



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】

設定条件やモデル妥当性の確認解析

2022年 2月21日

関西電力株式会社

今回採用する液膜モデルの妥当性や、燃料条件が有する保守性等を確認するため、以下のパラメータスタディを行う。

番号	パラスタの対象	目的
①	燃料条件	燃焼燃料や内挿物の存在を考慮しない等とする基本ケースでの燃料条件が有する保守性を確認する。
②	既許可と異なる条件	既許可評価からの燃料条件・水分条件それぞれの変更に伴う実効増倍率への影響を確認する。
③	流量	不連続な実効増倍率のピークが発生しないことでもって、解析結果の妥当性を確認する。
④-1	液膜厚さ	液膜モデルが適用可能となる範囲を確認する。
④-2	燃料集合体外気相部水密度	

① 燃料条件に対するパラメータスタディ（目的：燃料条件が有する保守性確認）

- 基本ケースの燃料条件は、SFP内に実際に存在する内挿物を無視し、また燃焼燃料の存在を考慮せず新燃料のみが貯蔵されていると仮定した条件等を設定している。
- これら燃料条件に対し、下表のようにSFP有限体系下で水位を変化させたパラスタを行い、燃料条件が保守的であることを確認した。

□：今回使用 □：注目パラメータ

評価		内挿物が存在することの影響			燃焼燃料が存在することの影響	
評価条件	内挿物	□(1)考慮なし	□(2)BP挿入を考慮※1	□(3)RCC挿入を考慮	考慮なし	
	燃料種類	通常ウラン燃料			通常ウラン燃料	
	燃料配置	新燃料敷き詰め (SFP有限体系)			□(1)新燃料敷き詰め (SFP有限体系)	□(2)新燃料と24GWd/t燃焼燃料のチェッカーボード配置 (SFP有限体系)
	水分条件	基本ケースと同じ			基本ケース	
評価結果						

※1 BPについては使用状態により中性子吸収効果が異なるため、吸収材を無視し構造材のみを考慮した評価にて代表。

設定条件やモデルの妥当性を確認するパラメータスタディ（3）

② 既許可と異なる条件に対するパラメータスタディ（目的：評価モデルの違いによる実効増倍率への影響確認）

- ・ 今回評価（基本ケース）の特徴
 - 燃料条件について、燃料運用上の制限を減らすため既許可よりも厳しい条件（新燃料敷き詰め）とした。
 - 水分条件について、液膜形成の考慮など実効増倍率をより高める評価モデルとしたうえで、新たに取得した試験データ等の知見および最適評価手法を用い、流量の精緻化やマスバランスなどを考慮し条件を見直した。
- ・ 燃料条件と水分条件の変更に伴う実効増倍率への影響を確認するため、下表のパラスタ②を実施した。
（パラスタ②と既許可との比較により燃料条件を変更した影響を、パラスタ②と基本ケースとの比較により水分条件を変更した影響を確認できる。）

表 既許可条件と基本ケース条件の差異

赤字：実効増倍率の増加要因

		既許可	基本ケース条件
燃料条件	燃料配置	燃料の燃焼度や中性子吸収体挿入の有無に応じた3領域管理	新燃料敷き詰め (燃料の燃焼度や中性子吸収体は考慮しない。)
	AC/FP核種の考慮	考慮あり ^{※1}	考慮なし (新燃料敷き詰めのため)
水分条件	評価モデル	SFP全体の水密度を一様として 全ての水密度範囲(0~1g/cm³) で評価するモデル	流入水の流量や性状（液膜化）を踏まえた水密度を設定するモデル
		(流入水による燃料棒上の液膜形成を考慮しないモデル)	(流入水が燃料棒上で液膜となることを考慮したモデル)
	SFPへの流入流量等	概念なし	流量： <input type="text"/> m ³ /h (その他、水分条件算出のための条件を設定)
	流入海水中の塩素	考慮なし	考慮あり
実効増倍率 ^{※2}		0.958（最適減速）	0.947（冠水時） 0.803（完全喪失時）

表 条件変更に伴う影響を確認するパラスタ条件

青字：既許可評価条件との差異

緑字：基本ケース条件との差異

		パラスタ② (既許可条件から燃料条件を変更した影響の確認)
燃料条件	燃料配置	新燃料敷き詰め (燃料の燃焼度や中性子吸収体は考慮しない。)
	AC/FP核種の考慮	考慮なし (新燃料敷き詰めのため)
水分条件	評価モデル	SFP全体の水密度を一様として 全ての水密度範囲(0~1g/cm³)で評価するモデル
		(流入水による燃料棒上の液膜形成を考慮しないモデル)
	SFPへの流入流量等	概念なし
	流入海水中の塩素	考慮なし
実効増倍率 ^{※2}		次ページ参照

※1



※2 製造公差等の不確定性を含まない値

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

（続 き）

<評価結果>

- パラスタ②は既許可同様、水密度を一様に0~1g/cm³で変化させる評価としたため、水密度 約0.1g/cm³で最適減速状態となり、実効増倍率のピークが発生した。
- 既許可およびパラスタ②の、最適減速（水密度 約0.1g/cm³）での実効増倍率は、パラスタ②のほうが0.20程度大きい。
⇒ 燃料条件を3領域管理条件から新燃料敷き詰め条件へ変更した影響は、実効増倍率換算で +0.20程度である。
- パラスタ②での最適減速の実効増倍率と、今回基本ケースの水位0cmでの実効増倍率は、基本ケースのほうが0.35程度小さい。
⇒ 水分条件を実態に則した条件へ変更した影響は、実効増倍率換算で -0.35程度である。

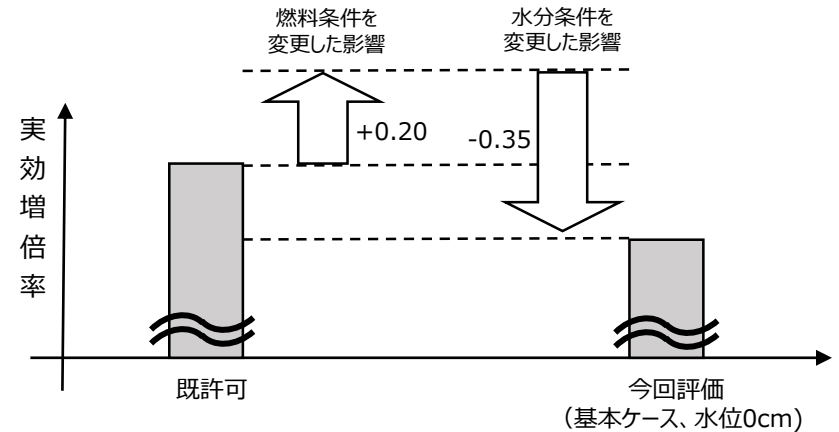
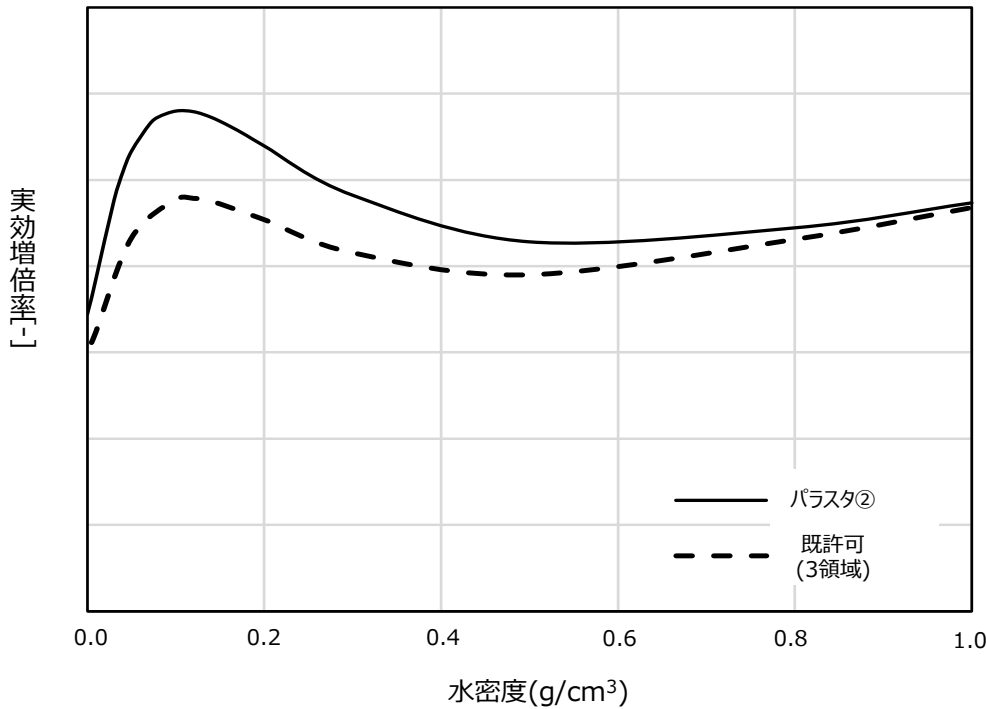


図 パラスタ② 評価結果

③ 流量に対するパラメータスタディ（目的：液膜モデルの妥当性確認）

- 液膜モデルの採用に当たり解析結果の妥当性を確認するため、流量に対するパラメータスタディを行い、実効増倍率に不連続なピークが発生しないことを確認する。

流量を変数とすることで、未臨界性評価で設定する水分条件のうち実効増倍率に大きく寄与する条件である、以下2点の条件が変化するため、モデル内の水分状態変化に伴う実効増倍率挙動を確認するための変数として適している。

- 【1】集合体内の水分量
- 【2】燃料集合体外気相部水密度

- なお流量以外の条件は、解析条件表に掲載のケースのうち低水位時の実効増倍率が最も厳しくなるケース②の条件とした。

表 解析結果の妥当性を確認するためのパラメータスタディ

評価条件		(参考) ケース②	パラスタ条件		
燃料条件		SFPは燃料で満杯、貯蔵燃料は新燃料のみ	←		
水分条件	流量(m ³ /h)		X (パラスタ)		
	SFPへの 流入範囲、 流量分布	流入範囲	局所 (3×3から始め、低下傾向が確認できるまで)	ケース②で実効増倍率 が最大となる範囲 (4×4)	
		流量分布	一定		←
	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 (g/cm ³)	0.0006	←
			燃料集合体外(g/cm ³)	液滴径1.5mmの液滴の 下降速度を使用した水密度	←
		流入範囲外(g/cm ³)		0.0006	←
海水中の塩分濃度(%)		3.3	←		

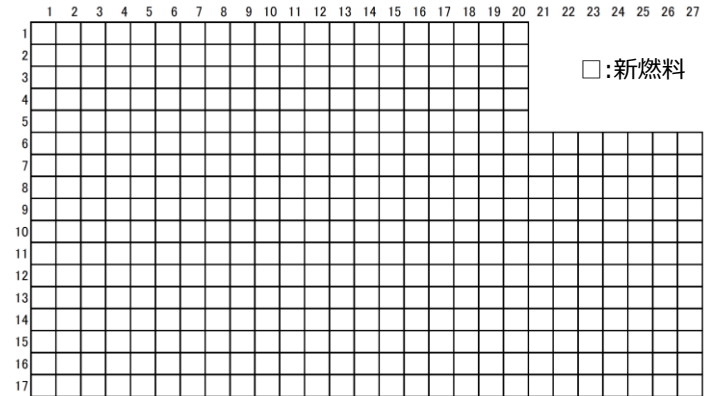


図 燃料配置条件

（続 き）

＜評価結果＞

低水位時の実効増倍率は流量が増加するにつれ増加しており、その挙動は流量変化に伴う水分量の変化と比較して妥当である。また解析範囲において意図しないピークは発生していないことから、解析結果は妥当である。

表 パラメータスタディ条件

評価条件		パラスタ条件		
燃料条件		SFPは燃料で満杯、貯蔵燃料は新燃料のみ		
水分条件	流量(m ³ /h)	500、1000、 、1500、2200		
	SFPへの流入範囲、流量分布	流入範囲	ケース②で実効増倍率が最大となる範囲(4×4)	
		流量分布	一定	
	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(g/cm ³)	0.0006
		燃料集合体外(g/cm ³)	液滴径1.5mmの液滴の下降速度を使用した水密度	
		流入範囲外(g/cm ³)	0.0006	
海水中の塩分濃度(%)		3.3		

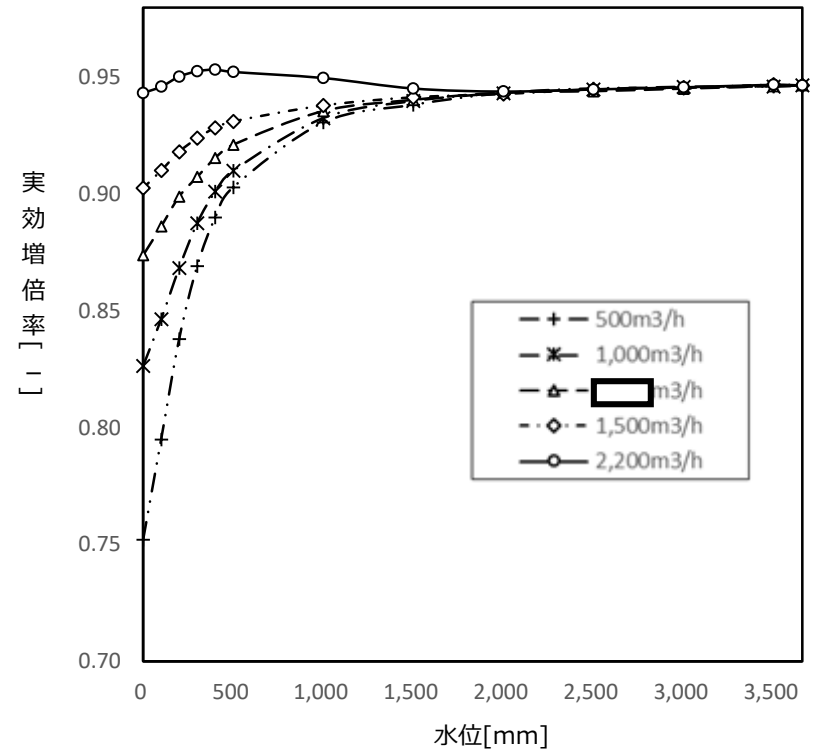


図 パラスタ結果

④ 液膜厚さ および 燃料集合体外気相部水密度に対するパラメータスタディ（目的：液膜モデルの適用範囲確認）

液膜モデルを採用するに当たり、SCALEコードがモデルとして考慮できない範囲がないかを確認するため、以下のパラメータスタディを行い不連続な実効増倍率が生じないことを確認する。

＜液膜モデルの妥当性確認解析＞

新燃料敷き詰め有限体系にて、「燃料集合体外気相部水密度を固定し、液膜厚さを変化させたパラメータスタディ」（パラスタ④-1）と、「液膜厚さを固定し、燃料集合体外気相部水密度を変化させたパラメータスタディ」（パラスタ④-2）を行った。

表 評価条件

	パラスタ④-1	パラスタ④-2
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^3（固定値）</p> <p>液膜厚さを変化させる</p> <p>液膜厚さ増加</p> <p>液膜厚さ増加</p> <p>ラックピッチ \square (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>	<p>液膜厚さ：\square mm（固定値）</p> <p>飽和蒸気密度0.0006g/cm^3</p> <p>集合体外気相部水密度をパラスタ</p> <p>水密度増加</p> <p>水密度増加</p> <p>ラックピッチ \square (mm)</p> <p>ラックピッチ \square (mm)</p> <p>ラックピッチ \square (mm)</p> <p>燃料集合体外気相部水密度 0.0006 g/cm^3</p> <p>燃料集合体外気相部水密度 X g/cm^3</p> <p>燃料間 冠水</p>

<解析結果>

- パスタ④-1の実効増倍率は液膜厚さの増加に伴い単調に増加した。液膜厚さのみが増加するという事は、減速に大きく寄与する水分の量のみが増加することに等しく、評価により得られた実効増倍率挙動とも整合する。
- パスタ④-2の実効増倍率は約0.1g/cm³の水密度で極大値を取り、それ以上の水密度では単調減少している。水密度 0～約0.1g/cm³の範囲では、集合体間の水分量が増加することで、集合体間の水分子により減速され隣接する燃料集合体で反応する中性子が増え実効増倍率が増加したものである。一方で水密度 約0.1～1.0g/cm³の範囲では、集合体間の水密度のみが大きくなり隣接燃料に到達する前に集合体間の水に吸収される中性子が増えることで、実効増倍率は単調に減少したものである。
- 基本ケースの流量条件を大幅に上回る範囲も含め評価したが、両パスタで不連続なピークは発生しておらず、また実効増倍率挙動は水密度の変化と比較して妥当であることから、広範囲の水分条件において液膜モデルが適用できることを確認した。

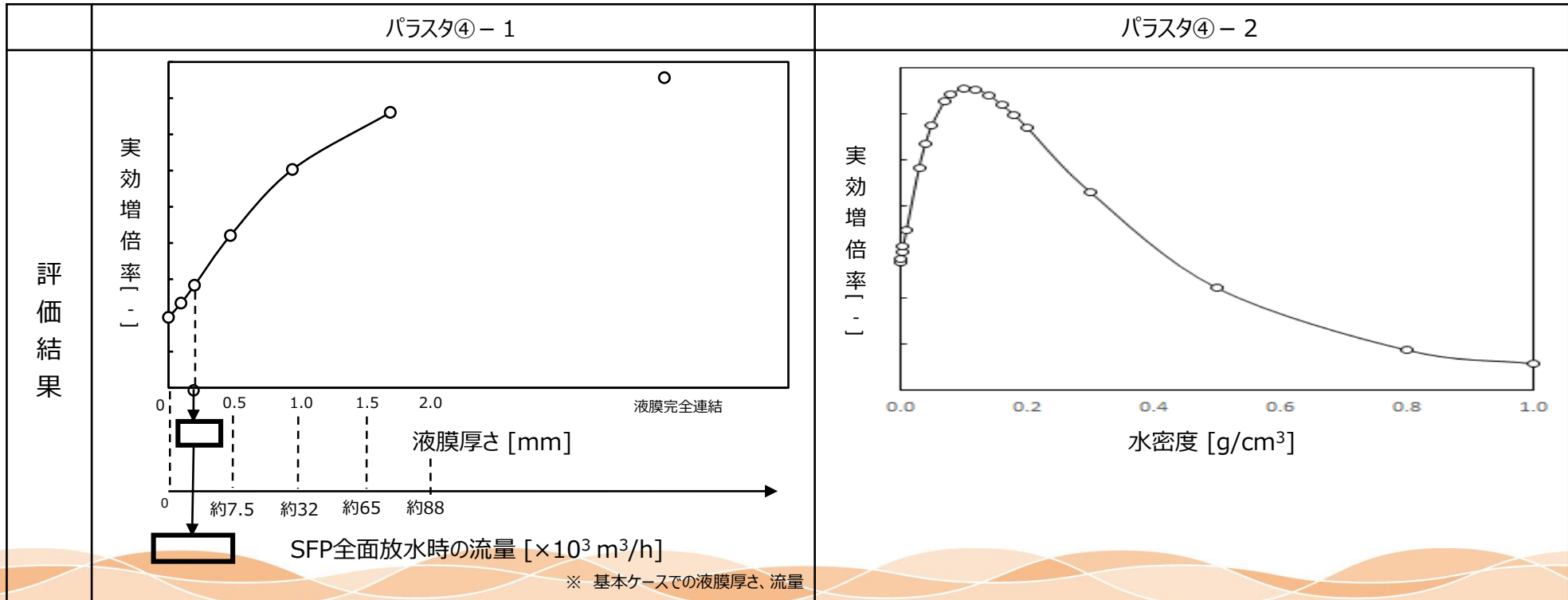


図 評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。