



ルースパーツの調査状況と影響評価 並びに今後の対応について

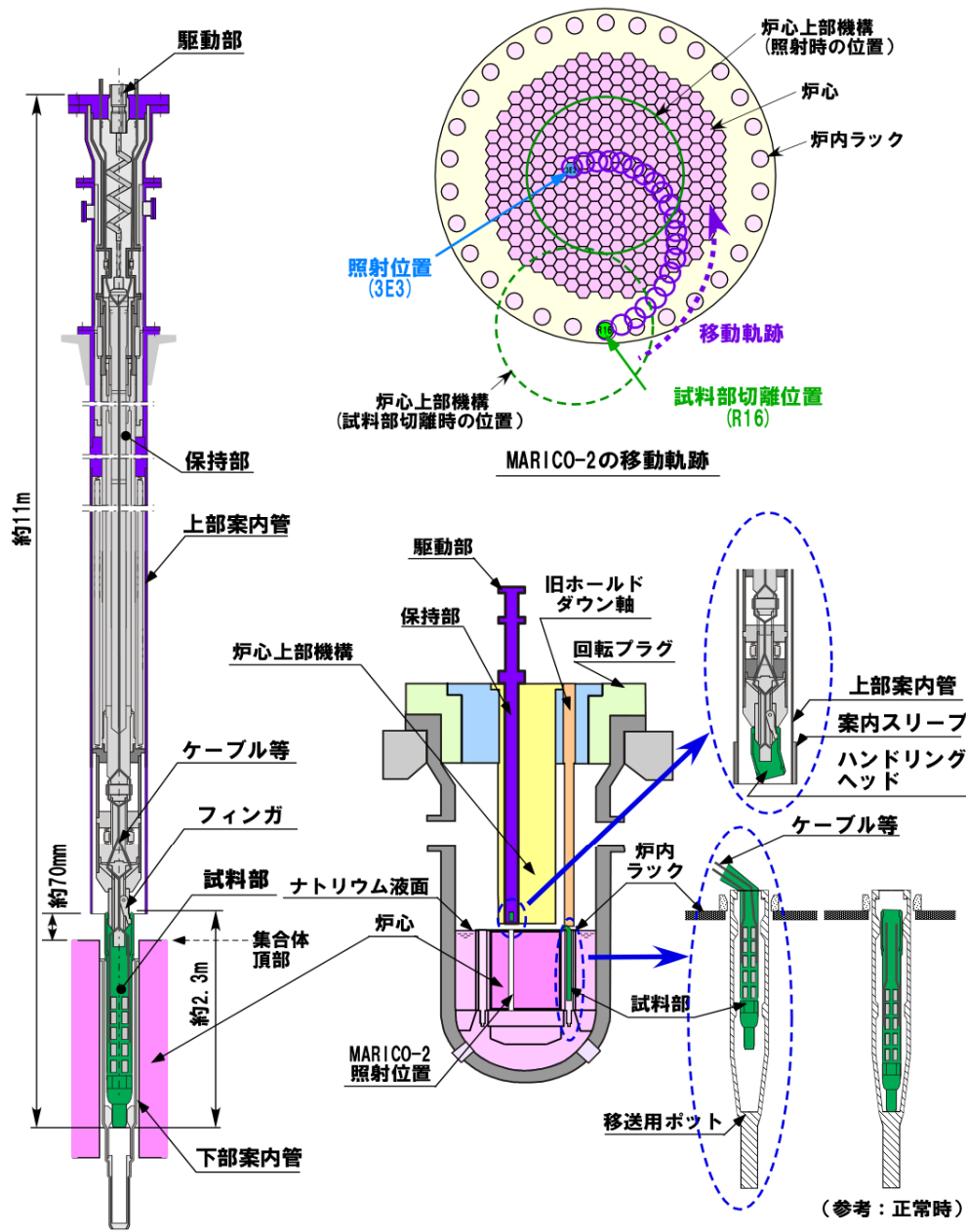
2023年10月23日
日本原子力研究開発機構
大洗研究所 高速実験炉部

ルースパーツに関するこれまでの経緯

期日	経緯
2007年5月14日	MK-III炉心第6' サイクルの運転終了
2007年5月28日	回転プラグを操作し、MARICO-2を炉内照射位置(3E3)から炉内ラック位置(R16)へ移動
2007年5月30日	R16でMARICO-2の試料部と保持部を切り離し
2007年6月1日	回転プラグを操作し、MARICO-2保持部をR16から3E3に移動 【本操作でMARICO-2 試料部を変形させた】
2007年6月11日	燃料交換機ホールドダウン軸に荷重異常が発生
2007年6月19日	燃料交換機ホールドダウン軸の下面に圧痕を確認 【原子炉容器内の調査が必要と判断】
2007年9月11日	崩壊熱減衰後にナトリウムをドレンし、ファイバースコープで観察した結果、画像が不明瞭であったが、R16上部に干渉物を確認
2007年10月10日～11日	新規に製作したファイバースコープで観察した結果、干渉物がMARICO-2試料部であること及び炉心上部機構の下端の中央付近に三角形の影を確認 【集合体頂部等の観察、炉心上部機構下面の観察が必要と判断】
2007年11月2日	回転プラグの燃料交換機能の一部阻害を確認 【MARICO-2試料部の撤去が必要と判断】
2007年11月～2008年3月	集合体頂部等の観察【ルースパーツがないことを確認】
2008年7月8日～29日	炉心上部機構下面の観察 【下部の整流板等の変形が確認されたことから、炉心上部機構の交換が必要と判断】
2008年8月～2009年7月	観察結果に基づく影響評価及び原因究明等
2009年～2104年	炉心上部機構の交換及びMARICO-2試料部の撤去方法の検討、機器製作等
2014年5月8日～22日	旧炉心上部機構の引抜
2014年9月16日～26日	MARICO-2試料部の撤去
2014年11月20日～21日	新炉心上部機構の装荷

(1) ルースパーツの調査状況

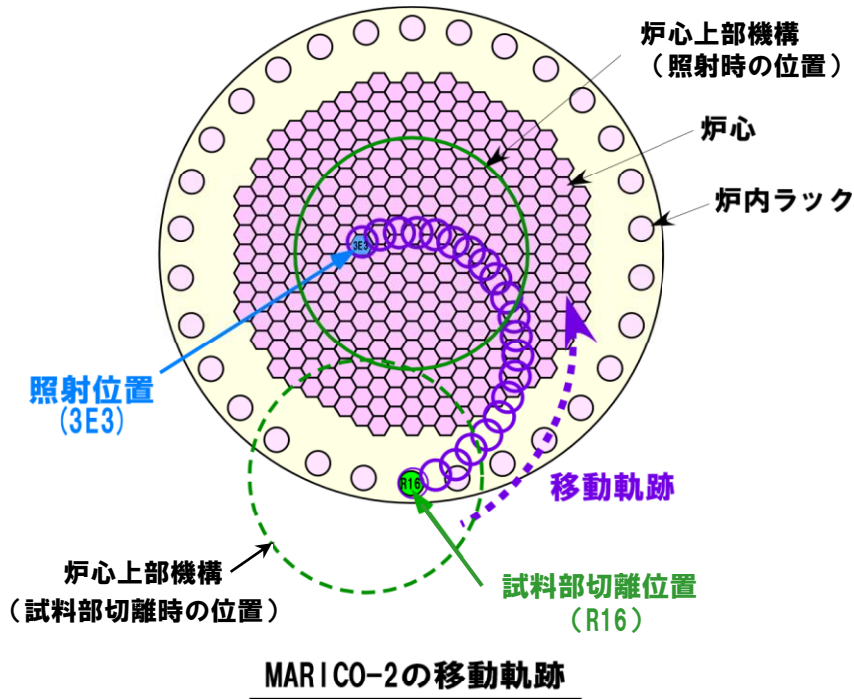
MARICO-2試料部の切り離し不能の概要



照射時の保持部と試料部の接続状態
(炉心アドレス [3E3] 位置)

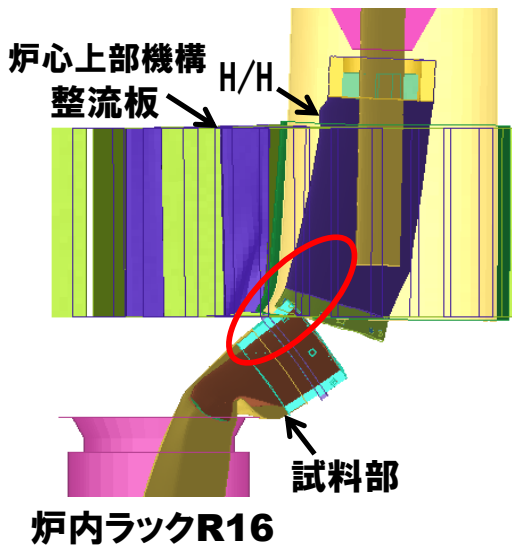
試料部切離後の状況
(炉内ラックR16位置)

MARICO-2試料部の切り離し不能により発生したルースパーツ



- MARICO-2試料部に6本の固定ピンで固定していたハンドリングヘッド (H/H) が分離 (H/Hは炉心上部機構内で保持機構に保持された状態)
- 炉内観察画像の解像度ではH/H側 (炉心上部機構側)、に固定ピンは確認できず、固定ピンの脱落*を想定

※ MARICO-2試料部切離作業位置 (炉内ラックR16上部) から、固定ピン落下位置は炉内ラックR16上部近傍もしくは炉心外周槽と推定

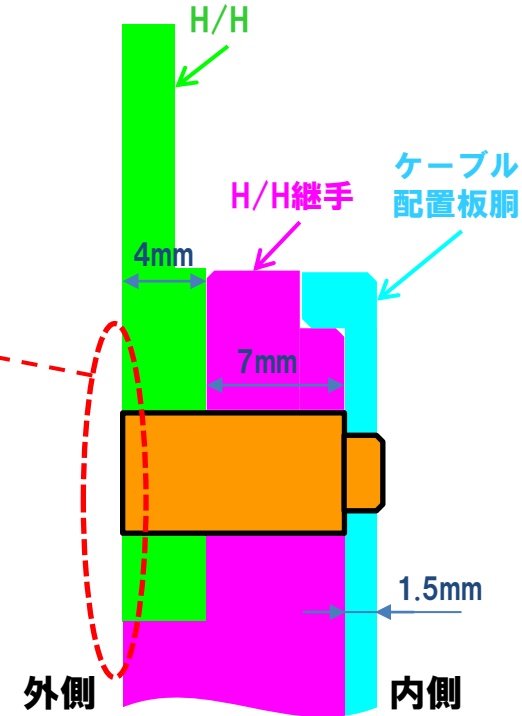


※ 溶接施工試験の写真



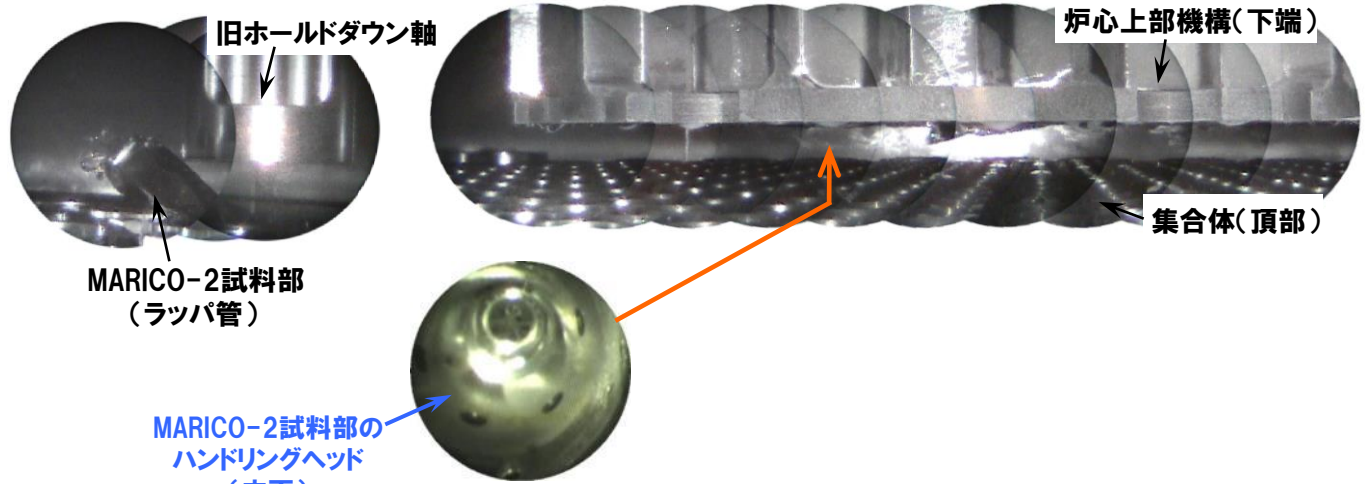
H/H 固定ピン

直径: 6 mm
長さ: 13 mm
個数: 6 本
重量: 2.7g/本

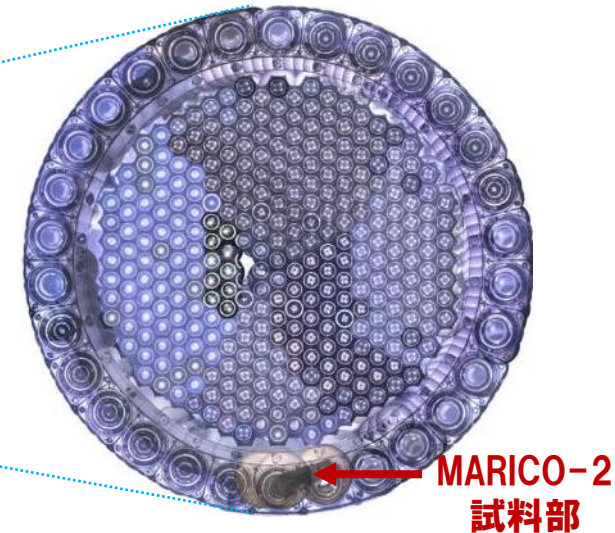
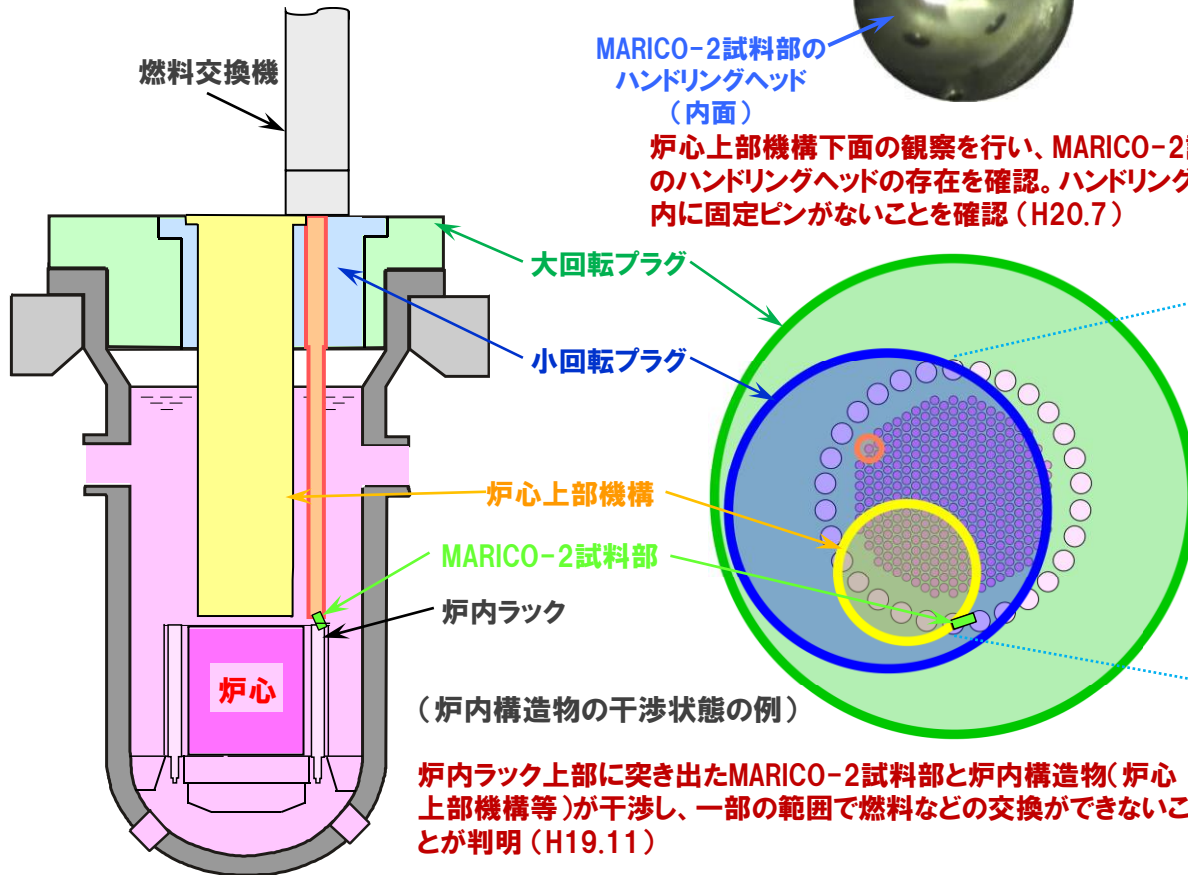


MARICO-2試料部のルースパーツの探索結果

干渉物がMARICO-2試料部であることを確認 (H19.10)



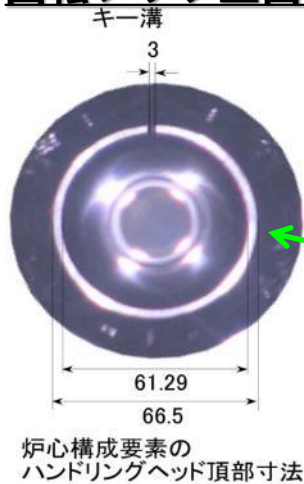
炉心上部機構下面の観察を行い、MARICO-2試料部のハンドリングヘッドの存在を確認。ハンドリングヘッド内に固定ピンがないことを確認 (H20.7)



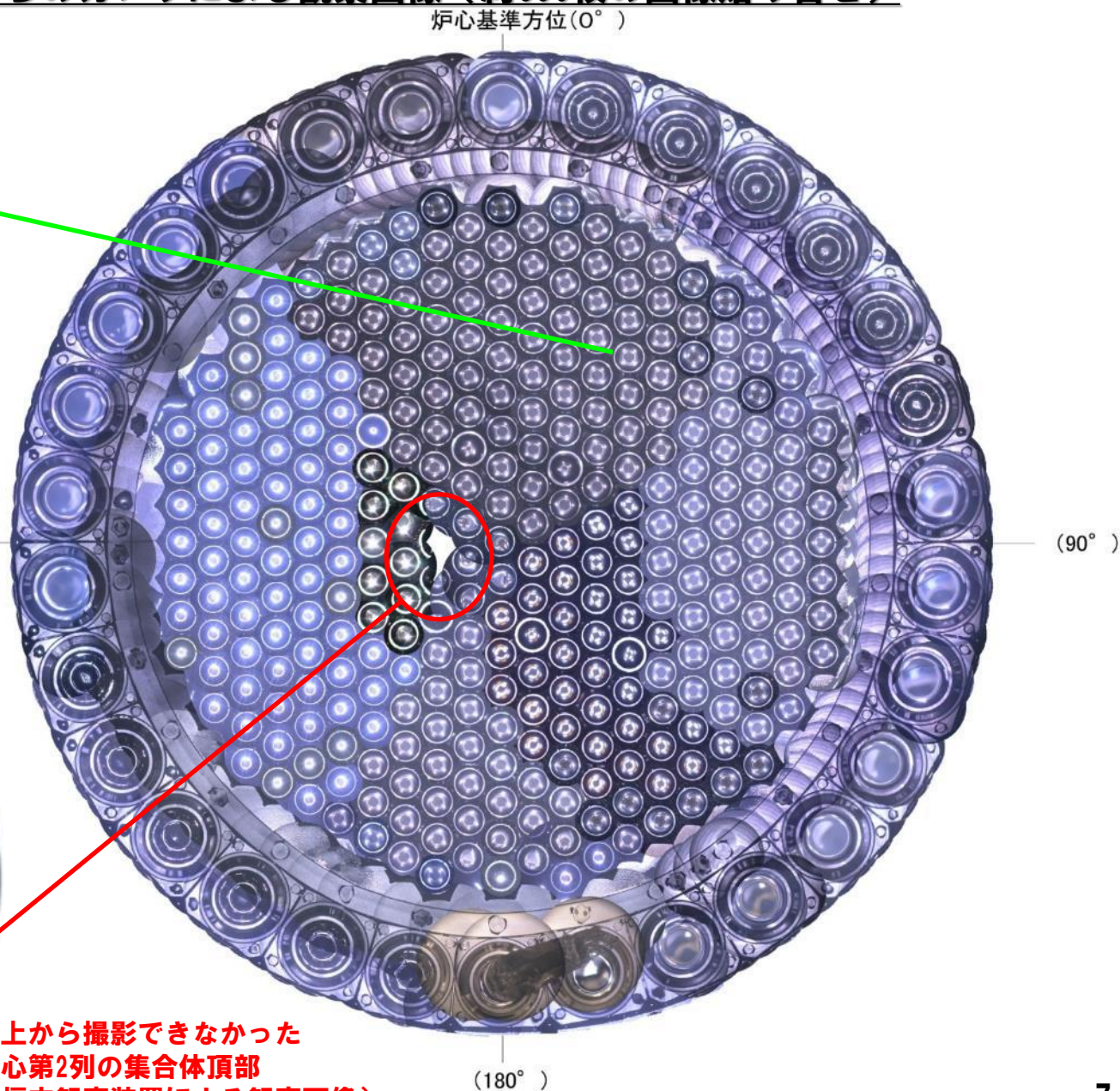
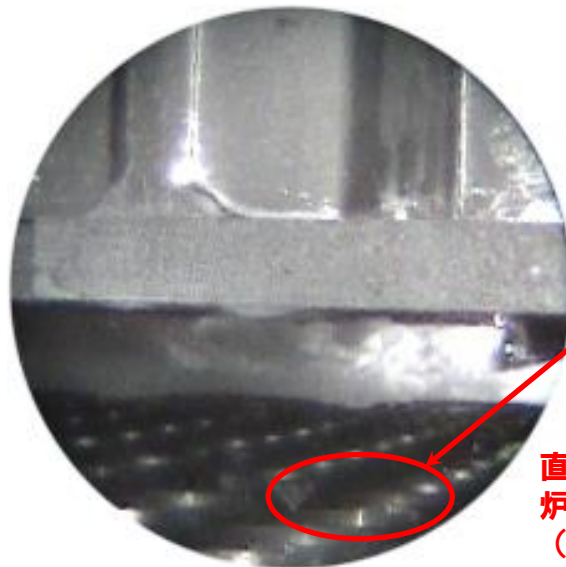
集合体及び炉内ラック等の頂部を観察し、ルースパーツ、傷等がないことを確認 (~H20.3)

MARICO-2試料部のルースパーツの探索結果

回転プラグ上面からのカメラによる観察画像（約650枚の画像貼り合せ）

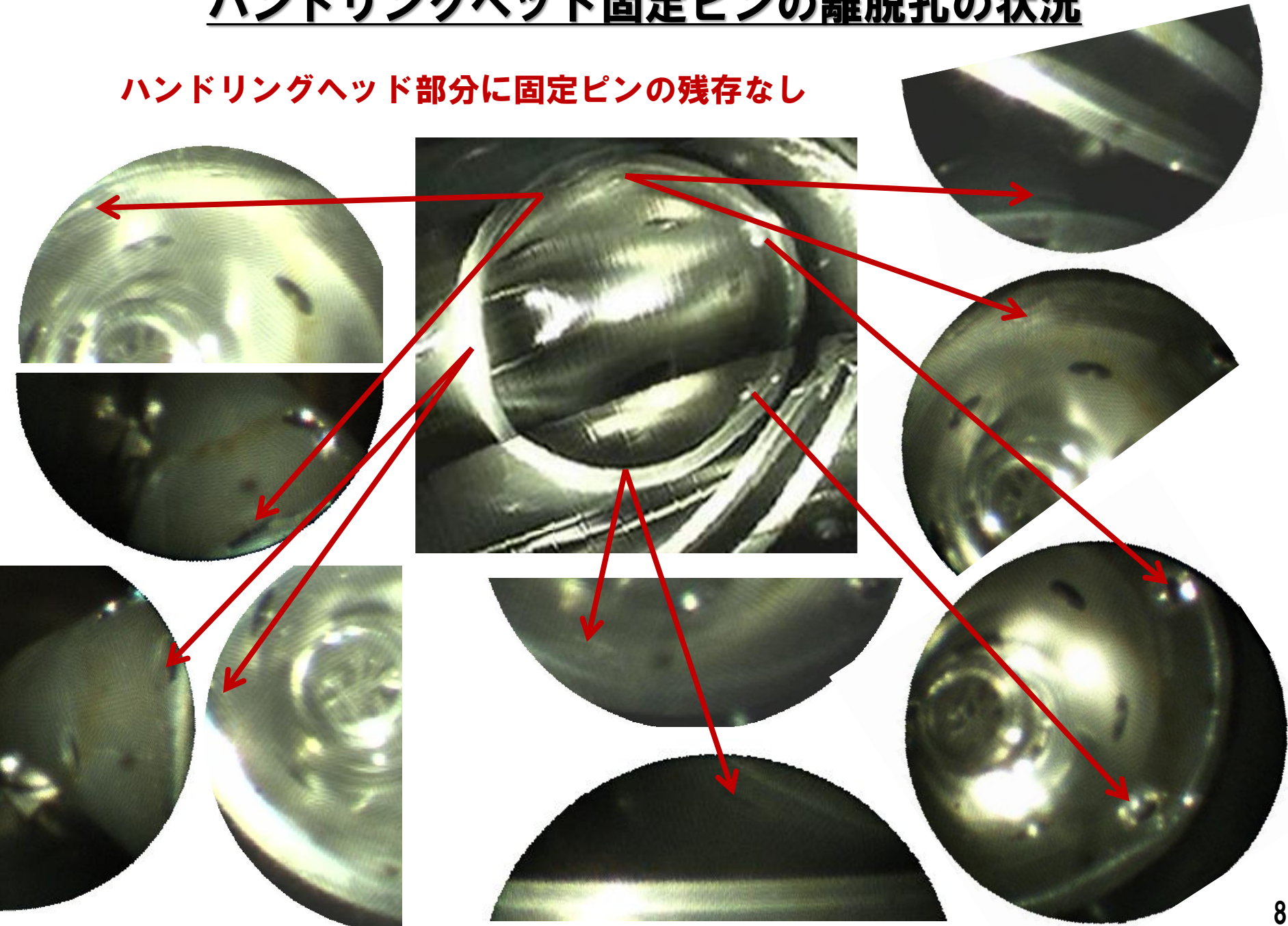


集合体頂部等に異物
がないことを確認

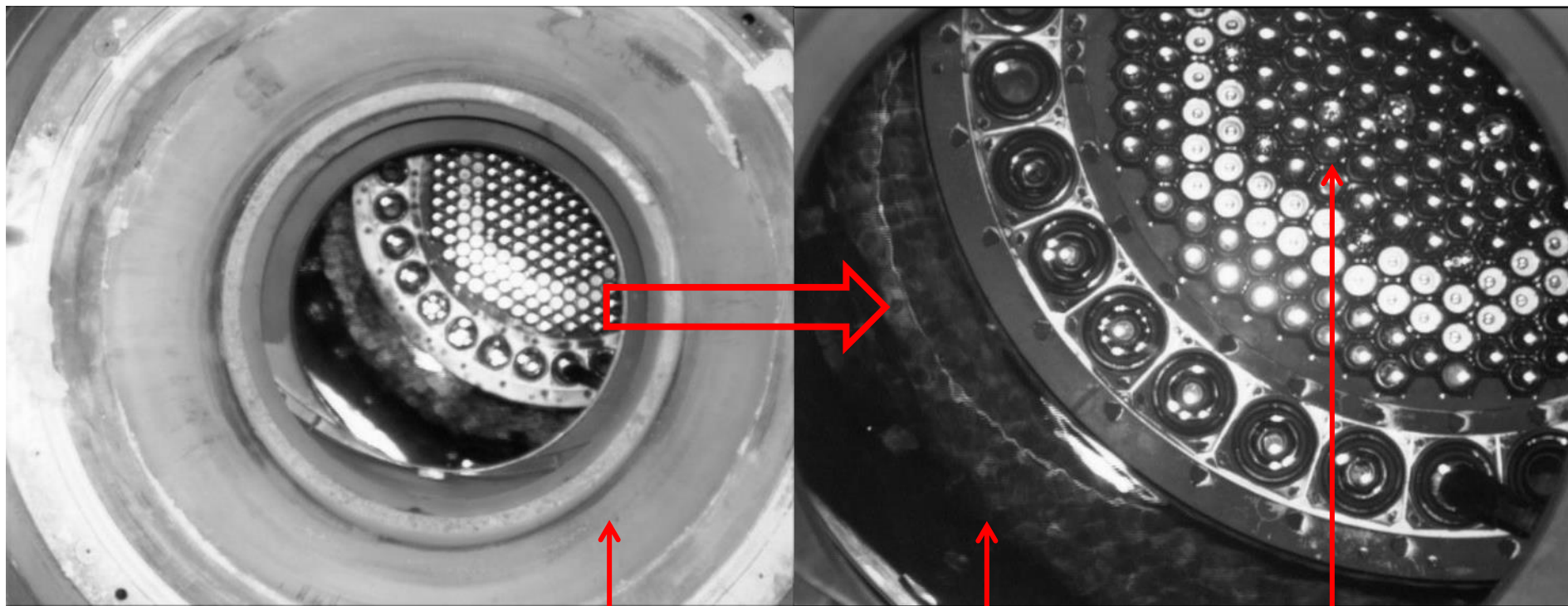


ハンドリングヘッド固定ピンの離脱孔の状況

ハンドリングヘッド部分に固定ピンの残存なし



炉心上部機構撤去孔からの集合体頂部の観察結果



案内スリーブ

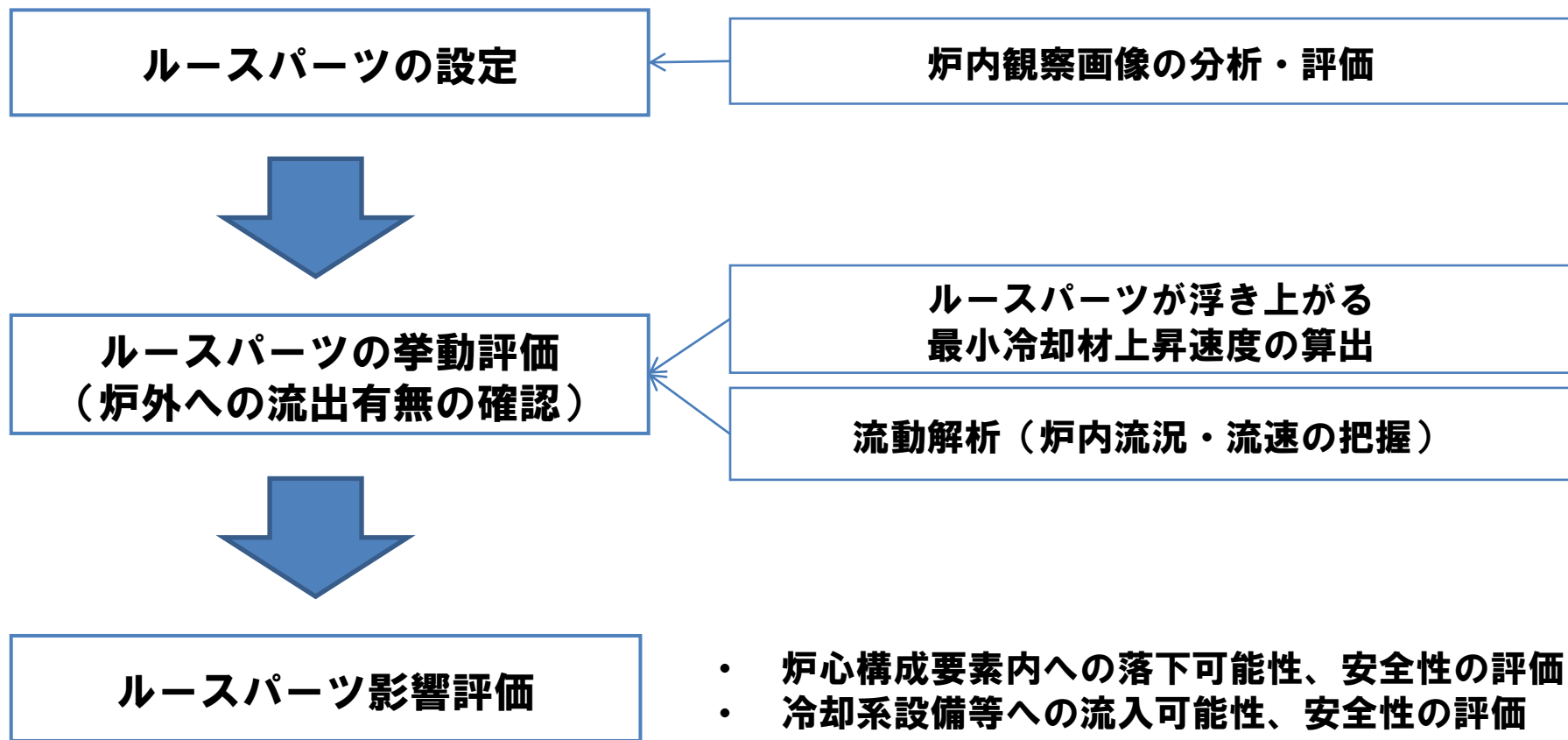
ナトリウム液面

集合体頂部

炉心上部機構引き抜き後も、集合体頂部への部品脱落などは認められない。

(2) ルースパーツの影響評価

ルースパーツの影響評価の流れ



- 炉心構成要素内への落下可能性、安全性の評価
- 冷却系設備等への流入可能性、安全性の評価

(2) ルースパーツの影響評価

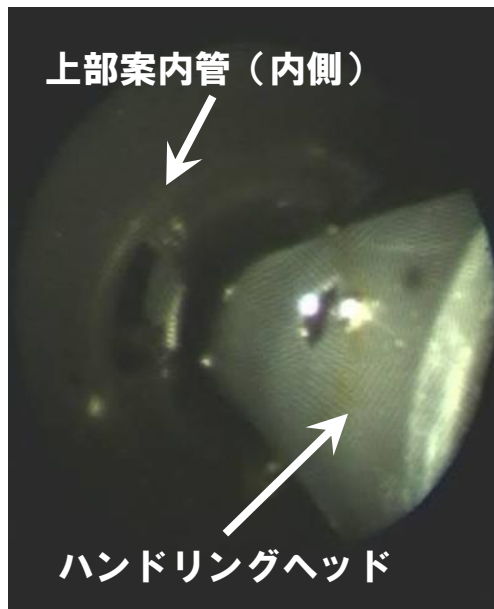
(2-1) ルースパーツの設定

炉内観察結果（MARICO-2上部案内管・ハンドリングヘッド）

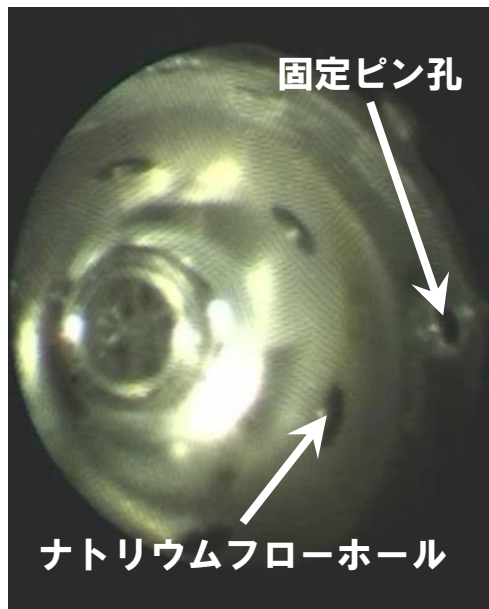
（組立時の写真）



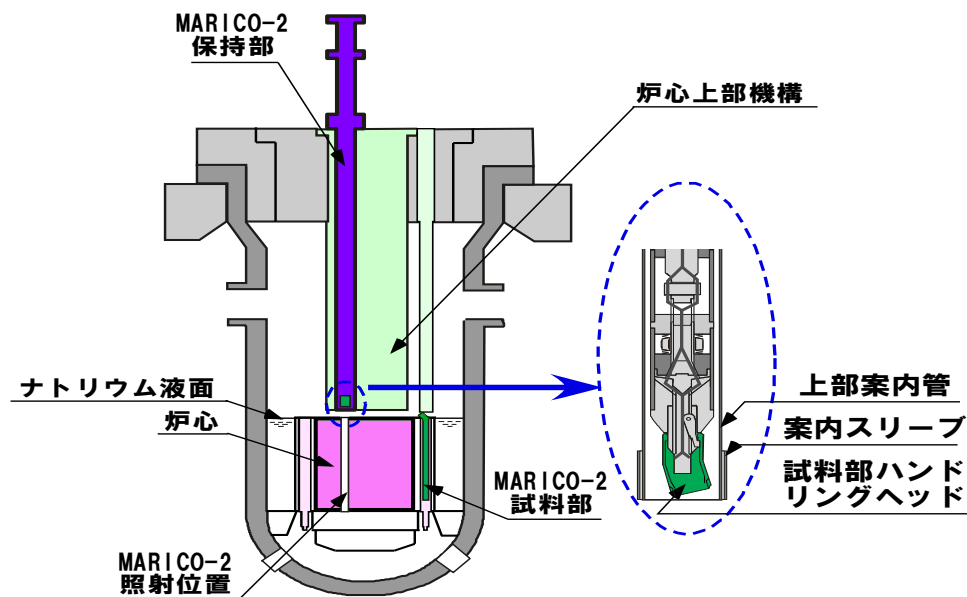
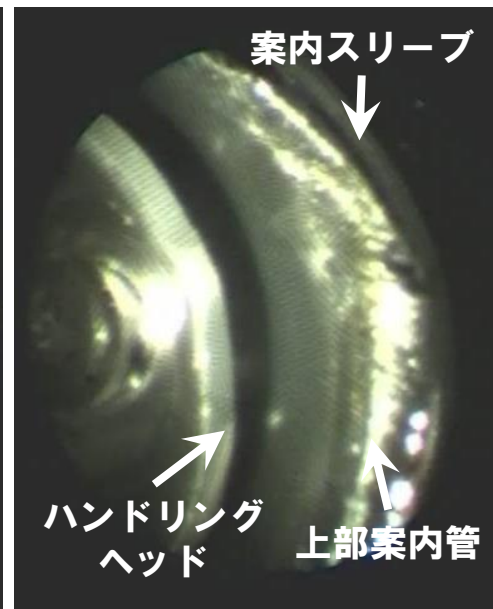
ハンドリングヘッド外側



ハンドリングヘッド内部



上部案内管下端変形部



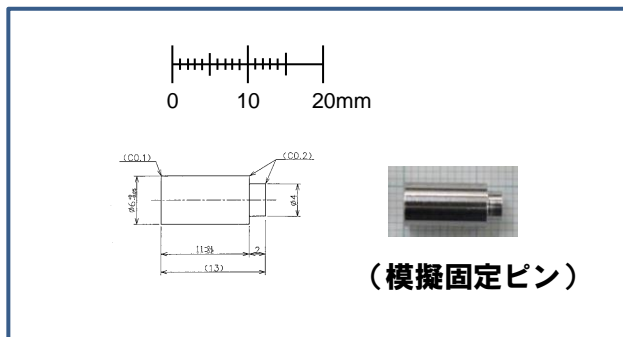
- 炉心上部機構内のMARICO-2保持部に、試料部ハンドリングヘッドが接続されていた。
- ハンドリングヘッドと試料部を接続していた固定ピン6本（概略寸法：直径6mm、長さ13mm）は、ハンドリングヘッド部分では確認できなかった。
- 固定ピン以外に、ルースパーツとして想定する必要がある部品等はなかった。

ルースパーツの設定

◆ 固定ピンをルースパーツと設定

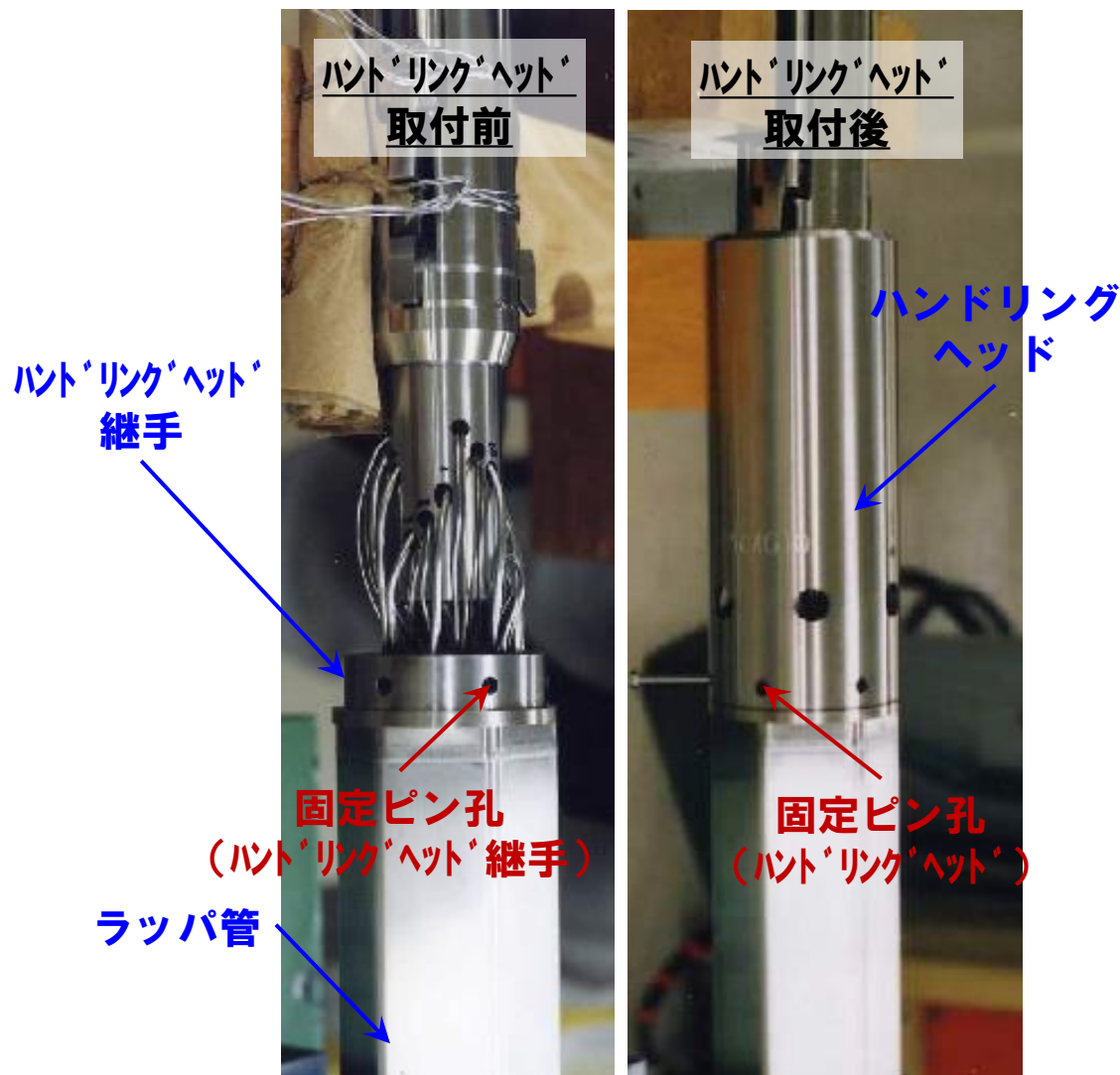
<固定ピンの仕様>

- 材料：SUS316
- 形状： $\phi 6\text{mm} \times 13\text{mm}$
(片側先端部2mmまで $\phi 4\text{mm}$)
- 数量：6本



ハンドリングヘッド外側より固定ピンを差し込み、ハンドリングヘッド外側 ($\phi 6\text{mm}$ 部分) で溶接

組立時の写真 (MARICO-1)



(2) ルースパーツの影響評価

(2-2) ルースパーツの挙動評価

評価方法

- ① 脱落した固定ピン（概略寸法：直径6mm、長さ13mm）を浮き上がらせるために必要な最小冷却材上昇速度（ v ）を以下の式により算出
- ② 原子炉容器上部プレナム部の冷却材上昇速度と比較

固定ピンが原子炉容器上部プレナム部内を上昇し、
原子炉容器出口配管より流出することがないことを確認

<算出式>

$$W = \frac{1}{2} C_D \rho_{Na} S v^2$$

（出典：機械工学便覧）

$$v = \sqrt{\frac{2W}{C_D \rho_{Na} S}}$$

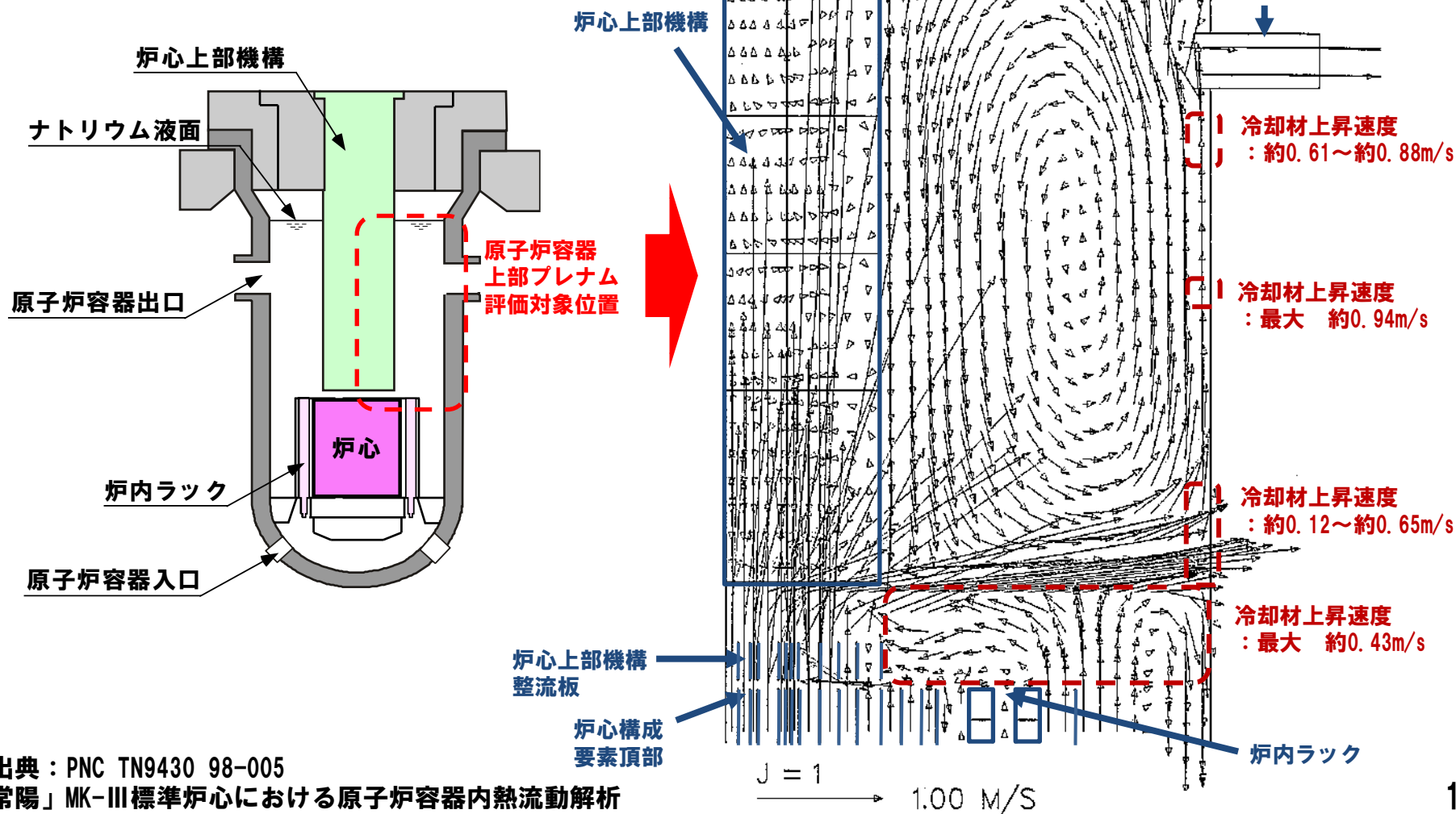
v : 最小冷却材上昇速度
 W : 重量
 C_D : 抗力係数
 ρ_{Na} : ナトリウム密度
 S : 最大受圧面積

評価結果 最小冷却材上昇速度 : 約1.0m/s (250℃)

原子炉容器上部プレナム部の流況 (2次元流動解析結果)

解析条件

- (1) 解析コード： AQUA
- (2) 解析モデル： 2次元R-Zモデル



※出典：PNC TN9430 98-005
「常陽」MK-III標準炉心における原子炉容器内熱流動解析

ルースパーツの挙動評価結果

固定ピンを浮き上がらせるために必要な最小冷却材上昇速度

: 約1.0m/s

原子炉容器上部プレナム部下部の冷却材上昇速度

: 約0.43m/s (最大)



**固定ピンが原子炉容器プレナム部内を上昇し
原子炉容器出口配管より流出することはない**

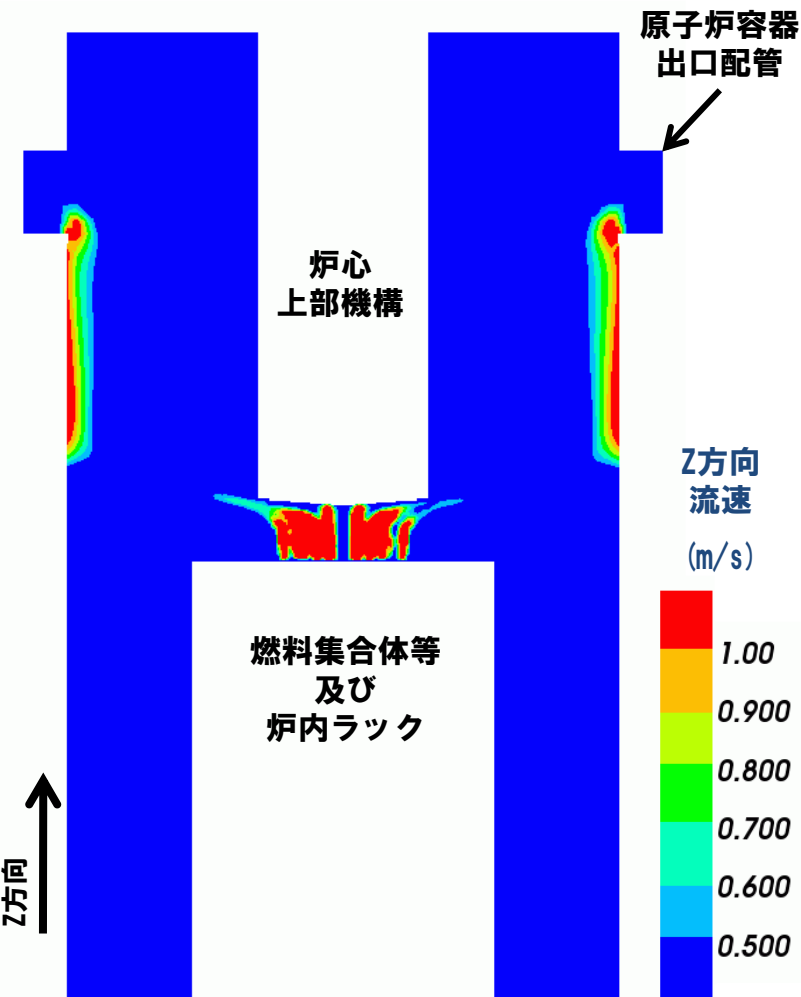
万一、固定ピンが原子炉容器出口配管付近に到達することを想定した場合にあっても、原子炉容器出口配管付近の冷却材上昇速度は約0.61～約0.88m/sであり、固定ピンが原子炉容器出口配管より流出することはない。

炉内ラックR16からの固定ピンの挙動予測

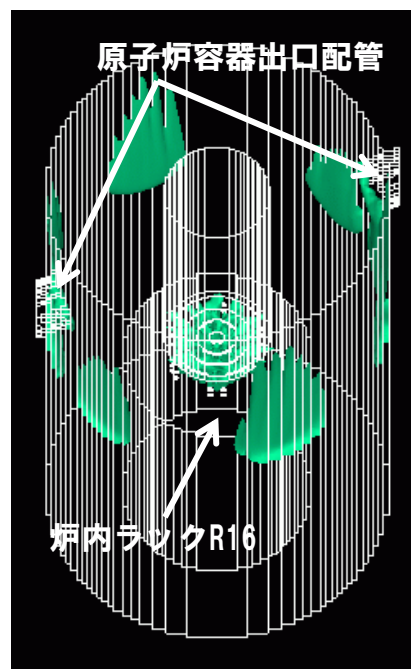
解析条件

- (1) 解析コード： AQUA
- (2) 解析モデル： 3次元モデル

冷却材上昇速度（Z方向）分布
＜一例：垂直断面＞



冷却材上昇速度（Z方向）
1.0m/s等値面



- 原子炉容器内で冷却材上昇速度1.0m/s以上となる領域は、炉内ラックR16近傍から原子炉容器出口配管に至る経路において不連続。



固定ピンを浮き上がらせるために必要な最小冷却材上昇速度は約1.0m/sであり、固定ピンが原子炉容器プレナム部内を上昇し、原子炉容器出口配管より流出することはなく、冷却系機器に問題が生じることはない。

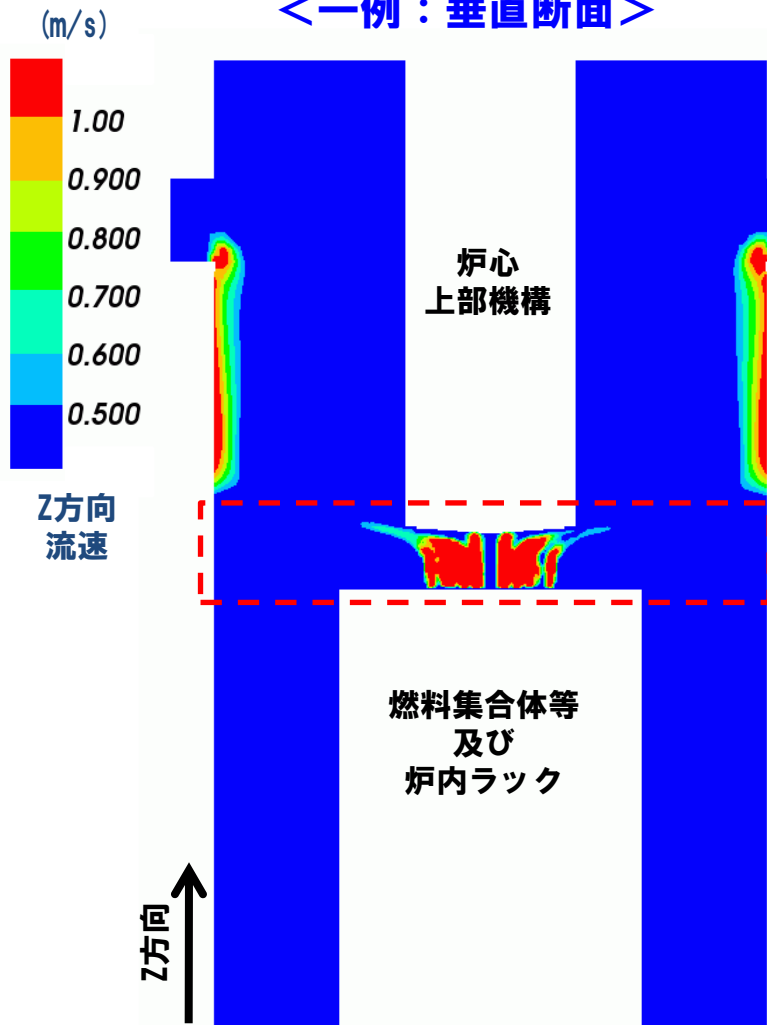
なお、1次主循環ポンプの回転数は徐々に増大させるため、左記の定格流量時の流速に至る前に、浮き上がり可能な流速となった時点で流動し、炉心外周槽に落下する。

燃料集合体内からの固定ピンの挙動予測

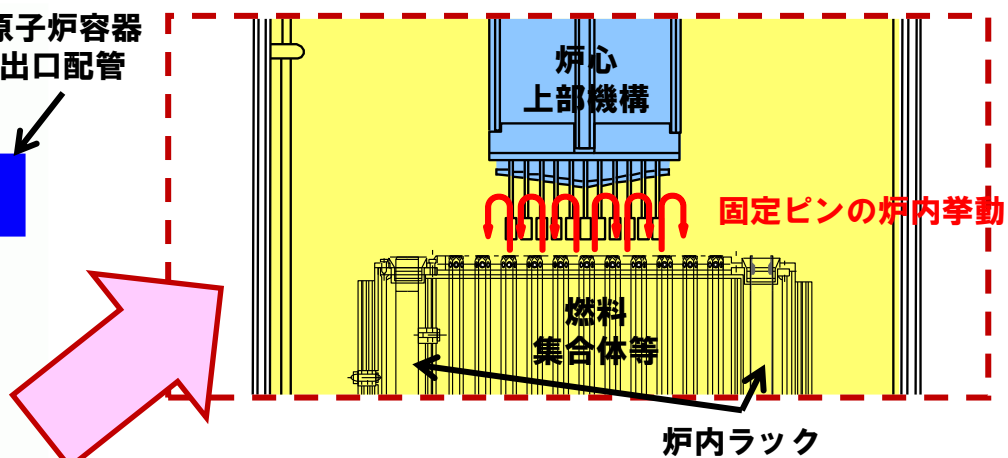
解析条件

- (1) 解析コード： AQUA
- (2) 解析モデル： 3次元モデル

冷却材上昇速度（Z方向）分布
＜一例：垂直断面＞



燃料集合体内に落下した固定ピンの
1次冷却材流量上昇時の原子炉容器内挙動イメージ



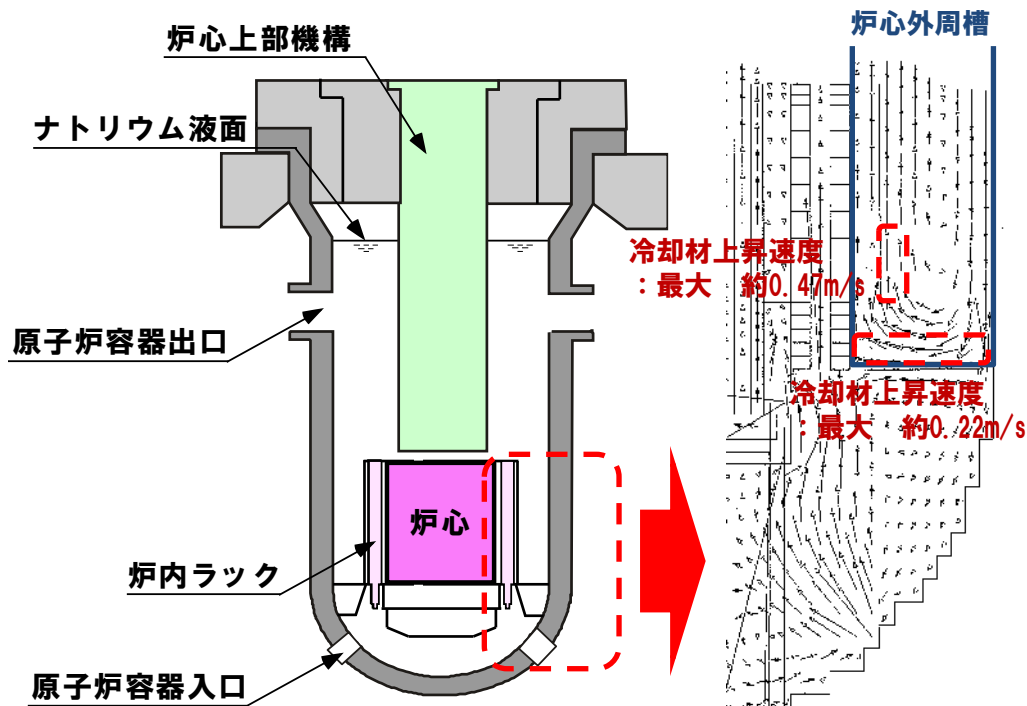
1次主循環ポンプの回転数を増大させれば、燃料集合体内に落下していた固定ピンは流出し、炉心上部機構との隙間から炉心の外側に流出する。

1次冷却材流量の増大時に、燃料集合体内から流出した固定ピンは、冷却材上昇速度が小さい反射体・遮へい集合体領域や炉心外周槽に沈降し、定格流量到達後も浮き上がることはない。

(2) ルースパーツの影響評価
(2 - 3) ルースパーツ影響評価

ルースパーツの影響評価

- ◆ 固定ピンが原子炉容器出口配管より流出することはなく、**冷却系機器に問題が生じることはない。**
- ◆ 固定ピンの落下位置は、炉内ラックR16上部近傍もしくは炉心外周槽であると推定される。炉内ラックの移送ポットもしくは炉心外周槽に落下した場合、当該位置での冷却材上昇速度は小さい（最大約0.47m/s）ため、当該部位に落下した固定ピンが浮き上がることはなく、**炉心構成要素等に影響はない。**

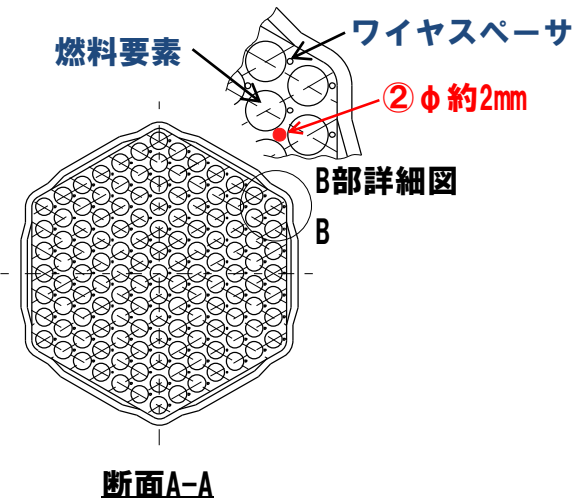
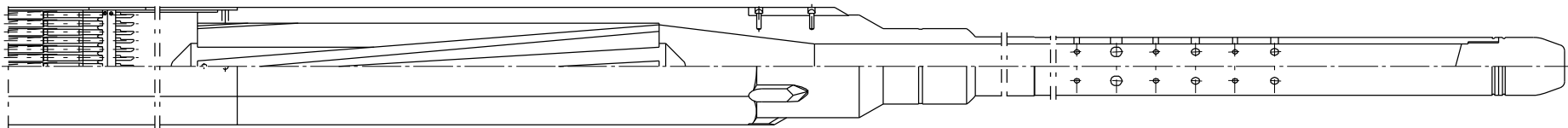
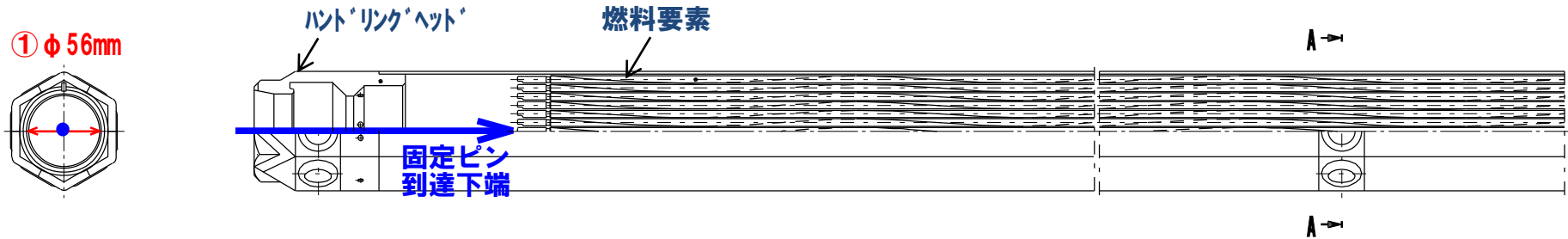


ただし、各炉心構成要素の上部から、固定ピンが落下したことを想定し、その影響を評価

- ・炉心燃料集合体
- ・制御棒
- ・制御棒下部案内管
- ・内側反射体
- ・遮へい集合体

炉心燃料集合体への固定ピン落下

→ 固定ピンの流入経路

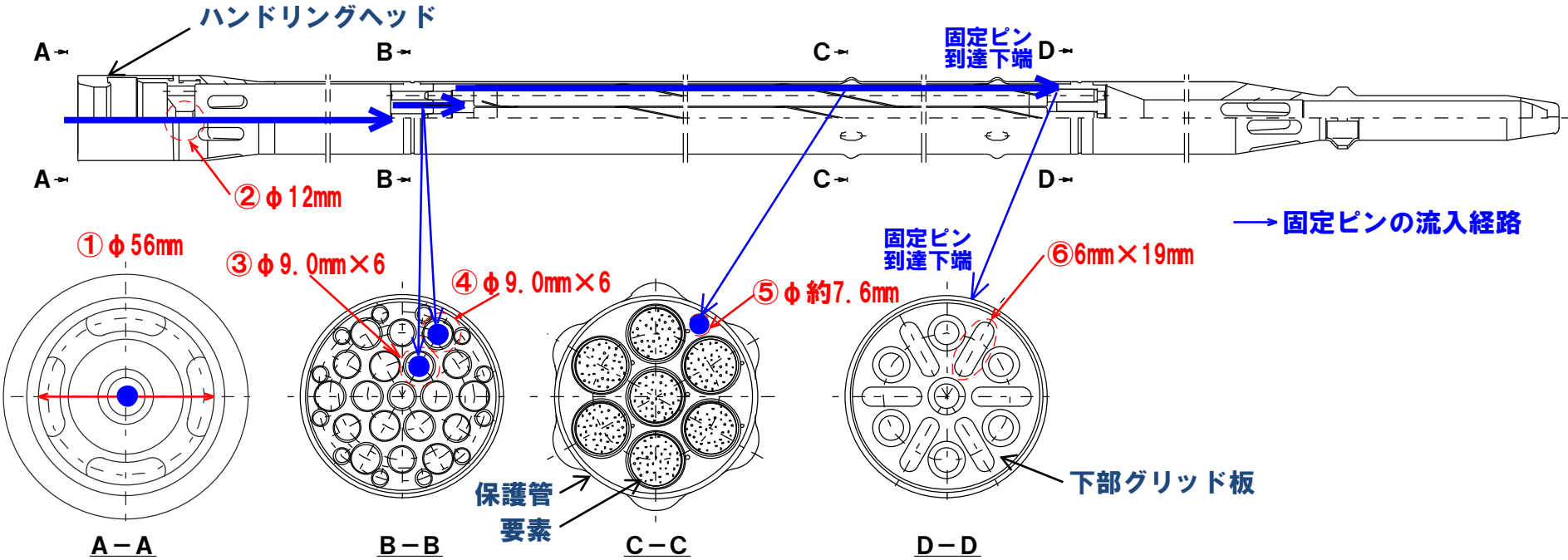


- ◆ ハンドリングヘッド開口部直径 : 56mm
- ◆ 燃料要素間ギャップ : 約2mm
(参考: ワイヤスペーサ直径 0.9mm)

固定ピンの影響評価

- ・ 上部より落下する可能性有
- ・ ただし、燃料要素バンドル間には落下せず、燃料要素バンドルの上部に留まるため、冷却材流量及び温度に与える影響は小さい。

制御棒への固定ピン落下



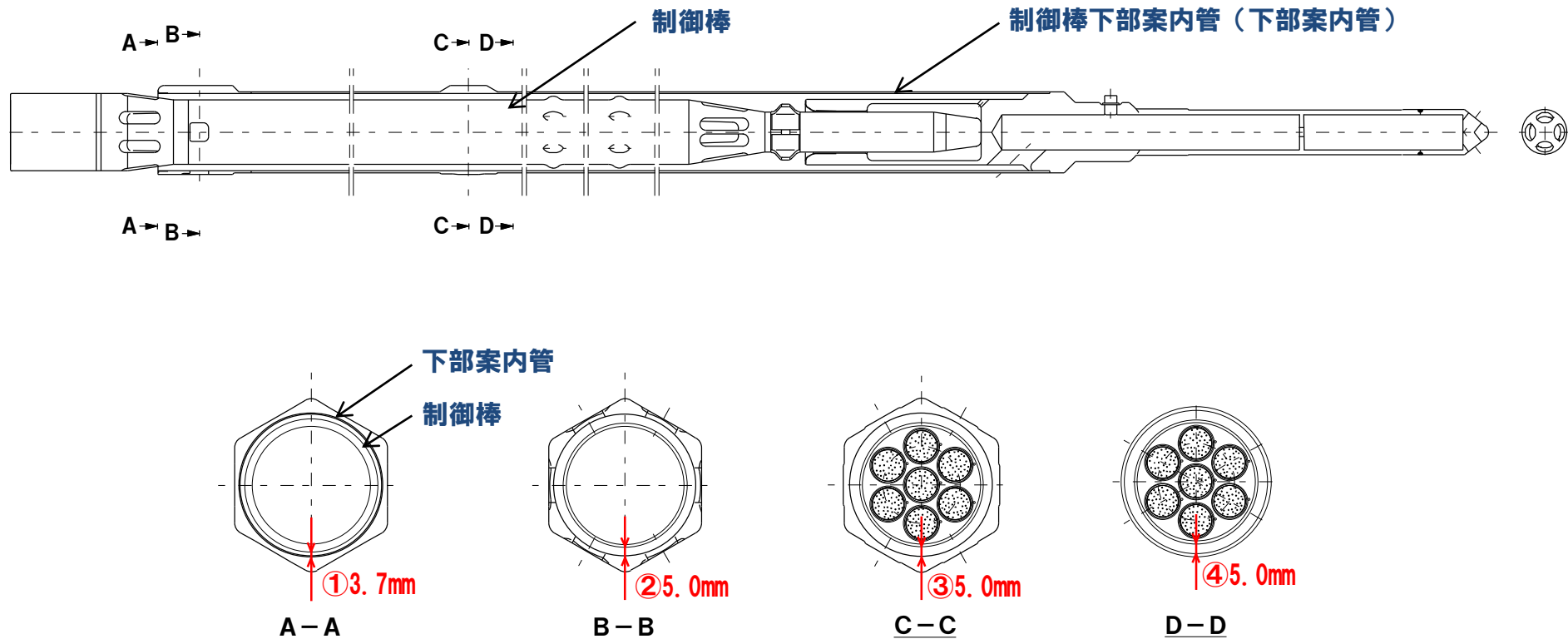
- ◆ ハンドリングヘッド開口部直径 : 56mm
- ◆ 下部グリッド板スリット幅 : 6mm

固定ピンの影響評価

- ・ 上部より落下する可能性あり
- ・ 要素と保護管のギャップの一部を閉塞する可能性あり
→ 要素の単位面積あたりの発熱量は小さい
流路面積が大きく、他の流路が確保される
- ・ 要素と保護管のギャップを通過する可能性あり
- ・ ただし、下部グリッド板上部に留まる

冷却材流量及び温度に
与える影響は小さい

制御棒下部案内管への固定ピン落下



◆ 制御棒と下部案内管のギャップ：3.7mm（着座時下部案内管上端）

固定ピンの影響評価

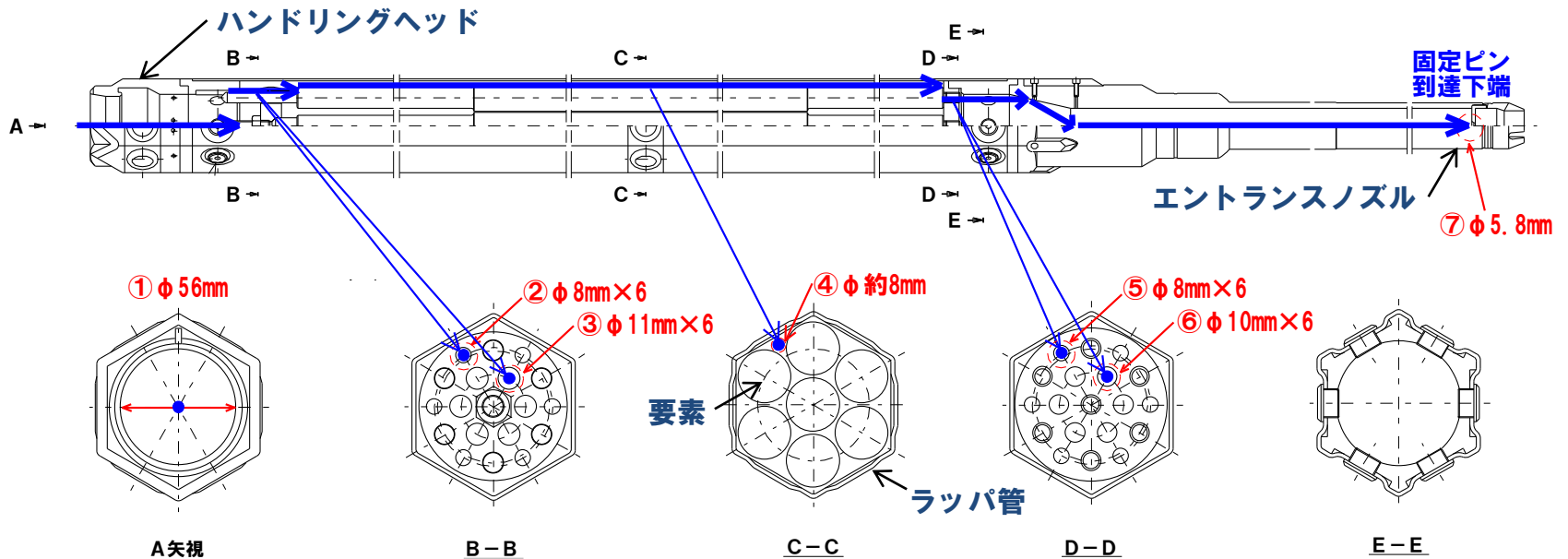
- 下部案内管内へ落下する可能性なし
- 制御棒のスクラム特性等に影響を与えない

反射体・遮へい集合体への固定ピン落下

- ◆ ハンドリングヘッド開口部直径 : 56mm
- ◆ オリフィス直径 : 5.8mm (内側反射体)
3.9mm (外側反射体)
5.1mm (遮へい集合体)

<一例：内側反射体における固定ピン流入経路>

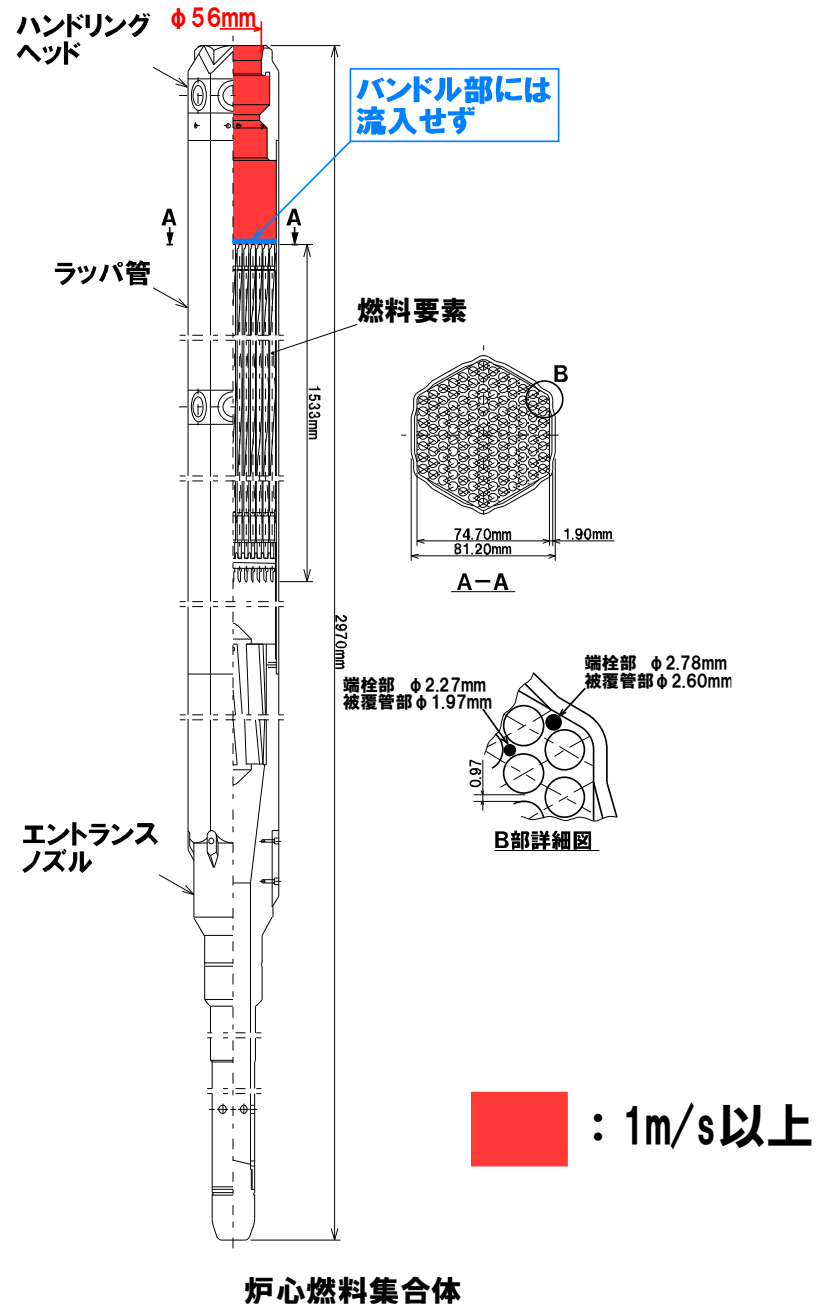
→ 固定ピンの流入経路



固定ピンの影響評価

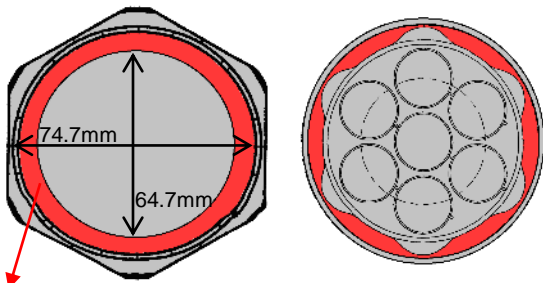
- ・ 上部より落下する可能性あり
- ・ 要素とラッパ管のギャップの一部を閉塞する可能性あり (内側反射体、遮へい集合体)
 - 要素の単位面積あたりの発熱量は小さい
 - 冷却材流量及び温度に与える影響は小さい
 - 流路面積が大きく、他の流路が確保される
- ・ 要素とラッパ管のギャップ等を通り、エントランスノズル部に到達する可能性あり
- ・ ただし、オリフィス部流速は8m/s以上であり、オリフィスを閉塞することはない

炉心燃料集合体内 流速分布



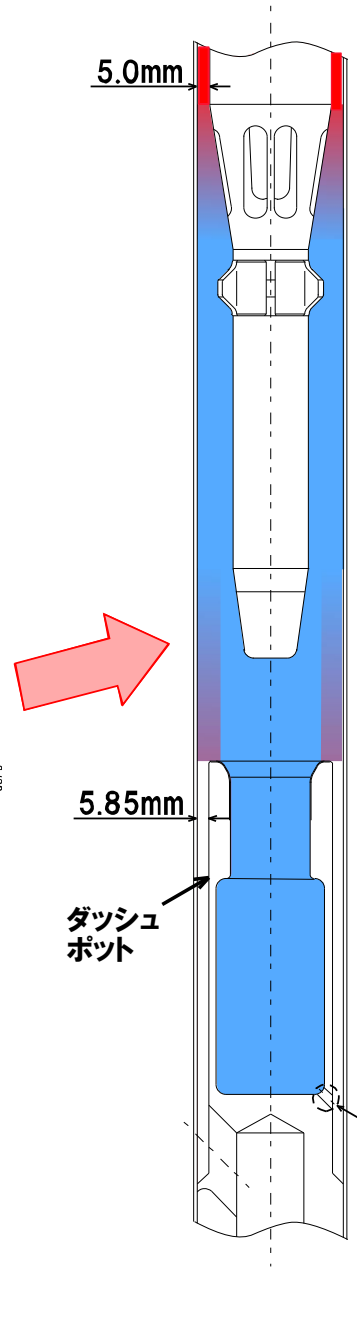
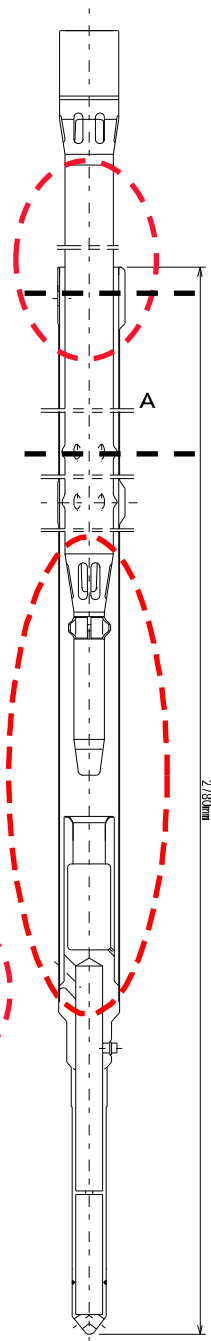
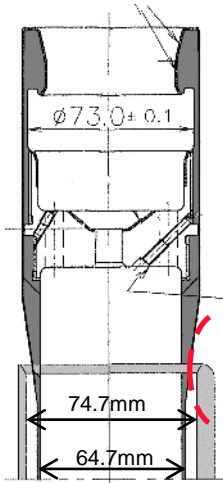
制御棒下部案内管内 流速分布

制御棒と制御棒下部案内管の間隙の流速は1m/sを超えており、固定ピンは流入しない



制御棒と下部案内管の間隙：
 3.7mm (下部案内管上端部、着座時)
 5.0mm (下部案内管上部、引抜時)

※着座時は寸法により流入しない
 引抜き時は制御棒の偏心を考慮すると、寸法的には流入する可能性があるが、流速により流入しない



■ : 1m/s未満
 ■ : 1m/s以上

固定ピンの振動による構造材の摩耗発生に係る検討

固定ピン：制御棒、内側反射体、遮へい集合体の要素バンドル部に留まる可能性有



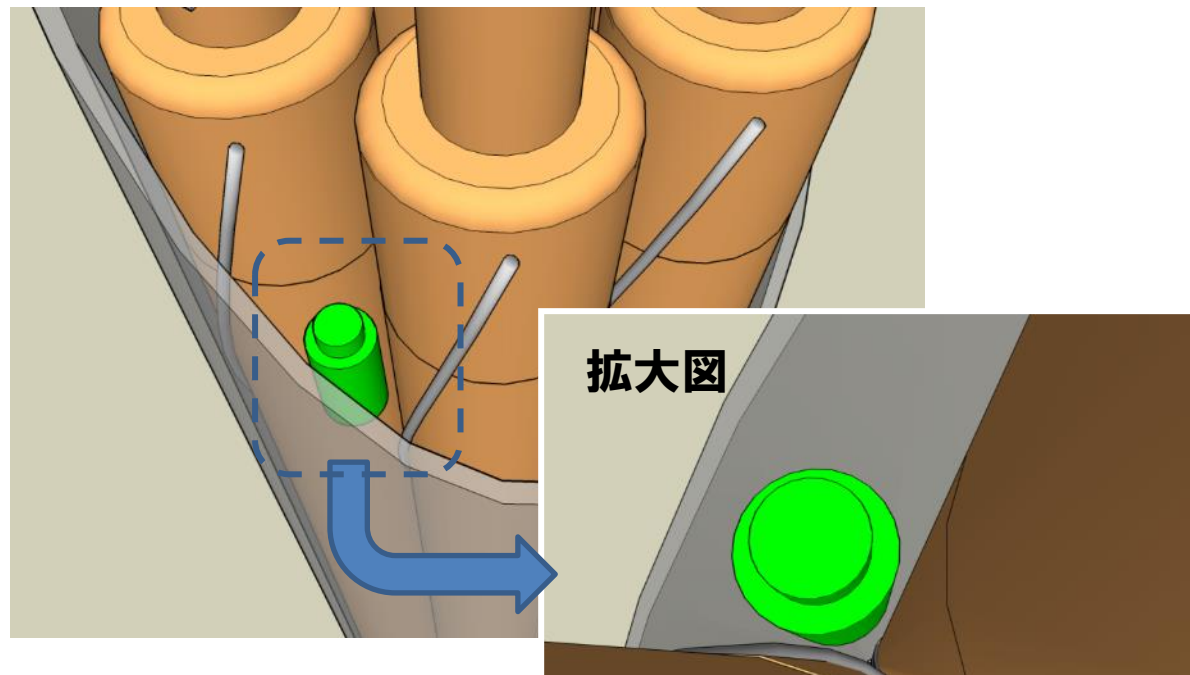
要素バンドル部のギャップ：7mm以上（表面は基本的に平滑）

固定ピンが振動した場合には、固定ピンは要素バンドル部のギャップを通過し、落下

固定ピンの振動により構造材の摩耗は発生しない

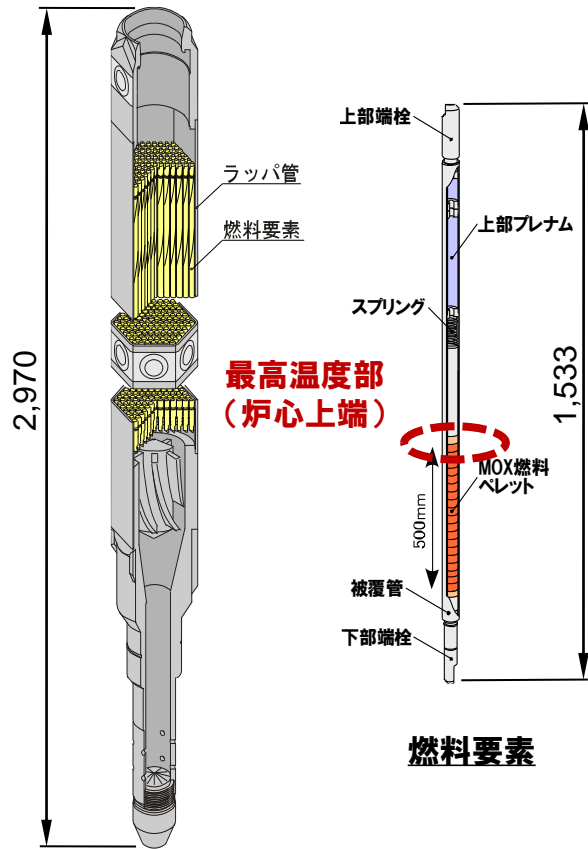
<一例：制御棒>

- ◆ 固定ピンはワイヤスペーサ部等に留まる可能性有
- ◆ ギャップが大きいため、固定ピンに振動等が生じた場合、固定ピンは落下
- ◆ 固定ピンの振動による構造材の摩耗は発生しない

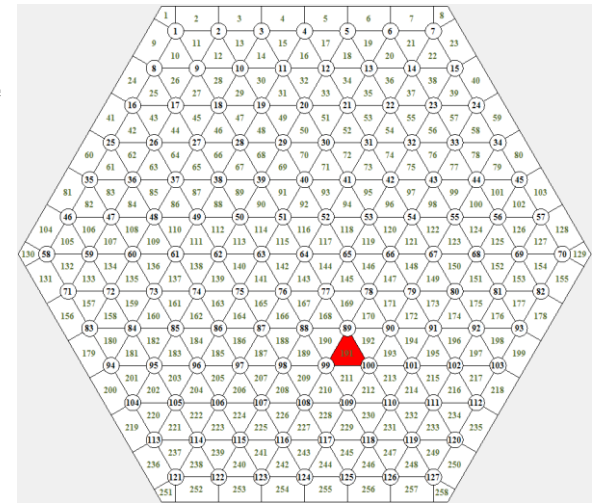
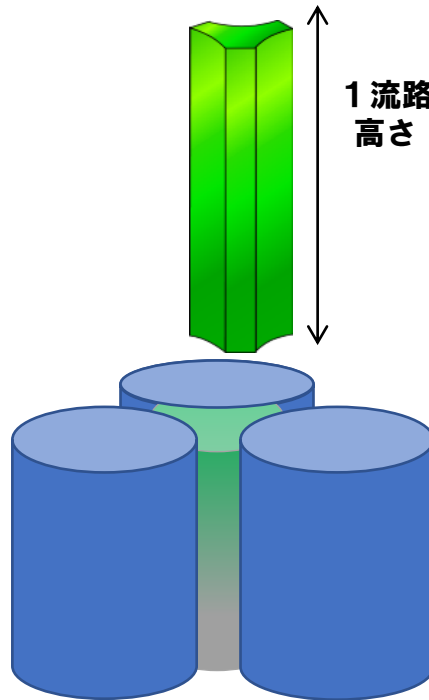


(3) 炉心燃料集合体への熱的影響

冷却材流路閉塞事故（DBA）の想定

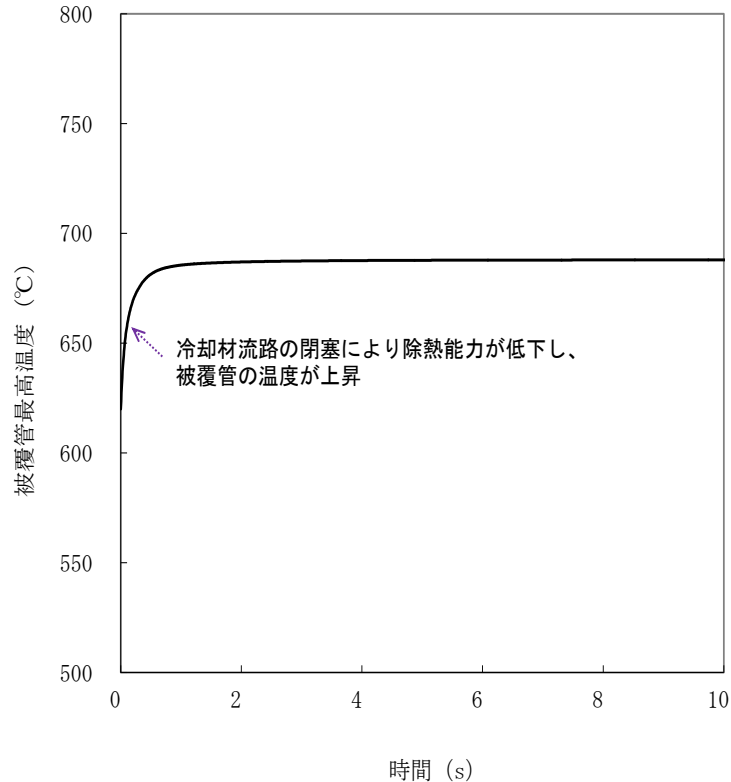


初期状態	原子炉出力	100 %
	原子炉入口温度	352 °C
	原子炉出口温度	458 °C
燃料・被覆管初期温度	燃料	約2,350 °C
	被覆管	約620 °C
起因事象	燃料集合体の1次冷却材の流路が局部的に閉塞	
閉塞物	原子炉容器内構造物(ステンレス鋼)	
閉塞領域	燃料集合体内のサブチャンネル1カ所	
閉塞領域の閉塞率	完全閉塞	
閉塞高さ	約22mm	
閉塞位置(軸方向)	被覆管肉厚中心温度が最も高くなる炉心上端	

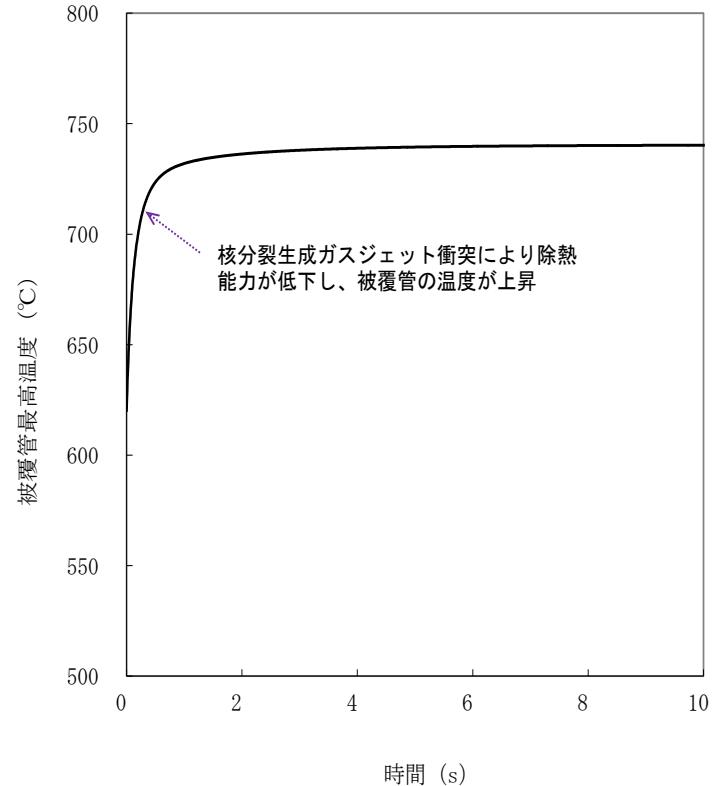


被覆管肉厚中心温度が最も高くなる炉心上端での閉塞を想定(初期温度は熱的制限値に設定)

冷却材流路閉塞事故（DBA）の解析結果



流路閉塞による被覆管温度変化



核分裂生成ガスジェット衝突による隣接燃料被覆管温度変化

・主な解析結果

		解析結果	熱設計基準値
流路閉塞	燃料最高温度:	初期値を超えない	2,650 °C
	被覆管最高温度:	約690 °C	840 °C
	冷却材最高温度:	約610 °C	910 °C
核分裂生成ガスジェット衝突	燃料最高温度:	初期値を超えない	2,650 °C
	被覆管最高温度:	約740 °C	840 °C
	冷却材最高温度:	約610 °C	910 °C

冷却材流路閉塞事故（BDBA）の想定

解析体系及び解析条件の概要

閉塞物：ステンレス鋼（約300g（固定ピンは約2.7g/本））

閉塞厚さ：ワイヤ巻ピッチ209mmの1/3

軸方向閉塞位置：発熱上端

水平方向閉塞位置：千鳥格子状

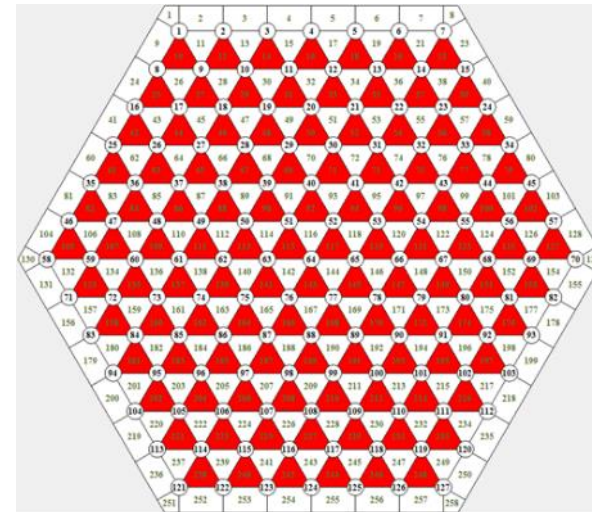
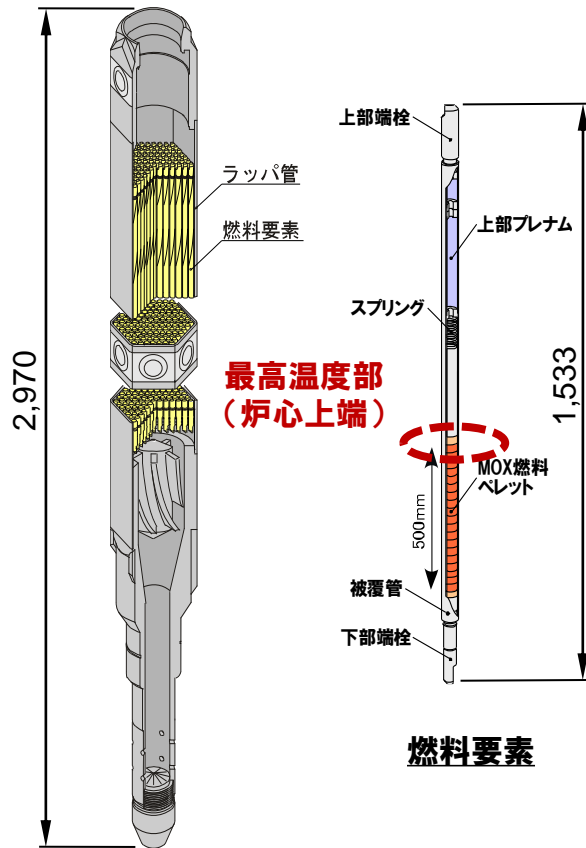
流路閉塞前の燃料最高温度：2,350℃（熱的制限値）

流路閉塞前の被覆管最高温度：620℃（熱的制限値）

＜燃料要素の破損を想定した場合（ガスジェット衝突解析）＞

燃焼末期、0.2mmφの破損孔を想定

ガスの放出時間：10秒



千鳥格子状閉塞

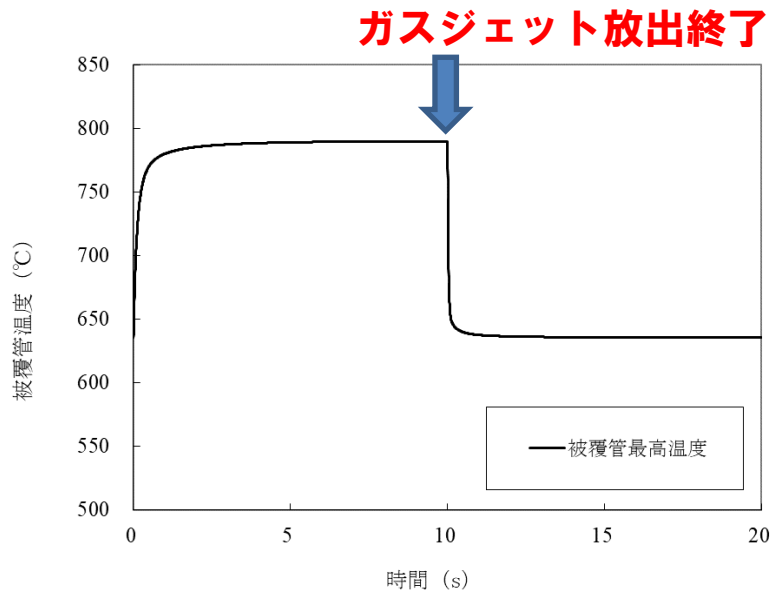
冷却材流路閉塞事故（BDDBA）の解析結果

● 局所閉塞解析

	流量 (kg/s)	冷却材最高温度 (°C)	被覆管最高温度 (°C)	燃料最高温度 (°C)
閉塞前	8.57	600	620	2,350
閉塞後	8.02	640	720	2,360

● ガスジェット衝突解析

燃料要素の内部に蓄積されていた核分裂生成ガスが放出された場合、燃料破損検出系による監視によりその破損を検知することで、運転員は手動で原子炉を停止。この間、他の燃料要素が新たに破損することはない、急速な破損伝播が起こることはない。



→最高温度は評価項目（被覆管最高温度：840°C）を十分に下回り、炉心の著しい損傷は防止される。

被覆管最高温度の時間変化（ガスジェット衝突）

(4) ルースパーツに係る今後の対応

(4) ルースパーツに係る今後の対応
(4-1) 今後のルースパーツの探索

超音波によるナトリウム中の可視化技術の開発

冷却材であるナトリウムは不透明であり、一般的なカメラ等により、ナトリウム中に落下した異物等を探索することはできないため、原子力機構では、ナトリウム冷却型高速炉の実用化に向けた要素技術開発の一つとして、ナトリウム中可視化検査装置の開発を進めている^[1]。

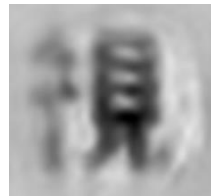
開発の成果として、下図に示す超音波による可視化が可能であることを確認している。

しかしながら、本成果は、対象物の位置が特定された体系で、かつ、対象物にセンサを近接させて得られたものである。現在、離れた対象物の検査を目的として、主にセンサの信号強度の向上及び視野範囲の拡大を目指した開発を進めているところである。また、「常陽」のルースパーツを探索するためには、センサを原子炉内の目標とする位置へ移送するセンサ搬送装置の開発も必要である。したがって、「常陽」のルースパーツを探索するためには、さらなる技術開発が必要である。

ターゲット：主な線幅3mm、最小線幅2mm
センサとターゲット間の距離：150mm



(a) 写真



(b) 画像化結果

ナトリウム中画像化試験結果の例^[1]

[1] Kosuke Aizawa, et al., Development of Under Sodium Viewer for the Next Generation Sodium-cooled Fast Reactor – Imaging Test in Sodium-, ICAPP2019

(4) ルースパーツに係る今後の対応

(4-2) ルースパーツの影響の監視及び異常の検知

ルースパーツによる影響と推定される事象への対応

固定ピンが、原子炉の安全性に及ぼす影響がないことを確認しているが、影響を与える可能性としては、炉心燃料集合体内に落下し冷却材流路を閉塞させること、制御棒下部案内管内に落下し制御棒の駆動に影響を与えること、及び1次主循環ポンプの運転を阻害することが考えられる。

これらの影響の発生を未然に感知、防止することを目的として、以下の概要を原子炉施設保安規定に、具体的な内容をその下部要領(ルースパーツによる影響と推定される事象に対する対応要領)に定める。

【共通事項】

運転管理、保守管理、燃料管理等にあっては、異物の存在を考慮し、万一の異物による異常を想定した管理を実施する。原子炉容器内での燃料取扱時は、炉心構成要素と異物との干渉により異変が生じる可能性に留意して、炉心構成要素の着地レベル及び制御棒駆動機構の動作等の監視を継続して実施する。

【炉心燃料集合体の冷却材流路の閉塞】

炉心燃料集合体出口冷却材温度を監視し、炉心燃料集合体内の異物の閉塞を監視する。高温が継続する等の異常が検知された場合は、原子炉を停止し、原子炉から当該燃料を取り出し、照射後試験施設において、異物の閉塞の有無等を確認する。

炉心燃料集合体内で異物が閉塞し、炉心燃料要素が破損した場合に、燃料破損検出系で燃料の破損を検知し、直ちに原子炉をスクラムし、運転を停止する。また、燃料が破損した場合には、破損した燃料を特定し、照射後試験施設において、異物の閉塞の有無等、燃料破損の原因を特定し、対策を講じる。

【制御棒下部案内管と制御棒の間隙への流入】

毎サイクル運転開始前の起動前点検において、制御棒及び後備炉停止制御棒全数について、駆動及びスクラム時間に異常がないことを確認する。運転中は、毎操作時に、ロードセルにより、駆動に異常がないことを確認する。異常が確認された場合は、原子炉を停止等するとともに、制御棒及び制御棒下部案内管を取り出し、照射後試験施設において異物の混入の有無を確認する。

【冷却系機器への影響】

毎サイクル運転開始前の起動前点検において、24時間連続運転により、冷却材流量及び1次主循環ポンプの回転数に異常がないことを確認する。運転中は、冷却材流量、1次主循環ポンプ回転数及び回転数差等を定期的に監視する。1次主循環ポンプの回転数に異常が生じた場合は、直ちに原因を調査し、異物による影響が想定される場合は、原子炉をスクラムして運転を停止するとともに、1次主循環ポンプの点検を実施し、異物の混入等について確認する。

法令報告後の復旧措置、1次主冷却系の運転及び炉心構成要素の炉内取扱時のルースパーツの考慮

(1)復旧措置

復旧措置として、炉心上部機構の交換及びMARICO-2試料部の撤去を実施した。

2014/5/8～5/22	(旧炉心上部機構の引抜)
2014/9/16～9/26	(MARICO-2試料部の撤去)
2014/11/20～11/21	(新炉心上部機構の装荷)

(2)1次主冷却系の運転実績

1次主冷却系は2ループで構成され、原子炉運転中においては、主循環ポンプは2ループ共に定格流量(1,538m³/h/1ループ)一定で運転される。原子炉停止中(冷却材充填中)においては、定格(100%)流量又は約20%流量で循環運転される。

復旧作業後において、1次主冷却系は、以下の定格(100%)流量運転実績を有する。当該運転に異常等はなかった。

2017/2/27～3/3	(主循環ポンプモータ点検に伴う運転)
2017/3/13～4/4	(制御棒駆動機構調整※1に伴う運転)
2018/3/8～3/9	(主循環ポンプ速度制御装置点検に伴う運転)
2022/3/4～3/25	(制御棒駆動機構調整※1に伴う運転)

※1:スクラム動作試験を実施し、結果良好

(3)炉心構成要素の原子炉容器内取扱作業実績

復旧措置後、2021年3月に燃料交換機の動作確認を実施している。当該動作確認時には、計測線付実験装置の切離し失敗位置(炉内ラックR16)にて、制御棒(CR0903)を取り扱い、着地レベル等を確認することで、炉心構成要素の炉内取扱に問題がないことを確認した。

参考

保安規定改定案

保安規定変更の主な内容(ルースパーツ対策に係る対応事項の反映)

(要領の作成)

第97条の2 高速炉第1課長は、次の各号に掲げる事項を記載した高速実験炉「常陽」運転要領を作成し、関係する課長と協議のうえ、高速実験炉部長の承認を得る。これを変更する場合も同様とする。**また、作成にあたっては、想定される1次冷却系統内異物(ルースパーツ)への対策を記載する。**

- (1) 運転管理
- (2) 保守管理
- (3) 燃料管理
- (4) 放射線管理
- (5) ナトリウム管理
- (6) 事故発生時の措置

2 高速実験炉部長は、前項の承認を行う場合は、あらかじめ常陽原子炉主任技術者の同意を得る。

高速実験炉「常陽」運転要領に、想定される1次冷却系統内異物(ルースパーツ)への対策として以下の内容を追加する。

■原子炉運転前の確認(起動前、運転前の点検の中で対応)

- ・制御棒及び後備炉停止制御棒について全数の動作確認及びスクラム時間測定
- ・1次主循環ポンプ定格流量運転時の運転状態確認
⇒定格流量にて24時間運転を行い、運転状態の確認を行う。

■原子炉運転中の確認(監視と異常確認時の対応)

- ・制御棒操作時の監視及び動作異常確認時の対応(原子炉停止)
- ・燃料破損検出設備の監視及び異常確認時の対応(原子炉停止)
- ・燃料集合体出口冷却材温度の監視及び異常確認時の対応(原子炉停止)
- ・1次主循環ポンプ回転数差に関する監視及び異常確認時の対応(原子炉停止)
⇒異常の確認には主ポンプ速度差大の警報を使用する。当該警報は、主ポンプトリップインターロックに使用される速度差過大のプレアラームであり、早期に原子炉を停止できる措置とする。

■燃料集合体出口冷却材温度異常時、燃料破損検出時の措置(ルースパーツの調査、回収)

- ・燃料が破損した場合には、破損した燃料を特定し、照射後試験施設において、異物の閉塞の有無等、燃料破損の原因を特定し、対策を講じる。

保安規定変更の主な内容(ルースパーツ対策に係る対応事項の反映)

(制御棒のスクラム時間等)

第112条 高速炉第1課長は、制御棒及び後備炉停止制御棒を全引抜位置から全挿入の120mm上まで緊急挿入するに要する時間(以下「スクラム時間」という。)が別表第32の左欄に掲げる項目について、同表中欄に掲げる値であることを、同表右欄に掲げる頻度で確認する。

2 高速炉第1課長は、制御棒の動作状態について別表第33.1の左欄に掲げる項目について、同表中欄に掲げる状態であることを、同表右欄に掲げる頻度で確認する。

3 高速炉第1課長は、原子炉運転中にいずれかの制御棒の動作不能を確認した場合は、別表第33.2に掲げる措置を講じる。

4 高速炉第1課長は、第1項の実施前に制御棒及び後備炉停止制御棒の全てについて、動作確認を行う。動作確認は1本毎に全挿入位置から全引抜位置及び全引抜位置から全挿入位置まで動作させ、動作中の制御棒荷重に異常がないことを確認する。この際、動作確認の対象以外の制御棒については、全て全挿入位置でデラッチ状態であることを確認する。

別表第32 制御棒のスクラム時間(第112条)

項目	制御値	点検頻度
制御棒1本について、スクラム時間を測定する。	0.8秒以内	1回/運転開始前
スクラム時間測定しない残り5本の制御棒についてデラッチを確認する。	異常なくデラッチができること。	1回/運転開始前



項目	制御値	点検頻度
制御棒及び後備炉停止制御棒の全数についてスクラム時間を測定する。	0.8秒以内	1回/運転開始前
制御棒及び後備炉停止制御棒の全数についてデラッチを確認する。	異常なくデラッチができること。	1回/運転開始前

上記の確認は、制御棒及び後備炉停止制御棒について1本毎に行う。

保安規定変更の主な内容(ルースパーツ対策に係る対応事項の反映)

(警報装置の作動等)

第131条 当直長は、別表第35に掲げる警報装置が作動した場合は、その原因及び状況を調査するとともに、高速炉第1課長及び関係する課長に報告する。ただし、点検等の保守作業及びプラント状態の変更に伴う作動要因が明らかな警報装置の作動を除く。

2 高速炉第2課長、高速炉技術課長及び放射線管理第1課長は、前項の警報装置の作動がその所掌する施設に関係する場合は、速やかに原因を調査し、高速炉第1課長に連絡する。

3 高速炉第1課長は、前2項の原因調査結果に基づき、別表第44に掲げる原子炉運転上の措置を講じる。

別表第44 警報装置作動時の措置(第131条)

警報項目	警報作動時の措置	故障等による誤報時の措置	復旧不可能時の措置
炉心燃料集合体出口冷却材温度高	原因を調査し復旧する。 <u>警報作動後も温度の異常が継続する場合には原子炉を停止する。</u>	<u>警報作動のあった対象の炉心燃料集合体出口冷却材温度について、予備チャンネルの測定にて監視する。</u>	原子炉を停止する。

まとめ

【ルースパーツ発生の経緯】

2007年5月のMK-III炉心第6'サイクルの運転終了後に、炉内ラック位置(R16)でMARICO-2の試料部と保持部を切り離し、回転プラグを回転させた。その後、燃料交換機の荷重異常が発生したことから、炉内観察を実施し、MARICO-2試料部が変形していること及びルースパーツが発生していることを確認した。

【事象への対策】

回転プラグの燃料交換機能の一部阻害を確認したことから、2007年11月から2008年3月にかけて、集合体頂部等の観察、2008年7月に旧炉心上部機構下面の観察を行い、ルースパーツの探索を行った。これらの観察結果に基づき、影響評価及び原因究明等を実施し、以下の復旧措置を実施することとした。

【復旧措置】

2014年5月に、旧炉心上部機構の引抜、2014年9月にMARICO-2試料部の撤去、2014年11月に新炉心上部機構の装荷を行い、復旧措置を完了した。

1次主冷却系の運転、制御棒のスクラム動作試験及び炉心構成要素の原子炉容器内での取扱いを通じて、ルースパーツの影響が生じていないことを確認。

【今後の対応】

ルースパーツにより生じ得る影響(流路閉塞事象等)への対応について、原子炉施設保安規定に規定する。今後の対応の検討結果については、今後の審査会合において説明する。