

7号機
燃料からの放射性物質漏えい事象に係る
委員ご質問への回答

平成21年12月21日



東京電力

委員ご質問への回答 回答項目

1. ABWRにおける漏えい燃料の発生確率について

(平成21年11月4日開催 第28回設備小委分)

2. 異物フィルターの捕捉試験について

(平成21年11月17日開催 第29回設備小委分)

3. 燃料における材料のばらつきの影響について

(平成21年11月4日開催 第28回設備小委分)

委員ご質問（１） ABWRにおける漏えい燃料の発生確率について

（質問）

- ・ ABWR（6，7号機）はBWRと比べて燃料破損が多いのではないか？

（回答）

次ページ参照

1-1 漏えい燃料発生率の比較

高燃焼度8×8燃料以降(H21年9月末時点)
漏えい燃料が発生したプラントのみ記載

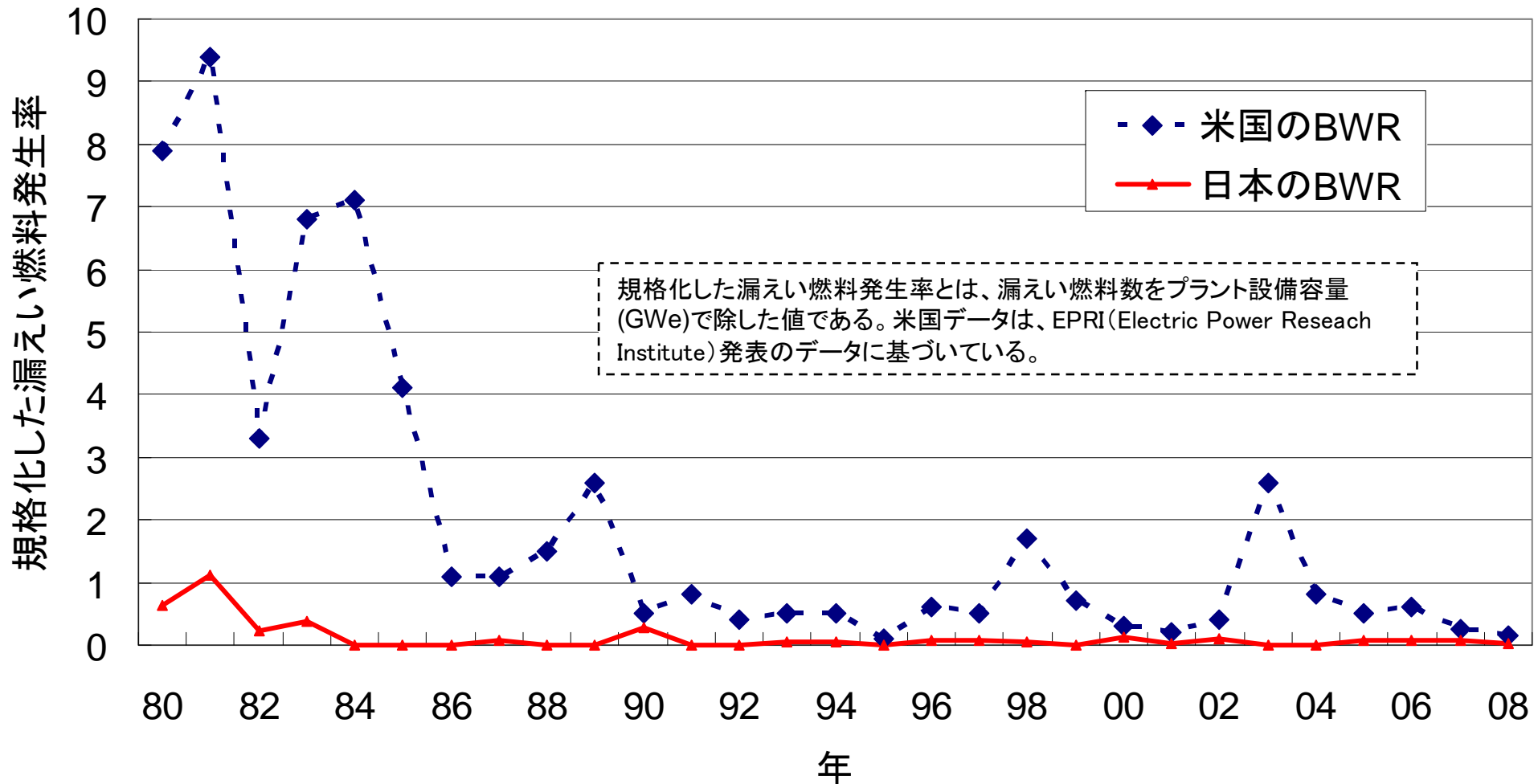
号機	漏えい燃料発生率※ ()内は漏えい燃料体数	使用燃料棒本数
柏崎刈羽・1号機	5万1千本に1本(2体)	102,130本
柏崎刈羽・2号機	13万8千本に1本(1体)	137,680本
柏崎刈羽・6号機	5万5千本に1本(3体)	166,226本
柏崎刈羽・7号機	2万9千本に1本(5体)	147,364本
福島第一・3号機	8万8千本に1本(1体)	87,656本
福島第一・4号機	4万本に1本(2体)	79,392本
福島第一・6号機	12万7千本に1本(1体)	126,672本
福島第二・2号機	6万1千本に1本(2体)	121,744本
福島第二・4号機	12万9千本に1本(1体)	129,368本
当社全体	11万1千本に1本(18体)	1,995,936本
国内全体(BWR)	14万7千本に1本(22体)	3,233,860本

※漏えい燃料発生率＝
漏えい燃料体数／使用燃料棒本数
(*母数に新燃料含む)

- 6, 7号機の漏えい燃料体数は、数値として比較すると若干高い値を示しているが、使用する燃料棒の本数も多いことから、漏えい燃料発生率の値で比較するとその差は小さな値の差であり、6, 7号機が特に高いとは言いがたい。
(P.6,7参照)

1-2 漏えい燃料発生率の比較

日米の漏えい燃料発生率の比較



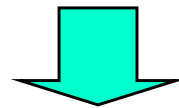
- 米国においては近年漏えい燃料の発生低減に努めており、2004年頃から減少傾向を示している。日本における漏えい燃料発生率は更に低い値を維持している。

1-3 漏えい燃料発生率の比較

- 異物による漏えい燃料の発生は、漏えいを一度起こしたプラントは、その後も漏えいを再発することがある。
- また、漏えいを一体も起こしていないプラントも数多くあり、漏えいを続発していたプラントでも、その後異物による漏えいの発生低減に成功している例もある。

(P.8参照)

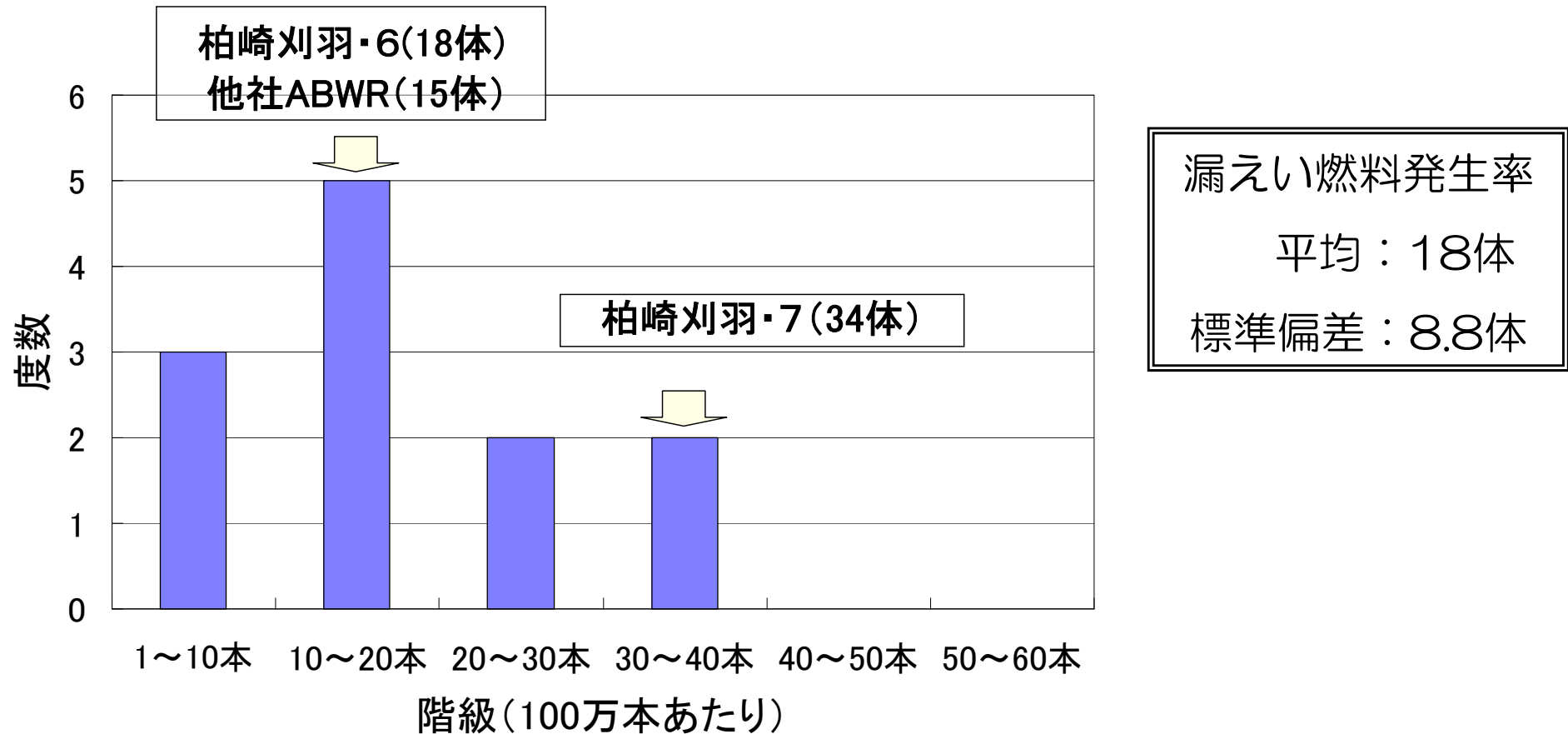
- 当所において異物混入防止対策を開始して以降、7号機においては第5回定検時装荷燃料以降の漏えい燃料は発生していない。また、6号機においては9×9燃料の漏えい事象は発生していない。



- 今後とも、作業管理を含めた原子炉内への異物混入防止対策の徹底および異物フィルタ付き燃料の導入（異物フィルタの改良検討含む）により、漏えい燃料の更なる発生低減に努める。

【参考】漏えい燃料発生率の統計評価（発生率のヒストグラム）

漏えい燃料発生率（燃料棒100万本あたりの発生数）のヒストグラム
（国内漏えい燃料発生プラント）



- 6、7号機の漏えい燃料発生率は、国内の漏えい燃料発生プラントにおける発生率の分布の範囲内（標準偏差の2倍以内）にあり、このような評価をすると、他社プラントを含めてもABWRで発生率が必ずしも多いとは言いがたい

【参考】漏えい燃料発生率の統計評価（比率の差の検定）

柏崎刈羽7号機と各号機の漏えい燃料発生率の差の検定

号機	検定統計量 (Z_0)
柏崎刈羽6号機	0.88
柏崎刈羽2号機	1.55
柏崎刈羽1号機	0.67
福島第一6号機	1.45
福島第一4号機	0.36
福島第一3号機	1.04
福島第二4号機	1.48
福島第二2号機	0.89

評価式

・帰無仮説 H_0 :「7号機とX号機の漏えい燃料発生率（母比率）に差はない」

・有意水準5%で両側検定

・検定統計量 Z_0 :

$$Z_0 = \frac{|p_1 - p_2|}{\sqrt{p(1-p)(1/n_1 + 1/n_2)}}$$

p_1 : 7号機の漏えい燃料発生率= r_1/n_1

p_2 : X号機の漏えい燃料発生率= r_2/n_2

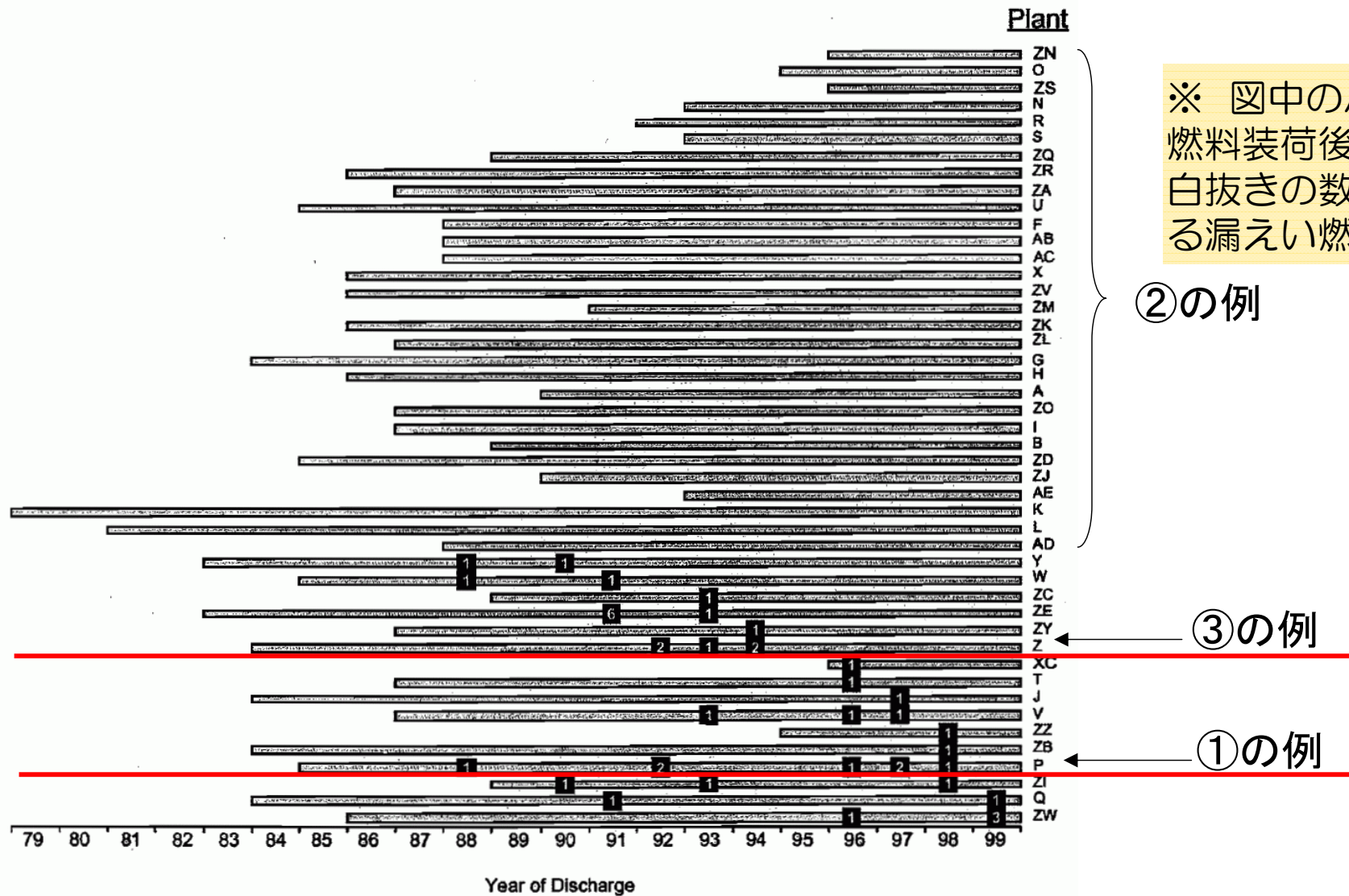
r : 漏えい燃料体数, n : 使用燃料棒本数

$p=(r_1+r_2)/(n_1+n_2)$

- 柏崎刈羽・7号機と他の各号機との漏えい燃料発生率の差について有意水準5%で検定したところ、両者に有意な差があるとは言えない結果となる（ $Z_0 < 1.96$ ）
- なお、柏崎刈羽・6号機と各号機との検定においても、同様な結果となる

【参考】米国GE燃料装荷プラントでのプラント別の漏えい燃料推移

(“Recent GE BWR Fuel Experience”, ANS Light Water Reactor Fuel Performance Conference 2000)より



※ 図中のバーはライナ燃料装荷後の運転期間、白抜き数字は異物による漏えい燃料本数を示す

②の例

③の例

①の例

- ①異物による漏えい燃料を一度起こしたプラントは、その後も漏えい燃料を再発することがある
- ②異物による漏えい燃料を一体も起こしていないプラントも数多くある
- ③異物による漏えい燃料を続発していたプラントでも、その後漏えい燃料の低減に成功している例もある

【参考】 7号機異物混入防止対策の実施状況

(H21年9月末時点)

設備小委
27-2-1再掲

燃料装荷時期	第9サイクル 炉心構成	漏えい燃料低減対策			
		異物混入防止対策 (発生防止対策)		監視・対応力強化対策 (影響緩和対策)	異物の燃料集合体への流入 防止対策(発生防止対策)
		炉内清掃	定検時の 異物混入防止対策	高感度モニタ導入による 監視/PST対応力強化	異物フィルタ付燃料の採用
建設时装荷燃料 ※1	—	炉内清掃 ※5	ワイヤバフ等使用制限	高感度モニタ導入 (平成14年6月)	異物フィルタ付燃料採用(第4回定検时装荷燃料のうち、第3回取替燃料の繰越分16体を除く)
第1回定検时装荷燃料 ※2	—				
第2回定検时装荷燃料	—				
第3回定検时装荷燃料 ※3, 4	80	炉内清掃 ※5	ワイヤバフ等使用制限 オペフロ管理強化	高感度モニタ導入 (平成14年6月)	異物フィルタ付燃料採用(第4回定検时装荷燃料のうち、第3回取替燃料の繰越分16体を除く)
第4回定検时装荷燃料	212				
第5回定検时装荷燃料	164				
第6回定検时装荷燃料	200				
第7回定検时装荷燃料	212				
第8回定検时装荷燃料	4				
合計	872体				

- ※1 建設時に装荷した燃料1体で漏えいが発生した。(第4サイクル運転時)
- ※2 第1回定検で装荷した燃料1体で漏えいが発生した。(第2サイクル運転時)
- ※3 第3回定検で装荷した燃料2体で漏えいが発生した。(第4サイクル及び第7サイクル運転時)
- ※4 地震後の燃料健全性確認において燃料1体で異物を発見
- ※5 至近の炉内清掃実績:H20. 3~4(第8回定検時)

委員ご質問（２） 異物フィルターの捕捉試験について

（質問）

- ・異物フィルターの捕捉率が7割とは、どういう母集団に対しての値なのか？

（回答）

次ページ参照

2-1 異物フィルターの捕捉試験概要

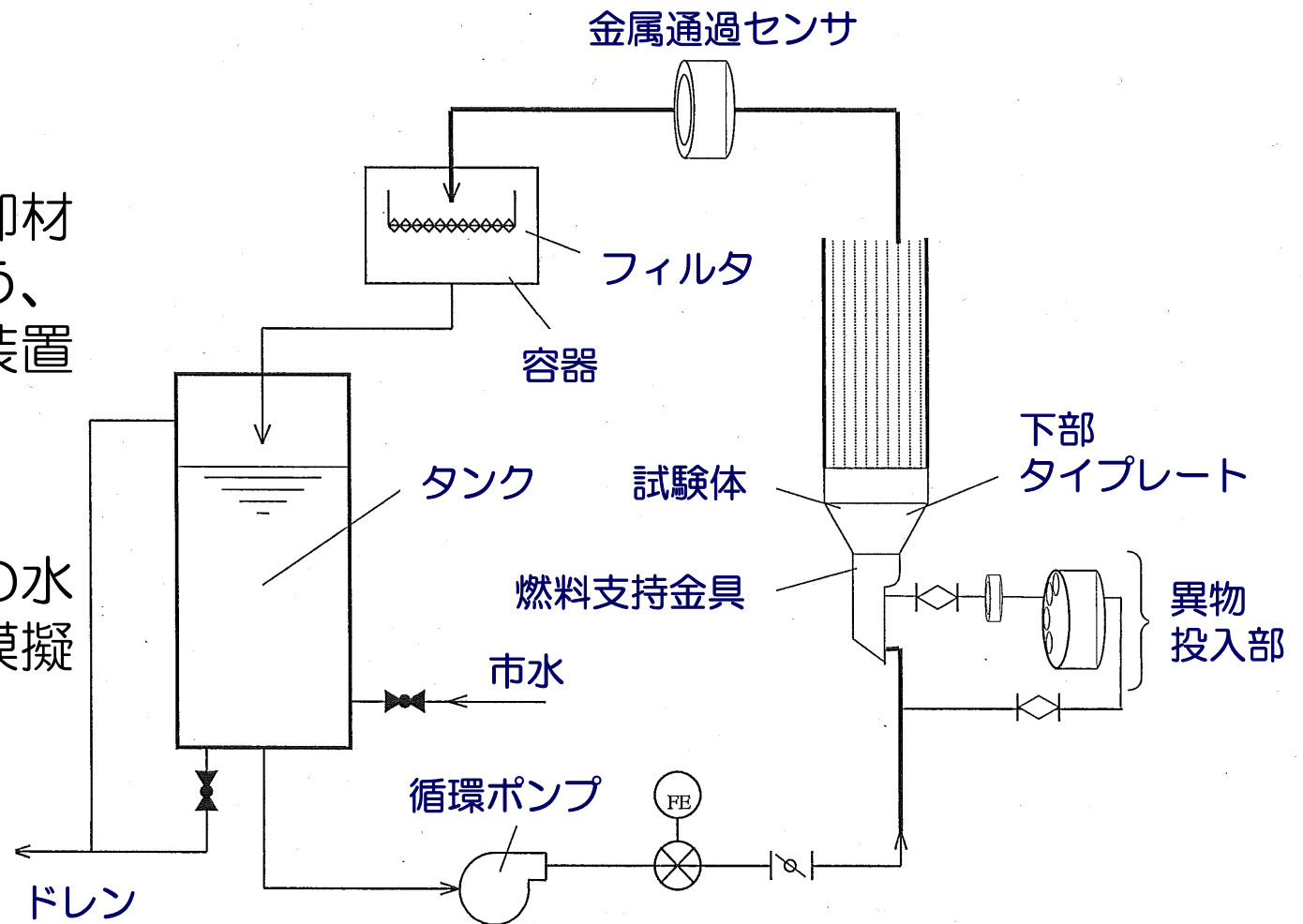
◆目的

- ・異物フィルター付下部タイププレートの異物捕捉特性を確認し、異物混入防止効果を定量化する

◆試験条件

- ・運転中の燃料への冷却材の条件を模擬できるように、右図のような流体試験装置を設計

- ・冷却材は常温・常圧の水
単層流、流量は起動時模擬および定格流量付近



下部タイププレート異物捕捉試験装置概略図

2-2 異物フィルターの捕捉試験条件および結果

◆サンプルについて

・定期検査において使用される器具（ワイヤバフ等）の素線形状をもとに、捕捉試験で用いる異物サンプルを以下の通り設定

板状（30個）：厚さ0.25～0.30mm、幅1.0～2.0mm、
長さ10～25mm

線状（60個）：直径0.25～0.50mm、長さ10～50mm

◆結果

- ・異物フィルターにて90サンプル中72サンプルを捕捉（80%）
- ・なお、GEにおいても同タイプのフィルターを用いて同様の試験を実施しており、70%程度の捕捉率であることを確認

委員ご質問（3） 燃料における材料のばらつきの影響について

（質問）

- ・ 燃料における材料にはばらつきがあると思われるが、地震時の燃料点検において点検対象を限定しても問題ないか？

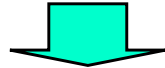
（回答）

次ページ参照

3-1 地震時における燃料集合体の挙動

<燃料集合体の揺れについて>

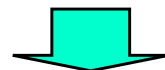
- 燃料集合体はその外側を角管状のチャンネルボックスで覆われており、燃料集合体の曲げ剛性はチャンネルボックスが支配的
- 固有振動数は加振波の種類によらずほぼ一定で、振動モードは基本モードが支配的
- 同一設計の燃料集合体が剛性の高い圧力容器に格納され、直径5.2m程の狭い領域に上部格子板および下部支持板によって規則的に配列されていることから、炉内の装荷位置によらず同位相で振動
(中越沖地震における変位量：約7mm、燃料集合体間隔：約15mm)



燃料集合体どうしがぶつかることはない

<燃料棒の揺れについて>

- 同一の被覆管で形成されている燃料集合体内の燃料棒は、上部／下部タイププレート及び各スペーサにより拘束され、規則的に配列されていることから、チャンネルボックスの振動に同調



燃料棒どうしがぶつかることはない

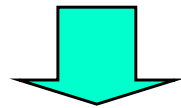
3-2 材料のばらつきについて

- 燃料の材料には製造公差の範囲内ではばらつきがある。
しかしながら、燃料は厳格な品質管理の下で製造されており、製造公差の範囲内においてばらつきの程度は小さい（材料強度、寸法等）。
したがって、材料のばらつきにより地震時の挙動に与える影響は小さい。
- 被覆管の応力評価にも、こうしたばらつきを取り込んでおり、耐震評価にあたっては統計的評価手法を採用している。
（「発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について」昭和63年原子力安全委員会了承）
 - モンテカルロ法(※)を用いて燃料棒の寸法等のばらつきを考慮
（入力変数の標準偏差は、製造公差をもとに、実際の製造実績や実測データと比べて保守的な値となるよう設定）
 - 得られた応力設計比の95%確率上限値を評価結果として使用

※モンテカルロ法では、1回の試行毎に乱数が用いられ、統計的分布に従い設定された入力条件から1つの応力設計比を得る。この試行を繰り返すことによって応力設計比の統計分布を求め、95%確率上限値が1以下であることを確認する。
(P.17参照)

3-3 まとめ

- 個々の燃料集合体に作用する地震時の揺れは同等
- 地震時の燃料健全性評価において、個々の材料のばらつきは考慮されており、また、ばらつきの程度は小さい



- 地震時の燃料点検において、点検対象を選定（※）して点検を行うことは妥当

※燃焼に伴う燃料集合体の特性変化を考慮して、燃焼度の高いもの及び低いものから代表となる燃料として選定

【参考】燃料被覆管応力解析の概要（95%確率上限値のモデル）

