

【資料2】
滋賀県原子力安全対策連絡協議会
令和3年(2021年)12月22日



新規制基準等を踏まえた 美浜発電所の安全確保について

2021年 12月22日

目次

○美浜発電所 3 号機および 高浜発電所 1, 2 号機の安全対策と 40年超運転について.....	1 ~ 36
＜令和 2 年度 第 2 回 滋賀県原子力安全対策連絡協議会（2021.1.25）説明資料＞	参考1 ~ 参考13
○各発電所の状況等について	37 ~ 48

○美浜発電所 3 号機および 高浜発電所 1, 2 号機の安全対策と 40年超運転について

<令和 2 年度 第 2 回 滋賀県原子力安全対策連絡協議会 (2021.1.25) 説明資料>

1. 美浜発電所 3号機および 高浜発電所1,2号機の安全対策について

原子力発電のしくみ

○原子炉の中で発生した高温高圧の熱水を利用して、蒸気発生器で蒸気を作ります。
この蒸気でタービン・発電機を廻し、電気を作っています。

蒸気をつくるしくみ

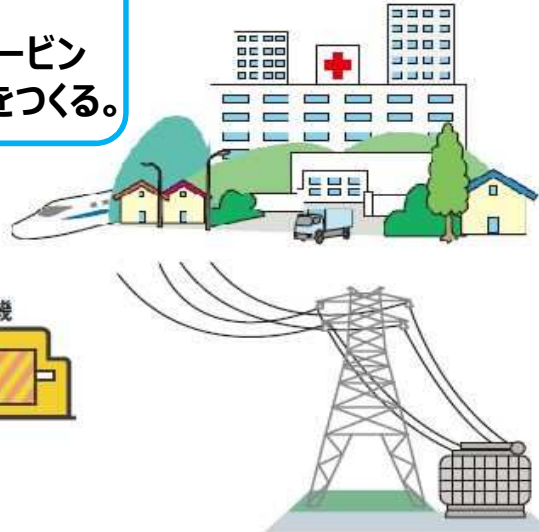
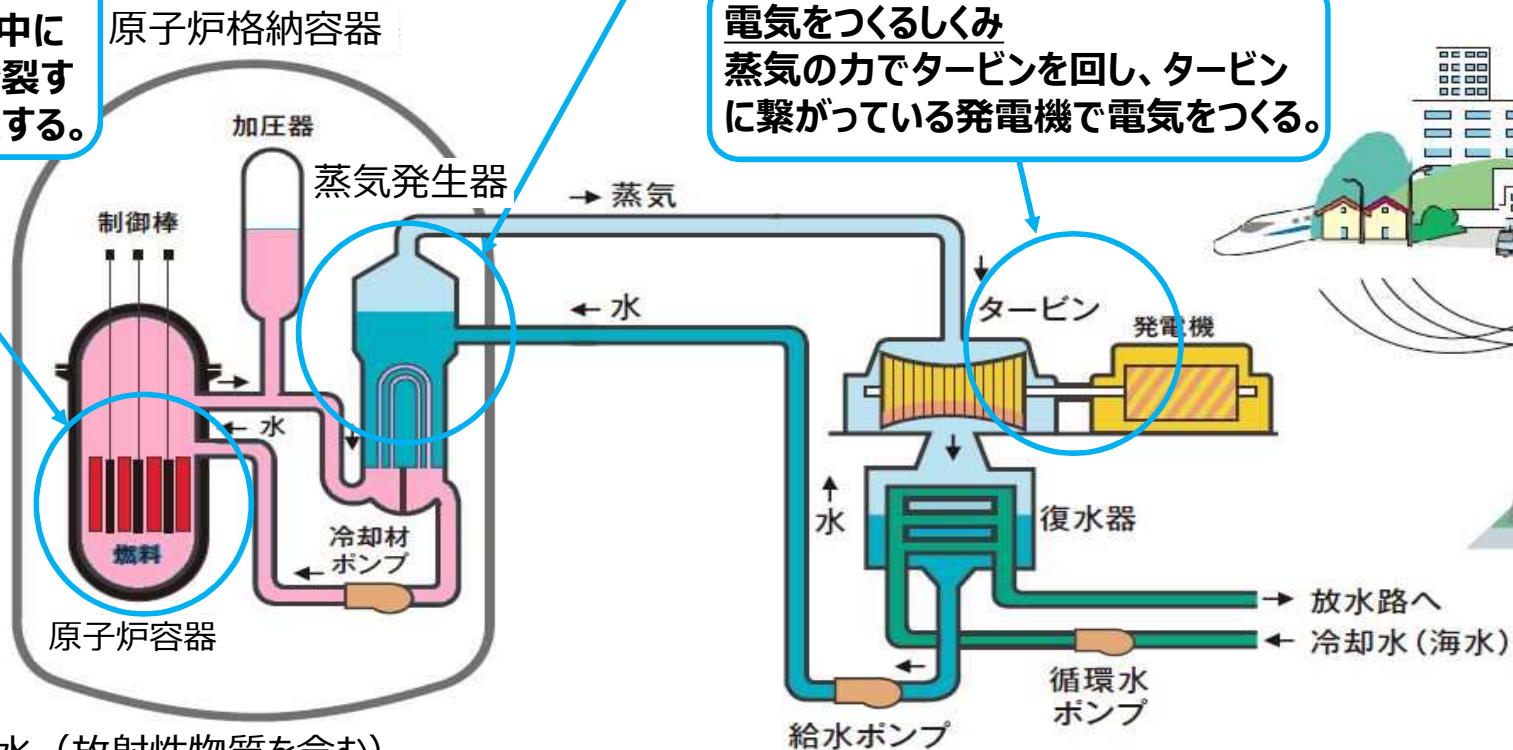
原子炉の中で核分裂により熱せられた1次系の水の熱（約300度）が、蒸気発生器で2次系に伝わり、2次系の水が蒸気になる。

熱をつくるしくみ

原子炉内の燃料棒の中にあるウラン燃料が核分裂することにより、熱を発生する。

電気をつくるしくみ

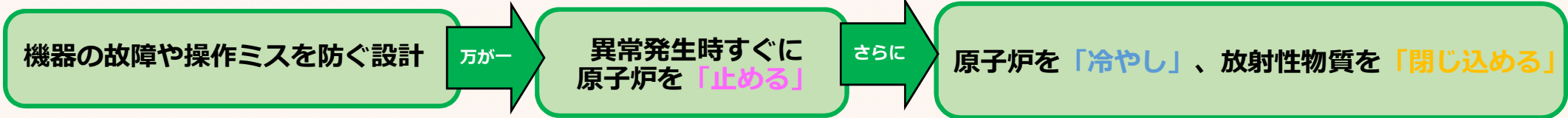
蒸気力でタービンを回し、タービンに繋がっている発電機で電気をつくる。



- 1次系の水 (放射性物質を含む)
- 2次系の水 (放射性物質を含まない)
- 海水

従来の安全対策 - 設計の工夫「多重防護」-

原子力発電では、「止める」「冷やす」「閉じ込める」を実現することで安全を守ります。



余裕を持った安全設計

設備の更新や材料強度に関する社内基準は、法令より厳しい数値にするなど、安全に余裕をもたせています。

フェイル・セーフシステム

万が一、誤作動・誤操作が行われた場合、安全側になるよう設計されています。



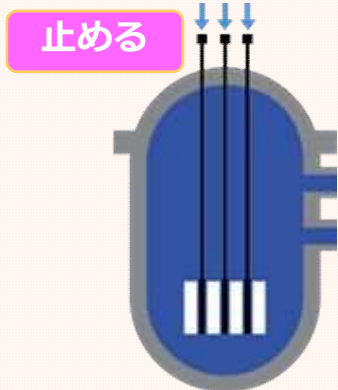
例えば故障や停電などで踏切が作動しなくなると、遮断棒が重力によって下り、車や人の侵入を防ぐシステムと同じ

インターロック・システム

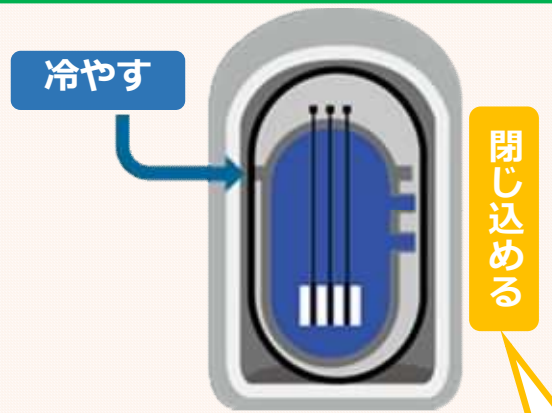
万が一、人間が間違った操作をしても動きません。



例えばオートマチック車でボタンを押しながらでないとバックにチェンジできないのと同じ



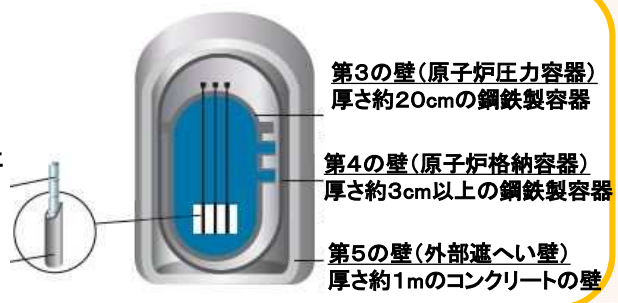
万が一、異常が起きても、異常を早期に発見し、自動的に制御棒を挿入し、直ちに核分裂を止め、事故を拡大させないようにになっています。



万が一、事故の際も、放射性物質を原子炉の外に出さないよう、自動的に原子炉を冷やし、5重の壁で、放射線と放射性物質を閉じ込めます。

5重の壁

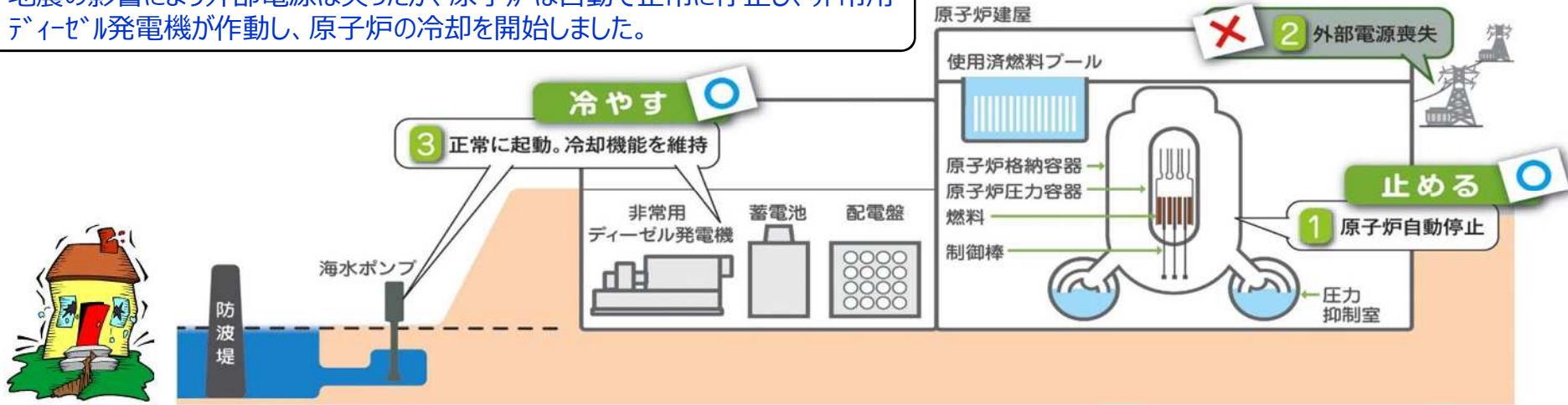
- 第1の壁(ペレット) ウランを陶器のように焼き固めたもの
- 第2の壁(被覆管) 特殊合金の管
- 第3の壁(原子炉圧力容器) 厚さ約20cmの鋼鉄製容器
- 第4の壁(原子炉格納容器) 厚さ約3cm以上の鋼鉄製容器
- 第5の壁(外部遮へい壁) 厚さ約1mのコンクリートの壁



福島第一原子力発電所事故の事故と原因

<地震によって起きたこと>

地震の影響により外部電源は失ったが、原子炉は自動で正常に停止し、非常用ディーゼル発電機が作動し、原子炉の冷却を開始しました。



<津波によって起きたこと>

地震発生後約50分後に14mを超える津波が来襲し、地下の非常用ディーゼル発電機、電源設備が水没し停止したため、原子炉、使用済燃料プールの冷却機能を失いました。また、炉心損傷が起こり、水素が発生。水素が原子炉原子炉建屋に漏れ出し、水素爆発が起こり、放射性物質を閉じ込める事が出来なくなりました。



福島第一原子力発電所事故以降の取組み（新規制基準）

2013年7月、福島第一原子力発電所の事故を教訓とした規制基準が原子力規制委員会より新たに施行されました。新規制基準では、福島第一原子力発電所の事故の教訓のみならず、様々な自然災害やテロ対策などの幅広いリスクに備えた基準となっています。関西電力では、これらの基準に適合させることはもちろん、さらに自主的な取組みを進めています。

<従来の規制基準>

重大事故を防止するための基準

事業者の自主保安

自然現象に対する考慮

火災に対する考慮

電源の信頼性

その他の設備の性能

耐震・耐津波性能

<新規制基準>

重大事故を防止するための設計基準を強化するとともに、万が一、重大事故やテロが発生した場合に対処するための基準を新設

意図的な航空機衝突への対応

放射性物質の拡散抑制対策

格納容器破損防止対策

炉心損傷防止対策
(複数の機器の故障を想定)

自然現象に対する考慮
(火山・竜巻・森林火災を新設)

火災に対する考慮

電源の信頼性

その他の設備の性能

耐震・耐津波性能

テロ対策を**新設**

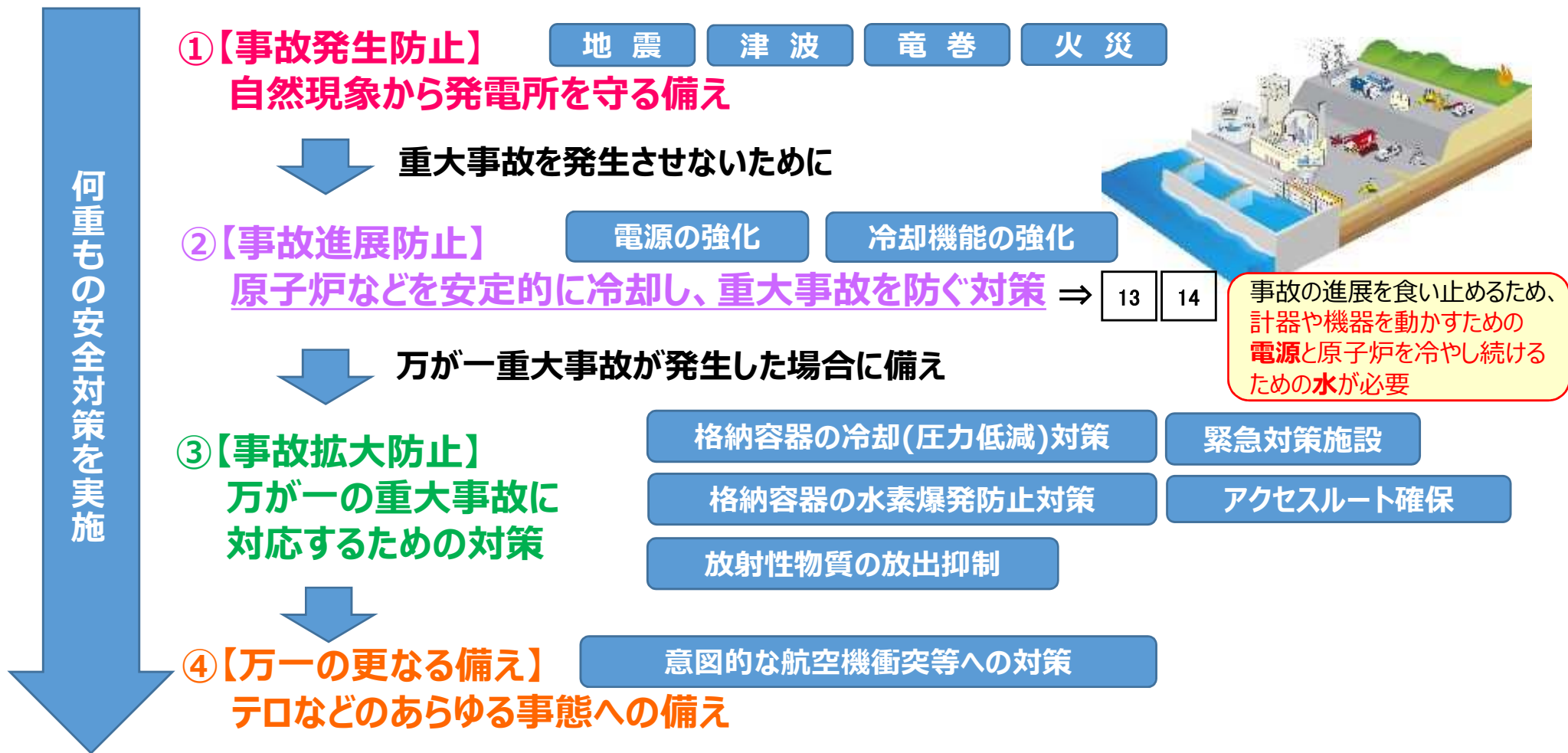
重大事故対策を**新設**

設計基準の**強化または新設**

地震・津波への設計基準の**強化**

原子力発電所の安全確保

○東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故を教訓として、事故を起こさない、起こったとしても進展・拡大を防ぐ対策を多重化・多様化することで、**当社は規制の枠組みにとどまることなく、自主的かつ継続的な安全性向上対策を実施しています。**



地震動の策定

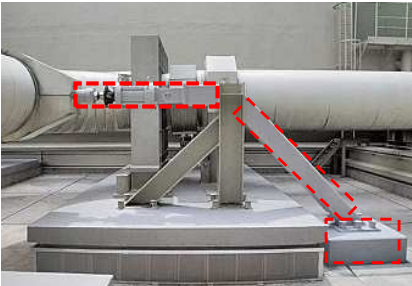
○想定される最大規模の地震の揺れ（基準地震動）を最大加速度993ガルと評価し国が許可

- 基準地震動は、発電所敷地への影響が大きいと考えられる地震の断層を選定し評価しました。
- より安全側に立ち、安島岬沖～関ヶ原断層を「不確かさ」のケースとして考慮しました。
- 震源の上端深さの想定を4Kmから3 kmに設定しました。
- 震源を特定せず策定する地震動を考慮しました。

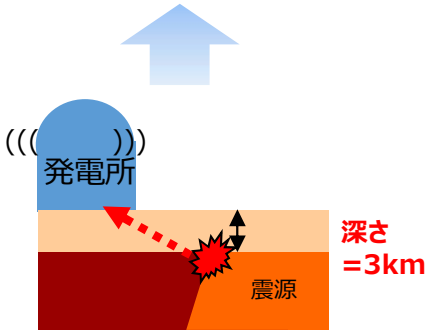
【敷地周辺の主な断層の分布】



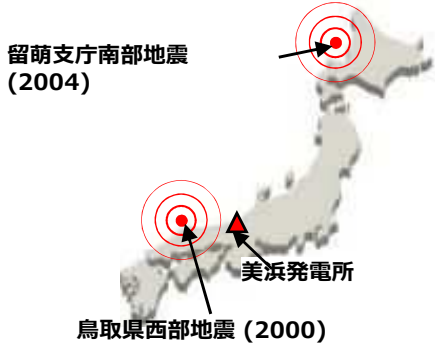
配管補強の例



最大加速度993ガル



断層が特定されていない地域で発生した地震



<参考>

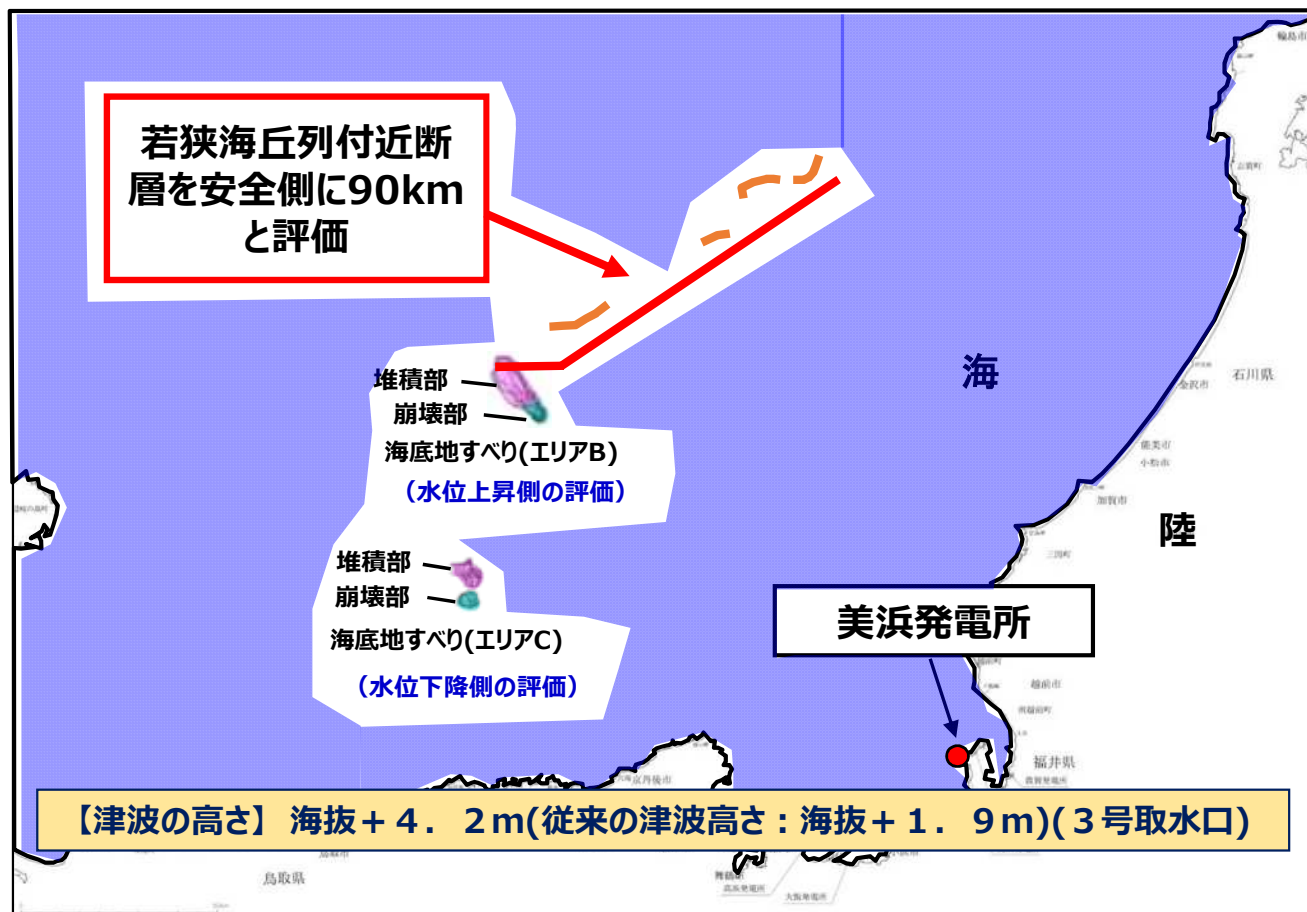
発電所	従来の基準地震動 (2009.3に国に報告)	現在の基準地震動 (2016.10に国が許可)
美浜発電所	750	993

加速度から単純に震度を求める事は出来ませんが、ある状況の下では、加速度が600ガルであれば、震度7に相当します。
(気象庁 HPより)

津波高さの策定

- 若狭海丘列付近断層を安全側に90kmとし、海底地すべり等の重畳を考慮して、**津波の高さを、海拔+4.2mと評価**

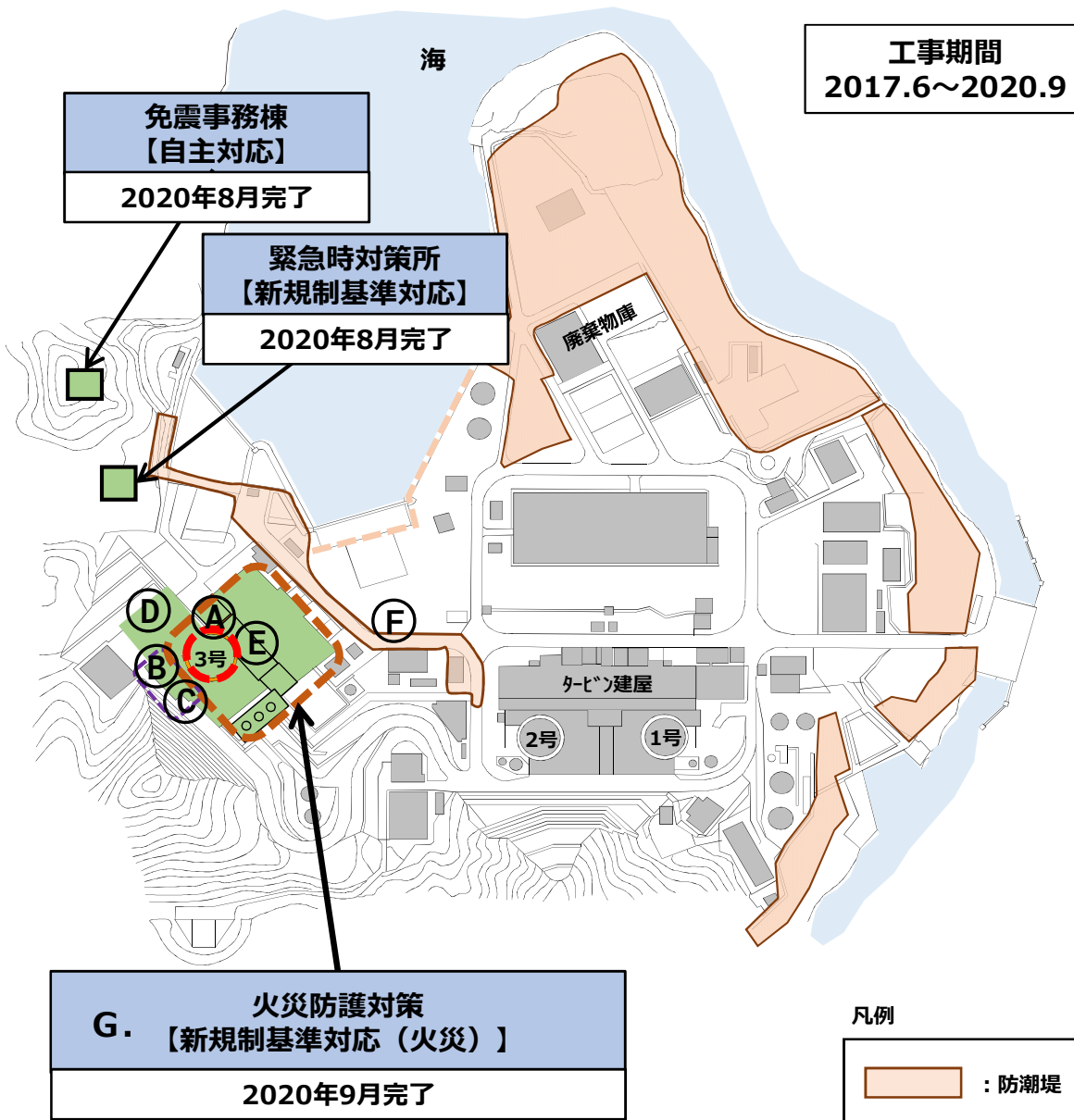
津波に関する断層の位置



施工後 (+5.5~6.0m)

美浜3号機 主な安全性向上対策

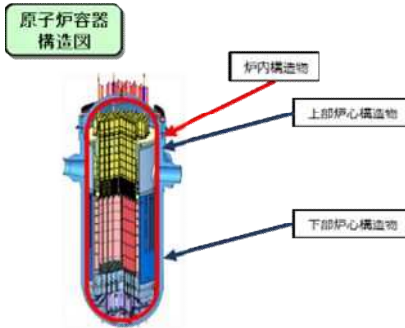
- A. 炉内構造物取替
【新規制基準対応（耐震）】
2020年6月完了
- B. 使用済燃料ピット補強
【新規制基準対応（耐震）】
2020年3月完了
- C. 使用済燃料ピットラック取替
【新規制基準対応（耐震）】
2020年4月完了
- D. 構台設置
【新規制基準対応（耐震）】
2020年3月完了
- E. 中央制御盤取替
【保守性向上】
2020年6月完了
- F. 防潮堤設置
【新規制基準対応（津波）】
2020年8月完了



美浜3号機 主な安全性向上対策の概要

A:【炉内構造物取替】

・炉内構造物を最新型に取替

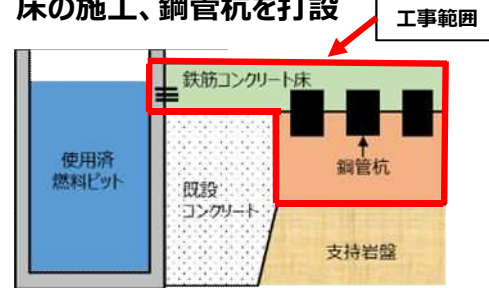


【新炉内構造物（外観）】



B:【使用済燃料ピット補強】

・支持岩盤に鉄筋コンクリート造の床の施工、鋼管杭を打設



C:【使用済燃料ピットラック取替】

・床に固定しない「フリースタANDINGラック」に取替



D:【構台の設置】

・盛土の敷地部を削り、新たに構台を設置



E:【中央制御盤取替】

・アナログ式から最新のデジタル式に取替



F:【防潮堤設置】



防潮堤

・耐津波性
(T.P.+4.0~4.2m)
向上のため防潮堤
(T.P.+5.5~6.0m) を設置

G:【火災防護対策】

・重要なケーブルを燃えにくい難燃ケーブルへ引替
・ケーブルトレイに防火シートを施工



【緊急時対策所】

・事故制圧・拡大防止を図るための対策本部



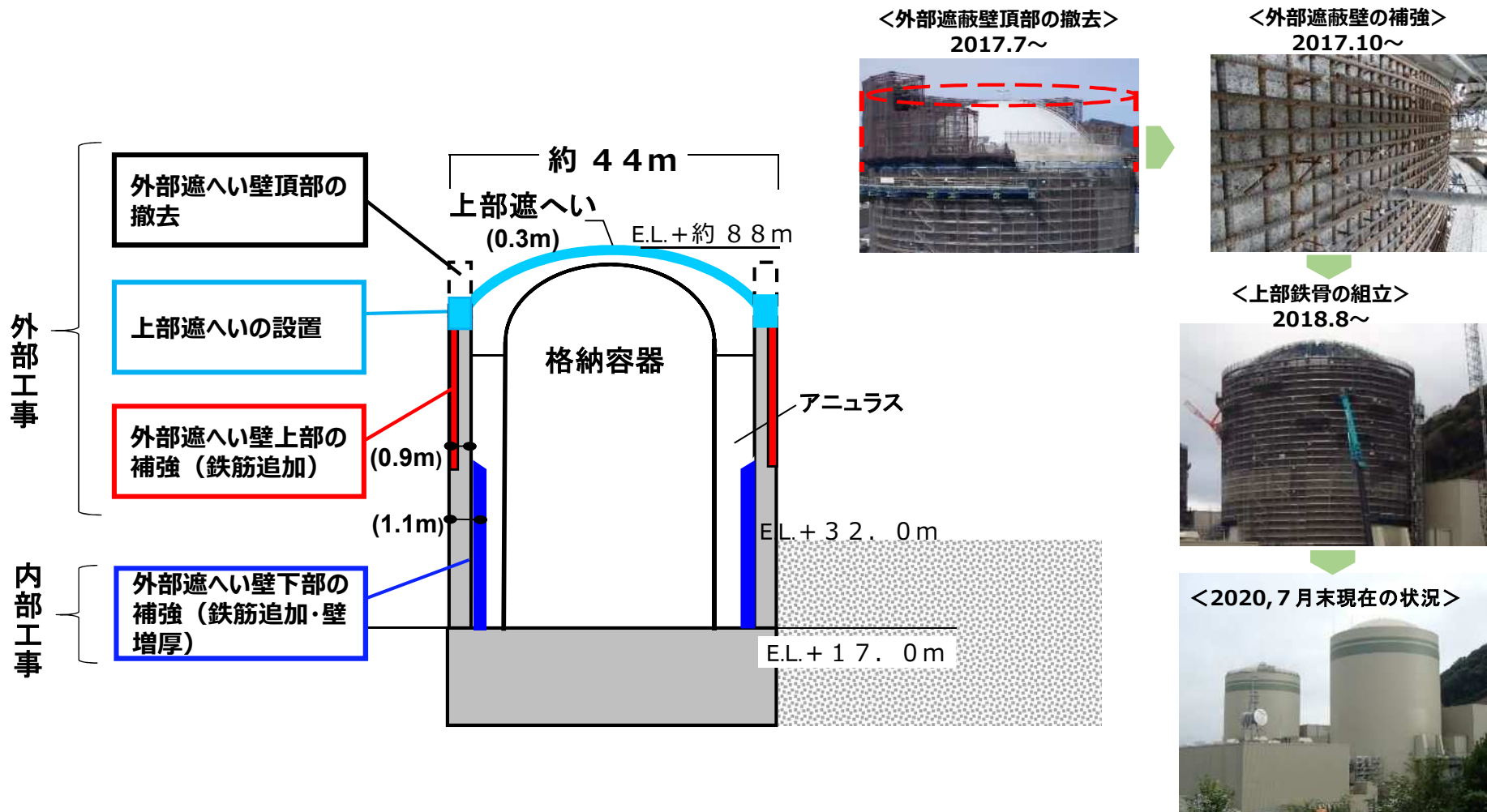
【免震事務棟】

・事故が長期化した場合の支援
(要員待機、資機材保管)



高浜1,2号機 原子炉格納容器上部遮へい設置

- 重大事故時に格納容器からの放射線を弱めるために、格納容器上部にドーム状の鉄筋コンクリート造の遮へいを設置しました。
- 外部遮蔽壁の増厚ならびに補強を実施しました。
- この工事により、**発電所内で事故対応にあたる作業者の被ばくだけでなく、発電所周辺への影響も低減されます。**



電源の確保(多重化・多様化)

<設計基準事故対処設備>



外部電源
(5回線)

外部電源
喪失時

非常用ディーゼル発電機
(2台)
【3,900kW/台】

使用できない
場合に備え

空冷式非常用発電装置
(2台)
【1,460kW/台】

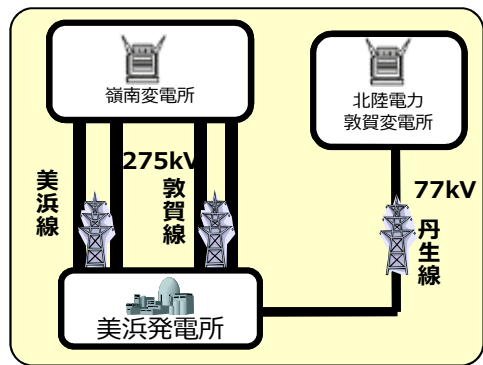
更なるバック
アップ

※：多様性拡張設備

号機間電力融通※
(1,2~3号機：1組+予備1組)

更なるバック
アップ

電源車
(2台+予備1台)
【488kW/台】



<主なバックアップ機器>

【恒設代替電源】
空冷式非常用発電設備



【可搬式代替電源】
電源車



・津波の影響を受けない高台に設置

《凡例》

1 新規設備

給水手段の確保(多重化・多様化)

《凡例》

■ 新規設備

＜主なバックアップ機器＞

恒設代替低圧注水ポンプ

新



(1台)

可搬式代替低圧注水ポンプ

新



(2台+予備1台)

送水車

新



(2台+予備1台)

使用できない場合に備え

原子炉格納容器
スプレイポンプ



(4台)

充てん・高圧注入ポンプ

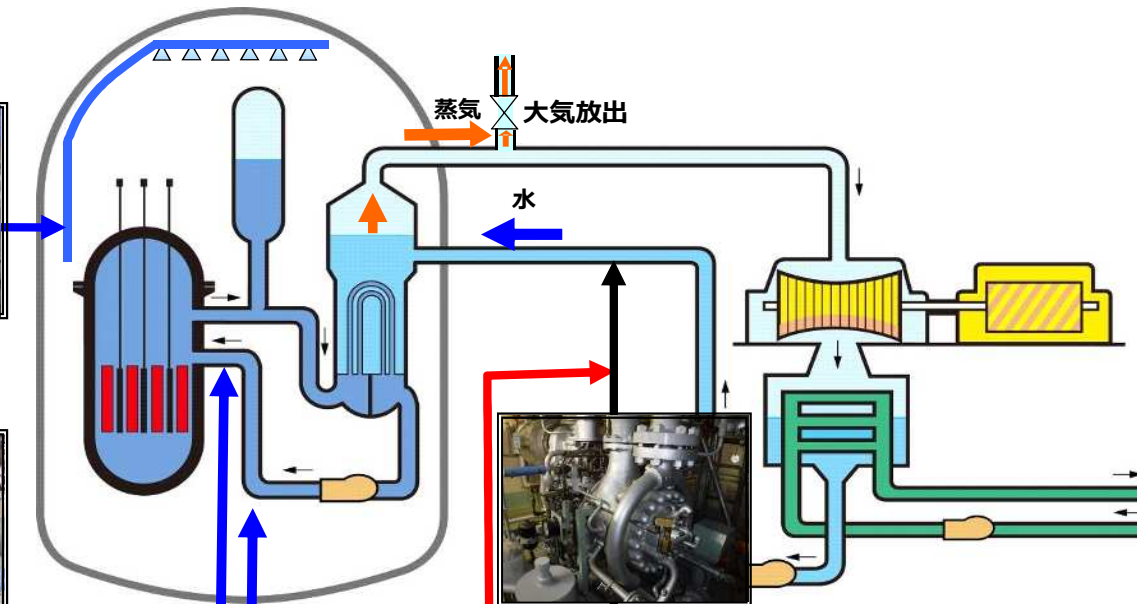


(3台)

余熱除去ポンプ



(2台)



余熱除去クーラー

新

＜バックアップ機器＞
中圧ポンプ(自主設置)



(1台)

＜バックアップ機器＞

使用できない場合に備え



大容量ポンプ
(3台+予備1台)

新

・タービン動補助給水ポンプ (1台)
・電動補助給水ポンプ (2台)



復水
タンク



淡水
タンク

海 水

(4台)

中央制御盤取替工事

○中央制御盤をアナログ式から最新のデジタル式の操作・監視盤に取替えを行い、大型表示装置やディスプレイ（タッチパネル）での操作や監視をできるように変更しました。

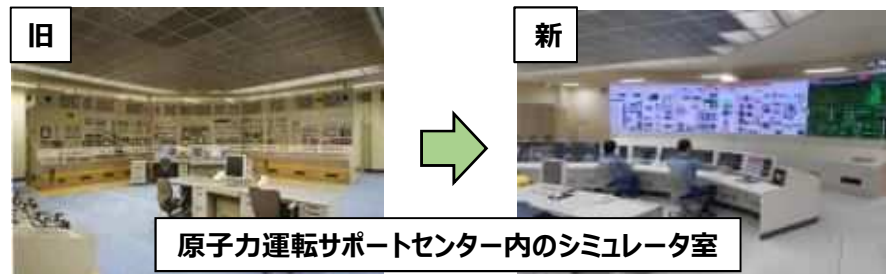
【本体工事の状況】



【シミュレータ設置、習熟訓練の状況】

新型中央制御盤運用開始に先立ち、運転員の習熟訓練を実施

実施内容	
盤慣れ訓練	・操作画面の選択 ・警報発信時の対応
通常操作訓練	・ユニット起動、停止 ・定期点検、起動時の各種検査等の対応
事故・故障対応訓練	・主給水管破断等の設計基準事故対応 ・蒸気発生器除熱機能の維持等の重大事故等の対応 ・多重故障対応、新型制御盤特有の故障対応
重大事故等対応訓練	・成立性確認訓練
フォローアップ訓練 (必要に応じて)	ユニット起動、停止及び事故時対応の弱点フォローアップ

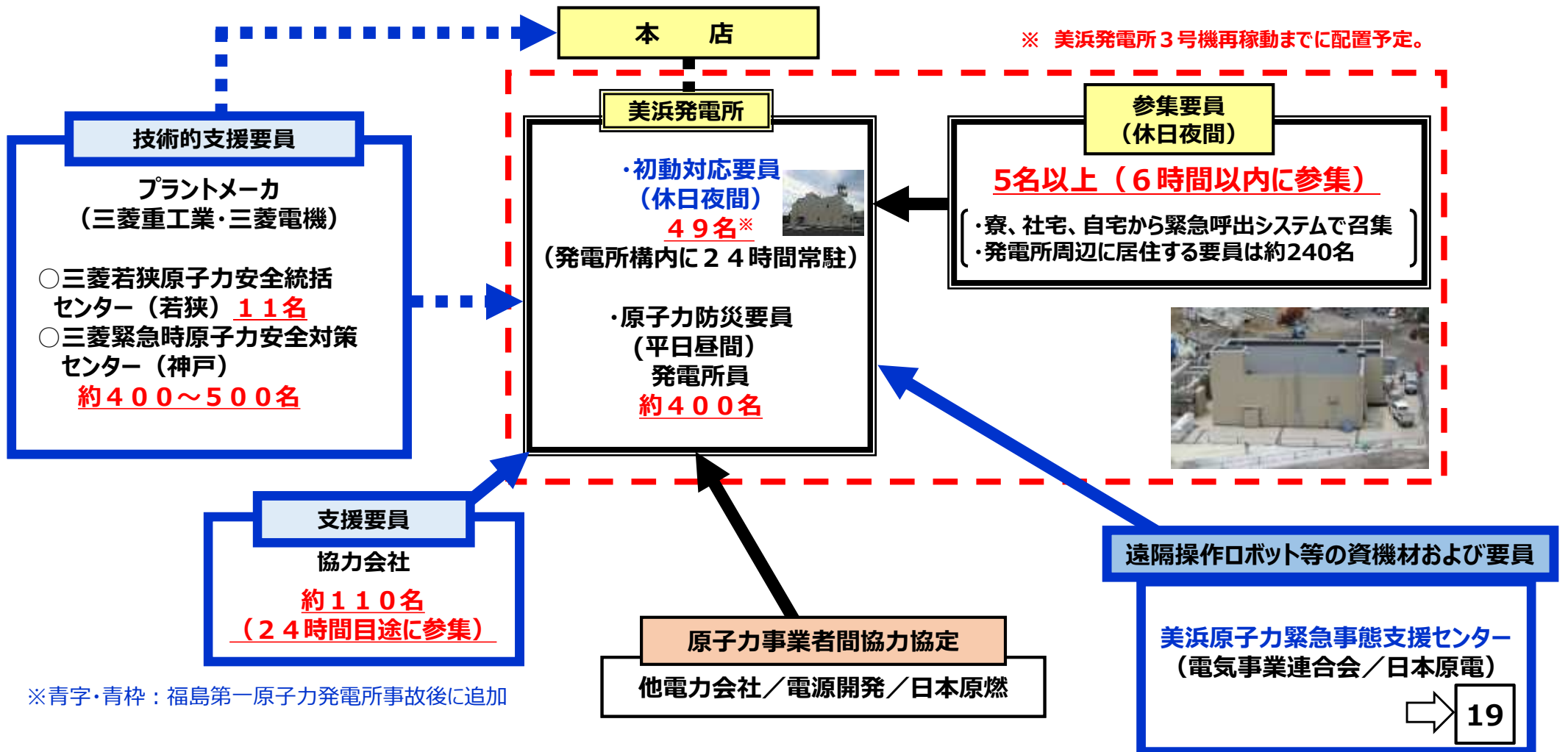


年度	2016	2017	2018	2019	2020～
シミュレータ工程	準備	製作・据付	習熟訓練	反復訓練	
本体工程			既設撤去・新設設置・機能試験 仮設盤運用		

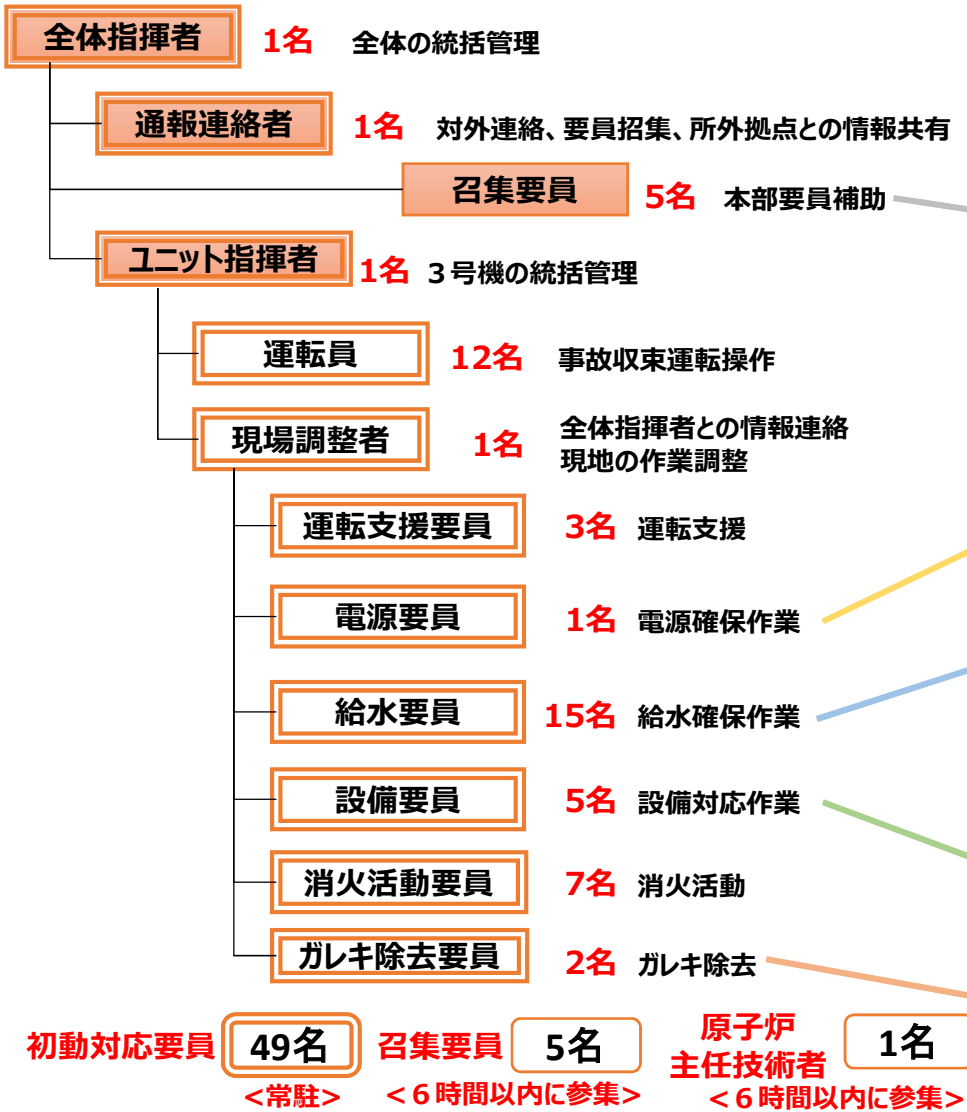
2. 美浜発電所の緊急時対応体制について

重大事故等発生時の対応力：事故対応体制

- 万が一に備え、発電所構内に初動対応要員として49名が24時間常駐。
また、緊急安全対策要員5名以上を事故発生から6時間以内に召集する体制を構築。
- さらに、協力会社やプラントメーカー、建設会社による発電所支援により、合計700名以上が事故収束に注力することになっております。



重大事故等発生時の対応力：美浜発電所の事故対応体制(休日夜間)



各要員の役割に応じた力量を備えるための教育訓練を実施中



現場環境を模擬したモックアップを使用した訓練

発電室運転員によるシミュレーター訓練

- 原子炉の起動・停止操作、事故事象に対する実践的な対応訓練を通じたチームワーク力の維持、向上を目的とした訓練
- ・ 軽微な機器故障、地震対策、全交流電源喪失対応、重大事故対応等を模擬した対応を実施



(原子力運転サポートセンター)

シミュレーター訓練



(原子力発電訓練センター)

遠隔操作資機材操作訓練

- 美浜原子力緊急事態支援センター（日本原子力発電株式会社）への派遣研修
- ・ 遠隔操作ロボットをハンドコントローラーを用いて、障害物の乗り越え、階段昇降、搭載カメラによる圧力計の指示読み取り等を実施
- ・ 災害発生時の屋外情報収集に有効な無線ヘリコプターの操作方法について習熟するための訓練に派遣
- ・ 災害発生時に高放射線環境下においてもアクセスルート等の確保、復旧に有効な無線重機の取扱いに習熟するための訓練に派遣

ロボット操作訓練



ヘリコプター操作訓練



無線重機操作訓練



(美浜原子力緊急事態支援センター)

3. 40年を超える長期運転における 設備の健全性について

原子力発電所の運転期間のしくみ

- 福島第一原子力発電所の事故後、法律の改正により、運転期間は40年とされ、原子力規制委員会の認可を受ければ、1回に限り20年延長（最長60年運転）できるしくみとなりました。

福島第一原子力発電所の事故前

法律上の運転期間の制限はなし



2012年
原子炉等規制法改正

福島第一原子力発電所の事故後

運転期間延長認可制度を導入し、法律上の制限を設定



これまでの
安全性を確認する
しくみ

- ・日々の点検
- ・約1年ごとの定期検査（機器の分解点検や取替え）
- ・**30年目以降、10年ごとの高経年化技術評価※により、技術的に実際の運転期間を見極め**
（※60年運転を想定しても、設備が健全であることの確認）



定期検査の例



追加された
新しいしくみ

- ・**特別点検**（取替えが難しい設備の詳細な点検）
- ・新規制基準への適合（1～14ページで説明）
（最新のプラントと同一の基準による安全性の確保）

大型機器などの取替え

○原子力発電所では、全ての設備や機器に対して、**計画的にメンテナンスを行い、大型機器や配管など、取り替えられるものは積極的に新しいものに取り替え、設備や機器の安全性を確保しています。**



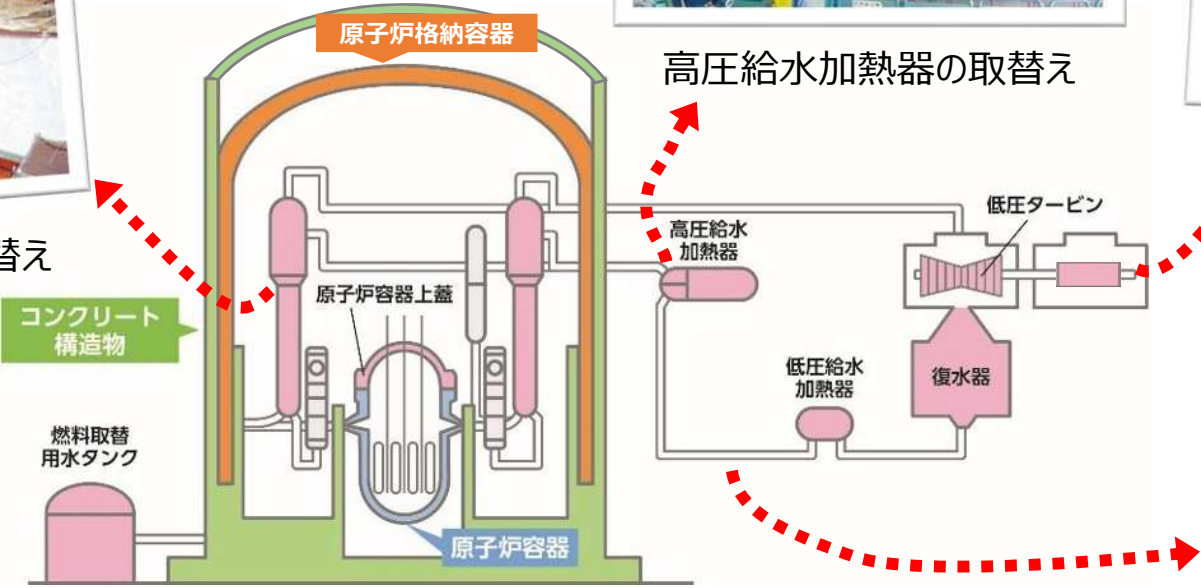
蒸気発生器の取替え



高圧給水加熱器の取替え



発電機コイルの巻替え



配管の取替え

■ で色付けした部分が既に取り替えている大型機器です。
この他にも、小型機器や部品の取替えを行っています。

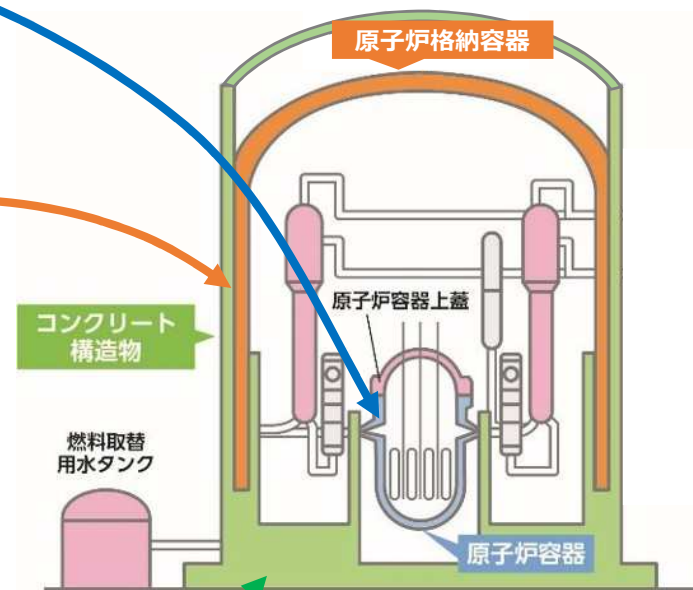
取替えが難しい設備の特別点検（1）

- 運転開始から40年を迎えるにあたって、取替えが難しい「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、通常のメンテナンスに加え、設備の状況を詳細に把握するために、特別点検を行いました。
- 結果として、**いずれの設備にも異常がないことを確認**できました。

原子炉容器に超音波や電流を使って、「傷」がないことを確認しました。

原子炉格納容器の表面を目視で念入りに確認し、「塗装のはがれ」や「腐食」がないことを確認しました。

コンクリート構造物からサンプルを取り出し、「性質の変化」や「強度」に問題がないことを確認しました。



原子炉容器点検

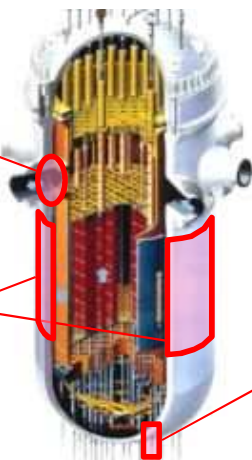
原子炉容器に対し、超音波を使った探傷試験や電流を使った渦流探傷試験などを行い、「傷」がないことを確認しました。



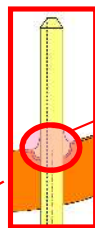
検査用のロボット

1次冷却材
ノズルコーナー部
(渦流探傷試験)

炉心領域の
母材及び溶接部
(超音波探傷試験)



原子炉容器



炉内計装筒の
溶接部及び内面
(渦流探傷検査、
目視試験)

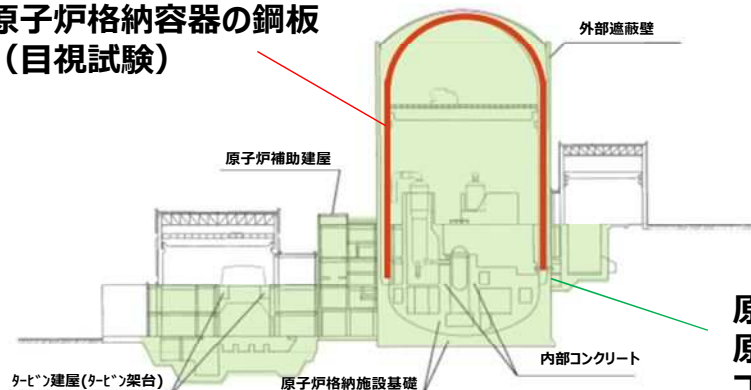
原子炉格納容器点検

原子炉格納容器の鋼板の内外表面を目視で念入りに確認し、「塗装のはがれ」や「腐食」がないことを確認しました。



目視試験の様子

原子炉格納容器の鋼板 (目視試験)



原子炉格納施設や
原子炉補助建屋などの
コンクリート構造物
(サンプル試験)

コンクリート構造物点検

原子炉格納施設などのコンクリート構造物からサンプルを採取し、「強度」や「遮へい能力」などに異常がないことを確認しました。



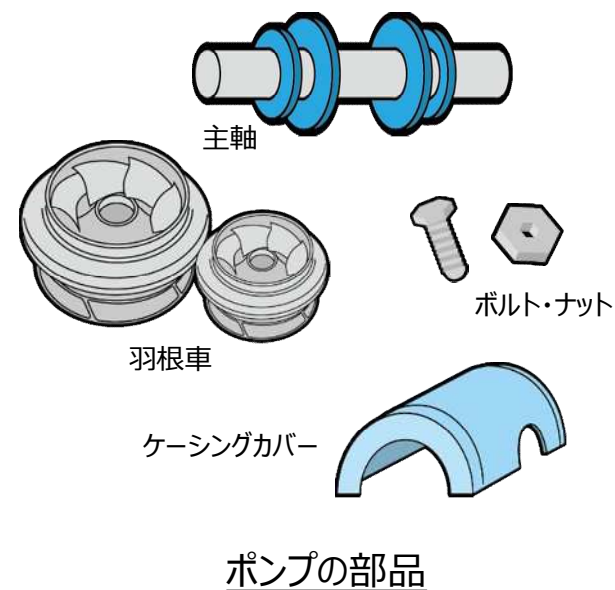
試験の様子



コアサンプル

- 点検の結果、**いずれの設備にも異常はありませんでした。**
- 点検結果は、**原子力規制委員会にも確認頂き、運転期間延長が認可されました。**

- さらに、美浜3号機および高浜1号機、高浜2号機それぞれで約3,000以上ある重要な設備を、部品レベルに仕分けて評価を行い、**60年運転時点の設備の状態を想定しても、運転を安全に行うことができることを確認**しました。
- 評価結果は、**原子力規制委員会にも確認頂き、運転期間延長が認可**されました。



- 想定される将来の設備の状態に応じた適切なメンテナンス計画が立てられていることを確認しました。
- また、60年運転時点の設備の状態で、発電所で想定している大きな地震が来ても、設備が壊れないことを確認しました。

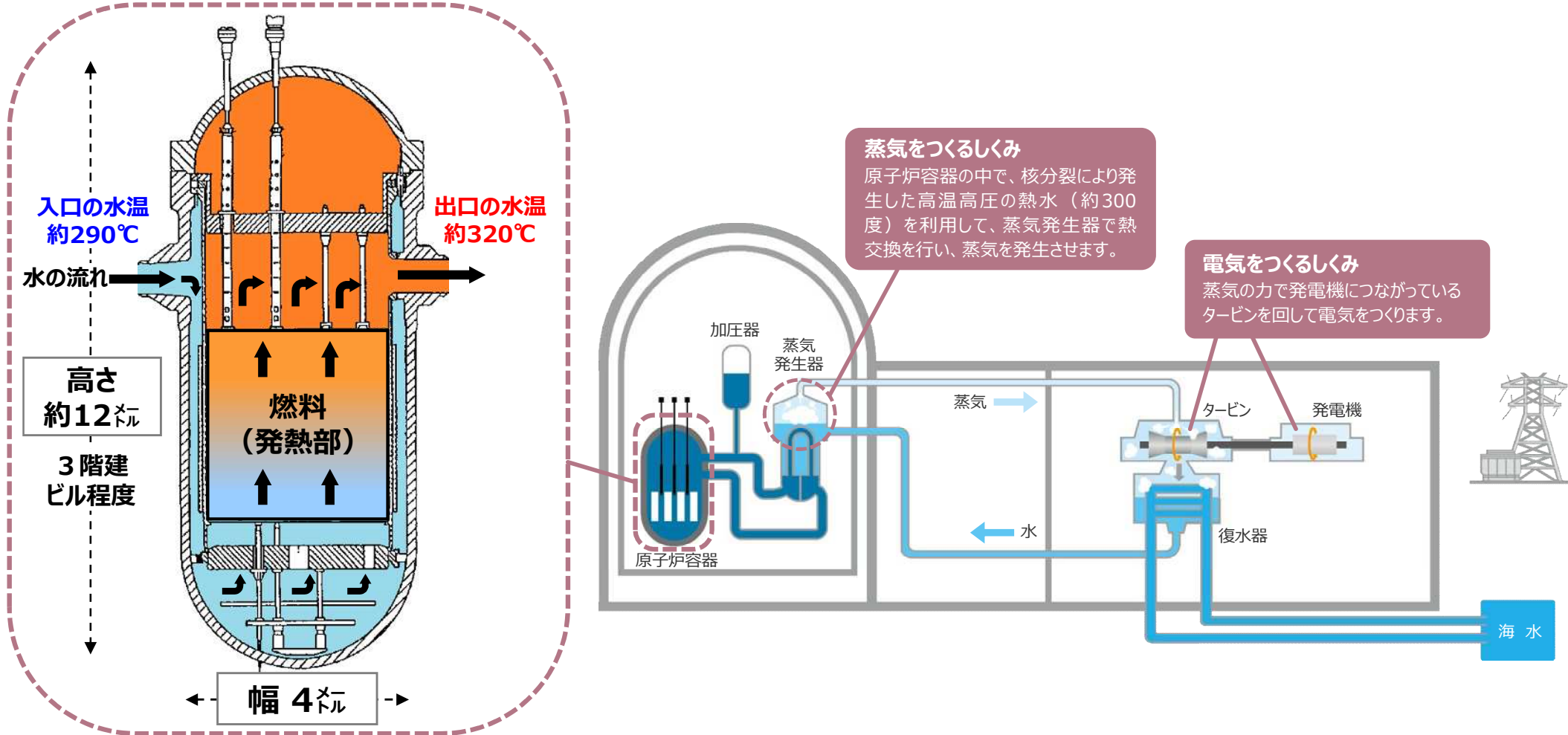
4. 40年を超える

長期運転における設備の安全性について

～原子炉容器の中性子照射脆化^{ぜいか}への対応～

原子炉容器とは

- 原子炉容器は、燃料を収納している容器です。燃料の核分裂により高温高压の熱水を生み出し、蒸気発生器で蒸気を発生させて電気をつくります。
- 原子炉容器の金属は、強度やねばり強さを持たせた厚さ約 20センチの合金で作られており、燃料に近い部分は、燃料から放出される放射線（中性子線）の影響を受けます。



中性子照射脆化とは

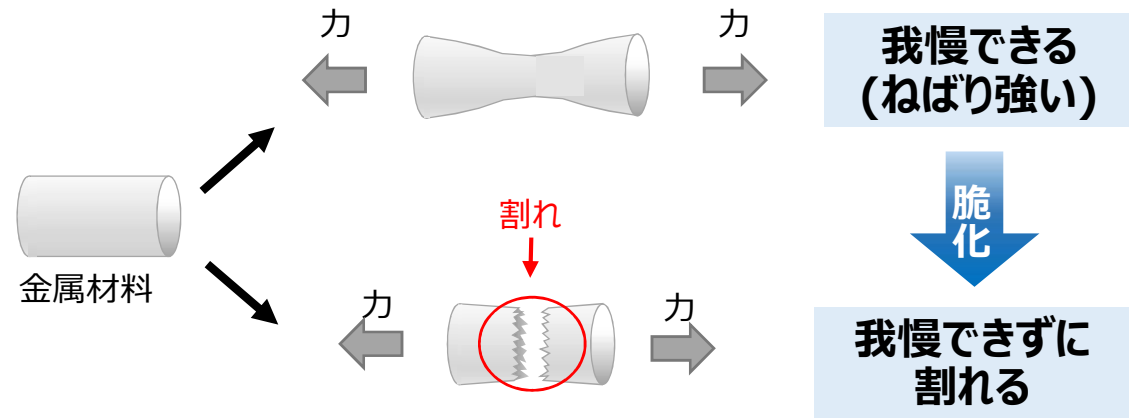
- 金属は、中性子線を浴び続けると、その材料が元々持っているねばり強さが徐々に低下します（脆化）。

これを、中性子照射脆化と呼んでいます。

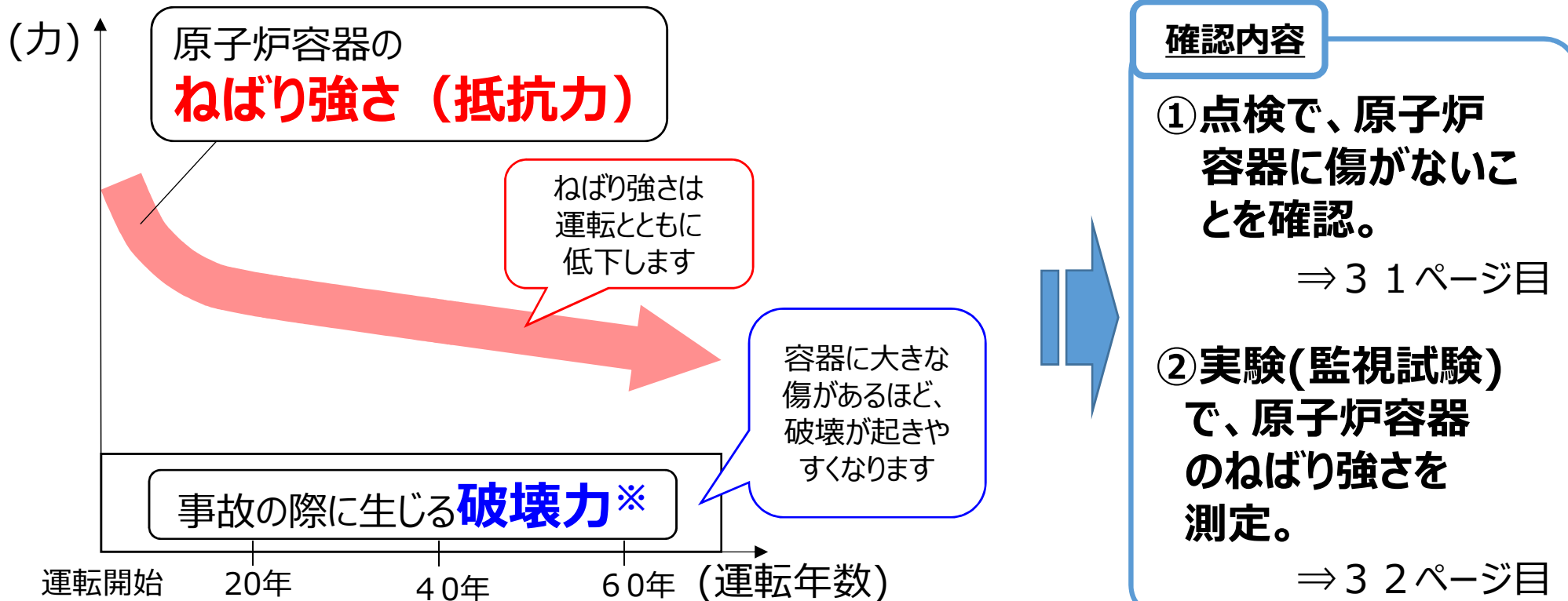
金属の性質

- ねばり強さを持っている金属は、大きな力を加えても、伸びたり曲がったりすることにより簡単には割れません。
- 高温の状態では、ねばりが強いですが、温度が低くなると、ねばり強さが低下する性質があります。

ねばり強さのイメージ



- これまで国内外で実施された数多くの実験結果に基づくと、**原子炉容器のねばり強さは、運転とともに徐々に低下しますが、低下の程度はだんだん小さくなる**とことが分かっています。このような見解は、専門家の方々の中でも認識されているものです。（どのように低下するかは、ルール(学協会規格)として整備されています。）
- 電力会社は、点検や実験により、**原子炉容器に傷がないことや、予想と異なるねばり強さの低下がないことを確認**しています。



※「材料内部の温度差による熱荷重」や「地震力」など、傷のある部分に生じる力。

- 長く運転することでねばり強さが低下した原子炉容器が、事故時の注水により急に冷やされ、それにより加わる大きな力で壊れないかを確認する必要があります。 ⇒ 32ページ目
- なお、原子力発電所の通常時の運転では、大きな力が加わることがないようにしています。

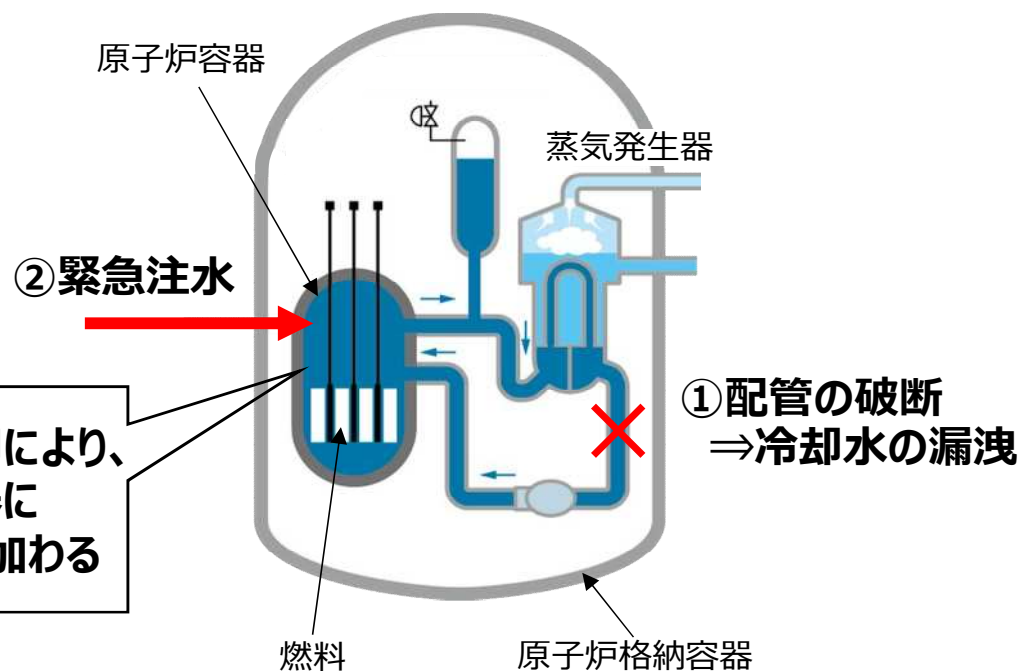
事故時においては、

- 原子力発電所で、配管が破断するような事故が起きると、原子炉容器の内部（燃料）を冷やすために、水を緊急注入します。

この水により原子炉容器が急激に冷えることで、容器に大きな力が加わります。

③ 急激な冷却により、
原子炉容器に
大きな力が加わる

<事故発生と水の緊急注入のイメージ>



①点検による傷の確認結果

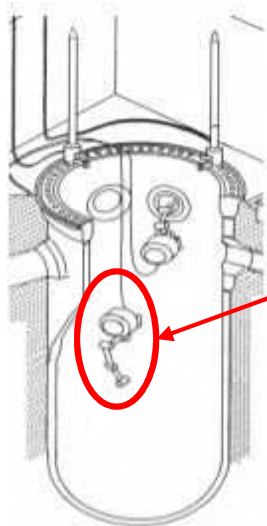
○ さまざまな点検で、原子炉容器に傷がないことを確認しています。

- ✓ まず製造時に点検しています。
- ✓ 運転を開始後も、定期的に点検しています。
- ✓ 40年を迎えるにあたって、更に念入りに点検しました。(特別点検)

特別点検では、

- 超音波を利用し、原子炉容器の内部に傷がないかを点検しました。
- ねばり強さの低下が想定される箇所全てを点検し、傷がないことを確認しました。

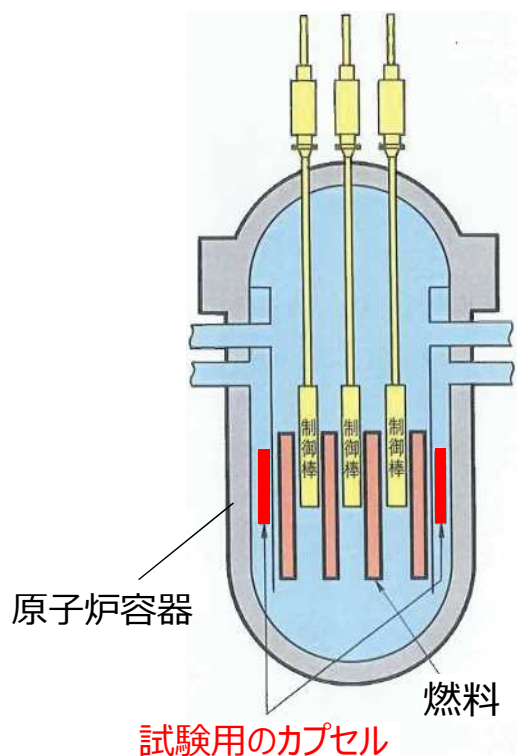
※点検の方法は、ルール（学協会規格）に従っており、妥当性が確認されたものを採用しています。



検査用ロボットを用いて
容器の内側を検査します。

②実験(監視試験)による、ねばり強さの確認結果

- 建設時に、原子炉容器と同じ材料の金属をカプセル（8体）に入れ、容器より燃料に近い位置に設置しています。そのカプセルを計画的に1体ずつ取り出して、原子炉容器のねばり強さがどれだけ低下しているかを測定しています。
- これまでに4体のカプセルを取り出して、**ねばり強さがどれだけ低下しているか測定した結果、ルール(学協会規格)で定められた傾向と同様であり、予想と異なるねばり強さの低下がないことを確認しました。**

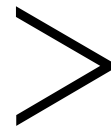


- ✓ 中性子を浴びる量は、燃料から遠ざかる（原子炉容器の外側）ほど小さくなります。
 - ✓ そのため、原子炉容器より燃料に近い位置に設置され、より多くの中性子を浴びているカプセル内の金属を用いることで、将来の原子炉容器の状態を測定することができます。
- ⇒ 最新(4回目の監視試験)のカプセル内の金属は、約50年運転した場合に原子炉容器が浴びる量に相当する中性子を浴びていました。そのため、実験(監視試験)を行うことにより、約50年運転時点の原子炉容器のねばり強さがどれだけ低下しているかを測定したことになります。

- 事故時に原子炉容器が壊れないかを確認するために、60年間運転した場合の原子炉容器のねばり強さと、事故の際に生じる破壊力を比べます。
- その結果、**ねばり強さが十分あるため、事故時に壊れないことが確認できました。**

60年運転時の ねばり強さ（抵抗力）

- 定められたルール(学協会規格)に従い、60年運転時点のねばり強さを予測しています。
- この際、安全側に評価するため、予測式を用いてねばり強さの低下量を算出した結果に余裕を加味し、ねばり強さ(抵抗力)を小さく設定することが要求されています。



事故時の破壊力

- 安全側に評価するため、あえて大きな破壊力を想定しています。

【想定している破壊力について】

- ・点検で傷がないことを確認していますが、深さ10ミリの傷があると仮定します。
- ・配管が大きく破断するような事故は起きないように設計し、運転管理していますが、事故が起こることを仮定します。
- ・事故が起こっている最中に、大きな地震が来る可能性は極めて小さいですが、地震が来ることを仮定します。

- 超音波による念入りな点検により、原子炉容器に傷がないことを確認しました。
- 実験(監視試験)により、ねばり強さがどれだけ低下しているかを測定した結果、ルール(学協会規格)で定められた傾向と同様であり、予想と異なるねばり強さの低下がないことを確認しました。
- 60年間運転した原子炉容器のねばり強さは、事故の際に生じる破壊力よりも大きく、壊れないことを確認しました。

これらの内容は、原子力規制委員会にも確認頂きました。

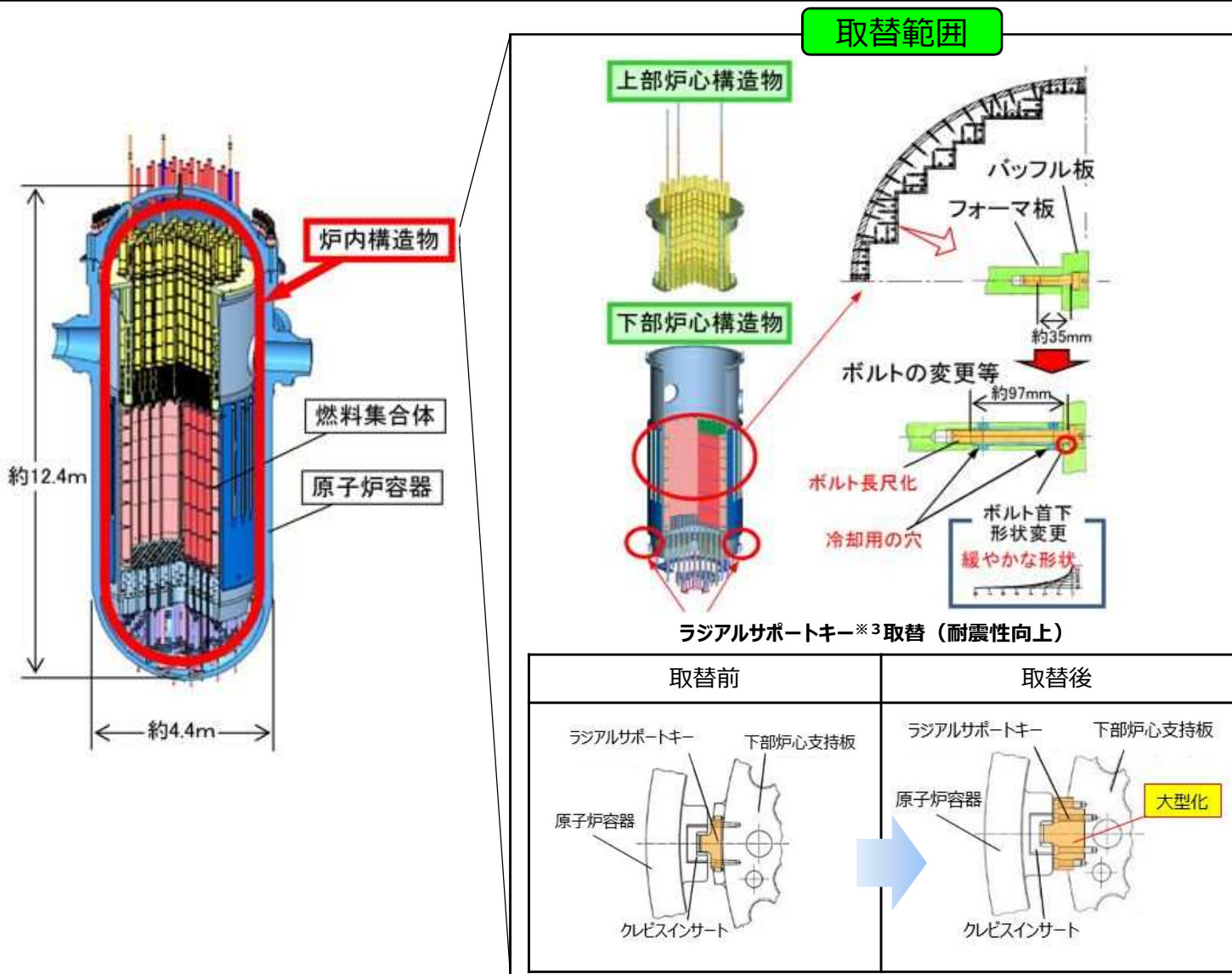
- 今後も、定期的に点検を行い、傷がないことを確認していきます。
- 原子炉容器内に残っている実験(監視試験)用のカプセルを計画的に取り出し、予想と異なるねばり強さの低下がないことを確認していきます。
- 最新のデータなどを常に取り込み、信頼性を向上していきます。

- 福島第一原子力発電所のような事故を二度と起こさないよう、安全対策を強化しました。
- 取替えが難しい設備の念入りな点検（特別点検）や、60年運転を想定しても設備が健全であることの評価により、40年を超える運転の安全性を確認しました。
- 引き続き、設備の状態をチェックし、計画的なメンテナンスを行うことで、安全性を確保してまいります。
- 原子力発電は重要な電源であり、安全性の確保を大前提として、国により安全性を確認されたプラントは、今後も有効に活用していくことが重要と考えています。
- 今後とも、安全性をたゆまず向上させていくとの強い意志と覚悟を持って、原子力発電所の運営を行ってまいります。

A. [地震への備え]：炉内構造物取替え

参考 1

- 概要 要：炉内構造物※¹の耐震性を向上させるため、また、海外プラントにおける炉内構造物のバッフルフォーマボルト※²応力腐食割れ損傷事例を踏まえた予防保全の観点から炉内構造物の取替えを実施する。
- 進捗状況：炉内構造物各部品の工場組立および現場干渉物の撤去完了（2020.2）。完了（2020.6）。



- ※ 1 : 原子炉容器の中にある燃料集合体の原子燃料を配置するための支持構造物
- ※ 2 : 原子炉容器内の燃料集合体を取り囲む壁（バッフル板）を固定するためのボルト
- ※ 3 : 炉内構造物の動きを制限するためのサポート



上部炉心構造物

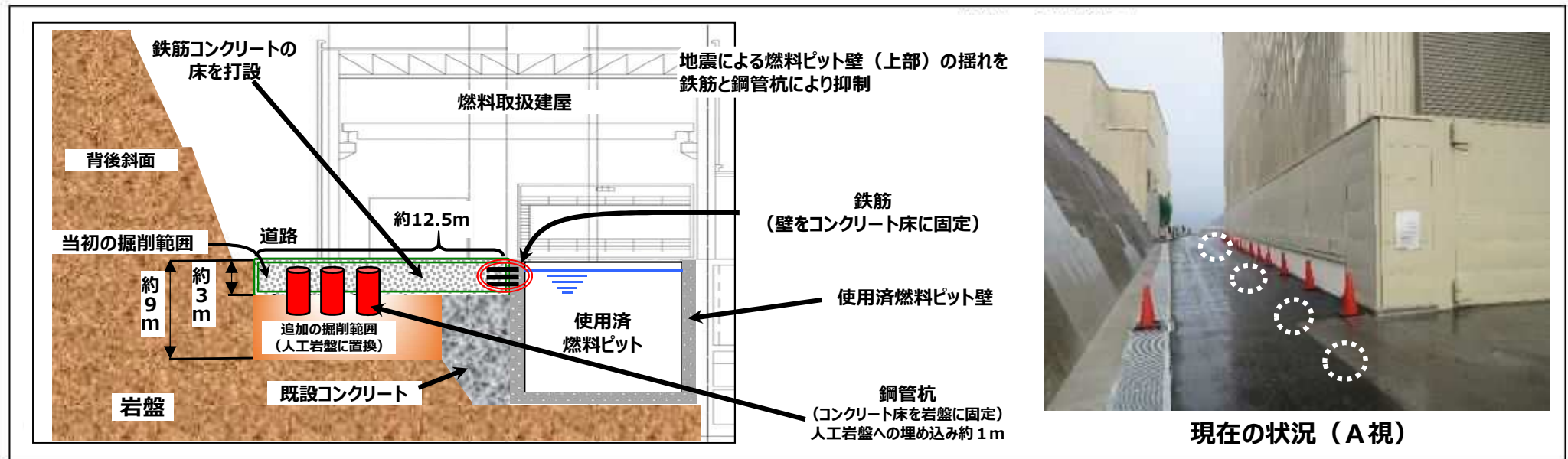
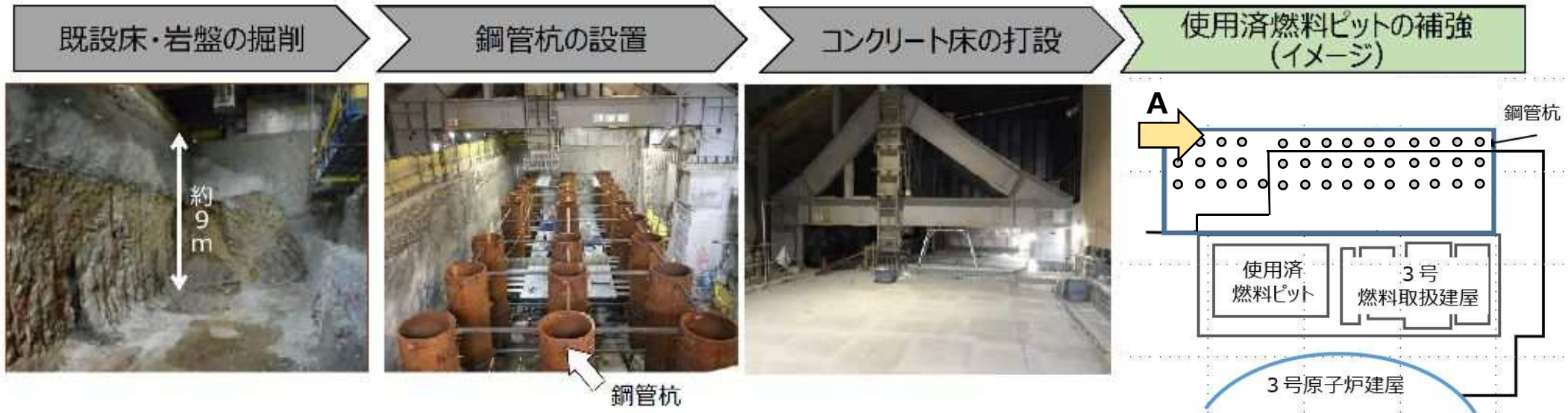


下部炉心構造物

B. [地震への備え]：使用済燃料ピット補強

参考 2

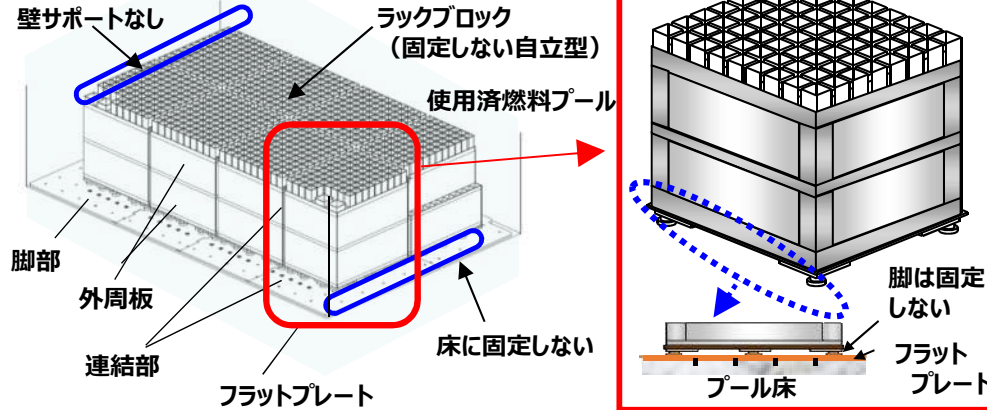
- 概要：使用済燃料ピットの耐震性向上のため、支持岩盤上に人工岩盤および鋼管杭、鉄筋コンクリート床を設置し、使用済燃料ピット壁の拘束力を向上させる。
- 進捗状況：完了（2020.3）



C. [地震への備え]：使用済燃料ピットラック取替え

- 概要 要：使用済燃料ピットラックの耐震性を向上させるため、既設（旧）ラックを全て撤去し、床に固定しない フリースタANDINGラック（Free Standing Rack）に取り替える。
- 進捗状況：旧ラック撤去済。新ラック据付済（2020.4完了）。

【フリースタANDINGラック構造イメージ】



【主な特徴】

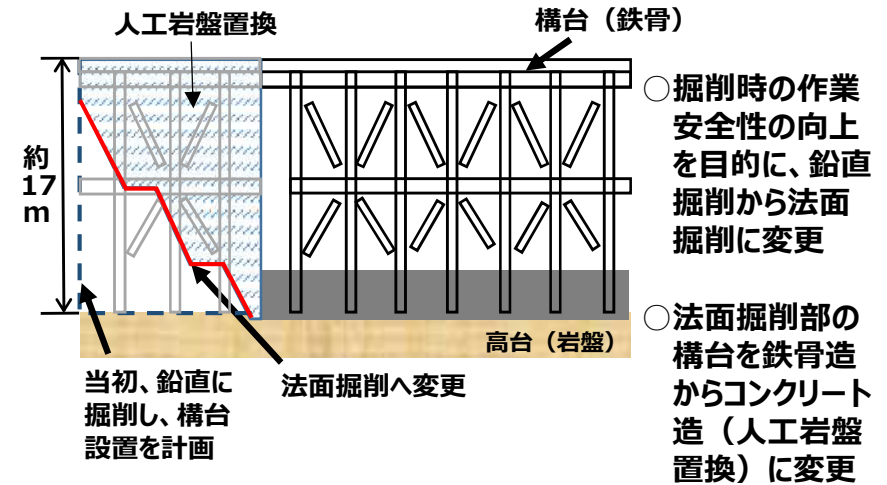
- ・外周板を有したラック構造であり、8体のラックブロックで構成。
- ・使用済燃料プールの床・壁に固定されておらず、ラックに作用する地震力を、流体力や床との摩擦により消散させる構造。
- ・外周板を設けることにより、周囲の水による流体力を大きく作用させる。
- ・ラックブロック8体を連結することにより、転倒挙動を抑制するとともに、ラックブロック間の衝突を防ぐ。

	配置図	脚部構造図	特徴
取替前			<p>燃料貯蔵体数 1118体</p> <p>ラックを床に固定し、地震荷重に耐える。 (ピット壁と燃料ラックの隙間が狭い)</p>
取替後			<p>燃料貯蔵体数 809体</p> <p>ラックを固定せず、滑り等により地震荷重を消散。 (ピット壁と燃料ラックの隙間が広い)</p>



D. [地震への備え]：構台の設置

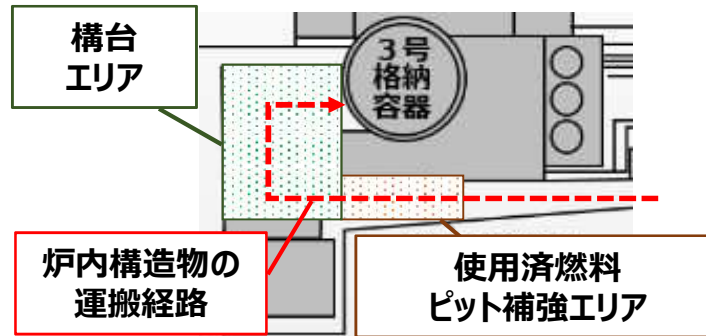
- 概要：3号機横の高台は、燃料油貯蔵タンクおよびアクセスルート等に対して**地震（993ガル）**による崩壊により波及的影響を及ぼす可能性があるため、新たに地震に耐えうる構台を設置する。
- 進捗状況：鉄骨組立完了（2020.2）。構台上面の舗装工事完了（2020.2）。新構台完了(2020.3)



構台の設置完了後 炉内構造物取替工事へ引き渡し済み（2020.2.20）



新構台の上部（現状）



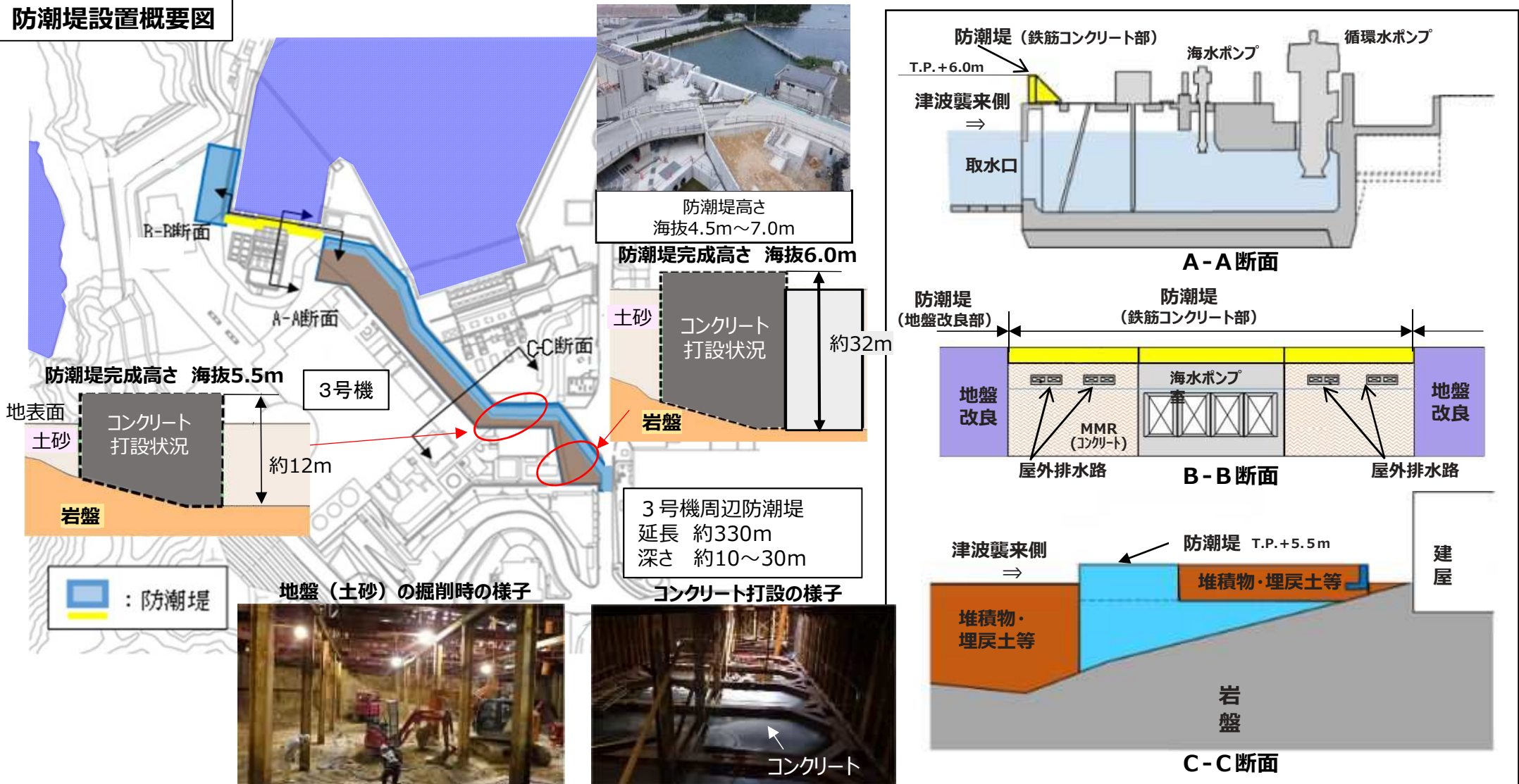
炉内構造物の運搬には、使用済燃料ピット補強・構台エリアを通過する必要があるため、同工事の完了後に、炉内構造物を搬入・据付



F. [津波への備え]：防潮堤の設置

- 概要：3号機周辺は、想定津波高さ（3号機取水口において**海拔4.2m**）に対し、**海拔5.5m～6.0m**の防潮堤を設置する。外周は、**海拔4.5m～7.0m**の防潮堤（外周防潮堤）を設置する。
- 進捗状況：3号機周辺防潮堤は掘削完了（2019.11）。**コンクリート打設完了**。(2020.8)完了。(2020.8)

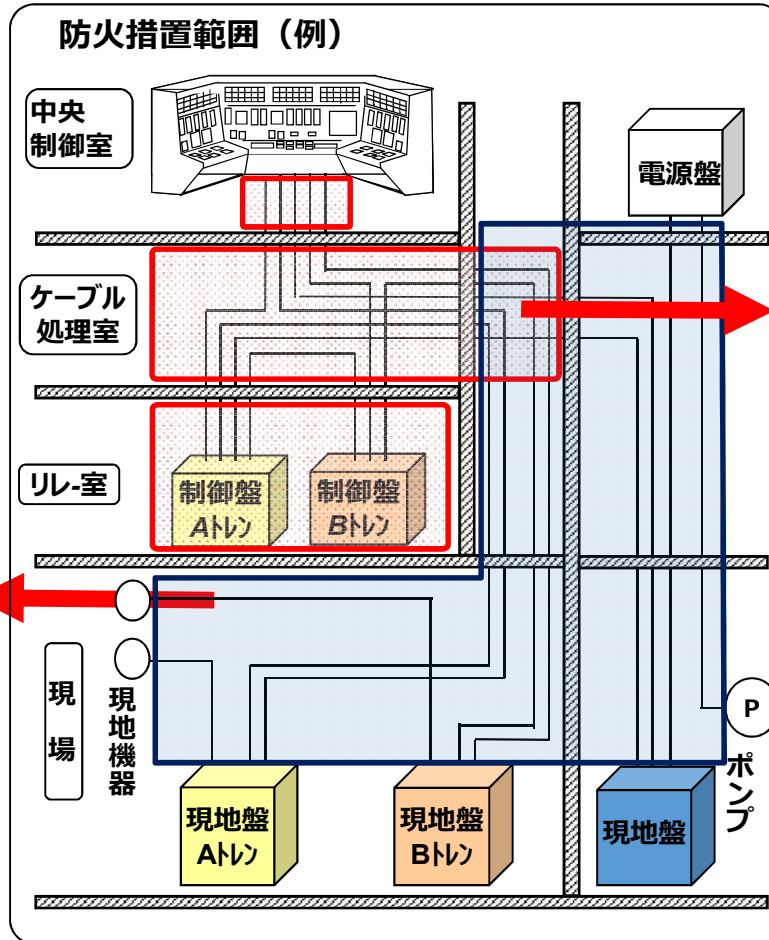
防潮堤設置概要図



G. [火災対策]：火災防護対策

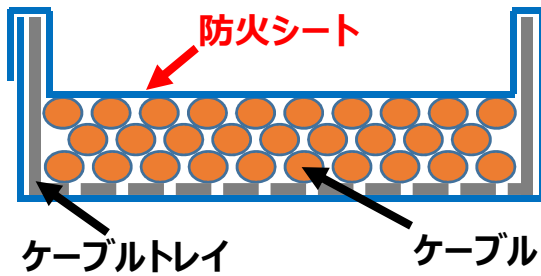
- 概要：火災発生防止の観点から、安全機能を有する機器に使用されている非難燃ケーブルについて、難燃性を確保するため、難燃ケーブルへの取替えや不燃材の防火シート施工による防火措置を実施する。
- 進捗状況：完了。(2020.9)

ケーブルの系統分離強化および防火措置範囲



- ケーブル引替およびケーブル系統分離強化対策を実施
- ケーブル張替え困難箇所について防火シート施工による防火措置を実施

ケーブル引替え困難箇所への対応



<防火シート施工箇所>

ケーブル引替箇所の状況



難燃ケーブル

ケーブルトレイ

Q

原子力発電所の耐用年数は40年ではないのでしょうか？

A

- 原子力発電所は、**長期間の運転が可能となるよう、材料、強度、寸法などに十分な余裕を持たせて設計し、高い品質で製作、施工、据付を行っています。**
- 設計を行う際に、プラントの起動・停止など、繰返しの運転操作によって壊れないかを確認している機器もあり、この際に、30～40年程度の年数を目安に、運転操作の回数を設定していますが、十分な余裕を持たせた設計となっていることを確認する目安の期間ですので、機器の寿命を表す年数ではありません。
- 原子力発電所の実際の運転期間については、機器の経年劣化に関するデータを蓄積して評価を行い、実機の状態も確認したうえで見極めていくこととしており、**設計・建設段階では、運転期間の上限は決めていませんでした。**
- 今回、改めて将来の設備の状態を想定した評価を行い、60年間であっても、メンテナンスを継続すれば、原子力発電所を安全に運転できることを確認しました。

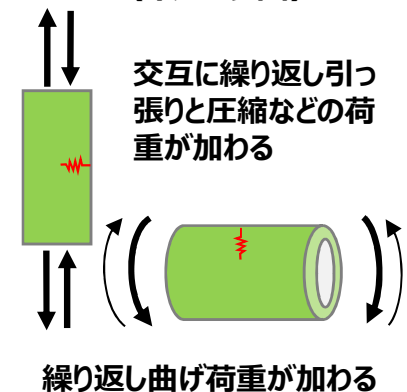
Q

30～40年の使用年数を目安に運転操作の回数を設定して設計している機器を、40年を超えて使用しても大丈夫なのですか？

A

- 原子力発電所の機器の中には、繰返しの運転操作によって「疲労割れ」と呼ばれる損傷が起きないかを確認するために、使用年数30～40年を目安として、例えば**プラントの起動や停止の回数を200回と設定して設計しているものがあります。**
- **この回数は、設計上の余裕を確認するために多めに設定されたもの**で、これまでの運転実績を調査したところ、高浜1号機では64回※でした。このため、**60年時点では、どれだけ多く見積もっても100回程度にしかなりません。**
- 100回程度の運転操作回数であれば、機器が損傷しないことを確認できていますし、定期的な点検により実際に傷がないかどうか確認しています。

疲労割れ
(イメージ図)



運転操作 (代表例)	プラント	設計時の 設定回数	これまでの 実績回数※	60年時点の回数 (多めに想定)
プラントの 起動、停止	高浜1号機	200回	64回	99回
	高浜2号機	200回	47回	79回
	美浜3号機	200回	46回	78回

※実績回数は、調査を行った時点の回数（高浜1, 2：2009年度末、美浜3：2010年度末）

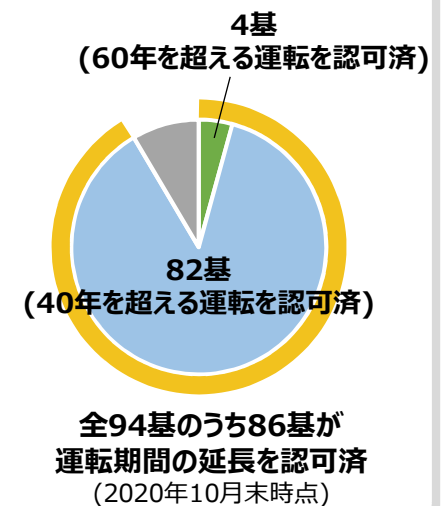
Q

海外では40年で運転をやめているのではないのですか？

A

- 国により原子力発電所の運転期間の制限に関する法律は異なりますが、40年程度で運転をやめることを法律で定めている国は少ないと認識しています。
- 現在（2020年10月末時点で）、世界で稼働中の原子力発電所のうち、約2割以上が、既に運転開始から40年を超えています。
- また、米国は、日本と同様に運転期間の上限を更新する制度を採用していますが、稼働中のプラントのうち、既に約9割のプラントが40年を超えて運転することを認められています。
さらに4基については、2回目の更新が行われ、60年を超えて80年まで運転することを認められています。
- このように、**技術的には、40年を超えて運転することが可能ですが、各国の事情により、運転期間の制限や更新の方法が異なります。**

米国の状況



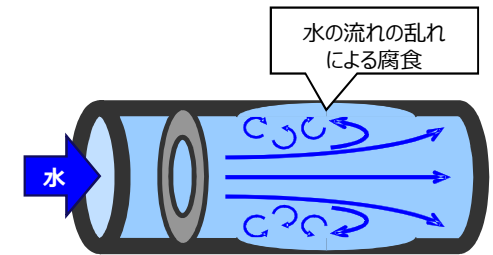
米国原子力規制委員会(NRC)ホームページをもとに作成

Q

長期間運転した原子力発電所では、配管が腐食し、破断する事故が起こりやすいのではないのでしょうか？

A

- 原子力発電所の配管の中には、水の流れによって腐食しやすい環境となり、配管の厚みが減少していく箇所があります。
- このような配管については、**計画的に超音波を使用して配管の厚みを測定し、厚みが小さくなっていた場合は、取替えを行っています。**
- このように、**原子力発電所では、想定される設備の状態に合わせたメンテナンスを行い、必要に応じて部品の交換や機器の取替えを行っています**ので、40年を超えても安全に運転することができます。
- 今回、運転期間の延長を行うに当たっては、メンテナンスが適切に計画されているかを、改めて確認しました。



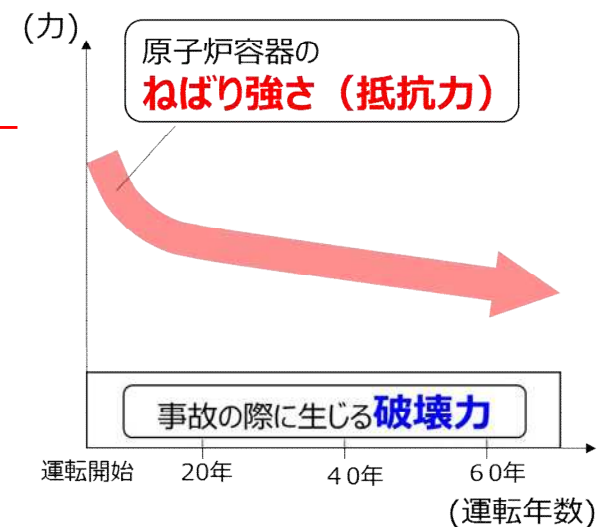
配管の厚み点検

Q

原子炉容器のねばり強さが、想定されたレベルよりも、急激に低下することはないのでしょうか？

A

- 一般的に、材料の経年変化、劣化の度合いは、時間がたつほど緩和すると考えられています。
- **中性子を浴びることによるねばり強さの低下についても、中性子を浴びる量が多くなるほど影響が緩和すること**が分かっています。このような見解は、専門家の方々の中でも認識されているものです。
- したがって、**40年近く運転した原子炉容器のねばり強さが、今後、急激に低下することはない**と考えていますが、今後も、原子炉容器内に残っている実験(監視試験)用のカプセルを計画的に取り出し、ねばり強さの低下の傾向を監視していきます。
- また、最新のデータなどを常に取り込み、信頼性を向上していきます。



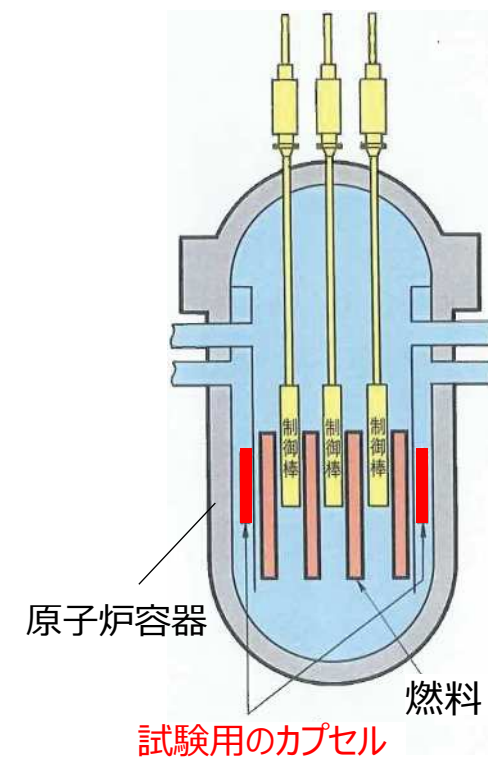
Q

原子炉容器の中に残っている実験(監視試験)用のカプセルは、いつ取り出すのですか？

A

- まず、運転期間が50年を経過するまでに、1体のカプセルを取り出します。
- その後は、実際に原子炉容器が浴びる中性子の量が、前回取り出したカプセル内の金属が浴びていた中性子の量を追い越す前に、次のカプセルを取り出します。

※カプセルは原子炉容器より燃料に近いに設置されており、原子炉容器より多くの中性子を浴びるため、原子炉容器が将来浴びるはずの中性子の量を事前に浴びています。そのため、カプセルを用いることで原子炉容器の将来の状態を測定することができます。
- 具体的な取り出し時期は、実際のプラントの運転状況を踏まえて決定することになりますが、最終的には、60年間運転した原子炉容器の状態を事前に測定できるよう取り出しを計画していきます。

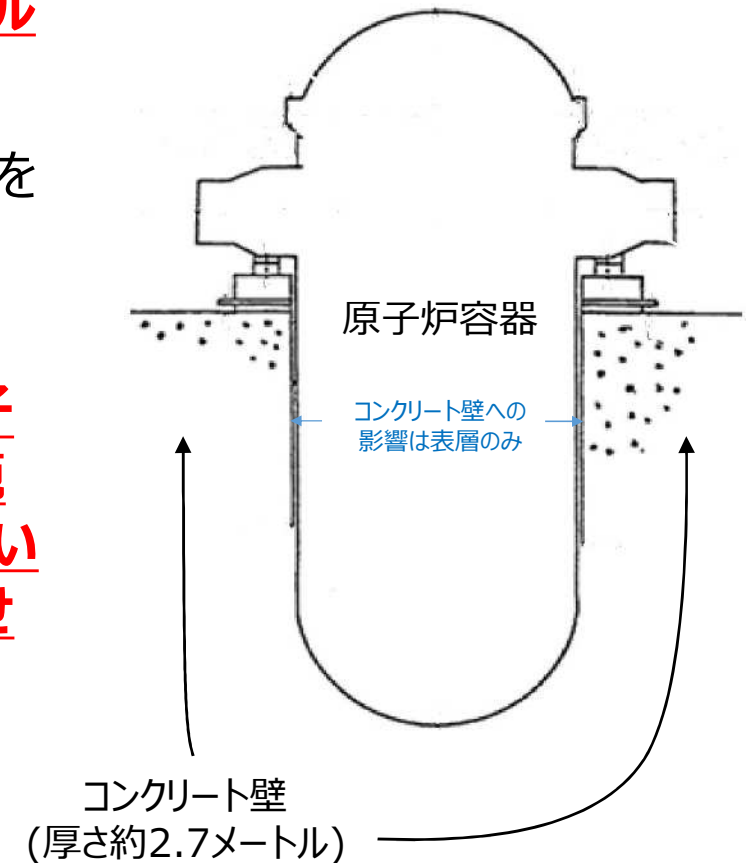


Q

原子炉容器を取り囲むコンクリート壁も中性子の影響を受けると聞いたことがあります、大丈夫なのですか？

A

- 原子炉容器を取り囲む壁は、**厚さ約2.7メートルの頑健なコンクリート製です。**
- 一般的に、コンクリートはある一定の量の中性子を浴びると、強度が低下する傾向があるとされています。
- ただし、**60年間運転した場合に浴びる中性子の量であっても、強度が低下する傾向がある範囲は表層のごく僅かであり、発電所で想定している大きな地震が来てもコンクリート壁は壊れません。**

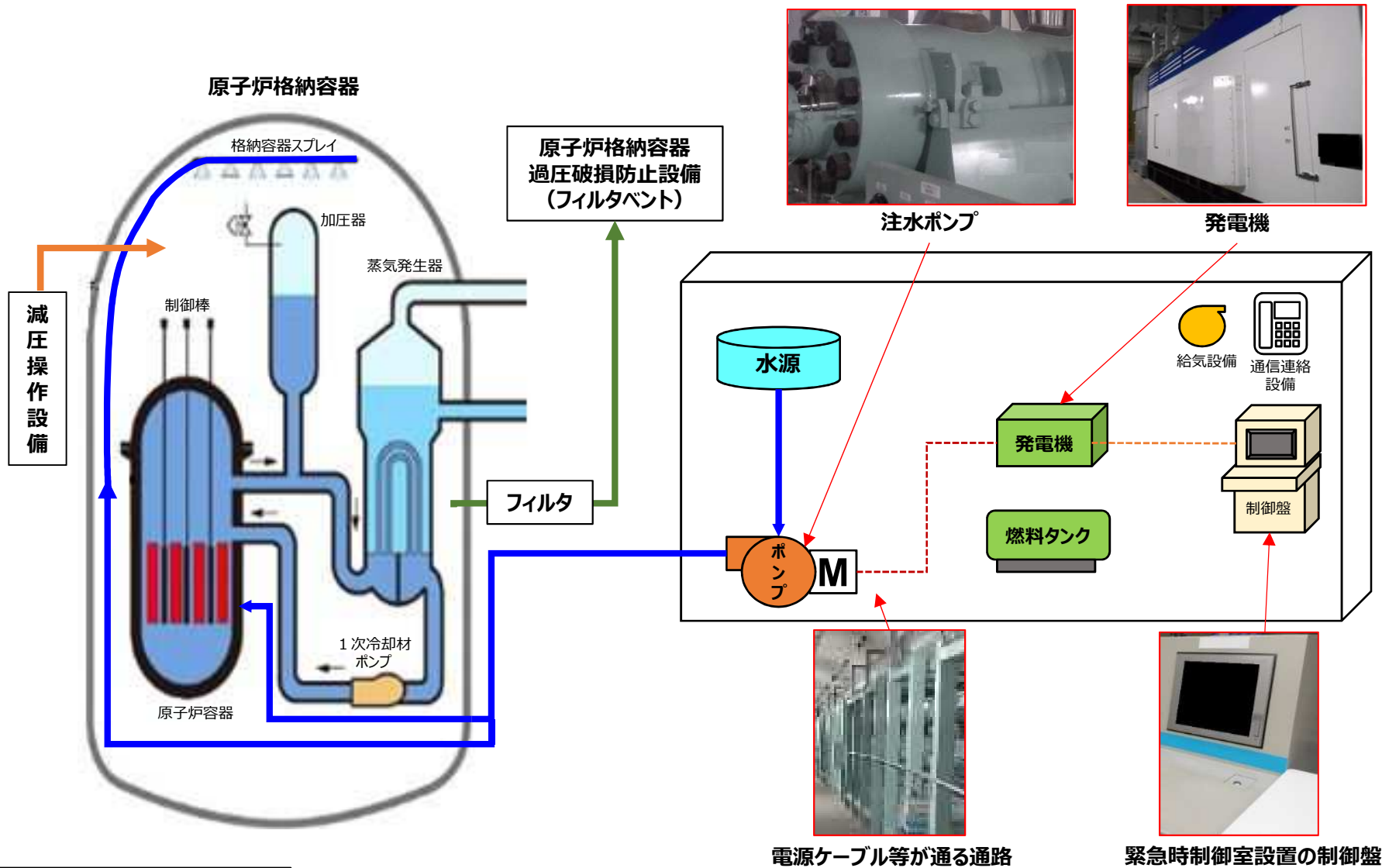


○各発電所の状況等について

各発電所の状況（運転中および再稼動中のプラント）

発電所	~2020年度	2021年度 現時点	2022年度	2023年度
美浜 3号機	第25回 定期検査	▼6/29並列 ▼10/23解列	10月 第26回 定期検査 ★10/25特重設置期限 ▽9月頃特重運用開始	12月 2月 第27回 定期検査
	第24回 定期検査	▼3/10並列	3月 5月 第25回 定期検査	7月 9月 第26回 定期検査
高浜 4号機	第23回 定期検査	▼4/15並列	5月 10月 第24回 定期検査	12月 3月 第25回 定期検査
	第18回 定期検査	▼7/5並列	8月 12月 第19回 定期検査 ★8/24特重設置期限 ▽12月頃特重運用開始	2月 第20回 定期検査 (2023年4月並列)
大飯 3号機	第17回 定期検査	▼1/17並列	3月 7月 第18回 定期検査 ★8/24特重設置期限 ▽8月頃特重運用開始	9月 11月 第19回 定期検査
	▼2020.9安全性向上対策工事完了			6月
高浜 1号機			第27回 定期検査	
		★6/9特重設置期限		▽5月頃特重運用開始
高浜 2号機		▽1月 安全性向上対策工事完了		7月
		★6/9特重設置期限	第27回 定期検査	▽6月頃特重運用開始

▼：実績
▽：予定



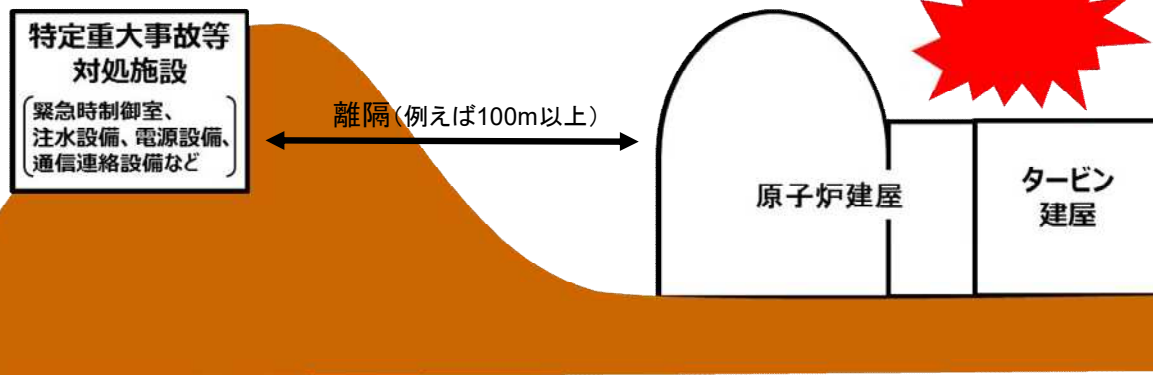
特重施設の開示制限について

情報公開法を踏まえ、テロ対策という性質上、セキュリティの観点から設備の名称、設置場所、強度、数等については、公開できないこととなっていますので、ご理解をお願いいたします。

○特定重大事故等対処施設設置

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、原子炉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。

【概念図】



	美浜3号機	高浜1,2号機	高浜3,4号機	大飯3,4号機	
本体施設の 工事計画認可	2016.10.26	2016.6.10	3号機：2015. 8.4 4号機：2015.10.9	2017.8.25	
設置期限※1	2021.10.25	2021.6.9	3号機：2020. 8.3 4号機：2020.10.8	2022.8.24	
実施状況	設置変更許可	2020.7.8許可	2018.3.7許可	2016.9.21許可	2020.2.26許可
	工事計画認可	2021.4.6認可	2019. 4.25(1/4)、2019.9.13(2/4)、 2019.10.24(3/4)、2020.2.20(4/4)認可 ※2	2019.8.7認可	2020.12.22(1/2) ※3 2021. 8.24(2/2)認可
	運用開始時期 ()は予定	(2022.9頃)	(1号機：2023.5頃) (2号機：2023.6頃)	3号機：2020.12.11 4号機：2021. 3.25	(3号機：2022.12頃) (4号機：2022. 8頃)

※1：実用炉規則により、本体施設の工事計画認可から5年までに設置することを要求。

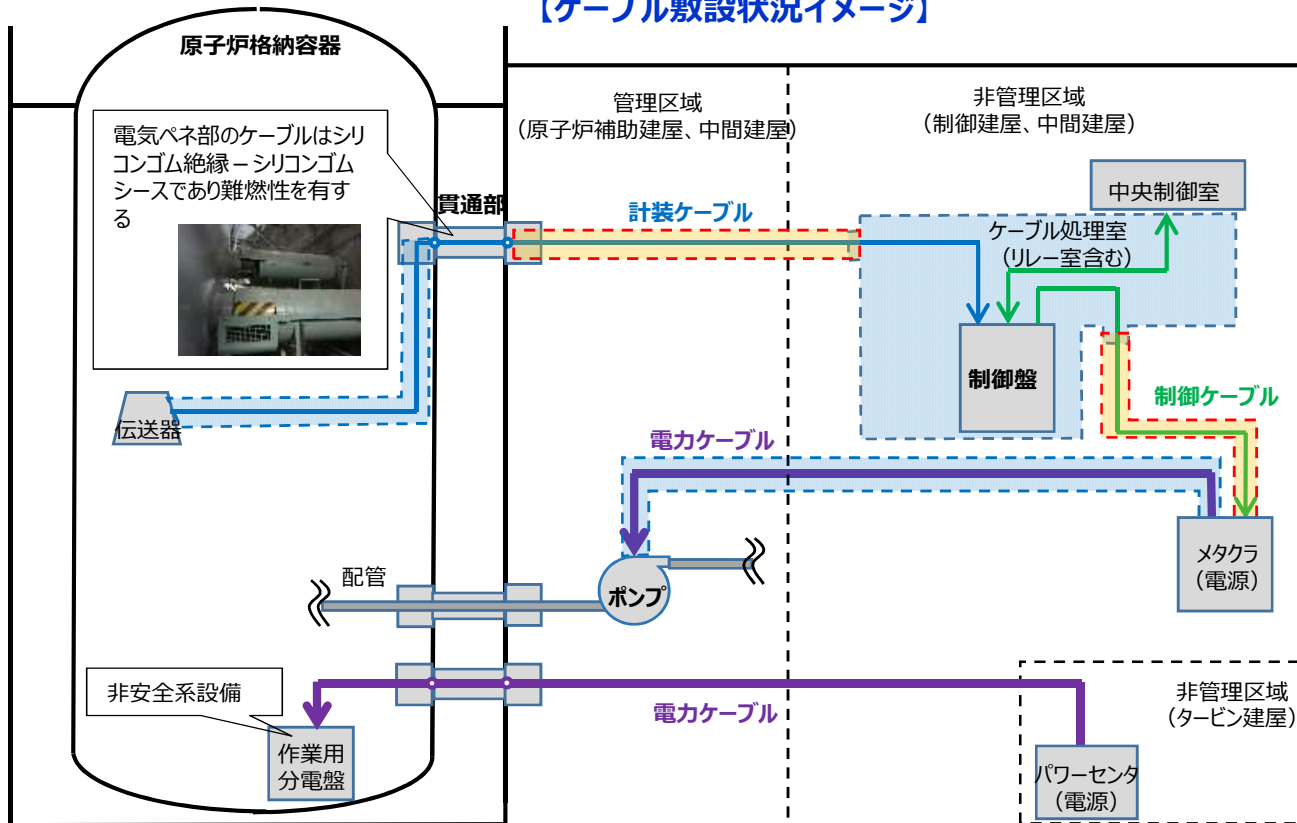
※2：4分割申請

※3：2分割申請

□：工事中

- 高浜 2 号機においては新規制基準工事として原子炉格納容器上部遮蔽設置や竜巻防護対策などの工事は完了。
- 現在、火災防護対策工事を実施しており、1月に安全性向上対策工事が完了する予定。

【ケーブル敷設状況イメージ】



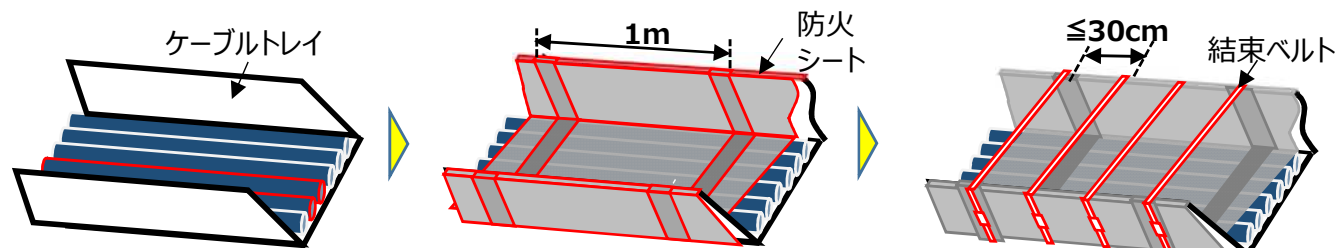
【ケーブル火災防護対策実施状況】

- : 難燃ケーブルに引き替える範囲
(ケーブル長さ 約390km)
⇒約340km完了*
- : 防火シートを巻きつける範囲
(ケーブルトレイ 約4.5km)
⇒約4.1km完了*

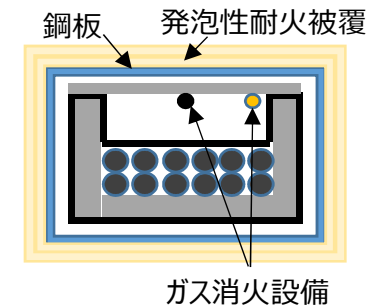
上記範囲の内、ケーブルが 2 系統とも同区画にある場合においては片系統に発泡性耐火被覆を貼り付けた鋼板で防火シートの外側を囲う範囲
(ケーブルトレイ 約 2 km)
⇒約1.35km完了*

(※) 2021年12月1日実績

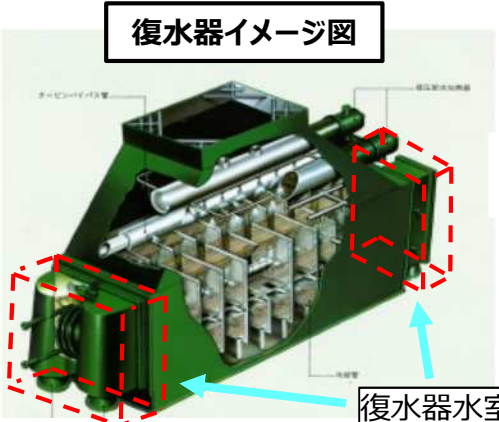

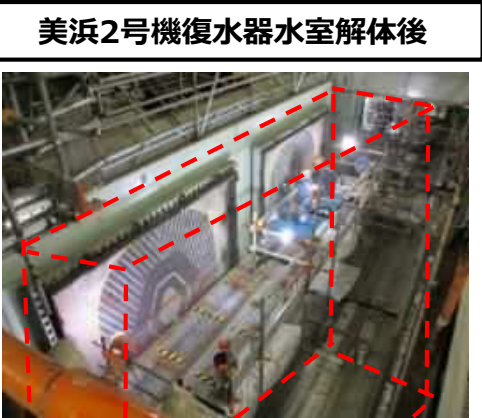
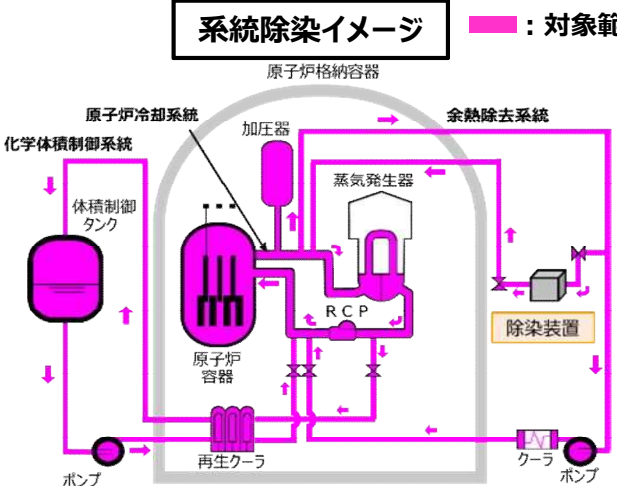
【ケーブルトレイ防火シート巻き付けイメージ】



【発泡性耐火被覆巻き付けイメージ】

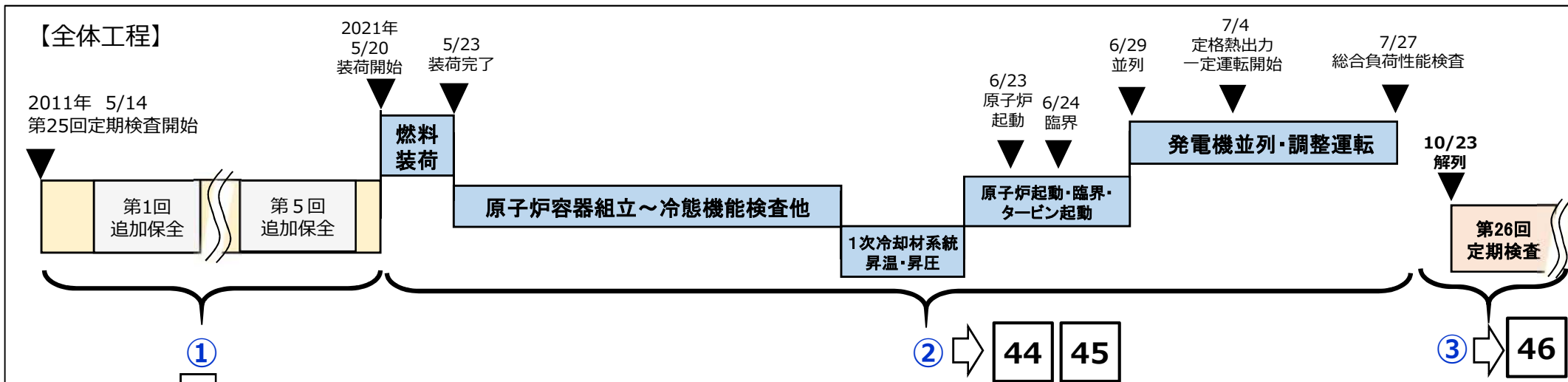


各発電所の状況（廃止措置中のプラント）

発電所名	廃止措置中プラントの状況
<p>美浜1号機</p>	<p>2017.4.19 廃止措置計画認可 2021.7.29 廃止措置計画変更認可申請 （第2段階：原子炉周辺設備解体撤去期間）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2次系設備の解体撤去作業中 ・1次系系統除染作業完了
<p>美浜2号機</p>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>復水器イメージ図</p>  </div> <div style="margin-right: 20px;"> <p>復水器水室解体</p>  </div> <div> <p>美浜2号機復水器水室解体後</p>  </div> </div>
<p>大飯1号機</p>	<p>2019.12.11 廃止措置計画認可</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2次系設備の解体撤去作業中 ・1次系系統除染作業※完了し、除染装置撤去中
<p>大飯2号機</p>	<p>※：系統除染とは、解体作業時の被ばく量と放射性廃棄物の放射能濃度を低減するため、機器内面に付着した放射性物質を化学薬品を用いて除去するものであり、放射性物質が多く存在している系統を対象とする。</p> <div style="text-align: right; margin-bottom: 5px;"> <p>系統除染イメージ ■：対象範囲</p> </div> 

美浜 3 号機の再稼動について (1/3)

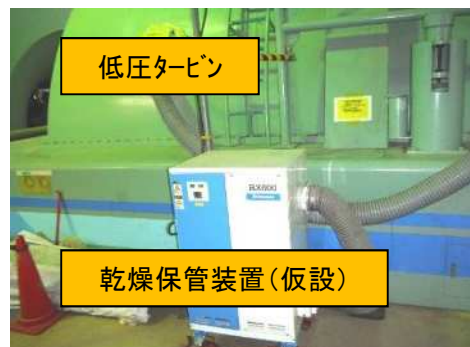
- 美浜 3 号機は、2011年以降約10年長期停止していたこと等も踏まえ、この停止期間中においては設備保全を行い、再稼動への影響はなかった。
- 再稼動にあたっては、これまで、大飯3,4号機、高浜3,4号機で実施した「集中的な安全確認」に加え、新たに「総点検」を実施し、体制も強化して再稼動に万全を期した。
- 7月27日に実施した総合負荷性能検査後、安全安定運転を継続し、特重設置期限前の10月23日から定期検査を開始した。



停止期間中の設備保全

設備、機器の健全性確保のため、特別な保全計画を策定し、約1年毎に機器、設備の使用条件、環境に応じた追加保全や保管対策を実施

【低圧タービン乾燥保管状況】



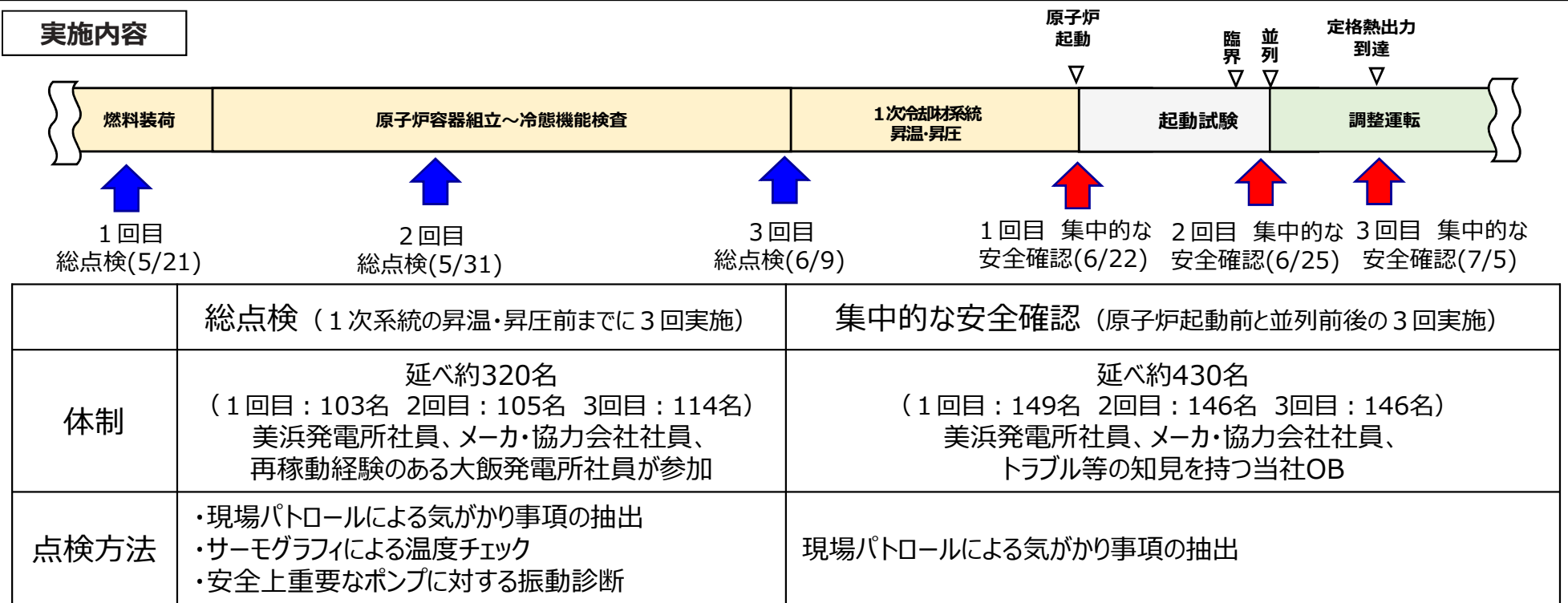
【海水ポンプ分解点検状況】



美浜 3 号機の再稼動について (2/3)

②「集中的な安全確認」および「総点検」

- 1次システムの昇温・昇圧前に「総点検」(計3回)、原子炉起動前と並列前後に「集中的な安全確認」(計3回)を実施
- 実施に当たっては、美浜発電所の社員やメーカー、協力会社社員のほか、新たな視点を取り入れる観点から、「総点検」には再稼動経験のある大飯発電所の社員、「集中的な安全確認」には過去のトラブル等の知見を多く持つ当社OBを加えて実施



【サーモグラフィによる点検状況】



(端子の接続部が異常な温度状態となっていないかを確認)

【回転機器の振動確認の状況】

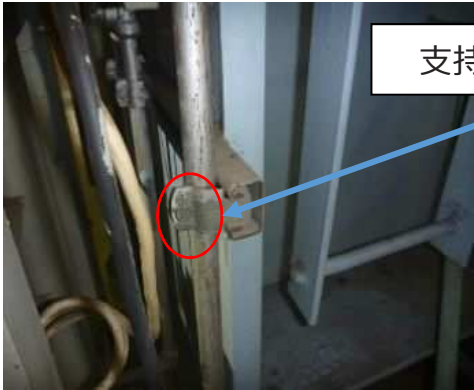



(回転機器の振動に問題ないかを確認)

【現場パトロールの状況】



(ポンプの運転状態に異常がないかを確認)

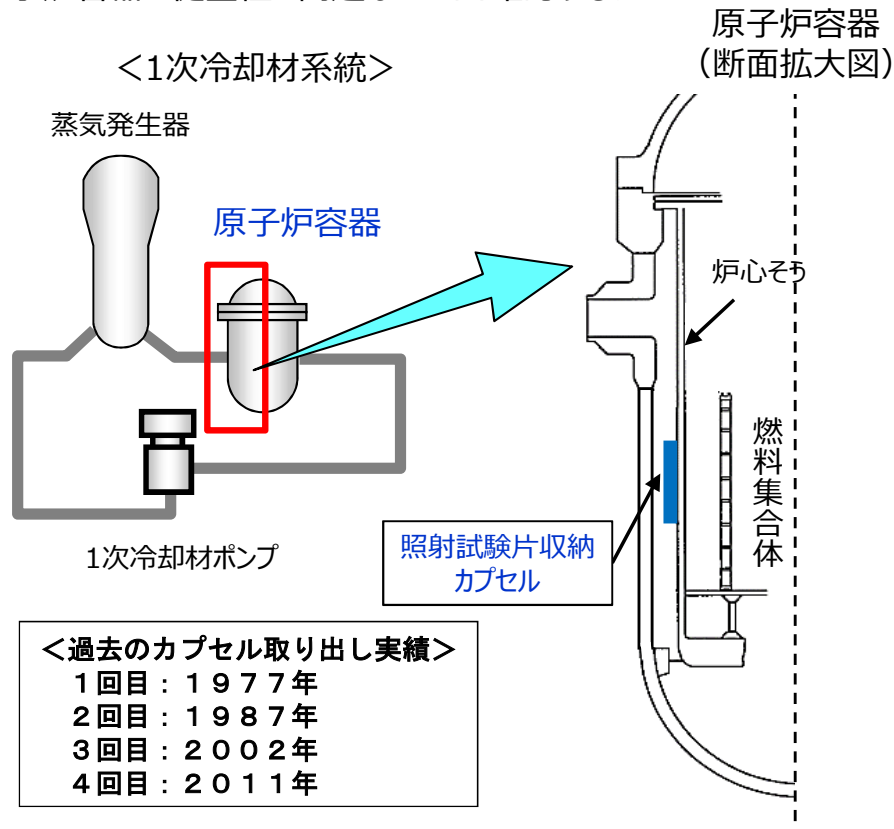
項目	②総点検および集中的な安全確認の結果
<p>点検および処置の結果</p>	<p>➤ 総点検および集中的な安全確認は、対象を機器・設備に限定せず、資機材の配置（整理整頓）状況などをはじめ、現場におけるあらゆる気がかり事項を見つけ、処置をすることで、トラブルの未然防止を図ることを目的に実施</p> <p>点検対象エリア：格納容器、補助建屋（管理区域内）、中間建屋、タービン建屋</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>[気がかり事項の例] 支持金具のゆるみ</p>  <p>支持金具ゆるみ箇所</p> <p>↓</p> <p>(処置) ・増し締めの実施</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>[気がかり事項の例] 高圧油圧力発信器第2弁の油にじみ跡</p>  <p>油にじみ跡</p> <p>↓</p> <p>(処置) ・拭き取り後、漏れがないことを確認</p> </div> </div> <div style="margin-top: 20px;"> <p>その他の気がかり事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ プルボックス（電線、ケーブル収納箱）締め忘れ ・ 保温材すき間、養生シート・テープ外し忘れ ・ 蛍光灯切れ、工事残材あり 等 <p>⇒ 全て処置を完了</p> </div>
<p>評価</p>	<p>➤ 「自分の担当範囲だけでなくあらゆる視点を持ち点検を行うこと」等の視点を持ち、点検・確認を行った。</p> <p>➤ その結果、保温材にすき間があることなど運転等に直接影響はないものの、現場の詳細な状態なども、気づき事項として抽出することができた。</p> <p>➤ 当社社員、協力会社、メーカーが1つのチームとなることで、点検・確認に対する様々な視点、経験の共有を図ることができ、今後、後続プラントに対しても、今回の活動の結果等を反映する予定である。</p>

③美浜3号機第26回定期検査

2021年10月23日から第26回定期検査を開始し、通常の定期検査の内容である1次系のポンプ弁点検などに加え、以下の主な工事を実施する。

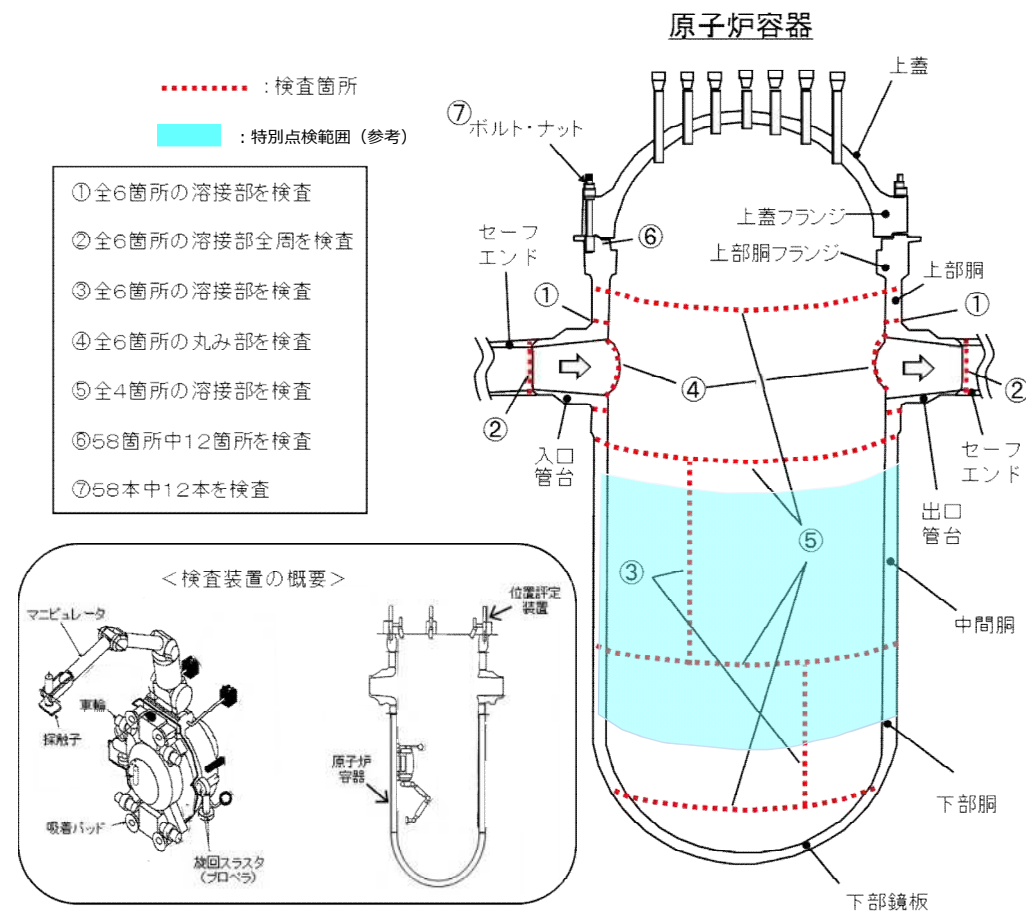
原子炉照射試験片取出工事

- 中性子照射による原子炉容器の材料特性変化を定期的に把握するため、原子炉容器内部に設置している照射試験片を取り出す。
- 取り出した照射試験片を試験場所へ運搬し、各種試験を実施し、原子炉容器の健全性に問題ないことを確認する。



原子炉容器供用期間中検査

- 原子炉容器の供用期間中検査として、原子炉容器溶接部等の超音波探傷検査を行い、健全性を確認する。



今回実施した防災訓練の概要（美浜、高浜）

項目	美浜発電所	高浜発電所
実施日	令和3年10月29日（金）・30日（土）	令和3年9月24日（金）
訓練目的	[発電所] プラント状態の把握、事故対応手順の確認、情報共有等の確実な事故制圧ができることを確認する。 [本店] 発電所と連携し、的確な支援が行えることを確認する。	
訓練項目	①要員の迅速な参集による体制の確立ができること。 ②保安規定に定められた人数で事故の制圧ができること。 ③発電所への的確な技術支援が行えること。	
実施体制	発電所、原子力事業本部、本店等、約400名が参加 ○発電所 : 約100名 ○本店 : 約150名 ○その他（住民避難支援他） : 約150名	発電所、原子力事業本部、本店等、約230名が参加 ○発電所 : 約 90名 ○本店 : 約 130名 ○その他（OFC他） : 約 10名
シナリオ	運転中3号機の発災 ○3号機 : LOCA + ECCS注水不能	運転中の1、3、4号機が重複して発災 ○1号機 : LOCA + ECCS注水不能 ○3号機 : SG給水機能喪失 ○4号機 : LOCA + ECCS注水不能（炉心損傷）

原子力事業本部(10/29)
緊急時対策室



美浜発電所（10/29）
事故収束訓練（北陸電力高圧電源車）



高浜発電所（9/24）
緊急時対策所



今回実施した防災訓練の概要（美浜、高浜）

項目	美浜発電所	高浜発電所
結果	○ 訓練項目について訓練目的通りに実施することが出来た。	
主要な 課題 ・ 対応 方向性	○電源車の接続訓練にて当社と北陸電力の作業分担に不明確な点があったため、作業手順書（マニュアル）が予め作成されていることが望ましい。 ⇒他社との作業分担を明確化した作業手順書（マニュアル）を整備する。（当社営業部門の電源車も含む）	○本部指揮者が各班の実施内容を容易に把握できる仕組みが必要。 ⇒各班の実施内容をチェックリストとして整備する。 ○炉心損傷後の現場の環境悪化に対する考慮が不足。 ⇒被ばく線量等の訓練想定や情報付与の改善を行う。
	今後、今回の訓練に関する検証と改善を行い、より実効性のある事故制圧体制を構築していく。	
中長期 計画	今後、他電力間との訓練交流を深め、防災訓練へ相互参加、連携の強化を図り、更なる防災能力向上を図る。 （参考）2021年度相互技術評価（日本原電、九州電力、北海道電力、北陸電力との計2回）を実施済 また、今回美浜発電所の訓練において、高圧電源車の接続訓練を実施した。	