

本資料のうち、枠囲みの内容は、商業機密あるいは防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-027 改 4
提出年月日	平成 30 年 3 月 12 日

V-1-3-2 燃料取扱設備，新燃料貯蔵設備及び使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書

目 次

1. 概 要	1
2. 基本方針	1
3. 使用済燃料プール水漏えい時の未臨界性評価	1
3.1 評価の基本方針	1
3.2 計算方法	2
3.2.1 計算体系	2
3.2.2 計算条件	3
3.3 計算結果	3
3.4 計算コード等の不確定性	7
添付	
未臨界性評価の条件	8

1. 概 要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第 26 条及び第 69 条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に基づき、燃料体又は使用済燃料（以下「燃料体等」という。）が臨界に達しないことを説明するものである。

なお、技術基準規則第 26 条の要求事項に変更がないため、技術基準規則第 26 条の要求事項に係る燃料取扱設備、新燃料貯蔵設備及び使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことの説明に関しては、今回の申請において変更は行わない。

今回は、技術基準規則第 69 条の要求事項に基づき、使用済燃料貯蔵槽（以下「使用済燃料プール」という。）の水位が低下した場合において、燃料体等が臨界に達しないことを説明する。

2. 基本方針

使用済燃料プールは、燃料プール冷却浄化系、残留熱除去系の故障等により使用済燃料プールの冷却機能が喪失及び補給水系の故障により使用済燃料プールの注水機能が喪失又は使用済燃料プールに接続する配管の破損等により使用済燃料プール水の小規模な漏えいその他要因により当該使用済燃料プールの水位が低下した場合（以下「小規模漏えい時」という。）に、技術基準規則第 69 条第 1 項及び解釈により施設が要求されている可搬型代替注水設備による冷却及び水位確保により使用済燃料プールの機能（燃料体等の冷却、水深の遮蔽能力）を維持するとともに、実効増倍率が最も高くなる冠水状態においても臨界を防止できる設計とする。

また、使用済燃料プールは、使用済燃料プールからの大量の水の漏えいその他の要因により、当該使用済燃料プールの水位が異常に低下した場合（以下「大規模漏えい時」という。）に、技術基準規則第 69 条第 2 項及び解釈により施設が要求されている可搬型スプレイ設備（使用済燃料プールへのスプレイ）にて、使用済燃料ラック（以下「ラック」という。）及び燃料体等を冷却し、臨界にならないよう配慮したラック形状において、スプレイや蒸気条件においても臨界を防止できる設計とする。

このため、小規模漏えい時及び大規模漏えい時の使用済燃料プールの未臨界性評価の評価基準は、使用済燃料プール水温、ラック製造公差、ラックボロン濃度、ラックセル内燃料配置それぞれについての不確定性を考慮し、最も結果が厳しくなる状態で、いかなる一様な水密度であっても実効増倍率が 0.95 以下となる設計とする。

3. 使用済燃料プール水漏えい時の未臨界性評価

3.1 評価の基本方針

使用済燃料プールで小規模漏えいが発生した場合、可搬型代替注水設備による注水により放射線の遮蔽が維持される水位を確保でき、あわせて燃料有効長頂部の冠水状

態を維持できる。また、使用済燃料プールに貯蔵される燃料体等の冷却が可能である。なお、放射線の遮蔽が維持される水位を確保できることについては、「V-1-3-5 使用済燃料貯蔵槽の水深の遮蔽能力に関する説明書」にて説明し、燃料体等の冷却が可能であることについては、「V-1-3-4 使用済燃料貯蔵槽の冷却能力に関する説明書」にて説明する。

可搬型代替注水設備による注水により燃料体等を冷却及び放射線の遮蔽が維持される水位を確保することで、使用済燃料プールの機能（燃料体等の冷却、水深の遮蔽能力）が維持される。

放射線の遮蔽が維持される水位が確保された状態で使用済燃料プール水の温度が上昇して沸騰状態となり、水密度が低下した場合、燃料体等は水密度の低下とともに、減速された中性子が燃料領域で核分裂反応に寄与する割合が低下する設計としているため、使用済燃料プール全体の実効増倍率は、水密度が高い冠水時に比べて低下する。このため、小規模漏えい時の使用済燃料プールの未臨界性評価は、実効増倍率が最も高くなる冠水状態で臨界を防止できることを確認する。

また、使用済燃料プールで大規模漏えいが発生した場合、可搬型スプレイ設備（使用済燃料プールへのスプレイ）により、使用済燃料プール内の燃料体等の著しい損傷の進行を緩和し、できる限り環境への放射性物質の放出を低減するため、使用済燃料プール全面にスプレイを実施し、ラック及び燃料体等を冷却する。なお、使用済燃料プール全面にスプレイを実施し、ラック及び燃料体等を冷却することについては、「V-1-3-4 使用済燃料貯蔵槽の冷却能力に関する説明書」にて説明する。

大規模漏えい時の使用済燃料プールの未臨界性評価は、可搬型スプレイ設備（使用済燃料プールへのスプレイ）にて、ラック及び燃料体等を冷却し、臨界にならないよう配慮したラック形状において、スプレイや蒸気条件においても臨界を防止できることを確認するため、使用済燃料プール全体の水密度を一様に $0.0\sim 1.0\text{ g/cm}^3$ まで変化させた条件で実効増倍率の計算を行う。この水密度の条件により、小規模漏えい時の冠水状態で臨界を防止できることも確認する。

実効増倍率の計算には、3次元モンテカルロ計算コード KENO-V.a を内蔵した SCALE6.0 を使用し、その解析フローチャートを第1図に示す。なお、評価に用いる計算コード SCALE システムの検証及び妥当性確認等の概要については、付録 22「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 計算方法

3.2.1 計算体系

計算体系としては、垂直方向は有限の高さ（燃料有効長 3.71 m + 燃料上下に 30 cm の水領域を設け、その外側の境界条件を真空とする。）とし、水平方向は無限の広がりを持つ体系とする。

東海第二発電所の使用済燃料プールでは、ボロン添加ステンレス鋼（以下「B-SUS」という。）製ラックセルに燃料を貯蔵する。使用済燃料プールには、通常は限られた体数の新燃料と照射済燃料を貯蔵するが、臨界設計では、新燃料及びいかなる燃焼度の照射済燃料を貯蔵しても十分安全側の評価を得るように、炉心装荷時の無限増倍率が 1.30 となる燃料を用いて評価している。また、使用済燃料プール水温、ラック製造公差、ボロン添加率、ラックセル内燃料配置それぞれについて最も結果が厳しくなる状態で評価している。未臨界性評価の基本計算条件を第 1 表に、計算体系を第 2 図に示す。

3.2.2 計算条件

評価の計算条件は以下のとおりである。

- (a) 燃料の濃縮度は wt% とする。
- (b) 水の密度は、 $0 \sim 1.0 \text{ g/cm}^3$ とする。
- (c) 燃料有効長は、3.71 m とする。
- (d) ボロン濃度の解析使用値は、製造公差下限値の wt% とする。

以下の計算条件は公称値に正負の製作公差を未臨界性評価上厳しくなる側に不確定性として考慮するものである。なお、ラックセル内での燃料配置については、ラック内で燃料が偏心すると、中性子の強吸収体である B-SUS に接近することにより、燃料領域の熱中性子が減少するため、実効増倍率が最も高くなるラックセル内中央配置とする（第 2 図）。

- (e) ラックピッチ
- (f) ラック板厚
- (g) ラック内のり

3.3 計算結果

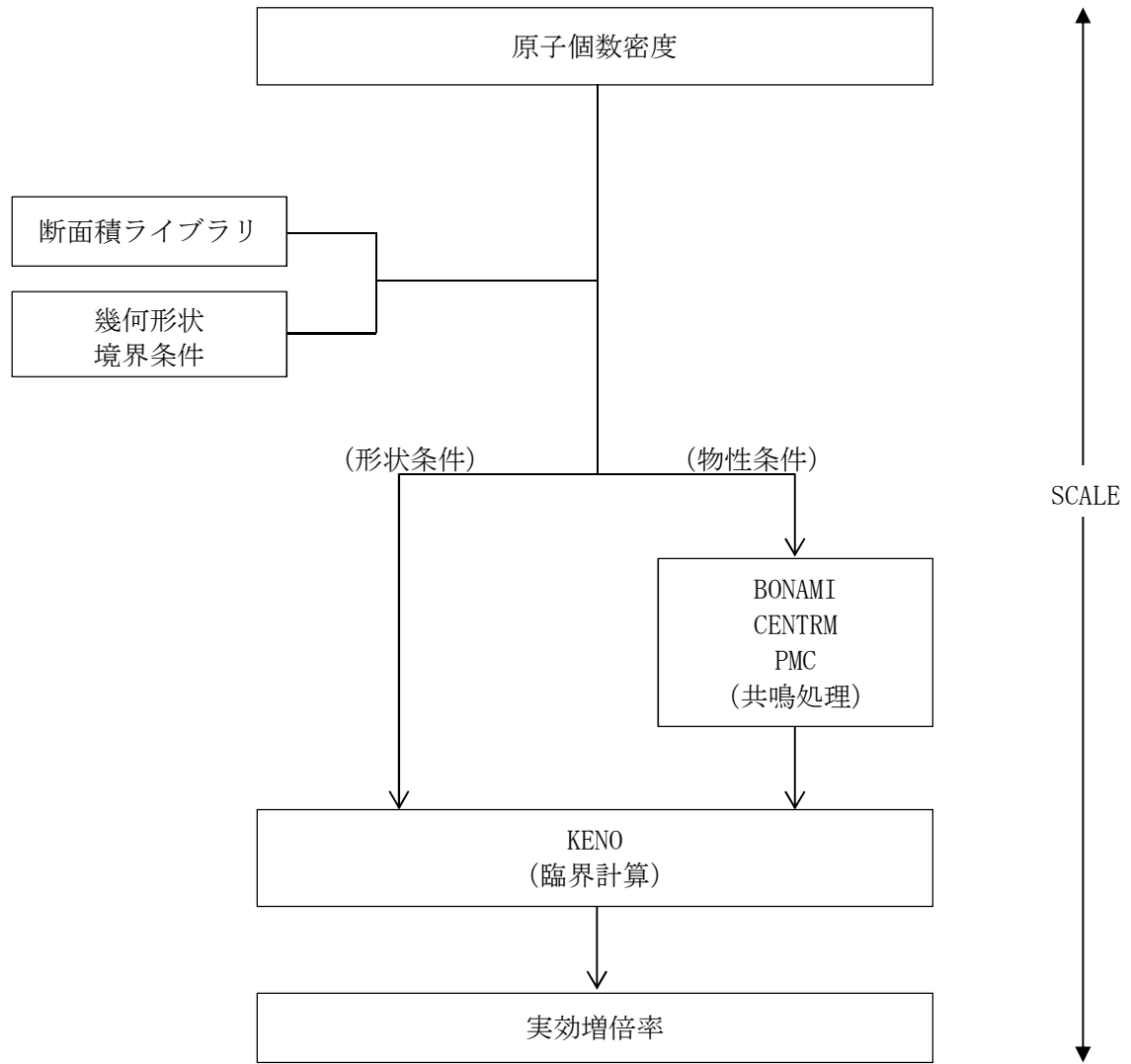
使用済燃料プール水漏えい時の未臨界性評価結果を第 3 図に示す。実効増倍率は不確定性を考慮しても最大で 0.93 となり、0.95 以下を満足している。

第 1 表 未臨界性評価の基本計算条件

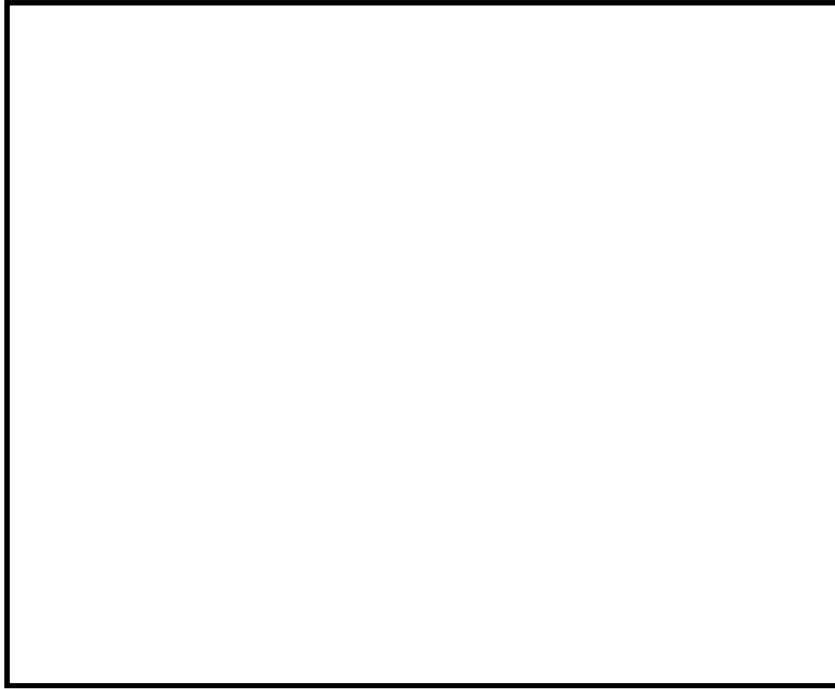
	項目	仕様
燃 料 仕 様	燃料種類	9 × 9 燃料 (A 型)
	U ²³⁵ 濃縮度	<input type="text"/> wt% *1
	ペレット密度	理論密度の 97 %
	ペレット直径	0.96 cm
	被覆管外径	1.12 cm
	被覆管厚さ	0.71 mm
	燃料有効長	3.71 m
使用済燃料ラック	ラックタイプ	キャン型
	ラックピッチ	<input type="text"/> mm
	材料	ボロン添加ステンレス鋼
	ボロン濃度	<input type="text"/> wt% *2
	板厚	<input type="text"/> mm
	内のり	<input type="text"/> mm

注記 *1: 未臨界性評価用燃料集合体 ($k_{\infty} = 1.30$ 未燃焼組成, Gd なし)

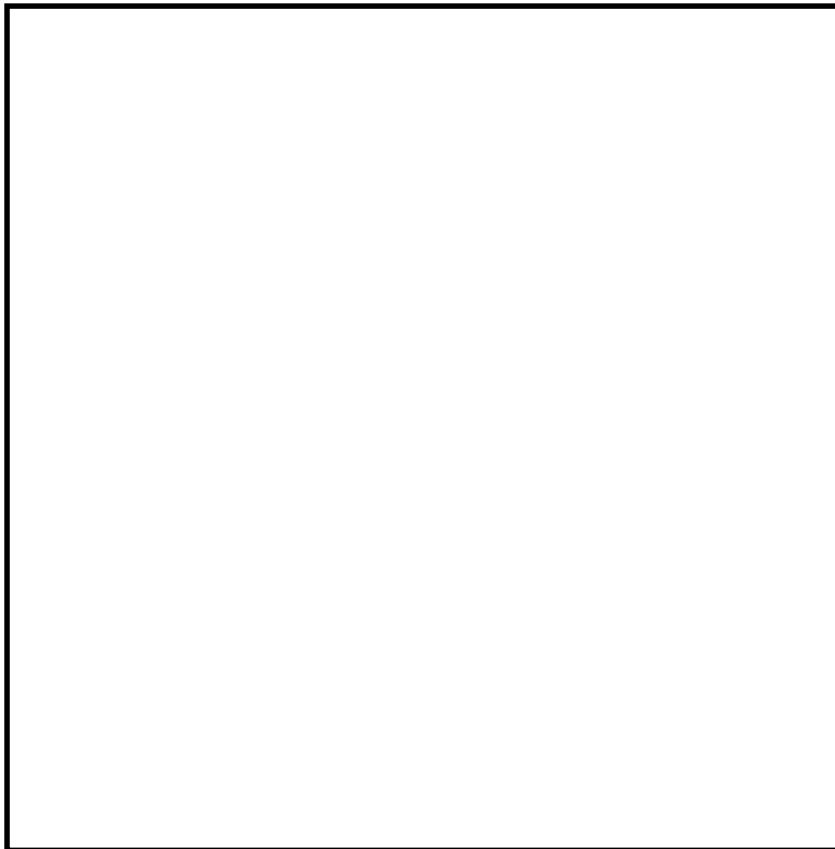
*2: ボロン濃度の解析使用値は, 製造公差下限値とする。



第1図 解析フローチャート



第 2 図 角管型ラックの計算体系



第 3 図 実効増倍率の水密度依存性

3.4 計算コード等の不確定性

計算コード等の不確定性は、計算コードの不確定性、燃料及びラック製作公差（ラック配置は実効増倍率が高くなる偏心配置）、統計誤差からなる。計算コードの不確定性は、実験値と計算値の平均的なずれ（平均誤差）、分散の95%信頼度から求められる標準偏差の上限に、95%の確率で実験結果が計算値を上回らない条件を考慮した値（95%信頼度×95%確率）がある。製作公差に基づく不確定性（燃料製作公差とラック製作公差（+燃料偏心配置影響））については、実効増倍率が最も高くなる体系を対象に解析を実施していることから、解析結果に含まれている。統計誤差 3σ についてもSCALEの解析結果として実効増倍率に加えた値を評価結果としている。これら計算コード等の不確定性を考慮しても、実効増倍率は十分低い値である（第2表）。

第2表 未臨界性評価における不確定性評価結果

臨界計算上の不確定性評価項目			不確定性
計算コードの不確定性	平均誤差	Δk	<input type="text"/>
	平均値の不確定性	ϵ_c	<input type="text"/>
製造公差に基づく不確定性	燃料製作公差	ϵ_f	—※1
	ラック製作公差 (+燃料偏心配置影響)	ϵ_r	—※1
統計誤差※2		3σ	<input type="text"/>

※1：炉心装荷時無限増倍率1.30の保守性の中に含まれると想定

※2：標準偏差の3倍

未臨界性評価の燃料条件

9×9燃料（A型）、9×9燃料（B型）、高燃焼度8×8燃料等の炉心装荷時の無限増倍率は、それぞれ添加されたガドリニアの量によって2種類ずつあるタイプを、それぞれ軸方向2～4領域に分割し、2次元の無限体系にて燃焼を進めて計算している。いずれの燃料においても低Gd燃料上部において無限増倍率が最大となり、運転期間中のガドリニア効果によるピークを考慮しても1.3を超えることはない。中でもピーク時の無限増倍率が高いのは9×9燃料（A型）及び9×9燃料（B型）であるが、値はほぼ同等のため、9×9燃料（A型）をモデルバンドルの想定に用いた。

濃縮度分布は燃料棒を外側から1～複数列ずつ、数種類に分け、実燃料の濃縮度分布を参考に、濃縮度分布を設定した。この濃縮度分布は、ウラン燃料設計の基本的な考え方（燃料集合体の内側と外側での中性子スペクトルの違いをふまえ、濃縮度を外側に向かって低く、コーナー部は低濃縮度にする）に基づいている。9×9燃料（A型）の濃縮度分布を参考にし、ガドリニアの燃焼が進んだ状態を想定して無限増倍率が1.3となるように濃縮度分布を変更した結果、濃縮度は□wt%となった。また、いずれの燃料においても燃焼が進むと無限増倍率は低下するため、使用済燃料として貯蔵される状態においては、より大きな保守性をもつと言える。モデルバンドルとしては9×9燃料（A型）を用いたが、いずれの燃料を用いても、この大きな保守性に包絡される。したがって、燃料条件は保守的である。