

【公開版】

提出年月日	令和2年3月25日	R8
日本原燃株式会社		

M O X 燃 料 加 工 施 設 に お け る  
新 規 制 基 準 に 対 す る 適 合 性

安全審査 整理資料

第 22 条：重大事故等の拡大の防止等

## 目 次

### 1 章 基準適合性

1. 規則適合性
2. 重大事故等の拡大の防止等（要旨）
3. 設計上定める条件より厳しい条件の設定及び重大事故の想定箇所  
の特定
4. (欠番)
5. 重大事故等の対処に係るの有効性評価の基本的考え方
6. 核燃料物質等を閉じ込める機能の喪失への対処
7. 重大事故が同時に又は連鎖して発生した場合の対処
8. 必要な要員及び資源の評価

# 1 章 基準適合性

MOX燃料加工施設 安全審査 整理資料 補足説明資料リスト  
 第22条: 重大事故等の拡大の防止等(3. 設計上定める条件より厳しい条件の設定及び重大事故の想定箇所の特定)

MOX燃料加工施設 安全審査 整理資料 補足説明資料				備考
資料No.	名称	提出日	Rev	
補足説明資料3-1	重大事故の起因となる機能喪失を発生させる可能性がある自然現象等の選定根拠	2/26	1	
補足説明資料3-2	自然現象に対して実施する対処について	12/26	0	
補足説明資料3-3	自然現象の発生規模と安全機能への影響の関係	2/26	1	
補足説明資料3-4	重大事故等の特定	1/23	1	
添付資料1	MOX燃料加工施設における核燃料物質の取扱い	2/26	0	
添付資料2	各異常事象に対する発生防止対策について	2/26	0	
補足説明資料3-5	SCALEコードシステムの概要	2/26	1	第15条の説明内容に移動。
補足説明資料3-6	混合機の容積制限について	2/26	1	第15条の説明内容に移動。
補足説明資料3-7	未臨界質量の評価について	12/26	0	第15条の説明内容に移動。
補足説明資料3-8	未臨界質量に至る所要時間の算定について	2/26	1	第15条の説明内容に移動。
補足説明資料3-9	水配管の破損による溢水の想定について	2/26	1	第15条の説明内容に移動。
補足説明資料3-10	燃料棒貯蔵設備における貯蔵マガジン落下時の没水の可能性について	12/26	0	第15条の説明内容に移動。
補足説明資料3-11	燃料集合体貯蔵設備の没水の可能性について	12/26	0	第15条の説明内容に移動。
補足説明資料3-12	設計上定める条件より厳しい条件等の同時発生	3/10	1	
補足説明資料3-13	近接原子力施設からの影響	2/26	0	
補足説明資料3-14	グローブボックス排気設備停止時におけるグローブボックスの温度評価	2/26	0	
補足説明資料3-15	安全上重要な施設の系統図	3/19	1	
補足説明資料3-16	フォールトツリー	3/19	1	

MOX燃料加工施設 安全審査 整理資料 補足説明資料リスト  
第22条: 重大事故等の拡大の防止等(3. 設計上定める条件より厳しい条件の設定及び重大事故の想定箇所の特定)

MOX燃料加工施設 安全審査 整理資料 補足説明資料				備考
資料No.	名称	提出日	Rev	
補足説明資料3-17	フォールトツリー(設計上定める条件より厳しい条件毎の安全機能喪失の特定)	3/19	0	
補足説明資料3-18	系統図(設計上定める条件より厳しい条件毎の安全機能喪失の特定)	3/19	0	
補足説明資料3-19	臨界の発生可能性の検討	3/25	1	

令和2年3月25日 R 1

補足説明資料 3-19 (22 条)

## 臨界の発生可能性の検討

### 1. 設計上定める条件より厳しい条件を超える条件における臨界の発生可能性の検討

設計上定める条件より厳しい条件を想定してもMOX燃料加工施設において臨界事故の発生は想定されないことから、設計上定める条件より厳しい条件を超える条件において核燃料物質の集積を想定し、臨界の発生可能性を検討する。

地震が発生した場合は、基準地震動の1.2倍の地震動を考慮した際に機能維持できる設計としない機器は機能喪失するものの、核燃料物質の搬送機能は喪失するため、臨界には至らない。また、火山の影響及び全交流電源の喪失については、工程が停止することから、核燃料物質の集積はなく、臨界には至らない。

このため、設計上定める条件より厳しい条件を超える条件として、内的事象により複数の異常が同時に発生するとともに、複数の動的機器の多重故障及び多重誤作動並びに運転員の多重誤操作を想定することにより、臨界事故の発生の可能性を評価する。評価の前提条件として各MOX形態の初期値を核的制限値に基づき設定する。

なお、評価に当たっては、臨界ベンチマーク実験の解析により、その信頼性が確認され、MOXに対する推定臨界下限中性子実効増倍率が0.97と検証されている計算コードシステムSCALE-4のKENO-V.aコード又はKENO-V.aコードと同等であるKENO-VIコード及びENDF/B-IVライブラリを用いて解析を行う。

(1) 想定する事故シナリオ

上記検討のとおり、厳しい条件として、設備・機器の多重の故障及び誤動作並びに繰り返しの誤操作を想定した結果、逸脱する可能性がある評価条件として核燃料物質量の逸脱を想定する。

(a) 内の事象

核燃料物質量の逸脱は、誤搬入防止機構の機能が喪失し、核燃料物質が制限なく搬入可能な状態となった場合に発生する可能性があることから、MOXが収納された容器が貯蔵施設からグローブボックスに継続的に搬入され、核的制限値を超えて核燃料物質が集積する状況を事故シナリオとする。

(b) グローブボックス内への容器の異常搬入並びに混合機及びホッパ内へのMOXの過剰投入

MOXが収納された容器が貯蔵施設からグローブボックスに継続的に搬入され、核的制限値を超えて核燃料物質が集積する状況を事故シナリオとし、臨界の発生可能性を検討する。

本検討においては、MOXが収納された容器を搬送装置の可動域内で物理的に可能な範囲で最密に配置し、さらにMOXが混合機及びホッパ内に満杯に投入された場合のグローブボックス内に入り得るMOXの最大集積量を算定する。MOXの最大集積量の算定は、当該グローブボックス内に設置する搬送装置の構造から乗載可能な容器数を算定し、次に搬送



装置以外の機器で取扱いが可能な容器数を算定して、グローブボックス内に入り得る容器数を算定する。また、粉末回収装置で回収し得るMOX粉末量並びに混合機及びホッパに満杯に投入された場合のMOX量を算定し、これら全てを合算してグローブボックス内に入り得るMOXの最大集積量とする。

次に、算定した各グローブボックスのMOXの最大集積量とMOX形態ごとの未臨界質量を比較する。ここで未臨界質量とは、水反射体 2.5cm、球形状モデルにて計算した中性子実効増倍率が推定臨界下限増倍率 0.97 以下となる質量であり、MOXの最大集積量が未臨界質量を超えなければ、いかなる集積状態においても臨界に至ることはないと判定する。未臨界質量の評価条件を第1表に、評価結果を第2表に示す。

全てのグローブボックスを対象に評価を行った結果、以下のグローブボックスにおいてMOXの最大集積量が未臨界質量を超える結果となった。各グローブボックスのMOXの最大集積量を第3表に示す。

- ・原料MOX粉末缶取出装置グローブボックス
- ・原料MOX粉末秤量・分取装置グローブボックス
- ・予備混合装置グローブボックス
- ・一次混合粉末秤量・分取装置グローブボックス
- ・均一化混合装置グローブボックス
- ・回収粉末処理・詰替装置グローブボックス
- ・回収粉末処理・混合装置グローブボックス

i. 分散配置したモデルによる臨界評価



未臨界質量は、MOXが一箇所に球形状に集積したと仮定した極めて厳しい条件で算定した値であり、実際にはグローブボックス内のMOXは分散して存在していることから、グローブボックス内の総MOX量が未臨界質量を超えたとしても必ずしも臨界が発生するわけではない。そこで、MOXの集積量が未臨界質量を超えるグローブボックスに対し、MOXを分散配置したモデルにより臨界評価を行う。

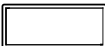
## ii. 評価モデルの設定方法

分散配置したモデルは、容器及び機器にMOXが収納された単位で体積が等価な1つの球としてモデル化し、設備の構造に基づき配置することを基本とする。

ここでは、均一化混合装置を代表例として、当該設備の構造に基づきMOXを分散配置したモデルの考え方を以下に示す。

- (i) 均一化混合装置グローブボックスで取り扱う J 85 1 容器に収納されたMOXを体積が等価な1つの球にモデル化する。J 85 のMOX質量の核的制限値  $90\text{kg}\cdot\text{MOX}$  と粉末密度  $5 \times 10^3\text{kg}/\text{m}^3$  から球半径を 16.3cm と設定する。
- (ii) 粉末回収装置で回収するMOX粉末は少量であるため、最も大きい球に合算して考慮する。均一化混合装置グローブボックス内でMOX量が最大となる満杯時の均一化混合機  $1850\text{kg}\cdot\text{MOX}$  に、CS・RS保管ポット  $3\text{kg}\cdot\text{MOX}$ 、粉末回収装置のカップ  $10\text{kg}\cdot\text{MOX}$  及び  $13\text{kg}\cdot\text{MOX}$  を加えた合計  $1876\text{kg}\cdot\text{MOX}$  と粉末密度  $5 \times 10^3\text{kg}/\text{m}^3$  から球半径を 44.8cm と設定する。

(iii) 搬送コンベア上に配置する球の間隔は、容器同士が接したときの中心間距離と同じ間隔で配置し、J 85 容器下部の搬送板の外寸が  であることから、J 85 をモデル化した球の中心間距離も  として配置する。


また、搬送コンベア上に配置する球の数は、設計上搬送装置に乘載可能な数ではなく、より厳しい評価となるようにグローブボックス長手方向の外寸を超える数の球を配置する。均一化混合装置グローブボックスにおいて搬送コンベアに物理的に乘載可能な J 85 は 6 容器であるが、グローブボックス長手方向の外寸が  であることから J 85 をモデル化した球を一行に 10 個配置する。

(iv) 混合機をモデル化した球と各容器をモデル化した球は当該設備の構造に基づいて配置するが、表面間の距離が 30cm より大きい場合は、混合機をモデル化した球と各容器をモデル化した球は表面から 30cm の離隔距離を取り配置する。

(v) 最も低い位置及び最も高い位置にある球の表面から 50cm 離れた位置を床及び天井とし、厚さ 1 m のコンクリートを配置する。また、最も外側にある球の表面から 1 m 離れた位置の四方を壁とし、厚さ 1 m のコンクリートを配置する。

### iii. 評価の判定基準

計算コードシステム SCALE-4 の KENO-V. a コード及び ENDF/B-IV ライブラリを用いて計算した結果、標準偏差の 3

 については商業機密の観点から公開できません。

倍を考慮した中性子実効増倍率が、推定臨界下限増倍率 0.97 を下回る場合、臨界に至らないと判定する。

iv. 分散配置したモデルによる臨界評価結果

MOXの集積量が未臨界質量を超えるグローブボックスの臨界解析結果を以下に示す。また、各グローブボックスを分散配置したモデルを第1図に示す。

評価の結果、全てのグローブボックスにおいて中性子実効増倍率が 0.97 を下回ることから、MOXが収納された容器が搬送装置の可動域内で物理的に配置可能な範囲でグローブボックス内に搬入され、さらにMOXが混合機及びホッパ内に満杯に投入されることを想定した場合においても臨界に至ることはない。

グローブボックス	中性子実効増倍率
原料MOX粉末缶取出装置グローブボックス	0.658
原料MOX粉末秤量・分取装置グローブボックス	0.763
予備混合装置グローブボックス	0.933
一次混合粉末秤量・分取装置グローブボックス	0.780
均一化混合装置グローブボックス	0.944
回収粉末処理・詰替装置グローブボックス	0.851
回収粉末処理・混合装置グローブボックス	0.931

第1表 未臨界質量の評価条件

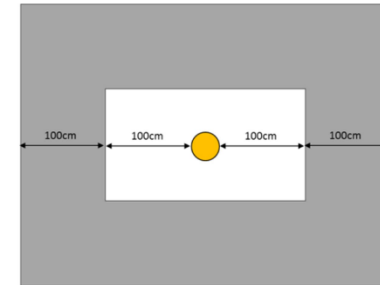
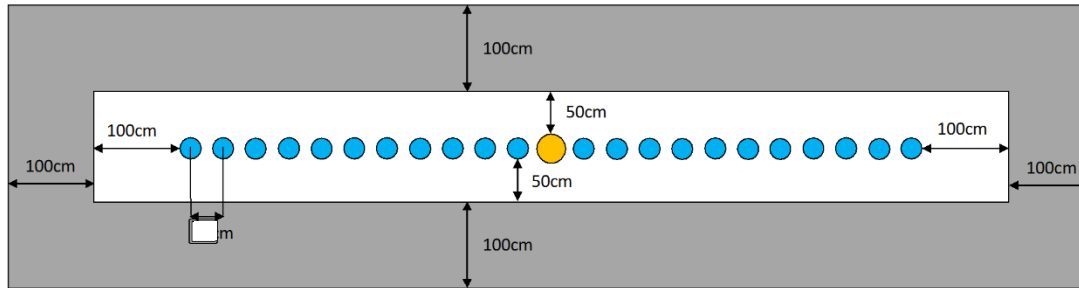
MOX形態		Pu 富化度 (%)	含水率 (%)	密度 ( $\times 10^3 \text{kg/m}^3$ )	核分裂性 Pu 割合 (%)	ウラン中のウラン-235含有率 (%)
粉末	原料MOX粉末	60	0.5	4.0	83	1.6
	一次混合粉末	30	1.0	5.0		
	二次混合粉末	14	1.5	5.0		
	添加剤混合粉末	14	2.5	5.0		
ペレット	グリーンペレット	14	2.5	7.9		
	焼結ペレット	14	0.1	11.1		

第2表 未臨界質量の評価結果

MOX形態	未臨界質量 (kg・MOX)	$k_{eff}+3\sigma$
原料MOX粉末	300	0.932
一次混合粉末	650	0.951
二次混合粉末	2200	0.968
添加剤混合粉末	1500	0.960
グリーンペレット	600	0.956
焼結ペレット	850	0.965


第3表 各グローブボックスのMOXの最大集積量

グローブボックス	容器数	MOX集積量 (kg・MOX)
原料MOX粉末缶取出装置 グローブボックス	粉末缶：29 容器 原料MOXポット：1 缶	440
原料MOX粉末秤量・分取装置 グローブボックス	粉末缶：13 缶 J 18：2 基 分取ホッパA 分取ホッパB 原料MOXポット：1 缶 粉末回収装置	500
予備混合装置 グローブボックス	J 60：7 基 予備混合機 原料MOXポット：1 缶 粉末回収装置	1050
一次混合粉末秤量・分取装置 グローブボックス	J 60：16 基 CS・RS保管ポット：1 缶 篩分粉末ホッパ 粉末回収装置 一次混合粉末ホッパ	1610
均一化混合装置 グローブボックス	J 85：8 基 CS・RS保管ポット：1 缶 均一化混合機 粉末回収装置	2600
回収粉末処理・詰替装置 グローブボックス	J 60：3 基 ペレット保管容器：6 基 9 缶バスケット：9 基 CS・RS保管ポット：11 缶 粉末回収装置 反転装置付ホッパ 粗粉碎機 ポット反転装置	2020
回収粉末処理・混合装置 グローブボックス	J 60：10 基 CS・RS保管ポット：1 缶 回収粉末ホッパ（強制篩分機） 回収粉末混合機 粉末回収装置	1510



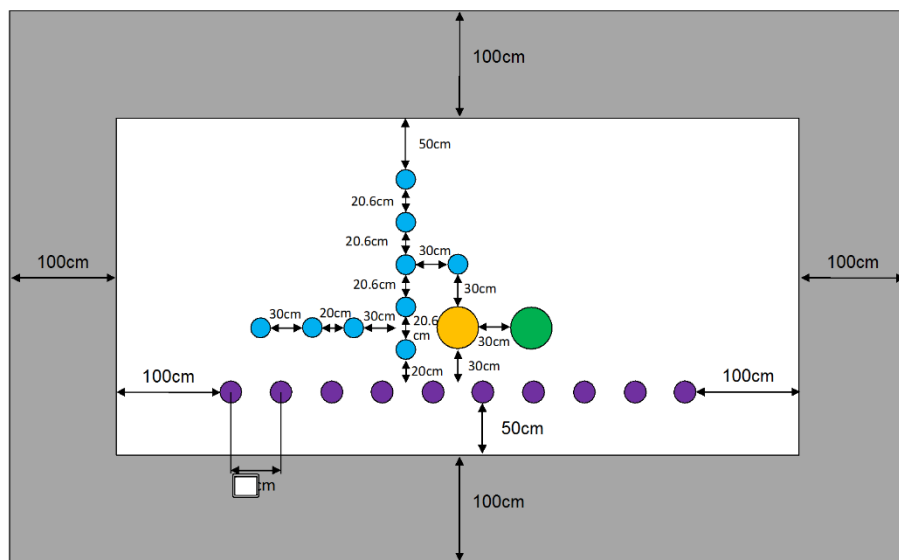
- 粉末缶5缶分と粉末回収装置を合わせた球  $r=16.7\text{cm}$
- 粉末缶2缶分を合わせた球  $r=12.2\text{cm}$
- 普通コンクリート
- 雰囲気中水密度 ( $0.001 \times 10^3\text{kg/m}^3$ )

評価条件  
 プルトニウム富化度：60%  
 含水率：0.5%  
 密度： $4.0 \times 10^3\text{kg/m}^3$

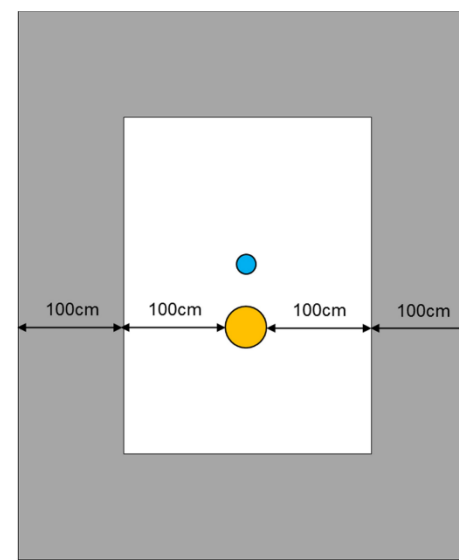
 については商業機密の観点から公開できません。

第1図 分散配置モデル（原料MOX粉末缶取出装置グローブボックス）（1 / 7）





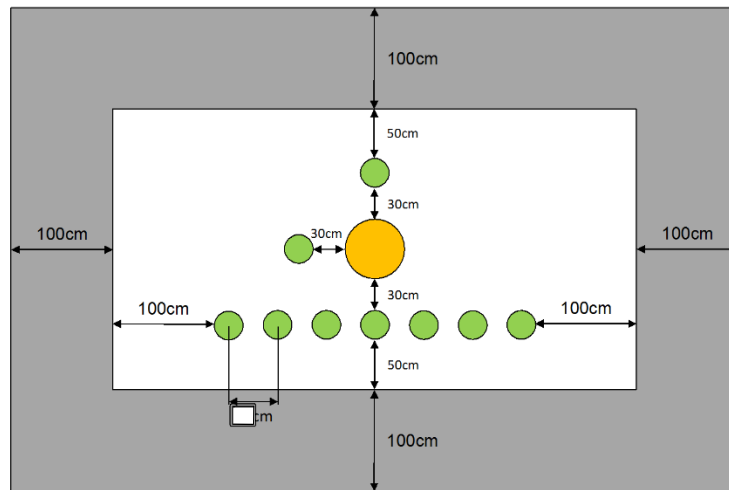
- 分取ホツバA r=20.2cm    ● J18 r=10.7cm    □ 普通コンクリート
- 分取ホツバB r=19.4cm    ● 粉末缶 r=9.7cm    □ 雰囲気中水密度( $0.001 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ )



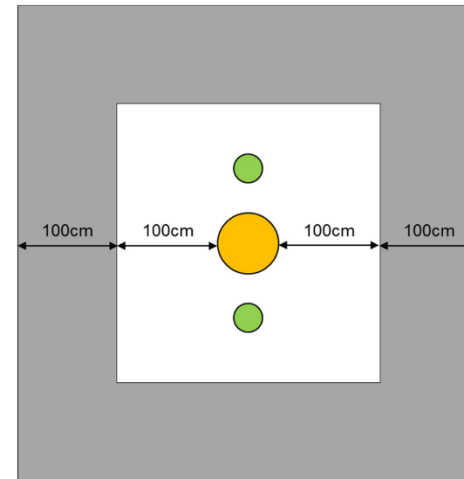
評価条件  
 プルトニウム富化度：60%  
 含水率：0.5%  
 密度： $4.0 \times 10^3 \text{kg/m}^3$

 については商業機密の観点から公開できません。

第1図 分散配置モデル（原料MOX粉末秤量・分取装置グローブボックス）（2 / 7）



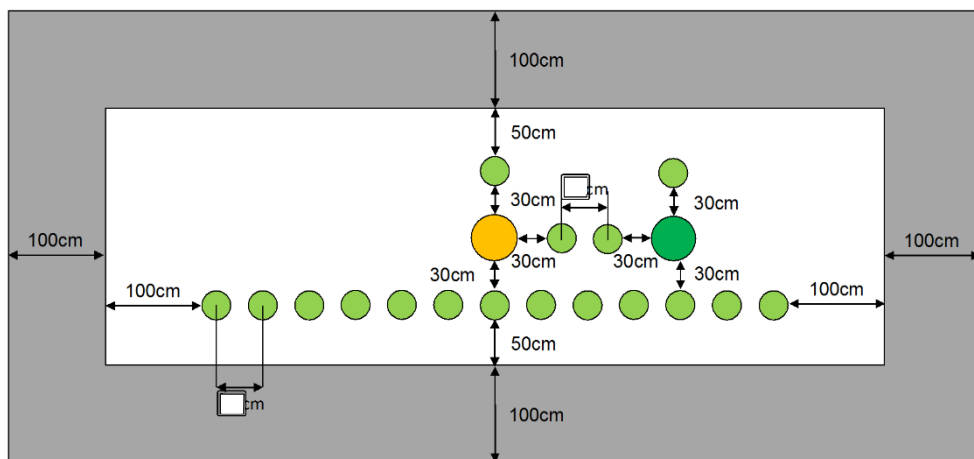
● 予備混合機  $r=30.4\text{cm}$     ● J60  $r=14.6\text{cm}$   
 普通コンクリート     雰囲気中水密度 ( $0.001 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ )



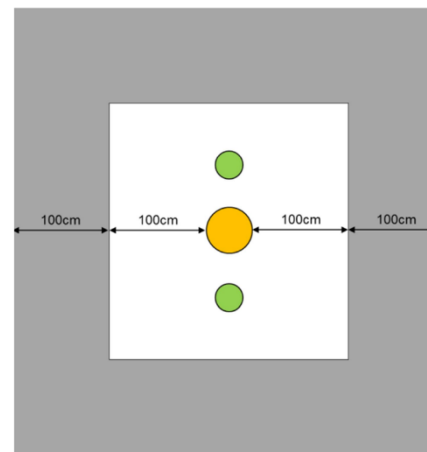
評価条件  
 プルトニウム富化度：30%  
 含水率：1.0%  
 密度： $5.0 \times 10^3 \text{kg/m}^3$

については商業機密の観点から公開できません。

第1図 分散配置モデル（予備混合装置グローブボックス）（3 / 7）



- 一次混合粉末ホッパ  $r=24.3\text{cm}$
- 篩分粉末ホッパ  $r=23.3\text{cm}$
- J60  $r=14.6\text{cm}$
- 普通コンクリート
- 雰囲気中水密度 ( $0.001 \times 10^3\text{kg/m}^3$ )



評価条件

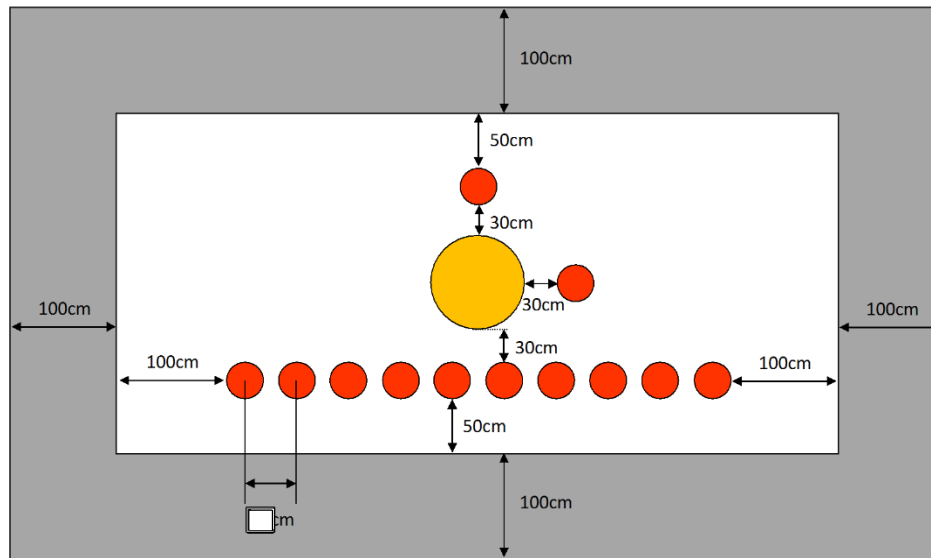
プルトニウム富化度：30%

含水率：1.0%

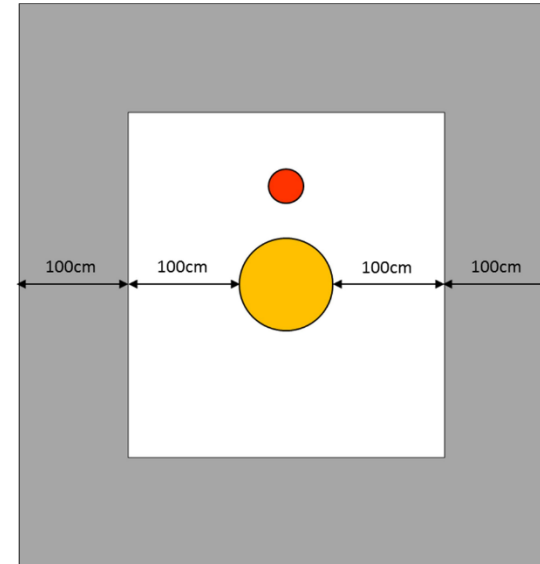
密度： $5.0 \times 10^3\text{kg/m}^3$

については商業機密の観点から公開できません。

第1図 分散配置モデル（一次混合粉末秤量・分取装置グローブボックス）（4 / 7）



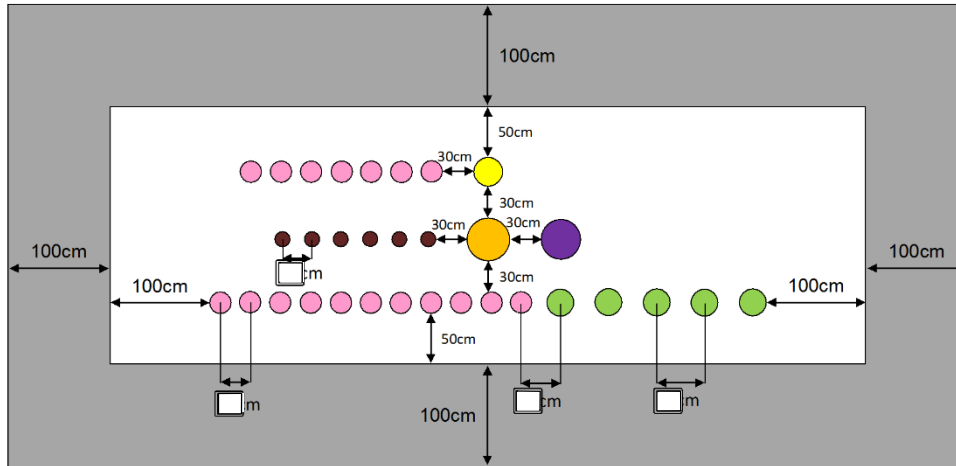
- 均一化混合機  $r=44.8\text{cm}$
- J85  $r=16.3\text{cm}$
- 普通コンクリート
- 雰囲気中水密度 ( $0.001 \times 10^3\text{kg/m}^3$ )



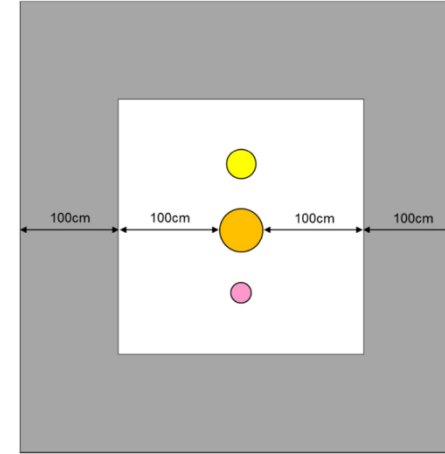
評価条件  
 プルトニウム富化度：14%  
 含水率：1.5%  
 密度： $5.0 \times 10^3\text{kg/m}^3$

  については商業機密の観点から公開できません。

第1図 分散配置モデル（均一化混合装置グローブボックス）（5 / 7）



- ポット反転装置付ホツパ  $r=21.8\text{cm}$
- 粗粉碎機  $r=20.5\text{cm}$
- 反転装置  $r=15.1\text{cm}$
- 普通コンクリート
- J60  $r=14.6\text{cm}$
- 9缶バスケット  $r=11.1\text{cm}$
- ペレット保管容器  $r=8.1\text{cm}$
- 雰囲気中水密度 ( $0.001 \times 10^3\text{kg/m}^3$ )



評価条件

【J60】

プルトニウム富化度：30%

含水率：1.0%

密度： $5.0 \times 10^3\text{kg/m}^3$

【J60 以外】

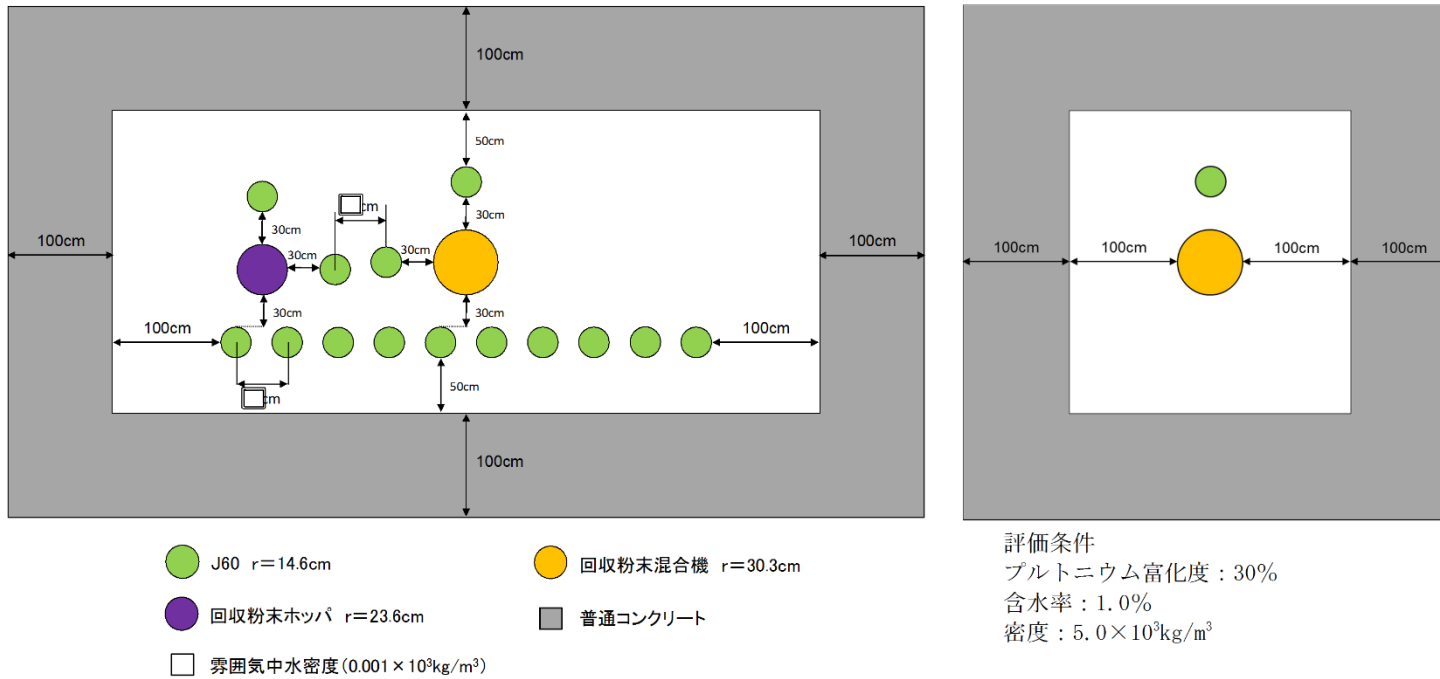
プルトニウム富化度：14%

含水率：0.1%

密度： $11.1 \times 10^3\text{kg/m}^3$

□ については商業機密の観点から公開できません。

第1図 分散配置モデル（回収粉末処理・詰替装置グローブボックス）（6 / 7）



□ については商業機密の観点から公開できません。

第1図 分散配置モデル（回収粉末処理・混合装置グローブボックス）（7 / 7）

## SCALEコードシステムの概要

## 1. SCALEコードシステムの概要

SCALEは、米国オークリッジ研究所（ORNL）で開発された公開コードシステムであり、核燃料物質、構造材等の幾何形状を入力とし、中性子の飛程を乱数を使用して確率的に計算し、各中性子が吸収されて消滅するか、体系外に漏れるまでの反応過程で発生する核分裂中性子数を計算し、これらの比から中性子実効増倍率を求めるものである。

## 2. MOX燃料加工施設で使用する臨界計算コード

MOX燃料加工施設の臨界安全評価では、SCALE-4コードシステムに含まれるKENO-V.aコード又はKENO-VIコード及びENDF/B-IVライブラリを用いる。KENO-VIコードは、KENO-V.aコードで入力できない幾何形状に対して使用する。また、KENO-VIコードは、KENO-V.aコードと同等であることは文献<sup>(1)</sup>により確認されている。

## 3. 臨界計算コードの妥当性及び推定臨界下限中性子実効増倍率

SCALE-4コードシステムの臨界ベンチマーク評価は、以下のとおりであり、MOXに対する推定臨界下限中性子実効増倍率が0.97と検証<sup>(2)</sup>されている。

(1) PuO<sub>2</sub>均質系

PuO<sub>2</sub>均質系として、16ケースについて評価を行っている。実験の体系は、PuO<sub>2</sub>-ポリスチレンコンパクトを用いたもので、

この中には、溶液の体系も含まれている。

(2) MOX均質系

MOX均質系として、49ケースについて評価を行っている。実験の体系は、PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>-ポリスチレンコンパクトを用いたもので、Pu富化度は、約8～30%のものについて実施している。

(3) MOX非均質系

MOX非均質系として、138ケースについて評価を行っている。実験の体系は、正方格子に配列した燃料棒に対し、様々な反射体を用いたものとなっている。

(4) ベンチマーク計算結果及び誤差評価

下表にPuO<sub>2</sub>均質系、MOX均質系及びMOX非均質系の推定臨界中性子実効増倍率及び推定臨界下限中性子実効増倍率を示す。

第1表 ベンチマーク計算結果及び誤差

体系	ケース数	推定臨界 中性子実効 増倍率	推定臨界下 限中性子実 効増倍率	標準偏差
PuO <sub>2</sub> 均質系	16	1.0183	0.9969	0.0065
MOX均質系	49	1.0073	0.9723	0.0136
MOX非均質系	138	1.0103	0.9971	0.0058

4. 参考文献

- (1) P. B. Fox and L. M. Petrie. Validation and Comparison of



KENO-V.a and KENO-VI. Oak Ridge National Laboratory. 2002.  
ORNL/TM-2001/110.

(2) 動力炉・核燃料開発事業団. MOX取扱施設臨界安全ガイドブック. 1996, PNC TN1410 96-074.

## 混合機の容積制限について

## 1. 設計の考え方

質量管理を行う設備では、通常時に予想される機械又は器具の単一の故障若しくはその誤作動又は運転員の単一の誤操作を想定した場合においても臨界に至ることはないが、添加剤の投入が可能で、設計上定める条件より厳しい条件の下において含水率の逸脱が想定される混合機については、MOX粉末及び添加剤のいかなる組合せの過剰投入を想定した場合においても臨界が発生することがないように設計する。

## 2. 評価方法

SCALE-4のKENO-V. aコード及びENDF/B-IVライブラリを用いて臨界解析を行う。MOX粉末と添加剤の和の質量を固定し、その範囲でMOX粉末と添加剤の割合を変化させて解析を行い、すべての領域で推定臨界下限増倍率0.97以下となる場合、設定したMOX粉末と添加剤の和の質量では、いかなる割合においても臨界に至らないと判断する。

## 3. 評価条件

以下の条件で、プルトニウム富化度30%及びプルトニウム富化度18%のMOX粉末を対象として臨界解析を行う。詳細条件を第2-1表及び第2-2表に示す。

## (1) モデル形状

評価モデルは、中性子の漏れが最も少ない球形状とする。

## (2) MOX質量

プルトニウム富化度30%のMOX粉末については、10～782kg・MOXの範囲で評価を行う。プルトニウム富化度18%のMOX粉末については、

10～1850kg・MOXの範囲で評価を行う。

(3) プルトニウム富化度

プルトニウム富化度60%以下の原料MOX粉末を取り扱う設備は、添加剤を添加する構造となっていないことから対象外とし、プルトニウム富化度30%及びプルトニウム富化度18%のMOX粉末を評価対象とする。

(4) 中性子反射効果

容器や機器による中性子の反射を考慮し周囲を2.5cmの水とする。

(5) MOX粉末密度

希釈混合時のMOX粉末密度は、 $4 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ に設定した原料MOX粉末、これと同等である原料ウラン粉末及び $6 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ に設定した回収粉末を混合することを考慮し、 $5 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ に設定する。

(6) 核分裂性プルトニウム割合

再処理施設からプルトニウム中のプルトニウム-240含有率が17%以上の粉末のみを受け入れることから、核分裂性プルトニウム割合の最大値として83%を設定する。プルトニウム同位体組成は、再処理施設の臨界計算条件と同じ同位体組成（プルトニウム-239：プルトニウム-240：プルトニウム-241=71：17：12）を適用している。

(7) ウラン中のウラン-235含有率

再処理施設からMOX中のウラン-235含有率が1.6%以下の粉末のみを受け入れ、工程中では、ウラン中のウラン-235含有率が天然ウラン以下(0.72%以下)の原料ウラン粉末の希釈混合を行うことから、ウラン中のウラン-235含有率の最大値として1.6%を設定する。

4. 評価結果

評価結果を第2-1図及び第2-2図に示す。

プルトニウム富化度30%のMOX粉末については、評価範囲における中性子実効増倍率（ $K_{eff}+3\sigma$ ）の最大値は0.932となり、MOX粉末が600kg・MOX以下、つまり混合機の容積を120L以下で設計することでMOX粉末及び添加剤のいかなる組合せの過剰投入を想定した場合においても臨界が発生することはない。

プルトニウム富化度18%のMOX粉末については、評価範囲における中性子実効増倍率（ $K_{eff}+3\sigma$ ）の最大値は0.937となり、MOX粉末が1850kg・MOX以下、つまり混合機の容積を370L以下で設計することでMOX粉末及び添加剤のいかなる組合せの過剰投入を想定した場合においても臨界が発生することはない。

## 5. 対象混合機

以上の結果から以下の混合機の容積を制限する設計とする。

### （1）容積を120L以下に制限する対象機器

- ・ 予備混合機

### （2）容積を370L以下に制限する対象機器

- ・ 均一化混合機
- ・ 添加剤混合機
- ・ 回収粉末混合機

第2-1表 プルトニウム富化度30%のMOX粉末に対する評価条件

項目	計算条件
使用計算コード及び核データライブラリ	SCALE-4 の KENO-V. a コード及び ENDF/B-IV ライブラリ
核燃料物質の形状	球形状
混合機容積	120 L
Pu 富化度	30%
核分裂性Pu割合	83%
ウラン中のウラン-235含有率	1.6%
核燃料物質量	10~600kg・MOX（混合機内の残りの空間は添加剤充填）
含水率	81.0~1.0%
密度	$0.09\sim 5.0\times 10^3\text{kg/m}^3$
反射条件	水 2.5cm
中性子実効増倍率 ( $K_{\text{eff}}+3\sigma$ )	0.932（核燃料物質量：600kg・MOX）
評価結果	中性子実効増倍率は、推定臨界下限増倍率 0.97 未満であるため未臨界

\* 120L 以下に容積を制限する対象混合機は、予備混合機である。

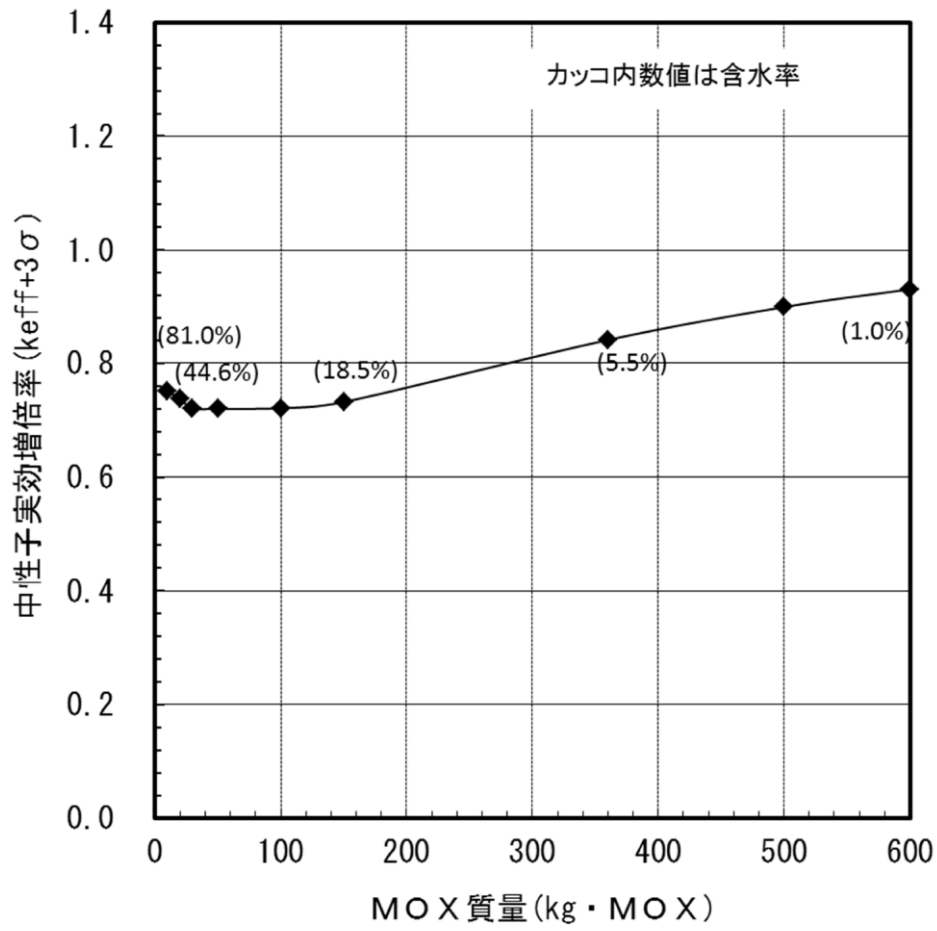
第2-2表 プルトニウム富化度18%のMOX粉末に対する評価条件

項目	計算条件
使用計算コード及び核データライブラリ	SCALE-4 の KENO-V. a コード及び ENDF/B-IV ライブラリ
核燃料物質の形状	球形状
混合機容積	370 L
Pu 富化度	14% <sup>※</sup>
核分裂性Pu 割合	83%
ウラン中のウラン-235 含有率	1.6%
核燃料物質量	10~1850kg・MOX (混合機内の残りの空間は添加剤充満)
含水率	93.0~1.5%
密度	0.03~5.0×10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup>
反射条件	水 2.5cm
中性子実効増倍率 (Keff+3σ)	0.937 (核燃料物質量 : 1850kg・MOX)
評価結果	中性子実効増倍率は、推定臨界下限増倍率 0.97 未満であるため未臨界

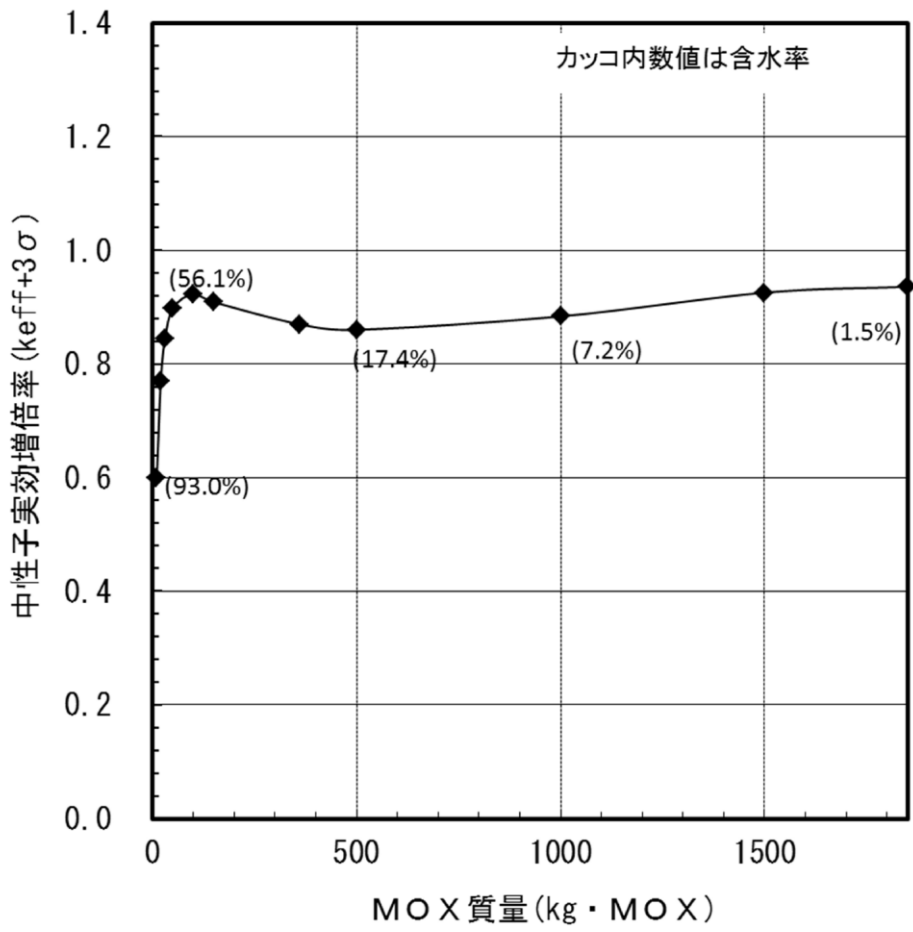
※次の範囲に対して厳しい評価となる条件を設定する。

- 1) 核分裂性Pu 富化度 : 11.6%以下
- 2) Pu 富化度 : 18%以下

臨界評価上は、核分裂性Pu 富化度 11.6%及び核分裂性Pu 割合 83%との組合せから、Pu 富化度を 14%とする。



第 2 - 1 図 プルトニウム富化度30%のMOX粉末に対する評価結果



第 2 - 2 図 プルトニウム富化度18%のMOX粉末に対する評価結果



## 未臨界質量の評価について

## 1. 未臨界質量について

未臨界質量とは、想定する核燃料物質性状において、水反射体2.5cm、球形状モデルにて計算した中性子実効増倍率が、推定臨界下限増倍率0.97を下回る質量である。中性子の漏れが最も少ない球形状において推定臨界下限増倍率が0.97以下であれば、そのMOX粉末量以内においてグローブボックス内でいかなる状態で集積しても臨界に至ることはないと言える。

## 2. 評価条件

SCALE-4のKENO-V.aコード及びENDF/B-IVライブラリを用いて、第1表の条件に基づきMOX形態ごとに臨界解析を実施し、推定臨界下限増倍率が0.97以下となるMOX質量を算定し、それを未臨界質量とする。

第1表 MOX形態ごとの評価条件

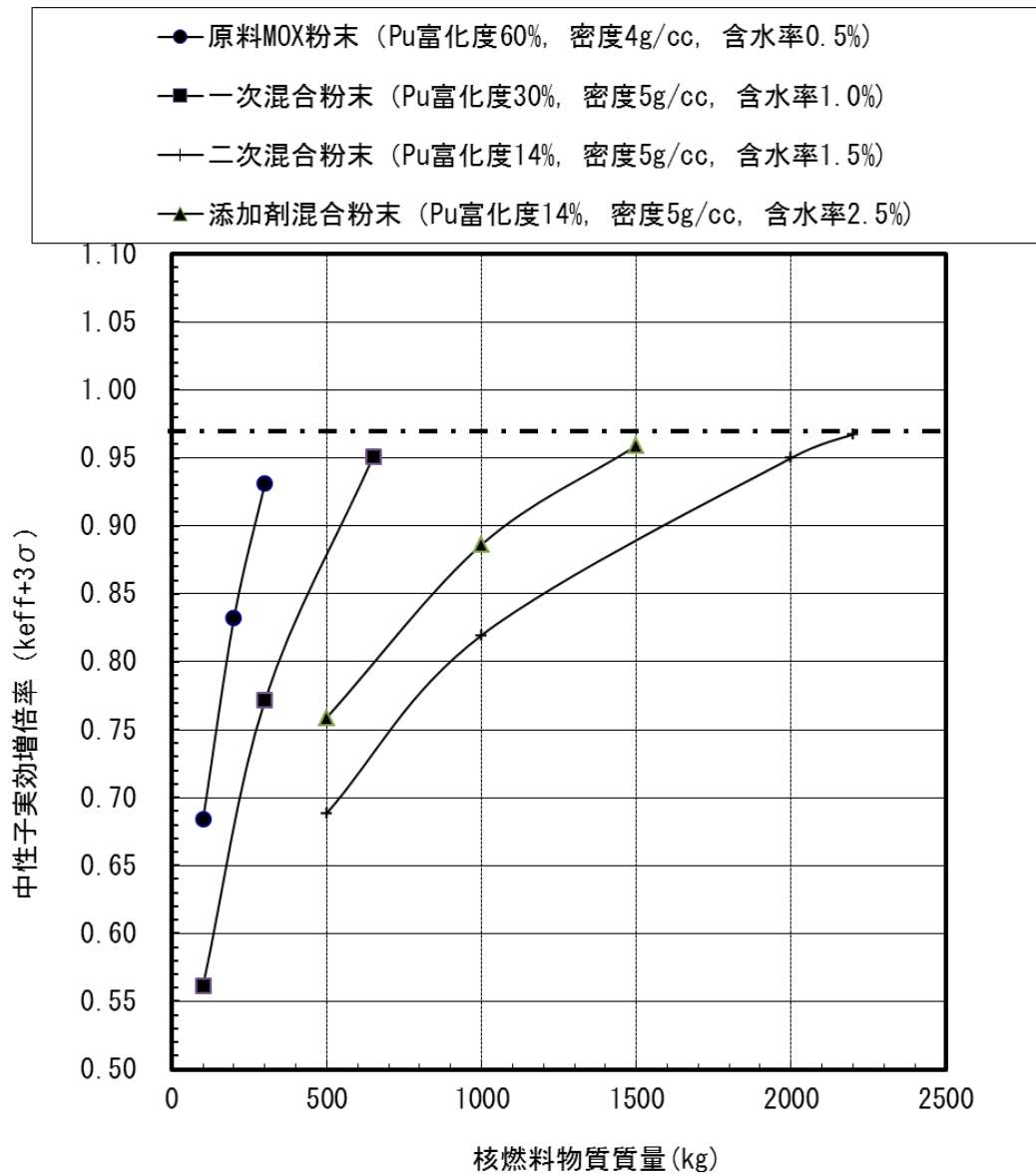
MOX形態	Pu 富化度 (%)	含水率 (%)	密度 ( $\times 10^3 \text{kg/m}^3$ )	核分裂性 Pu 割合 (%)	ウラン中のウラン-235含有率 (%)
原料MOX粉末	60	0.5	4	83	1.6
一次混合粉末	30	1.0	5		
二次混合粉末	14	1.5	5		
添加剤混合粉末	14	2.5	5		
グリーンペレット	14	2.5	7.9		
焼結ペレット	14	0.1	11.1		

## 3. 評価結果

評価結果を第2表に示す。また、MOX形態ごとの質量と中性子実効増倍率の推移を第1図及び第2図に示す。

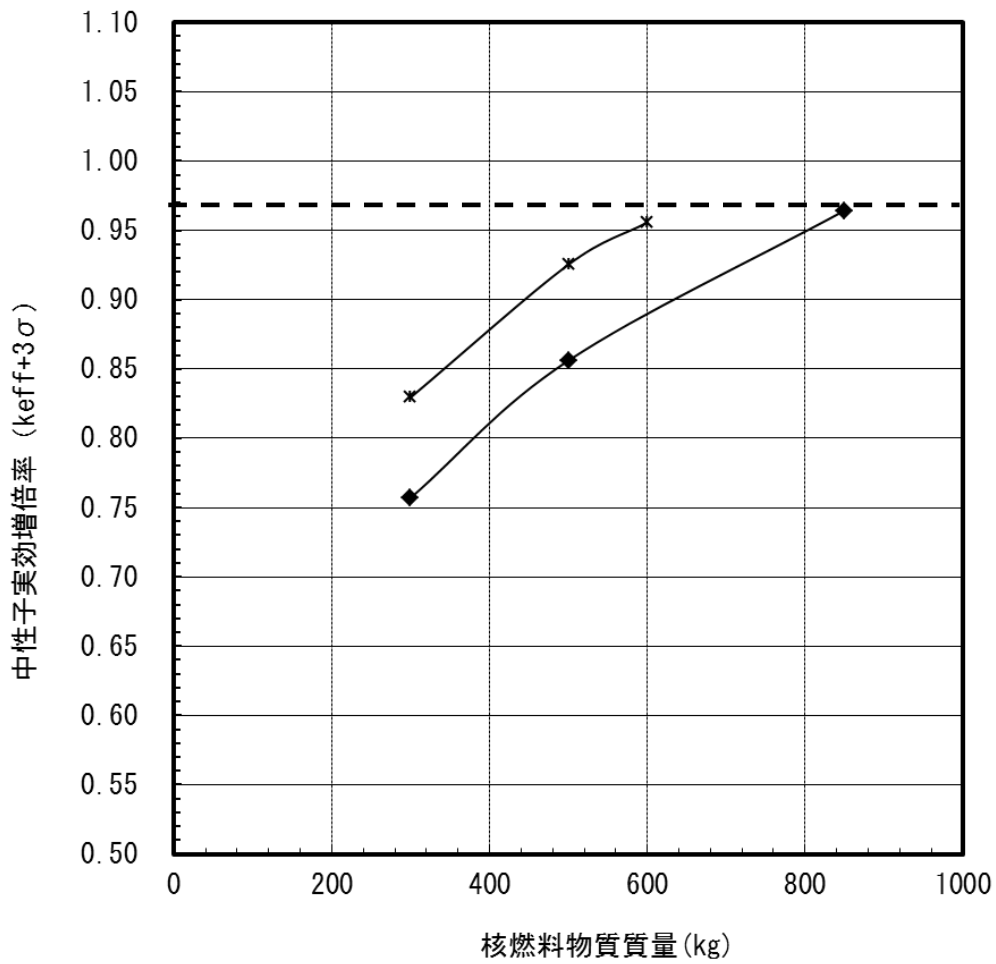
第2表 MOX形態ごとの未臨界質量

MOX形態	未臨界質量 (kg・MOX)	$K_{eff}+3\sigma$
原料MOX粉末	300	0.932
一次混合粉末	650	0.951
二次混合粉末	2200	0.968
添加剤混合粉末	1500	0.960
グリーンペレット	600	0.956
焼結ペレット	850	0.965



第1図 MOX形態ごとの質量と中性子実効増倍率の推移  
(MOX粉末)

\* グリーンペレット (Pu富化度14%, 密度7.9g/cc, 含水率2.5%)  
 ◆ 焼結ペレット (Pu富化度14%, 密度11.1g/cc, 含水率0.1%)



第2図 MOX形態ごとの質量と中性子実効増倍率の推移  
 (ペレット)

臨界の発生可能性の検討プロセスの再整理

MOX燃料加工施設における、臨界の発生可能性の検討プロセスを再整理すると、以下のとおりとなる。

① 設計上定める条件より厳しい条件の設定



外的事象及び内的事象の要因となる設計基準より  
厳しい条件について整理

② ①の条件の下で臨界の発生可能性を検討



MOX燃料加工施設では臨界の発生は想定されない

③ 臨界事故の特徴（※）を踏まえ、①の条件を超える条件を想定



内的事象により複数の異常が同時に発生するとともに、  
複数の動的機器の多重故障及び多重誤作動  
並びに運転員の多重誤操作を想定

④ ③の条件の下で臨界の発生可能性を検討



MOX燃料加工施設では臨界の発生は想定されない

結論 臨界の発生は想定されない。

なお，プロセス④の段階における臨界評価では，運用を見直した核的制限値（プルトニウム富化度及び含水率）を用いる。（本資料 第1図(補-3-19-10～補-3-19-16)の評価条件 参照)

(※) 臨界は発生の可能性が限りなく小さいが，ひとたび起こると影響が非常に大きい。