

これまでの委員からのご質問への回答について  
(川内1号機で発生した燃料集合体漏えいの対策について)

平成30年10月31日  
九州電力株式会社

## 1. 川内1号機で発生した燃料集合体漏えいの対策について

### 【ご質問】

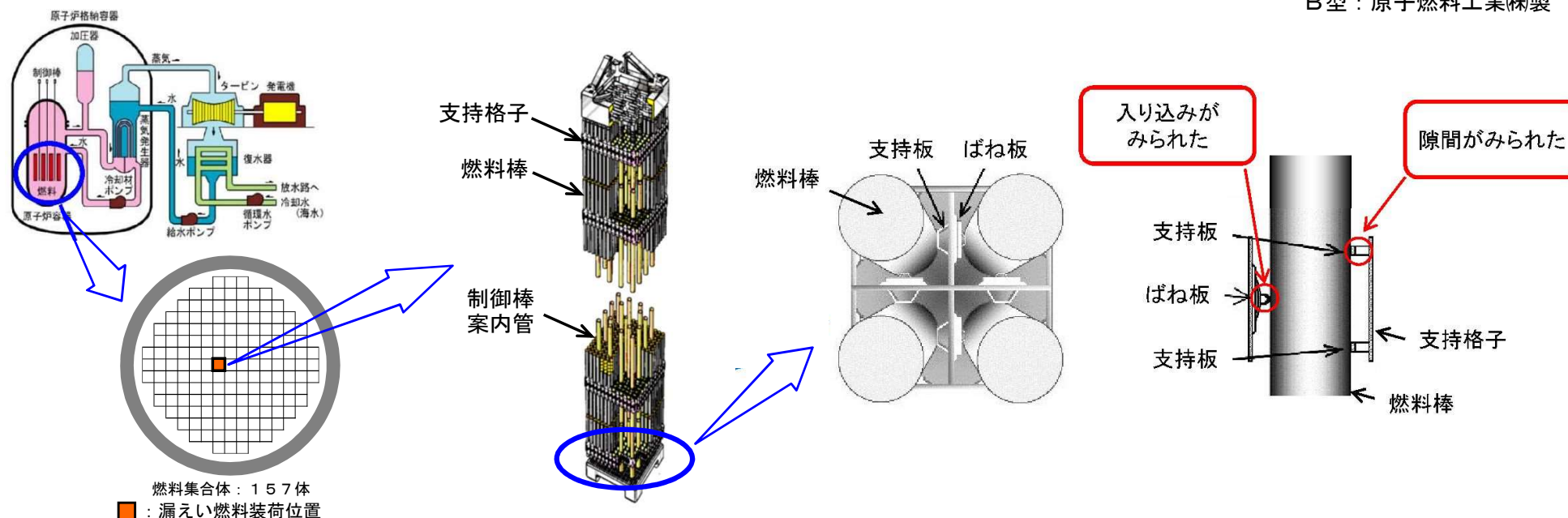
川内1号機での燃料集合体漏えい発生に関して、他社における同様の事象を踏まえた対策はどのようになっているのか。  
また、今回の漏えいを踏まえた対策が十分であることをどのように担保しているのか。

1	前回の報告概要	1
2	他社における同タイプ燃料集合体の漏えい事象	2
3	今回の川内1号機漏えい燃料集合体について	7
4	今回の川内1号機漏えい燃料集合体に対する対策	11
5	まとめ	14

# 1 前回の報告概要

- 通常運転中のところ、1次冷却材中のよう素131濃度がこれまでの測定値に比べ若干上昇したことが認められたため、プレス公表を行うとともによう素131濃度が保安規定に定める運転上の制限値を十分下回っていることを確認しながら運転を継続した。
- 第23回定期検査において、燃料集合体 SHIPPING 検査及び漏えい燃料集合体外観検査等の調査を実施した結果、17×17型 A 型\*55GWd/tウラン燃料集合体（以下「A 型 55GWd/t燃料」と称す）1 体（燃料棒 1 本）に漏えいがあることが確認された。
- その原因は、燃料棒と支持格子の間に隙間が生じ燃料棒の微小な振動が起きたことにより、燃料被覆管の摩耗によって微小孔が生じたと推定した。
- 対策として、当該燃料と同じ製造時期の燃料集合体を再使用する場合は、摩耗が発生しないようにするために、炉心中央領域（炉心中心位置及びその周囲 8 箇所）に構造の異なる燃料集合体と隣接して装荷しないこととする。

\* A 型：三菱原子燃料(株)製  
B 型：原子燃料工業(株)製



## 2 他社における同タイプ燃料集合体の漏えい事象

### 2.1 4ループプラント（以下「4ループ」と称す）における漏えい事象

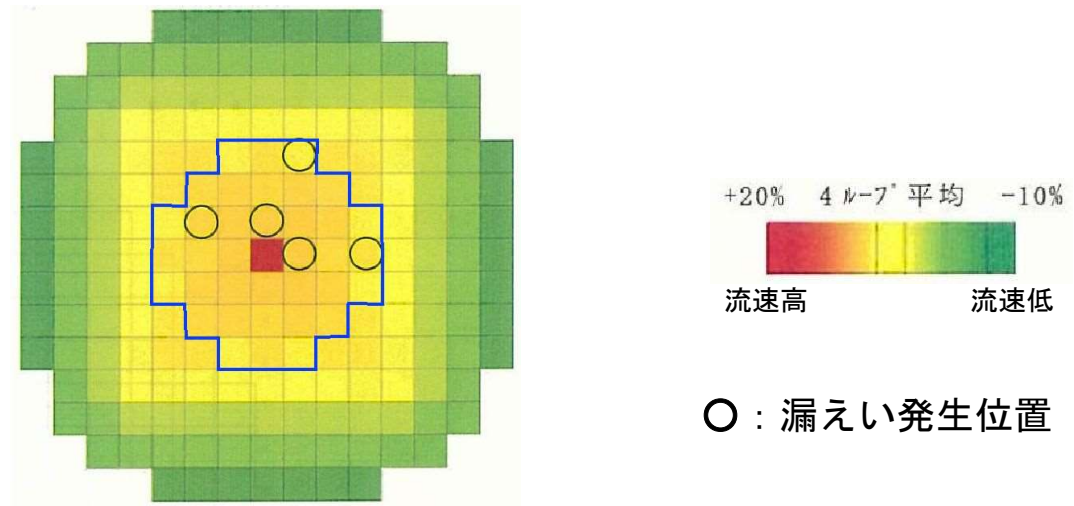
#### (1) 事象概要

国内の他社4ループにおいて、平成20～22年にかけて今回の川内1号機で漏えいが発生したものと同タイプのA型55GWd/t燃料にフレットニング摩耗が要因と推定される燃料集合体漏えいが発生した。（3プラント、燃料集合体5体）

#### (2) フレットニング摩耗発生 の推定要因

##### a 炉内の1次冷却材の流れ

炉心中央領域の流速が速い位置に装荷されたことにより、燃料棒の振動が大きくなった可能性がある。



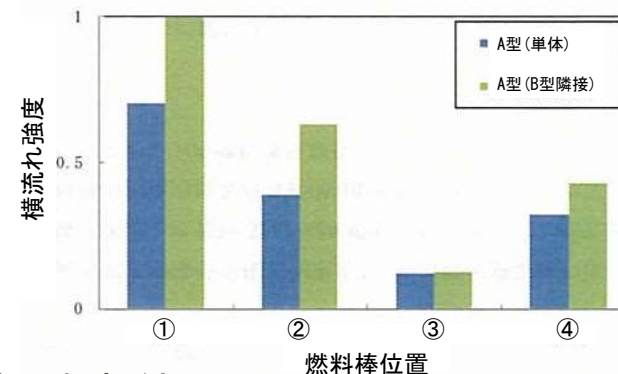
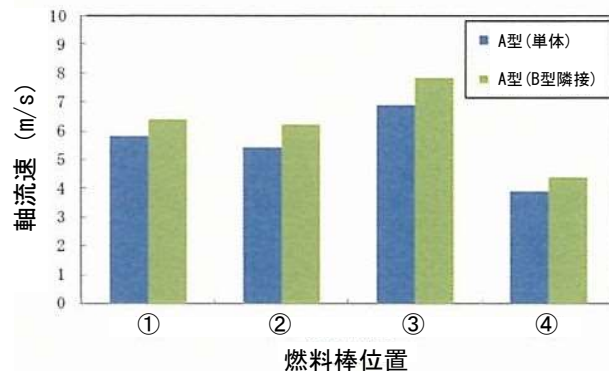
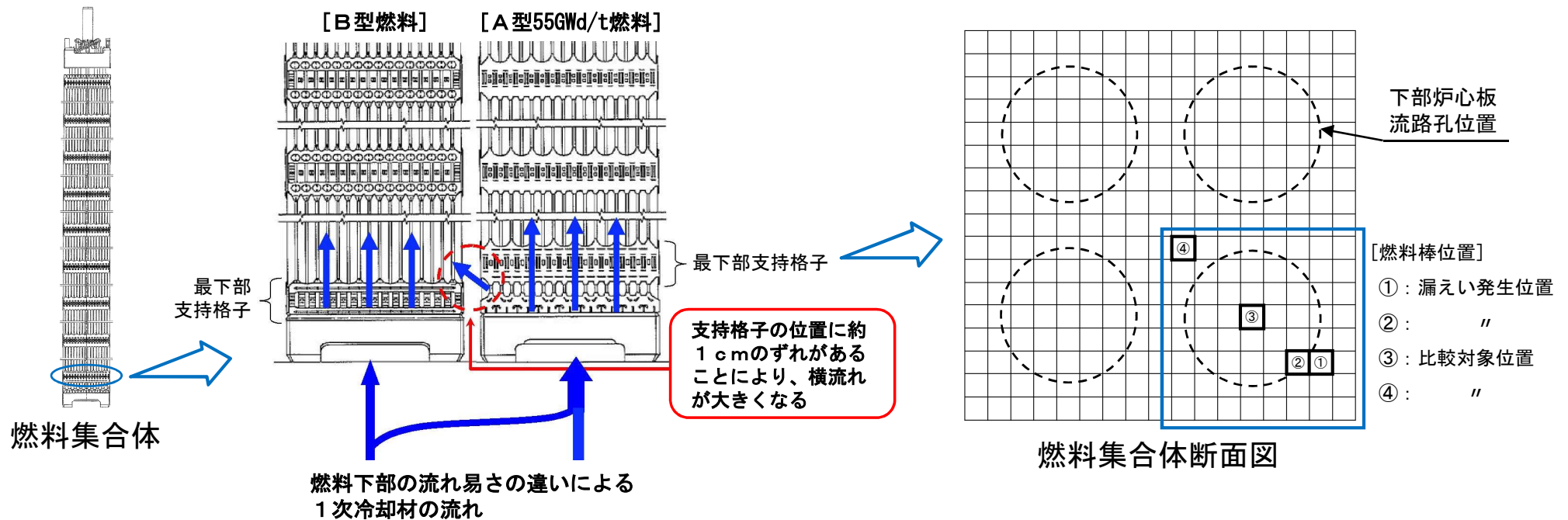
炉内軸流速分布  
（解析結果）

○：漏えい発生位置

## 2 他社における同タイプ燃料集合体の漏えい事象

### b 燃料集合体の種類の相違

構造の異なる燃料集合体（B型燃料）を隣接すると、最下部支持格子の位置（上下方向）にずれが生じること、及び構造の違いによる流れ易さの違いのため、A型55GWd/t燃料を流れる1次冷却材の流速が速くなり、燃料棒の振動が大きくなった可能性がある。

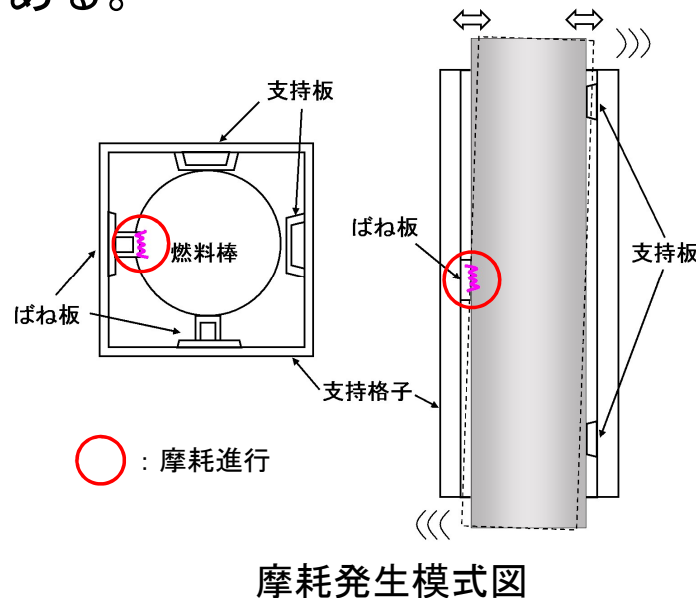


軸流速及び横流れ強度（解析結果）

## 2 他社における同タイプ燃料集合体の漏えい事象

### c 摩耗の発生

中性子照射により最下部支持格子が燃料棒を保持する力が低下したこと等から、最下部支持格子の支持板やばね板と燃料棒との接触が一部離れる現象（リフトオフ）が発生することで、燃料棒の振動が大きくなり、摩耗が大きくなった可能性がある。



### (3) 対策

漏えい実績及び推定要因から、4ループにおけるA型55GWd/t燃料の使用時には以下の対策を行っている。

- ① 1次冷却材の流速が速い炉心中心位置には装荷しない。
- ② 燃焼度を抑制することで、フレットング摩耗が大きく進行することを防止することができ、また支持格子のばね力の照射緩和の進行を防止することができることから、これまでの漏えいが発生した燃焼度以上とならないよう、燃焼度を管理する。



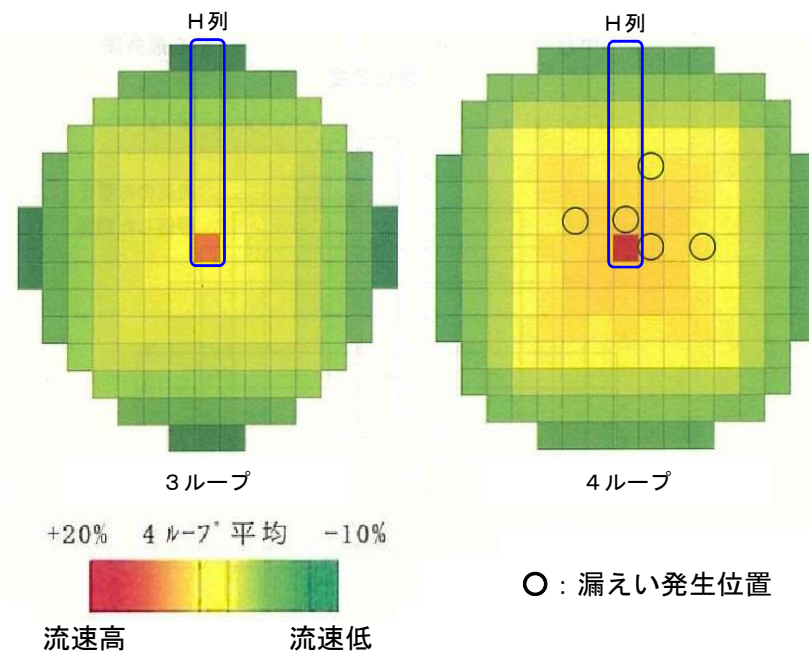
## 2 他社における同タイプ燃料集合体の漏えい事象

### (4) 3ループプラント（以下「3ループ」と称す）における評価

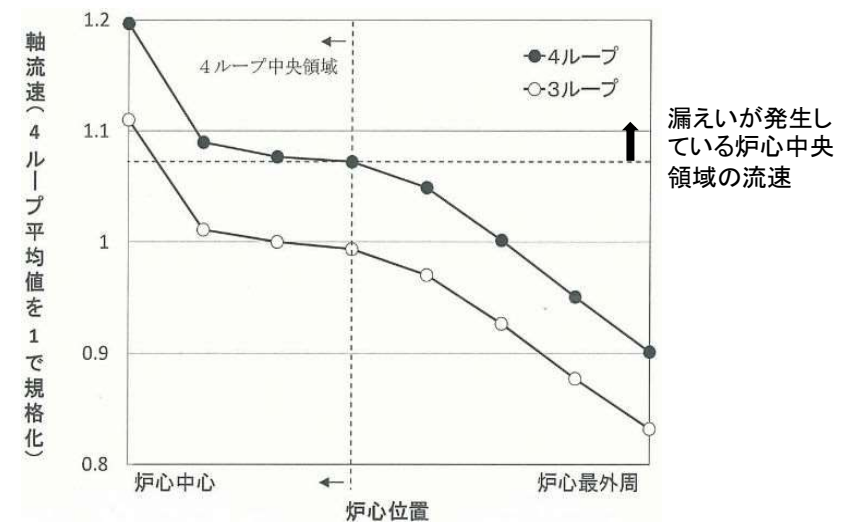
#### a 1次冷却材の流れの違いによる推定

3ループにおける原子炉内の1次冷却材の流れは、炉心中心位置の1箇所を除き、4ループで燃料集合体漏えいが発生している炉心中央領域の流速を下回っている。

このことから、3ループにおいては、フレットニング摩耗の推定要因とされている燃料集合体内部での1次冷却材の流れが4ループと比較して相対的に小さく、燃料集合体漏えいが発生する可能性は低いと考えられる。



軸流速の比較



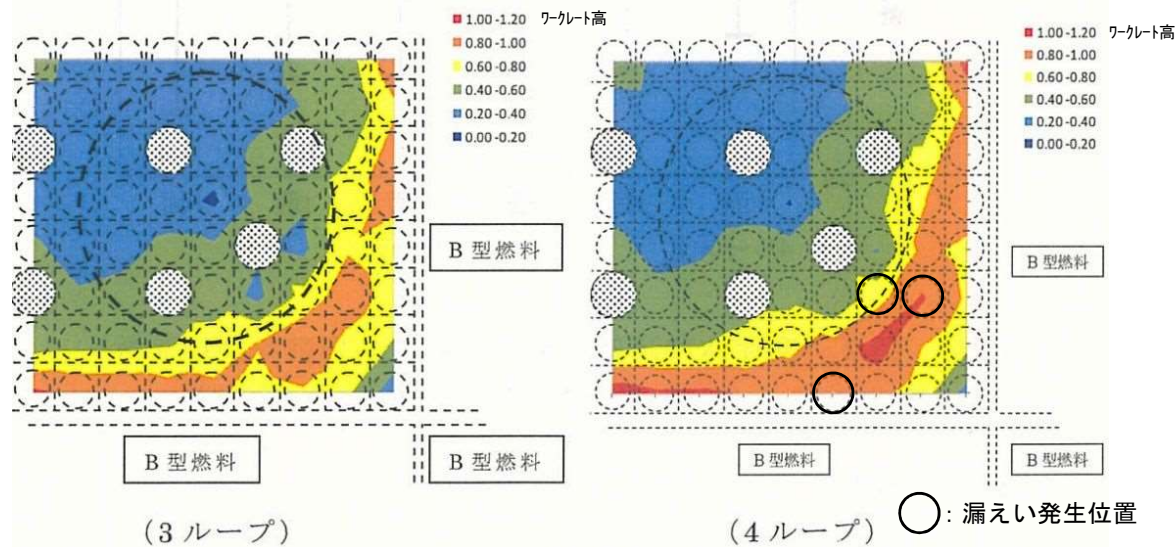
4ループと3ループの軸流速分布比較  
(H列での比較)



## 2 他社における同タイプ燃料集合体の漏えい事象

### b 解析による評価結果

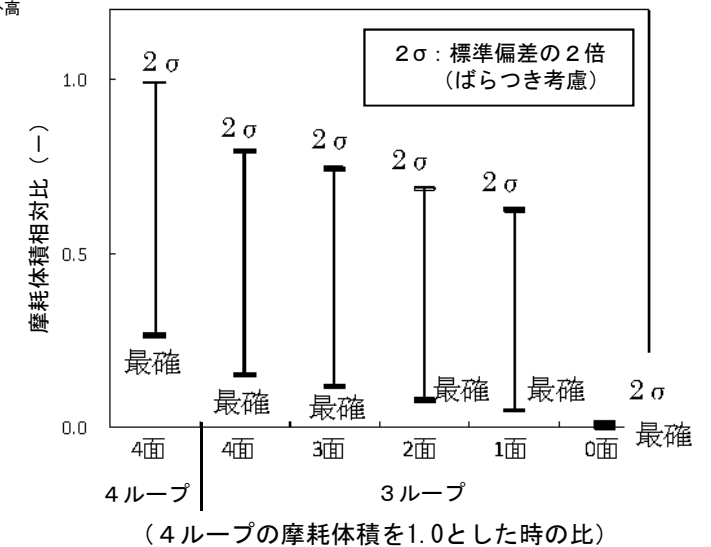
原子炉内の1次冷却材の流れが4ループより遅いことから、集合体内での横流れ及び隣接燃料の影響が緩和され、その結果、3ループでの摩耗体積は、4ループよりも相対的に小さくなることが分かった。



\* 4ループにおけるA型55GWd/t燃料（B型燃料1面隣接時）の最大ワークレートを1.0とした場合の相対比

[ワークレート]

燃料棒が支持格子の支持板、ばね板と接触しながら振動する際の単位時間当たりの荷重×滑り距離、すなわち時間当たりの仕事量

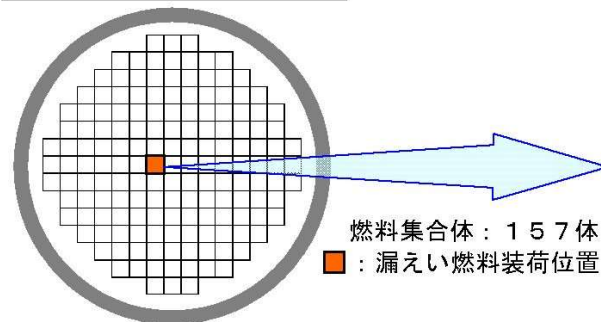


摩耗体積評価結果の比較  
(B型燃料隣接面数)

### 3 今回の川内1号機漏えい燃料集合体について

3.1 漏えい燃料集合体の概要  
 第23回定期検査において、漏えい燃料集合体を特定する調査を実施した結果、1体に漏えいが認められた。漏えいが認められた燃料集合体について、超音波及びファイバースコープ等による詳細調査を実施した結果、燃料棒1本に漏えいを確認し、その原因は、燃料棒と支持格子の間に隙間が生じ燃料棒の微小な振動が起きたことにより、燃料被覆管の摩耗によって微小孔が生じたと推定した。

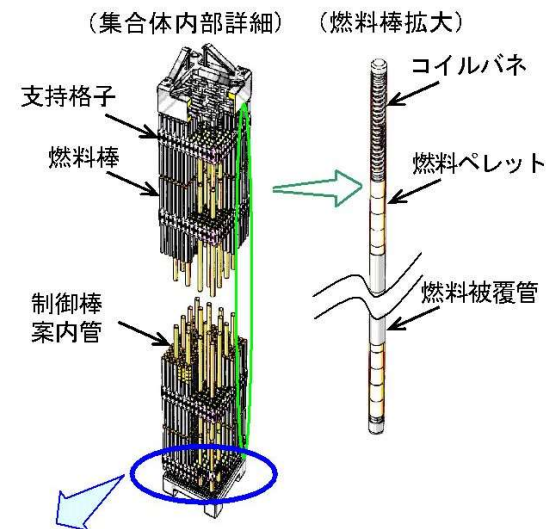
燃料集合体装荷位置図



○漏えい燃料集合体の仕様概要

燃料タイプ	ウラン燃料
使用開始時期	平成20年10月 (4サイクル使用燃料)
燃料集合体最高燃焼度(設計)	55,000 MWd/t

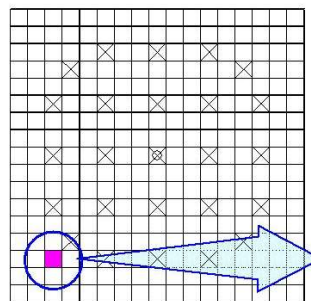
燃料集合体概要図



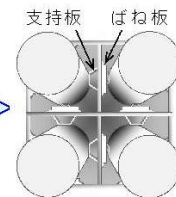
外観調査状況概要

○ファイバースコープにより外観調査を実施した結果、燃料棒と支持板及びばね板の間に隙間及び入り込みが認められました。

燃料棒配置図



- ：漏えい燃料棒位置
- ：燃料棒
- ⊗：制御棒案内管
- ⊗：炉内計装用案内管



燃料棒表面

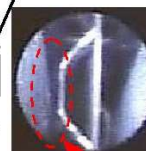
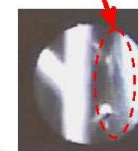


支持格子内

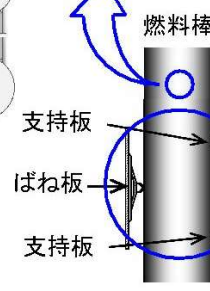


ばね板の燃料棒への入り込みが見られる

支持板



燃料棒と支持板の間に隙間が見られる



### 3 今回の川内1号機漏えい燃料集合体について

#### 3.2 漏えい発生後の燃料集合体調査

##### (1) 漏えい燃料集合体の調査

以下の調査を行い、問題ないことを確認した。

	運転履歴	水質履歴	製造履歴	取扱履歴	
調査項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>最大線出力密度</li> <li>DNB比</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電気伝導率</li> <li>pH</li> <li>塩素イオン</li> <li>溶存酸素</li> <li>溶存水素</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ペレット</li> <li>被覆管</li> <li>コイルばね</li> <li>燃料棒</li> <li>端栓</li> <li>支持格子</li> <li>燃料集合体</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>新燃料受入</li> </ul>	
				19回定検	<ul style="list-style-type: none"> <li>新燃料移動</li> <li>装荷</li> </ul>
				20回定検	<ul style="list-style-type: none"> <li>取出</li> <li>装荷</li> </ul>
				21回定検	<ul style="list-style-type: none"> <li>取出</li> <li>装荷</li> <li>再取出</li> <li>外観検査</li> <li>再装荷</li> </ul>
				22回定検	<ul style="list-style-type: none"> <li>取出</li> <li>装荷</li> </ul>

##### (2) 燃料集合体の追加調査

###### ① 漏えい燃料集合体

漏えい燃料棒以外の最下部支持格子内の燃料棒全数について、ファイバースコープによる調査を実施した結果、最下部支持格子内の燃料棒と支持板及びばね板の間で隙間及び入り込みは認められなかった。

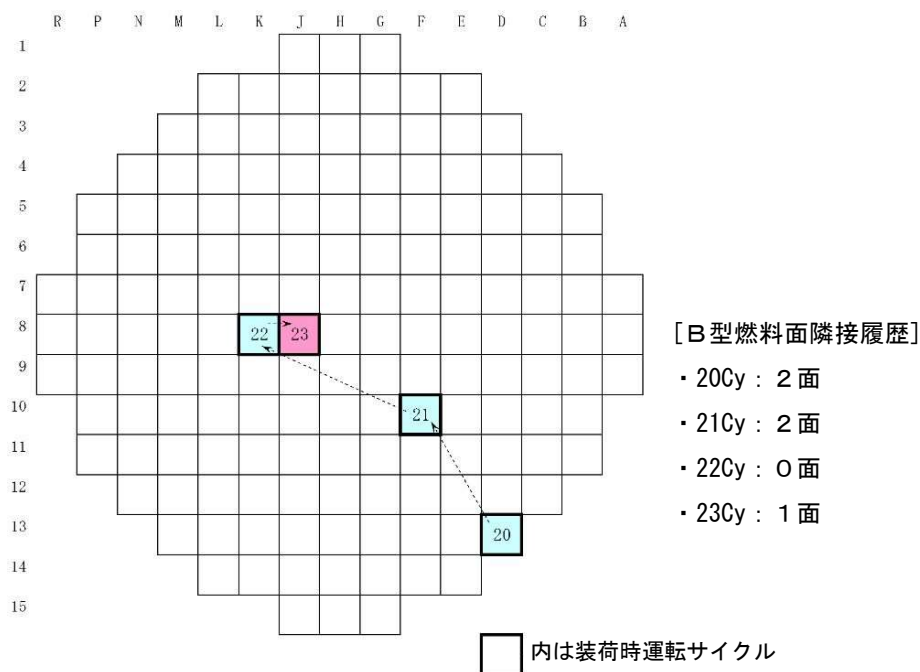


### 3 今回の川内1号機漏えい燃料集合体について

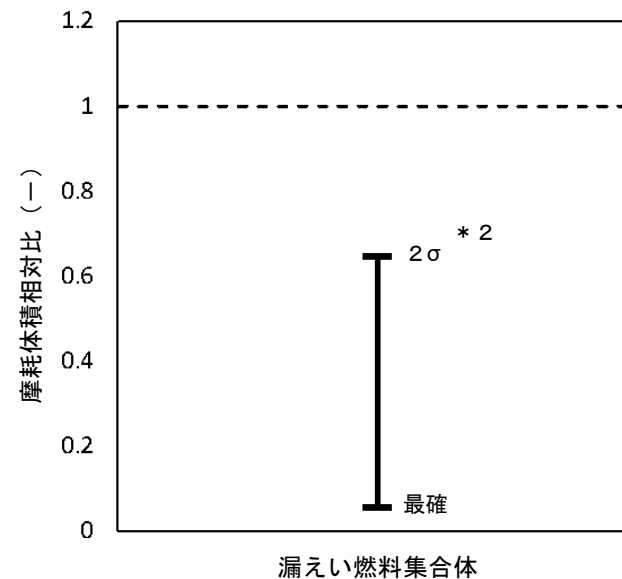
#### (3) 摩耗評価結果

漏えいが認められた燃料集合体について、摩耗評価を実施した結果、被覆管肉厚相当の摩耗体積を「1」とした場合、当該燃料集合体は「0.67」であり、摩耗評価上漏えいには至らないことを確認した。

このため、製造のばらつき等による、偶発的な要因が重畳したものと推定される。



漏えい燃料集合体装荷履歴図



#### 漏えい燃料集合体摩耗評価結果

(貫通摩耗体積を1.0とした時の比)

\* 2 : 標準偏差の2倍のばらつきを考慮

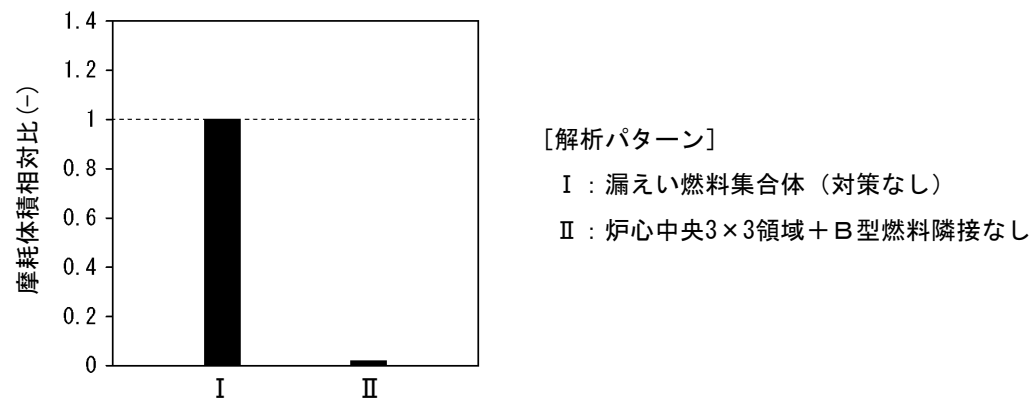
## 4 今回の川内1号機漏えい燃料集合体に対する対策

### 4.1 対策内容

(1) 同じ製造時期の燃料集合体は、炉心中央領域（炉心中心位置及びその周囲8箇所）に構造の異なる燃料集合体（B型燃料）と隣接して装荷しないこととする。

#### a 評価結果

- 漏えい燃料集合体を対象に、第4サイクルにおいて炉心中央領域にB型燃料との隣接をなくす条件で摩耗評価を実施し、効果を確認した。
- その結果、対策を行った場合の摩耗体積は大きく低下しており、A型55GWd/t燃料に対する運用上の対策が十分効果的であることが確認できる。



対策を行った場合の摩耗評価

(漏えい燃料集合体 (対策なし) の摩耗体積を1.0とした時の比)

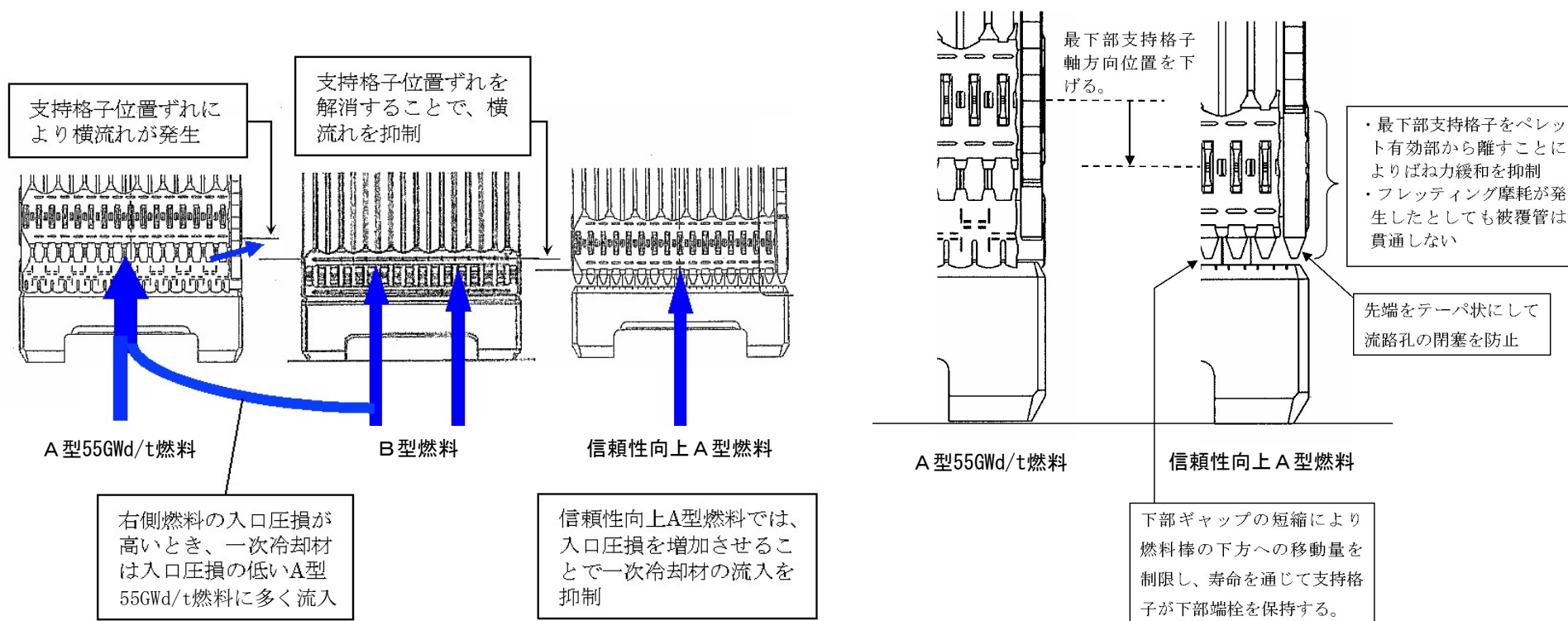


## 4 今回の川内1号機漏えい燃料集合体に対する対策

(2) フレッシング摩耗に対して信頼性を向上させたA型燃料集合体を順次導入する。

### a 信頼性向上A型燃料の概要

川内1/2号機では、前述のフレッシング摩耗に対して信頼性を向上させたA型燃料集合体を順次導入している。その内容は以下のとおりである。



炉心入口部の1次冷却材流れの改善

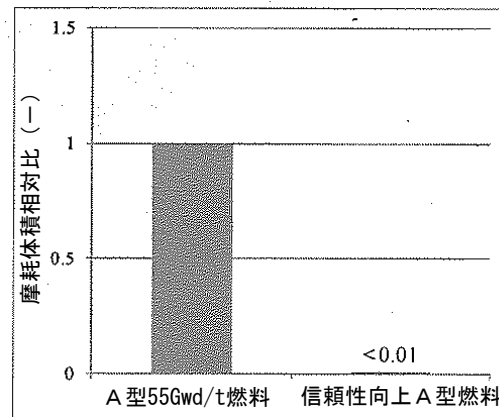
燃料集合体下部構造の改善



## 4 今回の川内1号機漏えい燃料集合体に対する対策

### b 信頼性向上A型燃料の摩耗評価

信頼性向上A型燃料についてフレッティング摩耗評価を行った結果、摩耗量は大幅に低減されていることを確認した。（出典：ICONE23-2204）



摩耗体積比較（解析結果）

### c 信頼性向上A型燃料の使用実績

現在運転中の川内1号機の原子炉には、今回漏えいが発生した燃料集合体と同タイプの燃料集合体は装荷しておらず、A型55Gwd/t燃料は全て信頼性向上A型燃料に置き換わっている。

当社は、今後とも、安全確保を最優先に、  
発電所の安全、安定運転に努めてまいります。