

# 3号機使用済燃料プール内からの FHM本体撤去について

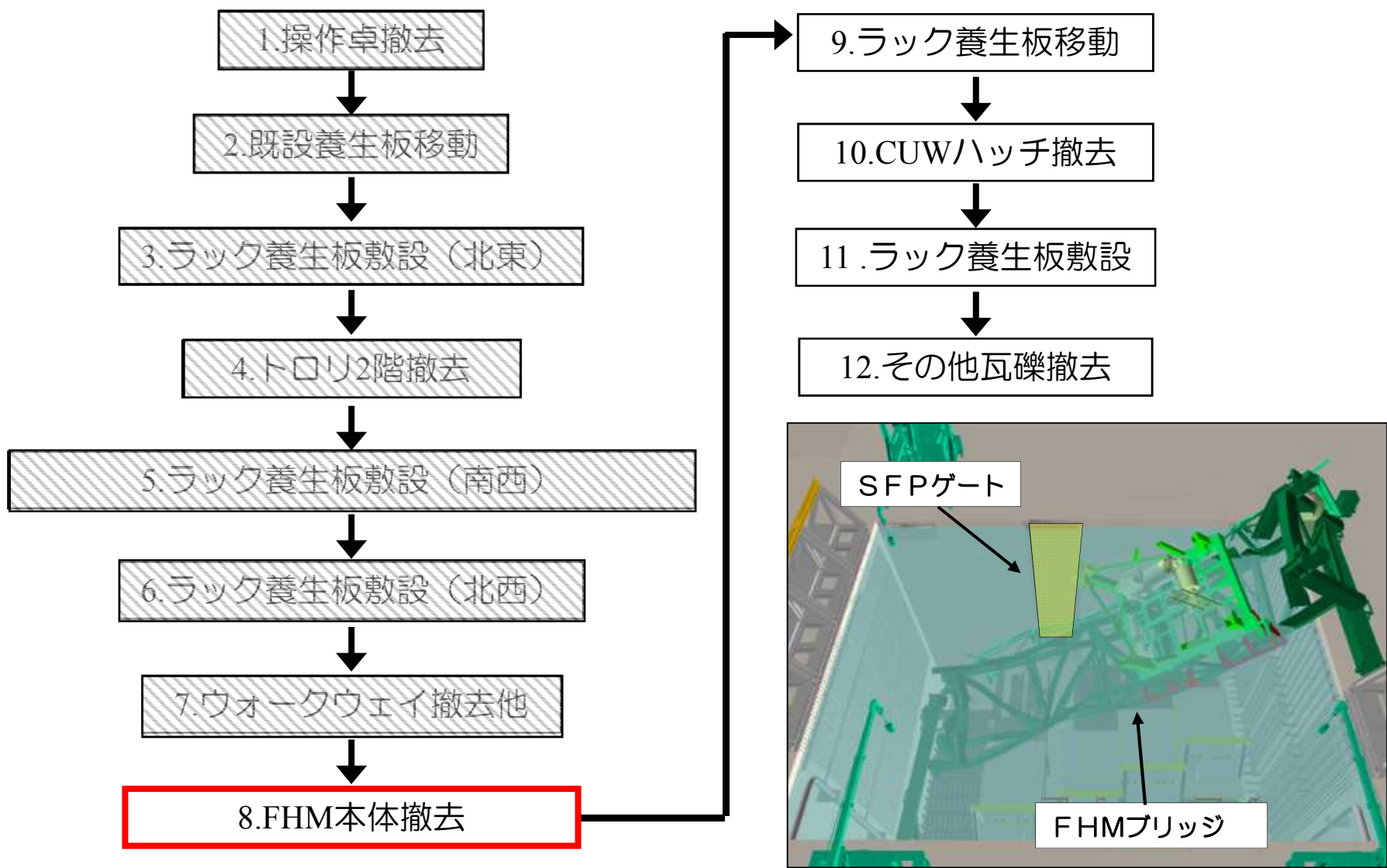
平成27年7月15日  
東京電力株式会社



**東京電力**

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

# 瓦礫撤去手順案（概略）



FHM本体とSFPゲートの位置関係

## FHM撤去方法（撤去計画）

FHMを安全に吊り上げるために、以下の撤去手順を検討

①現場と撤去計画3DCADに相違がないことを確認した。（操作卓落下事象の不適合対応）

項目	確認内容	確認結果	撤去計画見直し
(a) 近傍瓦礫	堆積位置に相違はないか	現場と3DCADモデルに相違はない。	不要
(b) 把持位置	東側挿入位置の上弦材にき裂・変形等はないか	上弦材にき裂・変形はなく、現場と3DCADモデルに相違はない。	不要
(c) 把持位置	西側把持位置の上弦材にき裂・変形等はないか	上弦材にき裂・変形はなく、現場と3DCADモデルに相違はない。	不要
(d) 干渉	東側挿入位置にアクセスする際に干渉する部材はないか	3DCADに反映しきれない変圧器盤があるものの、挿入スペースは確保されているため、撤去計画に影響はない。	不要
(e) 干渉	西側把持位置にアクセスする際に干渉する部材はないか	縦材に座屈があり、現場と3DCADモデルに相違はあるものの、西側把持のアクセスに支障がないため、撤去計画に影響はない。	不要
(f) 干渉	SFP壁面、FHMレールとブリッジが接続していないか	接続箇所として考えられるブリッジ東側エンドトラックとの接続はない。	不要
(g) 部材の欠落	東側挿入位置の上弦材に欠落はないか	現場と3DCADモデルに相違はない。	不要
(h) 部材の欠落	西側把持位置の上弦材に欠落はないか	現場と3DCADモデルに相違はない。	不要

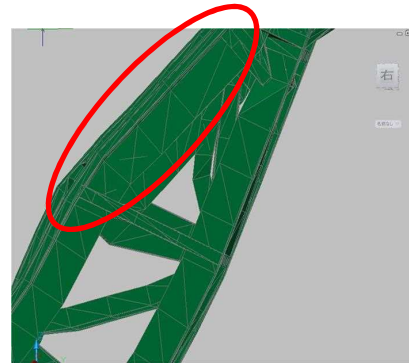


# FHM撤去方法（撤去計画）

## 現場と3DCADモデルの相違確認結果（例）



現場



3DCADモデル

（代表例）ブリッジ相違確認

：(b)東側把持位置確認結果

→上弦材にき裂・変形はなく，現場と3DCADモデルに相違はない。



現場



3DCADモデル

（代表例）ブリッジ相違確認

：(d)干渉確認結果

→3DCADに反映しきれない変圧器盤があるものの，挿入スペースは確保されているため，撤去計画に影響はない。

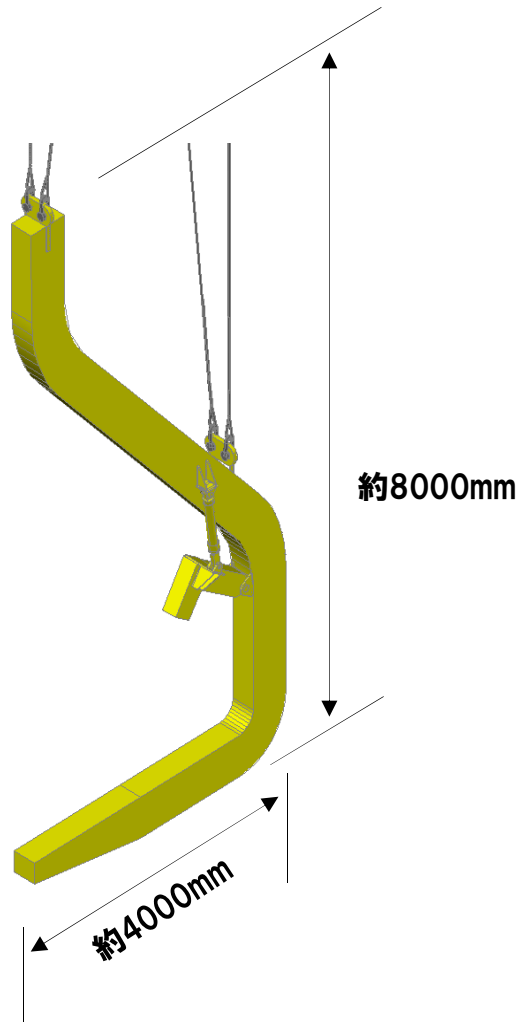


把持状況図

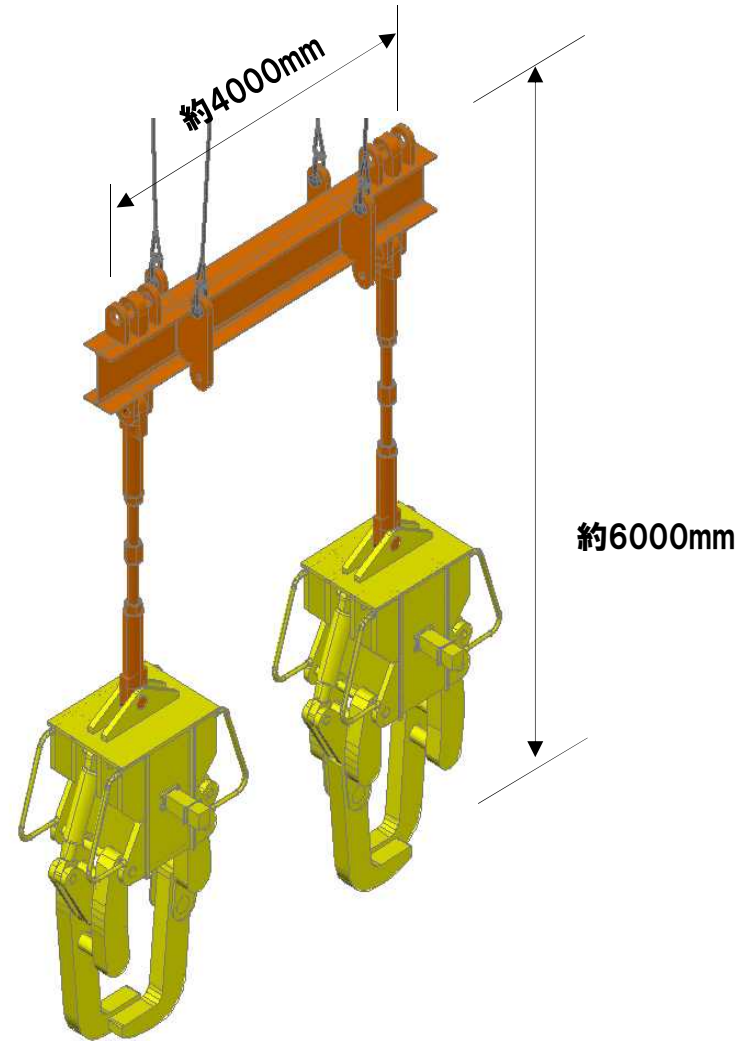
東側把持位置，挿入位置に影響がないことを確認

# FHM撤去方法（専用吊具の開発）

② FHMを確実に吊り上げるために新撤去治具を製作



FHM東側吊具 外形図



FHM西側吊具 外形図

# FHM撤去方法（把持要求の明確化）

## ③各取扱具の把持要求事項を撤去手順書に明記（操作卓落下事象の不適合対応）

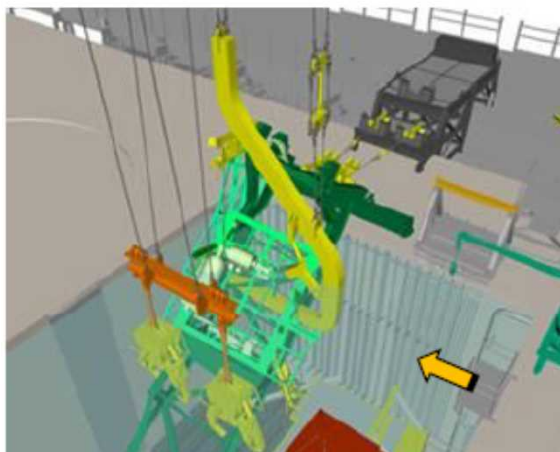


1)FHM ブリッジ東側吊り具吊下げ



**リスク**  
南壁面、FHM との接触  
→固定監視カメラ（南東、南西）による監視

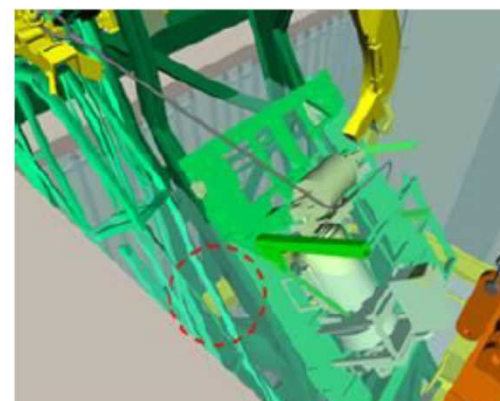
2)FHM ブリッジ東側吊上げ挿入



3)FHM ブリッジ東側吊り具角度調整

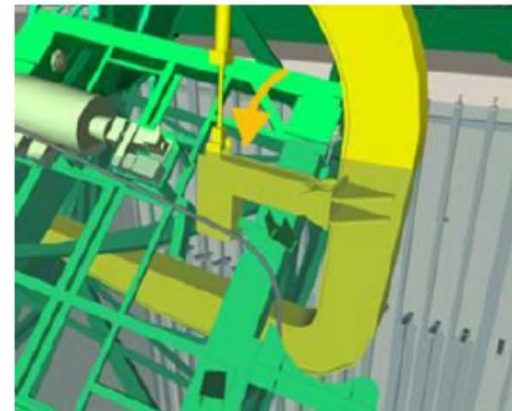


4)FHM 東側取扱具挿入



※把持要求事項:北側上弦材まで挿入していることを確認すること。

5)トオリ1階フレームを把持



# FHM撤去方法（把持要求の明確化）

6)FHM 取扱具を FHM ブリッジ西側まで吊下げ

(遠景)



**リスク**  
トロリフレームとの接触  
→C/C 中間カメラで監視

※FHM 取扱具を閉じた状態でアクセス

(近景)

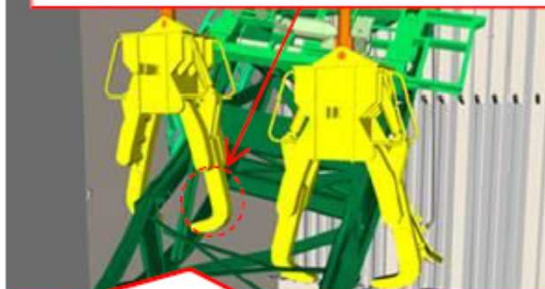
※カメラ側を西に向けた状態でアクセス



**リスク**  
北壁面、プールゲートとの接触  
→固定監視カメラ（北西）による 監視

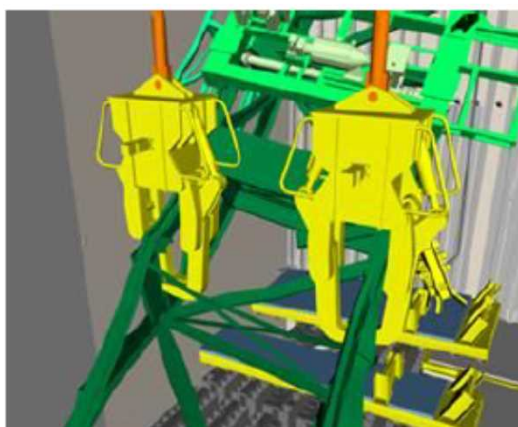
7)FHM 取扱具位置合わせ

※取扱具の腹が上弦材に当たるまで吊下げ



**リスク**  
北壁面、プールゲートとの接触  
→固定監視カメラ（北西）による監視

8) FHM 取扱具にて FHM ブリッジ西側把持し、吊上げ



北側把持状態 補足図



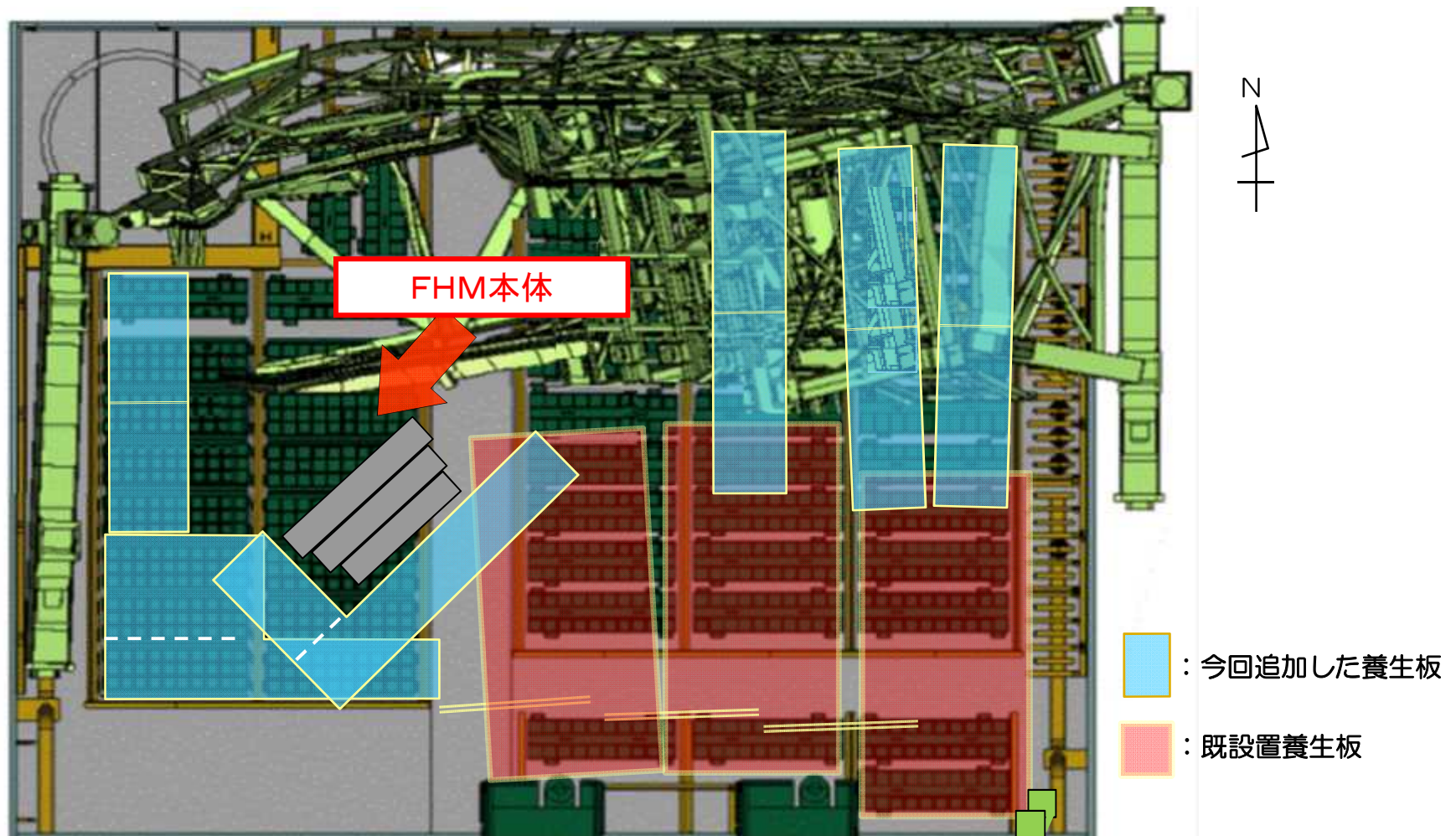
南側把持状態 補足図



把持要求事項:爪の先端が閉じ、爪同士が重なっていること。

# FHM撤去方法（追加養生板の敷設）

## ④養生板追加敷設を実施（操作卓落下事象の不適合対応）





## FHM撤去方法（吊り方）

### ⑤吊り上げ制限荷重管理、及び吊芯管理による作業

FHMはSFPゲートに接触していないが、万が一の接触でも吊り上げ荷重を制限することにより、SFPゲートずれを防止、また、吊芯管理により吊り上げ時のふれ防止

- FHM接触モデルを作成し、ゲートから数m離れ、ゲートに衝突してもゲートが健全であり、又、ゲートがずれる荷重計算も併せて評価済
- 制限荷重管理を設けることにより、FHMを吊り上げた際にゲートがずれない吊り上げ方法を検討済
- 重心位置は吊り点中心からゲート側にあることを確認しており、FHMを吊り上げ、仮に吊り芯がずれて振り子のようにゲート側から反ゲート側に振れた場合でも、ゲートへの接触がないことを確認済。

### < FHM撤去時方法 >

- 3DCADモデルにてブリッジ、ウォークウェイ東側、トロリ1階フレーム、トロリ1階機器の図心位置を決め、SFP北東隅のオペフロ面を原点とし、南側をX軸正方向、西側をY軸正方向、下向きをZ軸正方向として、図心位置の座標を計測する。
- 計測した座標及び各重量からFHMの重心位置を同定。



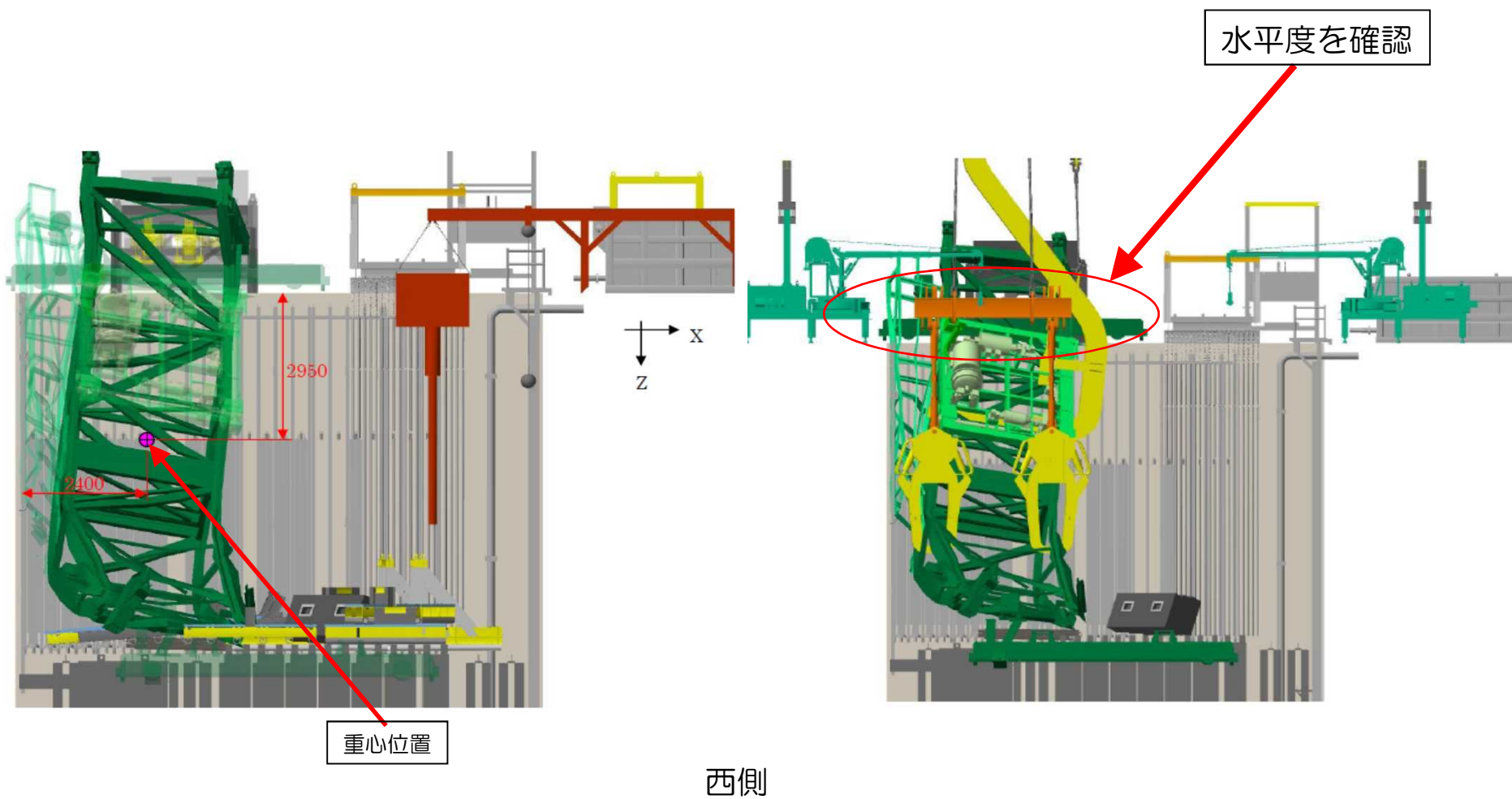
- 吊りワイヤーの重心位置を決定  
さらに
- 西側の吊具は水平天秤型を使用し、地切りの直前で水平度を確認
- 吊点を把持箇所より内側にしないことを確認
- 一旦30cm程度吊り上げ、5分間保持し確実に吊り上げている事を確認

この作業により、吊り上げた時に横ぶれ、回転しないことを担保



- FHM地切り時に水平天秤の水平度が傾斜している場合には、吊点を修正し、FHM吊り上げ後にFHMがぶれないことを担保

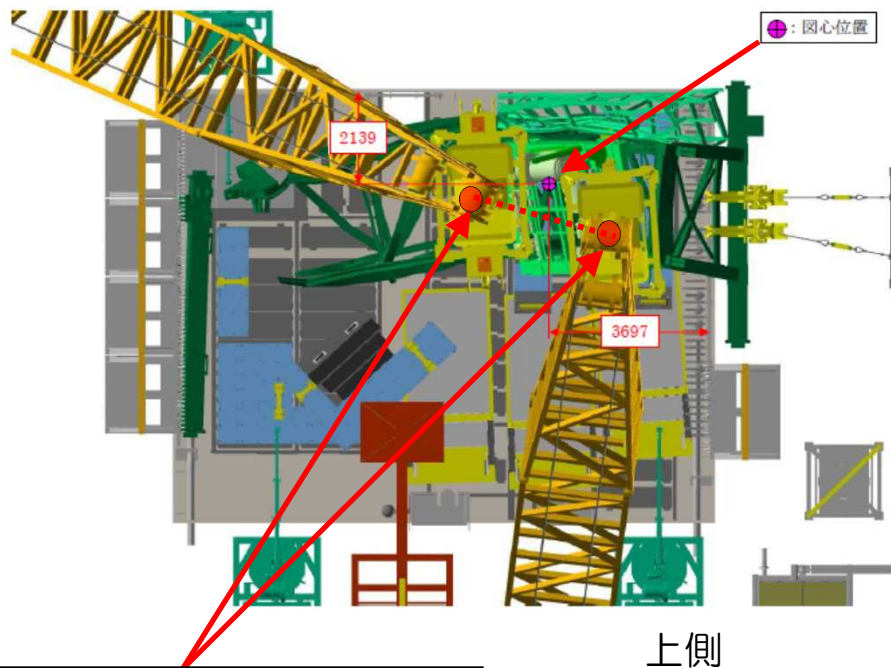
# FHM撤去方法（重心状況図）



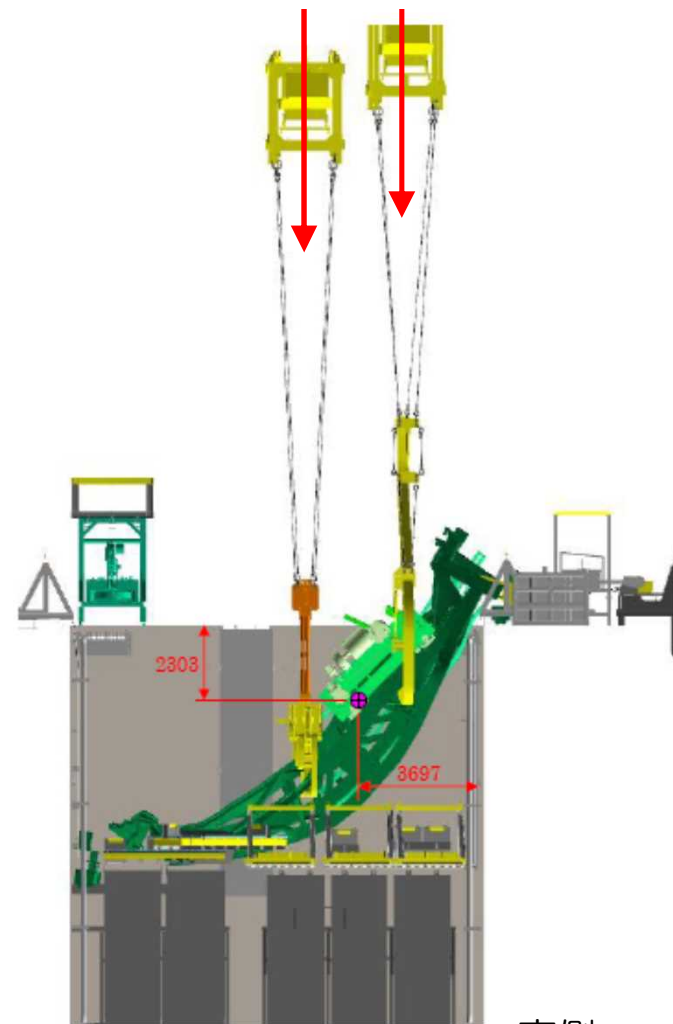
# FHM撤去方法（重心状況図）

吊りワイヤーの重心（吊心）を確認  
吊心の鉛直性を確認することにより、ぶれを防止

実際の吊り具で実荷重  
モックアップを実施済



吊点位置  
(吊点を内側にもってこないことで回転を防止)



## FHM撤去方法（FHM撤去中にSFPゲートへ接触させない対応）

SFPゲートは、SFP内の水圧（約44 t）で壁面に押さえつける構造であり、仮にFHM（約20 t）が接触した場合においても、SFPゲートがずれないことを確認しているが、SFPゲートへ接触させない対応としては下記の通り。

- FHM撤去は、2台のクレーンを用いてFHMの西側・東側を交互に吊り上げを行う。
- 吊り上げの際はFHMがSFPゲート側へ振られることがないように重心位置\*1の確認を行う。
- クレーン操作は、最低速度にてゆっくり慎重に行う。
- 吊り上げ中についても、複数のカメラを用いてFHMがSFPゲート側へ振られることがないように監視する。
- 万が一、SFPゲート側に振れる挙動が確認された場合は、一旦吊り上げを中断し、クレーンを反SFPゲート側に動かすことで、重心位置の修正を行う。
- 地切りは、燃料等の共吊りがないことを確認できる高さ（約30cm）とする。共吊りがないことを確認した後、速やかにSFPゲートから離す手順とする。
- FHMはSFPゲートと接触していないことを確認しているが、念のため、吊り上げ撤去中は、ゲートの接触によるずれを防止するため、ゲートがずれない制限荷重を設定し、C/C2台の荷重を常時監視する。

\*1：吊り上げ直前にワイヤーが垂直になっている事を確認。

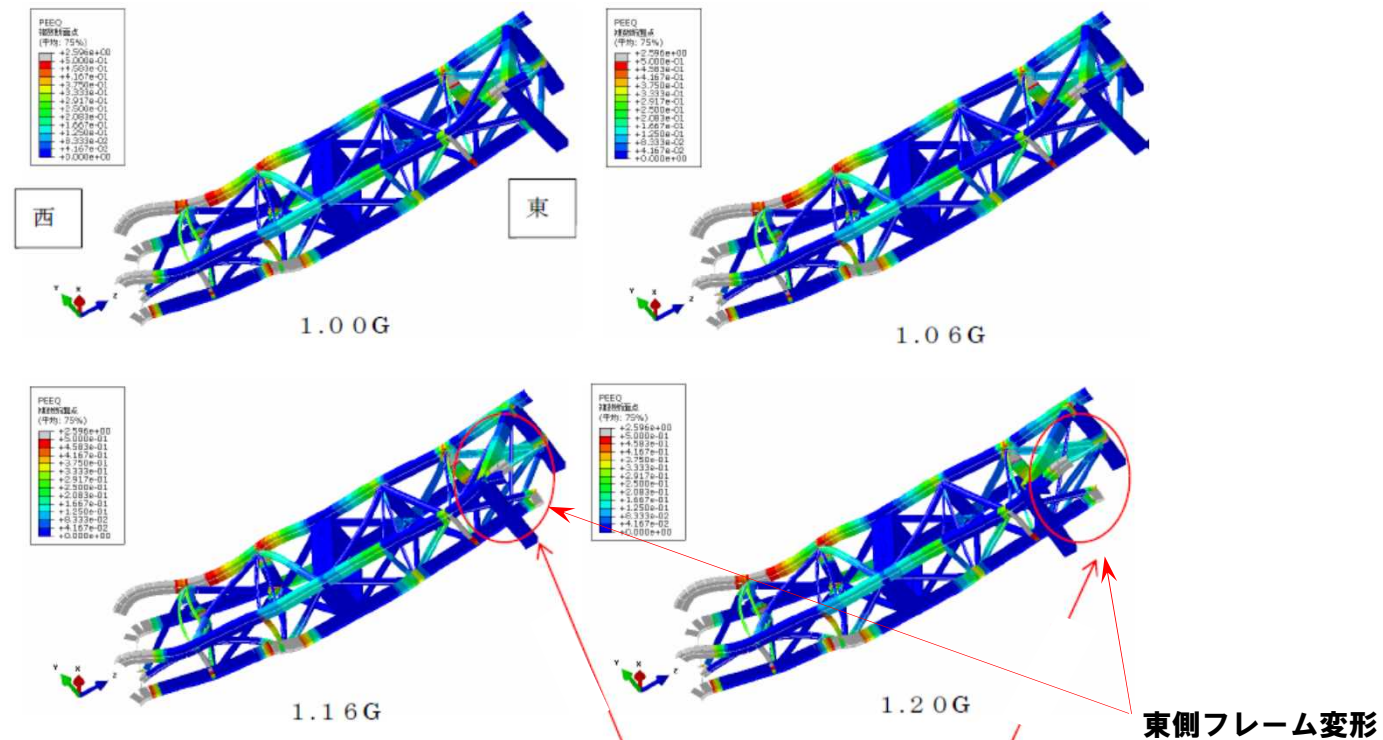
# FHMの健全性確認

FHMブリッジ弾塑性解析評価, FHMブリッジ腐食影響評価, FHM吊具強度解析評価を実施し, 問題がないことを確認

## ●FHMブリッジの弾塑性解析

FHMのブリッジは大きく変形してプール内に落下しているため, 吊り具で吊上げた際, ブリッジの主フレームが自重によって大きく変形しないことを解析により確認した。

### 荷重解析結果



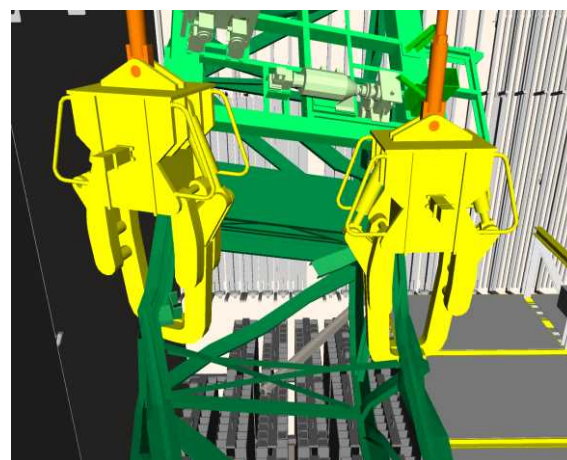
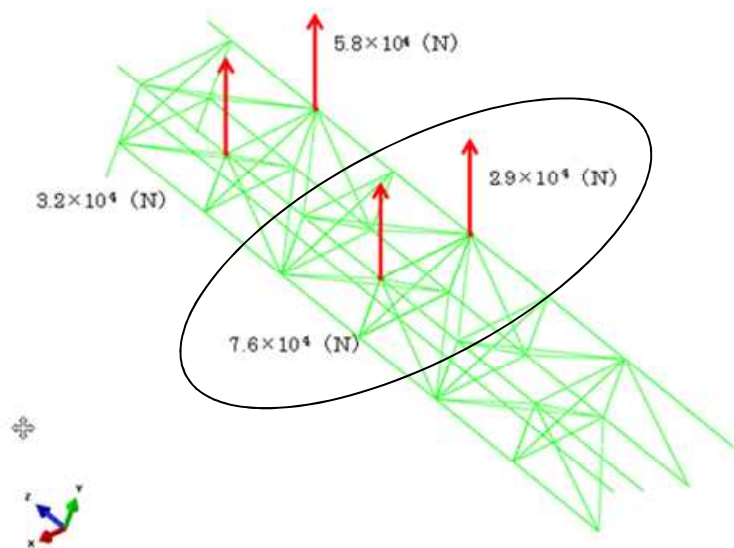
●FHMブリッジ腐食状態を評価し, 吊り上げた場合でも問題ないことを確認している。



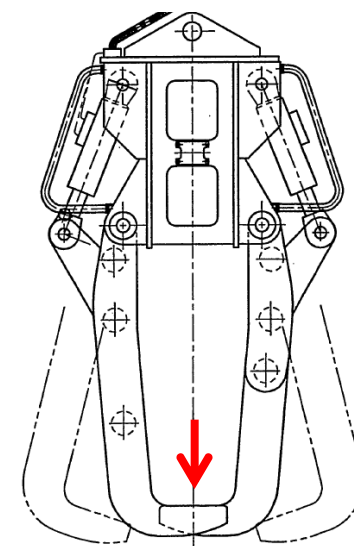
# FHM吊具の健全性評価

## ● FHM吊具の強度について

- ・ブリッジ解析にてFHM吊上げ時の吊り位置に対する反力を算出し、FHM吊具の材料の許容応力に対して、十分な裕度があることを確認した。



西側吊具 (例)



## SFPゲートのずれ評価

- FHM吊り上げ時において、仮にFHMブリッジ（約20t）がSFPゲートに接触した場合の評価

以下の条件を想定し、評価

<評価条件>

- ゲート幅：152.8cm
- 水没部のゲート高さ：765.6cm
- SFP水の質量を $1\text{g}/\text{cm}^3$ として水圧を計算

<評価方法>

- SFP水の質量と水没部のゲート高さから平均水圧を算出
- 平均水圧、ゲート幅、水没部のゲート高さからSFPゲートにかかる押し付け力を算出
- 押し付け力によりSFPゲートに発生する摩擦力を算出
- 摩擦力とFHMブリッジ重量を比較

<評価結果>

- 平均水圧  $765.6\text{cm}/2 \times 1\text{g}/\text{cm}^3 = 382.8\text{g}/\text{cm}^2 = 0.38\text{kg}/\text{cm}^2$
- 押し付け力  $0.38\text{kg}/\text{cm}^2 \times 152.8\text{cm} \times 765.6\text{cm} = \text{約}44\text{t}$
- 発生する摩擦力  $44\text{t} \times 0.58 = \text{約}25\text{t}$
- FHMブリッジの重量（約20t）はSFPゲートに発生している摩擦力より小さいことから、FHMブリッジの重量がすべてSFPゲートにかかってもSFPゲートは動かない。



# FHM吊り上げ時のSFPゲートへの影響評価

## <評価結果>

- クローラクレーン吊下げ長さ 約 35m
- FHM 全体幅 4.8m
- SUS 板厚 4mm
- ブリッジウォークウェイ重量 約 20ton

(1) 位置エネルギーの差は、

$$mgh = 20 \times 10^3 [kg] \times 9806.65 \times h \text{ である。}$$

ここで、クローラクレーン吊下げ長さおよび FHM 全体幅から、

$$h = 35 \left( 1 - \cos \left( \sin^{-1} \left( \frac{4.8}{2 \times 35} \right) \right) \right) = 0.082m$$

(2)  $mgh = \frac{mv^2}{2} \Leftrightarrow v = \sqrt{2gh}$  から、ブリッジウォークウェイがプールゲートに接触する際の速度は、

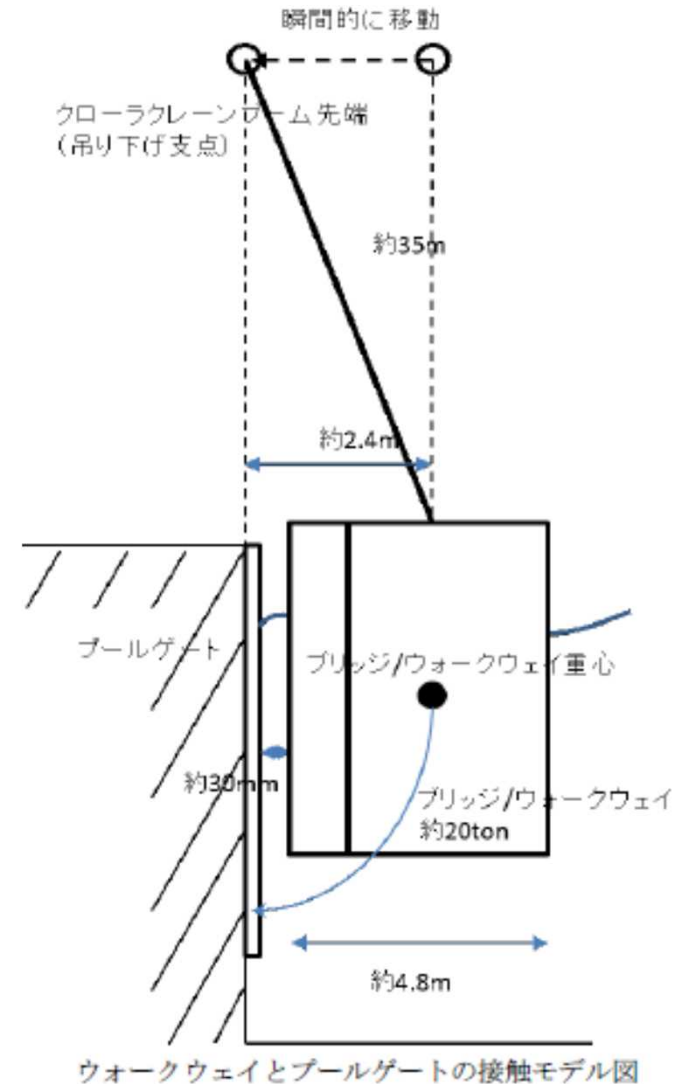
$$v = \sqrt{2 \times 9806.65 \times 0.0824 \times 1000} = 1271 \left[ \frac{mm}{s} \right] = 1.27 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

(3) ウォークウェイの形は C 鋼 150×75×6.5 であり、プールゲート幅 1582mm から、等価直径  $D = \sqrt{4 \times 75 \times 1582} : 3.14 = 388 [mm]$

(4) 接触速度  $v$ 、ブリッジウォークウェイ重量  $m$ 、等価直径  $D$  を ISES 式に代入し、食い込み量  $T$  は、

$$T = 0.307 \times v^{\frac{4}{3}} \times m^{\frac{2}{3}} \div D = 0.30 [mm]$$

(5) SUS 板厚は 4mm であるため、(4) から食い込み量  $T = 0.80 < 4$  より、ブリッジウォークウェイがプールゲートに接触したとしても、プールゲートには 5 倍の裕度があるため、貫通することはない。





## FHM撤去方法（安全対策）

---

### ① FHM油内包機器からの油漏えい対策

SFP代替冷却装置を停止した上で撤去を実施。また、万が一の油漏えいを考慮し、油吸収材を準備

### ② フェイルセーフ構造（把持状態維持）の取扱具の採用

取扱具の油圧源となる駆動装置が停止した場合、逆止弁により把持状態を維持

### ③ FHM吊り上げモックアップの実施

専用治具を新規製作し、実荷重にて掴み、挿入位置を確認し、吊り上げに問題がないことを確認

### ④ FHM吊り上げ時実施事項（操作卓落下事象の不適合対応）

- 把持方法の要求事項が満たされない場合は吊り上げ操作中止。
- 吊り上げ後、何らかの干渉により撤去できない場合は、対象物が安定状態であることを確認した上で、吊り上げたままで作業を中断し、吊り下ろし場所や方法等の対応について関係者間で協議する

### ⑤ 散水、飛散防止剤散布によるダスト飛散防止

- FHMの殆どがSFP内に水没しているが、気中部のダストが付着している可能性がある箇所には過水を散布。また、オペフロについては、事前に飛散防止剤を散布
- 撤去作業時はオペフロダストモニタを常時監視
- ヤードに吊り下ろし後（吊り下ろし～細断～運搬まで）についても、飛散防止剤を散布

## FHM撤去方法（危機管理対策）

---

前頁の安全対策を実施することで、SFPゲート接触によるSFP水漏えいはないと考えるが、更なる危機管理対策として、SFP水が漏えいした場合を考慮し、以下の対応を行い、FHM撤去を行う。

### ① SFP注水（常用・非常用給水）機能の準備

SFP水位が低下した際に水位回復及び維持するため、注水機能を準備

### ② ゲートドレン充填剤，SFP戻水用ポンプ準備

- 充填剤投入によるドレンライン漏出量低減対策の準備
- ゲート間に溜まった漏えい水をSFPに戻すポンプの準備

### ③ 撤去時の作業規制

FHM撤去に特化するため、1F構内全作業を規制した上で撤去を実施



## SFP水漏えい時の対応（1／2）

---

現状、FHM本体撤去時にSFPゲートに接触した場合でもゲートの健全性は確認している。更に、SFPゲートパッキンの素材はシリコン製ゴムであり、亀裂が生じたとしても水圧で即座に圧潰するため技術的には漏えいはないと考えるが、更なる対策として、SFP水が漏えいした場合は、以下の対応を行う。

### 対応1：SFP注水

FHM撤去時は、水位監視を行い、SFP水位が低下傾向にあった場合は、水位回復及び水位を維持するため、既に準備済の常用給水系、非常用給水系で直ちに注水する。

### 対応2：充填剤投入によるドレンライン漏出量低減

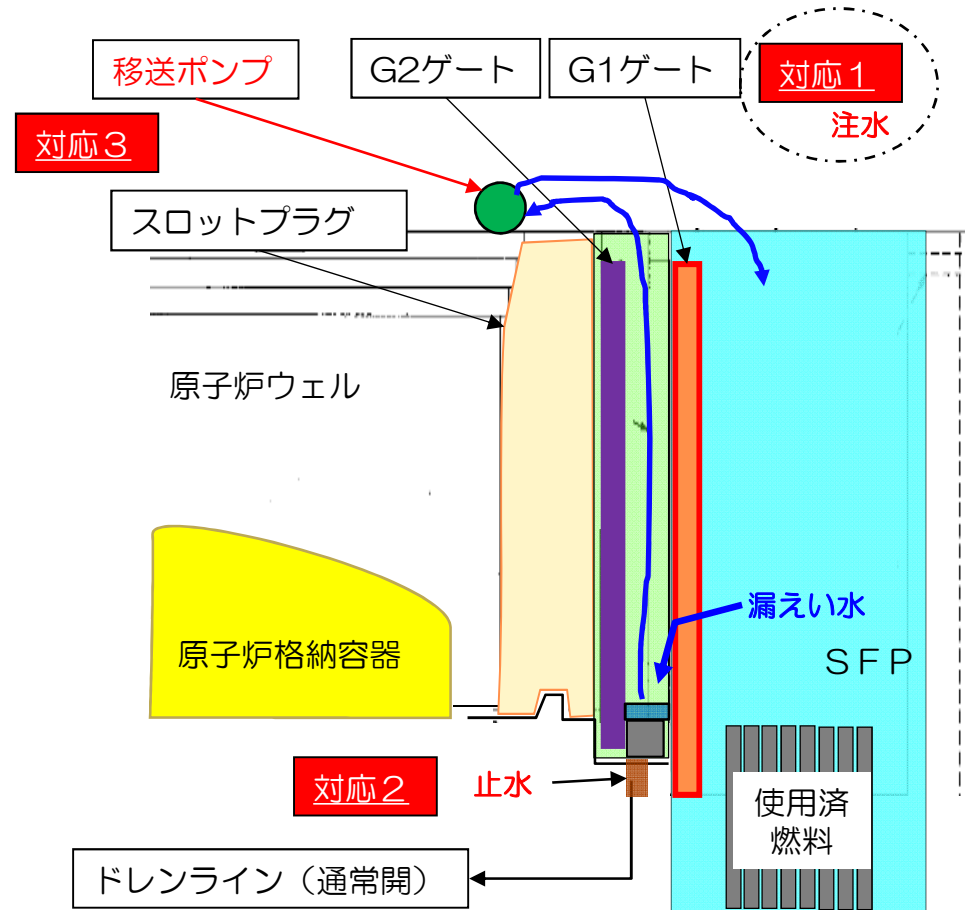
仮にFHM本体撤去中にG1ゲートから漏えいが発生した際、G1-G2ゲート間のドレンラインへ漏えい水が流出することを想定し、漏えいが発生した場合に速やかに漏出量を低減するため、充填剤及びゲート間投入装置を使用し、ドレンラインを止水する。

### 対応3：ゲート間に溜まった漏えい水をSFPに移送

仮にG1ゲートから漏えいが発生し、上記対応により漏出量の低減を図った場合、G1ゲートからの漏えい水がG1ゲートのシール性に影響を及ぼす可能性があることから、G1-G2ゲート間の漏えい水をSFPに戻す。

## SFP水漏えい時の対応 (2/2)

- 対応1：SFP注水
- 対応2：充填剤投入によるドレンライン漏出量低減
- 対応3：ゲート間に溜まった漏えい水をSFPに移送



FHM撤去時の止水及びポンプによる戻水及び注水

## FHM落下時の被ばく線量，空間線量率評価

万一，FHMが落下した場合，燃料が破損する可能性が考えられる。現実には，FHMの落下投影面積，瓦礫の堆積状況を考慮すると，全燃料（514本）の破損は技術的にはありえなく，かつ同時にSFP全水が瞬時になくなる可能性はないと考えられるが，被ばく線量と空間線量率を前述の条件で評価すると以下の通りとなる。

	敷地境界	評価手法
被ばく線量	$10^{-2}$ mSvオーダー	大気放出を考した設置許可の手法に基づく評価
空間線量率	$10^{-4}$ mSv/hオーダー	モンテカルロ評価

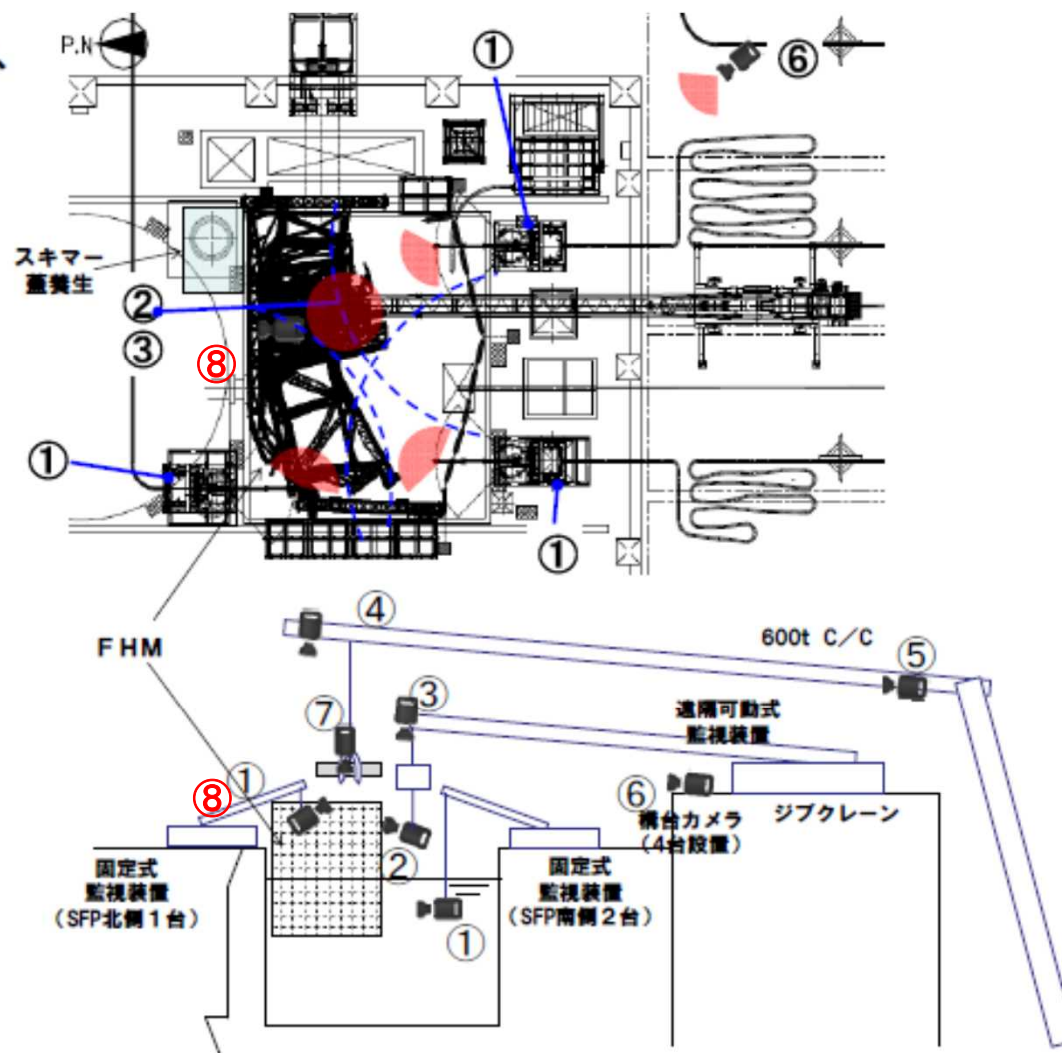
空間線量率に関しては保守的にペレットが縦に並び、チャンネルボックス、被覆管はないとした。燃料が破損した場合は、線源となるペレットは落下する。その為、線源自体がSFP下端に位置するため空間線量は実際には更に低下する。

## (参考) FHM撤去時の監視方法

撤去作業中の監視については、鉄筋・デッキプレート撤去と同様、オペフロ、SFP内を複数の監視カメラにて監視する。

### 【SFP周辺設置カメラ】

- ①固定式監視装置カメラ(3台)
- ②遠隔可動式監視装置カメラ
- ③ジブクレーン先端カメラ
- ④600t C/C先端カメラ
- ⑤600t C/C中間カメラ
- ⑥構台カメラ
- ⑦取扱具先端カメラ
- ⑧ゲート監視装置カメラ  
(今回追加)



## (参考) 異常発生時確認項目

### ■ 異常発生時確認項目

確認項目	確認時期	確認方法	判定基準
SFP水位	発生後直ちに	FHM撤去時はカメラによる水位監視	低下傾向がないこと
モニタリングポスト 指示値	発生後直ちに	免震棟において指示値を確認 (連続監視)	有意な上昇がないこと
SFP水放射能濃度	準備が整い次第	プール水を採取し、放射能を分析	有意な上昇がないこと
オペフロ雰囲気線量	発生後直ちに	操作室においてオペフロ線量計の指示値を確認 (連続監視)	有意な上昇がないこと
SFP内瓦礫及び SFP内設備状況	準備が整い次第	水中カメラによる確認	燃料及びプール設備に異常がないこと