

# 「もんじゅ」廃止措置計画の変更内容 (模擬燃料体の部分装荷)

2019年10月17日

日本原子力研究開発機構 (JAEA)

## ○前回（第24回）監視チーム会合におけるコメントについて回答

No	コメント	頁
1	部分装荷とした場合の燃料体取出し作業への影響について、抜けがないよう再度見直すこと	P2～
2	地震時の構造健全性について、軽水炉の基準地震動を参考に加速度応答が同等レベルとなるように策定した地震動による評価結果も追加して説明すること	P3～
3	想定を超える事態（燃料体の取出しができない事態）に至ったとしても、燃料の取出しが可能であることを説明すること	P5～

1 部分装荷とした場合の燃料体取出し作業への影響について、抜けないよう再度見直すこと

⇨ 部分装荷とした場合における既認可の評価への影響、設計上の要求機能の有無を加え見直し

- ① 部分装荷を実施した場合に、燃料体の取出しへ影響を与えると考えられる要因を洗い出し、その影響程度を確認
- ② 燃料体の取出しに関する設計上の要求機能に対し、部分装荷とした場合の影響の有無、影響の程度を確認
- ③ 廃止措置計画申請書 添付書類四 (廃止措置中の過失、機械又は装置の故障、地震、火災等があった場合に発生すると想定される事故の種類、程度、影響等に関する説明書) に関して、部分装荷とした場合の影響の有無、影響の程度を確認

詳細は、添付の資料2-1-1燃料体の部分装荷における影響評価について を参照



部分装荷とした場合において、安全上の問題は無いこと、燃料取出し作業に影響を与える要因を洗い出し、影響を与えないことを確認

2 地震時の構造健全性について、軽水炉の基準地震動を参考に加速度応答が同等レベルとなるように策定した地震動による評価結果も追加して説明すること

### 入力地震動

軽水炉の基準地震動を参考に加速度応答が同等レベルとなるように策定した地震動※による原子炉構造の炉心支持板の応答加速度時刻歴波（水平2方向+上下方向）を、3次元炉心群振動解析モデルへ入力

※新規制基準への適合性が確認された近隣の軽水炉を参考に同じ評価条件で複数の地震動を策定。そのうち水平最大のケースを選定し、軽水炉の水平最大993Galと同等となるように振幅を係数倍（水平最大995Gal）し策定した地震動

### 評価結果

部分装荷状態において生じる衝突荷重及び曲げ応力の発生値は、評価基準値を下回る

部位	発生値	評価基準値※
上部パッド衝突荷重[kN]	114.6 (112.8)	564
中間パッド衝突荷重[kN]	5.5 (5.3)	28
イントランスノズル 付け根部曲げ応力[MPa]	173.2 (141.1)	440

( ) 内は「応答スペクトルに基づく地震動評価」により策定され、廃止措置計画にて用いている基準地震動を入力した場合の評価結果  
 ※評価基準値は原設計及び日本機械学会 発電用原子力設備規格 設計・建設規格の考え方（供用状態Dにおいて延性破断に至る塑性変形が生じないこと。）における応力評価を基に設定

詳細は、資料2-2-3部分装荷時の地震時構造健全性評価について（軽水炉の基準地震動を参考に策定した地震動による評価結果）を参照

部分装荷時の跳び上がり量

- 軽水炉の基準地震動を参考に加速度応答が同等レベルとなるように策定した地震動を適用した場合の、3次元炉心群振動解析評価手法から得られる部分装荷における最大跳び上がり量は、中性子しゃへい体領域までを含む全炉心において2mmを超えず、耐震バックチェック時に設定した評価基準値45mmを下回る。

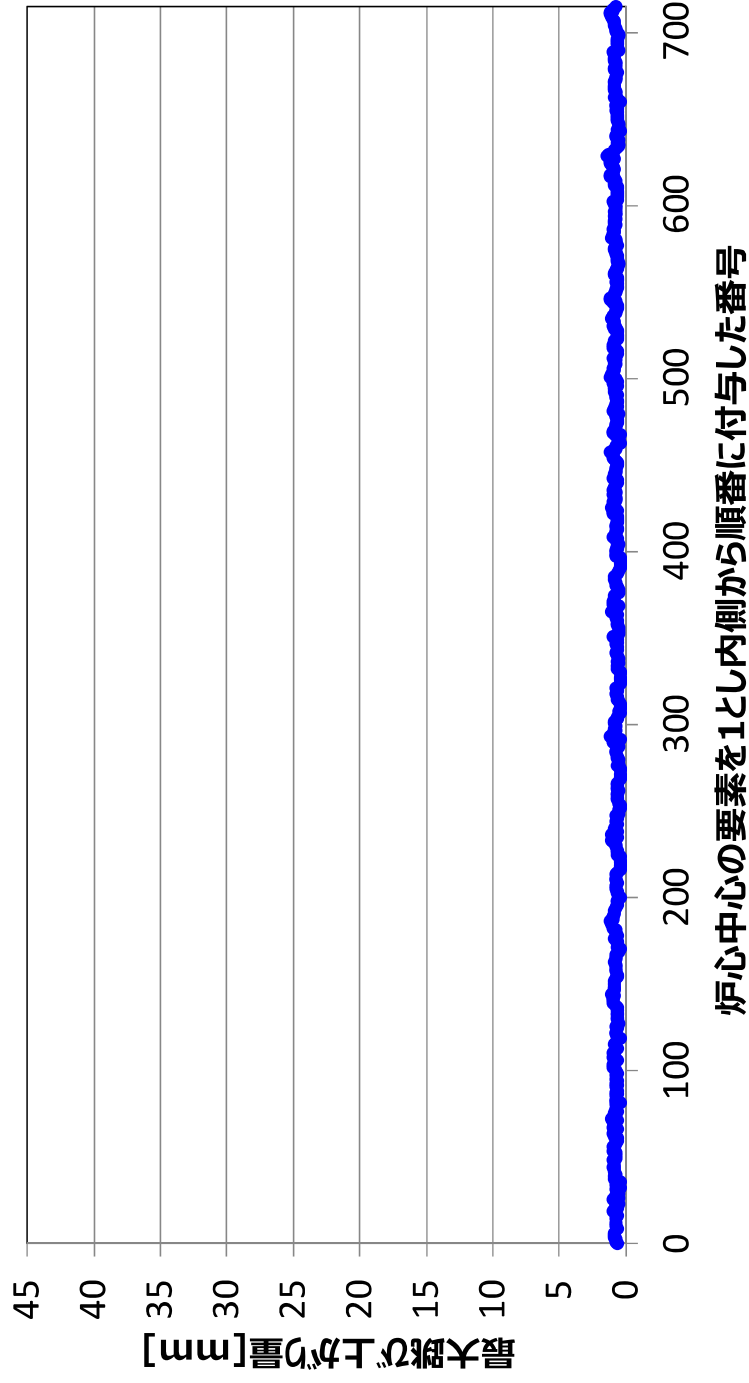
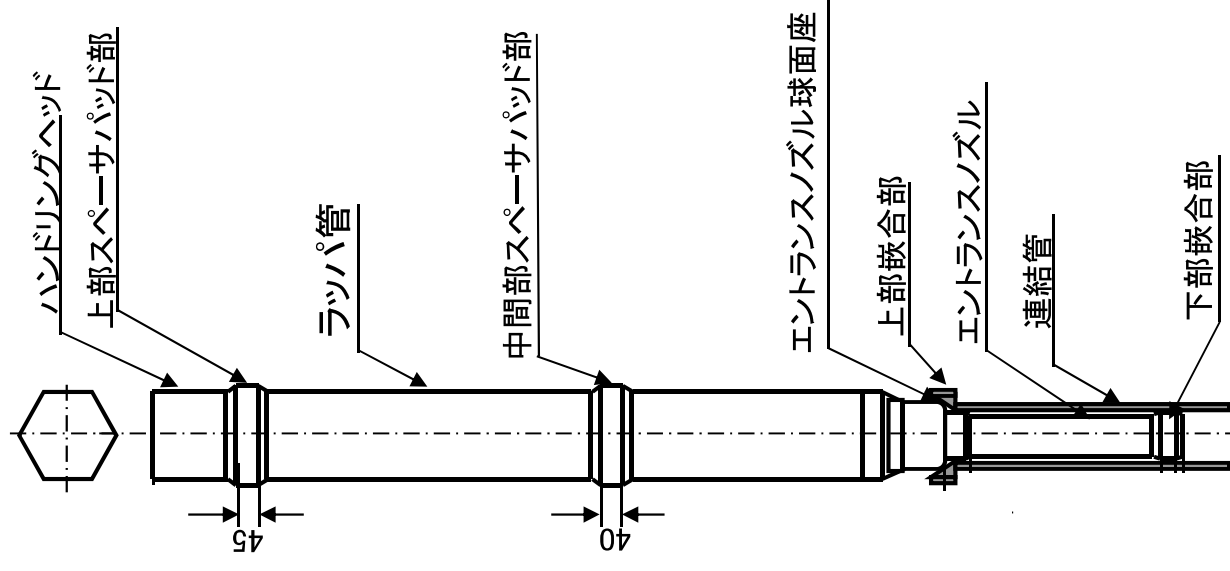


図 部分装荷時の3次元群振動解析結果による跳び上がり量

詳細は、資料2-2-3部分装荷時の地震時構造健全性評価について（軽水炉の基準地震動を参考に策定した地震動による評価結果）を参照。



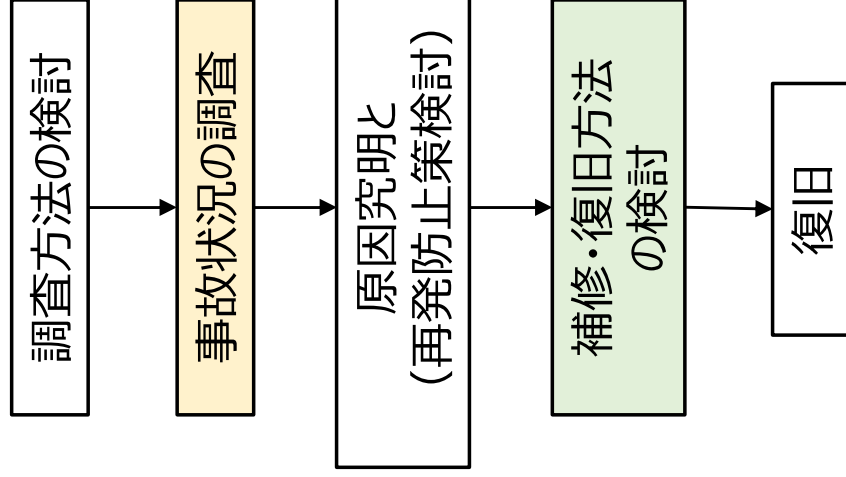
燃料体及び連結管の概要図

3 想定を超える事態（燃料体の取出しができない事態）に至ったとしても、燃料の取出しが可能であることについて説明すること

▶ 想定を超える事態の発生においても、今までの知見を活用し、燃料の取出しは可能

具体的には、

- ・ Na 液面を下げ、炉上部の検査孔から、監視装置、回収装置、回収装置の設置を行い回収を実施
- ・ 回収方法については、炉内の状況を鑑み、長期停止に至る事象への対応や炉内機器の回収で用いた方法を組み合わせることで最善策を選定



【炉内の状態把握】

各種計器や内部観察により干渉の有無等を把握

①内部観察

- もんじゅは運転を停止して長期間経過しており、放射線の影響は低く、ナトリウムの液面を下げ内部の観察が可能（ペリスコープ、ファイバースコープ）
- ②燃料交換装置等の記録から、内部状況の推定。



【復旧方法の策定】

炉内の状態を基に

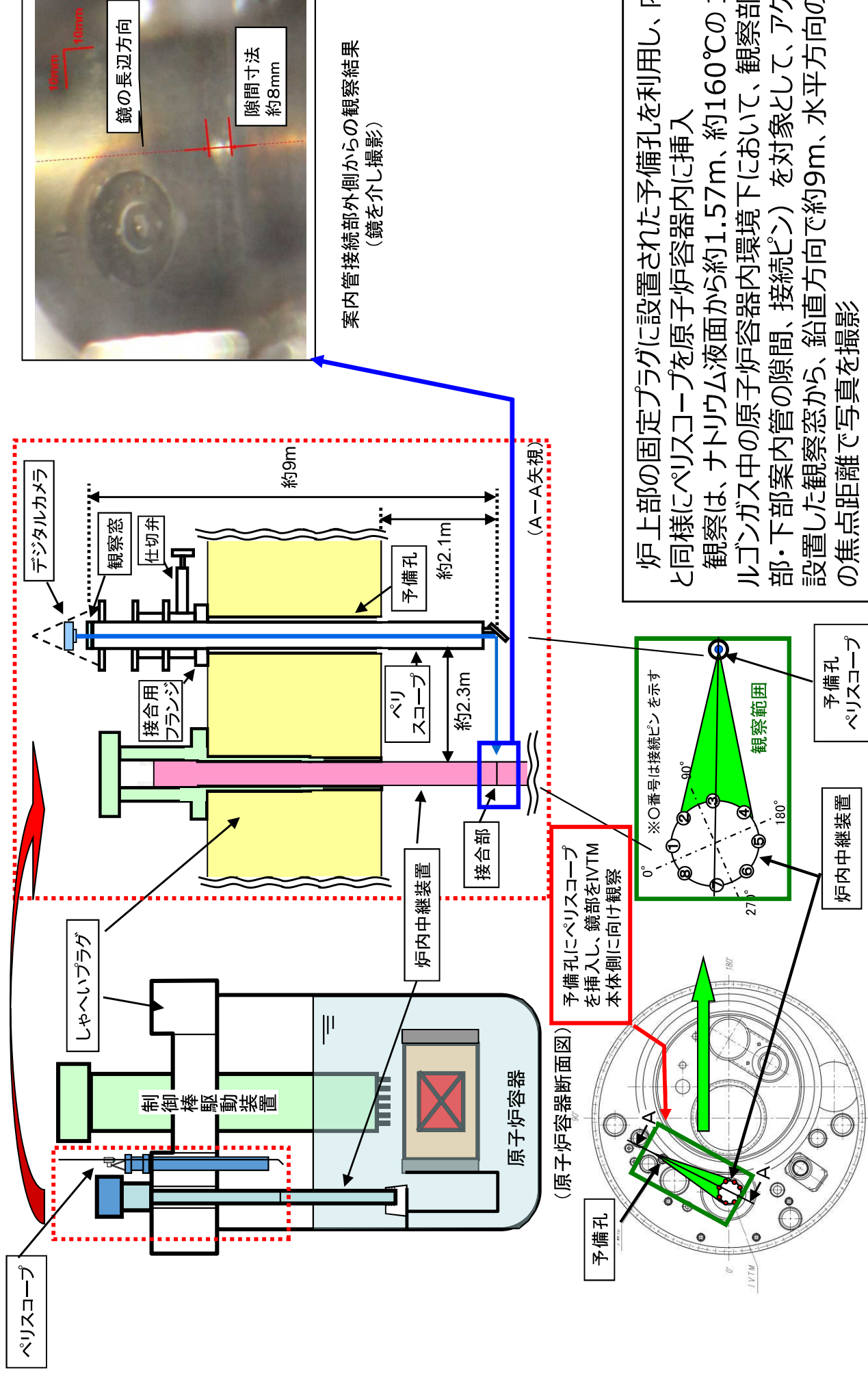
- ①必要な装置の製作（設置場所（プラグ）の選定、既存設備との組み合わせ、ナトリウム環境を考慮）
- ②実機適用前には、その性能をモックアップ試験にて確認





## 【参考】炉内中継装置の案内管接続部の外面観察例

### 炉内中継装置の案内管接続部の外面観察例



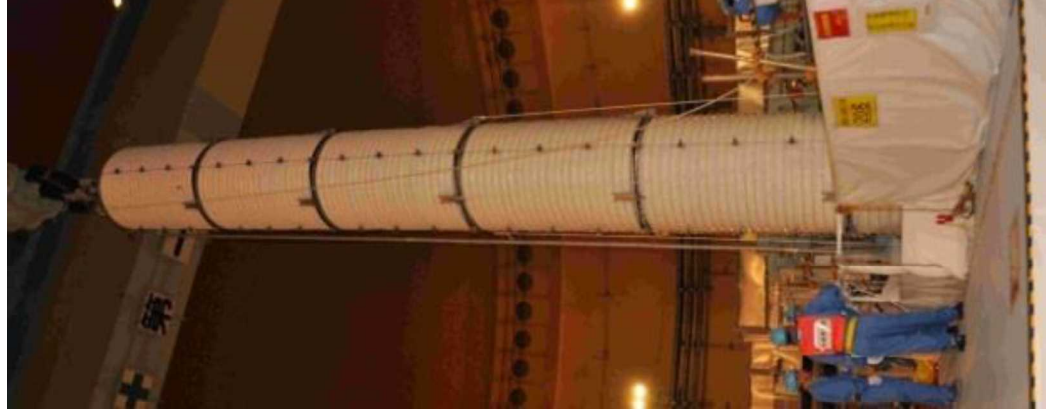
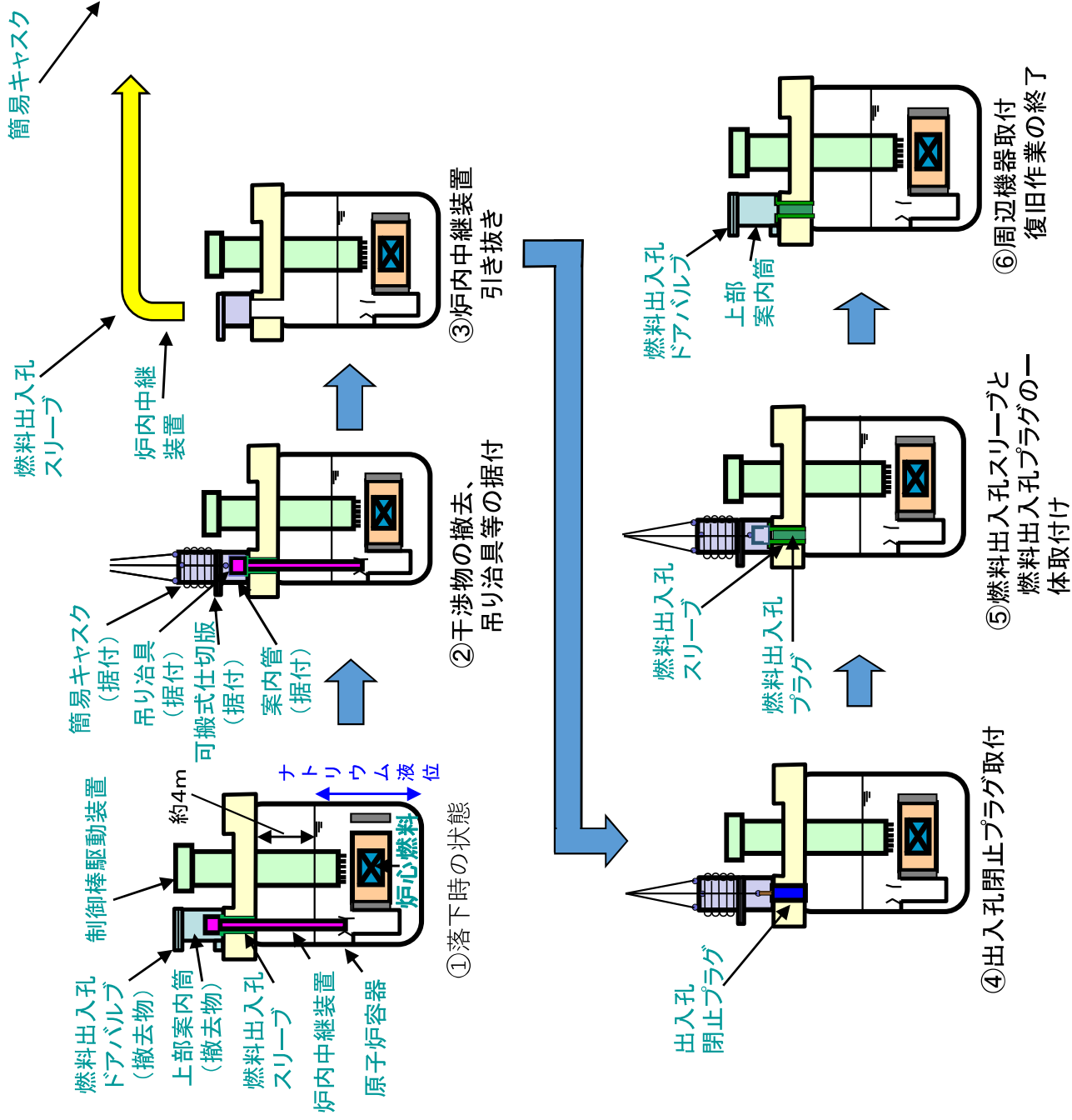
炉上部の固定プラグに設置された予備孔を利用し、内面観察と同様にペリスコープを原子炉容器内に挿入  
 観察は、ナトリウム液面から約1.57m、約160℃の1次系アルゴンガス中の原子炉容器内環境下において、観察部位（上部・下部案内管の隙間、接続ピン）を対象として、アクリル板を設置した観察窓から、鉛直方向で約9m、水平方向の約2.3mの焦点距離で写真を撮影

(炉上部平面図)



# コメント回答 (No.3)

## 【参考】簡易キャスクを用いた炉内機器の引抜き事例

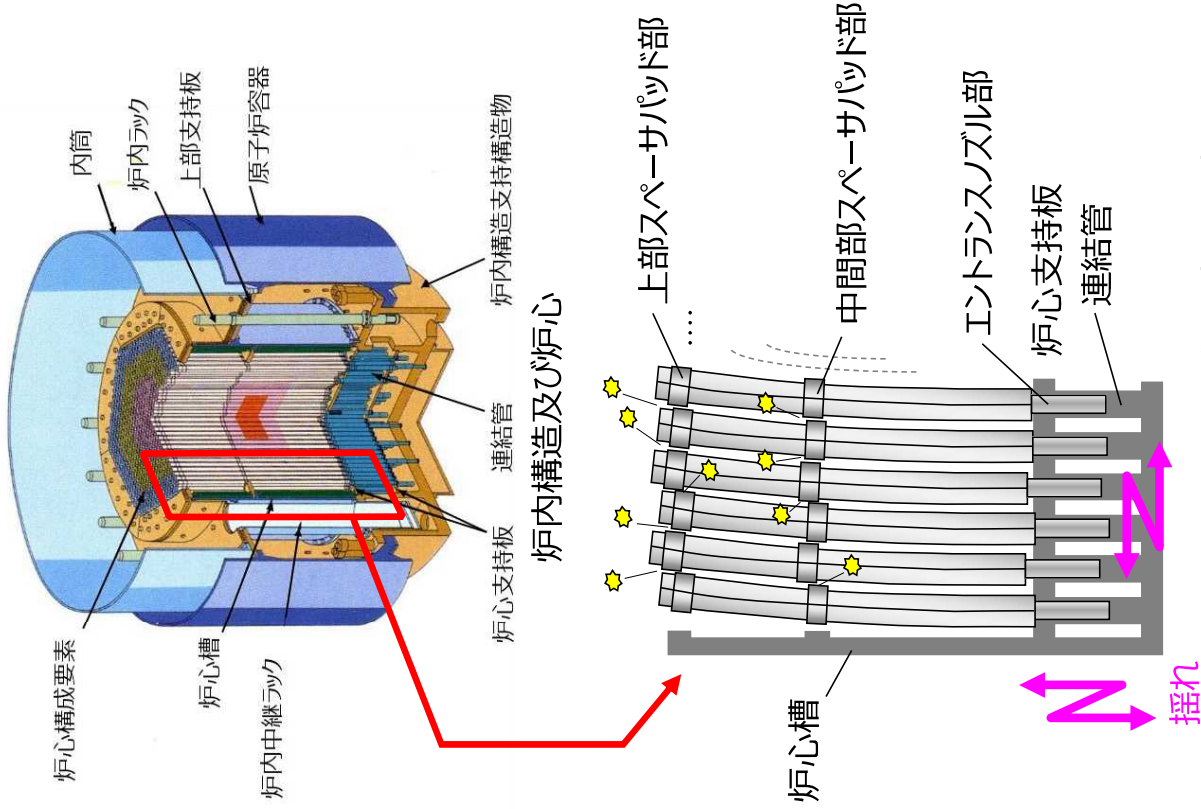


簡易キャスクによる燃料出入孔スリーブ、炉内中継装置を一体で引抜き

以下、参考資料

## 評価方針

廃止措置段階の部分装荷状態における地震時の炉心挙動を3次元炉心群振動解析により模擬し、燃料体に作用する荷重(応力)によって、過大な変形等が生じないことを確認する



地震時の炉心の挙動 (模式図)

## 炉心の特徴 (再掲)

- ✓ もんじゅの燃料は、炉心支持板の連結管に差し込まれて自立しており、さらに燃料体同士がパッド部で接触し、お互いを支え合う状態となる。なお、最外周の中性子しゃへい体のパッド部は、炉心槽の支持枠で外側から支持される
- ✓ 燃料体同士の最小隙間はパッド部であり、この隙間は0.7mm程度となる

## 地震時の炉心の挙動

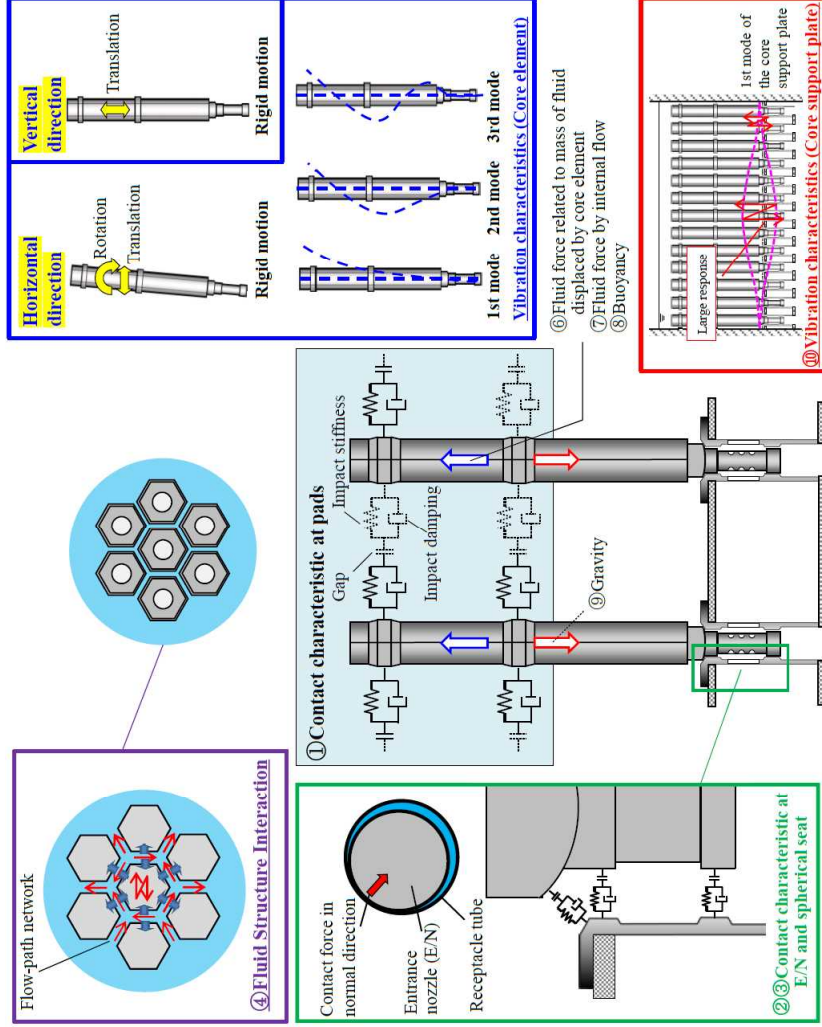
- ✓ 地震時には、揺れの力は炉心槽及び炉心支持板を経由して燃料体に伝わる。
- ✓ この際、水平方向の揺れの力により、連結管に差し込まれたエントランスノズル部には曲げによる力が発生すると共に、燃料体も水平方向に変位し、隣接する燃料体とはパッド部において接触・衝突する可能性がある
- ✓ 上下方向の揺れの力により、連結管に差し込まれた燃料体は跳び上がり挙動を示す場合がある
- ✓ 炉心に装荷された燃料体を含む多数の炉心構成要素が、上記の揺れや衝突現象が作用することにより、群としての複雑な振動性状を示す (炉心群振動)



地震時に燃料体のパッド部に作用する荷重やエントランスノズル部の曲げ応力を算出するために、炉心群振動挙動を3次元的に評価可能な手法を用いる

## 3次元炉心群振動解析

- 地震時における高速炉の炉心、炉心構成要素、炉心支持構造物等の炉心群振動挙動の把握を目的とし、群体系における衝突・摩擦、及び流体-構造連成を考慮した耐震解析手法
- 以下の通り、部分装荷状態を模擬して評価を実施



### 【部分装荷状態を考慮したモデル】

#### ① 模擬体非装荷箇所のモデル化

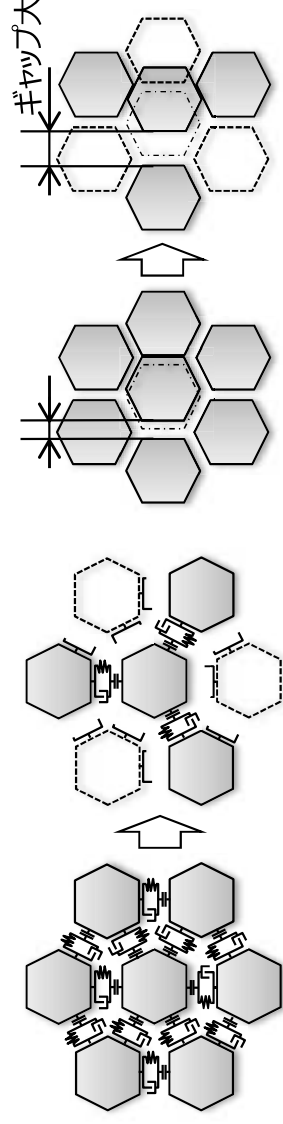
水平変位挙動が最も大きくなる、非装荷箇所が最多（燃料体取出し完了時）状態の炉心を評価対象  
⇒装荷しない箇所のモデルを除去

#### ② 水平方向の流体抵抗の考慮

⇒模擬体非装荷箇所の空間の流体効果を考慮

#### ③ 廃止措置段階の状態の考慮

⇒炉心及び構造の温度条件は200℃とする  
・燃料体内の上向き流体力は考慮しない



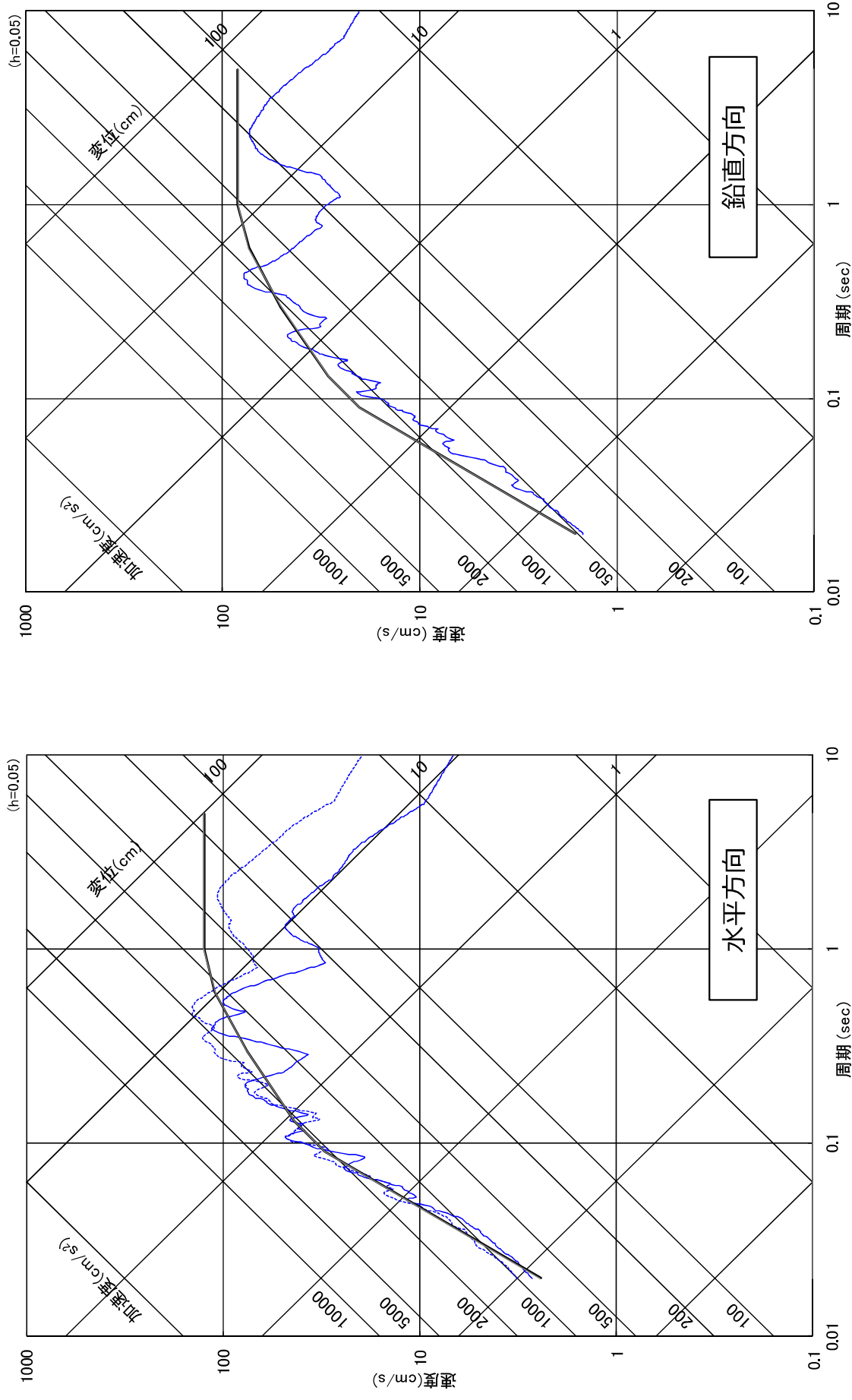
模擬体非装荷箇所のモデル化

燃料体間ギャップの考慮

## 3次元炉心群振動解析モデル

A.IWASAKI, et al., Core Seismic Experiment and Analysis of Hexagonal Bundle Model for Fast Reactor, Proceedings of the ASME 2017 Pressure Vessels and Piping Conference, PVP2017-65354

# 評価に適用した地震動の応答スペクトル比較



## 凡例 (Gal)

- : もんじゅ基準地震動Ss-D (水平760、鉛直507)
  - : 軽水炉の基準地震動レベルを参考に策定した地震動 (NS837、EW95、UD464)
- ※水平方向の図において、実線がNS方向、点線がEW方向のスペクトルを示す



入力地震動

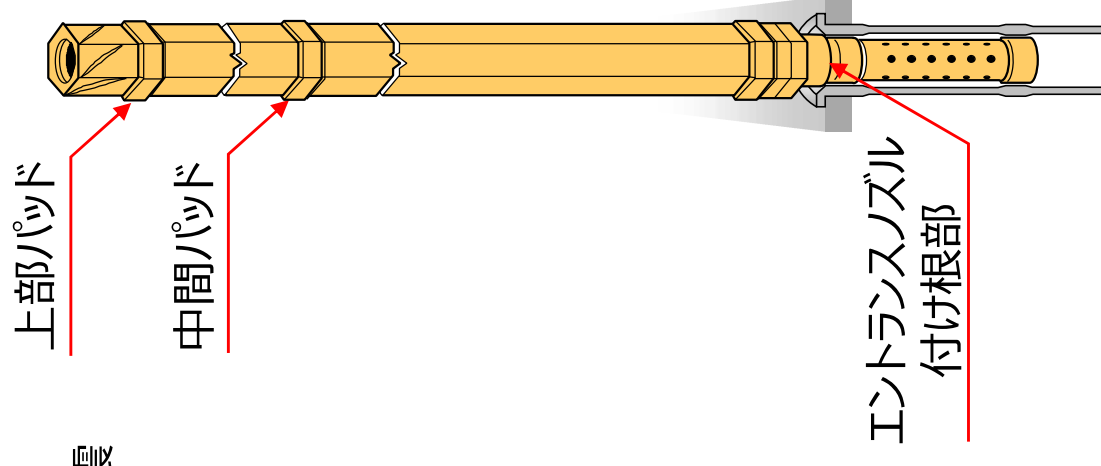
「応答スペクトルに基づく地震動評価」により策定され、廃止措置計画にて用いている基準地震動による原子炉構造の炉心支持板の応答加速度時刻歴波（水平2方向+上下方向）を、3次元炉心群振動解析モデルへ入力

評価結果

部分装荷状態において生じる衝突荷重及び曲げ応力の発生値は、評価基準値を下回る

部位	発生値	評価基準値※
上部パッド	112.8	564
中間パッド	5.3	28
イントランスノズル 付け根部曲げ応力[MPa]	141.1	440

※評価基準値は原設計及び日本機械学会 発電用原子力設備規格 設計・建設規格の考え方（供用状態Dにおいて延性破断に至る塑性変形が生じないこと。）における応力評価を基に設定。



以上の評価結果から、部分装荷状態において地震時に燃料体が大きく変形し、炉心からの燃料体の取出しができないといった事態に至らないことを確認



## 部分装荷時の跳び上がり量

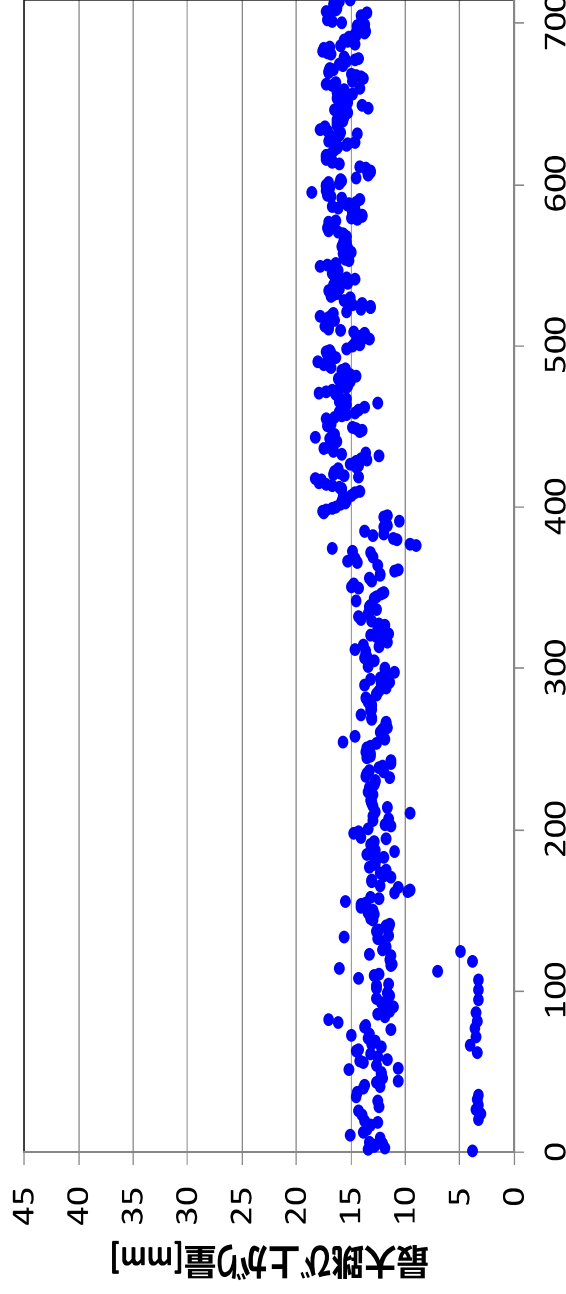
- 運転時には、炉心の地震時健全性及び地震時の炉停止機能確保の観点から、地震時の制御棒挿入性評価が必要

- 耐震バックチェック時の跳び上がり評価は評価基準値45mm \* に対し、38mm

\* 炉心構成要素の跳び上がりが生じても炉心構成要素の水平方向支持が維持されること（上部スペーサーパッド部の幅45mmを超える跳び上がりが発生し、水平方向支持はずれが生じないこと）

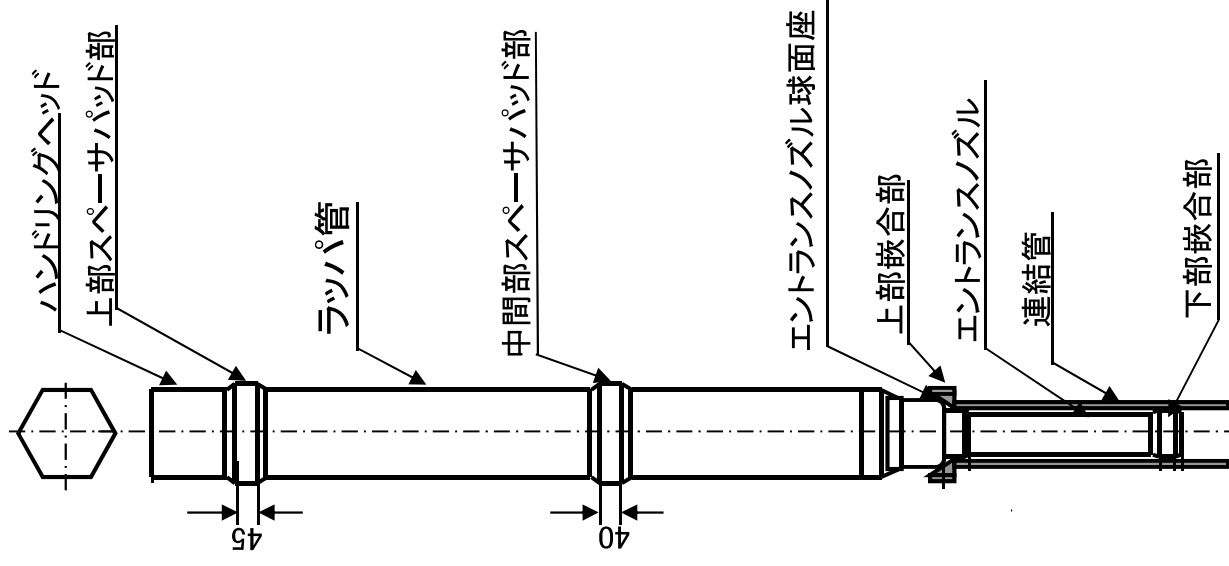
- 廃止措置段階にて模擬燃料体を部分装荷とした場合、燃料体、模擬燃料体の地震時における挙動が変化し、炉心体系の幾何学的形状維持に影響が想定される

- 3次元炉心群振動解析評価手法から得られる、部分装荷における最大跳び上がり量は、中性子しゃへい体領域までを含む全炉心において20mmを超えないため影響はない



炉心中心の要素を1とし内側から順番に付与した番号

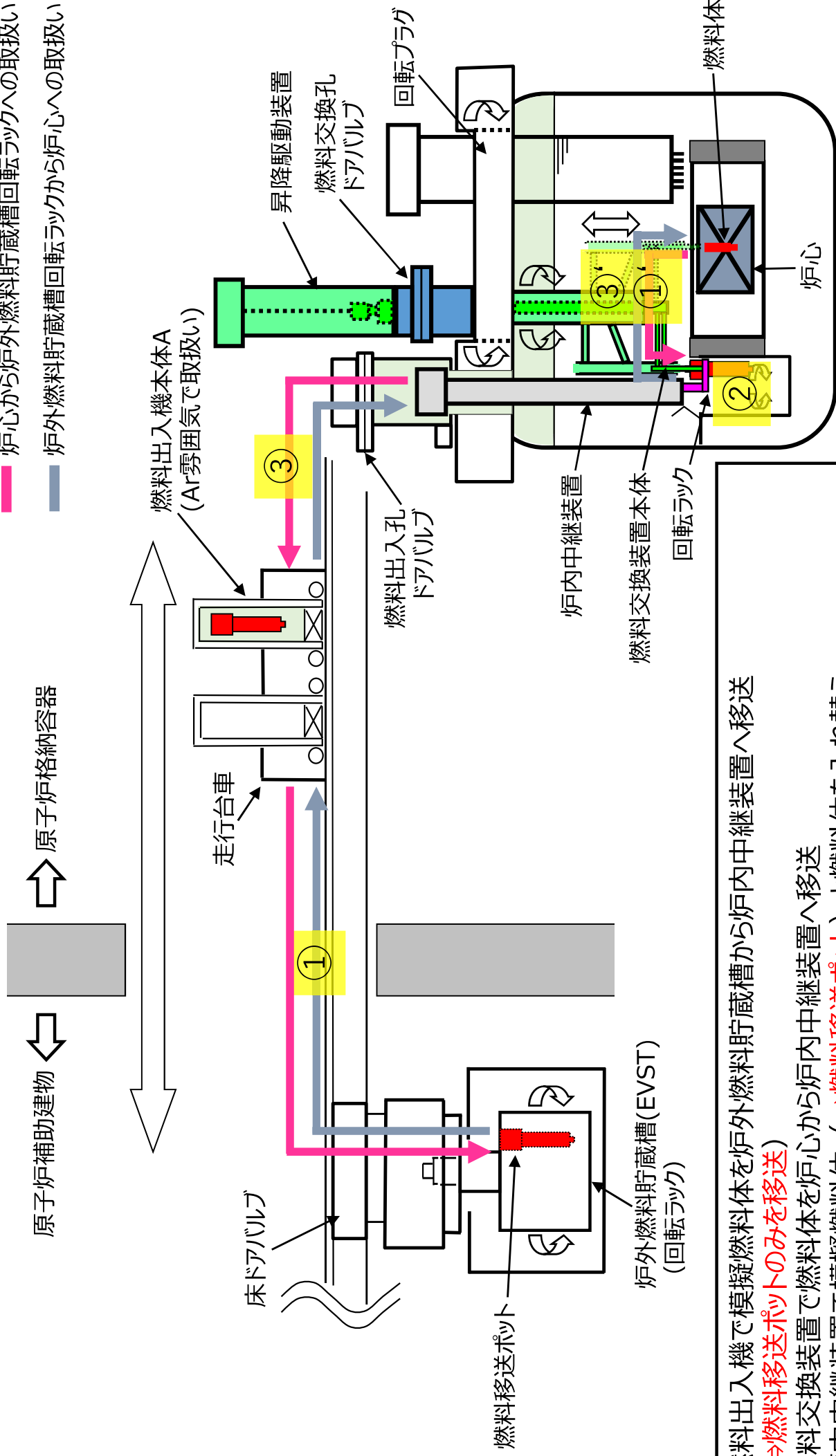
図 部分装荷時の3次元群振動解析結果による跳び上がり量



燃料体及び連結管の概要図

# 炉心から炉外燃料貯蔵槽への燃料体の取出し概要

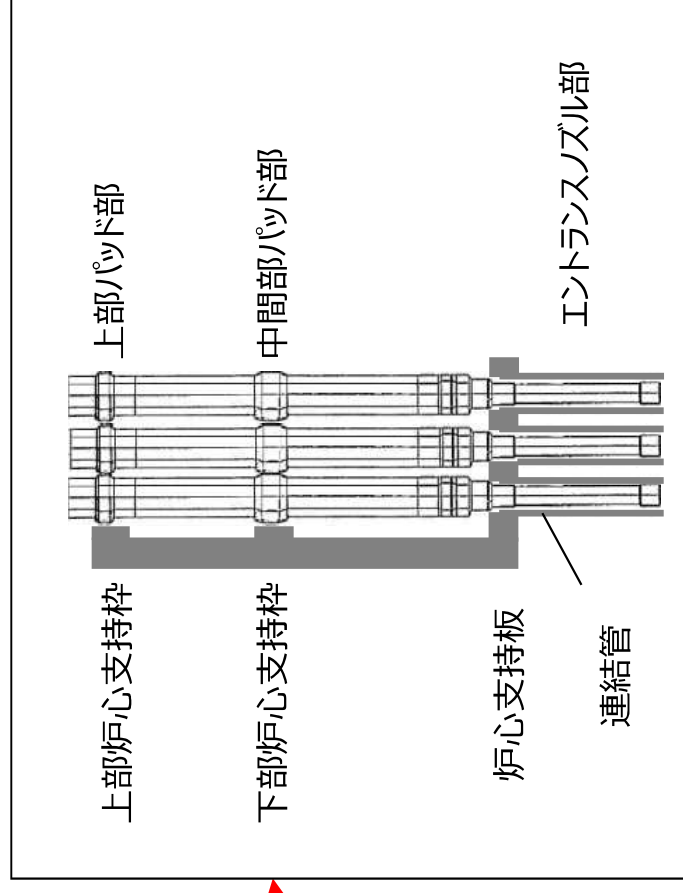
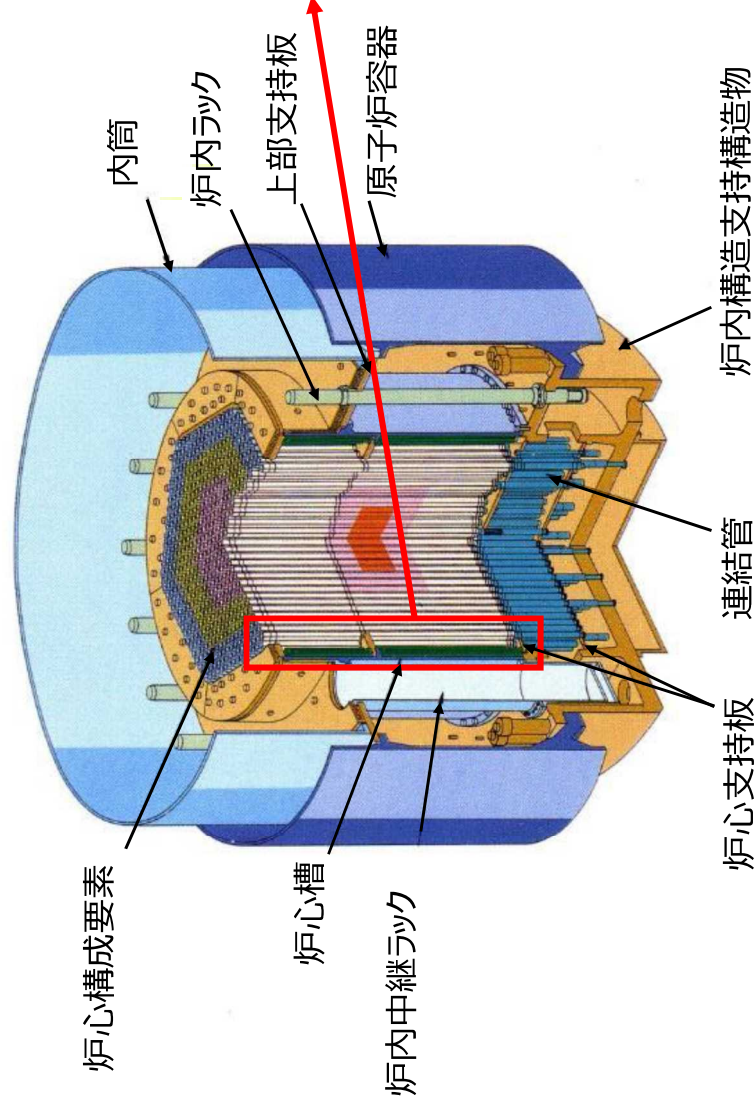
- 炉心から炉外燃料貯蔵槽回転ラックへの取扱い
- 炉外燃料貯蔵槽回転ラックから炉心への取扱い



- ① 燃料出入機で模擬燃料体を炉外燃料貯蔵槽から炉内中継装置へ移送 (⇒燃料移送ポットのみを移送)
- ① 燃料交換装置で燃料体を炉心から炉内中継装置へ移送
- ② 炉内中継装置で模擬燃料体 (⇒燃料移送ポット) と燃料体を入れ替え
- ③ 燃料出入機で燃料体を炉内中継装置から炉外燃料貯蔵槽へ移送
- ③ 燃料交換装置で模擬燃料体を炉内中継装置から炉心へ装荷 (⇒当該プロセスは不要)

## 【参考】炉心構成要素の支持構造

- パッド部
  - ・炉心構成要素間は、上部及び中間部のパッドで径方向支持
  - ・最外周の炉心構成要素は、上部及び中間部のパッドで炉心槽に取付けられた炉心支持枠により径方向支持
- エントランスノズル部
  - ・炉心構成要素は、エントランスノズルを連結管に嵌合され、径方向及び自重を支持



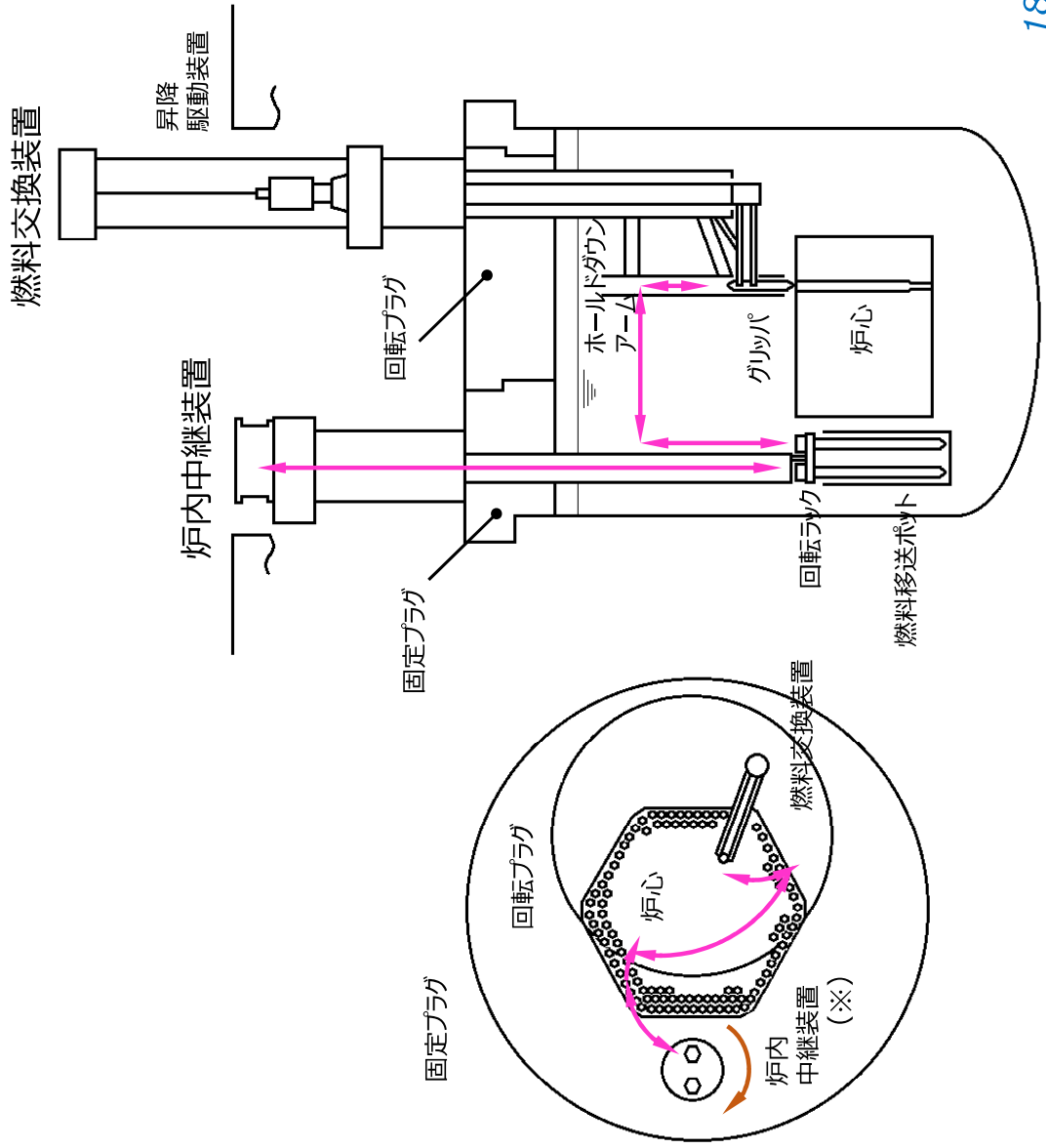
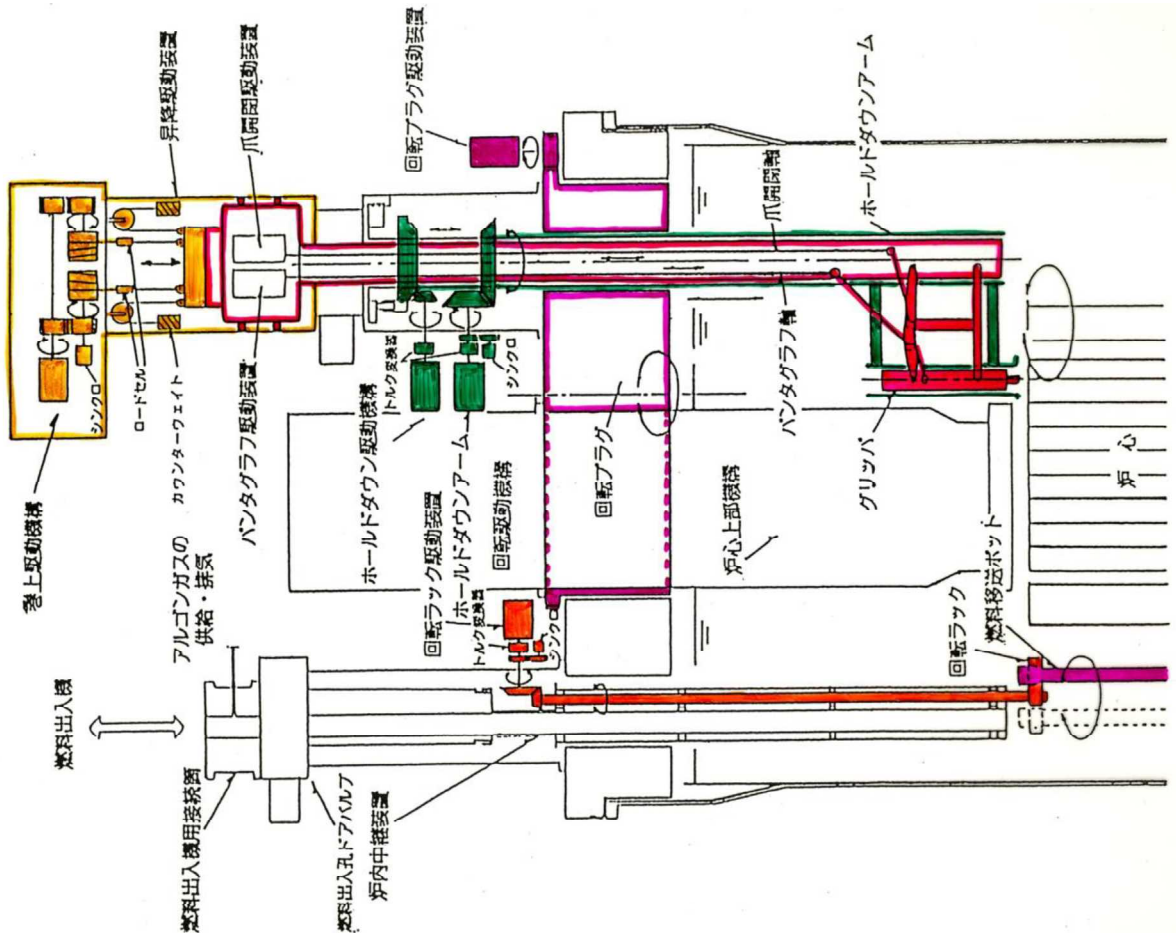




# 【参考】燃料取扱設備の駆動機構と燃料体取出し動作概要

- ① 回転プラグの回転及びFHMホルドダウンアームの旋回によりグリッパを目標位置へ移動
- ② グリッパを下降、燃料体頂部と接続し、燃料体を炉心から引抜き
- ③ 回転プラグの回転及びFHMホルドダウンアームの旋回により、燃料体を炉内中継装置燃料移送ポット上部へ移動

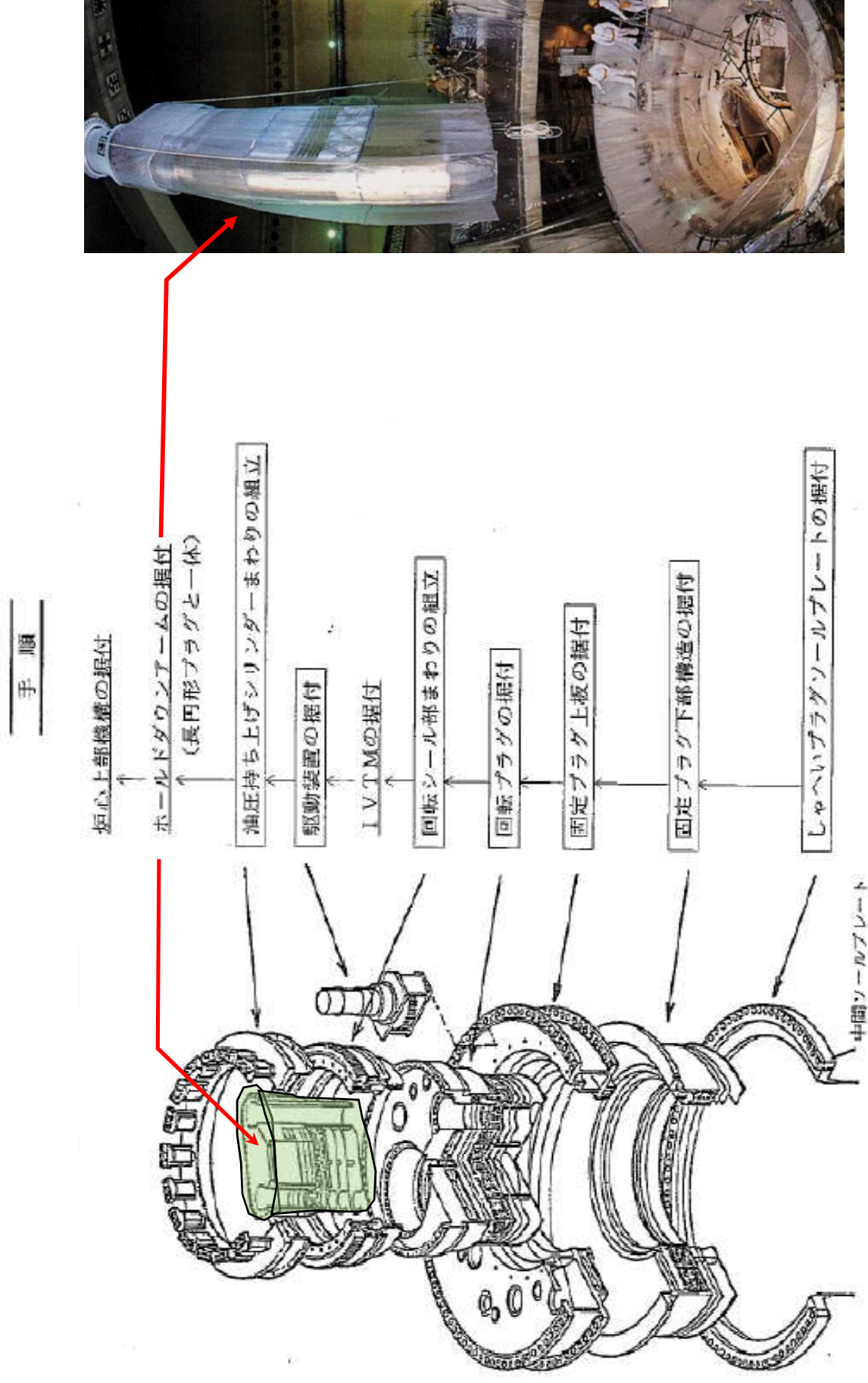
- ④ 燃料体を下降し燃料移送ポット内へ収納、グリッパを切離し
- ⑤ 炉内中継装置回転プラグを回転
- ⑥ 燃料出入機のグリッパを下降、燃料体頂部と接続し燃料体を取り出し





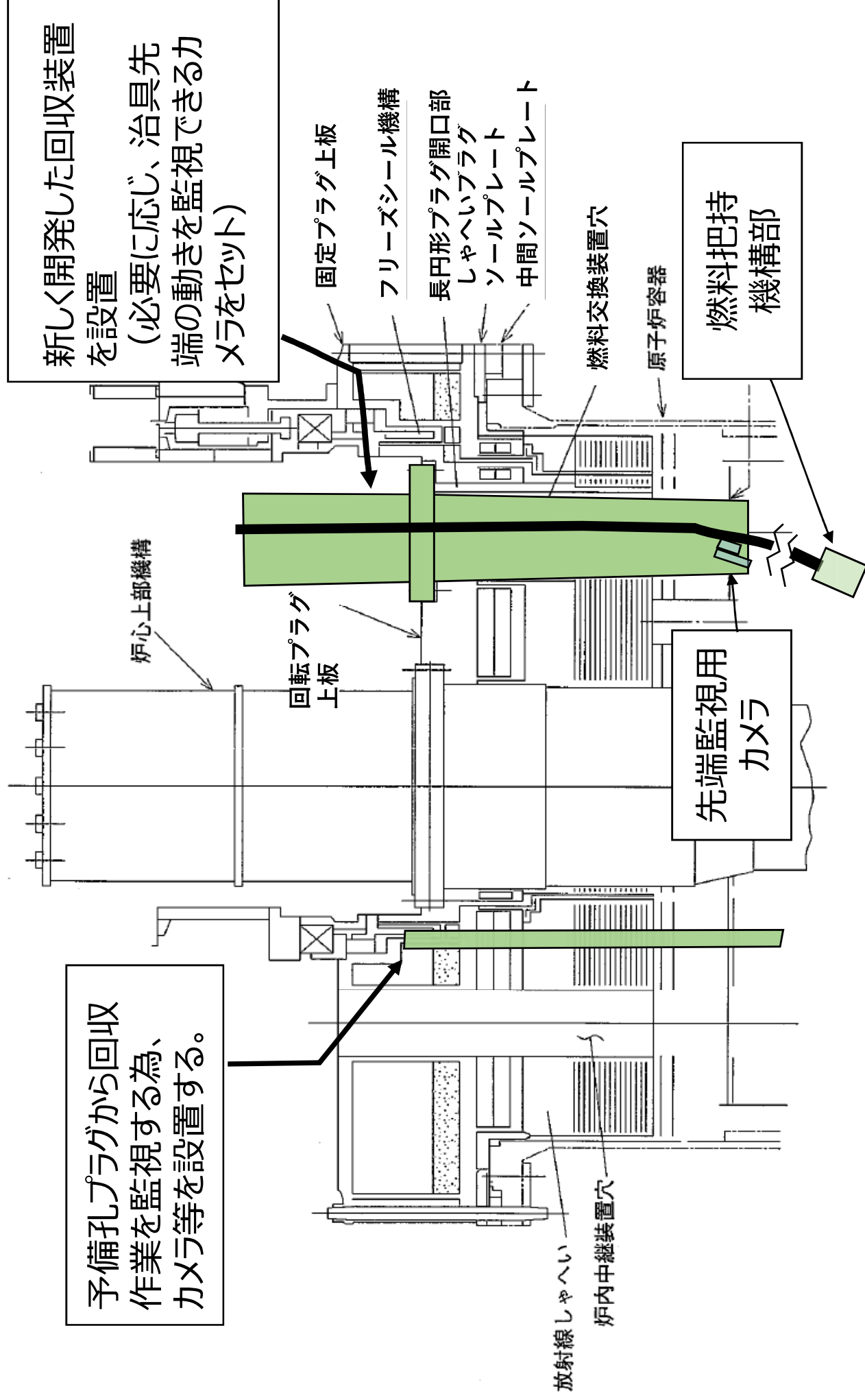
## 【参考】想定を超える事態の対応 [1/2]

- 建設当時、下図の通りの手順で据付を実施
- 長円形プラグとホールダウンアームを、一体で引抜くことで、炉内へのアクセス経路の確保が可能



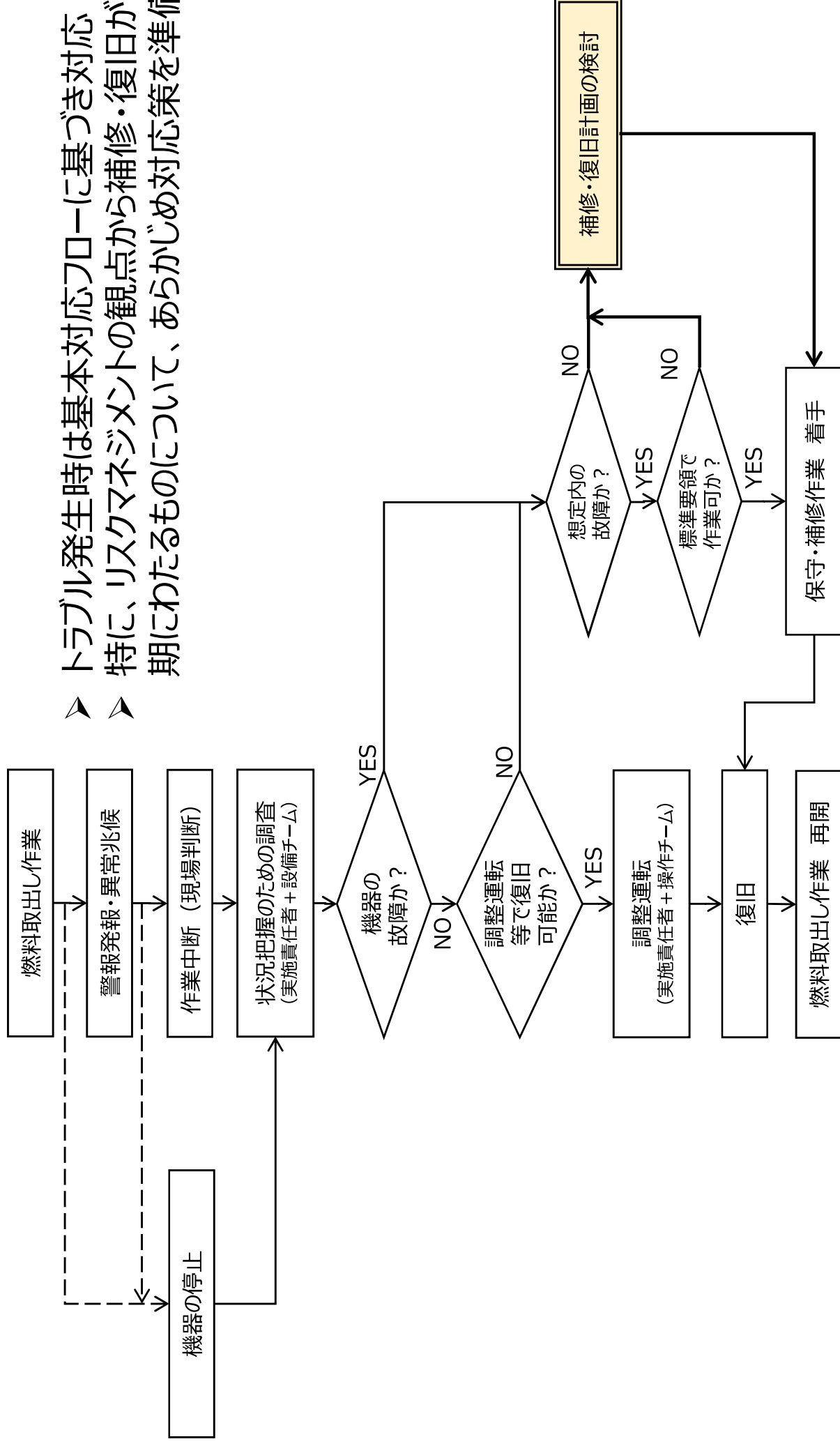


# 【参考】想定を超える事態の対応 [2/2]



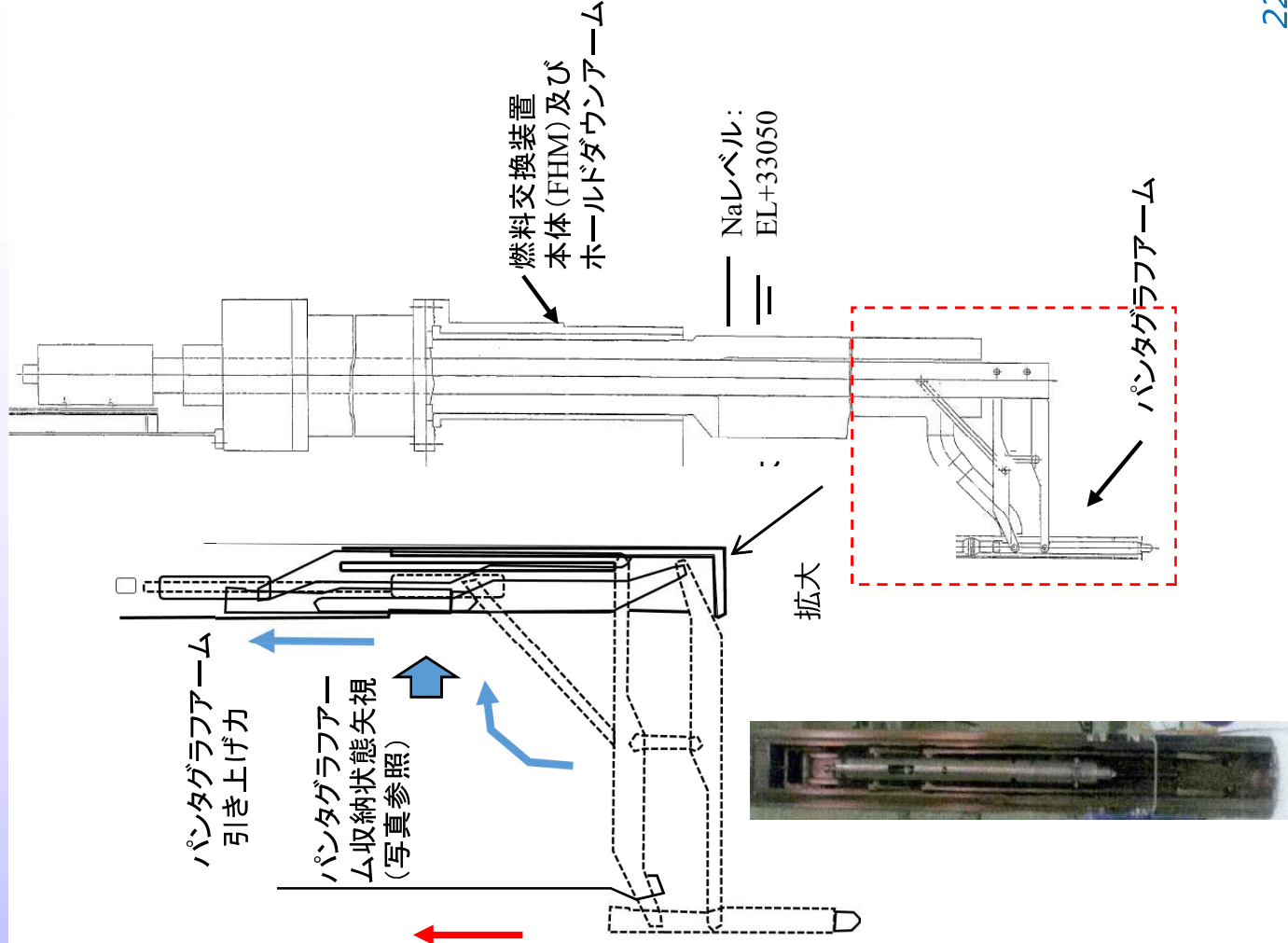
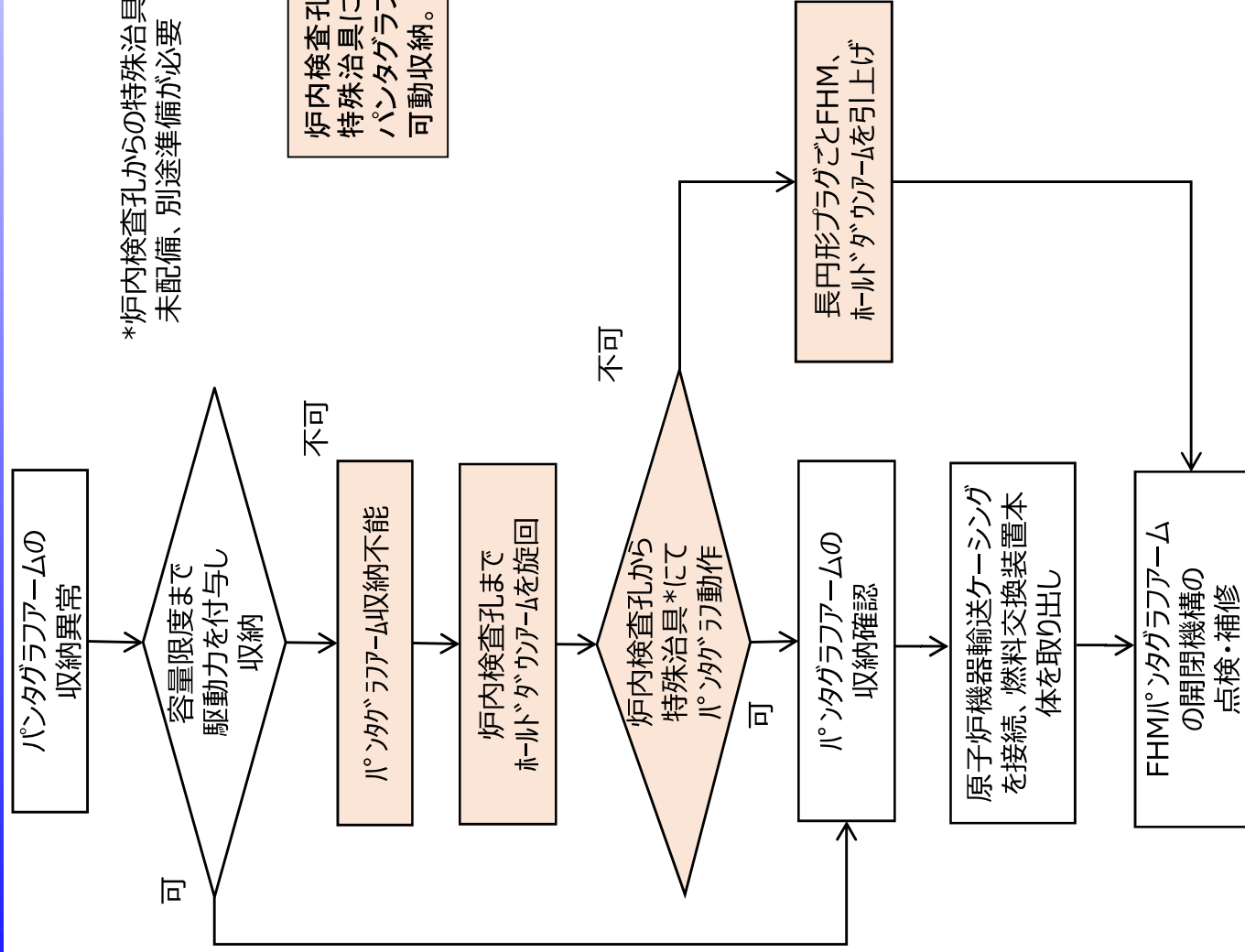
## 【参考】長期停止に至る事象への対応

### トラブル発生時の基本対応フロー

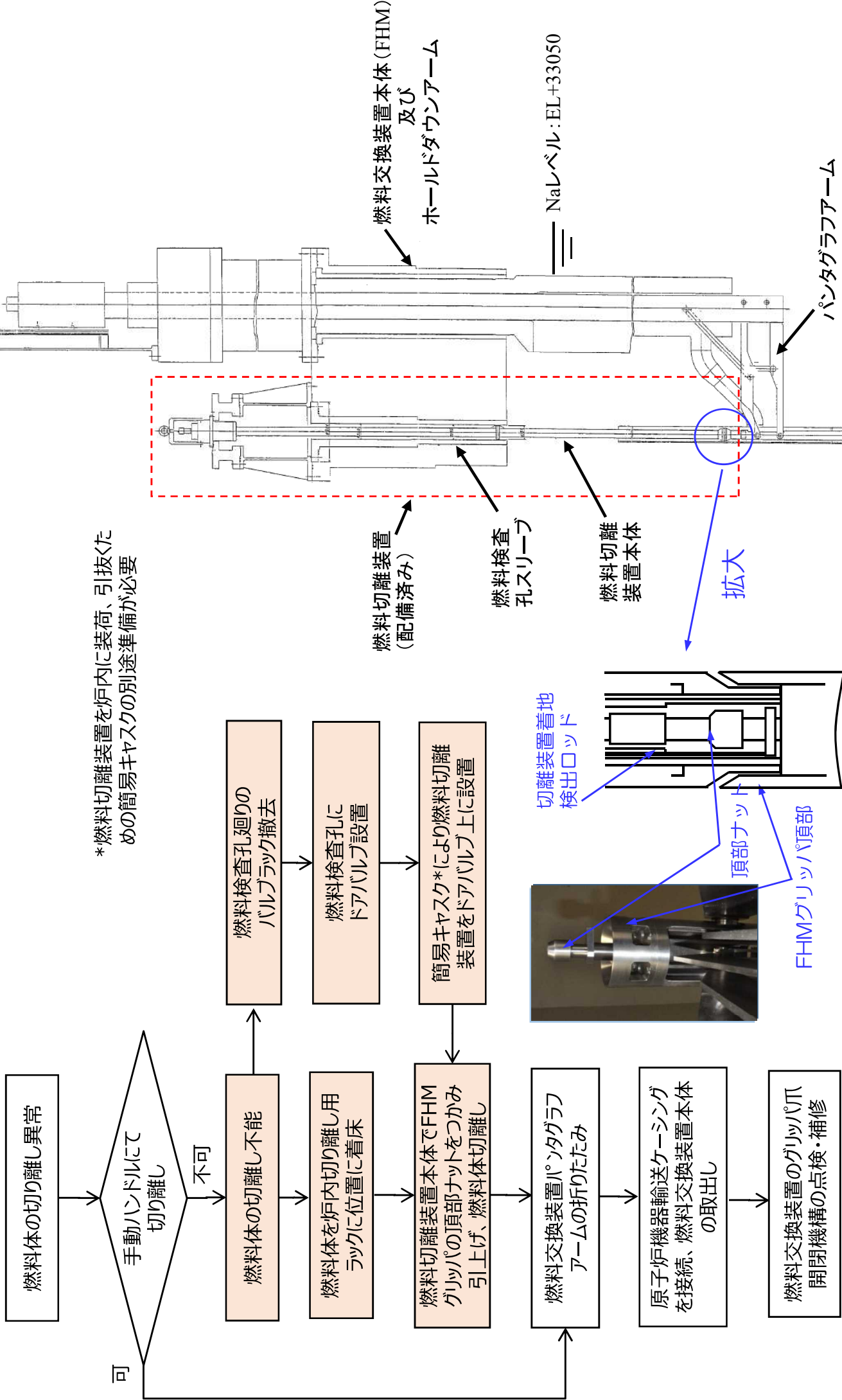


- トラブル発生時は基本対応フローに基づき対応
- 特に、リスクマネジメントの観点から補修・復旧が長期にわたるものについて、あらかじめ対応策を準備

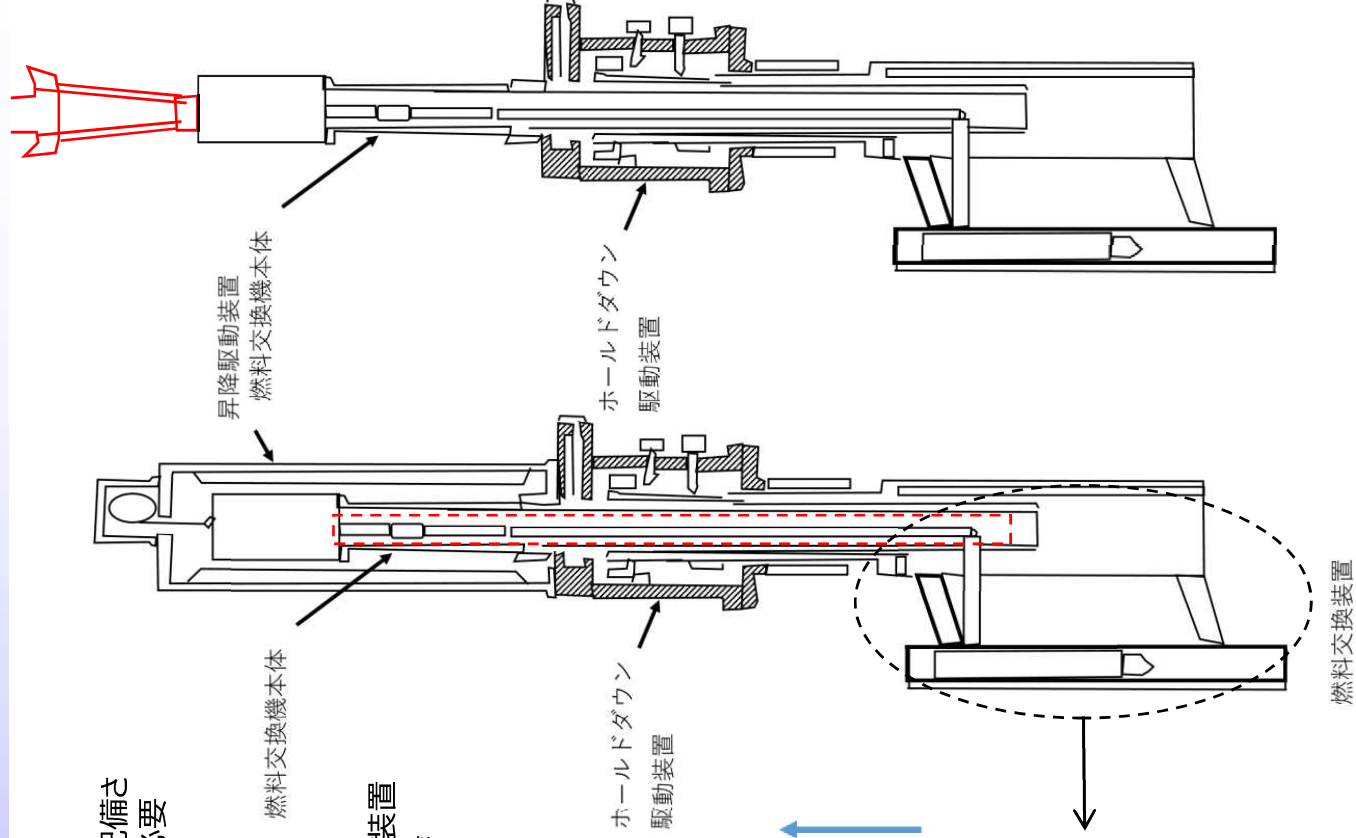
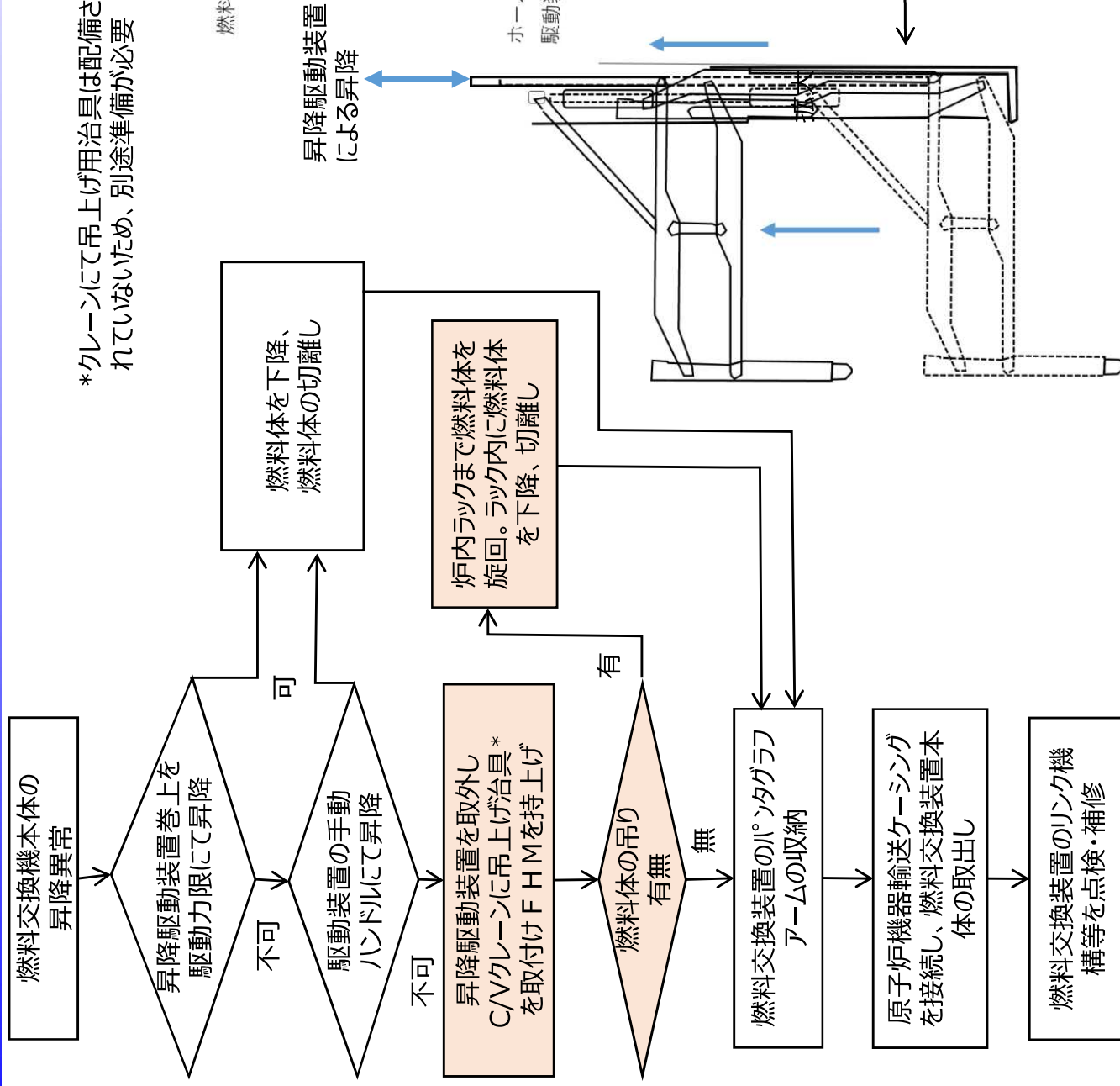
# 【参考】パンタグラフアームの収納不能



# 【参考】燃料体の切り離し不能



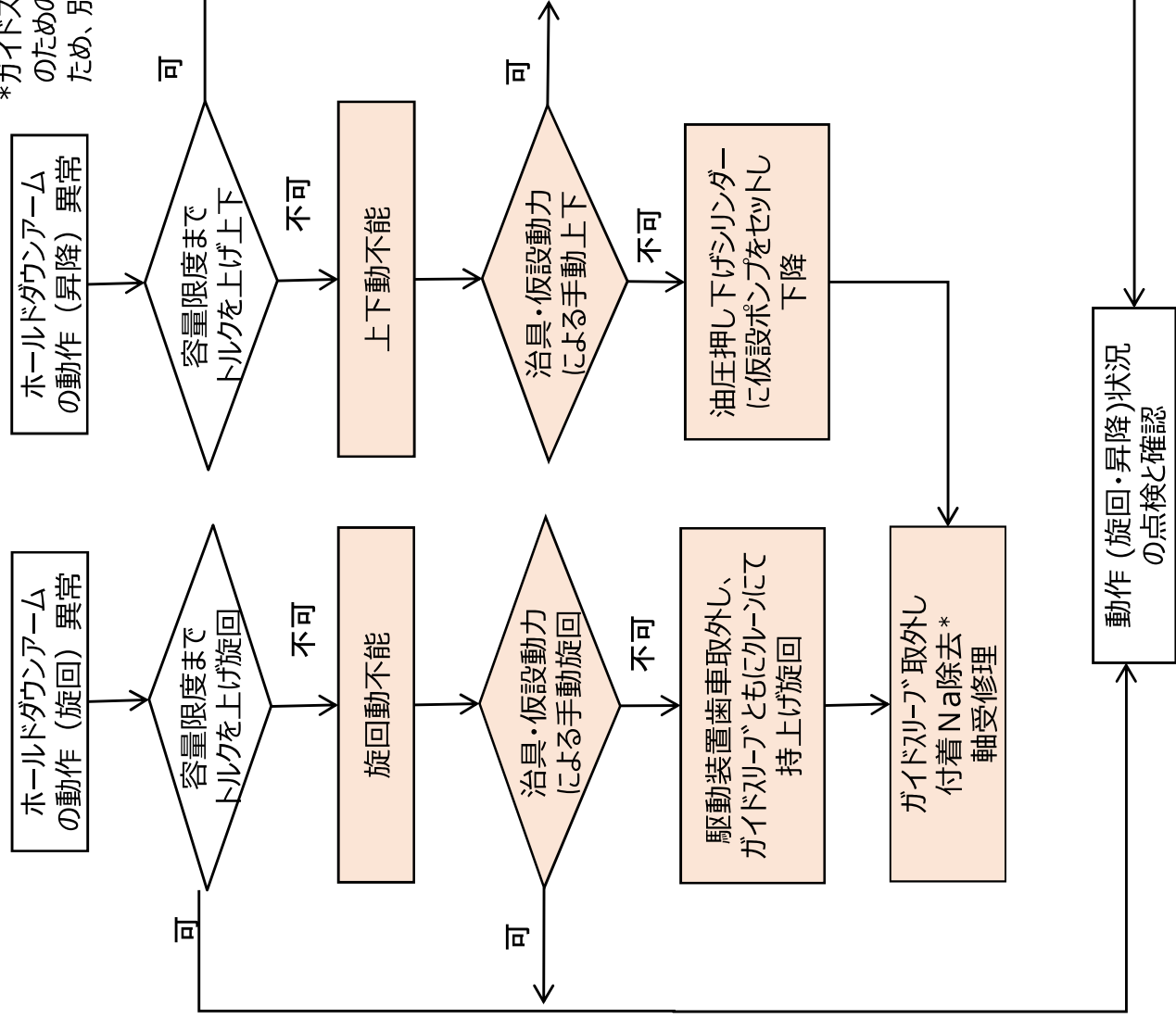
# 【参考】燃料交換装置本体の昇降不能



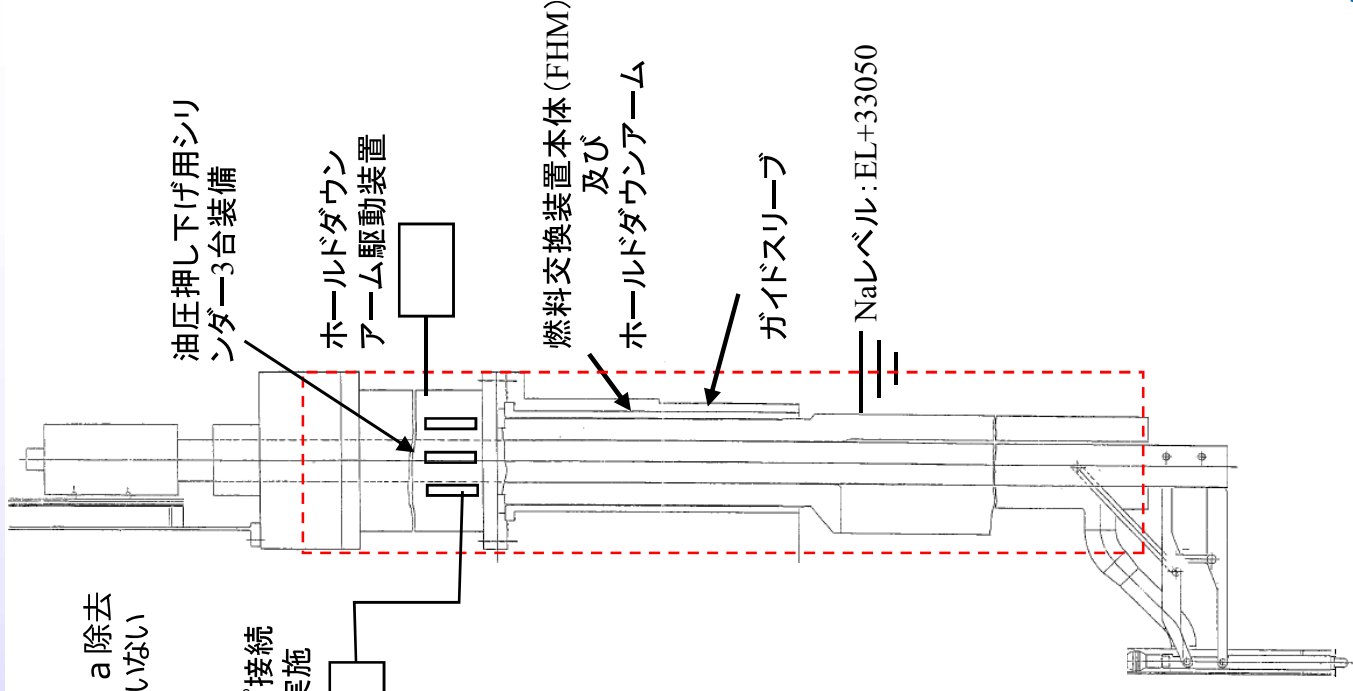
燃料交換装置

# 【参考】ホールドダウンアームの動作不能

\*ガイドスリーブ取外し及びNa除去のための設備は配備されていないため、別途準備が必要

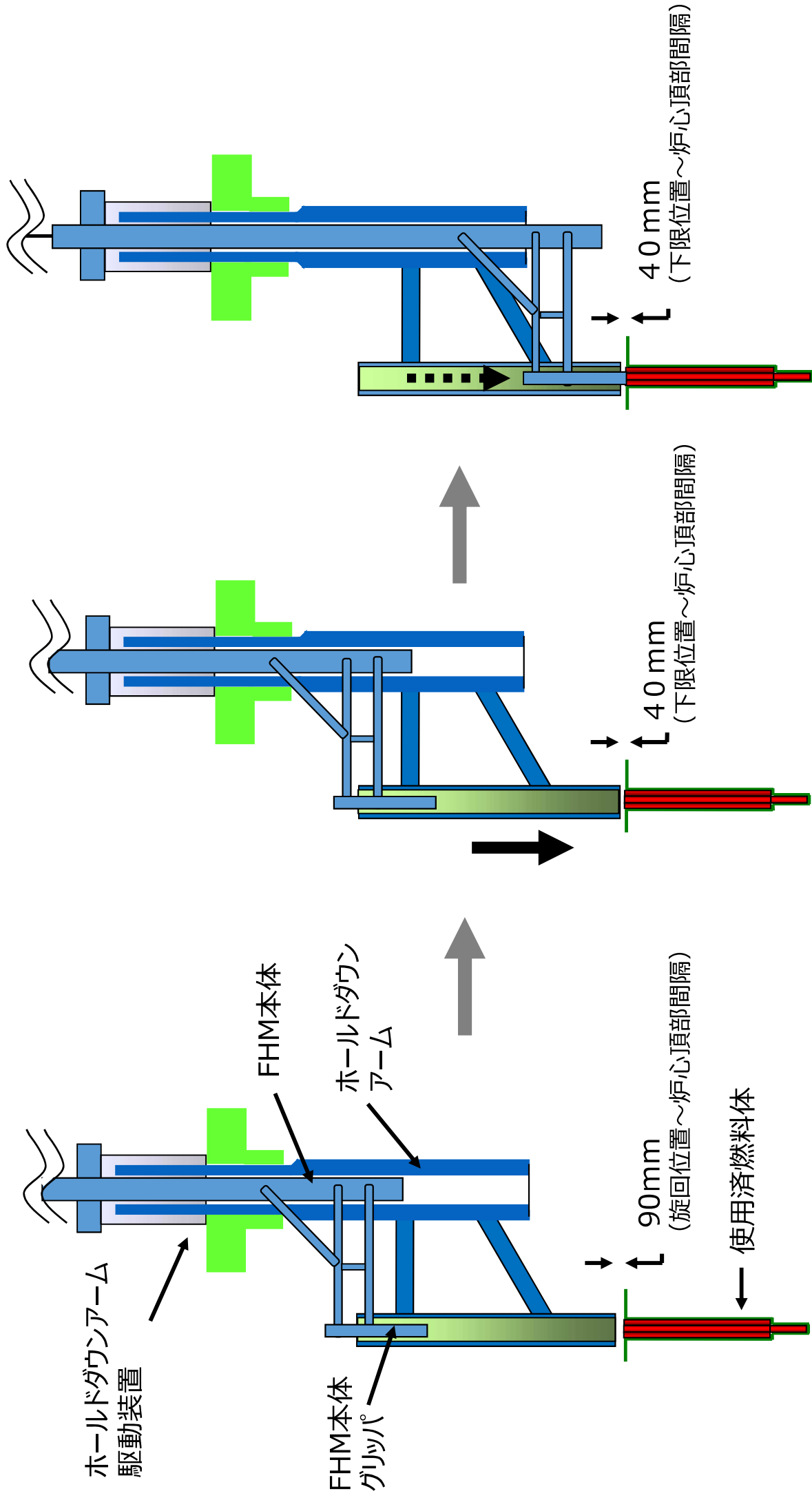


仮設ポンプ接続  
下降動作実施





【参考】燃料交換装置の動作概要（使用済燃料体の取出し） [1/2]

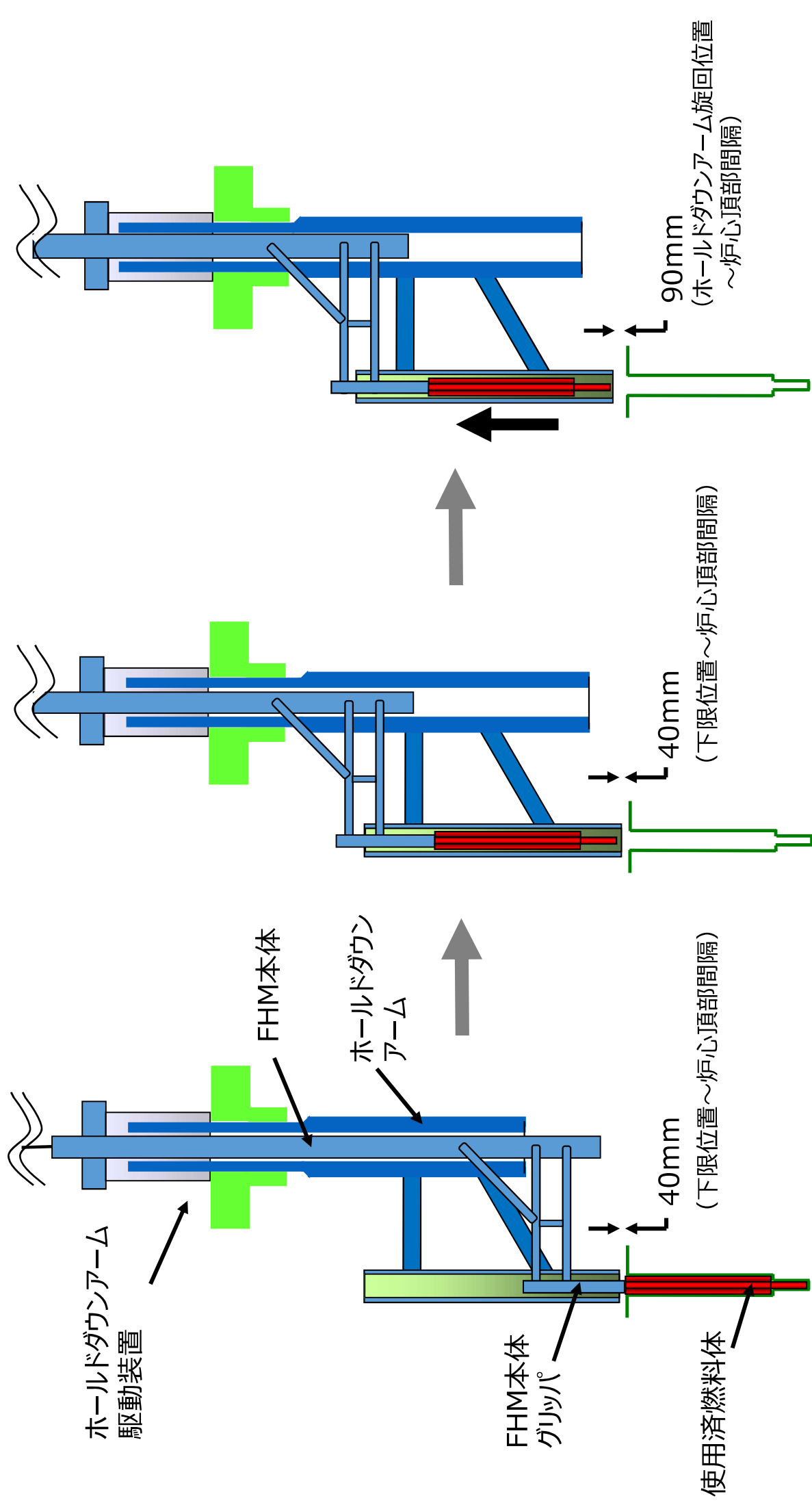


ホルドダウンアーム旋回後

ホルドダウンアーム下降

FHM本体グリッパ下降

# 【参考】燃料交換装置の動作概要（使用済燃料体の取出し） [2/2]

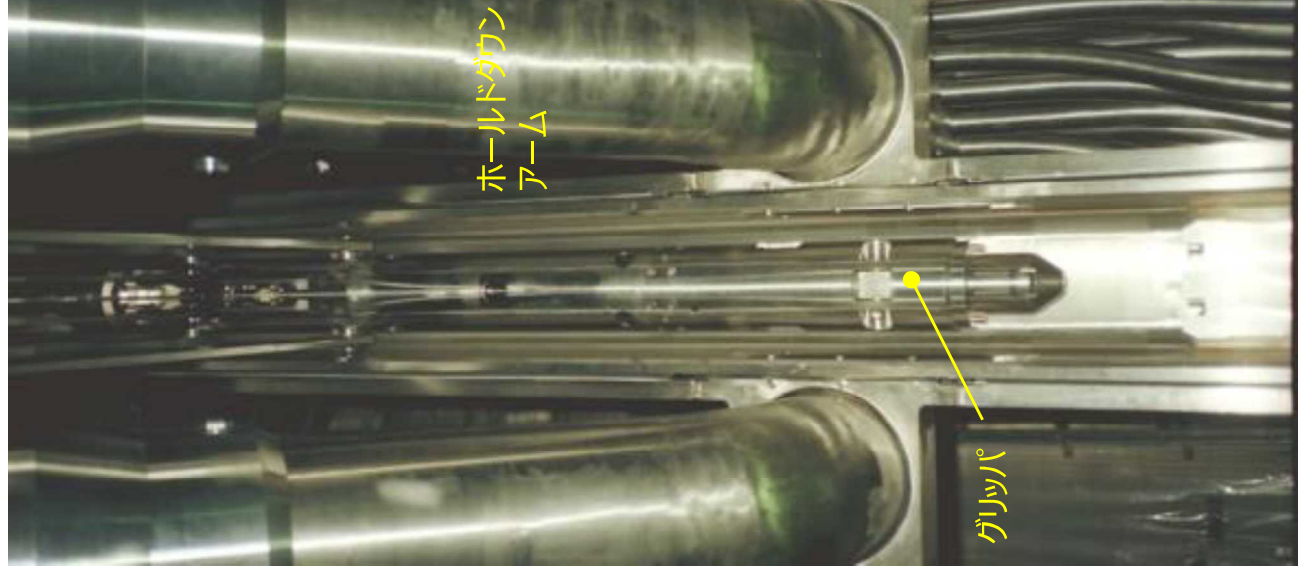
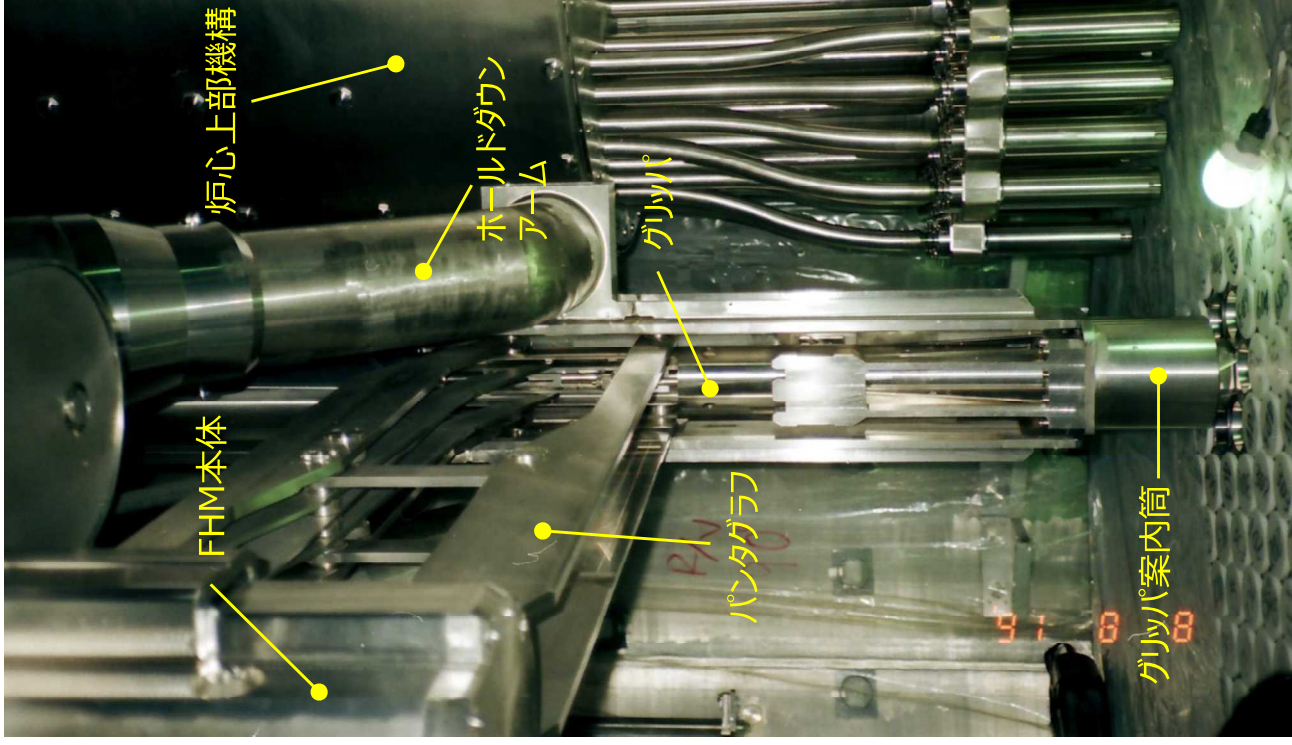


本体グリップ上昇開始

本体グリップ上昇完了

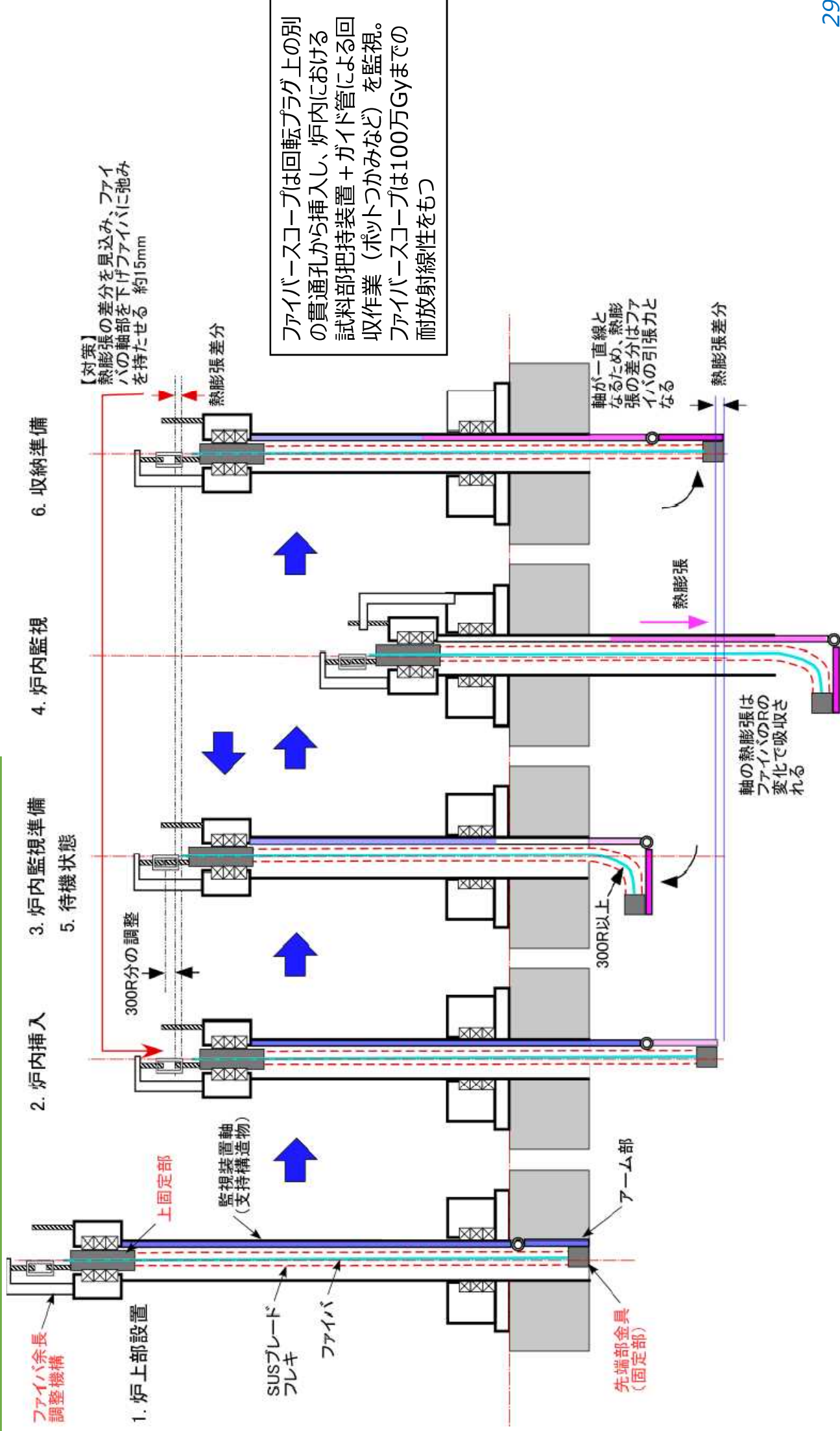
ホルドダウンアーム上昇

# 【参考】燃料交換装置



グリッパ先端部

## MARICO-2試料部回収に関する炉内観察例

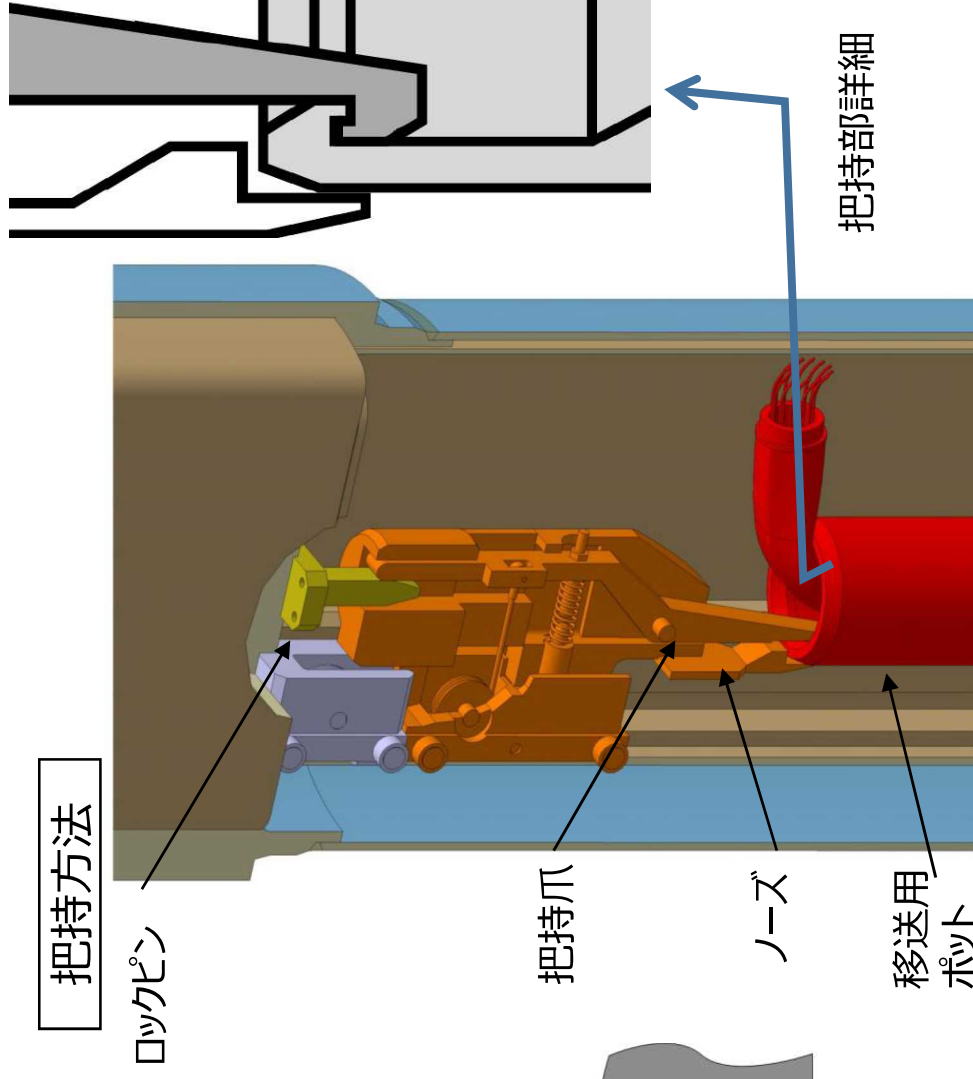




MARICO-2試料部の回収例

回収の流れ

- ① パンタグラフ機構展開・試料部の把持及び引き上げ
- ② パンタグラフ機構上部アーム折り畳みによる熟しやへい体との干渉回避
- ③ 把持機構の傾斜状態での引き上げ
- ④ パンタグラフ機構下部アーム折り畳みによるパンタグラフ機構の格納



・把持装置は移送ポットのハンドリングヘッドと把持爪がカギ型にかみ合う構造となっており、吊上げて荷重が付加された状態では容易にはずれない構造としている

・また、把持爪は常時バネによって閉じる方向に動作する構造となっており、ノーズと把持爪の間で移送ポットのハンドリングヘッドを拘束する構造としている

