜1、2号機で計画している大型工事等について、安全最優先で作業を進めるべく、工程管理、現場作業エリア調整等に万全を期す観点から、大型工事の実施体制を確立し情報共有会議を実施。

情報共有会議

【高浜1、2号機 全体工程会議】

- 事務局 原子力事業本部（プラント・保全技術グループ）
- 参加者 原子力事業本部、高浜発電所、メーカ（三菱重工）、ゼネコン、協力会社
- 実施頻度 月2回程度
- 実施実績 合計15回（平成27年12月24日～）
- 実施内容
 - ・各工事の工程突合せ及びクリティカル、サブクリティカル工程等の確認
 - ・各工事工程の変更に伴う他工事への影響確認及び調整
 - ・作業エリア及びクレーン等資機材の干渉確認
 - ・作業エリア及びクレーン等資機材が干渉した場合のエリア及び作業時期の調整
 - ・複数の工事で使用する必要のある設備に対する取り合い調整又は共通の作業等が存在する場合の役割分担調整



現在、詳細工程を検討中

高浜発電所 中長期対策の対応状況について

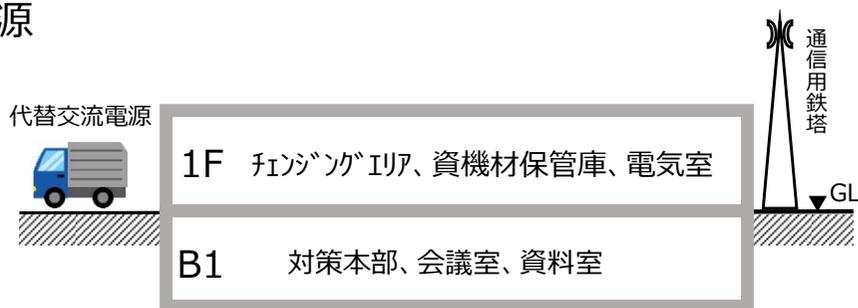
- 高浜発電所緊急時対策所設置工事 20
- 高浜発電所免震事務棟設置工事 21
- 特定重大事故等対処施設設置工事(高浜3、4号機) 22

中長期対策の対応状況について「高浜発電所緊急時対策所設置工事」

プラントに緊急事態が発生した場合に、事故の制圧・拡大防止を図るための対策本部となる、1～4号機共用の緊急時対策所を設置。

【主な仕様】

- ・耐震構造
- ・建屋内面積 約750㎡
- ・収容想定人数：最大約200人（必要な要員を7日間とどまることができるよう資機材、食料、飲料水を確保）
- ・指揮命令・通報連絡に支障のないよう、本部内の配置を考慮。
- ・換気及び遮蔽設備（7日間で100mSv以下となる居住性を確保するために必要な遮蔽、換気機能を確保）
- ・通信連絡設備
- ・情報把握設備
- ・代替交流電源



	H26年度	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度
工 程		設計・調査	現在 ▼着工 (H28.3.22) 敷地造成等	建物工事	機電工事等 ▼運用開始

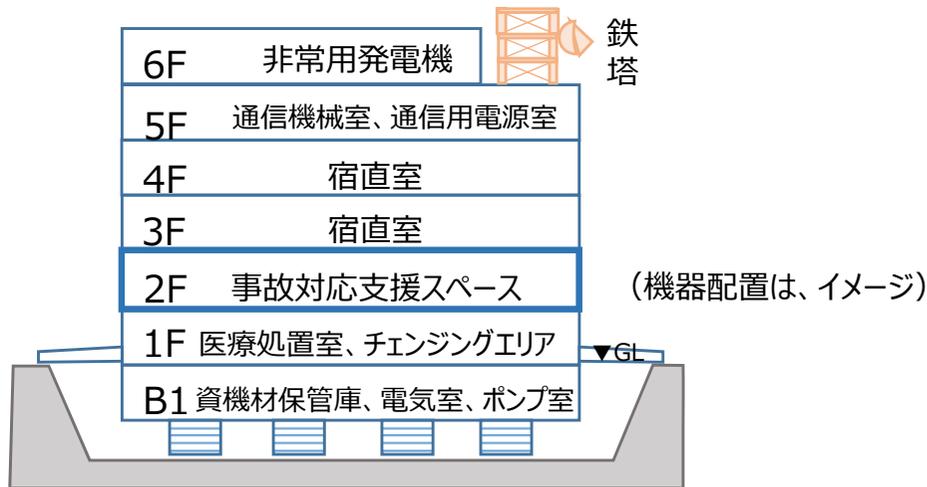
大飯発電所緊急時対策所は、高浜とほぼ同様の仕様、同様の工程で実施する。美浜発電所緊急時対策所は、審査の進捗を踏まえて計画する。

中長期対策の対応状況について「高浜発電所免震事務棟設置工事」

免震事務棟は、事故対応が膨大かつ長期化した場合の支援を目的とし、主に、初動要員の宿直場所、要員待機場所、資機材受入れ及び保管場所として活用するために、自主的な位置付けとして設置。

【主な仕様】

- ・免震構造
- ・建屋内面積：約4,000㎡（事故対応用の資機材を受入れるスペースを確保）
- ・収容想定人数：最大約800人
（初動要員および事故対応要員が安全に待機できる場所として必要な遮蔽機能、換気機能を確保）
- ・通信連絡設備（衛星電話）
- ・非常用発電装置



現地状況

	H26年度	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度
工 程		設計・調査等	▼現在	▽工事再開 建物工事	▽運用開始 機電工事等

大飯発電所免震事務棟は、高浜とほぼ同様の仕様、同様の工程で実施する。美浜発電所免震事務棟は、審査の進捗を踏まえて計画する。

中長期対策の対応状況について「特定重大事故等対処施設設置工事(高浜3、4号機)」

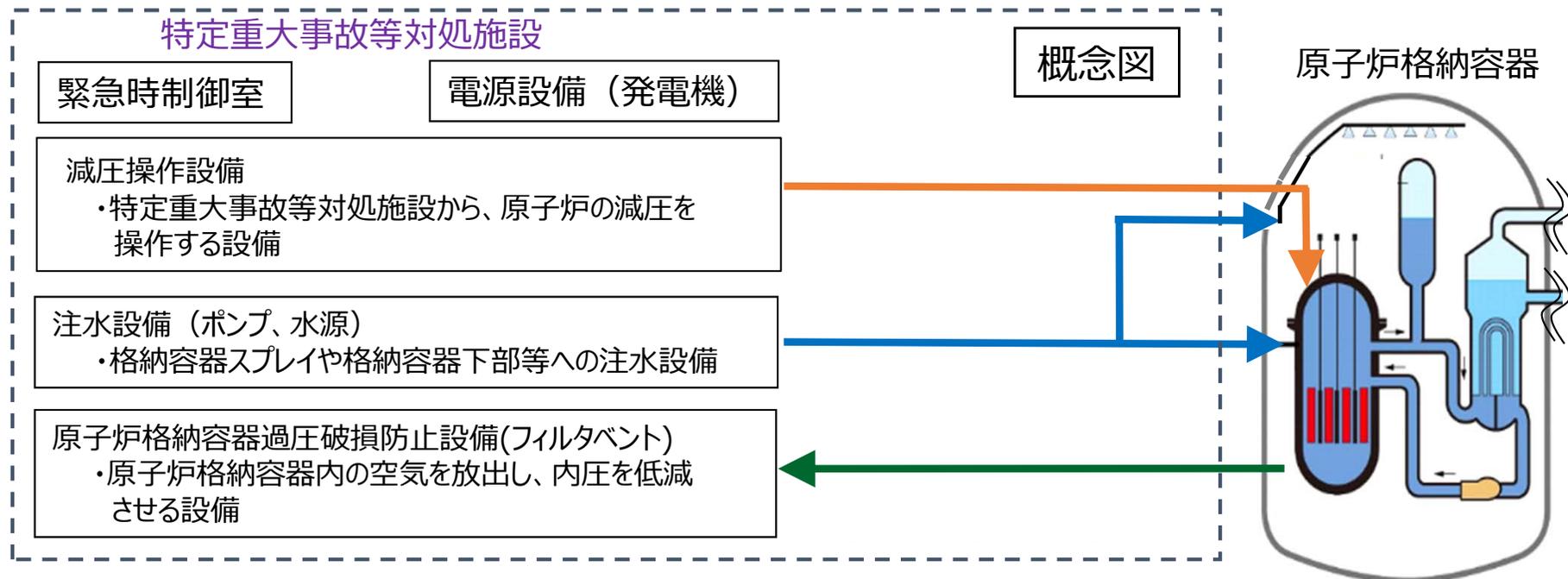
原子炉建屋への故意による大型航空機の衝突やその他のテロリズム等により、原子炉を冷却する機能が喪失し、炉心が著しく損傷した場合に備えて、格納容器の破損を防止するための機能を有する施設を設置。

- 規則※の一部改正により、特定重大事故等対処施設は工事計画認可（3号機：平成27年8月4日、4号機：平成27年10月9日）から5年までに設置することを要求。
- 平成32年8月（3号機）、平成32年10月（4号機）の設置期限までに設置完了予定。

※：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

【進捗状況】

- 平成26年12月25日に原子炉設置変更許可申請。（平成28年6月3日、7月12日に補正）
- 平成28年8月2日、原子力規制委員会において、原子炉設置変更許可申請における審査書案が示される。
- 平成27年5月より準備工事(測量や伐採等)に着手しており、平成29年度中に施設の設置を開始予定。



(1、2号機については、工事計画認可日(平成28年6月10日)から5年(平成33年6月)までに設置。現在、原子炉設置変更許可申請準備中)

參考資料

○高浜1、2号機 ケーブル火災防護対策工事	1	~	9
○高浜1、2号機 高経年化技術評価	10	~	24
○高浜発電所 緊急時対策所設置工事	25	~	28

高浜1、2号機 ケーブル火災防護対策工事

新規制基準では難燃ケーブルの使用が要求されていることから、敷設されている非難燃ケーブルに対し、全体の約6割※を難燃ケーブルに引替え。それ以外については防火シート又は電線管への収納による防火措置を実施し、難燃ケーブルと同等以上の性能を確保。

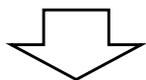
※：ケーブル量を大幅に削減できる区画、デブリの発生を抑える必要のある格納容器内及び過電流による発火の可能性がある範囲のケーブル

防火シートによる防火措置概要

【具体的設計方針】

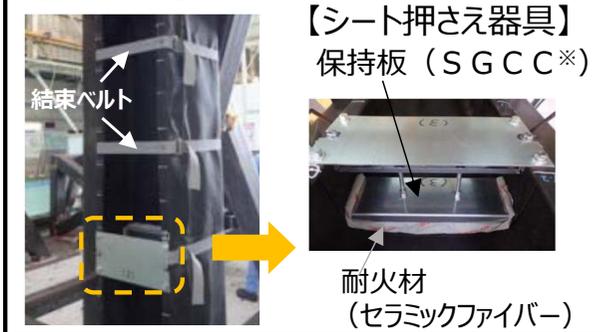
ケーブルが露出しないように、ケーブル及びケーブルトレイを不燃材の防火シート※で覆い複合体とする。

※：採用する防火シートは、不燃性、耐久性、被覆性に対する要求事項が確認されたものを採用。



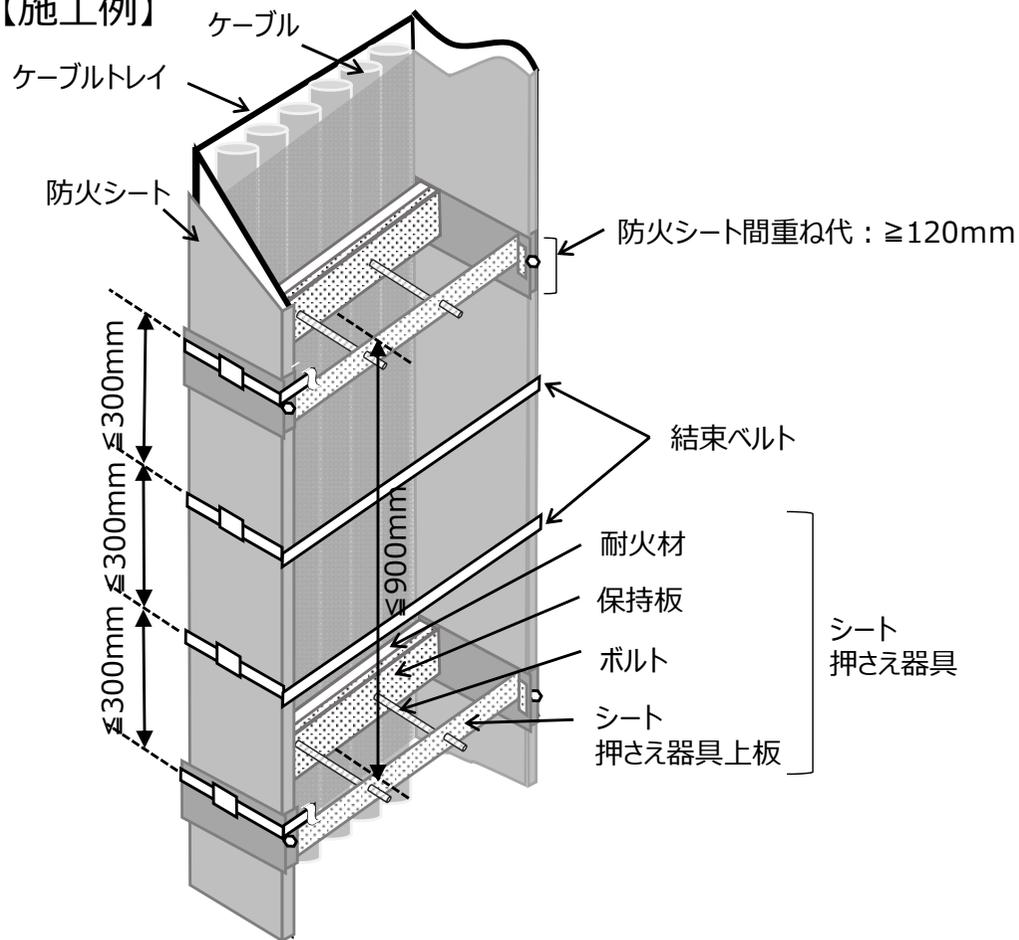
複合体について、「自己消火性」及び「耐延焼性」等の実証試験を行い、難燃ケーブルを上回る難燃性能を確保していることを確認。

【複合体施工例】



※：溶融垂鉛めつきを行った鋼板

【施工例】



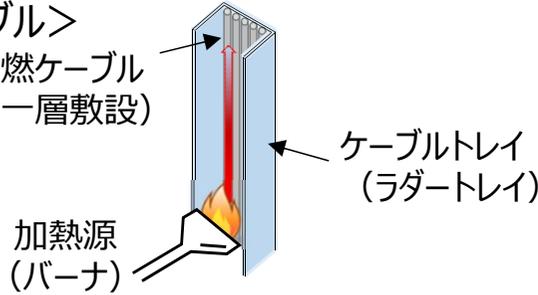
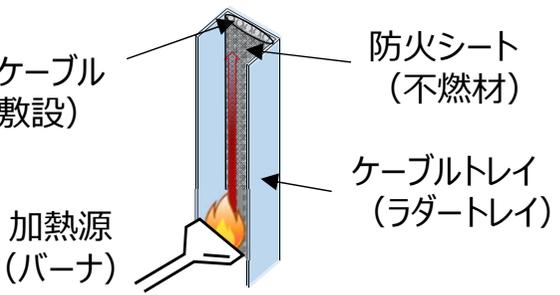
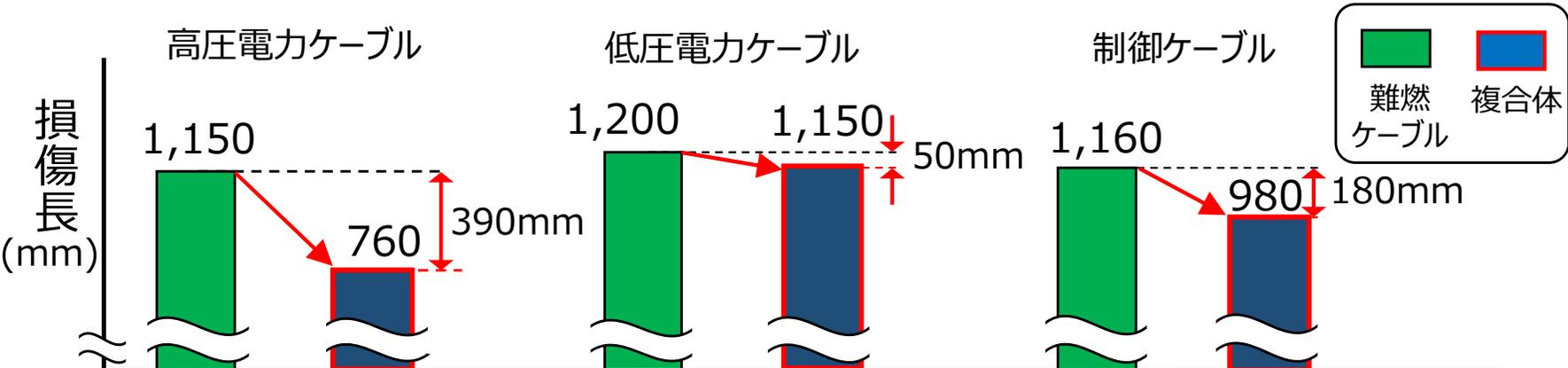
対策後の保守管理

防火シートを巻き付けた内部のケーブルの健全性確認については、現状のケーブルの健全性確認と同様に、機器の試運転や絶縁抵抗測定により、ケーブルの通電機能、絶縁機能が問題ないことを確認。

ケーブル火災における実証試験結果(1/2)

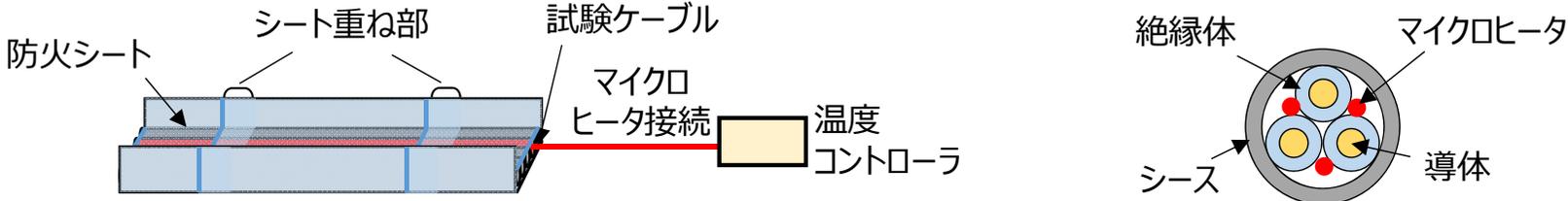
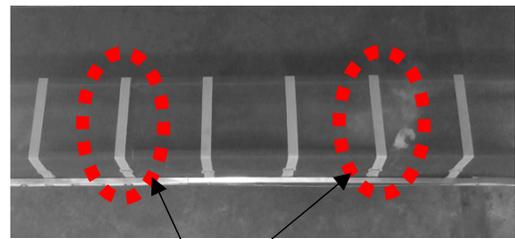
○複合体外部の火災

ケーブル種類毎の耐延焼性の評価結果

<p>試験方法</p>	<p><難燃ケーブル> 難燃ケーブル (一層敷設) ケーブルトレイ (ラダートレイ) 加熱源 (バーナ)</p> 	<p><複合体> 非難燃ケーブル (一層敷設) 防火シート (不燃材) ケーブルトレイ (ラダートレイ) 加熱源 (バーナ)</p> 																
	<p>ケーブルの損傷長を確認</p>	<p>複合体の損傷長を確認</p>																
<p>試験条件</p>	<p>20kW</p>																	
<p>試験結果</p>	 <table border="1"> <caption>試験結果の損傷長 (mm)</caption> <thead> <tr> <th>ケーブル種類</th> <th>難燃ケーブル (mm)</th> <th>複合体 (mm)</th> <th>差 (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>高圧電力ケーブル</td> <td>1,150</td> <td>760</td> <td>390</td> </tr> <tr> <td>低圧電力ケーブル</td> <td>1,200</td> <td>1,150</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>制御ケーブル</td> <td>1,160</td> <td>980</td> <td>180</td> </tr> </tbody> </table>		ケーブル種類	難燃ケーブル (mm)	複合体 (mm)	差 (mm)	高圧電力ケーブル	1,150	760	390	低圧電力ケーブル	1,200	1,150	50	制御ケーブル	1,160	980	180
ケーブル種類	難燃ケーブル (mm)	複合体 (mm)	差 (mm)															
高圧電力ケーブル	1,150	760	390															
低圧電力ケーブル	1,200	1,150	50															
制御ケーブル	1,160	980	180															

全てのケーブル種類において複合体は燃え止まり、難燃ケーブルを上回る耐延焼性を有していることを確認

○複合体内部の火災 過電流模擬試験による耐延焼性(遮炎性能)評価結果

<p>試験方法</p>	 <p>防火シート、シート重ね部、試験ケーブル、マイクロヒータ接続、温度コントローラ、絶縁体、マイクロヒータ、シース、導体</p> <p>一層敷設した高圧電力ケーブル内の一条に対して、マイクロヒータを取り付け、絶縁体及びシースの発火温度を超える温度で加熱。一定時間後、複合体内部においてケーブルから発生する可燃性ガス及びケーブルが発火することを確認。ケーブル等が発火した場合は複合体内部の火災について外部への露出の有無を確認。</p>						
<p>ケーブル</p>	<p>(高圧電力) 架橋ポリエチレン絶縁、ビニルシース</p>						
<p>試験条件</p>	<p>マイクロヒータ温度 650℃</p>						
<p>試験結果</p>	 <p>シート重ね部</p> <table border="1" data-bbox="1272 1082 1975 1273"> <thead> <tr> <th>判定基準</th> <th>結果</th> <th>判定</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>複合体内部の火災が外部に露出しないこと</td> <td>無</td> <td>合格</td> </tr> </tbody> </table>	判定基準	結果	判定	複合体内部の火災が外部に露出しないこと	無	合格
判定基準	結果	判定					
複合体内部の火災が外部に露出しないこと	無	合格					

複合体内部の火災が外部へ露出しないことを確認

(難燃ケーブルは発火すると周囲に火災が露出するが、複合体は内部ケーブルが発火しても外部に火災が露出しない)

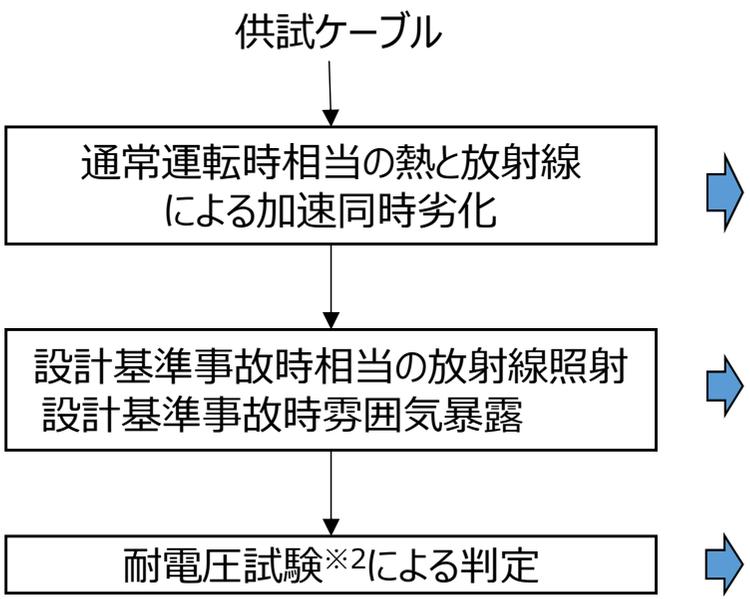
ケーブルの高経年化技術評価 (1/2)

事故環境下で機能が要求されるケーブルについては、長期健全性試験による健全性評価を行い、実際の敷設環境下において健全性が維持できる期間を確認。

難燃PHケーブル(注)の例

① 長期健全性試験 (運転による劣化と事故時条件を付与)

試験手順及び健全性判定方法※1



熱・放射線による最大事前劣化条件、設計基準事故試験条件及び耐電圧試験結果※3

最大劣化条件 (温度-放射線-時間)	100℃ - 94.8Gy/h - 4,003時間
集積放射線	1,500kGy
最高温度	190℃
最高圧力	0.41MPa[gage]

耐電圧試験結果

耐電圧試験条件	判定
課電電圧：1,500V/分	良

※3：「原子力プラントのケーブル経年変化評価技術調査研究に関する最終報告書 (JNES-SSLレポート)」

健全性評価期間確認

6

※1：「原子力発電所のケーブル経年劣化評価ガイド (JNES- RE-2013-2049)」(ACAガイド)に基づく試験手順及び健全性判定方法
 ※2：耐電圧試験は、日本工業規格「ゴム・プラスチック絶縁電線試験方法」(JIS C 3005:2000)の試験

(注) 難燃エチレンプロピレンゴム絶縁、難燃クロロスルホン化ポリエチレンシースケーブル

ケーブルの高経年化技術評価 (2/2)

事故環境下で機能が要求されるケーブルについては、長期健全性試験による健全性評価を行い、実際の敷設環境下において健全性が維持できる期間を確認。

5
↓
長期健全性試験
→

健全性評価の例

②- 1 高浜1号機 実布設環境での健全性評価期間

敷設区分 (格納容器内)	実敷設環境条件		評価期間 [年]
	温度 [°C]	放射線量率 [Gy/h]	
ループ室	50* 1	0.0130	約65* 2
加圧器室上部	50	0.0005	約99
通路部	47* 1	0.0013	約74* 2
	47* 1	0.0002	約54* 2

* 1 : 動力ケーブルの温度上昇を更に考慮する
 * 2 : ケーブルの取替えを考慮した期間

54年以降では絶縁低下の可能性があり、評価時期までに取替が必要

②- 2 高浜2号機 実布設環境での健全性評価期間

敷設区分 (格納容器内)	実敷設環境条件		評価期間 [年]
	温度 [°C]	放射線量率 [Gy/h]	
ループ室	48* 1	0.0202	約66* 2
加圧器室上部	48	0.00001	約117
通路部	47* 1	0.00001	約47* 2

* 1 : 動力ケーブルの温度上昇を更に考慮する
 * 2 : ケーブルの取替えを考慮した期間

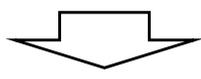
47年以降では絶縁低下の可能性があり、評価時期までに取替が必要

評価期間に至る前に取り替えることを、長期保守管理方針として策定

ケーブル燃焼時の発生ガスへの対策

<ケーブル燃焼時の発生ガスへの対策>

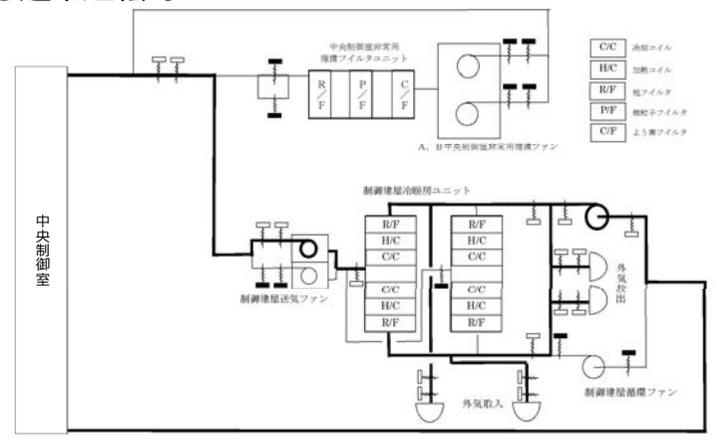
原子力発電所で使用しているケーブルが燃焼した場合における炭化水素系ガスや塩化水素等の有毒ガスの発生に対して、以下の対策を実施。



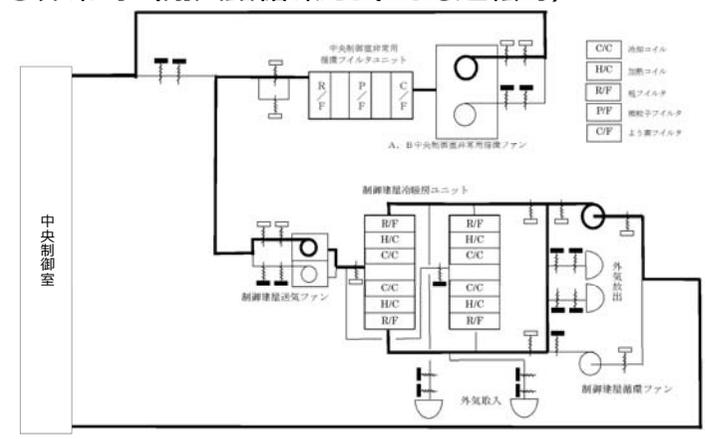
- 火災の早期感知・消火
 - ケーブル燃焼の火災が発生した場合、ケーブルトレイ周辺の火災感知器により早期感知し、スプリンクラー等の消火設備により消火できる設計。
 - また、防毒マスク等も備えており、火災発生箇所での人(消防隊)による消火も可能。
- 中央制御室の居住性の確保
 - 人が常駐する中央制御室については、ケーブルが敷設されている中央制御室外での火災により発生する有毒ガスに対して、中央制御室換気設備の外気取入れを手動で遮断し、閉回路循環方式※に切り替えることにより外部雰囲気から隔離できる設計。

※：中央制御室換気設備の系統構成の概要を下図に示す。(A系列のみ記載)

○通常運転時

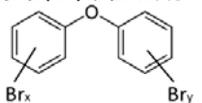
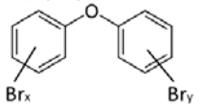


○非常時（閉回路循環方式による運転時）



ケーブルが燃焼した場合の発生ガス成分(1/2)

<難燃ケーブルの主成分と燃焼時の発生ガス>

ケーブル				主な成分の化学構造	燃焼時の発生ガス	備考	
回路種別	絶縁体	シース					
難燃ケーブル	高圧電力	架橋ポリエチレン	難燃低塩酸特殊耐熱ビニル	絶縁体 ・ポリエチレン $\text{-(CH}_2\text{-CH}_2\text{)}_n$	一酸化炭素、二酸化炭素、炭化水素系ガス（メタン、アセチレン、エチレン、エタン等）		
			シース	・ポリ塩化ビニル $\text{-(CH}_2\text{-CHCl)}_n$	一酸化炭素、二酸化炭素、炭化水素系ガス（メタン、アセチレン、エチレン、エタン等）、塩化水素、ホスゲン(COCl ₂)	低塩酸化で塩化水素発生量を低減	
	低圧電力	難燃EPゴム	難燃クロロスルホン化ポリエチレン	絶縁体 ・EPゴム $\text{-(CH}_2\text{-CH}_2\text{)}_l\text{-(CH}_2\text{-CH(CH}_3\text{))}_m\text{-(X)}_n$ ・臭素系難燃剤 	一酸化炭素、二酸化炭素、炭化水素系ガス（メタン、アセチレン、エチレン、エタン等）、臭化水素		
			シース	・クロロスルホン化ポリエチレングム $\text{-(CH}_2\text{-CH}_2\text{)}_l\text{-(CH(CH}_2\text{SO}_2\text{Cl))}_m\text{-(CH(CH}_2\text{Cl))}_n$	一酸化炭素、二酸化炭素、炭化水素系ガス（メタン、アセチレン、エチレン、エタン等）、塩化水素、硫酸化物		
		難燃EPゴム	難燃低塩酸特殊耐熱ビニル	絶縁体 ・EPゴム $\text{-(CH}_2\text{-CH}_2\text{)}_l\text{-(CH}_2\text{-CH(CH}_3\text{))}_m\text{-(X)}_n$ ・臭素系難燃剤 	一酸化炭素、二酸化炭素、炭化水素系ガス（メタン、アセチレン、エチレン、エタン等）、臭化水素		
				シース	・ポリ塩化ビニル $\text{-(CH}_2\text{-CHCl)}_n$	一酸化炭素、二酸化炭素、炭化水素系ガス（メタン、アセチレン、エチレン、エタン等）、塩化水素、ホスゲン	低塩酸化で塩化水素発生量を低減

ケーブルが燃焼した場合の発生ガス成分(2/2)

<非難燃ケーブルの主成分と燃焼時の発生ガス>

ケーブル				主な成分の化学構造	燃焼時の発生ガス	備考
回路種別	絶縁体	シース				
非難燃ケーブル	高圧電力	架橋ポリエチレン	絶縁体	・ポリエチレン $\text{-(CH}_2\text{-CH}_2\text{)}_n\text{-}$	一酸化炭素、二酸化炭素、炭化水素系ガス（メタン、アセチレン、エチレン、エタン等）	
			シース	・ポリ塩化ビニル $\text{-(CH}_2\text{-CHCl)}_n\text{-}$	一酸化炭素、二酸化炭素、炭化水素系ガス（メタン、アセチレン、エチレン、エタン等）、塩化水素、ホスゲン	
	低圧電力	EPゴム	絶縁体	・EPゴム $\text{-(CH}_2\text{-CH}_2\text{)}_l\text{-(CH}_2\text{-CH(CH}_3\text{))}_m\text{-(X)}_n\text{-}$	一酸化炭素、二酸化炭素、炭化水素系ガス（メタン、アセチレン、エチレン、エタン等）	臭素系難燃剤の添加なし
			シース	—	—	アスベストは不燃
	低圧電力	特殊耐熱ビニル	絶縁体	・ポリ塩化ビニル $\text{-(CH}_2\text{-CHCl)}_n\text{-}$	一酸化炭素、二酸化炭素、炭化水素系ガス（メタン、アセチレン、エチレン、エタン等）、塩化水素、ホスゲン	
			シース	・ポリ塩化ビニル $\text{-(CH}_2\text{-CHCl)}_n\text{-}$	一酸化炭素、二酸化炭素、炭化水素系ガス（メタン、アセチレン、エチレン、エタン等）、塩化水素、ホスゲン	

高浜1、2号機高経年化技術評価

【中性子照射脆化とは】

金属（炭素鋼・低合金鋼）の性質

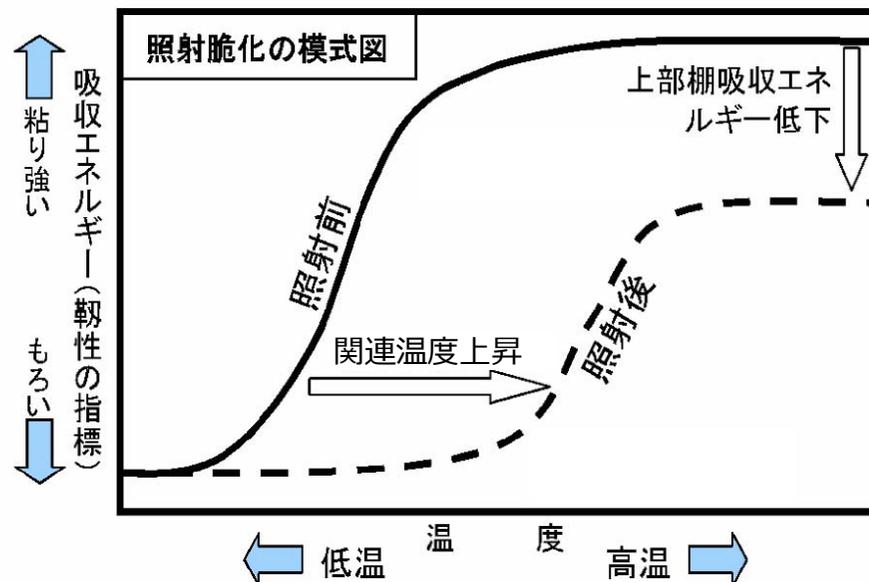
高温状態では粘りが強く、温度低下とともに、脆くなる性質を有する。



中性子が照射されることによる影響

中性子の照射に伴い、金属の粘り強さが徐々に低下すると共に、粘り強さが失われる温度が高くなる。

[金属の粘り強さが失われ、衝撃に弱くなる温度が高くなることを遷移温度（関連温度）の上昇という]



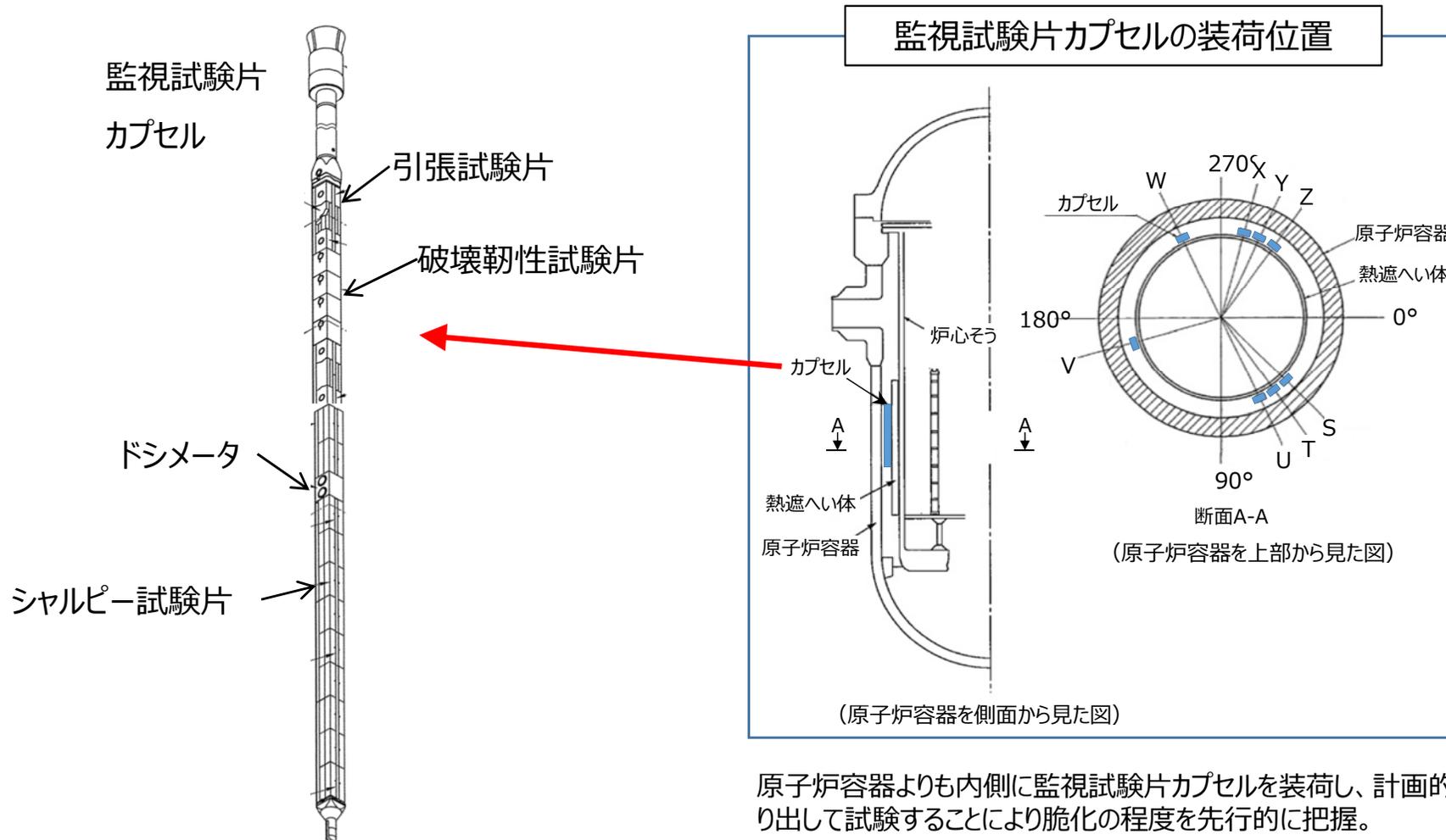
中性子照射脆化のメカニズム

金属材料の照射脆化は、中性子照射によって生じる空孔と格子間原子の拡散や、それらと溶質原子の相互作用を通じておこるミクロな組織変化およびミクロな組成変化が原因

【中性子照射脆化に対する脆化度合いの把握】

あらかじめ原子炉容器内に装荷している監視試験片カプセルを計画的に取り出して機械試験を行うことにより、原子炉容器の脆化度合いを先行して把握し、この監視試験結果を基に脆化予測を行うようにしている。

- ・建設時：8個装荷
- ・現時点：4個のカプセルを取り出し



原子炉容器よりも内側に監視試験片カプセルを装荷し、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。

【監視試験結果と脆化予測】

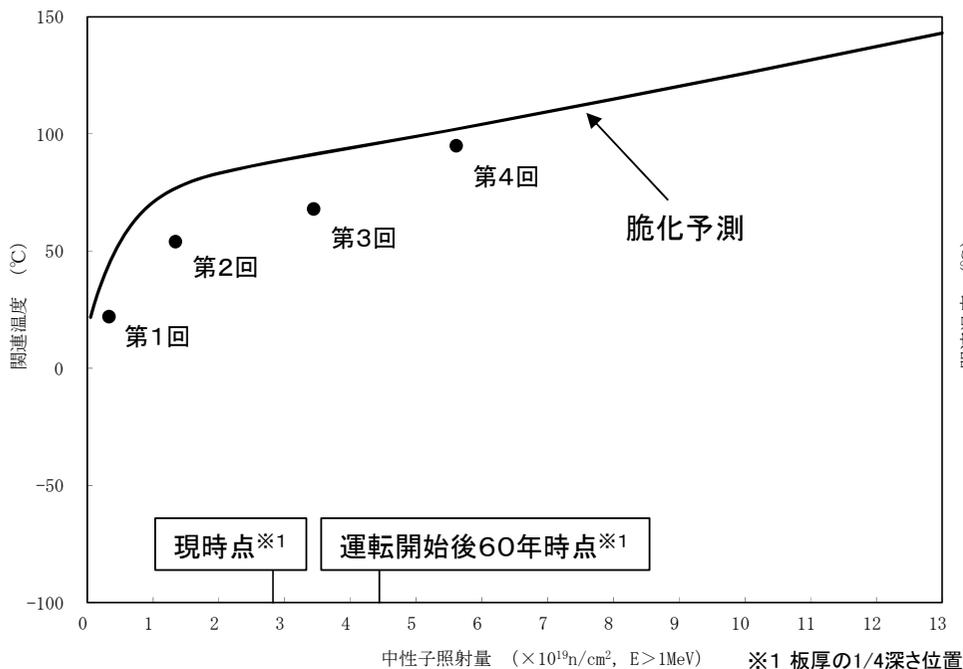
＜母材の関連温度＞ (単位：℃)

	初期値	第1回	第2回	第3回	第4回
1号機	-4	22	54	68	95
2号機	-30	-13	11	18	40

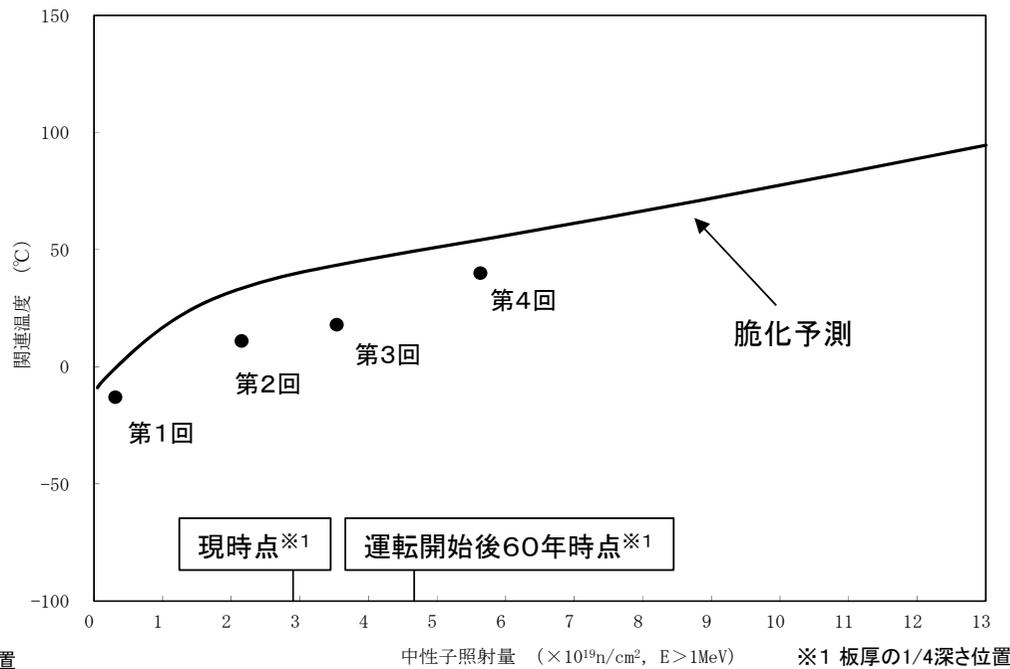
	評価時期	中性子照射量*1 ($\times 10^{19}n/cm^2$) [E>1MeV]	関連温度*2(℃)		
			母材	溶接金属	熱影響部
高浜1号炉	2015年4月時点	2.82	89	43	54
	運転開始後60年時点*3	4.44	97	52	62
高浜2号炉	2015年4月時点	2.90	40	28	3
	運転開始後60年時点*3	4.67	50	37	13

監視試験結果に基づく国内脆化予測法(JEAC4201-2007/2013追補版)による評価結果において、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。

- *1：内表面から板厚 t の1/4 t 深さでの中性子照射量
- *2：内表面から板厚 t の1/4 t 深さでの予測値
- *3：将来の設備利用率を80%と仮定して算出



高浜1号炉 監視試験結果および脆化予測(母材)



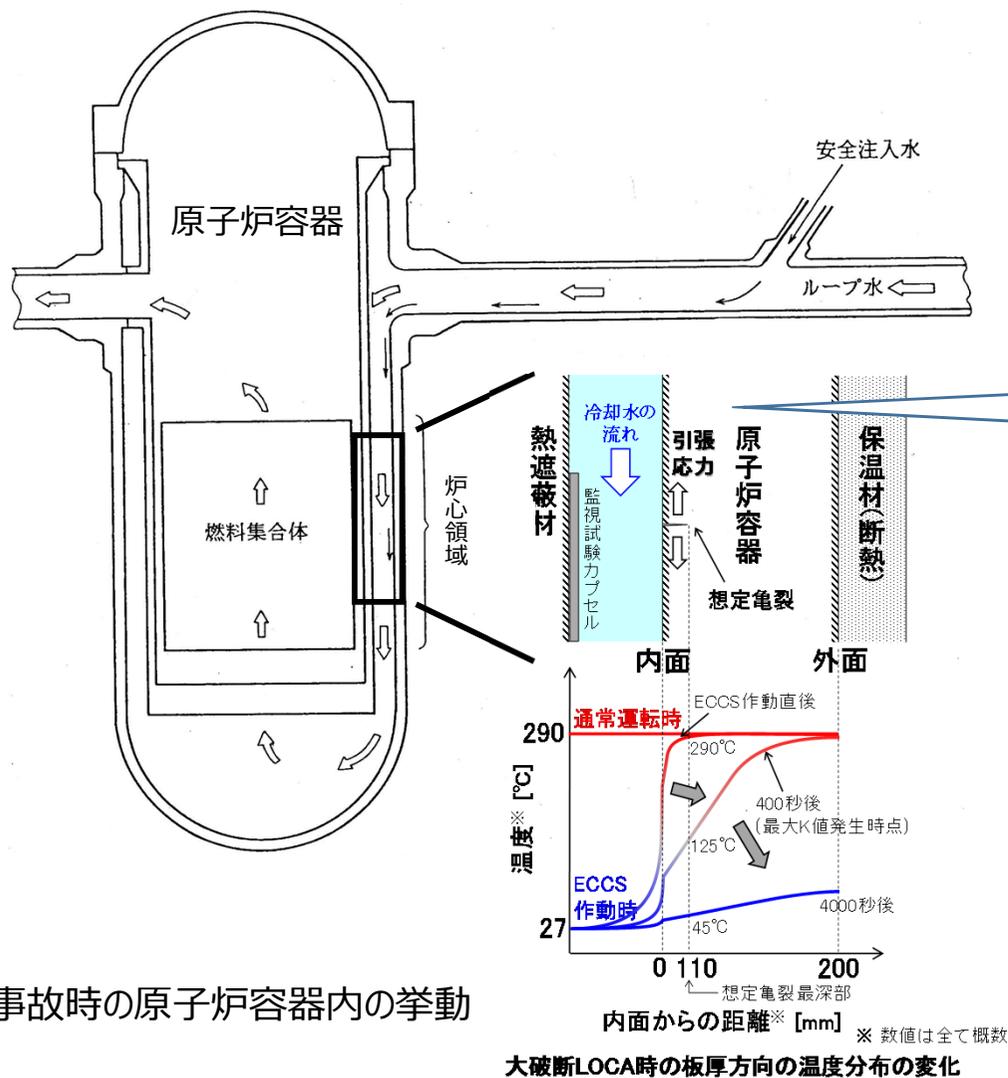
高浜2号炉 監視試験結果および脆化予測(母材)

次回第5回目の監視試験を50年目までに実施する。

【中性子照射脆化に対する健全性の評価】

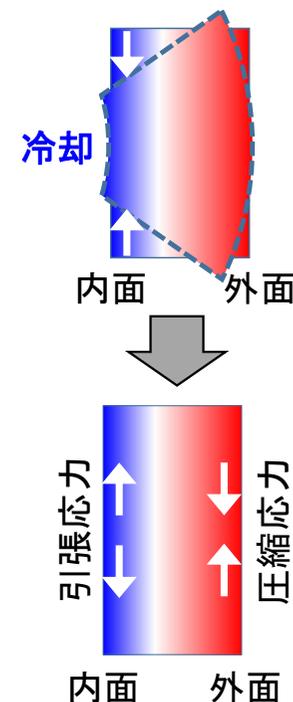
事故時に非常用炉心冷却系統（ECCS）が作動すると、原子炉容器内に冷却水が注入されるが、圧力が高い状態で原子炉容器の内・外面の温度差による力（熱膨張による力）と炉内の圧力が加わり、容器内面に大きな力が発生する。これを加圧熱衝撃（PTS）事象という。

劣化評価では、60年までの運転による原子炉容器の照射脆化の程度を評価し、原子炉容器内面に欠陥を仮定した状態で、加圧熱衝撃事象が発生しても原子炉容器の健全性が確保されることを評価している。



原子炉容器における熱応力発生イメージ

拘束がない状態では、冷却により内面が収縮し、点線のように変形する

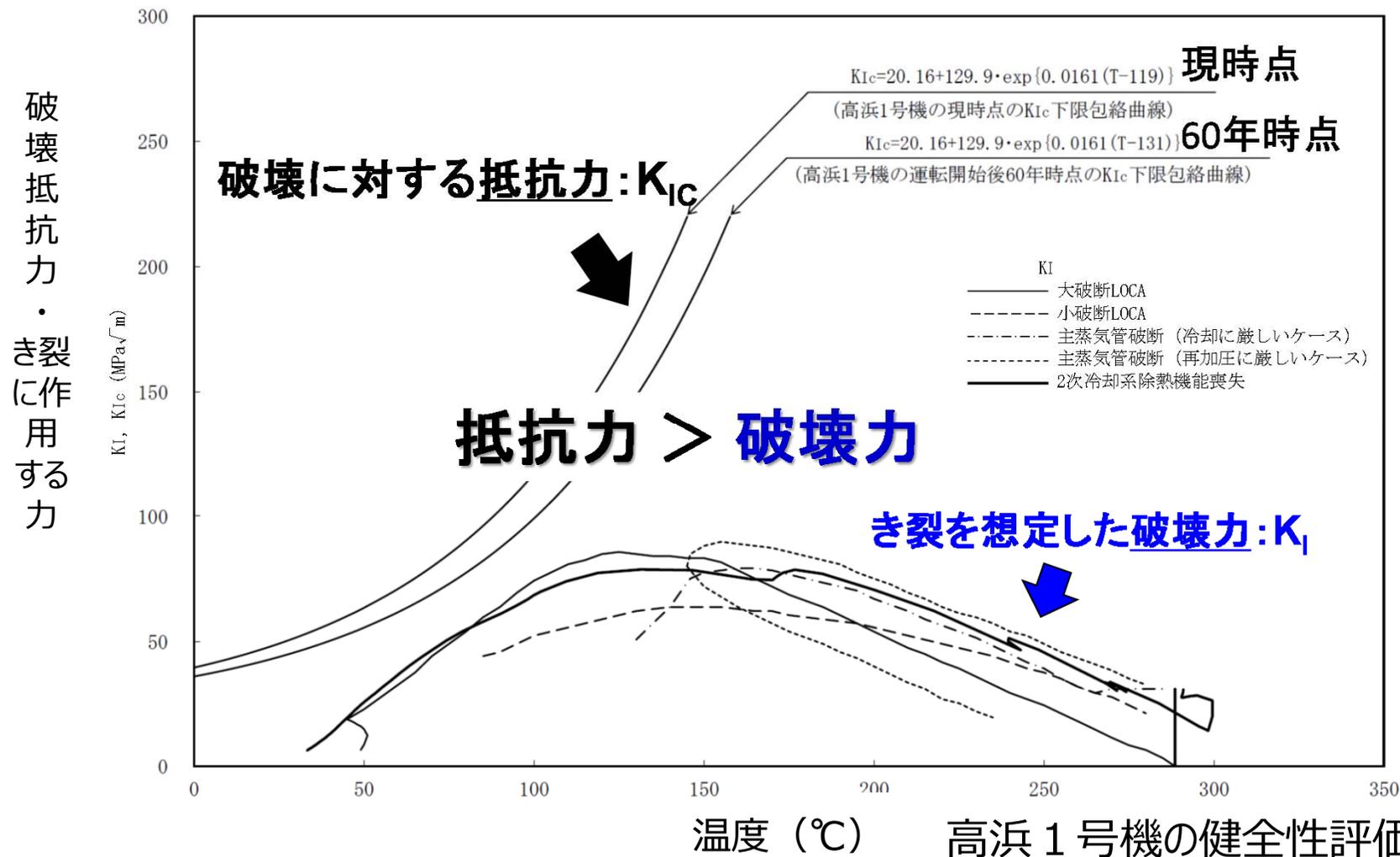


容器では形状が維持されるため、点線のような変形は生じない。このため、変形が拘束され、内面に引張応力、外面に圧縮応力が生じる

事故時の原子炉容器内の挙動

大破断LOCA時の板厚方向の温度分布の変化

【評価結果】 60年時点の脆化予測においても、抵抗力 K_{IC} が破壊力 K_I を上回るため、原子炉容器は健全と評価される。



評価では、原子炉容器内面に深さ10mmのき裂があると仮定しているが、特別点検※によりそのようなき裂のないことを確認している。

※：炉心領域全域に対し、原子炉容器内面から深さ5mm以上の欠陥を検出できる超音波探傷検査を実施

高浜 1 号機 原子炉容器 上部棚吸収エネルギーに関する評価

上部棚吸収エネルギーの予測式を用いて 60 年経過時点での上部棚吸収エネルギーの予測値を評価した。高浜 1 号機については、68 J を下回ったことから、「原子力発電所用機器に対する破壊靱性の確認試験方法 (JEAC4206-2007)」の規定に従い破壊力学評価を実施し、健全性に問題ないことを確認している。

60 年時点の上部棚吸収エネルギー予測値から材料のき裂進展抵抗 (J_{mat}) を算出し、各供用状態での想定欠陥に発生するき裂進展力 (J_{app}) と比較した結果、JEAC4206 に規定されている下記の項目を満足しており、健全性に問題ないことを確認した。

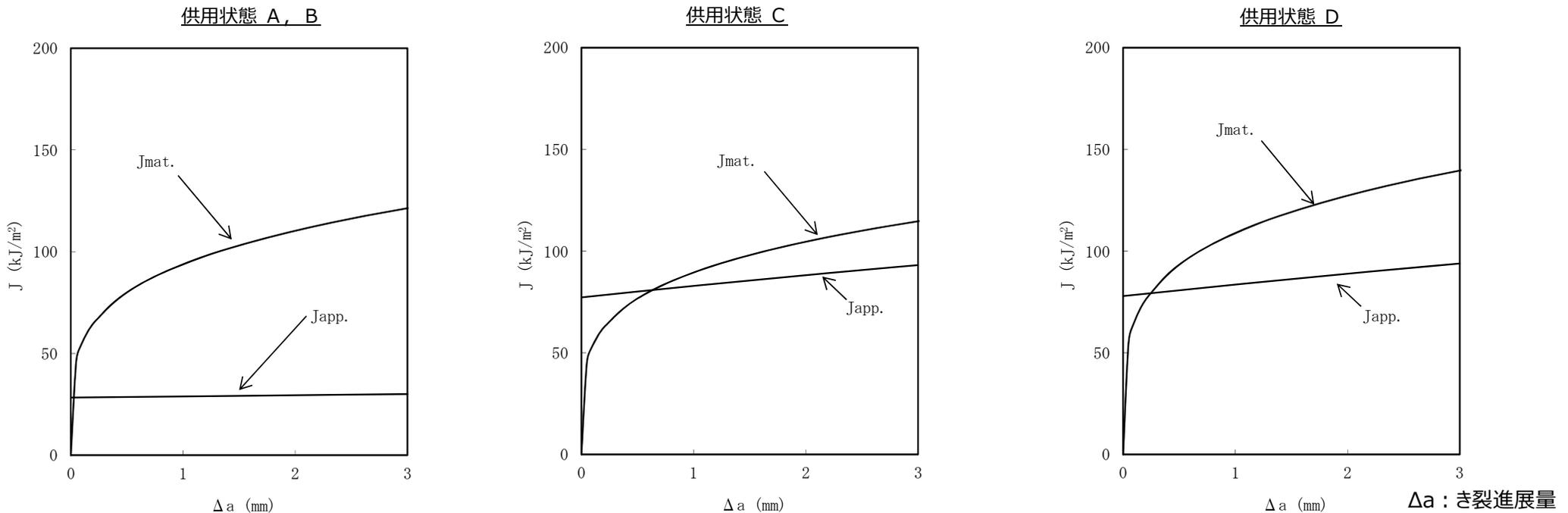
- ・延性き裂進展性評価の結果、き裂進展抵抗がき裂進展力を上回ることを確認した。
- ・き裂不安定性評価の結果、評価対象部位においてき裂進展抵抗とき裂進展力が等しい状態でき裂進展抵抗の微小変化率がき裂進展力の微小変化率を上回ることを確認した。
- ・欠陥深さ評価の結果、原子炉圧力容器胴部の評価対象部位において母材厚さの 75% を超えないことを確認した。
- ・塑性不安定破壊評価の結果、評価対象部位において塑性不安定破壊を生じないことを確認した。

上部棚吸収エネルギー予測値 (単位: J)

		初期値	2015年4月 時点*1	運転開始後 60年時点 *1*2
高浜 1号機	母材	98	69	65
	溶接金属	158	115	109
高浜 2号機	母材	141	108	104
	溶接金属	172	113	106

*1: 板厚 t の $1/4t$ 深さでの予測値
*2: 将来の設備利用率を 80% と仮定して算出

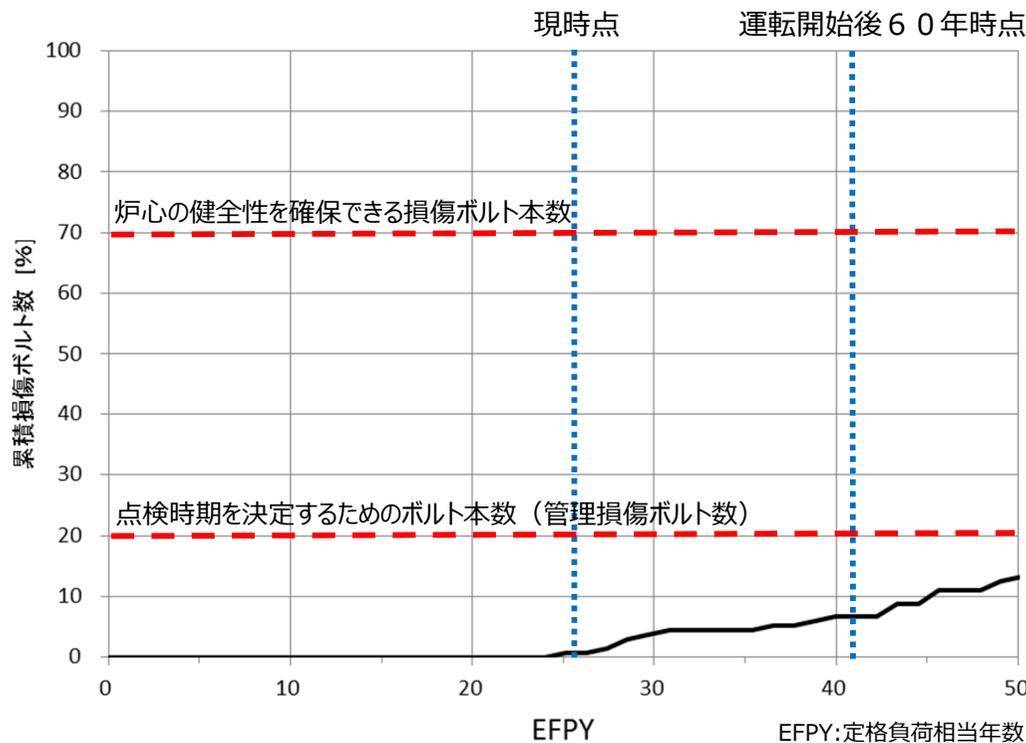
高浜 1 号機 破壊力学評価結果



炉内構造物の照射誘起型応力腐食割れの評価(1/3)

○バッフルフォーマボルトの評価

- 原子力安全基盤機構「照射誘起応力腐食割れ(IASCC)評価技術」事業で得られた最新知見を用いて評価した結果、高浜1、2号機の運転開始後60年時点でのボルトの損傷本数は、「日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格」に規定される管理損傷ボルト数※（全体の20%）以下であり、安全に関わる機能を維持。
- このことから、バッフルフォーマボルトの損傷が炉心の健全性に影響を与える可能性はないと評価。



※管理損傷ボルト数

維持規格に規定されているバッフルフォーマボルトの点検時期を決定するための管理基準となる本数。

維持規格においては、ボルト本数全体の約7割が損傷した場合でも炉心の健全性は確保可能であるとの評価がなされており、これに約3倍以上の余裕を持って設定。

【高浜1、2号機 バッフルフォーマボルトの累積損傷本数の予測】

炉内構造物の照射誘起型応力腐食割れの評価(2/3)

○炉内構造物の各部位の照射誘起型応力腐食割れの可能性

各部位の中性子照射量、温度、応力レベルを整理した結果、バップルフォーマボルトが評価上最も厳しい部位となる。

部位	実機条件			海外の 損傷事例	可能性評価
	中性子照射量レベル*1 [n/cm ² :E>0.1MeV]	応力レベル*2 (応力支配因子)	温 度 [°C]		
バップルフォーマボルト	9×10 ²²	大 (締付+熱曲げ +照射スウェリング)	323	有	中性子照射量、応力レベル、温度が他部位よりも高い。 海外損傷事例もあり、最も厳しい。
炉心バップル	9×10 ²²	小 (熱応力)	323	無	応力が小さいことから、発生の可能性はないと考えられる。
炉心バップル取付板	9×10 ²²	小 (熱応力)	323	無	応力が小さいことから、発生の可能性はないと考えられる。
バレルフォーマボルト	1×10 ²²	大 (締付+熱曲げ)	323	無	中性子照射量がバップルフォーマボルトに対する超音波探傷検査時より小さく、発生の可能性はないと考えられる。*3
炉心槽	1×10 ²²	大 (溶接部) (溶接残留応力)	323	無	中性子照射量がバップルフォーマボルトに対する超音波探傷検査時より小さく、発生の可能性はないと考えられる。*3
下部炉心板	5×10 ²¹	小 (熱応力)	289	無	中性子照射量がバップルフォーマボルトに対する超音波探傷検査時より小さく、応力、温度も小さいため発生の可能性はないと考えられる。*3
下部燃料集合体案内ピン	6×10 ²¹	中 (締付+熱曲げ)	289	無	中性子照射量がバップルフォーマボルトに対する超音波探傷検査時より小さく、応力、温度も小さいため発生の可能性はないと考えられる。*3
熱遮へい体	3×10 ²¹	大 (溶接部) (溶接残留応力)	289	無	中性子照射量がバップルフォーマボルトに対する超音波探傷検査時より小さく、温度も小さいため、発生の可能性はないと考えられる。*3
下部炉心支持柱	1×10 ²¹	大 (曲げ)	289	無	中性子照射量がバップルフォーマボルトに対する超音波探傷検査時より小さく、温度も小さいため、発生の可能性はないと考えられる。*3

*1：中性子照射量レベルは運転開始後60年時点での各部位の推定最大中性子照射量レベルを示す。

*2：応力レベルは各部位の最大応力値を示す。【大：> S_y（非照射材の降伏応力） 中：≒ S_y（非照射材の降伏応力） 小：< S_y（非照射材の降伏応力）】

*3：バップルフォーマボルトの超音波探傷検査時の中性子照射量は、3×10²² [n/cm²:E>0.1MeV]

炉内構造物の照射誘起型応力腐食割れの評価(3/3)

○米国 3 ループプラントにおけるバッフルフォーマボルトの点検結果

・バッフルフォーマボルトの損傷は、ボルト材質がSUS347で、ダウフローのプラントで発生。

	Farley 2号 (1981.7.30運転開始)	Farley 1号 (1977.12.1運転開始)	Surry 2号 (1973.5.1運転開始)	Surry 1号 (1972.12.22運転開始)	Robinson 2号 (1971.3.7運転開始)
点検時間	約15EFPY	約17EFPY	約28EFPY	約28EFPY	約31EFPY
ボルト材質	SUS316	SUS316	SUS347	SUS347	SUS347
バッフルバイパス 流れ方向	アップフロー	アップフロー	ダウフロー	ダウフロー	ダウフロー
損傷本数※	0本	0本	2本	1本	9本

※ : バッフルフォーマボルトの全数は1,088本
EFPY:定格負荷相当年数

○当社プラントにおけるバッフルフォーマボルトの点検結果

・超音波探傷検査の結果、バッフルフォーマボルトの損傷は見られなかった。

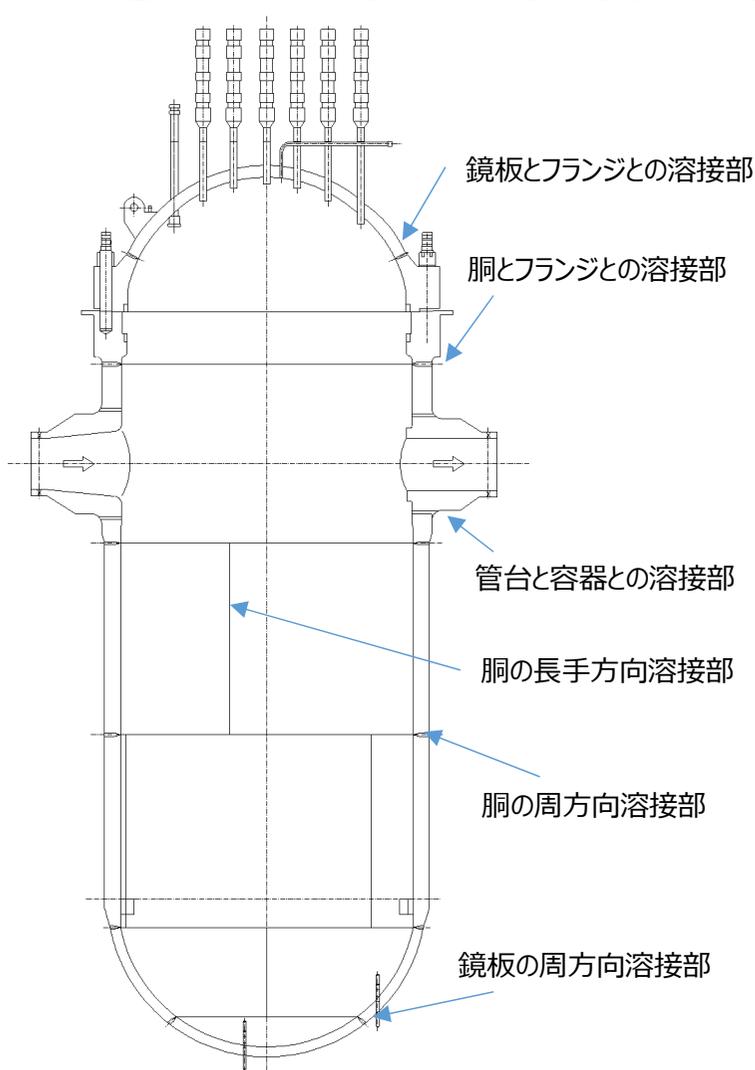
	美浜 3	高浜 1	高浜 2	高浜 3	大飯 1	大飯 2
点検時間	約14EFPY	約14EFPY	約12EFPY	約10EFPY	約10EFPY	約12EFPY
ボルト材質	SUS316CW	SUS316CW	SUS316CW	SUS316CW	SUS316CW	SUS316CW
バッフルバイパス 流れ方向	アップフロー	アップフロー	アップフロー	アップフロー	アップフロー	アップフロー
ボルト全数	1,088本	1,088本	1,088本	1,080本	832本	832本
損傷本数	0本	0本	0本	0本	0本	0本

1次冷却材系統設備に対する疲労評価について(1/5)

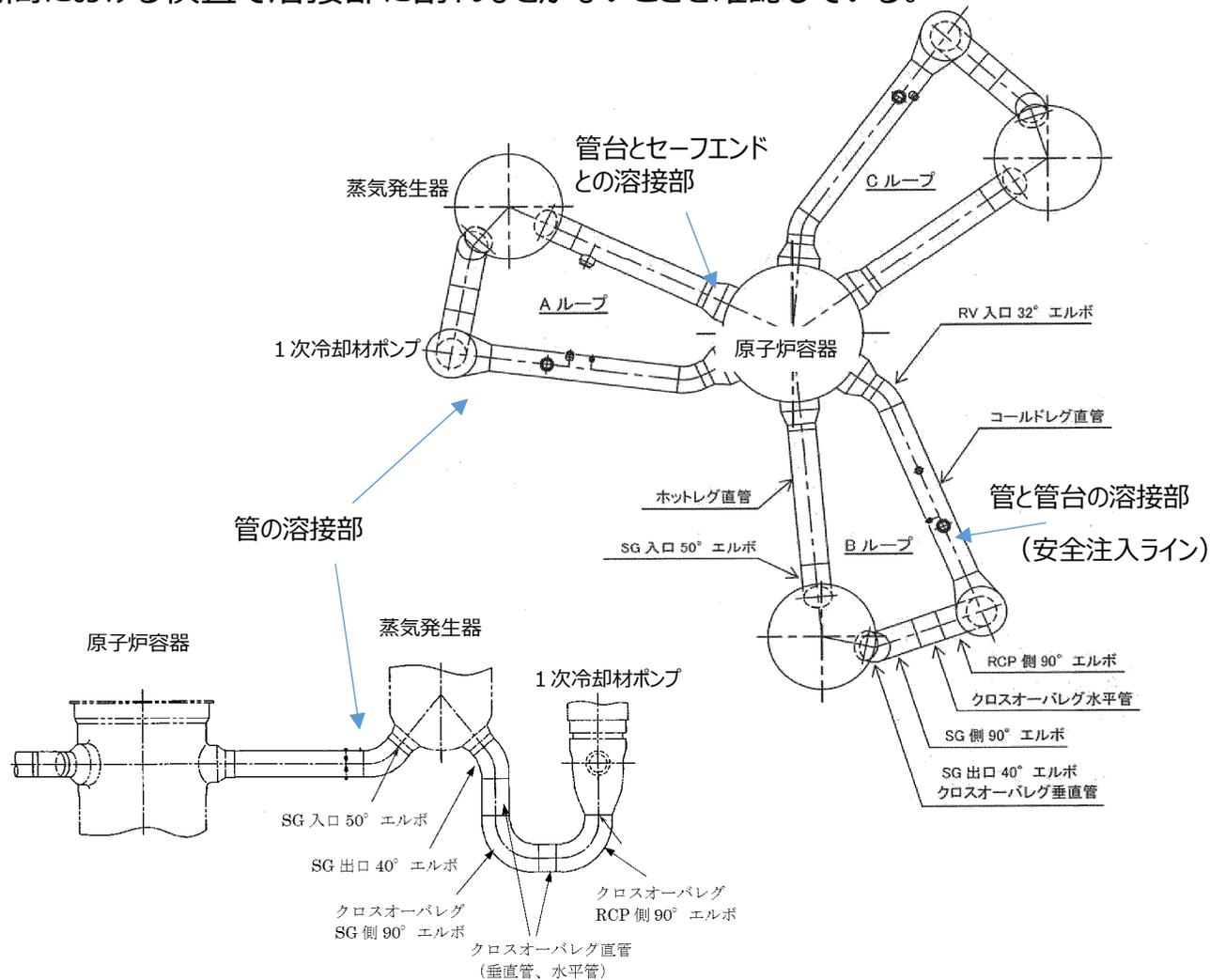
【1次冷却系統設備の溶接部について】

溶接部などの形状変化部では応力集中が起こりやすいため、一般には割れ等が発生することがあるが、原子炉容器では溶接部は平滑に施工されているため、応力集中が起きにくくなっている。また、製造時の検査、供用期間中の非破壊検査、今回実施した特別点検で割れ等の欠陥がないことを確認している。

その他、1次冷却材系統設備も同様に供用期間における検査で溶接部に割れなどがないことを確認している。



原子炉容器の溶接部 (例)



1次冷却材管の溶接部 (例)

【高経年化技術評価における振動の考慮】

高経年化技術評価では、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」を参考に、過去の運転経験から評価対象機器・部位に想定される経年劣化事象を抽出し、評価を実施。

経年劣化事象のうち機器の振動に関連する事象には、高サイクル疲労がある。高サイクル疲労発生の原因は、①機械的振動、②流体振動によるものなどが考えられるが、評価対象機器・部位に高サイクル疲労が想定される場合は、その原因を考慮した評価により健全性を確認。

〔 経年劣化メカニズムまとめ表の例（1次冷却材ポンプ） 〕

P01-11 ポンプ
（1次冷却材ポンプ（ターボポンプたて置斜流）／1次冷却材／ステンレス鋼）

機能達成に必要な項目	部位	材料	経年劣化事象
...
ポンプの容量 －揚程確保	主軸	ステンレス鋼	摩耗 疲労割れ（高サイクル疲労割れ）
	羽根車	ステンレス鋼 鋳鋼	摩耗
作動信頼性の維持	熱遮蔽装置ハウジング	ステンレス鋼 鋳鋼	疲労割れ（高サイクル熱疲労割れ）
バウダリの維持	ケーシング吐出ノズル	ステンレス鋼 鋳鋼	疲労割れ
...

①高経年化技術評価書における機械的振動考慮の例

・1次冷却材ポンプ

ポンプ運転時に主軸に繰り返し変動応力が発生し、段付部等の応力集中部に高サイクル割れが発生する可能性があるが、共振周波数を避けるなど設計上の考慮があり、試運転時の振動測定で異常のないことを確認。

・ステンレス鋼配管

1998年12月、大飯2号機の余熱除去系統配管ドレン弁管台で高サイクル疲労割れによる漏えいが発生。配管取替時にドレン管の口径変更により余熱除去ポンプと共振が発生、ドレン弁管台溶接部に応力集中が発生したものであり、対策として、配管の管台については運転中の振動調査等に基づく応力評価を行い、健全性を確認。

②高経年化技術評価書における流体振動考慮の例

炉内構造物の一部(炉心そうと熱遮へい体等)は冷却材の高速の流れによる振動が発生し繰り返し応力を受ける部位(炉心そう、熱遮へい体と炉心そう下端を締結しているたわみ金等)では高サイクル疲労割れが想定されるが、3ループプラントを対象とした1/5スケールモデル流動試験を実施し、問題のないことを確認。

【原子炉容器に対する疲労評価】

①高サイクル疲労に対する評価

経年劣化事象としての振動（高サイクル疲労）は、配管や炉内構造物等、様々な機器・部位に対して想定しているが、原子炉容器本体に対しては、以下のとおり健全性評価上の問題にならないと判断している。

なお、「経年劣化メカニズムまとめ表」でも想定される経年劣化事象とはなっていない。

- ・原子炉本体自体は、静的な容器であり、起振源となる部位を有していない。
- ・1次冷却材ポンプは常時振動監視しており、大きな振動が発生することはなく、原子炉容器は大重量であることから、1次冷却材ポンプ等周辺機器からの機械的な振動の影響を受けない。
- ・流体振動については、原子炉容器内を流れる1次冷却材(水)の流動による振動の影響を受けることがないよう設計。

以上のことから、原子炉容器本体に対しては、通常運転時の振動（機械的振動、流体振動）による高サイクルの疲労割れ等が問題になることはないと評価。

②低サイクル疲労に対する評価

一方、原子炉容器本体において、劣化評価上考慮が必要な金属疲労事象は、起動・停止等の運転に伴う過渡変化による荷重変動や、地震時の振動の影響である。

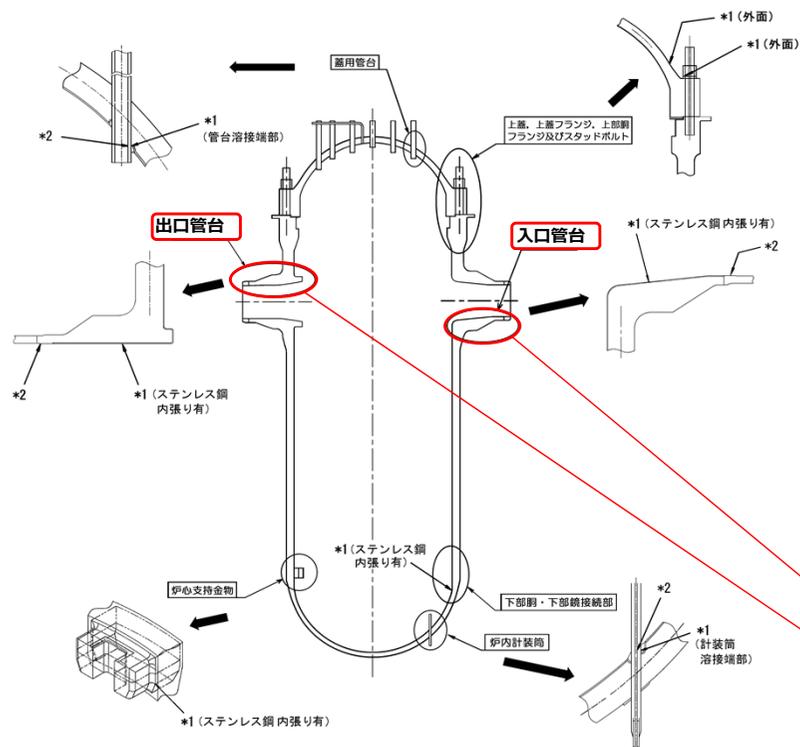
これらについては、劣化状況評価の中で60年までの運転に伴う荷重変動や地震影響を加えた疲労評価を行って疲労割れが発生することのないことを確認。

 次ページで説明

【低サイクル疲労に対する評価】

原子炉容器に対しては、供用期間中に繰り返される起動・停止等の運転操作による過渡変化（圧力、温度、流量の変動）および、地震による繰り返し荷重変動を考慮して疲労評価を行っている。

【原子炉容器 冷却材出入口管台に対する評価】



原子炉容器の疲労評価対象部位

	【高浜1号機】主な想定事象の例	運転実績+60年までの想定回数
I	起動 (温度上昇率55.6℃/h)	99
	停止 (温度下降率55.6℃/h)	99
	負荷上昇 (負荷上昇率5%/min)	710
	負荷減少 (負荷減少率5%/min)	687
	90%から100%へのステップ状負荷上昇	5
	100%から90%へのステップ状負荷減少	6
	燃料交換 他...	55
II	負荷の喪失	4
	外部電源喪失	5
	1次系漏えい試験 他...	105

Sd地震
Ss地震
による繰り返し荷重



冷却材入口/出口管台の疲労評価結果

評価対象部位	疲労累積係数 (許容値：1以下)	
	1号機	2号機
冷却材入口管台	0.054	0.044
冷却材出口管台	0.066	0.053

【評価結果】

60年時点までの疲労累積係数が、許容基準の1以下であることから、疲労割れ発生の可能性はないと評価

1 次冷却材系統設備に対する疲労評価について(5/5)

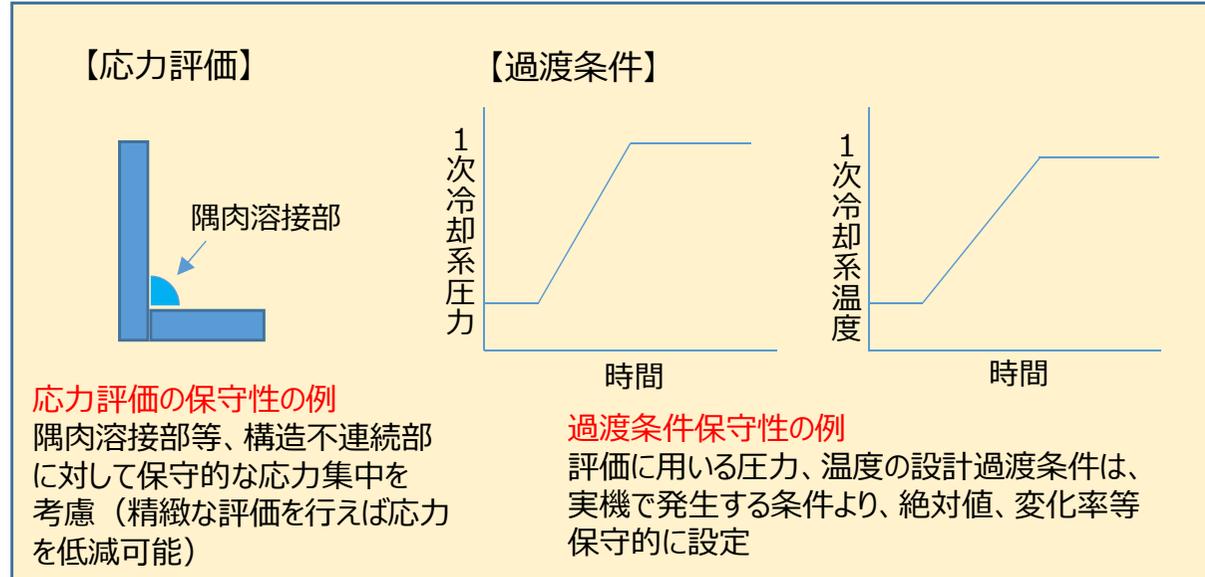
疲労評価では、評価を行うための様々な前提条件に保守性を考慮しており、それらを組み合わせた結果で評価を行うため、結果として大きな保守性を含んでいる。

【過渡回数】

- 起動 99回
- 停止 99回
- 負荷上昇 710回
- 負荷減少 687回
- ...

過渡回数の保守性の例

実績発生回数に対して将来分の発生回数を保守的に考慮



疲労評価点に対して、各過渡におけるピーク応力を計算

各過渡におけるピーク応力整理（イメージ）

過渡	ピーク応力 (Max)	ピーク応力 (Min)	繰返し回数
起動 (A)	1000	0	99
停止 (B)	500	100	99
負荷上昇 (C)	200	-500	710
負荷減少 (D)	300	-600	687

繰返しピーク応力強さが最大となる過渡の組合せを決定

過渡組み合わせによる繰返しピーク応力強さ整理（イメージ）

過渡組合せ	繰返しピーク応力強さ	繰返し回数
A-D	$(1000 + 600) / 2 = 800$	99
B-D	$(500 + 600) / 2 = 550$	99
D-D	$(300 + 600) / 2 = 450$	489
D-C	$(300 + 500) / 2 = 400$	198
C-C	$(200 + 500) / 2 = 350$	512

過渡組合せの保守性の例

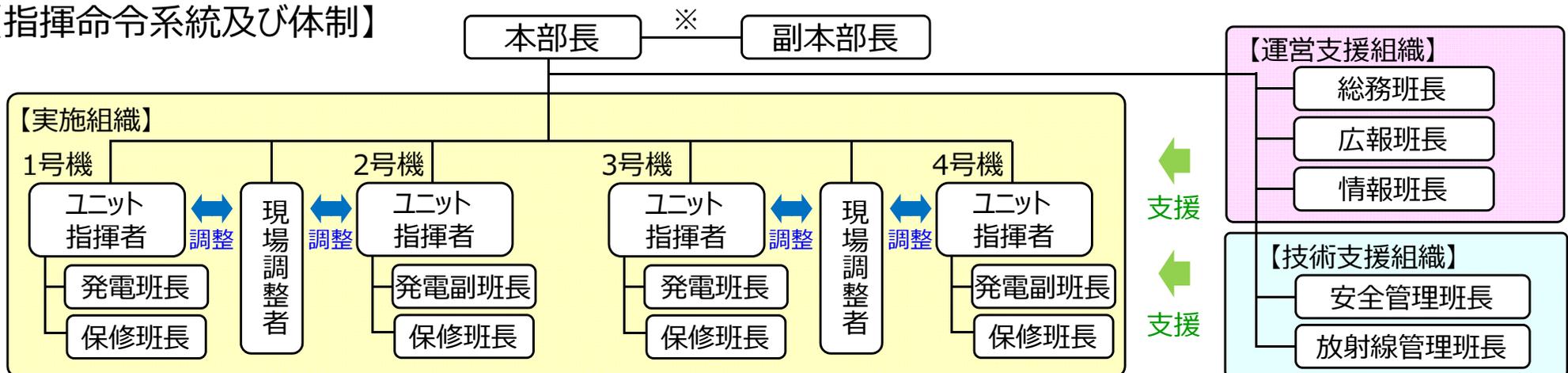
評価に用いる過渡組合せは繰返しピーク応力強さが大きくなるように組合せており、実際に運転操作では発生しないような組合せにもなることから、保守的に評価。

高浜発電所緊急時対策所設置工事

4 基同時発災害時の緊急時対策所対応(1/2)

- 同時発災時の本部長、情報班長の負担を考慮し、プラント対応は各ユニットに配置するユニット指揮者のもと独立して実施できる体制。
本部長はサイト全体の状況把握に努めるとともに必要に応じて、ユニット間の調整。
- 通報連絡では、情報班員が各ユニットから情報を収集し、情報班長がこれを集約、整理して発信する体制。
- 通信連絡設備(警報装置、通信設備、データ伝送設備)は、多重性、多様性を確保。
また、通信設備は、各ユニットの事故収束に必要な台数を確保。
- 意思決定を行うための遮音した小会議スペースを確保。
- シビアアクシデント事故に対しても、耐震性、耐津波性を有する。
万一、使用できなくなった場合は、状況に応じて、免震事務棟などあらかじめ指定する代替スペースに、通信連絡及び情報収集などの緊急時対策所機能を移すことにより機能を維持するための手順を準備。

【指揮命令系統及び体制】

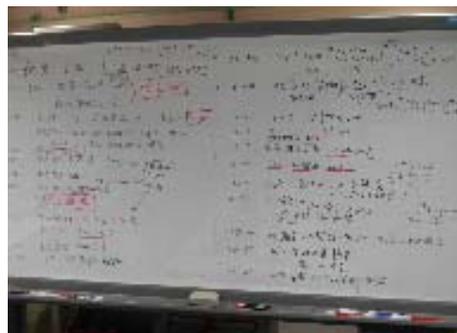


※：状況によっては、本部長と副本部長が2ユニットずつ分担してユニット間の調整を行うことも可能

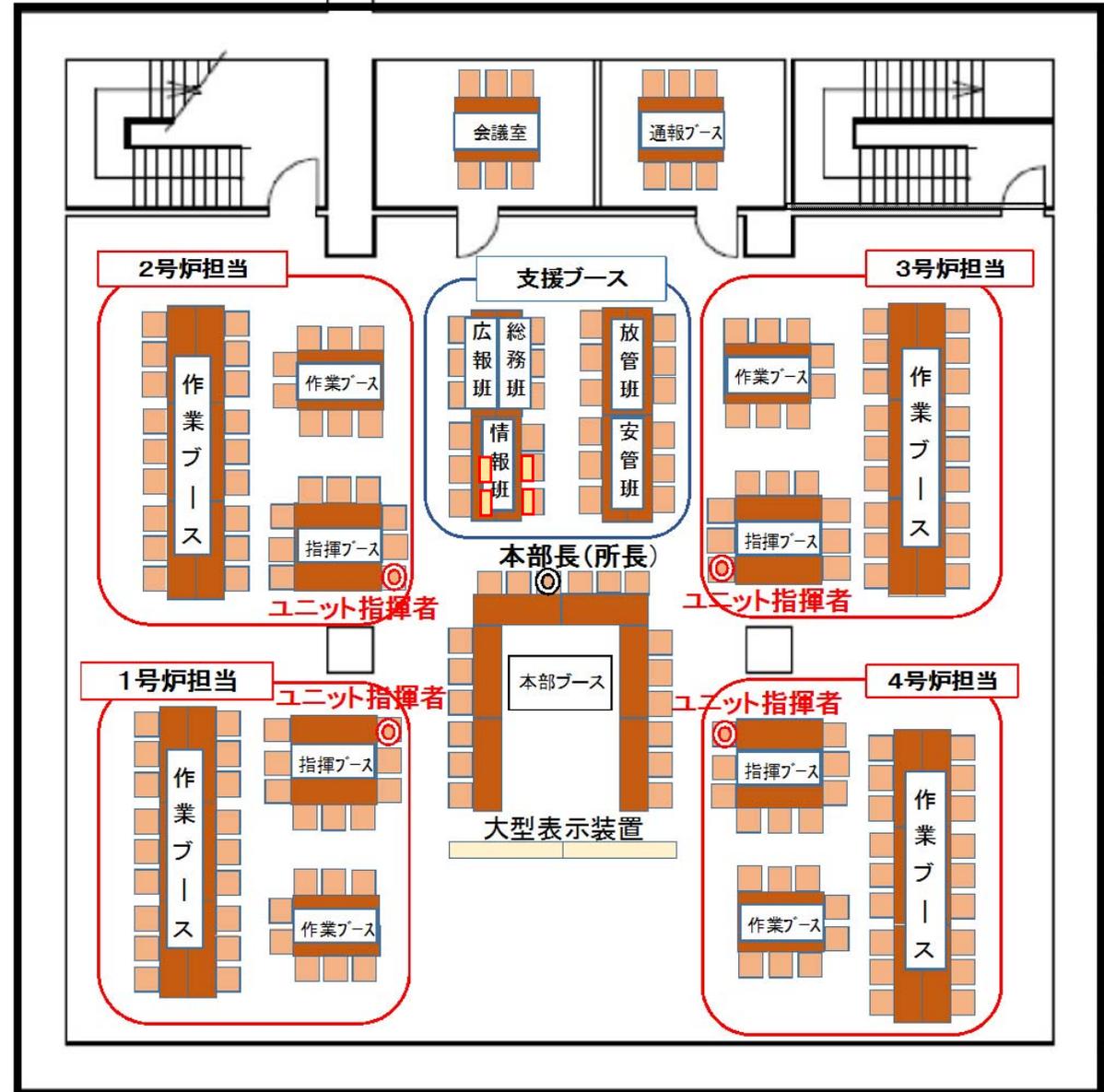
【指揮命令系統を踏まえた緊急時対策所レイアウト】

- ユニット毎にブースを分離し、それぞれにユニット指揮者、実施組織を配置。
- 本部ブースを中央に配置し、本部長は全体の状況を把握。
- ブース間は自由に移動できるよう通行幅を確保。
- 収容人数最大約200人
(必要な要員数を収容)
- 必要により少人数での落ち着いた議論も実施できるよう、遮音された小会議スペースを確保。
- 本部要員が常に状況を把握できるよう、大型表示装置、SPDS※表示端末、ホワイトボード等にプラント状態を掲示するとともに、適宜実施するブリーフィングにより、対応方針を共有。

※：安全パラメータ表示システム



(緊急時対策所地下階)



4 基同時発災害時の事故時対応要員の体制について

発電所構内に常駐する初動対応要員と事故発生から6時間以内※に召集する要員の体制は以下のとおり。
 (1～4号機の全号機において事故(格納容器加圧破損)が発生した場合を想定)

※：大規模自然災害による交通手段の途絶を想定した場合でも6時間以内に確実に参集

【高浜3、4号機】

	3号機	4号機	備考
全体指揮者	1人		
ユニット指揮者	1人	1人	ユニットごとに指揮を行う
現場調整者	1人		3,4号機の各操作場所内での調整を行う
通報連絡者	1人	1人	
本部要員	(+召集5人)	(+召集5人)	保修班,総務班,情報班,安管班,放管班 (各1人/号機)
運転員	24人 (内1,2号炉 12人)		
ガレキ除去要員	4人		
消火活動要員	7人		
給水・設備・電源・ 運転支援要員	29人 (+召集38人)		
合計	初動対応要員70人 (+召集48人)		

【高浜1、2号機 (1～4号機)】

	1号機	2号機	3号機	4号機	備考
全体指揮者	1人				
ユニット指揮者	1人	1人	1人	1人	ユニットごとに指揮を行う
現場調整者	1人		1人		1,2号機/3,4号機の各操作場所内での調整を行う
通報連絡者	1人	1人	1人	1人	
本部要員	(+召集5人)	(+召集5人)	(+召集5人)	(+召集5人)	保修班,総務班,情報班,安管班,放管班 (各1人/号機)
運転員	12人		12人		
ガレキ除去要員	4人		4人		
消火活動要員	7人(+7人)				+7人は給水・設備・電源・運転支援要員を兼ねる
給水・設備・電源・ 運転支援要員	33人		29人 (+召集38人)		1,2号機は送水車(3,4号は消防ポンプ使用)の導入等により、初動対応要員のみで対応が可能
合計	初動対応要員112人 (+召集58人)				