

放射性物質分析・研究施設第2棟に係る
実施計画の変更認可申請について
(臨界安全評価の見直しについて)

2月18日面談資料改訂版

2021年2月26日

東京電力ホールディングス株式会社
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構



1. 臨界安全評価の見直しについて

放射性物質分析・研究施設第2棟の臨界安全評価については、以下の見直しを実施する。

- 不均一効果を考慮した見直し
- 評価に用いるプルトニウム(Pu)組成について、MOX燃料中から██████を除いた組成への見直し

なお、以下の条件は、これまでの評価から変更しないものとする。

- 全て核燃料物質で構成されているものとする。
- 燃焼した燃料より核分裂性物質を多く含む新燃料(原子炉で使用する前の組成)とする。
- 原子炉での溶融に伴う性状の変化を考慮し、核燃料物質は酸化物と比較して核分裂性物質の重量割合が高くなる金属とする。
- 中性子吸収効果を有するガドリニウムを考慮しない。
- 誤操作による二重装荷を考慮し、安全裕度を確保する。

2. 臨界安全評価に用いるPu組成(1/2)

一部改訂

福島第一原子力発電所(1F)3号機に装荷されたMOX燃料のPu+²⁴¹Amの組成から [] を除いた組成とする。

1F 3号機に装荷されたMOX燃料のPu+²⁴¹Amの組成

	Pu+ ²⁴¹ Am含有率 [wt%] []	
元素	Pu+ ²⁴¹ Am	U
核種	[]	
組成 [wt%]	[]	
核種重量 [g/tHM]	[]	



元素	[]	U
核種	[]	
核種重量 [g/tHM]	[]	



	[] 含有率 [wt%] []	
核種	[]	
組成 [wt%]	[]	

$$[] \text{ 含有率} = \frac{[] \text{ の合計重量}}{[] \text{ の重量} + [] \text{ の合計重量}} \times 100$$

3. コンクリートセルの臨界安全解析(1/8)

追加説明

コンクリートセルの臨界安全解析では、下記を考慮する。

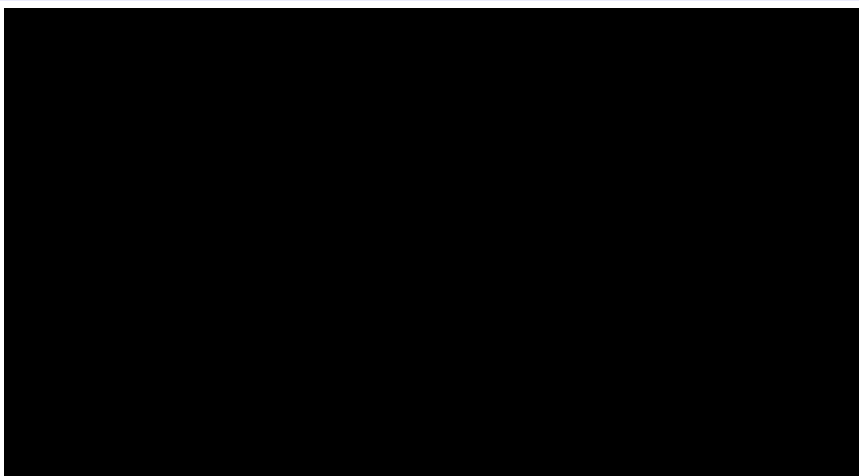
- 均質体系、Puが粒子状が存在する非均質体系を解析する。
- 燃料デブリ等の不均一な状態を想定して解析する。
- 均質体系では、不均一な状態として燃料領域内でPu濃度に差がある場合を想定する。
- 非均質体系では、不均一な状態として燃料領域内でPu粒子の配列にばらつきがある場合を想定する。

解析には、連続エネルギーモンテカルロコードMVP2.0を用いて、中性子実効増倍率($k_{\text{eff}}+3\sigma$)を評価する。

3. コンクリートセルの臨界安全解析(2/8) —均質/均一体系での解析結果—

追加説明

中性子実効増倍率



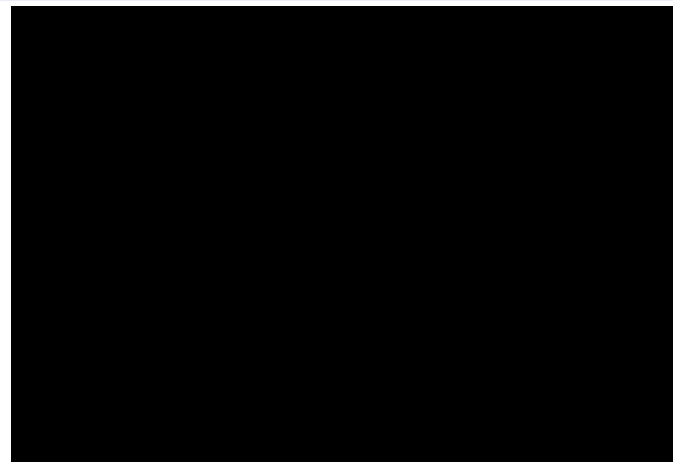
水対燃料体積比 (Vm/Vf)

水対燃料体積比による中性子実効増倍率の変化

Pu重量毎に最大の中性子実効増倍率をグラフ化

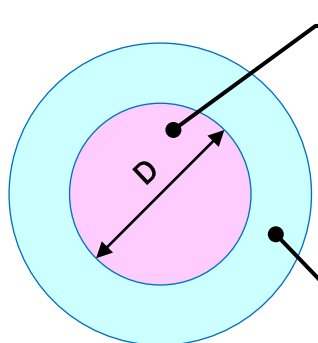


率
估
増
効
実
中
性
子



Pu重量 [kg]

Pu重量による中性子実効増倍率の変化



燃料領域が均一な状態を想定
水対燃料減速比をパラメータとして
球の直径(D)を変化させて最小臨界
質量を評価

水反射体
Puと水をモデル化した球の
周囲300mmの範囲に設定

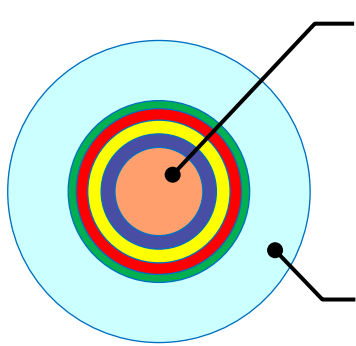
均質/均一体系の解析モデル

● : Pu+水の混合物 ● : 水

均質/均一体系において
中性子実効増倍率0.95となる
Puの重量



—均質／不均一体系での解析結果—



燃料領域内の燃料濃度に差がある状態を想定

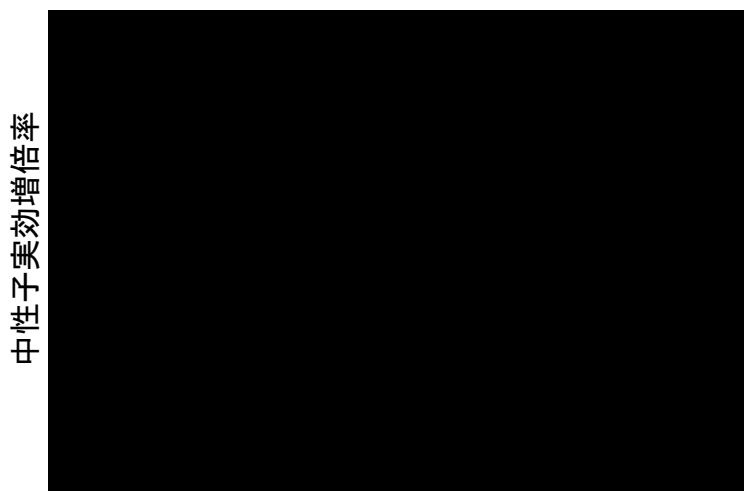
- 均質/均一体系の解析結果から得られた球の直径(D)に基づき燃料領域の体積を5等分
- 区分した燃料領域毎に、燃料と水の割合をパラメータとして燃料濃度を変化させることで燃料領域内に濃度差を設定

水反射体

Puと水をモデル化した球の周囲300mmの範囲に設定

均質／不均一体系の解析モデル

■ : Pu+水の混合物 ○ : 水

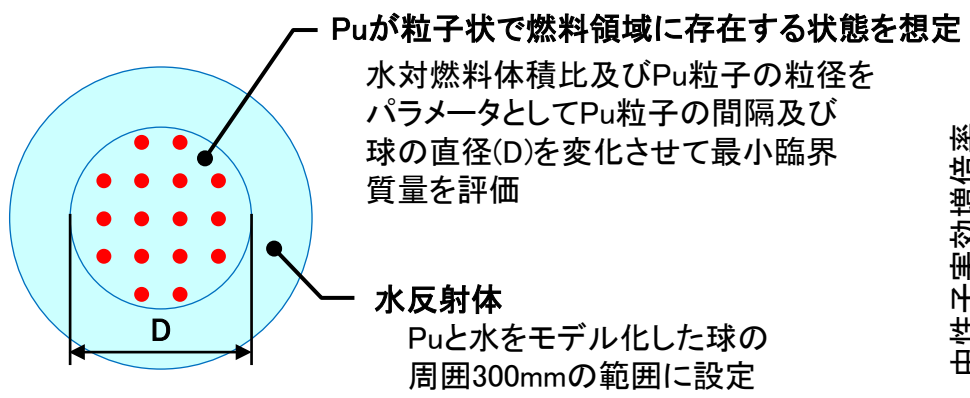


均質/不均一体系において 中性子実効増倍率0.95となる Puの重量	■
--	---

Pu重量による中性子実効増倍率の変化

3. コンクリートセルの臨界安全解析(4/8) —非均質／均一体系での解析結果①—

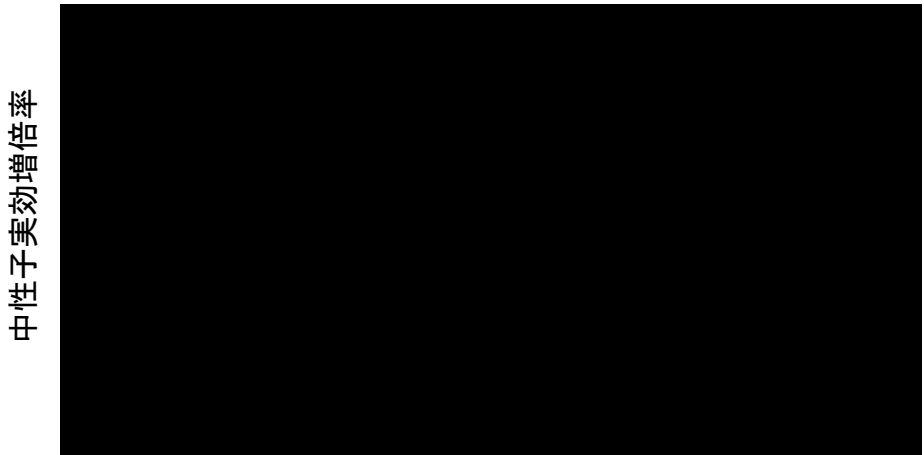
追加説明



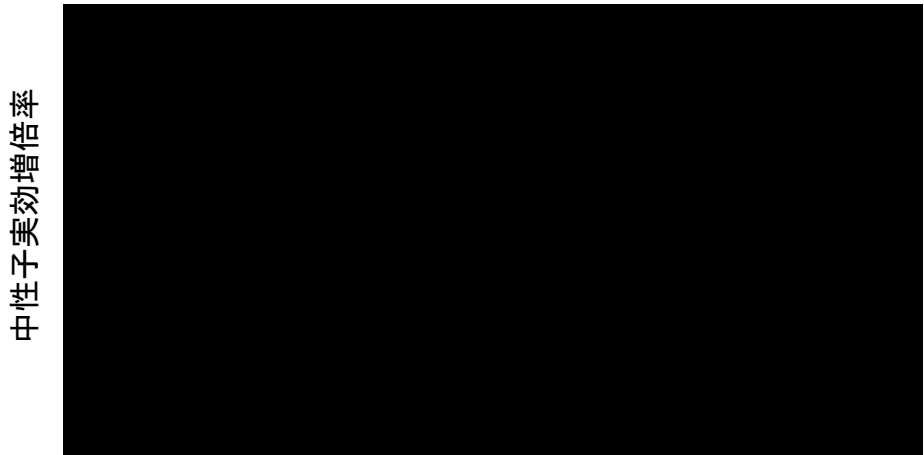
Pu重量別水対燃料体積比による中性子実効増倍率の変化

非均質／均一体系の解析モデル

● : Pu粒子 ○ : 水



水対燃料体積比 (V_m/V_f)

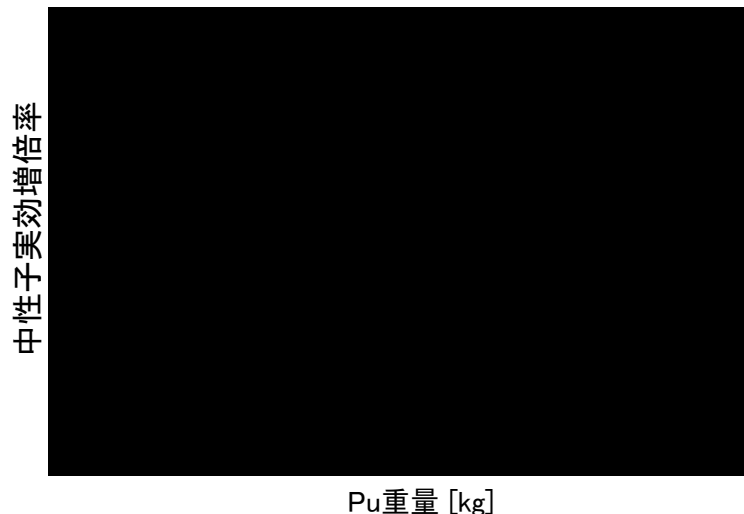


水対燃料体積比 (V_m/V_f)

⇒ Pu重量ごとの中性子実効増倍率の最大値(上図の赤丸)を用いて、Pu重量による中性子実効増倍率の変化を表すグラフとした

3. コンクリートセルの臨界安全解析(5/8) —非均質/均一体系での解析結果②—

追加説明



Pu重量による中性子実効増倍率の変化

Pu重量毎のパラメータと中性子実効増倍率

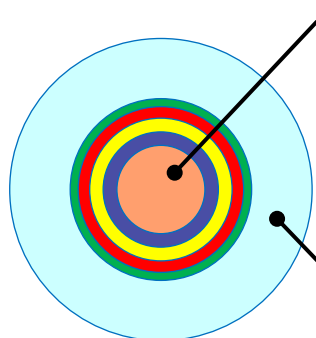
Pu重量 [kg]	水対燃料体積比 Vm/Vf	粒径 [cm]	中性子実効増倍率
	30	0.100	0.91775
	30	0.050	0.94807
	30	0.100	0.97264

非均質/均一体系において
中性子実効増倍率0.95となる
Puの重量



3. コンクリートセルの臨界安全解析(6/8) —非均質／不均一体系での解析結果—

追加説明



Puが粒子状で存在し、燃料領域内で配列にばらつきがある状態を想定

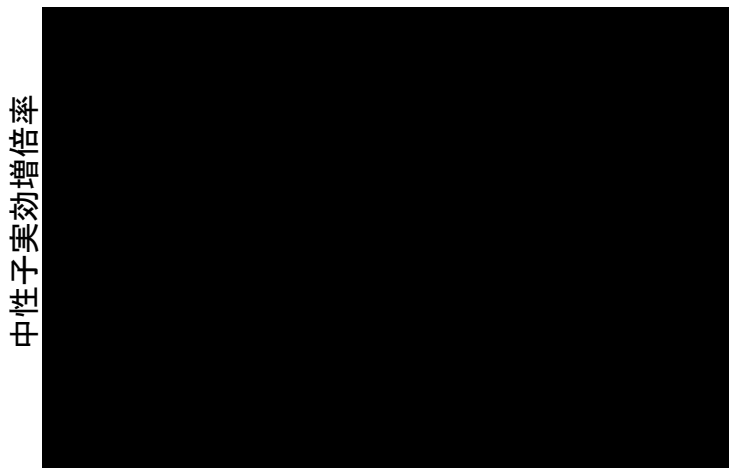
- 非均質/均一体系の解析結果から得られた球の直径(D)に基づき燃料領域の体積を5等分
- 区分した燃料領域毎に、燃料と水の割合をパラメータとしてPu粒子の間隔を変化させることで燃料領域内でPu粒子の配列にばらつきを設定

水反射体

Puと水をモデル化した球の周囲300mmの範囲に設定

非均質／不均一体系の解析モデル

: Pu+水の混合物
 : 水



Pu重量 [kg]

Pu重量による中性子実効増倍率の変化

非均質/不均一体系において
中性子実効増倍率0.95となる
Puの重量

■
(暫定値)

Pu重量毎のパラメータと中性子実効増倍率

Pu重量 [kg]	水対燃料体積比 Vm/Vf	粒径 [cm]	中性子実効増倍率
	30	0.050	0.92121
	30	0.025	解析中
	30	0.100	0.95411

3. コンクリートセルの臨界安全解析(7/8) —解析結果の比較—

追加説明

中性子実効増倍率が0.95となるPuの重量を評価した。

体系	臨界に達しないPu重量
均質 / 均一	■
均質 / 不均一	
非均質 / 均一	
非均質 / 不均一	

解析の結果から、非均質 / 不均一体系の場合が厳しい結果となる。

以上から臨界に達しないPuの重量を■と評価する。

— 評価結果 —

追加説明

- (1) 臨界に達しないPuの重量: [REDACTED]
($k_{eff} + 3\sigma$ が 0.95^{*1} となる時の重量)
- (2) 誤操作による二重装荷を考慮しても臨界に達しないPuの重量: [REDACTED]
(上記(1)に二重装荷を考慮した安全係数 0.43^{*2} を乗じる)

第2棟では、コンクリートセルにおける燃料デブリ等の取扱量を [REDACTED] 以下に制限する。
また、被覆管等との混在が想定される燃料デブリ等について、全て核燃料と見なす。

このとき、燃料デブリ等 [REDACTED] に含まれるPuの重量は [REDACTED] であり、さらに ^{235}U を加えた重量は [REDACTED] *3 であり、二重装荷を考慮しても臨界に達しないPuの重量 [REDACTED] を下回り、臨界に達することはない。

※1: 『臨界安全ハンドブック第2版』, 日本原子力研究所, (1999)

※2: 『Guide de Criticité』, CEA-R3114, COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE (1967)

※3: 燃料デブリ等 [REDACTED] に含まれるPu+ ^{235}U の重量として、 [REDACTED] から算出した重量

4. 試料ピットの臨界安全解析(1/5)

追加説明

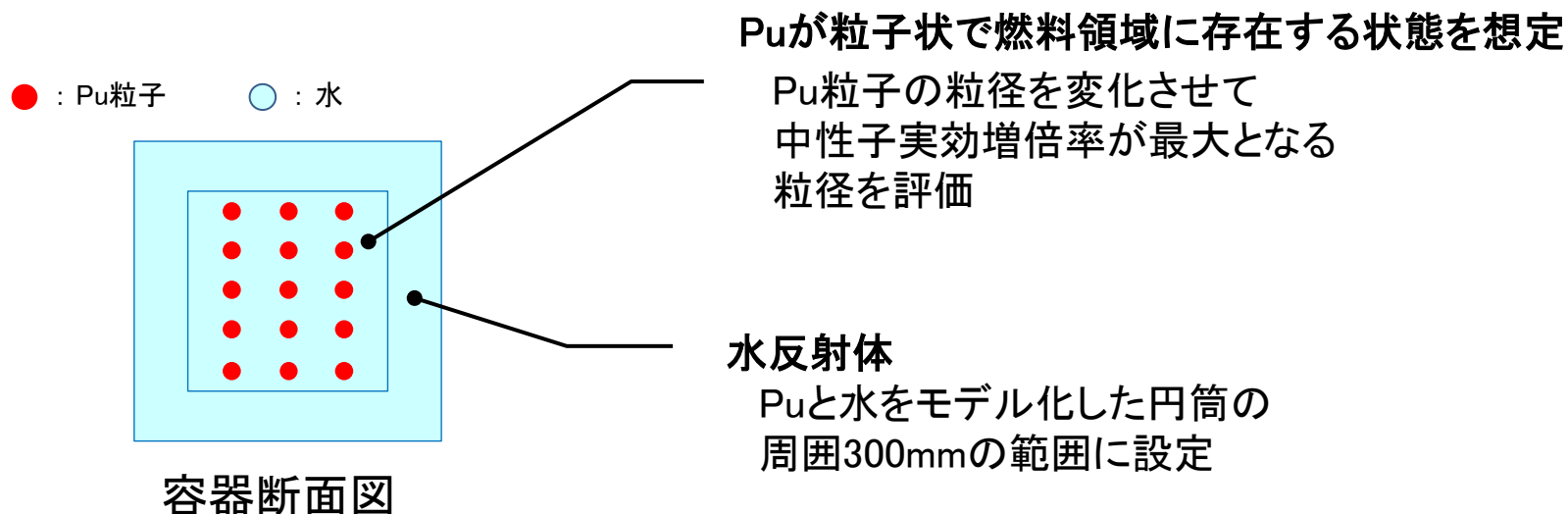
試料ピットの臨界安全解析では、下記を考慮する。

- 燃料デブリ等を収納した容器1つに対して、中性子実効増倍率が高くなる条件を検討する。
- 燃料領域内でPu粒子の配列にばらつきがある不均一な状態を想定する。

以上の検討で得られた条件をもとに、試料ピットに容器を配置して試料ピット全体の中性子実効増倍率($k_{eff}+3\sigma$)を評価する。なお、解析には、連続エネルギーモンテカルロコードMVP2.0を用いる。

4. 試料ピットの臨界安全解析(2/5) — 容器の非均質/均一体系での解析結果 —

追加説明

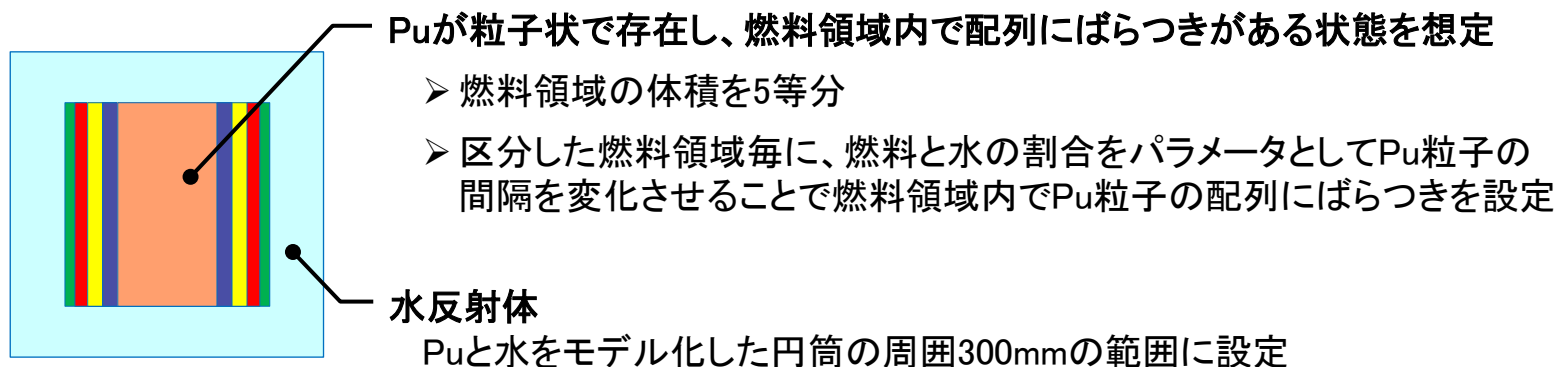


容器の非均質/均一体系の解析モデル

4. 試料ピットの臨界安全解析(3/5)

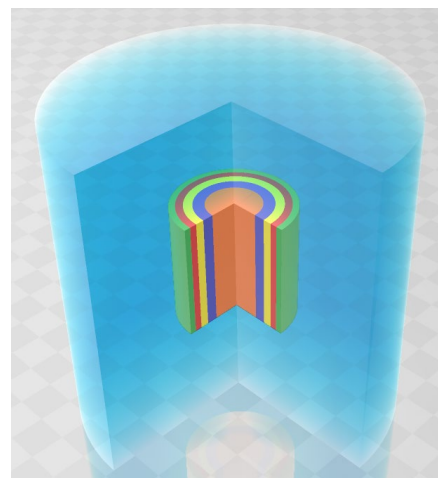
— 容器の非均質/不均一体系での解析結果 —

追加説明



: Pu+水の混合物 : 水

非均質/不均一体系の解析モデル



解析モデルのイメージ

4. 試料ピットの臨界安全解析(4/5) — 容器単体の解析結果 —

追加説明

容器単体の解析結果

体系	Pu粒子の粒径	中性子実効増倍率
非均質／均一	0.05 cm	0.72000
非均質／不均一	0.06 cm	0.72233

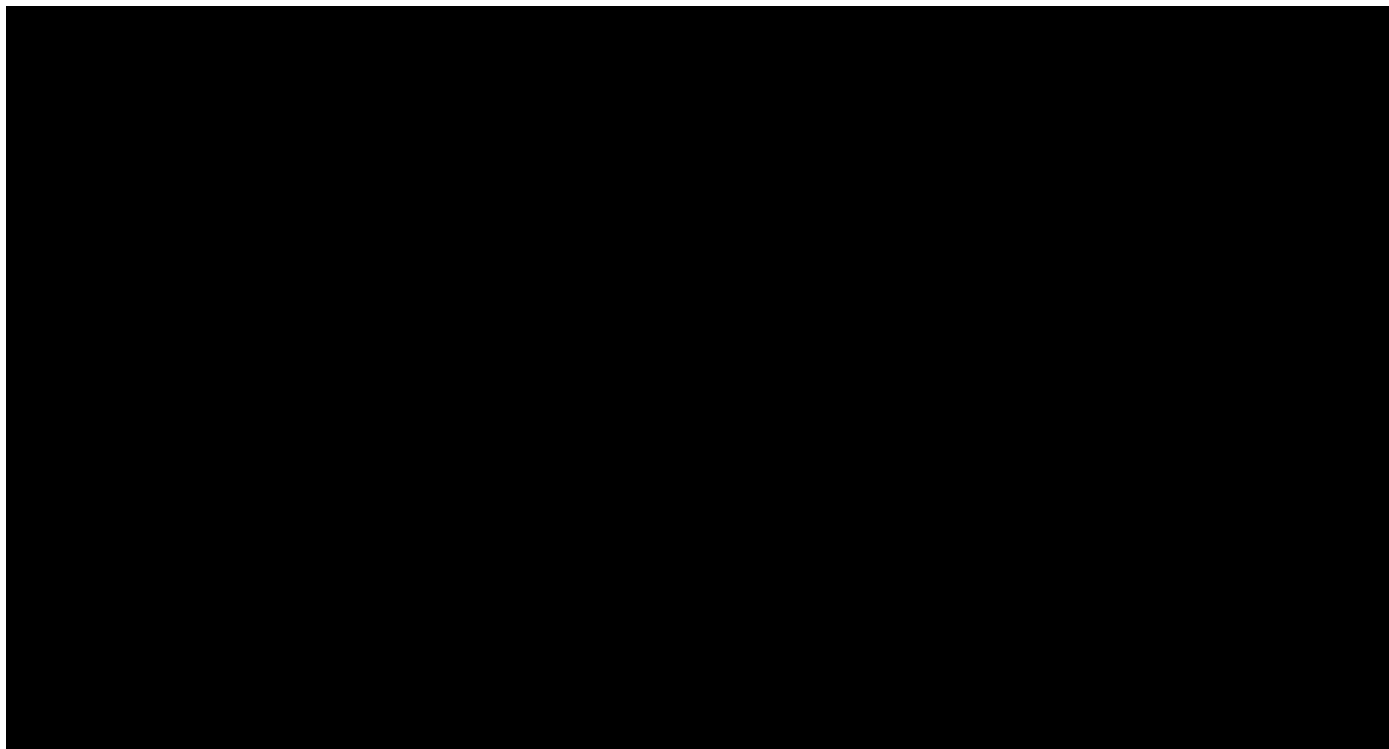
4. 試料ピットの臨界安全解析(5/5)

— 試料ピットの解析結果 —

追加説明

解析結果

試料ピットに、容器単体の解析結果に基づき、非均質／不均一とした容器を配置して中性子実効増倍率を計算した結果、0.91770である。これは、未臨界性の判断基準である0.95を下回り、臨界に達することはない。



試料ピット断面図