

柏崎刈羽原子力発電所7号機の燃料からの  
放射性物質漏えい事象に対する対応状況、  
今後の点検計画等

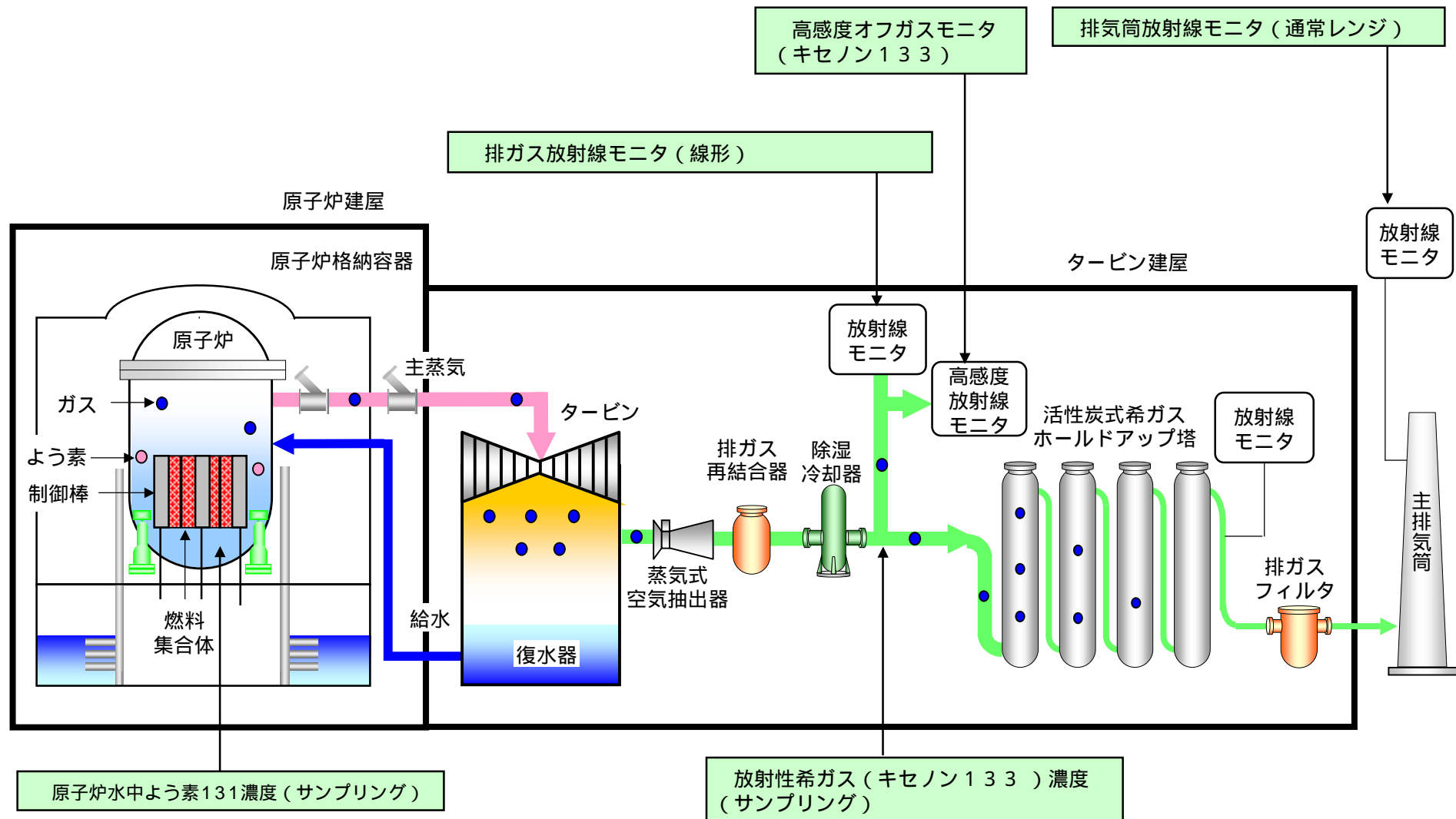
平成21年10月 6日



東京電力

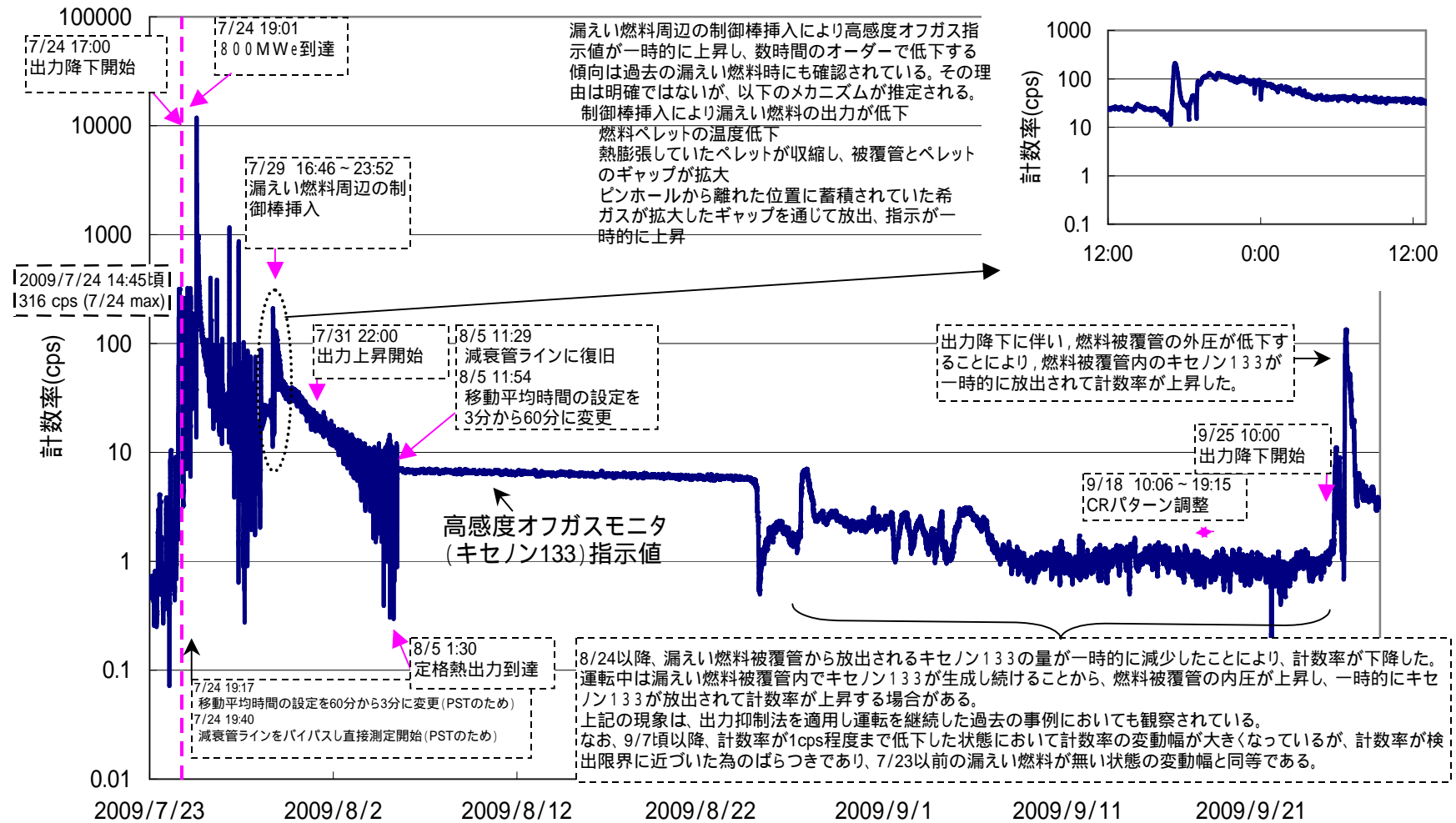
---

# 1 . P S T 後定格熱出力運転状態におけるパラメータ採取箇所



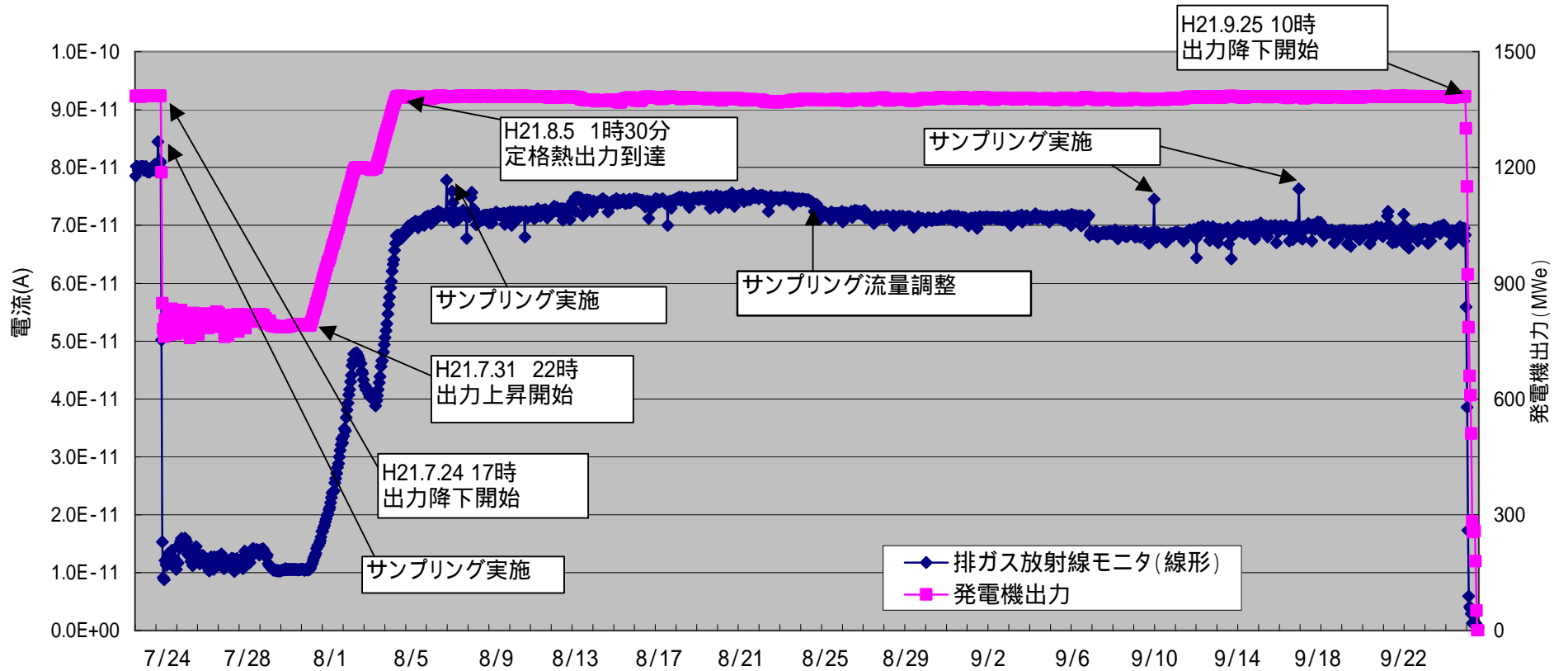
## 2. 監視パラメータの推移 ( 1 / 5 )

### 高感度オフガスモニタ



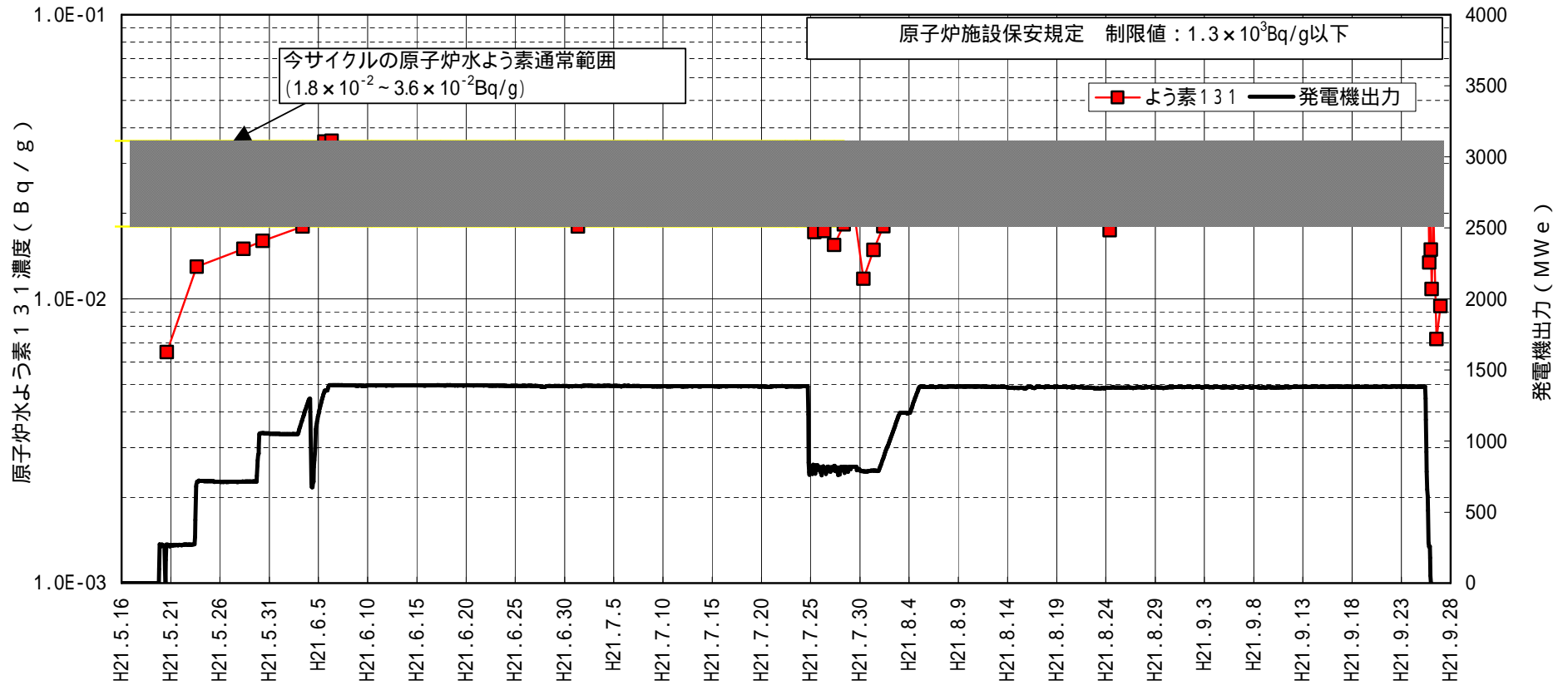
## 2. 監視パラメータの推移 ( 2 / 5 )

排ガス放射線モニタ (線形)



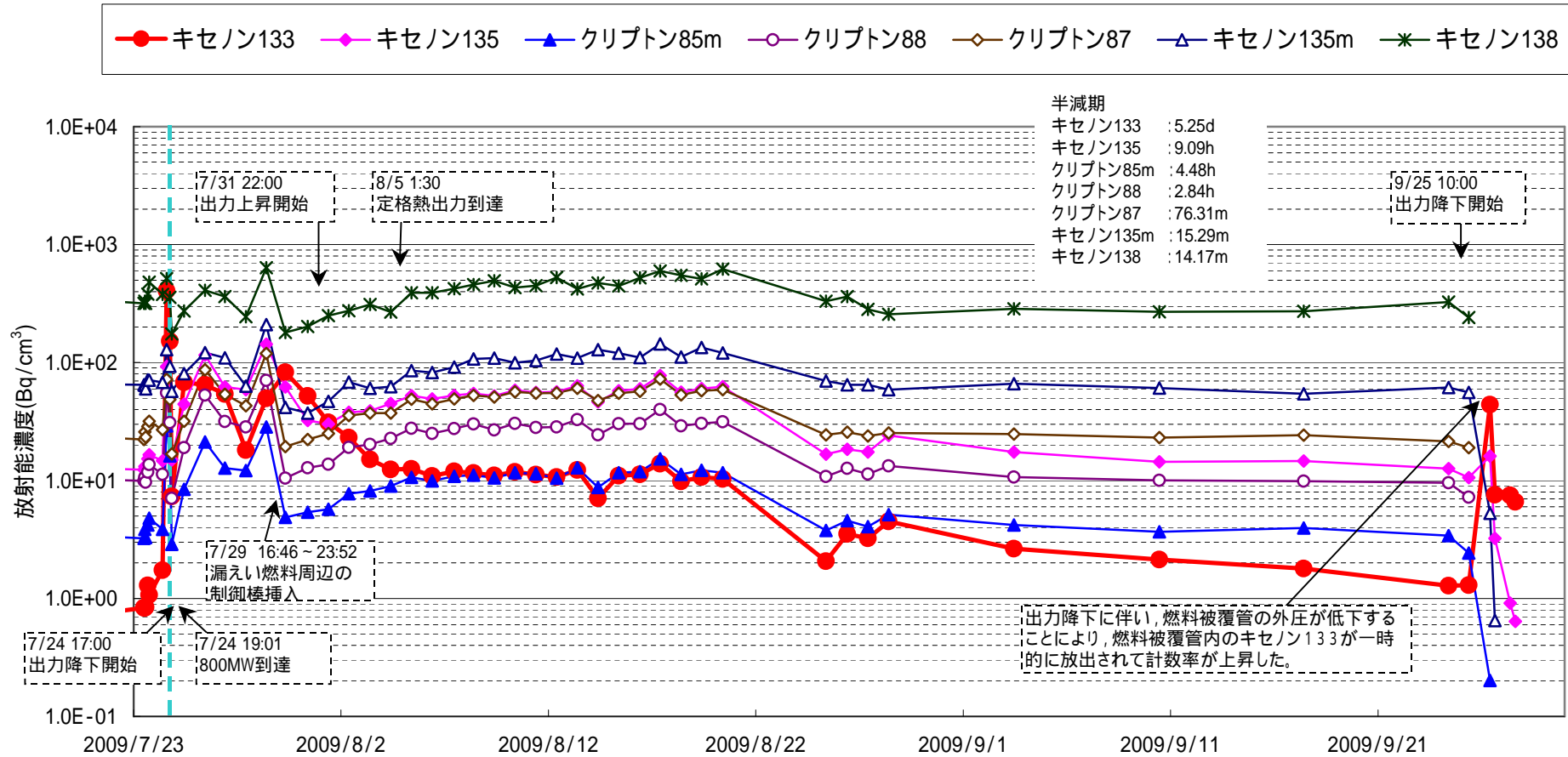
## 2. 監視パラメータの推移 ( 3 / 5 )

原子炉水中のよう素131濃度



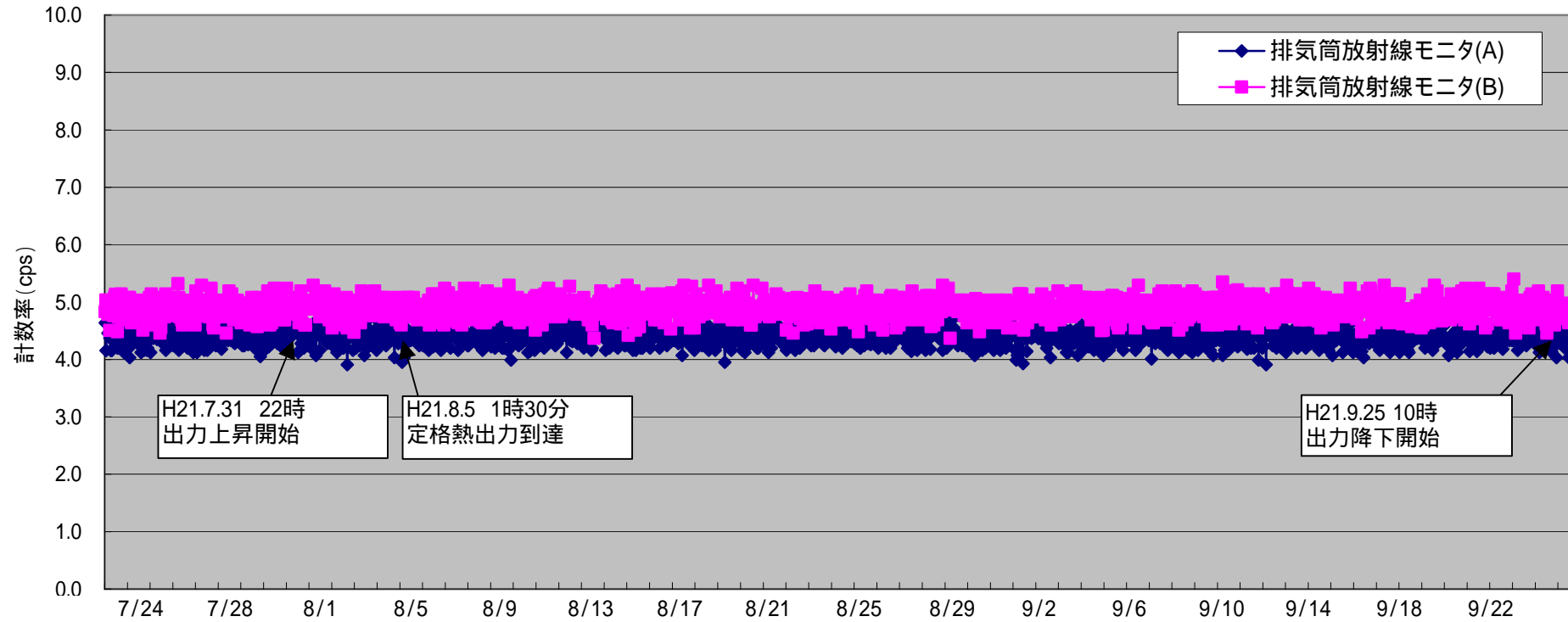
## 2. 監視パラメータの推移 ( 4 / 5 )

### 放射性希ガス濃度



## 2 . 監視パラメータの推移 ( 5 / 5 )

排気筒放射線モニタ ( 通常レンジ )



### 3 . 今回の事象で得られた知見

項 目	概 要
高感度オフガスモニタの適切な警報設定値	<ul style="list-style-type: none"> <li>●漏えい燃料発生を早期に検知する観点から、現在の高感度オフガスモニタの警報設定方法(バックグラウンドの3倍)は妥当。</li> </ul>
PST実施のための高感度オフガスモニタ判断基準値	<ul style="list-style-type: none"> <li>●十分な早期対応が出来たことから、今回のPST実施判断基準値(バックグラウンドの50倍)を今後の標準運用とする。</li> </ul>
PST実施時の原子炉出力及び制御棒操作方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>●原子炉出力を60%まで低下させ制御棒の全挿入・全引抜操作を実施したところ、放射性物質の外部への放出は検出されないレベル。(これまでと同様)</li> <li>●PST実施時の原子炉出力は60%とし、制御棒の全挿入・全引抜操作を実施することを今後の標準運用とする。</li> </ul>
高感度オフガスモニタの測定モード	<ul style="list-style-type: none"> <li>●PST実施時は減衰管をバイパス+データを短時間移動平均化処理、その後の運転継続監視時は減衰管を使用+データを長時間移動平均化処理を今後の標準運用とする。</li> </ul>
PST実施後の制御棒パターン調整の留意点	<ul style="list-style-type: none"> <li>●漏えい燃料からの放射性物質の放出を拡大させない観点から、PST実施により漏えい燃料と推定される燃料の出力を目安値(16kW/m程度)以下に抑制し、PST後の制御棒パターン調整時には、全挿入した制御棒から3本以内の制御棒を操作しないことが有効。</li> </ul>
PST実施後の運転パラメータの挙動	<ul style="list-style-type: none"> <li>●PST実施後の約2ヶ月間の運転により、以下のような運転パラメータの挙動が明確になった。今後はこれらの挙動をデータベース化し、プラントの運転管理の高度化に資する。</li> <li>・これまで困難と考えられていた高感度オフガスモニタの指示値を通常のレベルまで低下させ、かつこの状態を継続することが、早期検知・早期対応により達成可能。</li> <li>・PST後の運転継続時には、漏えい燃料の状態が変化しない場合でも、高感度オフガスモニタの指示値が一時的に増減する現象を示すことがある。</li> <li>・漏えい燃料の出力抑制の状態は、PST後の運転継続中(制御棒パターン調整の実施を含む)において適切に維持可能。</li> <li>・今回のような早期検知・早期対応により、高感度オフガスモニタの指示値が通常のレベルまで低下した場合、原子炉停止時のよう素131追加放出量は極小化可能。</li> </ul>



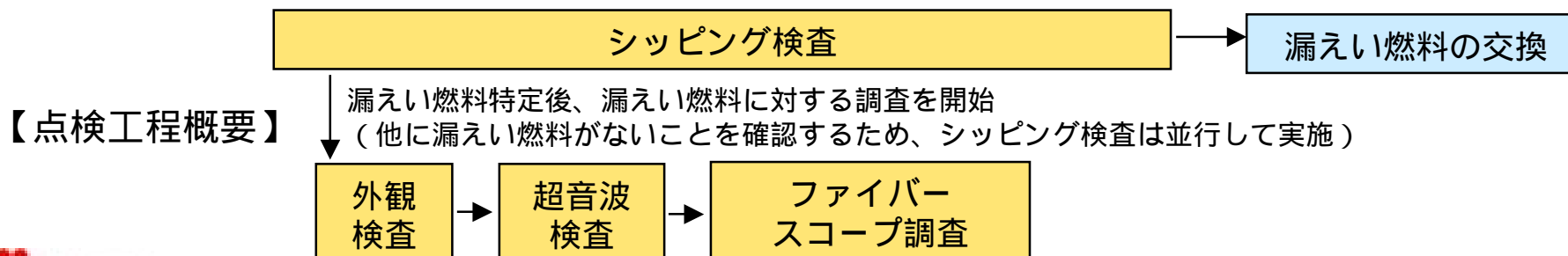
## 4 . 停止後の燃料集合体の検査・調査の概要について

- 漏えい燃料の発生した原因を特定するため、下記に示す詳細調査を実施する。

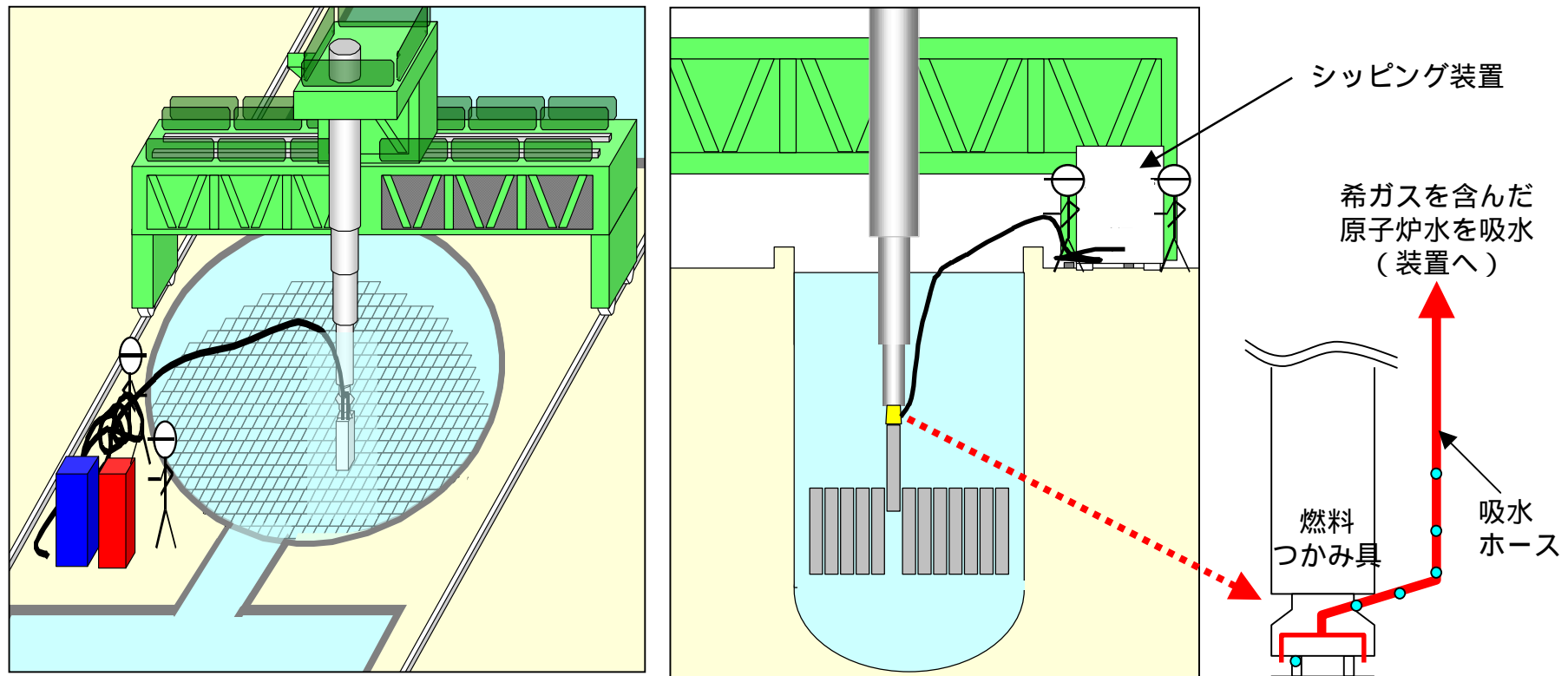
検査・調査	検査・調査項目比較			検査・調査の目的	
	通常 定期検査	漏えい燃料発生時			
		標準的な 対応 <sup>1</sup>	詳細調査を 行う場合 (今回のケース)		
SHIPPING検査	×			漏えい燃料集合体の特定	(4-1)
燃料集合体外観検査	[ 継続装荷燃料 <sup>2</sup> ]	[ 継続装荷燃料 <sup>2</sup> + 漏えい燃料 ]	[ 継続装荷燃料 <sup>2</sup> + 漏えい燃料 ]	燃料集合体の形状・性状の確認 2：継続装荷燃料は燃料タイプ毎に 2体を検査	
超音波検査	×	×		漏えい燃料棒の特定	(4-2)
ファイバースコープによる調査	×	×		漏えい燃料棒およびスペーサ部の外観， 燃料集合体内に侵入した異物，異物痕 跡の確認	(4-3)

1：系統的な要因が疑われず、偶発的な燃料漏えいと推定される場合の対応

- 予断を持たずにあらゆる可能性を考慮して、漏えい燃料の調査を実施し原因を究明していく。



## 4 - 1 シッピング検査の概要



### 検査原理

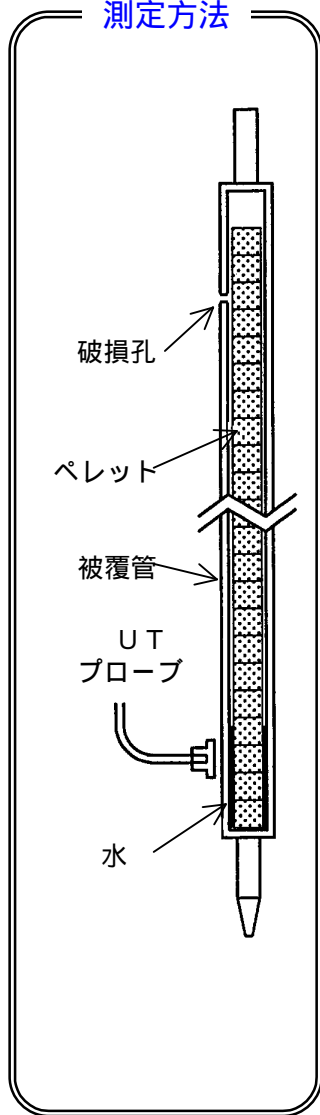
- ・ 燃料集合体を燃料交換機によって吊上げ、周囲の水圧を減少させる。漏えい燃料であれば、水圧の減少に伴い漏えい燃料棒内の放射性希ガスがチャンネルボックス内に放出される。
- ・ 放射性希ガスが溶け込んだチャンネルボックス内の水をサンプリングし、シッピング装置内で気体と液体に分離する。
- ・ 気体中の放射性希ガス量を分析することにより、漏えい燃料か否かを判定。

漏えい燃料の場合

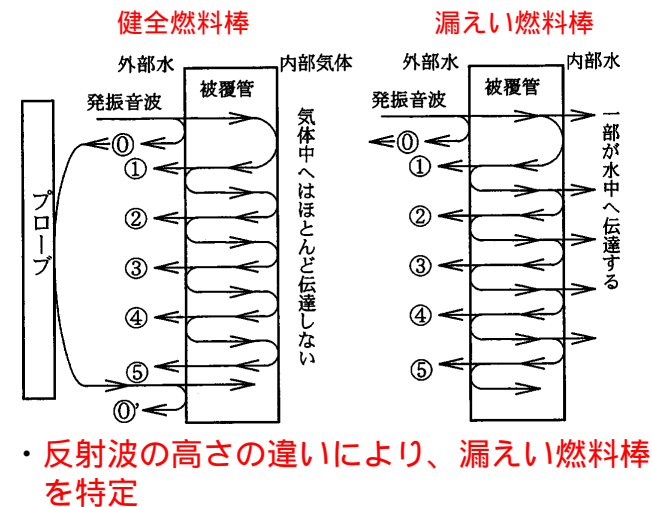
# 4 - 2 超音波検査結果の例

## 7号機第4回定検

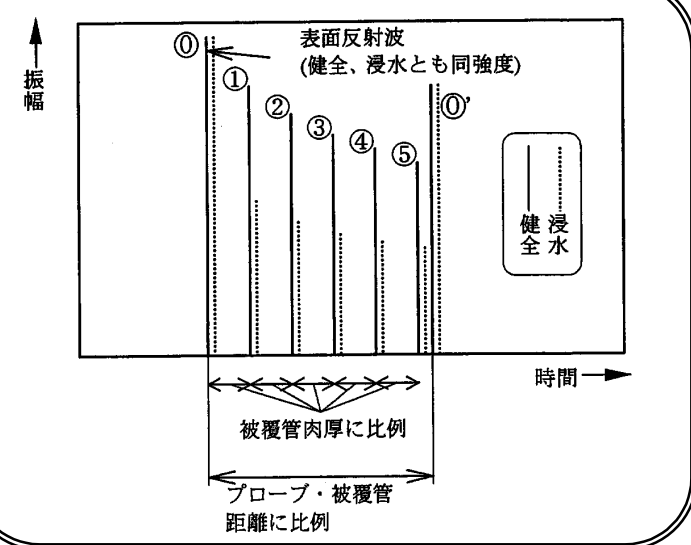
### 測定方法



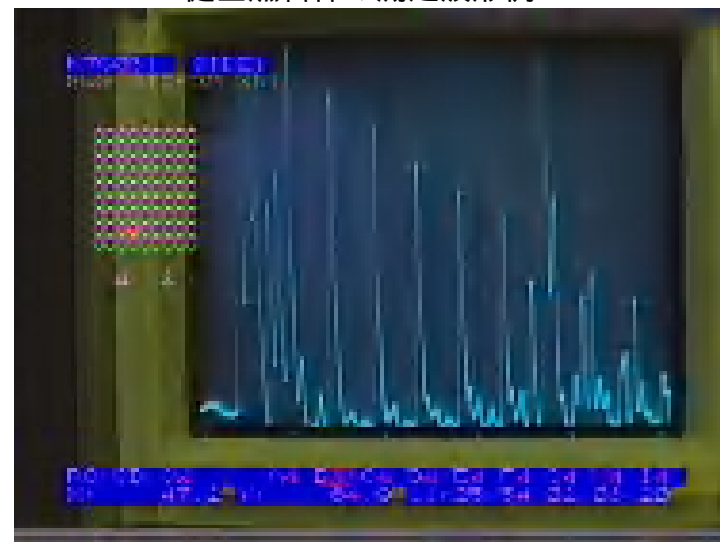
### 測定原理



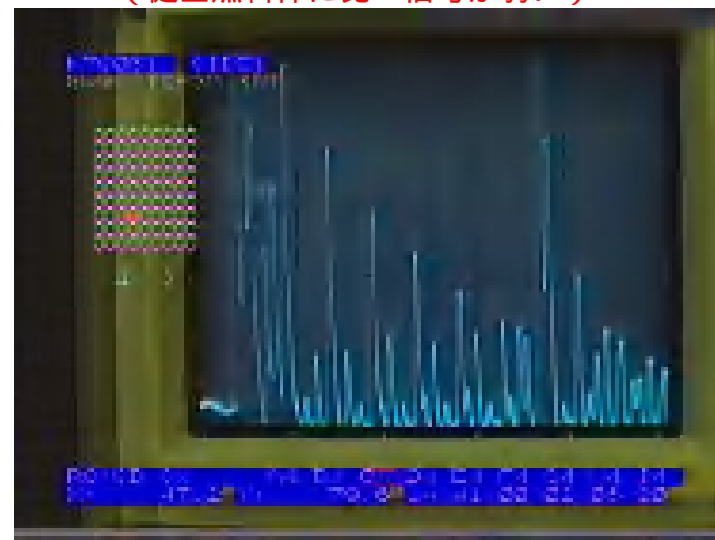
### 測定波形



### 健全燃料棒の測定波形例

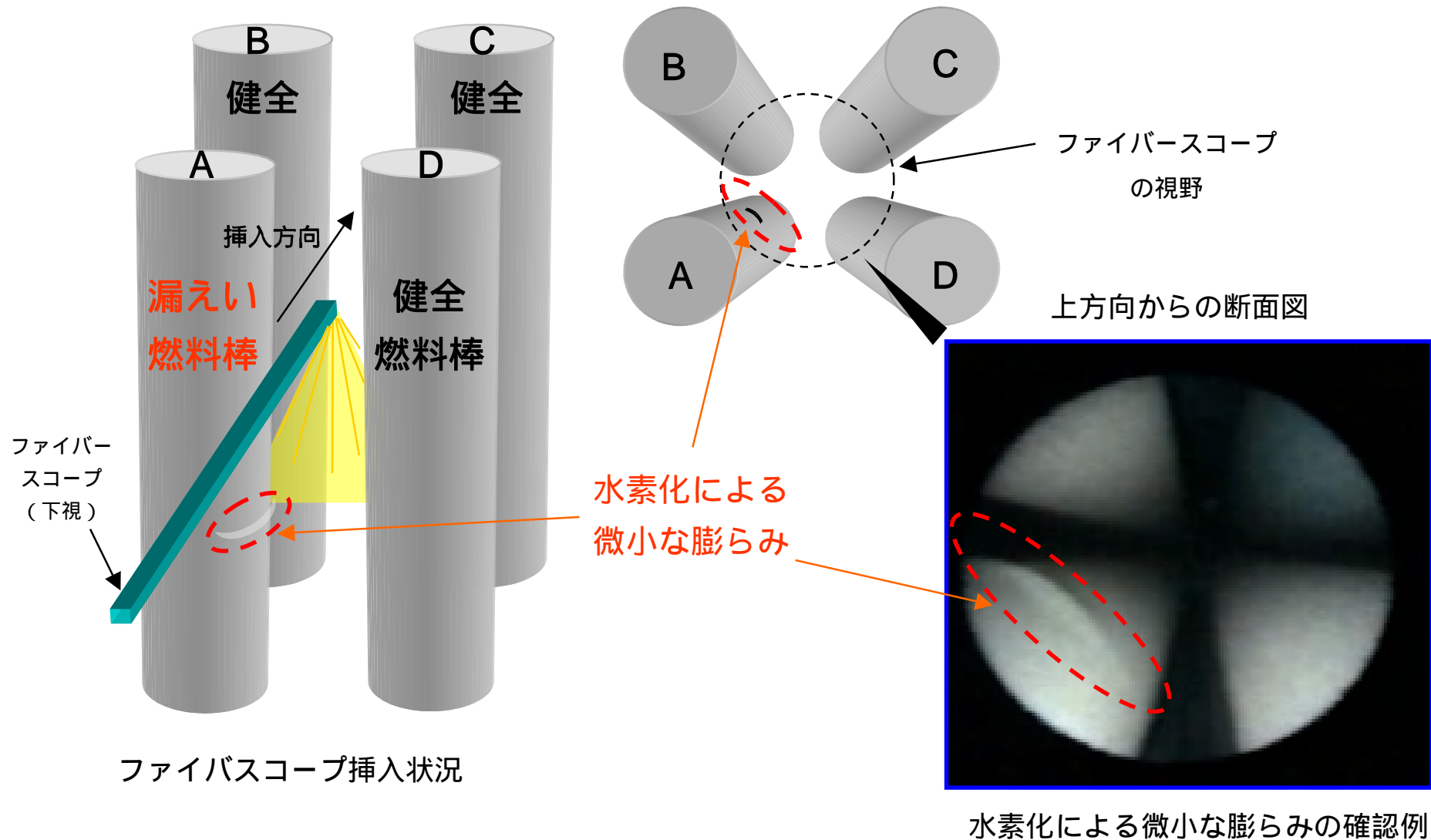


### 浸水燃料棒の測定波形例 (健全燃料棒に比べ信号が弱い)



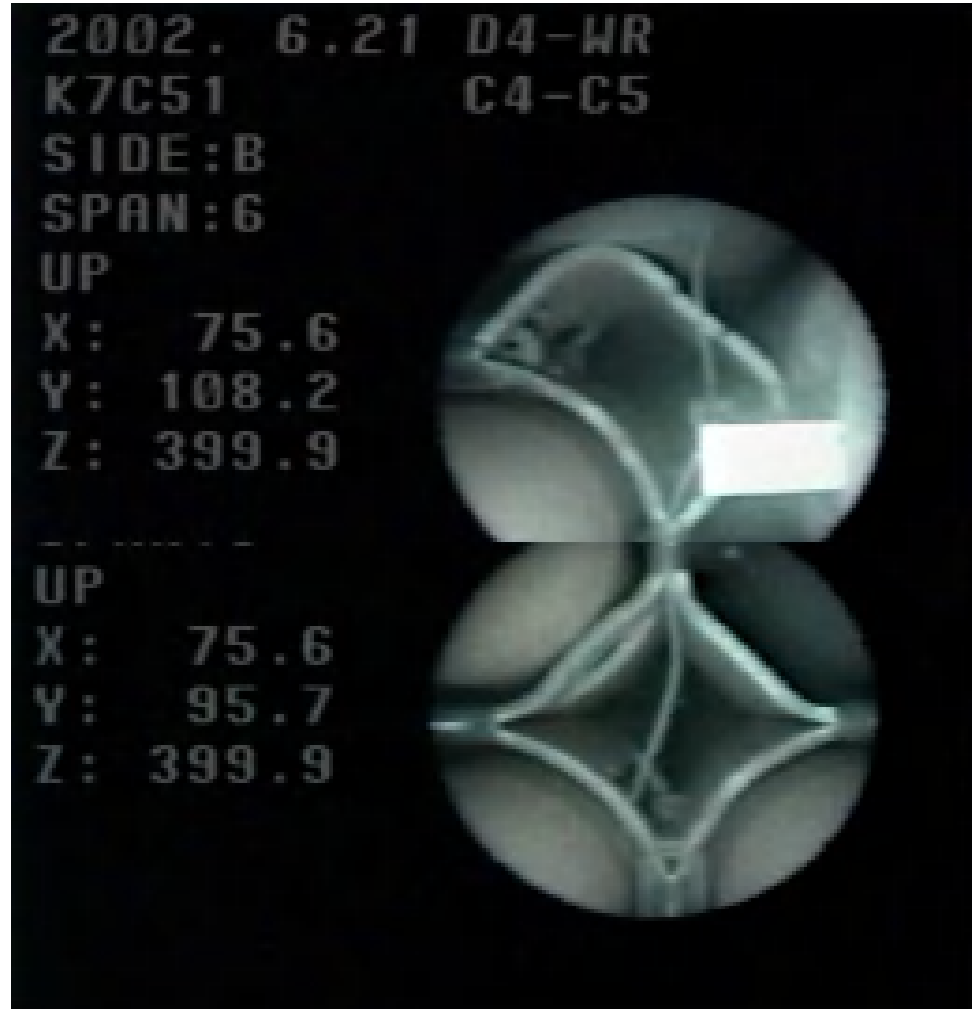
## 4 - 3 ファイバースコープ調査結果の例（1）

- ・ ファイバースコープで燃料集合体内部の異物や漏えい燃料棒の表面状態を確認



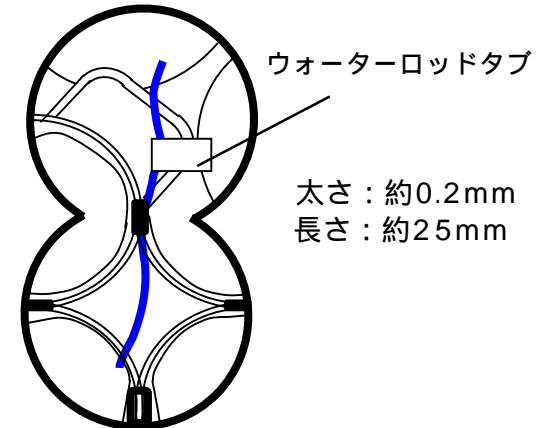
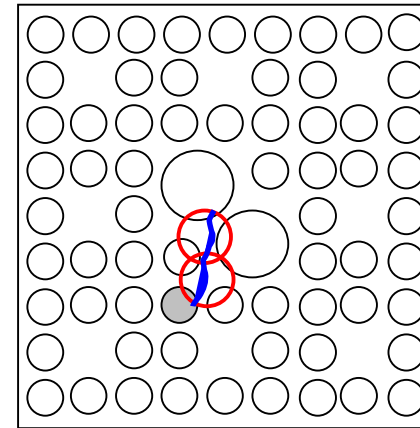
## 4 - 4 ファイバースコープ調査結果の例（2）

- ・異物の確認例（7号機第4回定検）



（スパーサ下方向からの観察）

スパーサと異物の位置関係



今回7号機の調査にあたり、スパーサセルの内側など確認が困難な箇所については、外部照明の追加、照明の当て方の工夫など、少しでも視認性の向上に努める。

## 4 - 5 漏えい燃料の水素化について ( 4 - 3 の補足 )

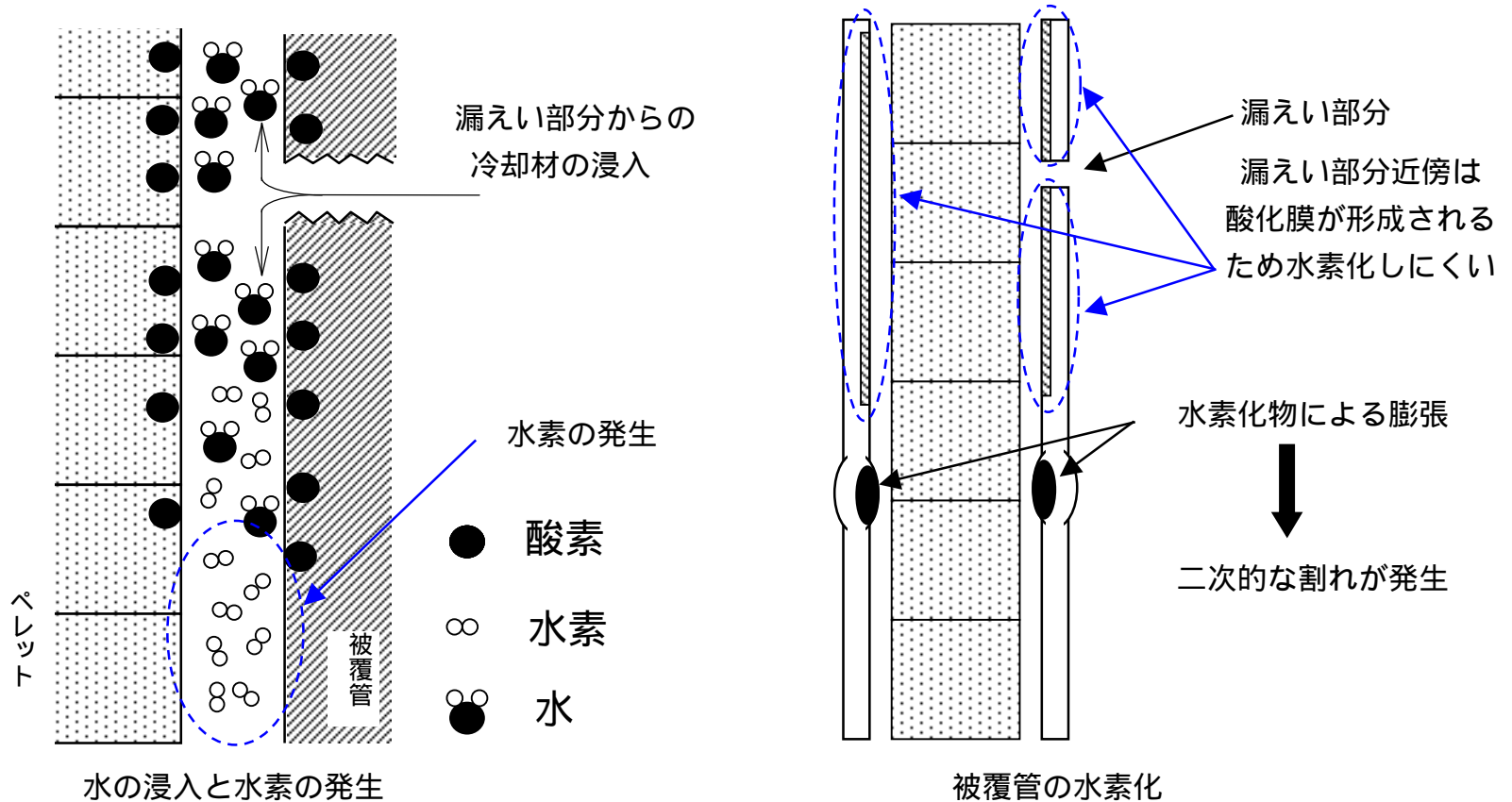
漏えい部分から冷却材 ( 水・水蒸気 ) の浸入

水の放射線分解および被覆管, ペレットの酸化により水素が発生

水素が被覆管に吸収され被覆管が脆化・膨張

被覆管中の水素が外側へ拡散することにより二次的な割れが発生

出力抑制法により  
水素化の進展を抑制



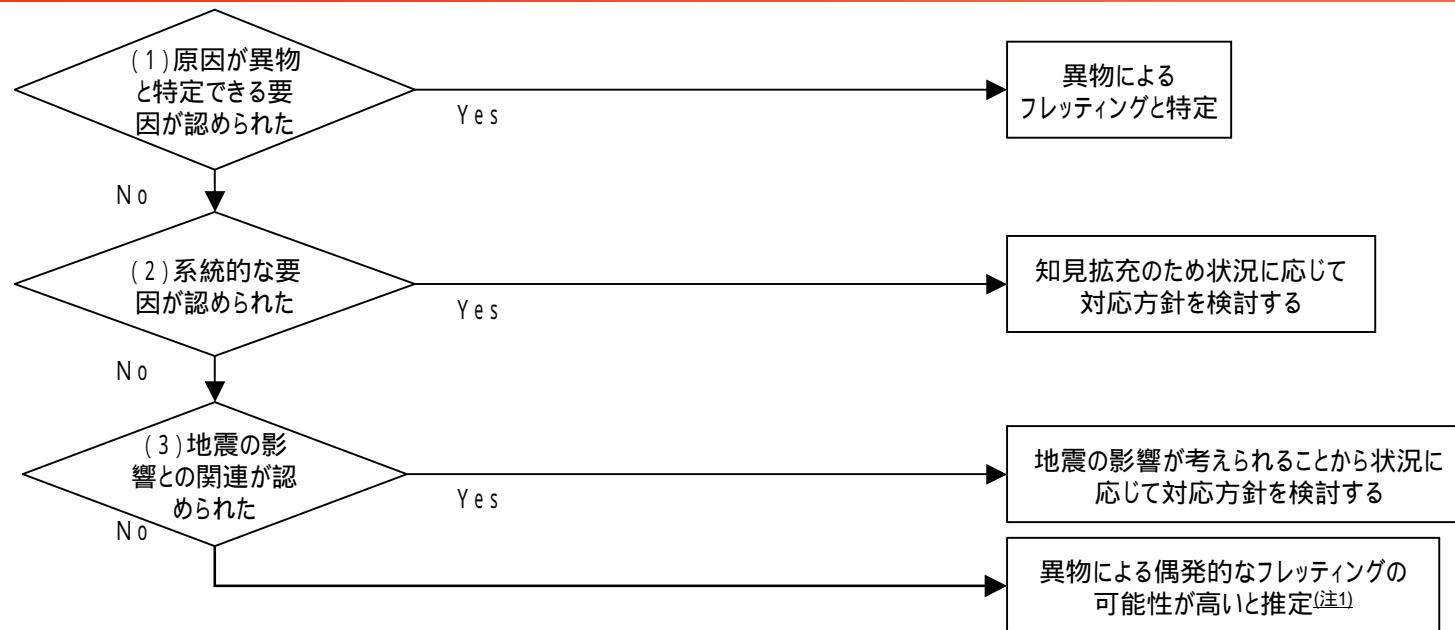
## 4 - 6 漏えい燃料調査項目

調査対象	確認箇所	確認内容	調査方法	調査のポイント	判断基準	備考
燃料棒	燃料棒 外観・形状	異物の影響	TVカメラ ファイバースコープ	擦れ痕の確認	●異物によるフレッティング痕があること	
		系統的影響	TVカメラ ファイバースコープ	異常腐食等の確認	●複数の燃料棒に同様の問題（異常腐食等）が見られること	
		地震の影響	TVカメラ ファイバースコープ	変形・損傷の確認	●変形・損傷（ゆがみ・つぶれ等）が見られること	
	燃料棒間隙	地震の影響	TVカメラ	間隙の変化の確認	●燃料棒間隙に異常があること	透過光による確認を含む
スペーサ	スペーサバンド 外観・形状	地震の影響	TVカメラ ファイバースコープ	変形・損傷の確認	●変形・損傷が見られること	
	スペーサセル 外観・形状	地震の影響	ファイバースコープ （外部照明による確認を含む）	変形・損傷の確認	●変形・損傷が見られること ●セル管溶接部が外れるなどの異常があること	
タイプレート	タイプレート 外観・形状	地震の影響	TVカメラ	変形・損傷の確認	●変形・損傷が見られること	
その他部材	その他部材 外観・形状	地震の影響	TVカメラ	変形・損傷の確認	●変形・損傷が見られること ●部品の脱落等の異常があること	膨張スプリング ロックナット 固定ワッシャ
その他	燃料体表面 及び燃料体内	異物の影響	TVカメラ ファイバースコープ	異物の確認	●異物が燃料棒に触れていること ●異物によるフレッティング痕周辺に異物があること	スペーサ上下及び 燃料棒とスペーサ セルの隙間など
	漏えい燃料体 ・漏えい燃料棒	系統的影響	SHIPPING検査 超音波検査 ファイバースコープ	漏えい燃料体・漏えい燃料棒の特定	●複数の燃料体、あるいは複数の燃料棒に漏えいがあること	

いずれの点検においても、燃料の構造上及び点検装置の特性（性能）上、確認できない部位がある。  
（例：スペーサセルの内側、燃料チャンネル着脱機フィクスチャ部の陰など）



## 4 - 7 漏えい燃料調査における原因判定フロー



	確認内容	調査方法
(1) 原因が異物と特定できる要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>■燃料集合体内に異物があり、燃料棒に触れていないか<sup>(注2)</sup></li> <li>■異物によるフレットング痕がないか</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■外観検査</li> <li>■ファイバースコープ調査</li> </ul>
(2) 系統的な要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>■複数の燃料棒に腐食等の同様な問題が認められないか</li> <li>■複数の燃料棒で漏えいが発生していないか</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■運転中監視データの確認</li> <li>■シッピング検査    ■外観検査</li> <li>■超音波検査        ■ファイバースコープ調査</li> </ul>
(3) 地震の影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>■燃料棒に損傷・つぶれがないか</li> <li>■燃料棒間隔に異常がないか</li> <li>■燃料棒以外の構成要素（スペーサなど）の損傷・変形がないか<sup>(注3)</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■外観検査</li> <li>■燃料棒間隙調査</li> <li>■ファイバースコープ調査</li> </ul>

(注1) 異物の影響によって漏えいを生じた場合でも、ファイバースコープによる観察の限界あるいは異物の離脱により異物が確認されず、かつ擦れ痕も確認されない場合がある。

(注2) 水中テレビカメラまたはファイバースコープの画像から異物を特定する。

(注3) スペーサセルの内側など確認が困難な箇所については、本点検結果や過去の研究施設等における調査結果により総合的に評価する。