

福島県原子力発電所の廃炉に関する
安全監視協議会 現地調査

(6号機 原子炉開放および燃料移動)

2013年 10月22日
福島第一原子力発電所



東京電力

6号機 原子炉開放および燃料移動

1. はじめに

福島第一原子力発電所は、平成23年3月11日に発生した東日本大震災の津波により、海廻りの設備を中心に被災した。当初冷温停止機器については、一部仮設設備にて対応していたが、現在は本設設備の点検・修理が終わり、保安措置要求事項を満たしている状況にある。

一方、燃料については原子炉内に装荷されている状況にあるが、今後停止期間が長期に及ぶため、安全性の向上と設備維持管理の合理化の観点(※)から、燃料を使用済燃料貯蔵プール(SFP)へ移動することを計画しており、この度、6号機について燃料移動作業を開始した。

(その後、1～4号機の燃料搬出に影響を与えないよう配慮しつつ、適宜使用済燃料を共用プールへ搬出を予定。)

(※)燃料を使用済燃料貯蔵プール又は、使用済燃料共用プールで一括管理することにより、安全管理面において一層の向上を図る。

6号機 原子炉開放および燃料移動

2. 今後のスケジュール（予定）

| 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 |
|-------------------------------------|----|-------|-------|-------|
| 原子炉開放及び燃料移動に係る設備の健全性確認 | | | | |
| [Blue bar spanning July and August] | | | | |
| | | 原子炉開放 | | |
| | | 9/17 | 10/15 | |
| | | | | 燃料移動 |
| | | | | 10/21 |

6号機 原子炉開放および燃料移動

3. 燃料集合体及び関連設備の主な仕様

燃料集合体および関連設備

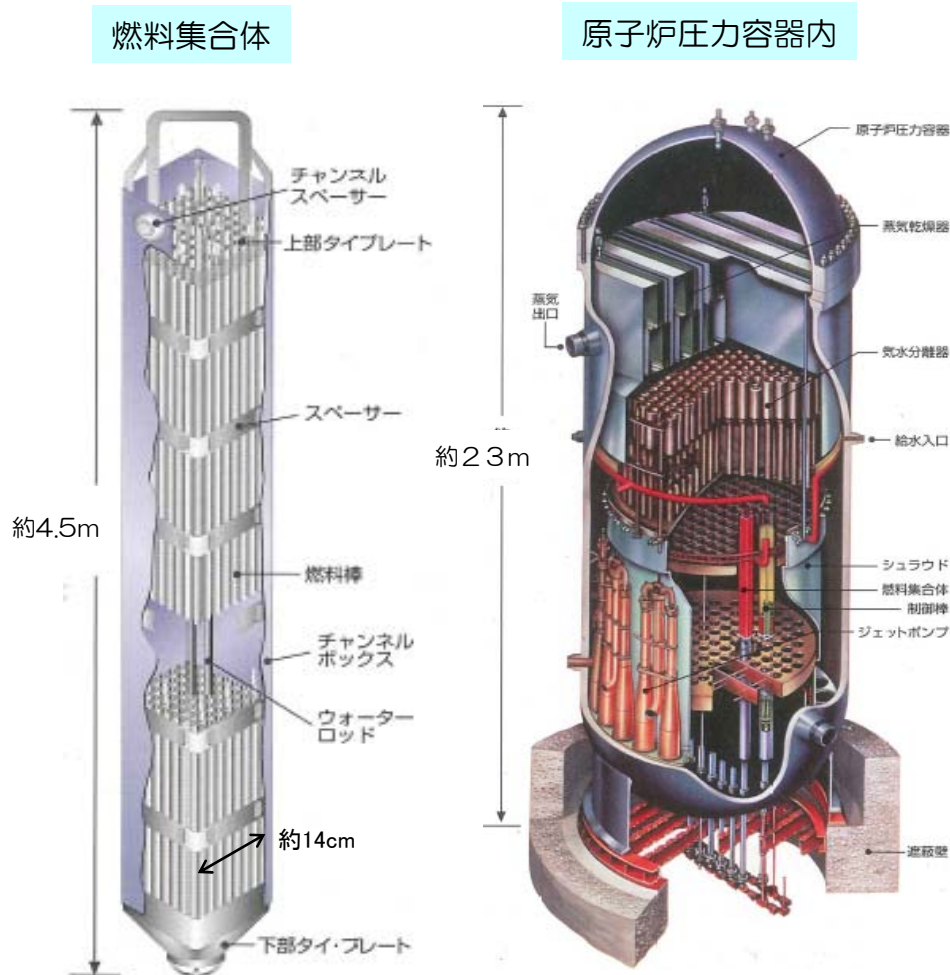
- 今回取り出す燃料集合体
6号機 **764体** (=原子炉にある全ての燃料集合体)
- 燃料集合体
 - ・燃料の配列 9×9
 - ・燃料棒の本数 72本
 - ・燃料棒の外径 約11mm
 - ・全重量 約260kg
 - ・全長 約4.5m
- 使用済燃料プールにおける燃料集合体の保管状況
 - ・燃料移動前

| | 照射燃料 + 新燃料 | ／ | 最大貯蔵可能体数[割合] |
|------------|-------------------|----------|--------------------|
| 1号機 | 292体 + 100体 | ／ | 900体 [44%] |
| 2号機 | 587体 + 28体 | ／ | 1240体 [50%] |
| 3号機 | 514体 + 52体 | ／ | 1220体 [46%] |
| 4号機 | 1331体 + 202体 | ／ | 1590体 [96%] |
| 5号機 | 946体 + 48体 | ／ | 1590体 [63%] |
| 6号機 | 876体 + 64体 | ／ | 1770体 [53%] |

- ・燃料移動後
6号機 1456体 + 248体 / 1770体 [96%]

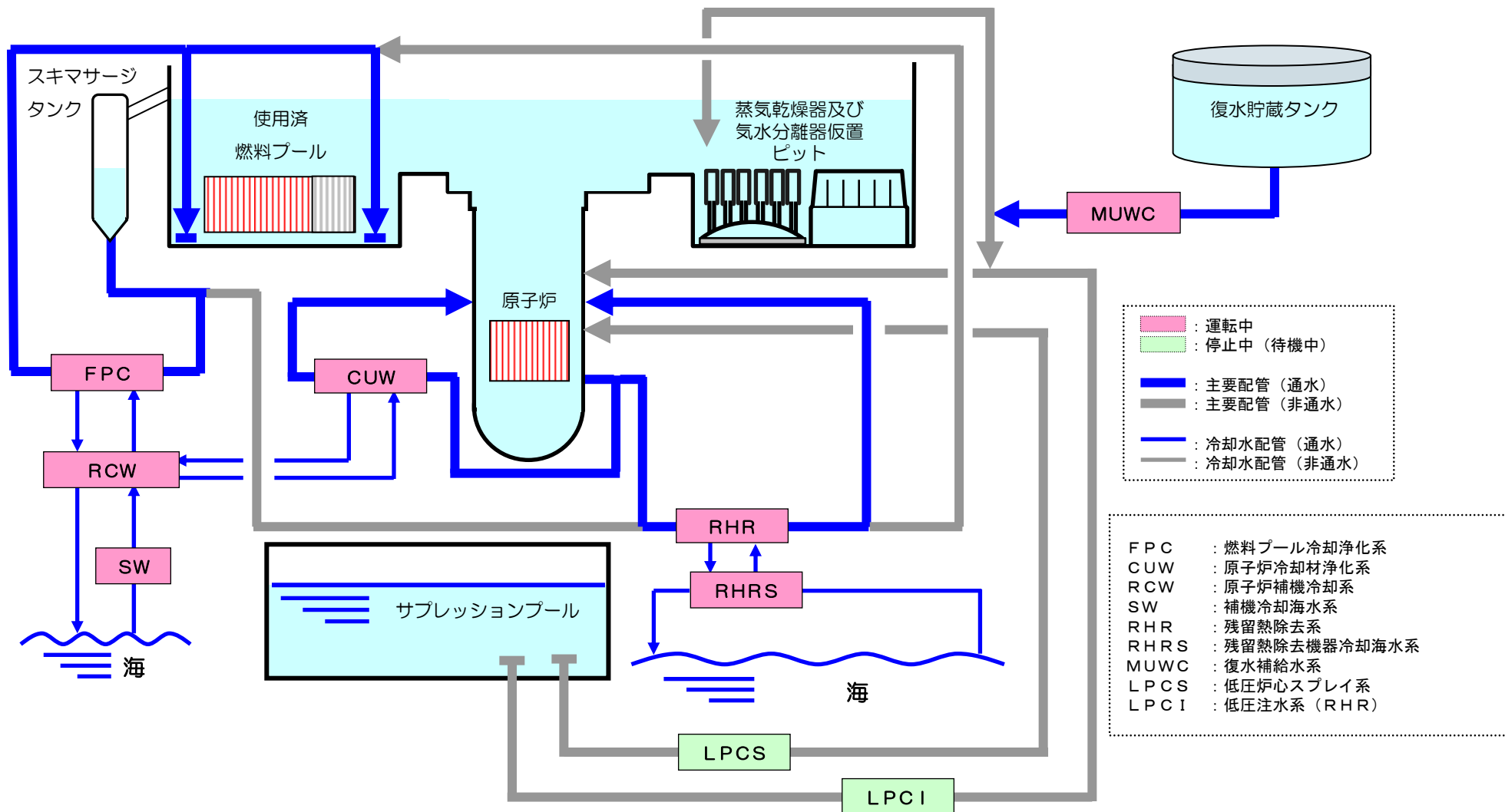
※上記割合は小数点第一位で四捨五入

- 6号機使用済燃料プール
約12m (南北) × 約10m (東西) × 約12m (深さ)



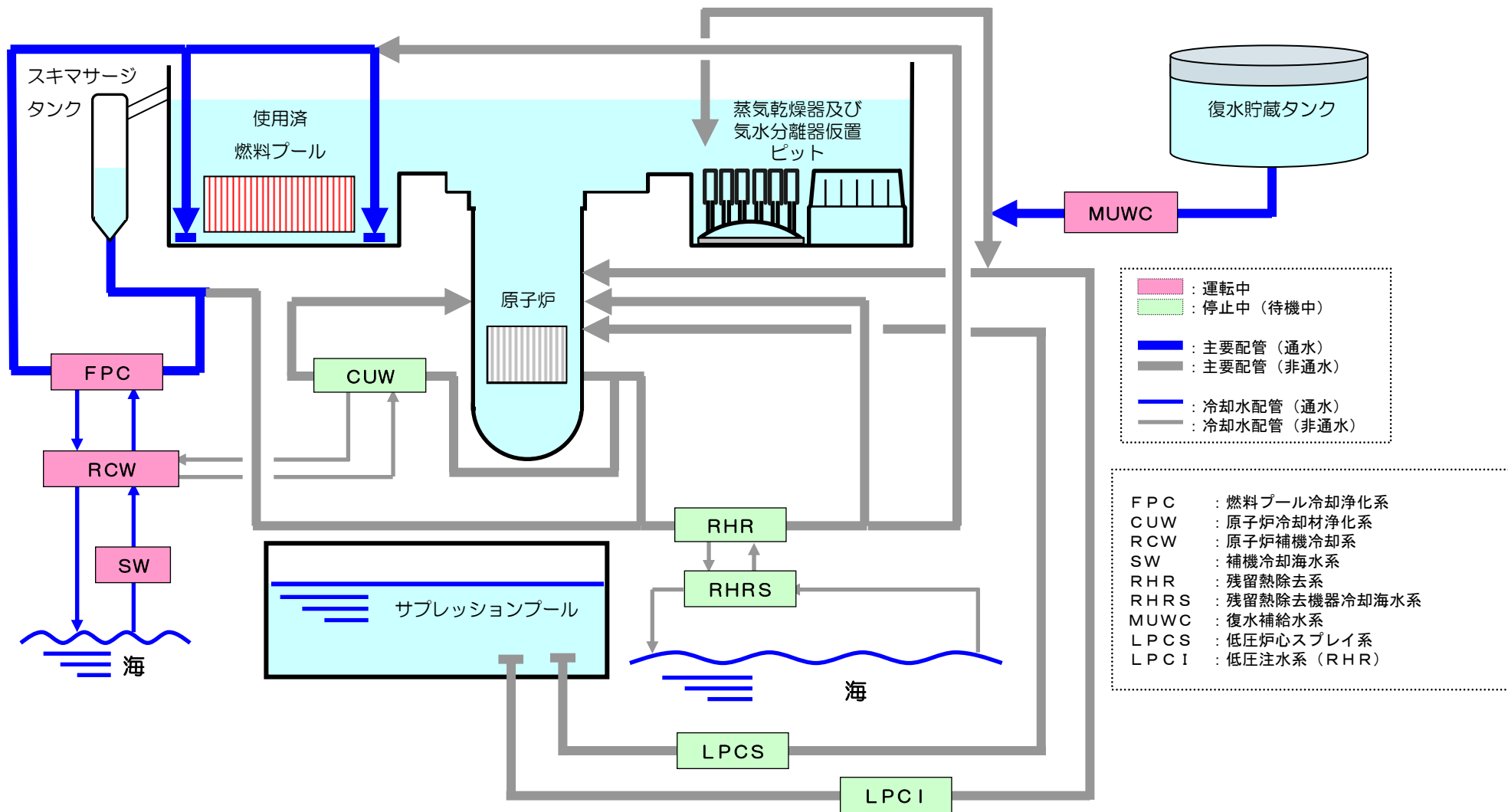
6号機 原子炉開放および燃料移動

4. 燃料移動中の冷却系統(1/2)



6号機 原子炉開放および燃料移動

4. 燃料移動完了後の冷却系統(2/2)

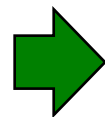


6号機 原子炉開放および燃料移動

5. 使用済燃料プールの未臨界性

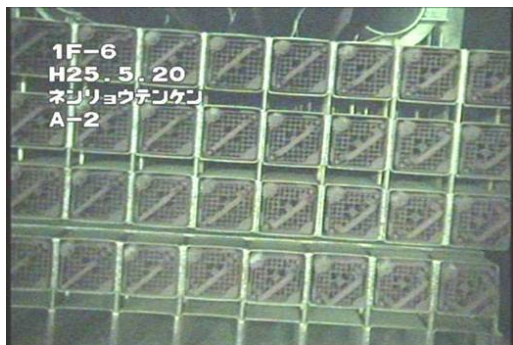
使用済燃料プールの中に、燃料を保管するための使用済燃料貯蔵ラックが配置され、燃料ですべてのラックが満たされたとしても、実効増倍率※が0.95以下となるように設計されている。

- ・適切な燃料間の距離となるような格子サイズ。
- ・ステンレス鋼を使用。

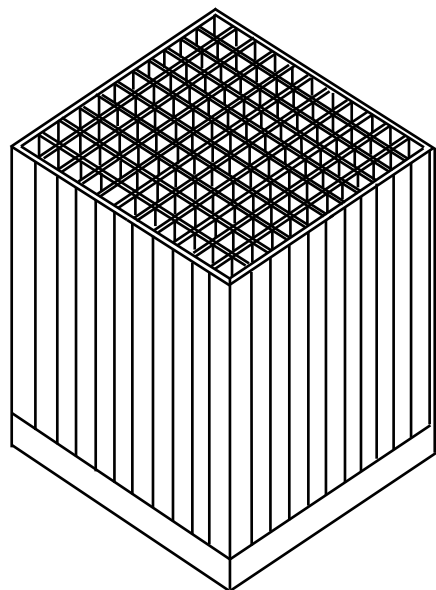


中性子の増倍を抑制し、未臨界を確保。

※実効増倍率：中性子の増倍の程度を示すもので、この値が1.0を超えると臨界となる。

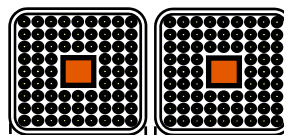


使用済燃料貯蔵ラックの
写真とイメージ図



臨界にする原子炉と未臨界を確保する使用済燃料貯蔵ラックの大きな違いは、燃料間の距離である。約14cm幅の燃料を並べるときの燃料間の距離は、

(a) 原子炉：約1.9cm

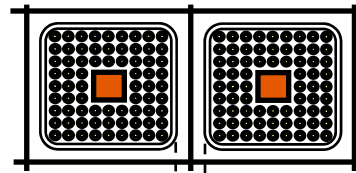


約14cm

約1.9cm

幅が狭い。

(b) 使用済燃料貯蔵ラック：約2.4cm



約2.4cm

幅が広い。

6. 天井クレーンおよび燃料取替機の健全性確認結果

① 原子炉建屋天井クレーン



- 用途
原子炉開放時、原子炉圧力容器の蓋等を吊上げる際に使用する設備。
- 確認方法
法令に基づく年次点検、性能検査、地震を踏まえた設備点検、電気品に対する目視点検・絶縁抵抗測定・作動試験
- 確認結果
点検の結果、走行車輪ロッカービームの連結ピンエンドプレート及び走行の一部リミットスイッチに軽微な変形が確認されが、部品の交換を行い、動作確認にて異常のないことを確認した。その他については、構造強度、機能に影響する異常は確認されなかった。

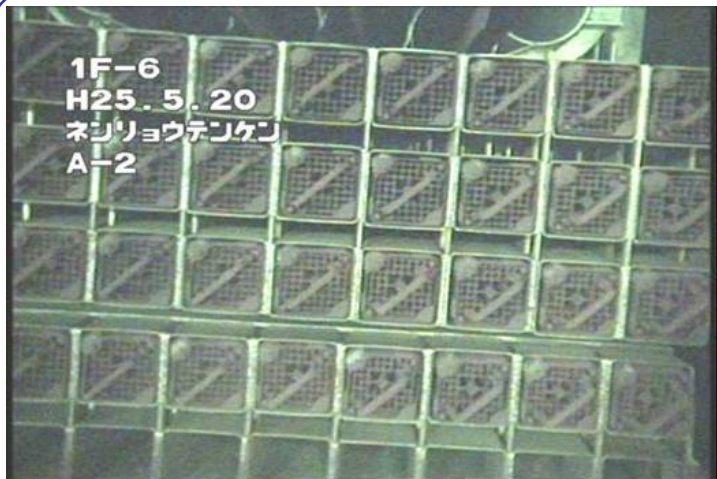
② 燃料取替機



- 用途
燃料を移動する際に使用する設備。
- 確認方法
目視点検、分解点検、社内性能検査、地震を踏まえた設備点検、電気品に対する目視点検・絶縁抵抗測定・作動試験
- 確認結果
点検の結果、一部の電気品に結露による絶縁抵抗低下が確認されたことから、機上制御盤の取替等を行い異常がないことを確認した。その他については、構造強度、機能に影響する異常は確認されなかった。

7. 使用済燃料貯蔵ラックおよび使用済燃料貯蔵プールの健全性確認結果

③ 使用済燃料貯蔵ラック



- 用途
使用済燃料及び新燃料を貯蔵するための設備。
- 確認方法
目視点検、地震を踏まえた設備点検
- 確認結果
点検の結果、異常は確認されず燃料保管時の安全性は確保されている。

④ 使用済燃料貯蔵プール

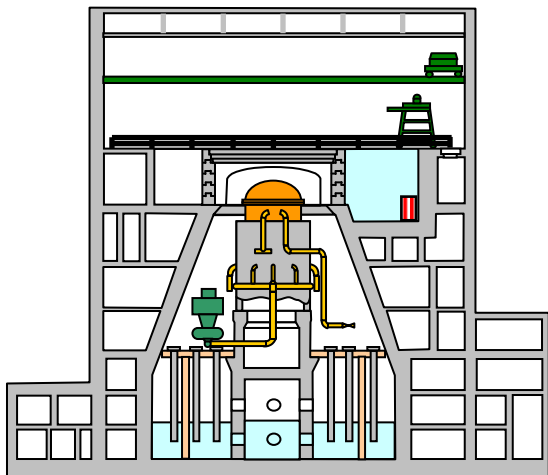


- 用途
使用済燃料を冷却し、使用済燃料からの放射線を遮へいするために水を保有する設備。
- 確認方法
目視点検、地震を踏まえた設備点検
- 確認結果
点検の結果、異常は確認されず燃料保管時の安全性は確保されている。

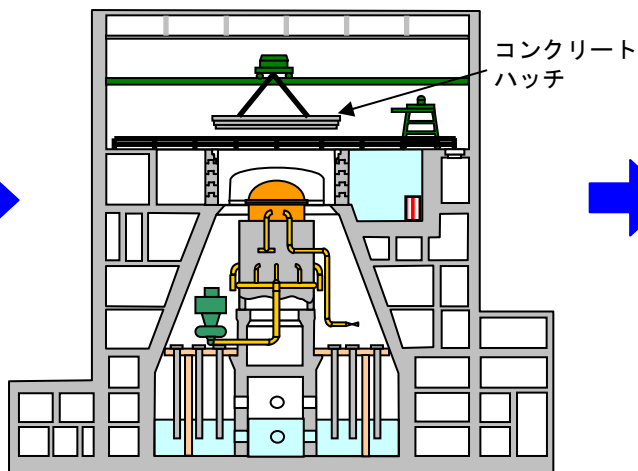
6号機 原子炉開放および燃料移動

8. 原子炉開放(1/2)

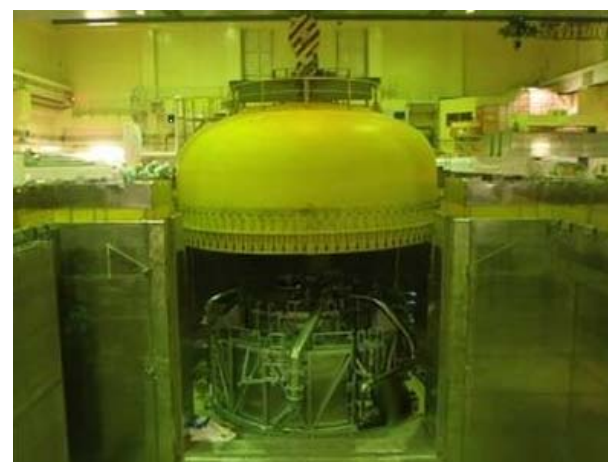
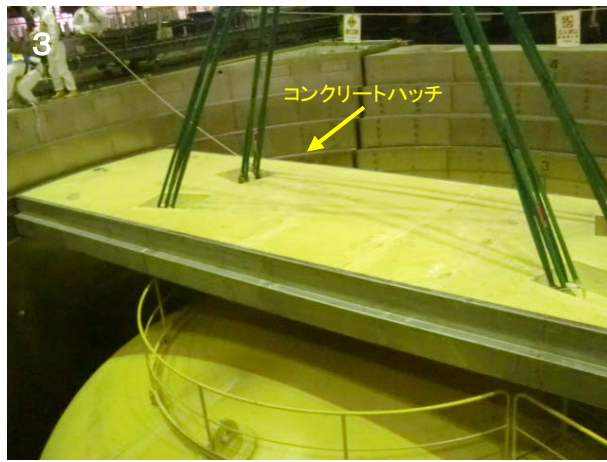
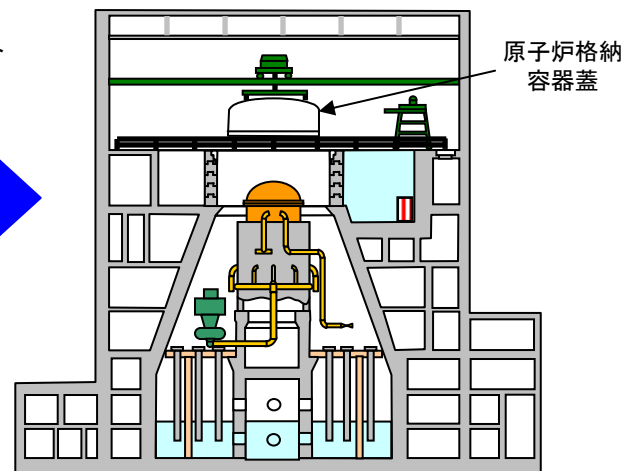
原子炉開放前 (ステップ0)



ステップ1
コンクリートハッチの取外し



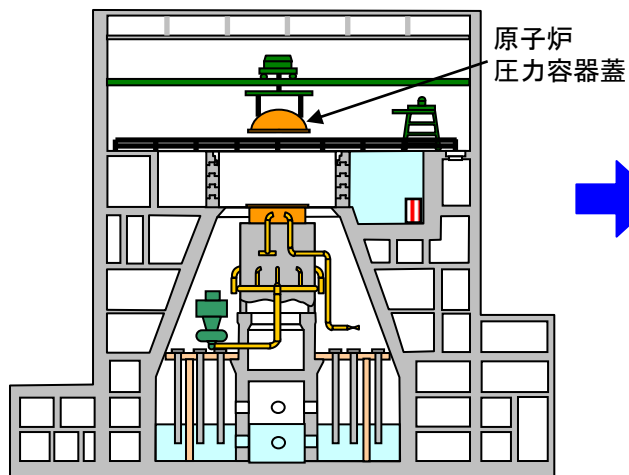
ステップ2
原子炉格納容器トップヘッドの取外し



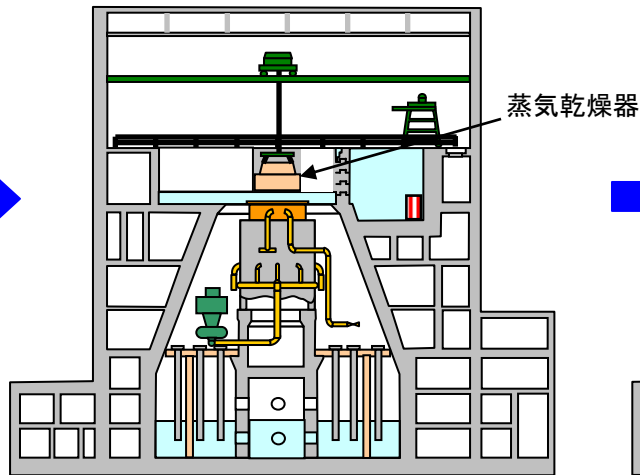
6号機 原子炉開放および燃料移動

8. 原子炉開放(2/2)

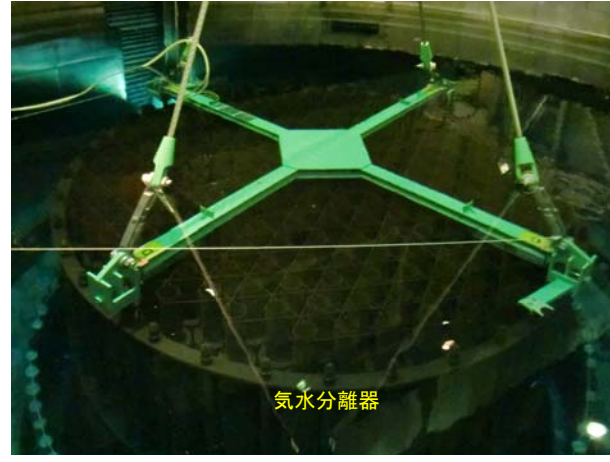
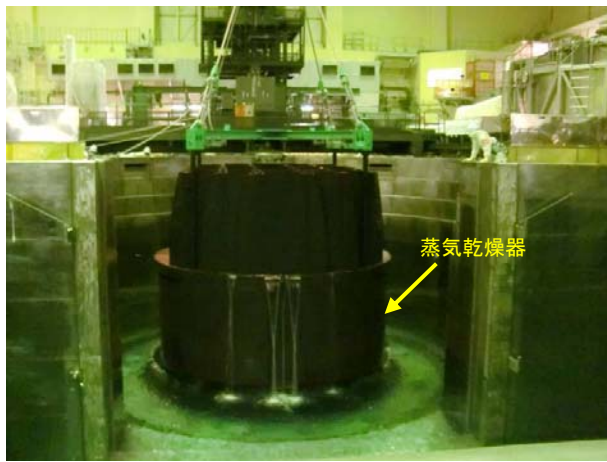
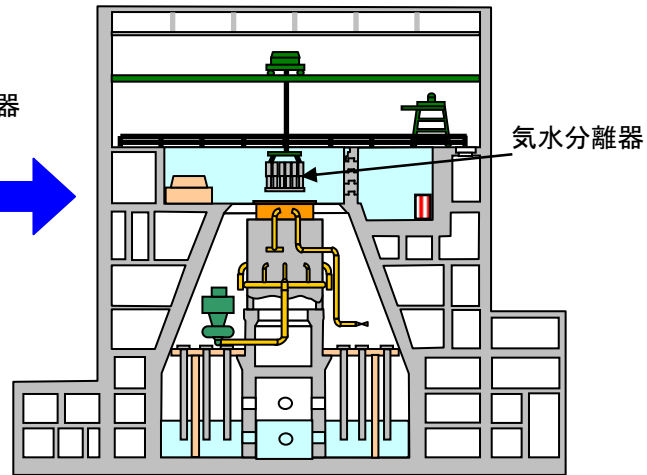
ステップ3
原子炉圧力容器トップヘッドの取外し



ステップ4
蒸気乾燥器の取外し



ステップ5
気水分離器の取外し

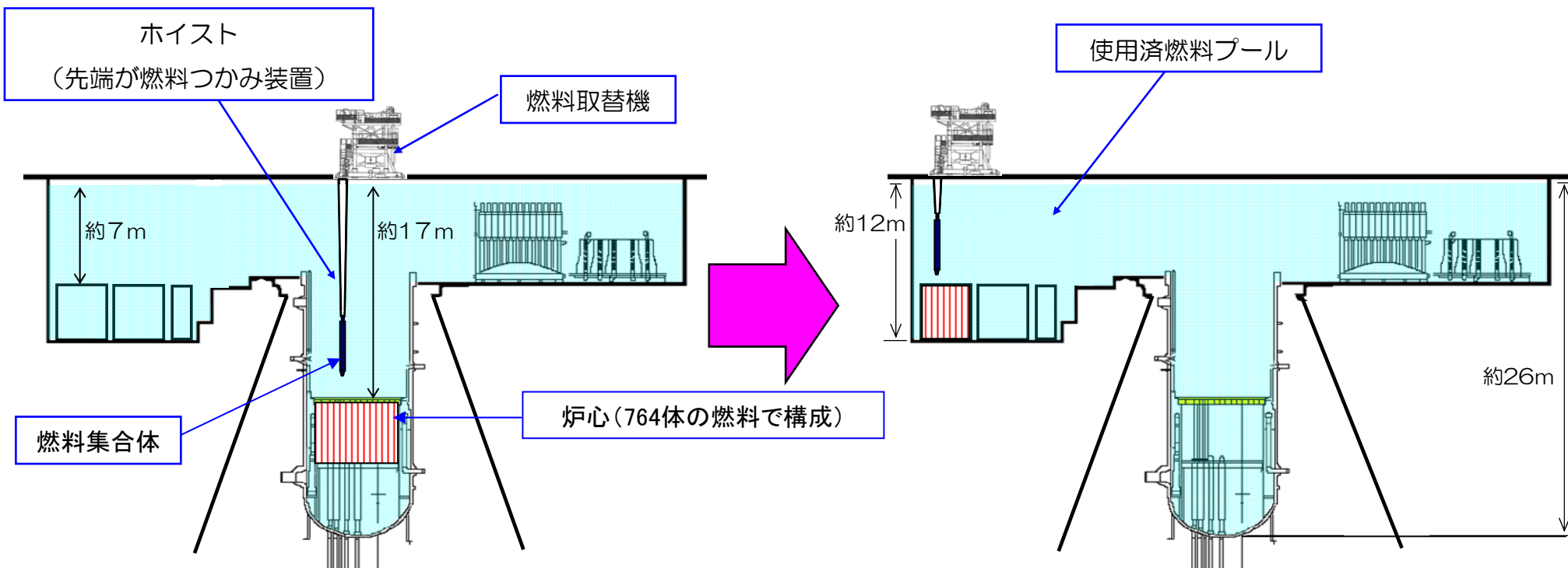


6号機 原子炉開放および燃料移動

9. 燃料取出

●燃料取出手順

- ①燃料取替機に装着された燃料つかみ装置を原子炉圧力容器・炉心内燃料集合体位置へ降下する。
- ②燃料つかみ装置によって、燃料集合体を吊り上げる。
- ③吊り上げた燃料集合体を、使用済燃料プールへ移送し、使用済燃料貯蔵ラック内へ吊り降ろす。



6号機 原子炉開放および燃料移動

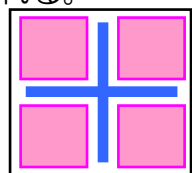
10. 燃料の基本的な取出順序(1/4)

燃料の取出順序の概念

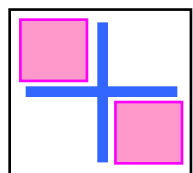
『燃料が装荷されているセル※1は必ず制御棒が挿入されていること』

➡ 燃料取出中の
原子炉の未臨界を確実に維持。

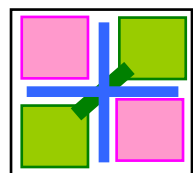
※1：セルは、下図のとおり4体の燃料と1体の制御棒で構成される。



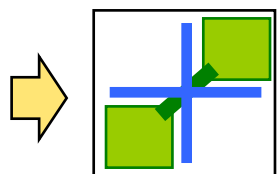
燃料取出し前



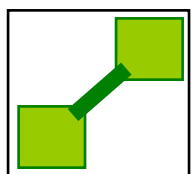
対角位置の
燃料2体の取出



ダブルブレード
ガイドの挿入



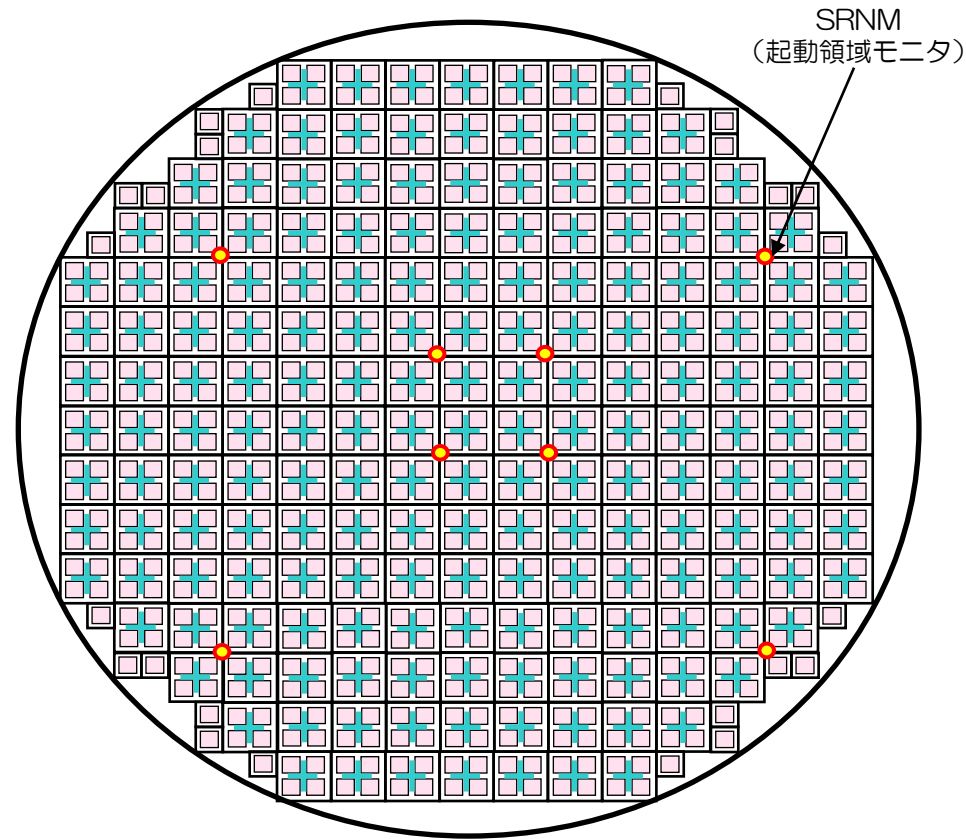
残りの燃料2体
の取出



制御棒の
引抜



ダブルブレード
ガイドの取出



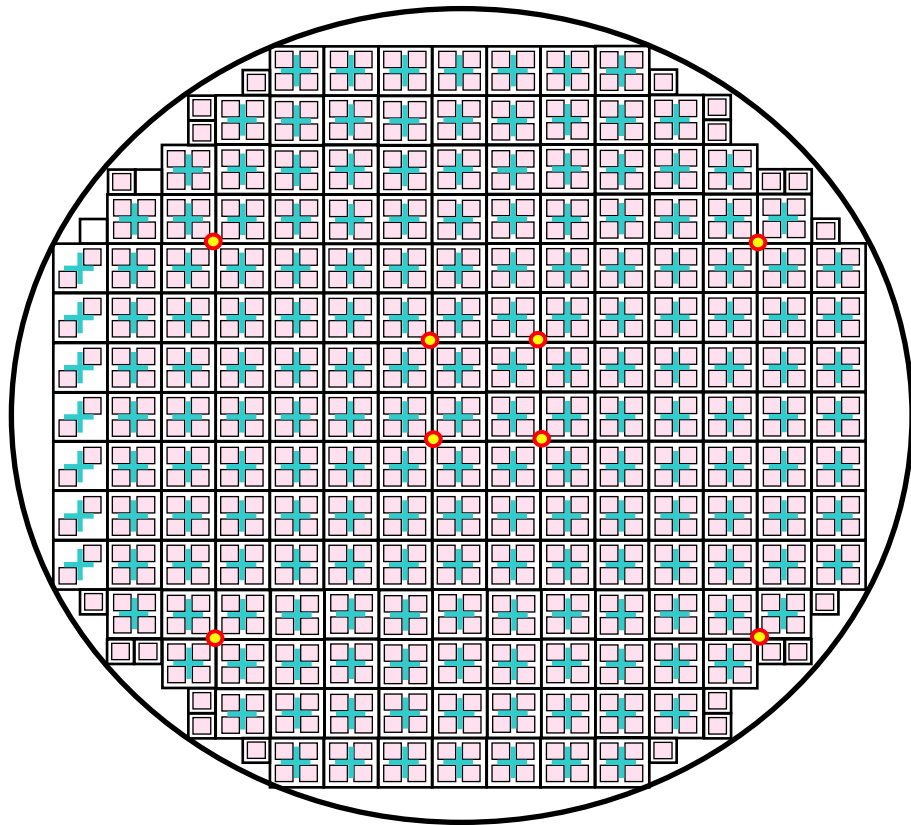
(A) 全燃料装荷状態

燃料：764体，制御棒：185本，SRNM※2：8Ch

※2：原子炉内の中性子束を計測し、原子炉が未臨界であることを監視。今回、原子炉停止から燃料取出までの期間が長くなったことにより、未臨界監視をより確実にするため、SRNM周りの燃料について仮置き（既に使用済燃料プールに取り出されていた使用済燃料と入替）を実施。

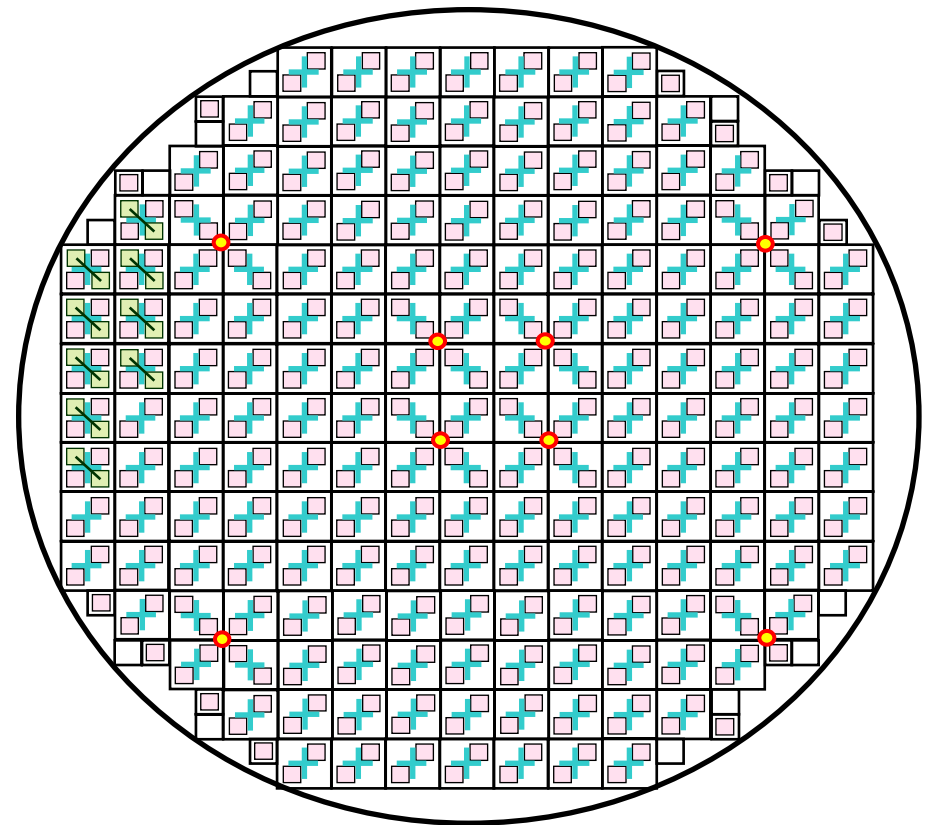
6号機 原子炉開放および燃料移動

10. 燃料の基本的な取出順序(2/4)



(B) 対角燃料取出

各セル内の、対角燃料2体を取り出す。

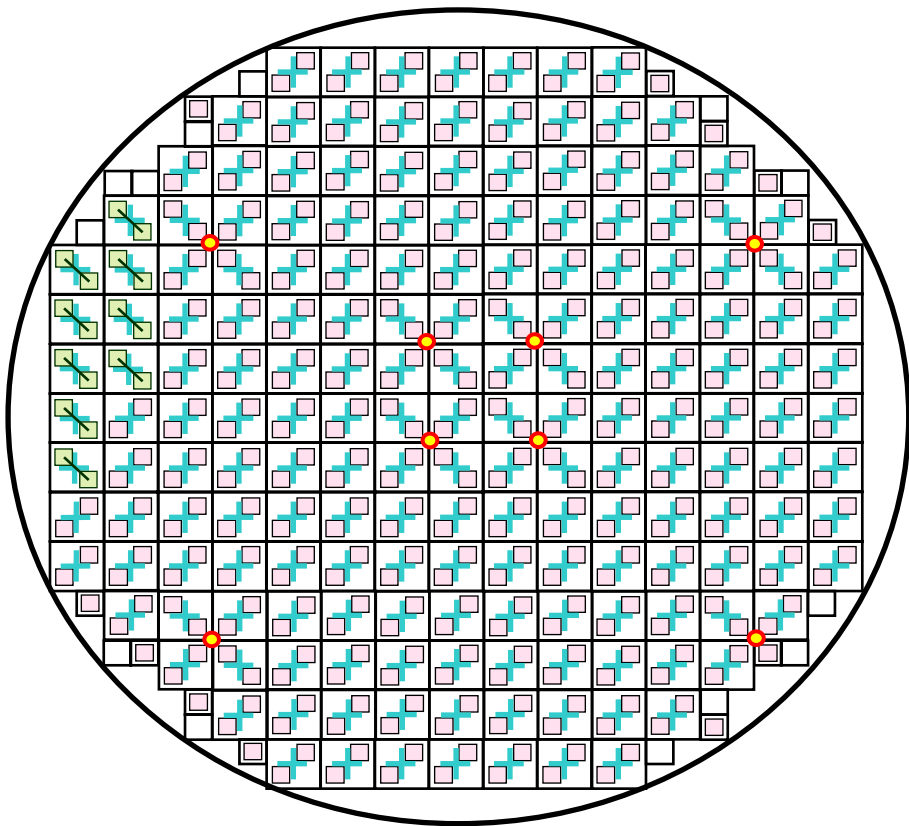


(C) ダブルブレードガイドの挿入

対角燃料2体を取り出したセルに、ダブルブレードガイドを挿入する。

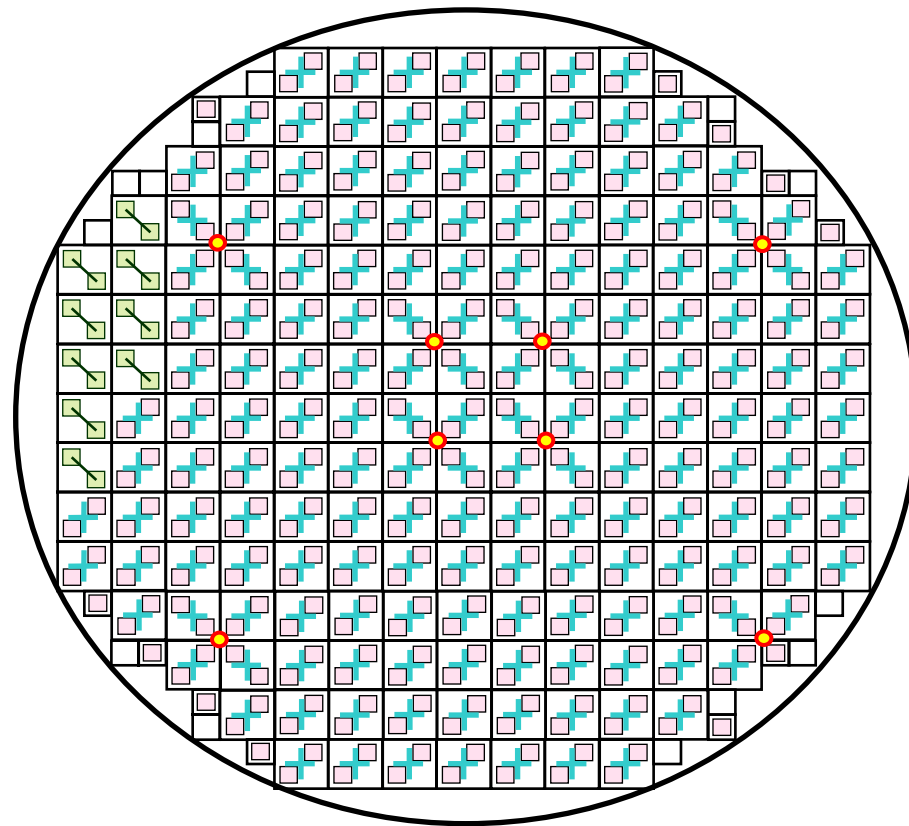
6号機 原子炉開放および燃料移動

10. 燃料の基本的な取出順序(3/4)



(D) ダブルブレードガイドを挿入したセル内の対角燃料の取出

ダブルブレードガイドを挿入したセル内の残りの対角燃料2体を取り出す。



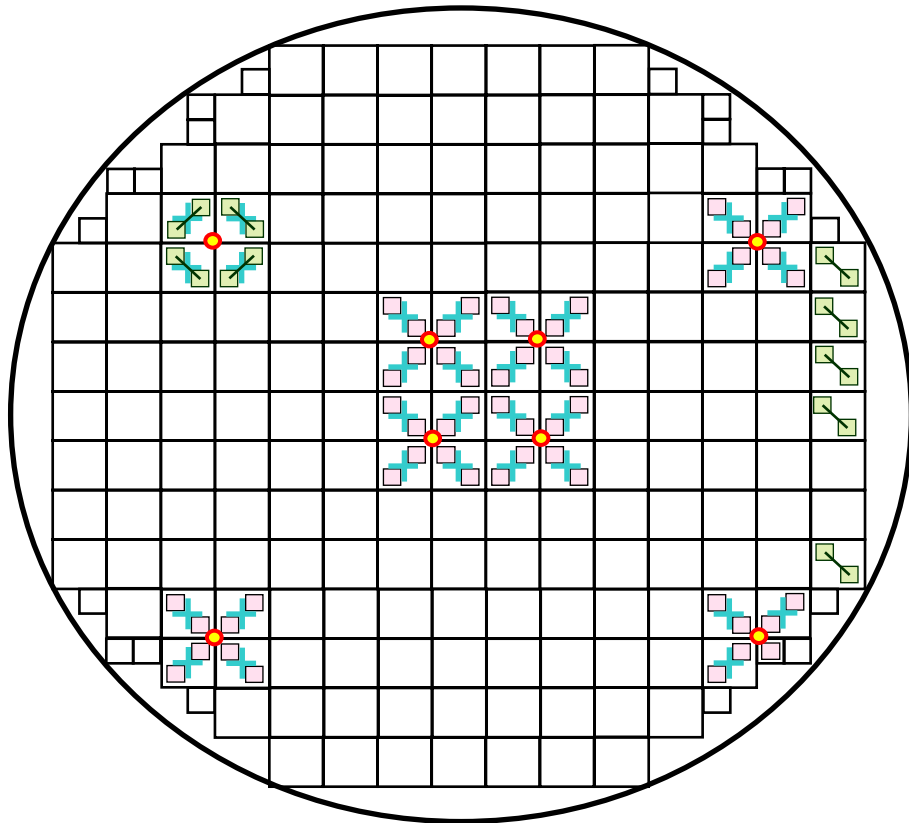
(E) ダブルブレードガイドを挿入したセル内の制御棒の引抜

ダブルブレードガイドを挿入したセル内の制御棒を引抜く。

(C)～(E)の手順を繰り返す。

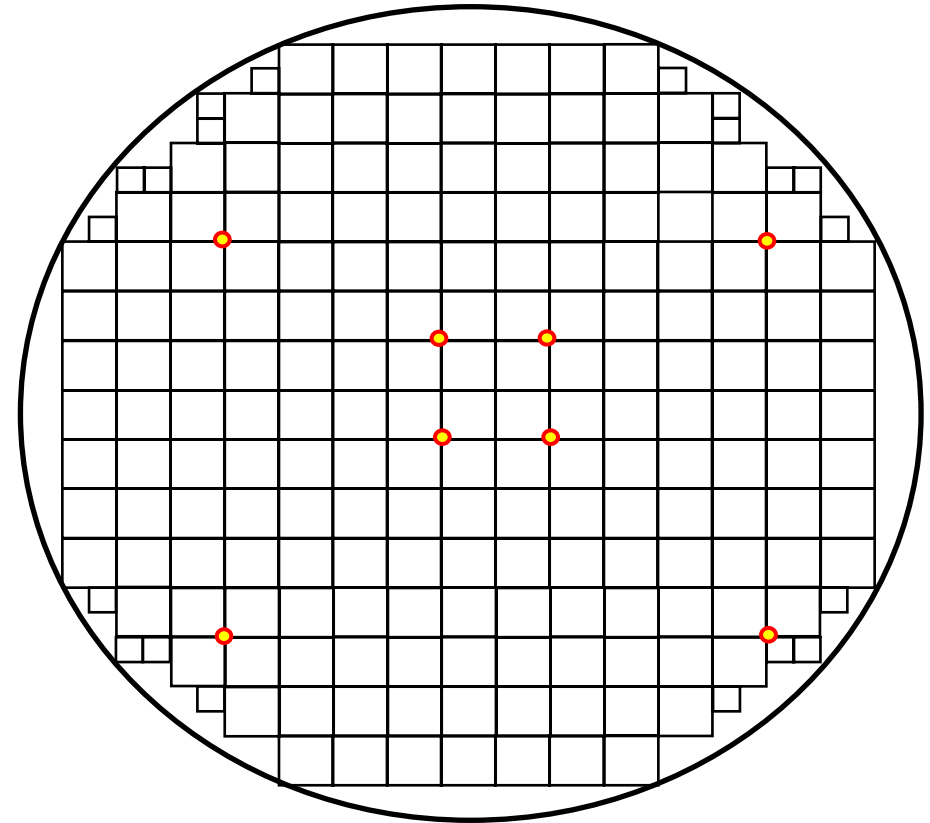
6号機 原子炉開放および燃料移動

10. 燃料の基本的な取出順序



(F) SRNM周りの燃料取出

原子炉内の中性子束を監視するため、SRNM周りの燃料は最後に取り出す。
(C)～(E)と同じ手順を繰り返す。



(G) 全燃料取出状態

全ての燃料が取出され、使用済燃料プールへ移動した状態。

1 1. 安全管理

燃料移動手順等について（移動手順・移動中の安全管理） 【燃料の取り出し手順の補足説明資料】

（燃料移動手順の概要）

- ・燃料移動手順書作成
- ・燃料移動手順書を燃料取替機計算機に入力
- ・自動運転による燃料移動開始
- ・各ステップ毎に以下の確認を行っている。

中央操作室：燃料移動手順書により燃料移動作業全体の監視・確認を行う。

燃料取替機操作室：燃料移動手順書に従い、燃料移動作業チェックシートの記載及び燃料移動手順の確認を行う。

燃料取替機上：目視による燃料移動状況の確認を行う。

（燃料移動中の安全管理の概要）

- ・燃料移動中の安全管理については、「原子炉プラント停止中の安全管理ガイド」に基づき、臨界防止・注水機能の維持等を目的に、当直長が原子炉プラント停止中点検シートにて、チェックを行い、特定原子炉施設に係わる実施計画の遵守状況について、確認を行っている。
- ・また、燃料の移動または制御棒操作毎に、原子炉が未臨界であることを起動領域モニター*の指示値に有意な変動がないことで確認を行っている。

* 起動領域モニター

原子炉内の中性子数を計測し、監視する装置。警報発生、制御棒引抜阻止等を行う。

〈当直員の燃料移動に関連する教育〉

当直員が実施している主な燃料移動に関連する教育は以下の通り。

- ・ 燃料管理における臨界管理
- ・ 燃料の検査、取替、運搬及び貯蔵に関すること
- ・ 関係法令及び保安規定の遵守に関すること
- ・ 原子炉施設の構造、性能に関すること
- ・ 放射線管理に関すること
- ・ 核燃料物質及び核燃料物質によって汚染された物の取扱いに関すること
- ・ 非常の場合に講ずべき処置に関すること
- ・ 燃料取扱関連設備について
- ・ 安全管理（異物混入防止）

〈参考〉関連マニュアル

「保安教育マニュアル」

福島第一原子力発電所特定原子力施設に係る実施計画及び保安規程に基づく保安教育を適切に実施・管理するためのマニュアル

「原子力部門 現業技術・技能認定マニュアル保安教育マニュアル」

現業業務に従事する社員に対する研修の充実をはかり、その研修で得た技術・技能を公正に認定し、社内はもとより社会的にも権威ある制度とすることにより、当社の技術・技能に対する信頼感の一層の向上を図る目的のマニュアル

1 2. 6号機燃料移動関連 燃料取扱作業に係る教育・研修

〈燃料交換機運転員（委託員）の燃料移動に関連する教育〉

☆社内マニュアルにて、燃料交換機運転員の技術レベル、各研修の内容等を設定している。
各研修の内容は、当社当直員と同等な内容としている。

【養成研修】

- ・燃料交換機運転員の認定を持たない者が認定を得る場合に実施する研修。

【支援者研修】

- ・認定を取得した発電所以外で燃料交換機の運転実務に従事する場合（異動及び支援者等）に実施する研修。

【復職者研修】

- ・認定資格所有者が1年を超えて運転実務を離れた後、燃料交換機運転員に復職する場合に実施する研修。

<参考> 6号機 原子炉開放および燃料移動

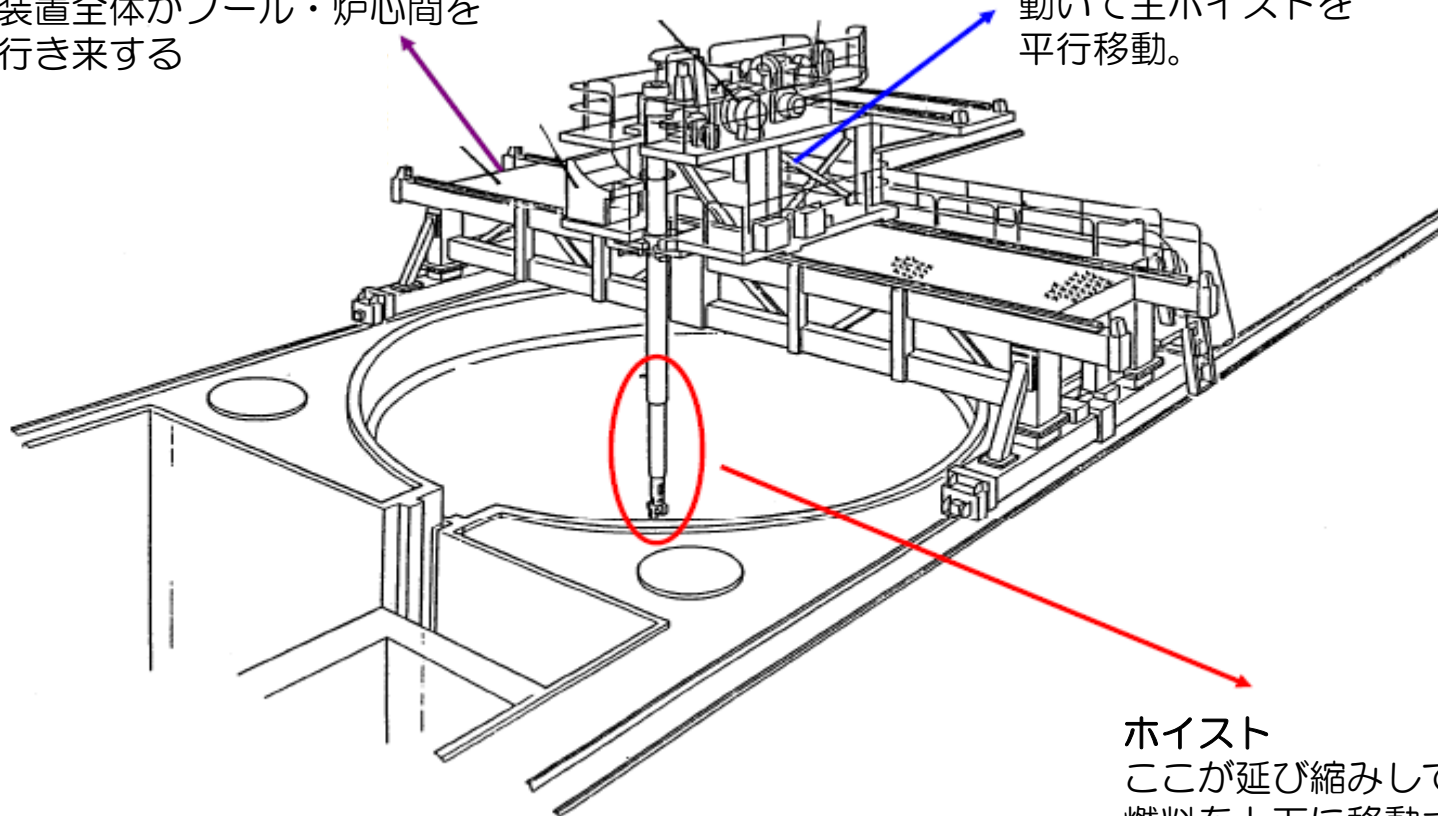
燃料取替機の概要

ブリッジ

建屋床面のレール上を移動し、
装置全体がプール・炉心間を
行き来する

トロリ

ブリッジ上を左右に
動いて主ホイストを
平行移動。



ホイスト

ここが伸び縮みして
燃料を上下に移動させる。
先端に燃料つかみ装置がある。

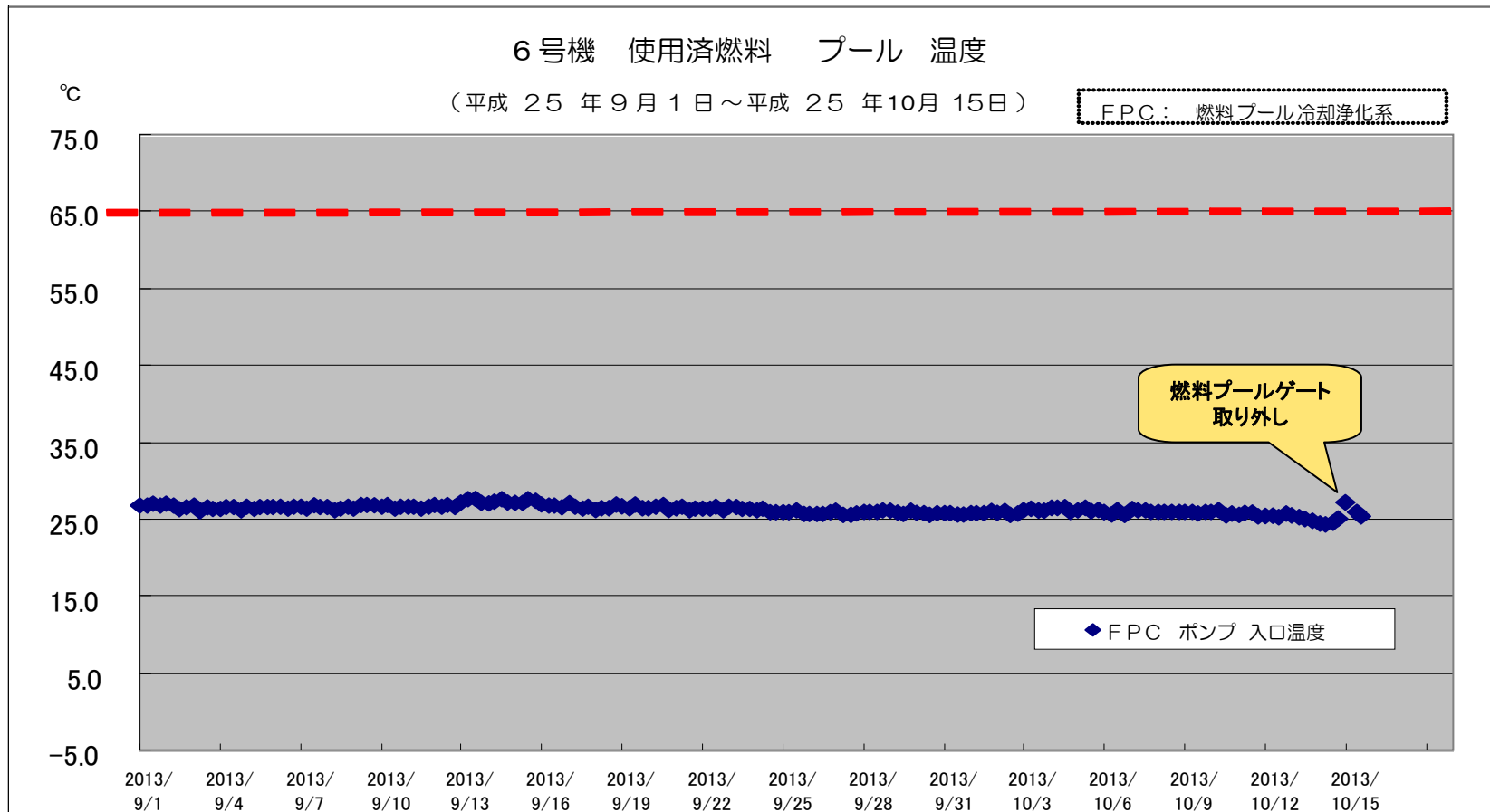
※イメージ図

<参考> 6号機 原子炉開放および燃料移動

使用済燃料プールの監視(1/2)

(1) 温度

保安措置に基づき、水温が65℃以下であることを確認している
(毎日1回)。



<参考> 6号機 原子炉開放および燃料移動

使用済燃料プールの監視(2/2)

(2) 水位

保安措置に基づき、水位がオーバーフロー水位付近であることを目視又は監視カメラにて確認している（毎日1回）。

また、水位の異常低下の場合は中央操作室に警報が発生する。

(3) 水質

マニュアルガイドに基づき、導電率、pHなどについて水質管理値以下であることを確認している（毎月1回）。

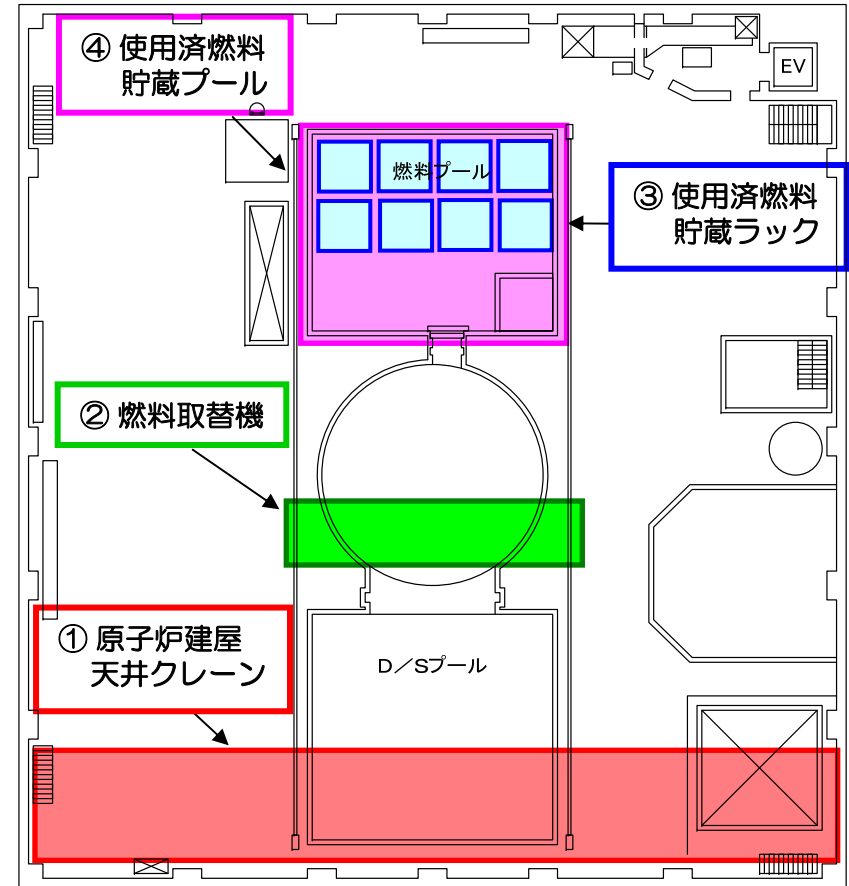
使用済燃料プール温度、水位、水質は震災以前と同様の管理をしている。

<参考> 原子炉開放及び燃料移動に係る設備の健全性について

原子炉開放及び燃料移動に設備が使用可能であることを確認した上で作業を実施している。

●対象設備

| 設備名称 | 用途 |
|--------------|----------|
| ①原子炉建屋天井クレーン | 原子炉開放に使用 |
| ②燃料取替機 | 燃料移動に使用 |
| ③使用済燃料貯蔵ラック | 燃料の保管に使用 |
| ④使用済燃料貯蔵プール | 燃料の保管に使用 |



6号機原子炉建屋 6階
オペレーティングフロア図

<参考> 燃料冷却に関連する主要な設備の健全性について

燃料冷却に関連する主要な設備については以下の健全性確認を継続的に実施している。

| 系統 | 健全性確認方法 | (参考) 津波による被災の有無 |
|------------------|-----------------------------|-----------------|
| 残留熱除去系 | ・設備診断（振動、サーモ）・プラント巡視・サーベランス | 無 |
| 残留熱除去海水系 | ・設備診断（振動、サーモ）・プラント巡視・サーベランス | 有* |
| 非常用ディーゼル発電機補機冷却系 | ・設備診断（振動、サーモ）・プラント巡視・サーベランス | 無 |
| 非常用ディーゼル発電機冷却海水系 | ・設備診断（振動、サーモ）・プラント巡視・サーベランス | 有* |
| 非常用ディーゼル発電機 | ・設備診断（サーモ）・プラント巡視・サーベランス | 無 |
| 燃料プール冷却浄化系 | ・設備診断（振動、サーモ）・プラント巡視 | 無 |
| 原子炉補機冷却系 | ・設備診断（振動、サーモ）・プラント巡視 | 無 |
| 補機冷却海水系 | ・設備診断（振動、サーモ）・プラント巡視 | 有* |
| 非常用ガス処理系 | ・設備診断（振動、サーモ）・プラント巡視・サーベランス | 無 |
| 原子炉建屋換気空調系 | ・設備診断（振動、サーモ）・プラント巡視 | 無 |

* 津波により被災した機器は交換や分解点検を実施し、復旧を完了

<当直員の燃料移動に関連する教育>

eラーニングを活用した研修（燃料移動作業実施前に当直員が実施する。）

1. 原子力発電所における未臨界管理（原子炉停止中）

燃料取り出し時
燃料取り出しは、セル内の全ての燃料を取り出した後に制御棒を引き抜くよう手順を策定し、その手順に基づき燃料取り出しを実施します。

- 1 対角位置にある燃料2体を取り出す。
- 2 制御棒が倒れないよう1で燃料をダブル・ブレード・ガイドを挿入する。
- 3 取り出していない燃料2体を取り出す。
- 4 制御棒を引き抜きます。

3. 第84条 燃料移動

第84条

| 項目 | 頻度 |
|---|------------|
| 1. 次の燃料取替機インターロックが作動することを管理的手段で確認する。 (1) 制御棒が引き抜かれている場合は、燃料を使った燃料取替機が炉心上に移動できないこと及び燃料取替機が炉心上での燃料取替の操作ができないこと。 (2) 燃料を使った燃料取替機が炉心上にある場合は、制御棒が引き抜けないこと。 | 燃料移動開始前 ※1 |
| 2. 原子炉モードスイッチが燃料取替位置において1本制御棒引抜インターロック（引き抜かれた制御棒がある場合には、2本目の引抜対象制御棒が選択できないこと）が作動していることを確認する。 | 燃料移動開始前 ※1 |
| 3. 原子炉モードスイッチが燃料取替位置で施錠されていることを確認する。 | 毎日1回 |
| 4. 全制御棒が全挿入であることを確認する | 24時間に1回 |
| 5. 未臨界であることを確認する。 | 燃料を移動する都度 |

※1：燃料移動開始前は、燃料取り出しの工程の前をいう。

第1項 当直長は、第83条の燃料移動を行う。

第2項 当直長は、燃料移動時に全制御棒が全挿入であることを確認する。

第3項 当直長は、前項の確認ができ表84-2-aの措置を講じる。

第4項 当直長は、燃料移動時に制御棒引き抜きを伴う場合は、表84-1-bについて確認する。

第5項 当直長は、前項の確認ができない場合は、表84-2-bの措置を講じる。

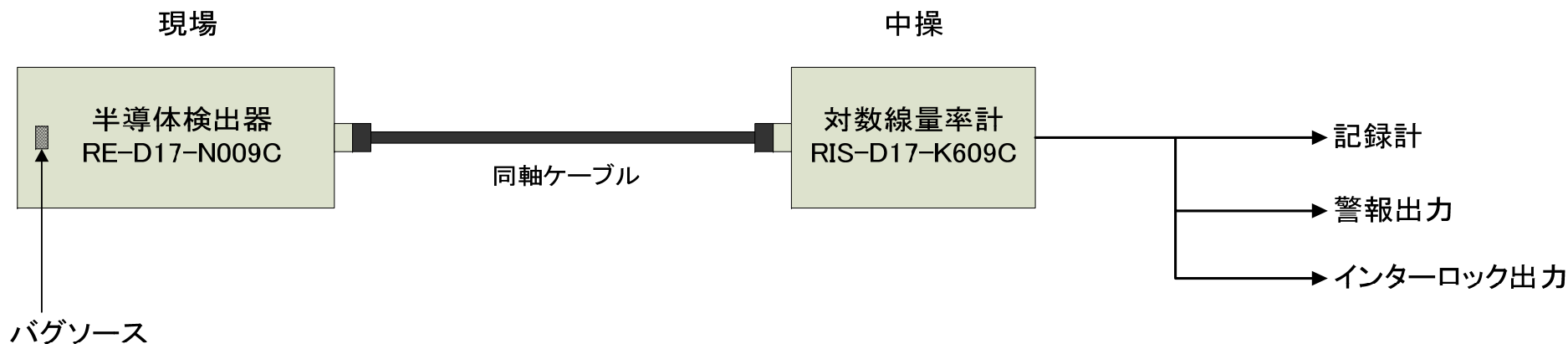
第6項 当直長は、第2項から第5項の実施にあたっては、第72～75条に準拠する。

第1項では、「当直長は、第83条の燃料移動手順に従い、燃料取替機を使用して燃料移動を行う。」と定めています。
第2項では、「当直長は、燃料移動時に全制御棒が全挿入の場合は

<参考> 6号機原子炉建屋排気プレナムC放射線モニタ下限警報発生について（1）

1. 事象の発生状況

- 平成25年10月16日20:54に6号機原子炉建屋排気プレナム放射線モニタCの指示低下により、「REACTOR BLDG VENT DOWN SCALE/INOP」警報が発生した。
- 事象発生時の中操モニタ指示は、 $8.65E-5\text{mSv/h}$ を表示しており、下限設定値 $1.00E-4\text{mSv/h}$ を下回っていることを確認した。



※バグソースとは、検出器内部に取り付ける低線量の線源であり、機器の故障時低レベル側へ振り切れた場合、放射線量が低いのか、機器の故障かを判別することを取付目的としている。

図. 概略図

<参考> 6号機原子炉建屋排気プレナムC放射線モニタ下限警報発生について (2)

2. 調査内容および調査結果 (既設モニタ)

| 発生要因 | 発生部位 | 調査内容 | 調査結果 |
|-------------|----------|--|---|
| 断線 ・接触不良 | ケーブル断線気味 | ①中操モニタ・現場検出器のケーブル接続状態確認 (打診・抜き差し) ②計測回路の健全性確認 | ①, ②: 異常なし (10/17確認) |
| | コネクタ緩み | | |
| モニタ不良 | 演算装置不良 | ①線源校正 ②計測回路の健全性確認 | ①, ②: 異常なし (10/17確認) |
| 検出器不良 | 検出器故障 | ①線源校正 | ①: 異常なし (10/18確認) |
| | バグソース劣化 | ①過去の値との比較 | ①: 7月点検時の値と比較して指示が若干低下していることを確認 →バグソース位置の調整を実施 (10/18) |



バグソース位置の調整および線源校正実施後 (10/18 11:20~10/19 8:30) 指示値を確認し、大きな変動がなく良好なデータであることを確認
→既設モニタに関して、異常のないこと確認

3. 調査内容および調査結果 (予備品)

- ①10/19 当該検出器と同型式の検出器 (予備品) の線源校正を実施し、良好であることを確認。
- ②線源校正終了後、10/19 17:00~10/20 10:00の間のデータを採取し、指示値に大きな変動がなく良好なデータであることを確認。
→予備品に関する異常のないことを確認

4. 今後の対応

原子炉建屋排気プレナム放射線モニタ (C) に関して、ケーブル/コネクタ検出器/モニタの点検を実施し、異常のないことを確認したが、念のため予備品に交換を実施し、燃料取出作業にあたり、万全を期すこととする。