

枠内は機密情報のため公開できません

「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)

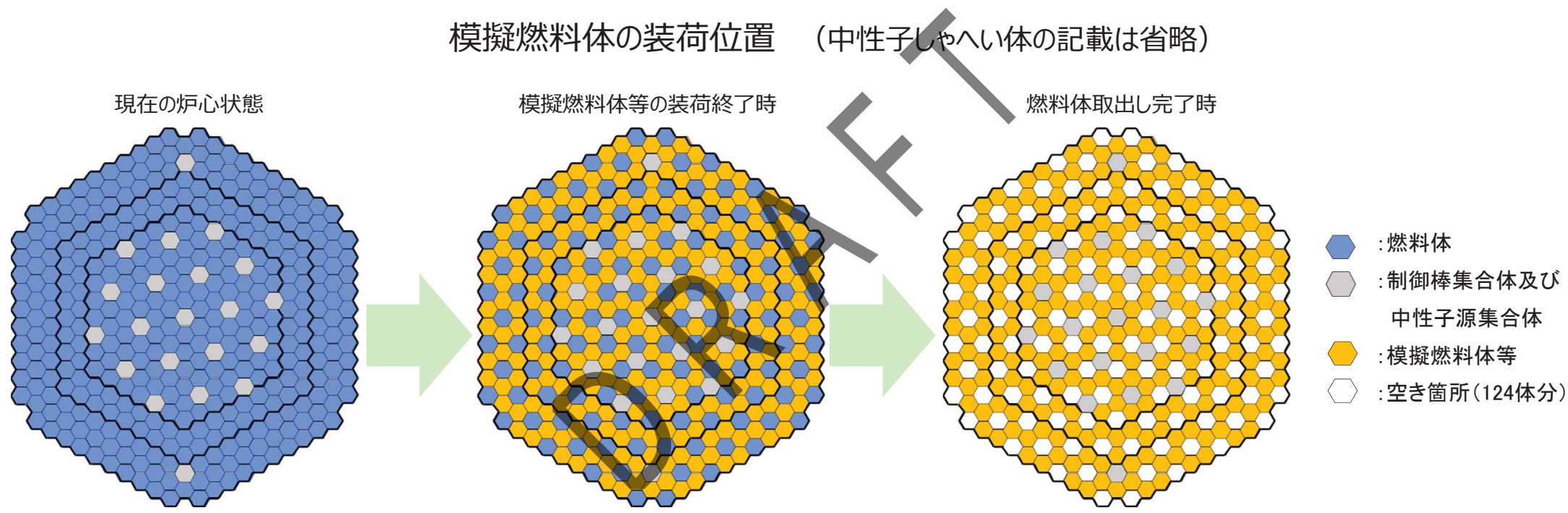
案

2020年 月 日

日本原子力研究開発機構 (JAEA)

1. 部分装荷とは

炉心から燃料体を取り出した後に装荷する模擬燃料体を全数装荷せず、部分的な装荷状態とし、模擬燃料体取扱中の不具合発生の可能性を低減（模擬燃料体取扱プロセスを簡略化による）。これにより燃料取出作業を円滑に進める。最終段階の燃料体取出時に部分装荷方式を採用予定



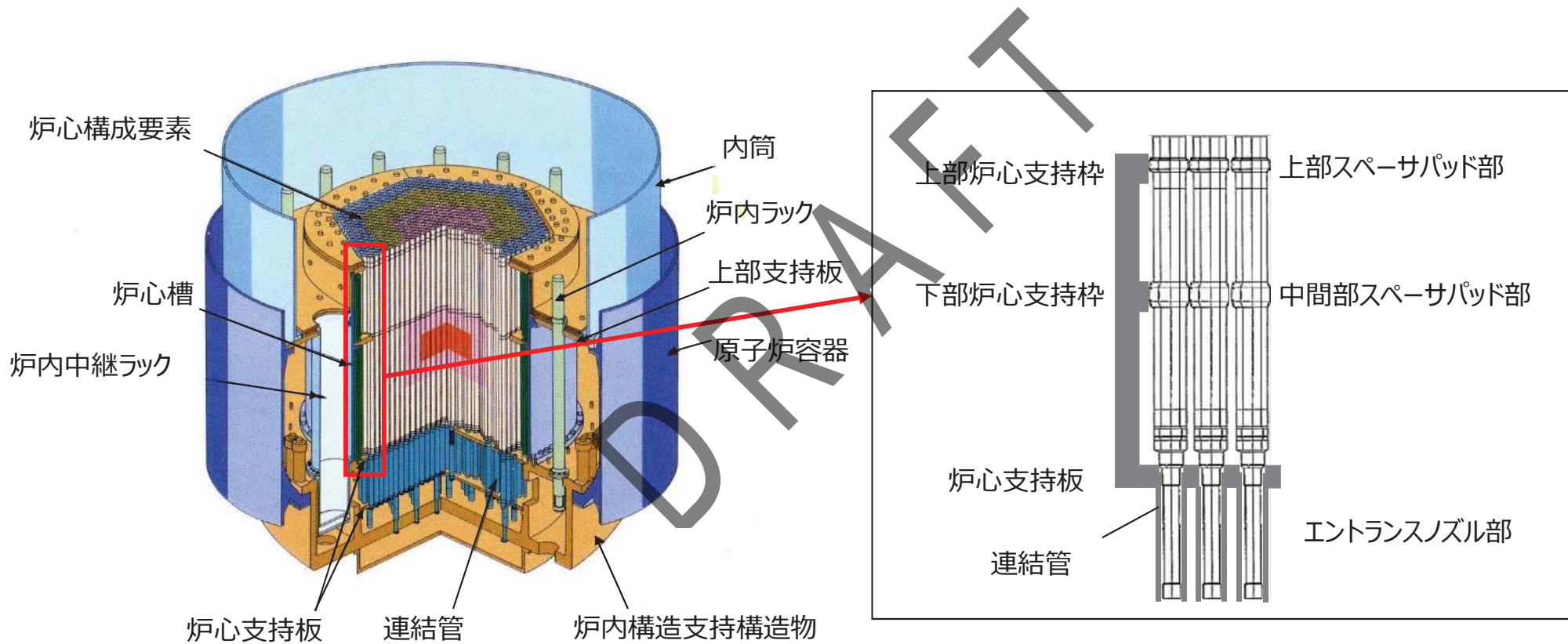
燃料体と模擬燃料体等が格子状になるよう、燃料体を取り出した位置に模擬燃料体等を装荷

模擬燃料体等の装荷終了（246体）以降は、燃料体の取出しのみを実施し、模擬燃料体等（124体）を装荷しない

年度	2019年	2020年	2021年	2022年
炉心からの燃料体の取出し	2019.10 100 2019.12	2021.1 130	2021.3 2022.4 140	2022.6

炉心構造の特徴

燃料体は炉心支持板の連結管に差し込まれて自立。燃料体の傾きは、嵌合部の隙間によって制限



①もんじゅの炉心の特徴

燃料体は炉心支持板の連結管に差し込まれて自立。燃料体の傾きは、嵌合部の隙間によって制限。周囲の燃料体が減っても燃料体頂部の最大変位量は変わらず、燃料交換装置グリッパとの芯ずれは設計範囲内で燃料体の取扱いが可能

②模擬燃料体の部分装荷による影響を、様々な視点(事故評価への影響、燃料取扱設備への影響、冷却材流量変化の影響等)から定性的あるいは半定量的に評価。施設の安全性は確保され、燃料取出し機能に支障を与えない

③地震時の燃料体の挙動(地震時の振動、燃料体同士の衝突、跳び上がり)は、高速炉用に開発された3次元炉心群振動解析コードで定量的に評価

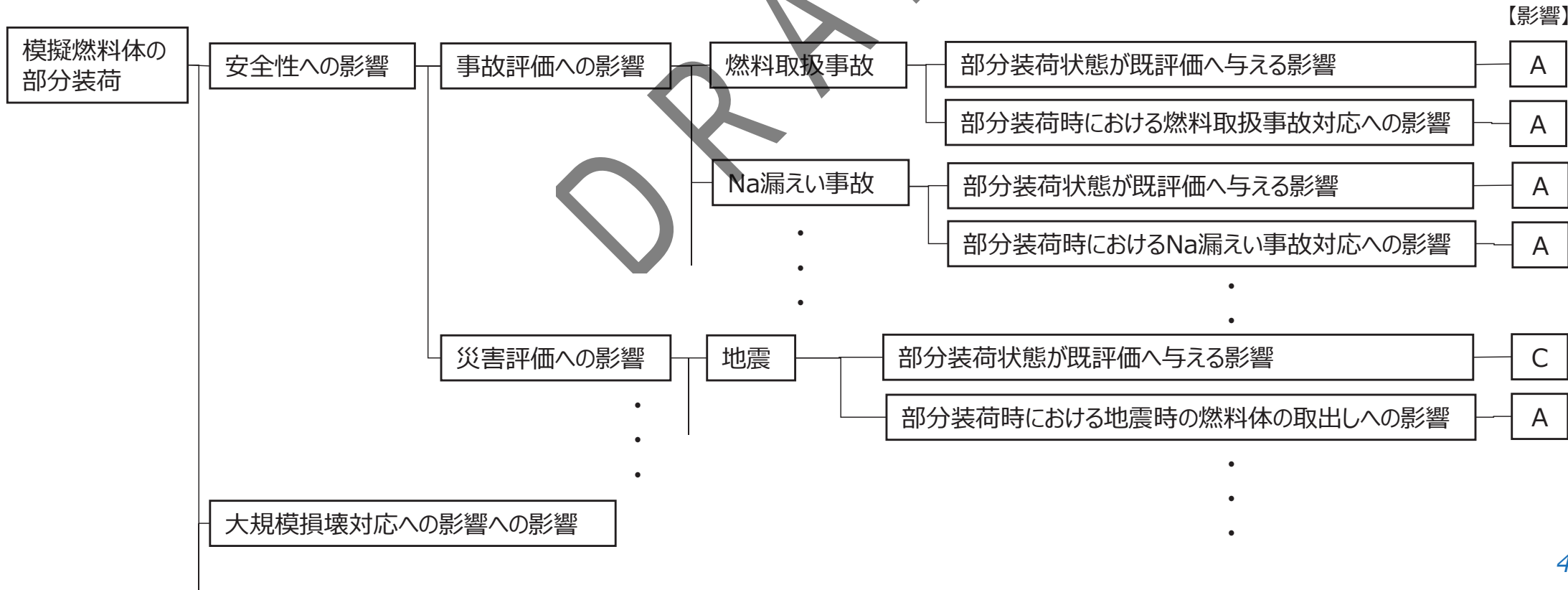
4.部分装荷における影響評価の要点 (2/4)

部分装荷における影響の確認

○部分装荷における影響を網羅的に洗い出すため、原子炉施設の安全確保の大前提である「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」を念頭に以下の視点から影響因子を洗い出し、体系的に整理 (詳細は【参考4】参照)

- (1) 安全性への影響 (事故・災害、大規模損壊への対応)
- (2) 燃料取出し機能への影響
- (3) 冷却機能への影響
- (4) ナトリウム取扱い機能への影響
- (5) 放射線防護機能への影響
- (6) 廃棄物の処理処分への影響

【凡例】
 A:原子炉施設の安全性の観点から影響ない
 B:燃料体の取出しの観点から影響ない
 C:原子炉施設の安全性の観点で確認が必要
 D:燃料体の取出しの観点で確認が必要
 E:廃棄物が低減される

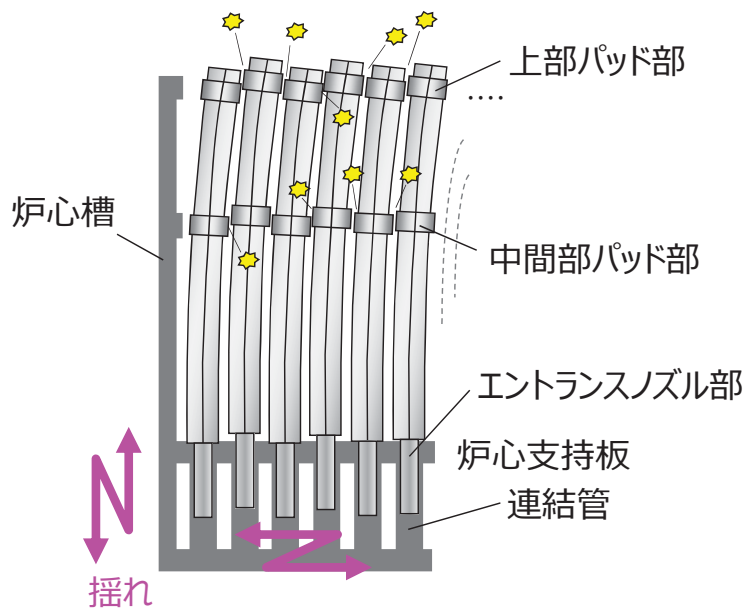


確認結果

(1) 安全性への影響 (事故・災害、大規模損壊への対応)

- ⇒①既認可の評価 (廃止措置計画 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) に包含
- ②燃料体の取出しへの影響の観点において、地震時の燃料体の挙動を解析した結果、燃料体に発生する荷重/応力も小さく、燃料体は健全性を維持。跳び上がり量も小さく、他設備とも干渉しない
- ③また、炉心支持板への燃料体着床時の衝突荷重を想定しても、ラッパ管及び燃料被覆管は座屈することなく健全

地震時の燃料体挙動の解析結果※3



地震時の炉心の挙動 (模式図)

評価項目	発生値※1	評価基準値
上部パッド衝突荷重[kN]	112.8	564
	114.6	
中間パッド衝突荷重[kN]	5.3	28
	5.5	
エントランスノズル付け根部曲げ 応力[MPa]	141.1	440
	173.2	
跳び上がり量 [mm]	<20	40※2
	< 2	

※1: 初回の廃止措置計画書で用いた2種類の地震動で解析した結果 (上段: 耐震BCで用いた基準地震動、下段: 近隣の軽水炉の基準地震動を参考に策定した地震動) を記載

※2: 燃料体頂部から燃料交換装置のグリッパ案内筒下端面までの距離(干渉回避)

※3: 解析結果の妥当性については【参考】解析手法の妥当性確認参照。

6.部分装荷における影響評価の要点 (4/4)

(2) 燃料取出し機能への影響

- ⇒①燃料体頂部の変位量は設計範囲内。燃料体の跳び上がり量は20mm程度であり、燃料交換装置の燃料取出し機能に影響しない
- ②全装荷状態においても、燃料体を引き上げれば、その部分の流量は増加。未装荷部の流量増加が燃料交換装置へ与える影響は全装荷時と変わらない
- ③炉心部の圧力損失が減り、主冷却系の循環流量は増加。ポンプモータは定回転数運転のため、モータ負荷はほとんど増加せず、ポンプモータ運転は可能
- ④部分装荷時における燃料体の傾きによる頂部変位は、最大11.2mm。設計許容値の20mm以内。

(3) 冷却機能への影響

- ⇒冷却機能喪失時の燃料被ふく管肉厚中心最高温度は約218℃であり、温度上昇は僅か
(右下図参照。)

(4) ナトリウム取扱い機能への影響

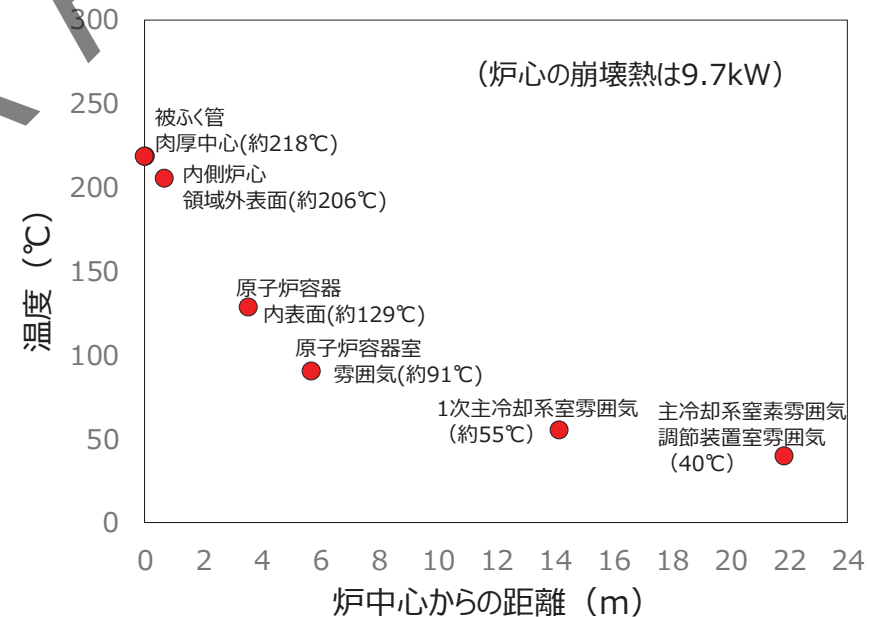
- ⇒各設備に変更なく、機能を維持

(5) 放射線防護機能への影響

- ⇒各設備に変更なく、機能を維持

(6) 廃棄物の処理処分への影響

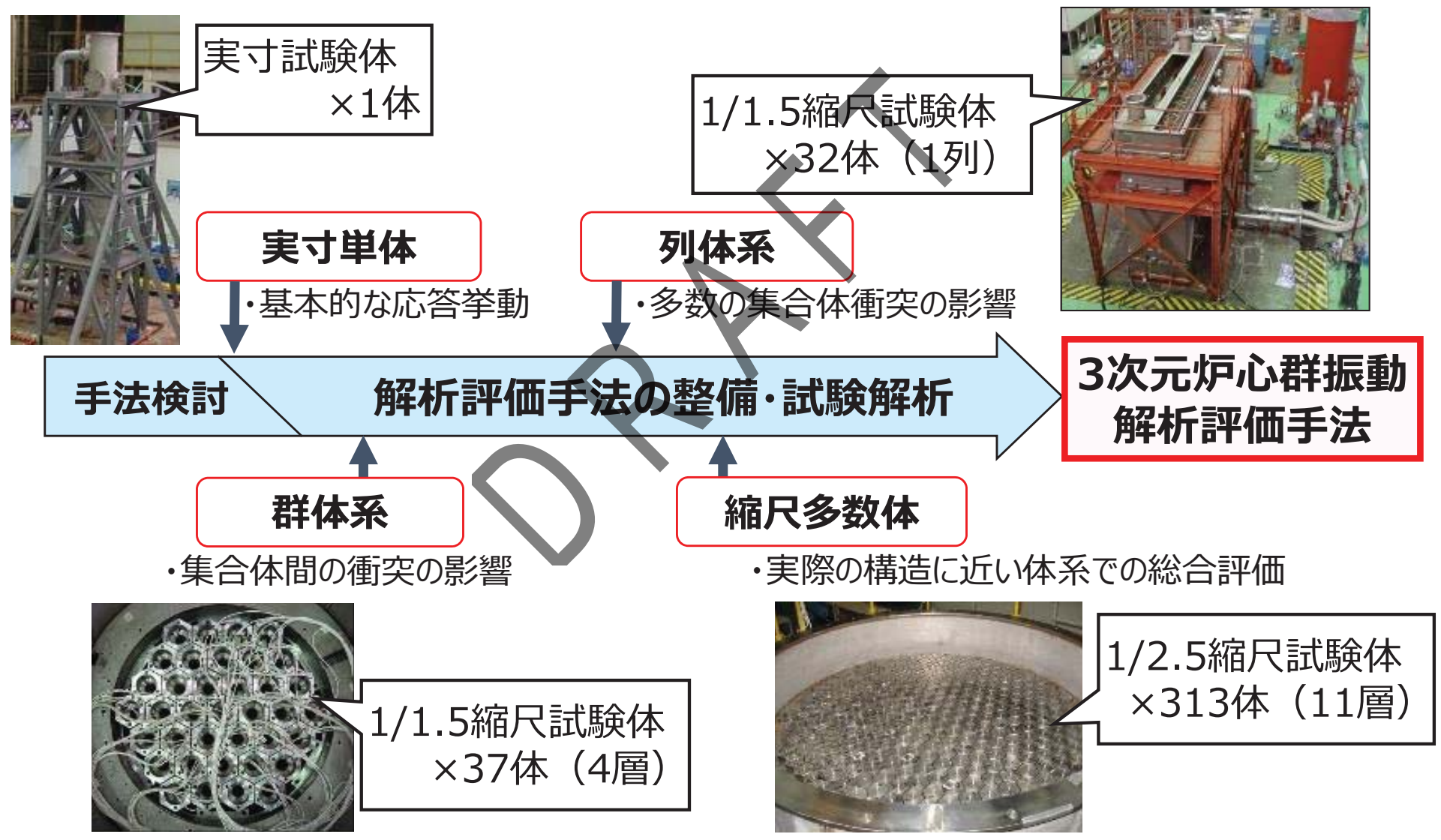
- ⇒模擬燃料体の洗浄廃液が減少。
廃棄物が低減される。



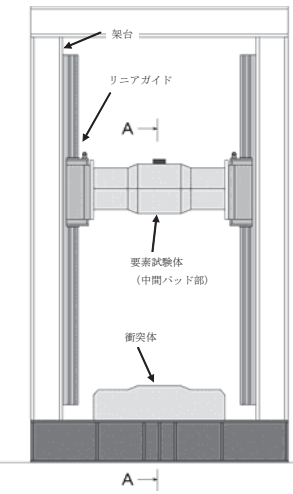
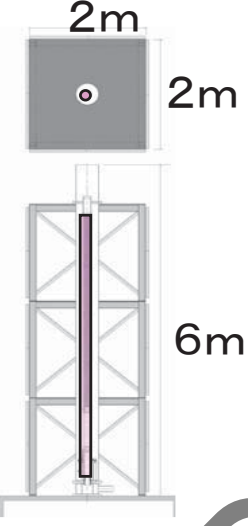
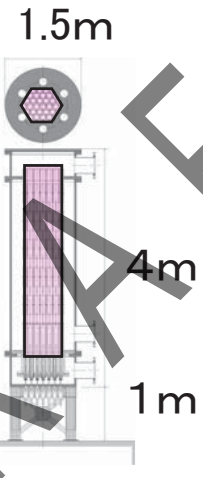
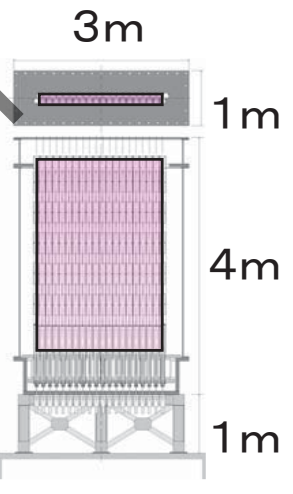
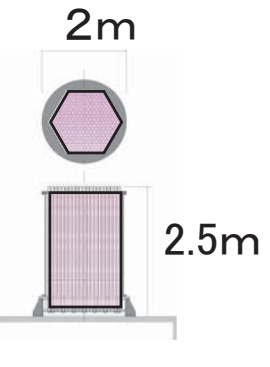
冷却機能喪失時の燃料体の温度評価

7. 解析評価手法の妥当性確認 (1/4)

単純な実験体系から、実際に近い体系へと、試験規模を拡大し、段階的に解析コードの妥当性を確認



試験の概要

要素試験 各試験体の 衝突部位モデル	実寸単体試験 縮尺 1/1 1 体	群体系試験 縮尺 1/1.5 最大 37 体	列体系試験 縮尺 1/1.5 最大 32 体	多数体系試験 縮尺 1/2.5 最大 313 体
				
<p>各縮尺試験体について、以下の衝突部位のパラメータ</p> <ul style="list-style-type: none"> • 上部パッド (ハンドリングヘッド) • 中間パッド • エントランスノズル 	<ul style="list-style-type: none"> • 気中、水中、流水中 • 試験容器と衝突⇒炉心構成要素同士の衝突データを取得できるように群体系試験が必要 	<ul style="list-style-type: none"> • 気中、水中、流水中 • 炉心構成要素の変位が拘束されるため列体系試験が必要 • さらに縮尺比を大きくした(試験装置の模擬性を犠牲にした)多数体試験で構成用の変位挙動を確認する 	<ul style="list-style-type: none"> • 気中、水中、流水中 • 実機状況に近い変位を実現できるので、主に衝突に係るデータを取得 • 要素間のギャップの影響データを取得 • 炉心構成要素の周辺の流体の状況が異なるため、特別な解析モデルとする 	<ul style="list-style-type: none"> • 気中、水中 • 水平変位、跳び上がり量を計測 • 衝突部の隙間1mm以下を忠実に縮小することは困難。また、衝突力は計測しない⇒上部パッドのみ設ける • 流量配分機構を設けない(流水中のデータは取得しない)

耐震バックチェックで実施したもんじゅの燃料体単体加振試験結果を用いて、燃料体の最大跳び上がり量を推定

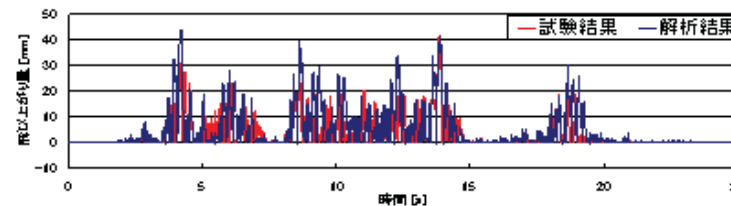
- ①耐震バックチェックにおける燃料体の跳び上がり量
41mm (最大加速度 35m/s^2)
($S_s\text{-D}$ の最大加速度 31m/s^2)
- ②廃止措置段階においては炉心流量が約1/10に低下
⇒燃料体に作用する上向きの流体力が低下し、見かけの重力加速度が0.5Gから0.9Gに増加
跳び上がり量は概ね半減
- ③上記①、②を踏まえると、燃料体の最大跳び上がり量は20mm程度。
- ④解析による燃料体の最大跳び上がり量は17mm。加振条件等の違いを考慮すれば、妥当な値。

4(4). ⑥ 炉心構成要素飛び上り解析コードの検証

集合体の単体加振試験結果を用い解析コードを検証
解析は水の物性値を使用

検証結果

	最大値	二乗和平方根
試験結果	41.0 mm	5.9 mm
解析結果	43.9 mm	8.6 mm



試験装置全景

炉心構成要素飛び上り解析結果は、単体加振試験結果と精度良く一致しており、解析コードは妥当である

出典：耐震バックチェック説明資料（原安委WG2第47-8号）

- 試験結果と解析結果を比較すると、解析コードは群振動挙動の特徴である
 - ①水平加振による跳び上がり量の低減効果
 - ②流体による衝突荷重の低減効果、流動による跳び上がり量の増加効果
 - ③最外周付近で水平方向の衝突荷重が増大する列配置の効果
 - ④多数体系における共振振動数の低減効果、流路網の流体による振動低減効果を定性的によく模擬できており、定量的にも現象を概ね再現できている

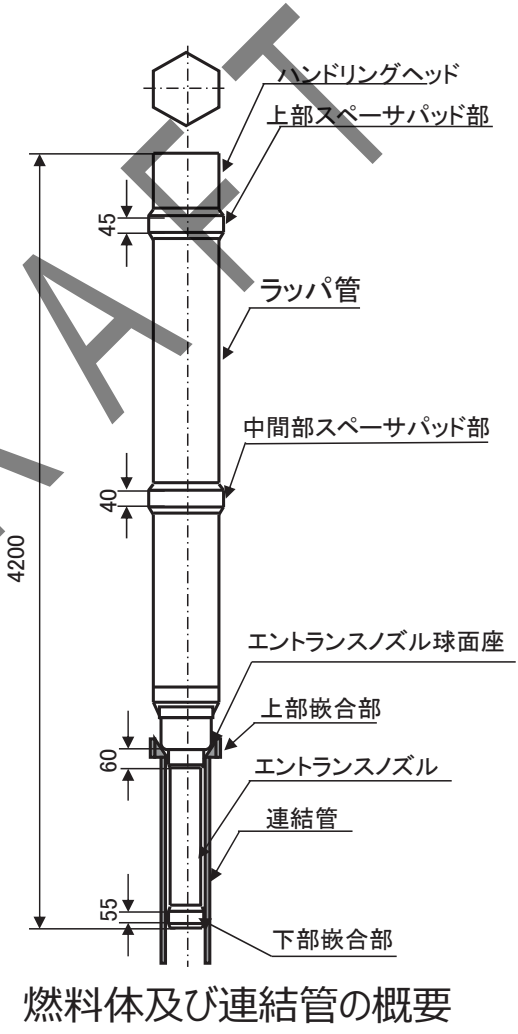
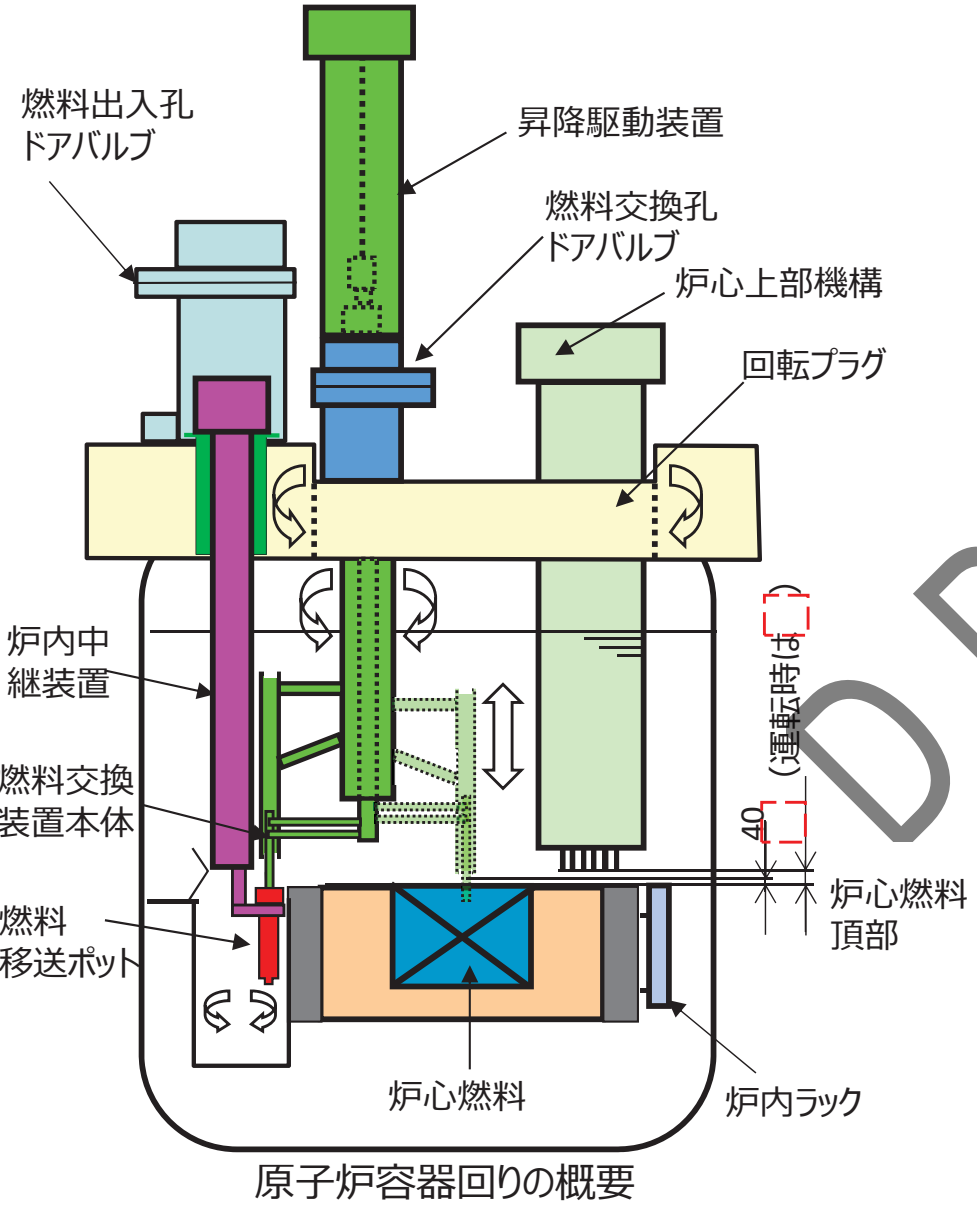
- 解析コードの課題
評価項目（跳び上がり量、衝突荷重など）に応じて適切な保守性を確保できるパラメータもしくは係数の設定方法について、感度解析等による検討が必要

「主な影響因子」

- Z軸回りの回転の影響
- 実機雰囲気条件の相違（水/Na、熱膨張）の影響
- 材料物性値に対するパラメーターの影響
- 加振波による影響

等

11. 想定を超えて跳び上がり量が増加した場合の影響

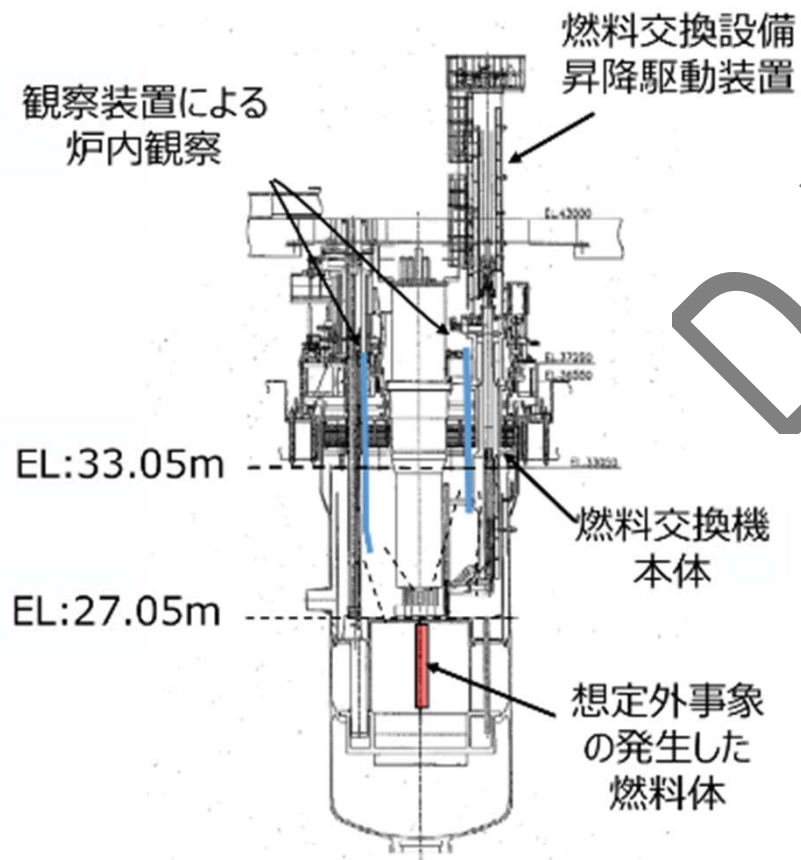


跳び上がり量	影響
40mm 超	燃料体の取出し中：ホールダウンアームのグリッパ案内筒下端面に燃料体頂部が衝突
45mm 超	燃料体の上部パッド部同士の外れが発生
[]mm 超	燃料体の取出し期間外：燃料体頂部が、炉心上部機構下端面に衝突
[]mm 超	燃料体エントランスノズルと連結管の嵌合部の外れが発生
[]mm 超	燃料体の取出し時：燃料体頂部が、炉心上部機構下端面に衝突

12.燃料体取出しができない事態への対応

- ① 3次元群振動解析コードREVIAN-3Dによる地震時の燃料体の挙動解析は、概ね現象を把握できるが、解析結果には不確かさを有す
- ② この不確かさを考慮し、万一燃料体の取出しができない事態も想定し、その対応方策を検討
- ③ 燃料交換装置動作不能時の補修・復旧方法、もんじゅ、常陽におけるNa中からの機器回収知見(IVTM(炉内中継装置)、MARICO-2(材料試験片を照射する実験装置))等を活用すれば、燃料体を回収することができるものと判断

炉内の観察



回収までの流れ

検査孔や予備孔を開放、観察装置を挿入

燃料体の発熱が小さいことから、炉容器内の液面を下げ、内部状況を観察把握

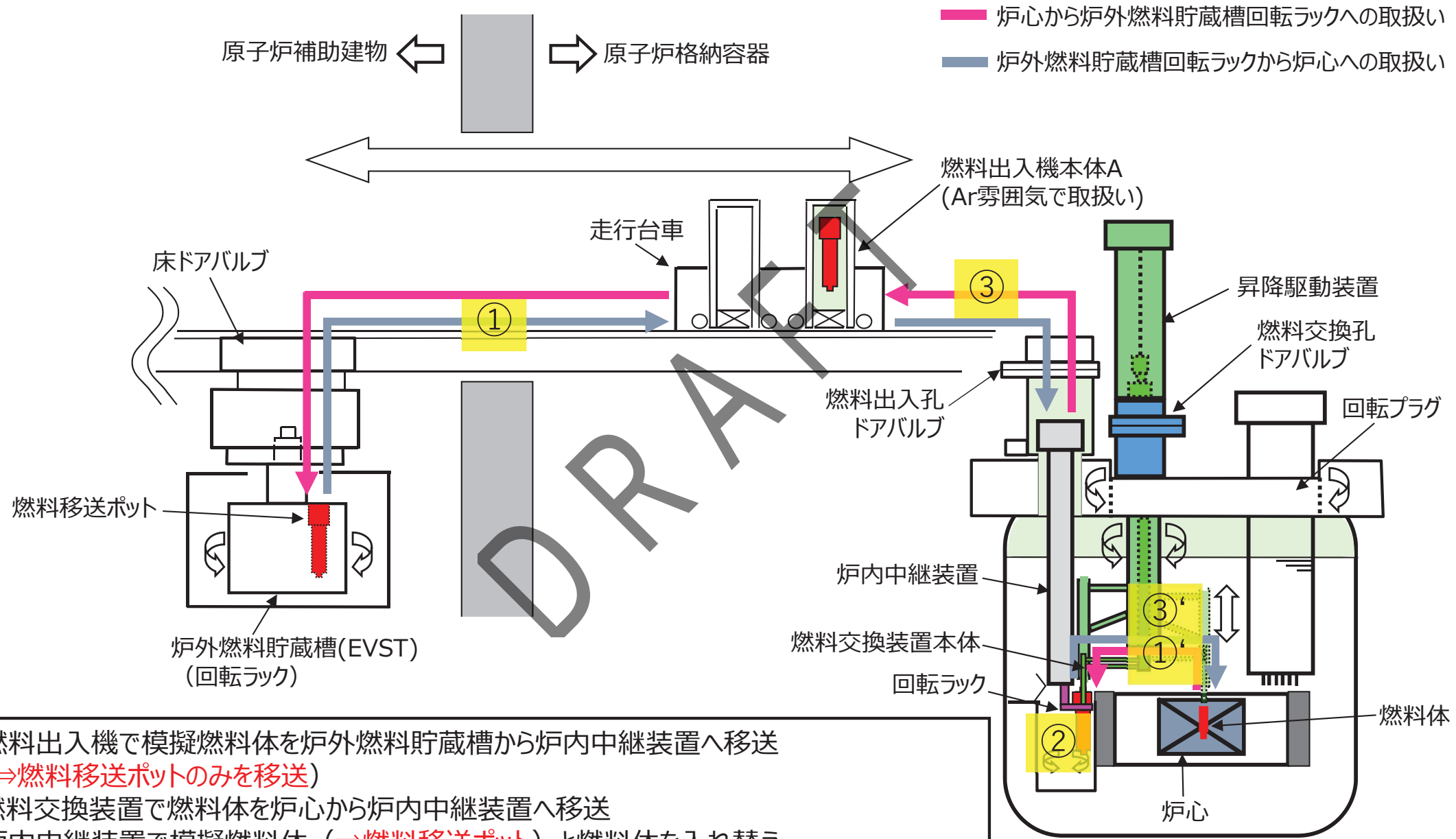
観察結果を元に、回収に最適な装置を設計・製作

モックアップ試験・訓練を経て、実機に適用し燃料体を回収

- ① 模擬燃料体の部分装荷による燃料取出し機能に与える影響を、様々な視点から評価し、施設の安全性、燃料取出し機能は確保されている
- ② 地震時の燃料体挙動は、解析にて概ね現象を把握でき、燃料体の健全性、燃料体の取出しに影響を与えない
- ③ 部分装荷状態となる期間は約1カ月と短い。万一想定を超え、燃料体取出しができない事態を想定しても、燃料体を回収することができるものと判断
- ④ 上記①～③より総合的な評価として、模擬燃料体の部分装荷とすることで、不具合発生可能性を低減し、燃料取出作業を円滑に進めることができる

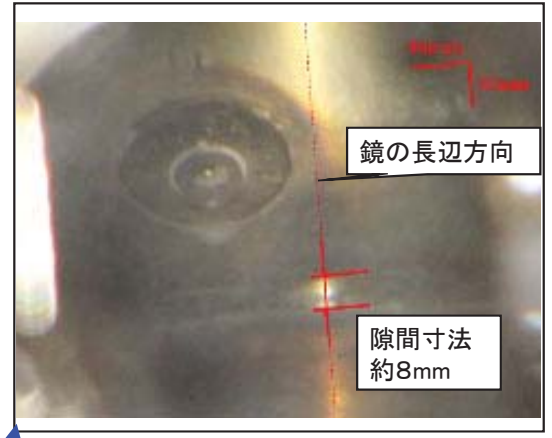
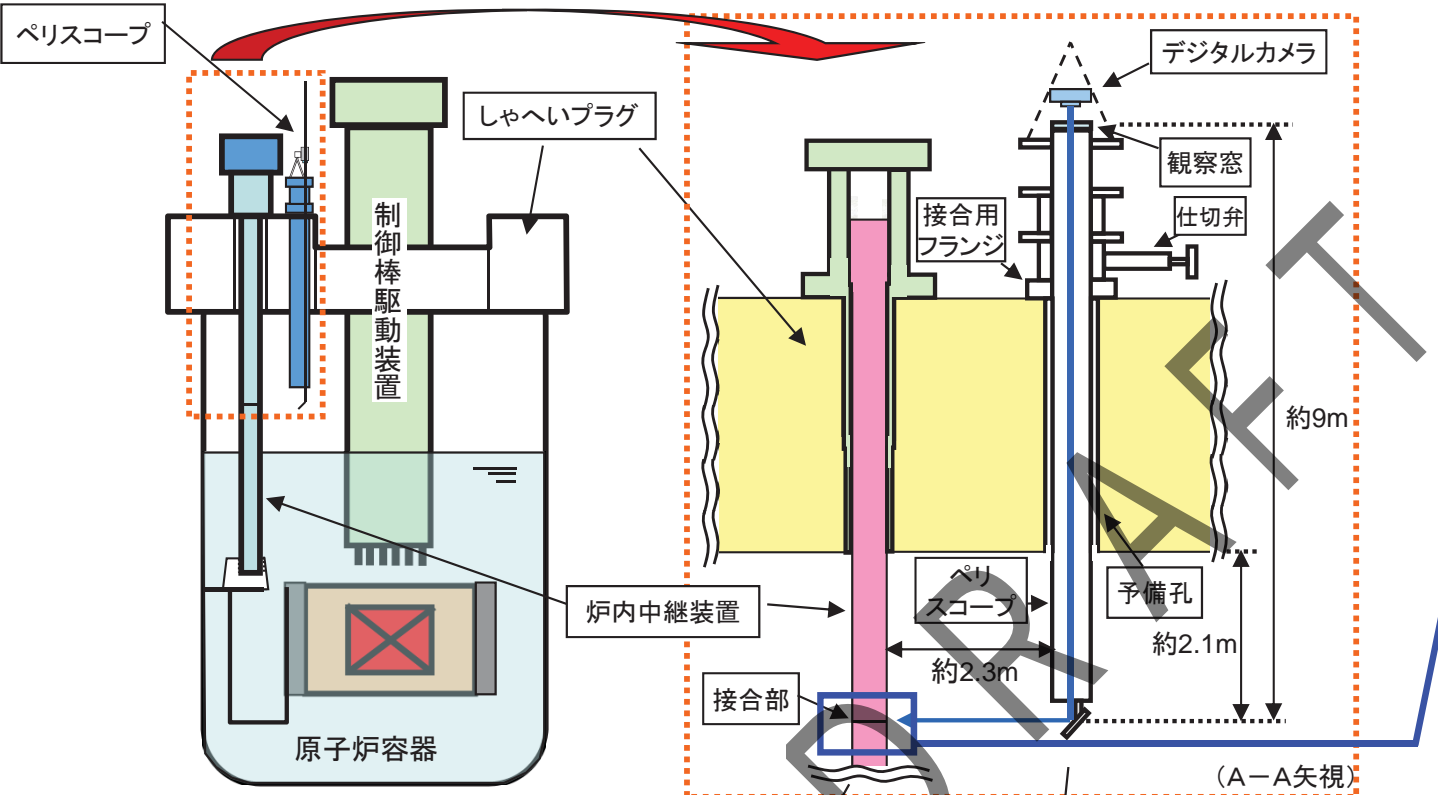
以下、参考資料

DRAFT



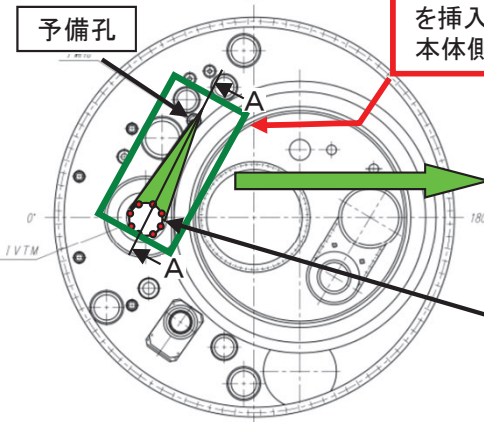
- ① 燃料出入機で模擬燃料体を炉外燃料貯蔵槽から炉内中継装置へ移送 (⇒燃料移送ポットのみを移送)
- ①' 燃料交換装置で燃料体を炉心から炉内中継装置へ移送
- ② 炉内中継装置で模擬燃料体 (⇒燃料移送ポット) と燃料体を入れ替え
- ③ 燃料出入機で燃料体を炉内中継装置から炉外燃料貯蔵槽へ移送
- ③' 燃料交換装置で模擬燃料体を炉内中継装置から炉心へ装荷 (⇒当該プロセスは不要)

炉内中継装置の案内管接続部の外面観察例



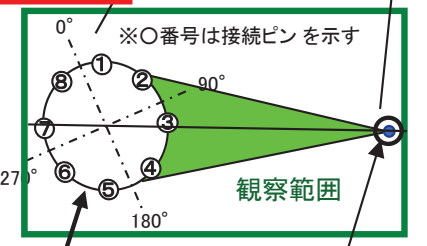
案内管接続部外側からの観察結果 (鏡を介し撮影)

(原子炉容器断面図)



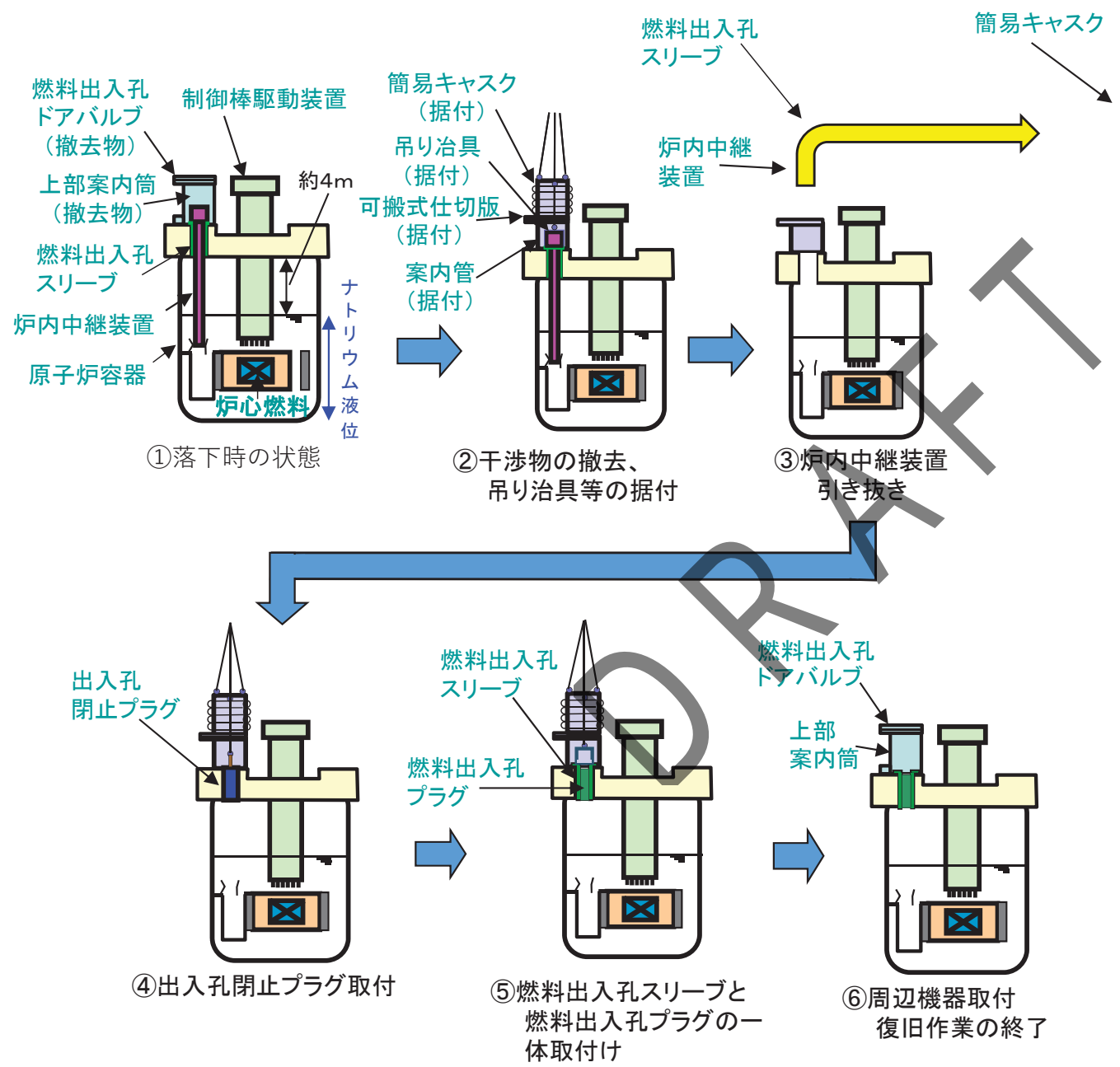
(炉上部平面図)

予備孔にペリスコープを挿入し、鏡部をIVTM本体側に向け観察



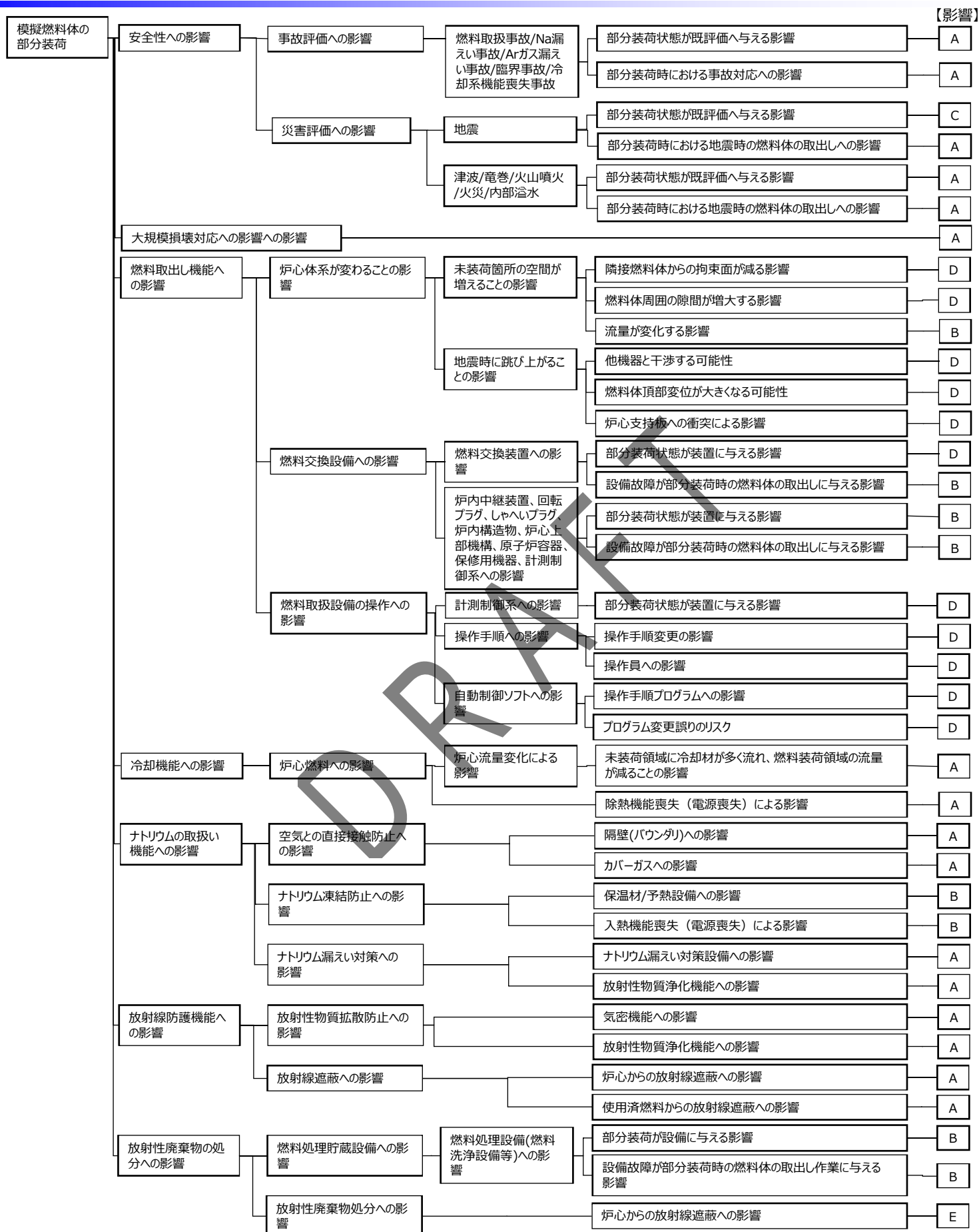
炉内中継装置 予備孔ペリスコープ

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



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

【参考4】 部分装荷による影響評価一覧



【凡例】
 A:原子炉施設の安全性の観点から影響ない
 B:燃料体の取出しの観点から影響ない
 C:原子炉施設の安全性の観点で確認が必要
 D:燃料体の取出しの観点で確認が必要
 E:廃棄物が低減される