



高浜発電所 発電用原子炉設置変更許可申請  
(1号及び2号原子炉施設の変更)  
【使用済燃料ピットの未臨界性評価の変更】

審査会合における指摘事項の回答

2022年 4月 7日

関西電力株式会社

# 指摘事項リスト

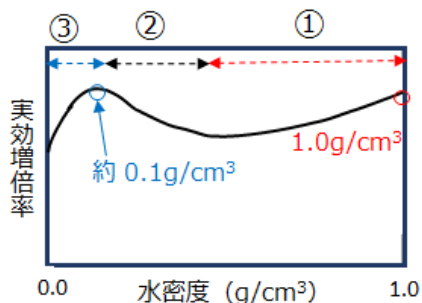
## 前回会合での指摘事項

No.	指摘事項	会合日	備考
①	基本ケースの解析結果の妥当性について、水位低下に伴う中性子挙動変化等の工学的背景と関連づけて説明を補足すること。	2022/2/7	今回ご説明
②	流量条件に対するSFPの未臨界性上の頑健性を示すこと。	2022/2/7	今回ご説明

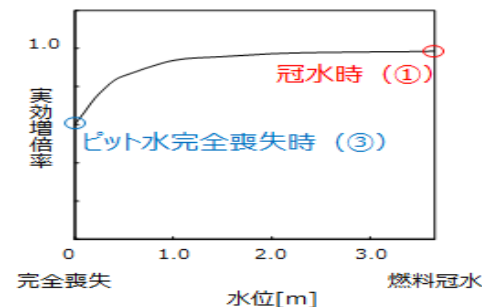
＜回答＞

【水位低下に伴い実効増倍率が単調減少する理由】

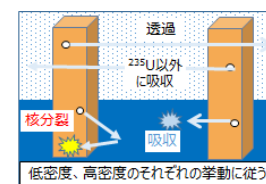
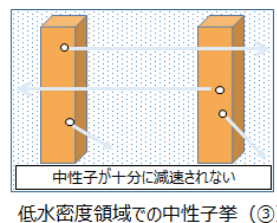
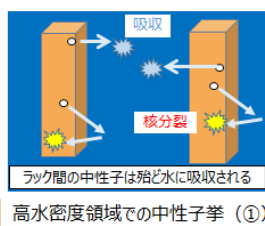
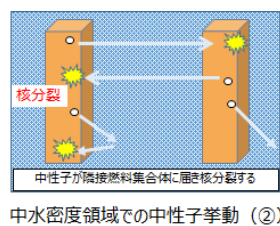
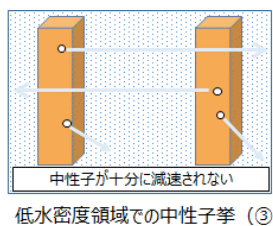
- 今回のモデルでは、水位変化に伴い、気相部・液相部の体積は変化するが、各相内の水分条件は固定にしているため、各相内での中性子挙動は変化しない。(下図参照)
- 従って、水位低下に伴い実効増倍率は単調に変化すると予想できる。実効増倍率が、「体系全体が気相部 < 体系全体が液相部」である状態であれば、水位の低下に伴い実効増倍率も単調に減少すると予想できる。
- 液相部に比べて気相部の中性子エネルギーは高く、中性子が体系外へ漏れない状態となるには大きな気相部体積が必要となるため、気相部優位で体系の実効増倍率が決まるには、気相部領域の体積がある程度大きくなる必要があると予想できる。
- 今回の実効増倍率解析結果は、冠水状態から水位1000mmに低下するまでは実効増倍率がほぼ一定であり、さらに水位が低下して気相部体積が拡大すると実効増倍率も低下する傾向が見られる。この挙動は上述の予想と整合しているため、今回解析結果は妥当である。
- 各相で中性子挙動が異なり、かつ水位低下により体系を支配する相が液相部から気相部に遷移することは、中性子スペクトルの分析結果や、実効増倍率が低下傾向を示す水位とEALFが上昇しだす水位がほぼ同じであることから裏付けが取れる。



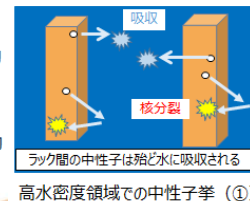
水密度一様変化時の実効増倍率挙動(イメージ)



水位変化時の実効増倍率挙動(イメージ)



低水密度領域での中性子挙動 (③)  
高水密度領域での中性子挙動 (①)



水密度一様変化時の中性子挙動

水位変化時の中性子挙動

図 中性子挙動と実効増倍率挙動の関係

【各不確かさパラメータが最大のときに実効増倍率が最大となる理由 (= 不確かさパラメータが中間的な値のときに実効増倍率に極大値が現れないことの説明)】

- 既許可では体系全体の水密度を均一に変化させて評価したが、今回は、燃料集合体の中と外で異なる水分条件が設定される。
- 集合体の中の水分状態すなわち液膜厚さのみを変化させた解析 (パラスタ(i))、集合体の外の水分状態すなわち集合体外気相部水密度のみを変化させた解析 (パラスタ(ii)) により確認できる。
- パラスタ(i)より、液膜は厚くなるほど実効増倍率が高くなった。核燃料の近くに減速材があるほうが実効増倍率は上がりやすいと予想でき、実際の結果は予想と整合していることから、パラスタ(i)の結果は妥当である。

表 パラスタ(i) 評価条件

燃料条件	基本ケースと同じ (SFP有限体系 (通常ウラン新燃料敷き詰め))
水分条件	<p>集合体外気相部水密度: 飽和蒸気密度0.0006g/cm<sup>3</sup> (固定値)</p> <p>液膜厚さを増加させる</p> <p>液膜厚さ増加</p> <p>液膜厚さ増加</p> <p>ラックピッチ [mm]</p> <p>液膜厚さ 0mm</p> <p>液膜厚さ X mm</p> <p>液膜完全連結</p>

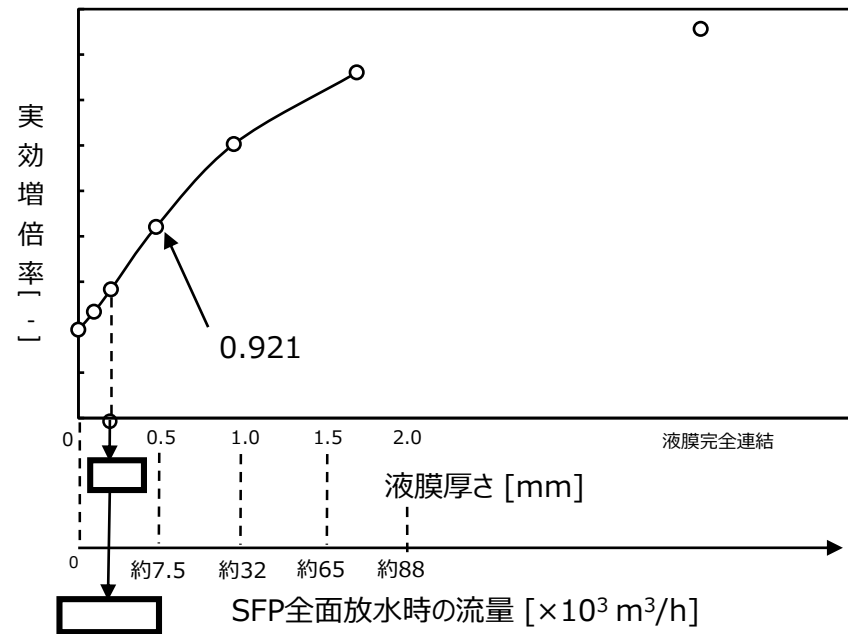


図 パラスタ(i) 評価結果

(続 き)

- パラスタ(ii)より、体系全体の集合体と集合体間の気相部水密度は、水密度0 g/cm<sup>3</sup>から約0.1 g/cm<sup>3</sup>に上昇するまでは実効増倍率が上昇し、その後減少に転じる。既許可とは、水密度約0.1g/cm<sup>3</sup>で極大値を取り減少に転じた後、水密度の増加に伴い再度上昇するという点で実効増倍率挙動が異なる。

パラスタ(ii)は既許可と異なり、集合体の外の水密度のみを変化させており、集合体単体の反応度は集合体の外の水密度が変化しても変わらない。よって集合体間の水密度が大きくなり中性子が隣接燃料へ到達するまでに集合体間の水分子に吸収されやすくなるにつれ、実効増倍率は単調に減少する。

このようにパラスタ(ii)の挙動は、既許可の実効増倍率挙動、および変化させる水分条件の違いを踏まえ説明が出来ることから、パラスタ(ii)の結果は妥当である。

表 パラスタ(ii) 評価条件

燃料条件	基本ケースと同じ (SFP有限体系 (通常ウラン新燃料敷き詰め) )
水分条件	<p>液膜厚さ: □ mm (固定値)      集合体外気相部水密度をパラスタ</p> <p>飽和蒸気密度0.0006g/cm<sup>3</sup></p> <p>水密度増加</p> <p>ラックピッチ □ mm</p> <p>燃料集合体外気相部水密度 0.0006 g/cm<sup>3</sup></p> <p>燃料集合体外気相部水密度 X g/cm<sup>3</sup></p> <p>燃料間冠水</p>

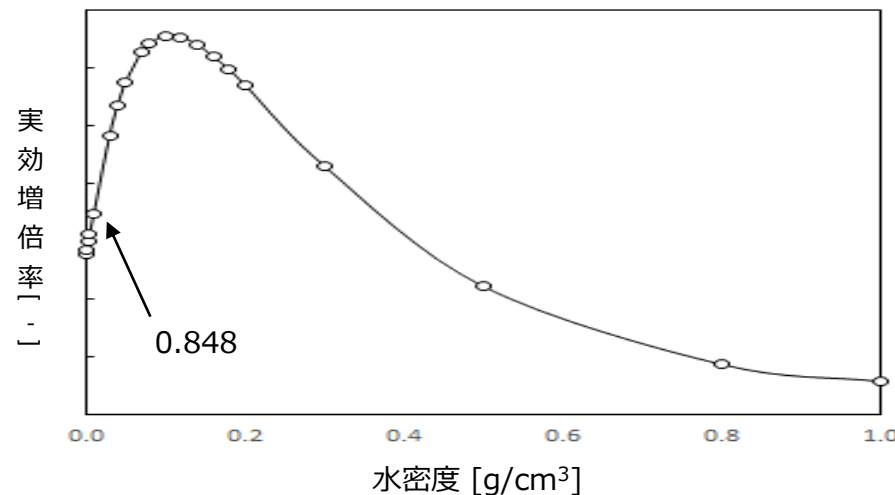


図 パラスタ(ii) 評価結果

(続 き)

- パラスタ(i)とパラスタ(ii)より、液膜厚さや燃料集合体外気相部水密度が変化した場合、実効増倍率は以下挙動を示すと言える。
  - A. 液膜厚さが厚いほど、実効増倍率は上昇する
  - B. 燃料集合体外気相部水密度は、0～約0.1g/cm<sup>3</sup>の範囲では、水密度が大きいほど実効増倍率は上昇する
- ケース①、③、④の水分条件は、基本ケースに比べて液膜厚さや燃料集合体外気相部水密度が大きく、かつ燃料集合体外気相部水密度が0～約0.1g/cm<sup>3</sup>の範囲にあることから、上記A.Bより、ケース①、③、④は基本ケースよりも実効増倍率が上昇すると予想できる。ケース①、③、④の実際の実効増倍率解析結果は基本ケースより大きく、予想される傾向と整合していることから妥当な結果と言える。

表 各ケースでの水分条件

		基本ケース	ケース① (1手順あたりのポンプ台数による感度を確認する解析)	ケース③ (「斜め方向に液滴を落下させ燃料集合体内への流入割合に影響を与える風の影響」による感度を確認する解析)	ケース④ (スプレイ試験における測定箇所毎の結果の差異による感度を確認する解析)	パラスタ(i)	パラスタ(ii)
水分条件	液膜厚さ(mm)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	×[パラスタ] <span style="color: red;">(パラスタ結果) 液膜が厚いほど実効増倍率は上昇</span>	<input type="checkbox"/> (基本ケースと同じ)
	燃料集合体内気相部水密 (g/cm <sup>3</sup> )	0.0006 (飽和蒸気密度)					
	燃料集合体外気相部水密度 (g/cm <sup>3</sup> )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.0006 (飽和蒸気密度)	×[パラスタ] <span style="color: red;">(パラスタ結果) 水密度 0～約0.1g/cm<sup>3</sup>までは実効増倍率は上昇。 水密度 約0.1g/cm<sup>3</sup>以上では実効増倍率は減少</span>
	流入範囲外気相部水密度 (g/cm <sup>3</sup> )	-	-	-	-	-	-

燃料集合体外気相部は約0.1g/cm<sup>3</sup>と比較して十分小さいため、当該水密度が増加すると実効増倍率が上昇傾向を示す範囲内にある。

(続 き)

- 一方ケース②（局所領域にのみ多量の水分が存在する条件）では、局所領域の大きさに応じて、その領域内のウラン量と燃料1体当たりの流入量が増加する。そのため実効増倍率が最大となる局所領域の大きさをサーベイしている。
- 局所に流量が集中する場合であっても前ページA.B.の傾向が当てはまることは、審査過程で提示した感度解析結果より示される。

表 局所流入時における水分条件変化が実効増倍率に与える影響を確認するための感度解析

赤字：ケースAから変更した条件

評価条件		解析条件表 ケース②	参照解析					
			ケースA	“集合体内への流入割合” の感度解析	“液膜となる流量の割合” の感度解析	“集合体外気相部水密度” の感度解析		
燃料 条件	燃料配置	新燃料のみで満杯	新燃料と24GWd/t燃料の チェッカーボード配置	←	←	←		
	燃料種類	15×15型 通常ウラン燃料	15×15型 通常ウラン燃料	←	←	←		
水分 条件	流量 (m³/h)		<input type="text"/>	<input type="text"/>	←	←	←	
	SFPへの流入範囲、 流量分布	流入範囲	局所 (4×4)	局所(5×5)	←	←	←	
		流量分布	一様	一様	←	←	←	
	燃料集合体内への流入割合 (%)		23	30	10~30	30	←	
	液膜厚さ	集合体内へ流入した流量 のうち液膜となる流量割合(%)	100	100	←	100~0	100	
		液膜厚さ評価式	包絡式	包絡式	←	←	←	
	気相部 水密度 (放水の 液滴径)	流入 範囲 内	集合体内へ流入した流量のうち液 滴のまま落下する流量割合(%)	0	0	←	0~100	0
			燃料集合体内 (g/cm³)	飽和蒸気密度 (0.0006)	飽和蒸気密度 (0.0006)	←	←	←
		燃料集合体外	液滴径1.5mmを 用いた水密度	液滴径1.0mmを 用いた水密度	←	←	飽和蒸気密度~液滴径1.0mmを 用いた水密度	
		流入範囲外 (g/cm³)	飽和蒸気密度 (0.0006)	飽和蒸気密度 (0.0006)	←	←	←	
海水中の塩分濃度(%)		3.3	3.0	←	←	←		
解析結果		冠水時：0.947 水位0cm時：0.874	水位0cm時：0.945 冠水時：0.930	右肩6ページ参照	右肩7ページ参照	右肩8ページ参照		

### c. 燃料集合体へ流入する流量の影響

#### <評価目的>

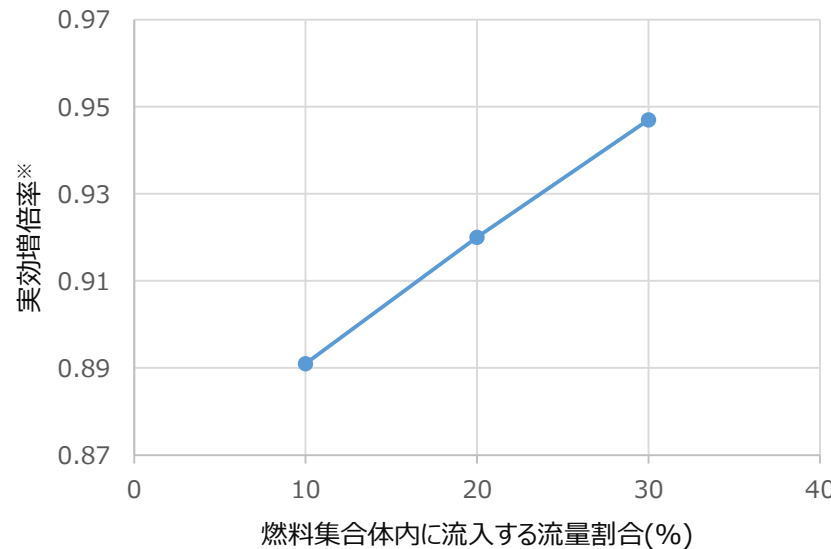
燃料集合体へ流入する流量割合の変化（燃料集合体間の水密度の変化）が実効増倍率へ与える影響を確認する。

#### <評価条件>

- ・集中範囲：5×5
- ・燃料集合体内へ流入する流量割合：10,20,30%（燃料集合体間の水密度を増加させる30%以下で変化）
- ・水位：30cm

#### <評価結果>

**燃料集合体へ流入する流量割合の低減（燃料集合体間の水密度の増加）に伴い実効増倍率は単調に低下することを確認した。**これは、この範囲では燃料集合体内の水量が多いほど、中性子が減速しやすい条件になった結果と考えられる。



集合体内に流入する流量が多い、つまり液膜が厚くなる条件の方が実効増倍率は大きくなる。  
⇒回答4ページ目のAと整合

図 燃料集合体内に流入する流量割合と実効増倍率の関係

※ 不確定性を含まない値



# 5. SFPに流入する水が局所に集中する場合の検討

## (3) 評価条件への影響評価 (5 / 13)

【審査会合コメント⑥：スプレイ水の液膜または液滴への分配による影響を示すこと。】

d. 液滴と液膜の割合の影響

＜評価目的＞

液膜割合の変化が実効増倍率へ与える影響について確認する。

＜評価条件＞

- ・集中範囲：5×5
- ・液膜割合：0,50,60,70,80,90,100%
- ・水位：30cm

＜評価結果：コメント⑥への回答＞

**液膜割合の増加に伴い、実効増倍率が単調に増加することを確認した。**これは燃料集合体内に液膜として存在する方が、液滴として存在するよりも下降速度が遅く、その結果燃料集合体内の水量が多くなり、中性子が減速しやすい条件になった結果と考えられる。

液膜の割合が増加する、つまり液膜が厚くなる条件の方が実効増倍率は大きくなる。  
⇒回答4ページ目 Aと整合

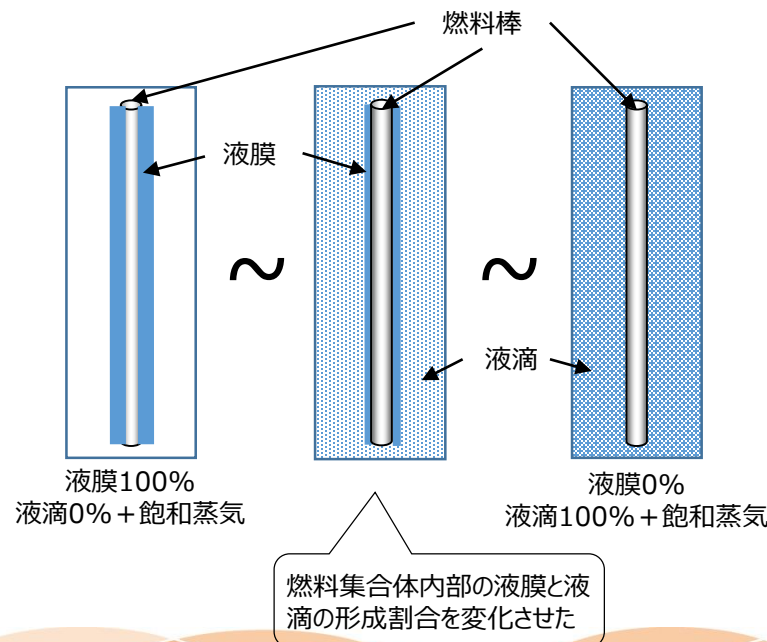
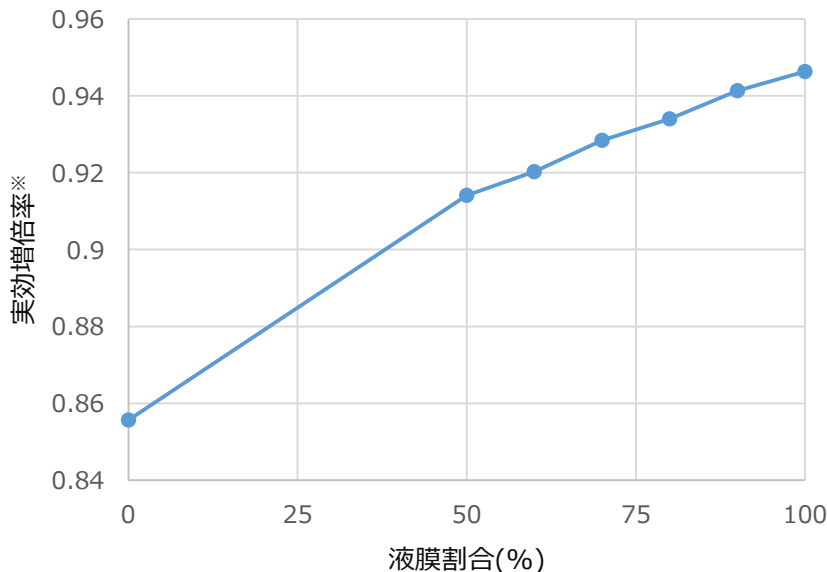


図 液膜割合と実効増倍率の関係

※ 不確定性を含まない値

## 5. SFPに流入する水が局所に集中する場合の検討

### (3) 評価条件への影響評価 (7 / 13)

#### f. 燃料集合体外の気相部水密度（液滴の下降速度）の影響

##### <評価目的>

燃料集合体外の気相部水密度の変化が実効増倍率へ与える影響について確認する。

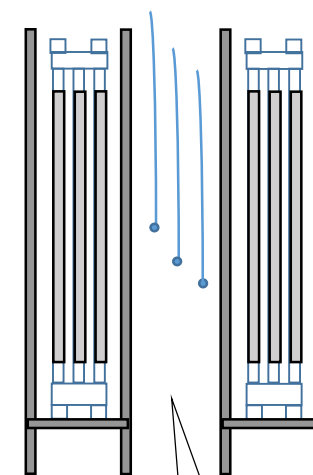
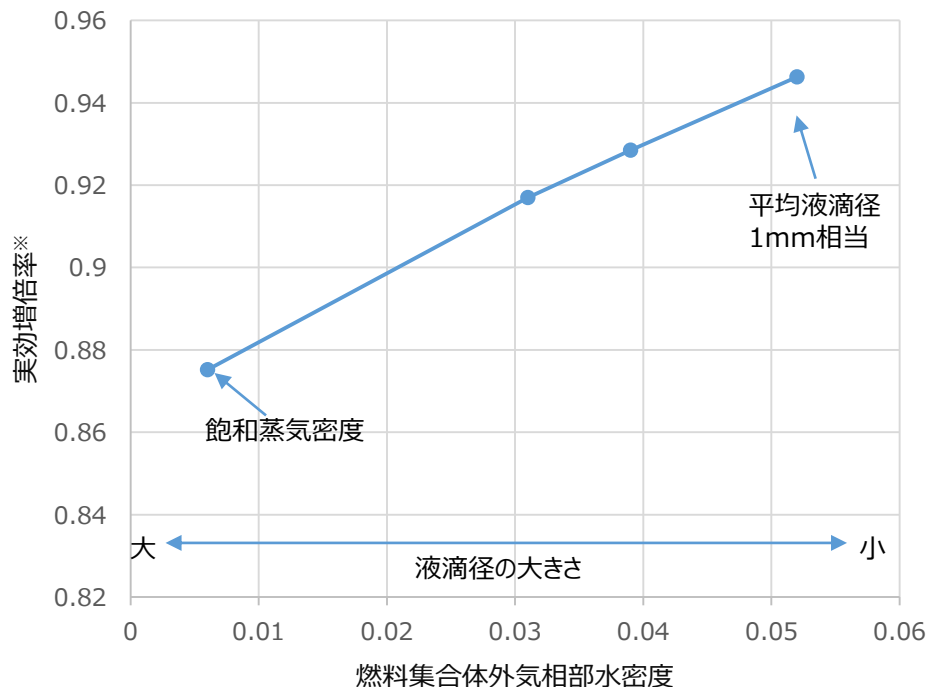
##### <評価条件>

- ・集中範囲：5×5
- ・燃料集合体外気相部水密度：飽和蒸気密度から平均液滴径1mm相当の水密度まで4点を評価
- ・水位：30cm

##### <評価結果>

**燃料集合体外の水密度の増加に伴い、実効増倍率が単調に増加することを確認した。**これは今回設定した流量でも放水範囲内の水量が中性子を減速するために十分ではないため、燃料集合体外の水密度が高い方が減速に寄与する水が増えて、実効増倍率が高くなったものと考えられる。

集合体外の水密度が  
0.1g/cm<sup>3</sup>以下の範囲で  
増加するにつれ実効増倍率は上昇  
⇒回答4ページ目 Bと整合



燃料集合体外の  
気相部水密度を  
変化させた

図 燃料集合体外水密度と実効増倍率の関係

※ 不確定性を含まない値

<回答>

- 基本ケース及び感度解析ケース（ケース①～④）の解析条件は、本件がSA事象であることに鑑み、最適評価手法を用いて設定したものであり、流量条件については、発電所に実在する設備と手順から最確値と不確かさを考慮して求めたものになっている。
- ここでは、基本ケース条件のうち流量条件を過大に設定した解析を行うことにより、上記の評価結果の頑健性を確認することとした。
- 結果として、流量が9000 m<sup>3</sup>/hであっても未臨界性を満足する結果が得られたことから、基本ケースの流量条件に対して約7倍の頑健性があることが示された。

表 未臨界評価の水分条件の頑健性を確認する解析条件

		基本ケース	未臨界性上の 頑健性確認解析	
燃料条件	燃料配置	新燃料のみで満杯	←	
	燃料種類	通常ウラン燃料 (Gd入り燃料の存在は考慮しない)	←	
水分条件	流量		9000 m <sup>3</sup> /h	
	SFPへの流入範囲、流量分布		流入範囲	SFP全面
			流量分布	一様
	燃料集合体内への流入割合		23 (%)	←
	液膜厚さ	集合体内へ流入した流量のうち液膜となる流量割合		100 (%)
		液膜厚さ評価式		包絡式
	気相部水密度 (放水の液滴径等)	流入範囲内	集合体内へ流入した流量のうち液滴のまま落下する流量割合	0 (%)
			燃料集合体内	飽和蒸気密度 0.0006 (g/cm <sup>3</sup> )
			燃料集合体外	液滴径1.5mmを用いた水密度
		流入範囲外	-	-
海水中の塩分濃度		3.3 (%)	←	

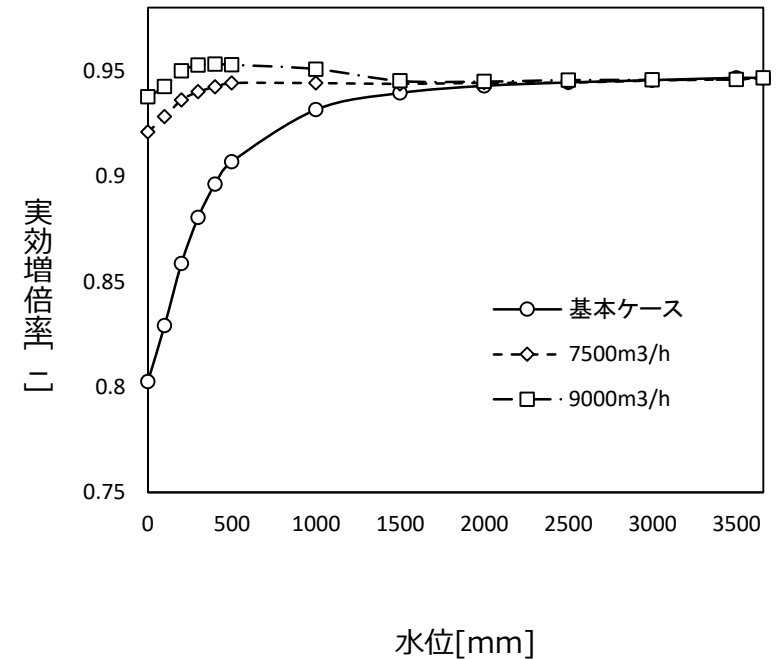


図 評価結果