

【公開版】

提出年月日	令和2年3月18日 R6
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 15 条 : 設 計 基 準 事 故 の 拡 大 の 防 止

目次

1章 基準適合性

1. 基本方針

1.1 要求事項の整理

1.2 要求事項に対する適合性

1.3 規則への適合性

2. 設計基準事故に係る方針

2.1 安全評価に関する基本方針

2.2 設計基準事故の選定

2.3 解析に当たって考慮する事項

2.4 設計基準事故の評価

2.5 結論

2.6 参考文献

2章 補足説明資料

令和2年3月18日 R4

1章 基準適合性

1. 基本方針

1.1 要求事項の整理

設計基準事故の拡大の防止について、事業許可基準規則とウラン・プルトニウム混合酸化物燃料加工施設安全審査指針（以下「MOX指針」という。）の比較により、事業許可基準規則第15条において追加された要求事項を整理する。（第1表）

第1表 事業許可基準規則第15条とMOX指針 比較表 (1 / 3)

事業許可基準規則	MOX指針	備考
<p>(設計基準事故の拡大の防止) 第十五条 安全機能を有する施設は、設計基準事故時において、工場等周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないものでなければならない。 (解釈) 1 第15条に規定する「設計基準事故時において、工場等周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないもの」とは、設計基準事故を選定し、解析及び評価を行った結果、公衆に著しい放射線被ばくのリスクを与えないことが確認できるものをいう。 2 上記1の「公衆に著しい放射線被ばくのリスクを与えない」とは、敷地周辺の公衆の実効線量の評価値が5mSvを超えないことをいう。ICRPの1990年勧告によれば、公衆の被ばくに対する年実効線量限度として、1mSvを勧告しているが、特殊な状況においては、5年間にわたる平均が年当たり1mSvを超えなければ、単一年にこれよりも高い実効線量が許されることもあり得るとなっている。これは通常時の放射線被ばくについての考え方であるが、これを発生頻度が小さい事故の場合にも適用することとし、敷地周辺の公衆の実効線量の評価値が発生事故当たり5mSvを超えなければリスクは小さいと判断する。なお、発生頻度が極めて小さい事故に対しては、実効線量の評価値が上記の値をある程度超えてもそのリスクは小さいと判断できる。</p>	<p>(MOX指針) 指針3. 事故時条件 MOX燃料加工施設に最大想定事故が発生するとした場合、一般公衆に対し、過度の放射線被ばくを及ぼさないこと。</p>	<p>追加要求事項</p>

第1表 事業許可基準規則第15条とMOX指針 比較表 (2/3)

事業許可基準規則	MOX指針	備考
<p>(解釈)</p> <p>3 上記1の評価は、核燃料物質が存在する加工施設の各工程に、機器等の破損、故障、誤動作あるいは運転員の誤操作によって放射性物質を外部に放出する可能性のある事象を想定し、その発生の可能性との関連において、各種の安全設計の妥当性を確認するという観点から設計基準事故を選定し評価することをいう。設計基準事故として評価すべき事例は以下に掲げるとおりとする。</p> <p>一 核燃料物質による臨界</p> <p>二 閉じ込め機能の不全（火災及び爆発並びに重量物落下を含む。）</p>	<p>指針3. 事故時条件</p> <p>1. 事故の選定</p> <p>MOX燃料加工施設の設計に即し</p> <p>(1)水素ガス等の火災・爆発</p> <p>(2)MOX粉末等の飛散、漏えい</p> <p>(3)核燃料物質による臨界</p> <p>(4)自然災害</p> <p>等の事故の発生の可能性を技術的観点から十分に検討し、最悪の場合、技術的にみて発生が想定される事故であって、一般公衆の放射線被ばくの観点からみて重要と考えられる事故を選定すること。</p>	<p>追加要求事項</p>

第1表 事業許可基準規則第15条とMOX指針 比較表 (3/3)

事業許可基準規則	MOX指針	備考
<p>(解釈)</p> <p>4 上記1の放射性物質の放出量等の計算については、技術的に妥当な解析モデル及びパラメータを採用するほか、以下の各号に掲げる事項に関し、十分に検討し、安全裕度のある妥当な条件を設定すること。</p> <p>一 放射性物質の形態、性状及び存在量</p> <p>二 放射線の種類及び線源強度</p> <p>三 閉じ込めの機能（高性能エアフィルタ等の除去系の機能を除く。）の健全性</p> <p>四 排気系への移行率</p> <p>五 高性能エアフィルタ等の除去系の捕集効率</p> <p>六 遮蔽機能の健全性</p> <p>七 臨界の検出及び未臨界にするための措置</p>	<p>(MOX指針)</p> <p>指針3. 事故時条件</p> <p>2. 放射性物質の放出量等の計算</p> <p>1で選定した事故のそれぞれについて、技術的に妥当な解析モデル及びパラメータを採用するほか、次の事項に関し、十分に検討し、安全裕度のある妥当な条件を設定して、放射性物質の放出量等の計算を行うこと。</p> <p>(1) 放射性物質の形態・性状及び存在量</p> <p>(2) 放射線の種類及び線源強度</p> <p>(3) 事故時の閉じ込め機能（高性能エアフィルタ等の除去系の機能を除く。）の健全性</p> <p>(4) 排気系への移行率</p> <p>(5) 高性能エアフィルタ等除去系の捕集効率</p> <p>(6) 遮蔽機能の健全性</p> <p>(7) 臨界の検出及び未臨界にするための措置</p>	<p>変更無し。</p>

1. 2 要求事項に対する適合性

(イ) 基本的考え方

ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料加工施設 (MOX燃料加工施設) が安全確保のために設計した設備により安全に運転できることを確認するために設計基準事故を選定し、解析及び評価を行い、公衆に著しい放射線被ばくのリスクを与えないことを確認する。

(ロ) 設計基準事故の選定

・設計基準事故の選定の考え方

設計基準事故とは、MOX燃料加工施設から多量の放射性物質が放出するおそれがあるものとして安全設計上想定すべき事象とする。

設計基準事故を選定し、MOX燃料加工施設周辺の公衆に著しい放射線被ばくのリスクを与えないことを確認する。

設計基準事故の選定に当たっては、以下に示すMOX燃料加工施設の特徴を考慮する。

① MOX燃料加工施設で取り扱う核燃料物質は、プルトニウムの酸化物であり、化学的に安定している。また、燃料製造における工程は乾式工程であり、有機溶媒等を多量に取り扱う工程はなく、化学反応による物質の変化及び発熱が生ずるプロセスはないことから、臨界事故が発生しない限り取り扱う核燃料物質以外の放射性物質は発生しない。

② MOX燃料加工施設では、非密封の核燃料物質としてMOX粉末及びウラン粉末並びにこれらの粉末の焼結前の圧縮成形体 (グリーンペレット)、グリーンペレット焼結後のペレット (ペレット) を取り扱う。また、密封形態の核燃料物質として燃料棒及び混合酸化物貯蔵容器がある。これらのうち、MOX粉末及びウラン粉末は飛散しやすく、気相中へ移行しやすい。

③ MOX燃料加工施設で取り扱うMOXは崩壊熱が小さく、送排風機による除熱を期待しなくても、閉じ込め機能が損なわれて外部に核燃料物質を放出する事故には至らない。

④ MOX燃料加工施設における加工工程は、バッチ処理であり、各処理は独立していることから、異常が発生したとしても工程停止の措置を講じれば停止時の状態が維持でき、異常の範囲は当該処理単位に限定される。そのため、核燃料物質の移動も停止することから、核燃料物質が異常に集積して臨界に至ることはない。また、地下階のグローブボックス等の中にMOX粉末が静置されるため、建屋外への放射性物質の放出を抑制することができる。

⑤ ①を踏まえ、MOX燃料加工施設において、可能な限りMOXと水が直接接触しないようにするとともに、取り扱う核燃料物質量等を制限し、物理的に臨界事故が起こらないようにする。

⑥ MOX燃料加工施設では核燃料物質が飛散・漏えいすることにより、公衆及び従事者に被ばく影響を与えないために、核燃料物質を限定した区域に閉じ込める設計とする。

⑦ ②を踏まえると、非密封のMOX粉末を取り扱うグローブボックス等は、燃料加工建屋の地下3階及び地下2階に設置することから、燃料加工建屋外に放射性物質を放出する事象は、火災及び爆発のように地下階から地上へとMOX粉末を移動させる駆動力を有する事象に限定される。

⑧ ⑥を踏まえ、MOX燃料加工施設においては、MOX粉末を取り扱う箇所における火災及び爆発の発生防止、拡大防止及び影響軽減の対策を重点的に講じる。

上記のMOX燃料加工施設の特徴を考慮したときに、MOX燃料加工

施設から多量の放射性物質が放出するおそれがある事故は、火災、爆発といった、地下階から地上まで放射性物質を上昇させる駆動力を有する事象であると想定される。

このため、設計基準事故の選定として、MOX燃料加工施設において核燃料物質が存在する各工程における設備・機器の破損、故障、誤動作あるいは運転員の誤操作により、どのような事故が発生し得るかを抽出する。

抽出した事故について、それら事故の性質を踏まえて類型化する。類型化した事故については、MOX燃料加工施設の特徴を踏まえて、MOX燃料加工施設から多量の放射性物質が放出するおそれがある事故を、設計基準事故として選定する。

・MOX燃料加工施設において想定される事故の特定

核燃料物質が存在する各工程における設備・機器の破損、故障、誤動作あるいは運転員の誤操作により、どのような事故が発生し得るかを抽出した結果、以下のように分類できる

- ・核燃料物質による臨界
- ・機械的破損（閉じ込め機能の不全）
- ・熱的破損（閉じ込め機能の不全）
- ・爆発（閉じ込め機能の不全）
- ・負圧維持機能の喪失（閉じ込め機能の不全）

これらを、「加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」及び「加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（以下「事業許可基準規則等」という。）に基づき「核燃料物質による臨界」及び「閉じ込め機能の不全」に分類し、設計基準事故を選定し、MOX燃料加工施設周辺の公衆に著しい放射線被ばくのリスクを与えないことを確認す

る。

評価に当たっては、外部電源の喪失を仮定するとともに、事故の影響の緩和として期待する動的機器の単一故障を想定する。

(1) 核燃料物質による臨界

核燃料物質による臨界防止については、「第二条 核燃料物質による臨界の防止」に記載のとおり、核燃料物質による臨界の発生防止対策として核的制限値の設定及び設備・機器の単一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核燃料物質が臨界に達するおそれがない設計である。

このため、設備・機器の単一の破損、故障、誤動作あるいは運転員の単一の誤操作を想定した場合においても、核的制限値を超えた核燃料物質の誤搬入を防止することが可能である。

また、臨界の発生可能性を評価した結果、MOX燃料加工施設の各工程における複数の設備・機器の破損、故障、誤動作あるいは複数の運転員の誤操作を想定し、単一ユニット内に核燃料物質が誤搬入されたとしても臨界に必要な減速及び反射条件を成立させることはできず、臨界に至らないことを確認した。

以上のことから、MOX燃料加工施設において、核燃料物質による臨界は想定されない。

(2) 閉じ込め機能の不全

① 放射性物質を外部に放出する可能性のある事象の想定

原料であるMOX粉末から、粉末を圧縮成形したペレット（以下「グリーンペレット」という。）、ペレット、燃料棒、燃料集合体へのMOX燃料加工施設の燃料製造工程においては、各種機器が核燃料物質

を取り扱う設計であるとともに、核燃料物質の取扱形態に応じた閉じ込めの機能を有する設計である。このため、核燃料物質を取り扱う各種機器に異常が発生した場合は、安全機能の喪失により閉じ込め機能の不全に至ることにより、燃料加工建屋外への多量の放射性物質の放出に至る事故が発生するおそれがある。

MOX燃料加工施設の特徴を考慮すると、前記の類型化した閉じ込め機能の不全から、MOX燃料加工施設の地下階から多量の放射性物質を外部に放出する駆動力を有する事象が、MOX燃料加工施設から多量の放射性物質を放出するおそれがある事故となり得る。また、核燃料物質の取扱形態が粉末以外の場合は、駆動力を有する事象が発生したとしても、MOX燃料加工施設から多量の放射性物質を放出するおそれはない。

上記を考慮すると、「熱的破損」の火災のうち、核燃料物質の取扱形態がMOX粉末であり、取り扱うMOX粉末を収納した容器を反転して混合機へのMOX粉末の投入、混合等の処理を行うグローブボックス内においては、グローブボックス内でMOX粉末が飛散するリスクが高く、グローブボックス内で火災が発生した場合にMOX粉末が火災の影響を受けることが想定される。

このため、火災区域に設定する工程室において露出したMOX粉末を取り扱うグローブボックス内における火災による閉じ込め機能の不全を、設計基準事故として抽出する。

設計基準事故として公衆への影響を評価するにあたり、各事象において最も公衆に対する影響が大きいと考えられる事象を検討した結果、設備・機器で取り扱う核燃料物質量が最も多い、「ペレット加工第1室における火災による閉じ込め機能の不全」を選定し、評価する。

(3) 判断基準

設計基準事故の判断基準は、公衆に著しい放射線被ばくのリスクを与えないこととし、敷地周辺の公衆の実効線量の評価値が5 mSvを超えなければリスクは小さいと判断する。

(ハ) 設計基準事故の評価

「ペレット加工第1室における火災によるグローブボックスの閉じ込め機能の不全」について、拡大防止及び影響緩和のための対策を踏まえて、以下のとおり、事故解析を行った。

(1) ペレット加工第1室における火災によるグローブボックスの閉じ込め機能の不全

① 拡大防止対策及び影響緩和対策

a. 火災の拡大防止対策及び影響緩和対策

火災区域に設定する工程室においてMOX粉末を露出した状態で取り扱うグローブボックス内における火災の発生、継続及び消火を確認する対策並びに発生した火災を消火する対策及び火災を当該火災区域内に限定するための対策を以下に示す。

(a) グローブボックス温度監視装置による火災状況の確認

(b) グローブボックス消火装置による消火

なお、火災が発生しても、耐火能力を有する防火シャッター（開状態の場合、容器の搬送終了後に閉止）及び延焼防止ダンパの閉止による延焼防止により、発生した火災の影響は当該火災区域内に限定される。

b. 火災による閉じ込め機能の不全の拡大防止対策及び影響緩和対策

火災区域に設定する工程室においてMOX粉末を露出した状態で取り扱うグローブボックス内で火災を感知してグローブボック

ス消火装置により消火ガスを放出する場合における、火災による閉じ込め機能の不全に対する拡大防止対策及び影響緩和対策を以下に示す。

- (a) 送風機の停止
- (b) 建屋排風機の停止
- (c) 工程室排風機の停止
- (d) 窒素循環ファンの停止
- (e) 防火シャッタの閉止（開状態の場合に容器の搬送終了後に閉止）
- (f) 避圧エリア形成用自動閉止ダンパの閉止
- (g) 延焼防止ダンパの閉止
- (h) グローブボックス排気設備の高性能エアフィルタによる核燃料物質の捕集

なお、グローブボックス消火装置からの消火ガスの放出完了後、運転員の操作によるグローブボックス排風機を停止する。

c. 設計基準事故に対処するために必要な施設

想定された事象に対処するために必要な施設の安全機能のうち、解析に当たって考慮する設備を以下に示す。

- (a) グローブボックス温度監視装置
- (b) グローブボックス消火装置
- (c) グローブボックス排気フィルタ
- (d) グローブボックス排気フィルタユニット
- (e) グローブボックス排気設備の排気系統
- (f) 非常用所内電源設備

② 事故シナリオ

公衆への影響を評価するために、ペレット加工第1室のグローブボ

ックス内で火災が発生することを想定する。

火災の発生と同時に外部電源が喪失するものとする。

解析の結果が最も厳しくなる動的機器の単一故障として、グローブボックス温度監視装置及びグローブボックス消火装置に影響を与えることから、非常用所内電源設備の単一故障を仮定する。

ペレット加工第1室においてMOX粉末を取り扱う単一ユニットである、添加剤混合ユニットA、添加剤混合ユニットB、プレス・グリーンペレット積込ユニットA及びプレス・グリーンペレット積込ユニットBの核的制限値の全量である906kg・MOXが火災影響を受けることを想定する。

火災影響を受ける放射性物質量の100分の1がグローブボックス内の気相中に移行することを想定する。また、グローブボックス内面に付着している放射性物質の気相中への移行量として、放射性物質量の100分の1がグローブボックス内の気相中に移行することを想定する。

グローブボックス内で火災が発生した場合、感知器によりグローブボックス内の火災を感知し、グローブボックス消火装置が起動する。グローブボックス消火装置の起動と連動して避圧エリアの窒素循環ダクトに設置する延焼防止ダンパ、避圧エリアの給気ダクトに設置する延焼防止ダンパ及びフロア境界の工程室排気ダクトに設置する避圧エリア形成用自動閉止ダンパが閉止する。グローブボックス消火装置からの消火ガスの放出が完了し、グローブボックス排気ダクトに設置する延焼防止ダンパが閉止するまでの間に、グローブボックス内の気相中に移行した放射性物質の全量を含む雰囲気グローブボックス排気設備の高性能エアフィルタに到達し、高性能エアフィルタ（4段）を通じた経路から燃料加工建屋外へ放出されることを想定する。

高性能エアフィルタ 4 段の除染係数を 1×10^9 とする。

グローブボックス消火装置による消火ガスの放出後に当該室のグローブボックス排気ダクトに設置する延焼防止ダンパが閉止する。消火ガスの放出後は、グローブボックス排風機を手動停止する。また、火災防護設備により火災は当該火災区域に限定されるとともに、火災に対しては上記の対策により感知・消火を実施することにより、発生した火災が大規模な火災に至ることは想定しにくいことから、グローブボックスを含めたグローブボックス排気系統は健全である。

放出するプルトニウム核種の組成は、吸入による被ばくがより厳しい評価となるよう、以下のとおりとし、各プルトニウム核種の放出量を求める。

核種	質量割合 (%)
Pu-238	3.8
Pu-239	55.6
Pu-240	27.3
Pu-241	13.3
Am-241	4.5
合計	104.5

実効線量の評価に当たり、敷地境界外の2013年4月から2014年3月までの1年間の観測資料を使用して求めた相対濃度に放射性物質の全放出量を乗じて求める。

③ 評価結果

評価の結果、敷地境界における吸入による内部被ばくの実効線量は約 4.9×10^{-5} mSvであり、敷地周辺の公衆の実効線量の評価値が5 mSvを超えることはなく、公衆に著しい放射線被ばくのリスクを与えることはない。

1. 3 規則への適合性

事業許可基準規則第十五条では、以下の要求がされている。

(設計基準事故の拡大の防止)

第十五条 安全機能を有する施設は、設計基準事故時において、工場等周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないものでなければならない。

適合のための設計方針

MOX燃料加工施設に関して技術的に見て想定される異常事象の中から設計基準事故を選定し、以下のとおり安全対策の妥当性を評価する。

設計基準事故の拡大の防止の観点から、安全機能を有する施設は、設計基準事故時において、敷地周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないものであることを満たす設計とする。

設計基準事故の評価については、安全設計の妥当性を確認する観点から、核燃料物質による臨界及び閉じ込め機能の不全（火災及び爆発並びに重量物落下を含む。）を選定し評価する。

2. 設計基準事故に係る方針

2.1 安全評価に関する基本方針

MOX燃料加工施設が安全確保のために設計した設備により安全に運転できることを確認するために設計基準事故を選定し、解析及び評価を行い、公衆に著しい放射線被ばくのリスクを与えないことを確認する。

また、MOX燃料加工施設の安全設計の妥当性は、事業許可基準規則等により判断するが、その判断の過程で行う安全評価においては、核燃料物質が存在するMOX燃料加工施設内の各工程に、設備・機器の破損、故障、誤動作あるいは運転員の誤操作によって放射性物質を燃料加工建屋外に放出する可能性のある事象を想定し、その発生の可能性との関連において、各種の安全設計の妥当性を確認する観点から設計基準事故を選定し、評価する。

2.2 設計基準事故の選定

設計基準事故とは、MOX燃料加工施設から多量の放射性物質が放出するおそれがあるものとして安全設計上想定すべき事象とする。

設計基準事故の選定に当たっては、以下に示すMOX燃料加工施設の特徴を考慮する。

① MOX燃料加工施設で取り扱う核燃料物質は、プルトニウムの酸化物であり、化学的に安定している。また、燃料製造における工程は乾式工程であり、有機溶媒等を多量に取り扱う工程はなく、化学反応による物質の変化及び発熱が生ずるプロセスはないことから、臨界事故が発生しない限り取り扱う核燃料物質以外の放射性物質は発生しない。

② MOX燃料加工施設では、非密封の核燃料物質としてMOX粉末及びウラン粉末並びにグリーンペレット、ペレットを取り扱う。また、密封形態の核燃料物質として燃料棒及び混合酸化物貯蔵容器がある。これ

らのうち、MOX粉末及びウラン粉末は飛散しやすく、気相中へ移行しやすい。

③ MOX燃料加工施設で取り扱うMOXは崩壊熱が小さく、送排風機による除熱を期待しなくても、閉じ込め機能が損なわれて外部に核燃料物質を放出する事故には至らない。

④ MOX燃料加工施設における加工工程は、バッチ処理であり、各処理は独立していることから、異常が発生したとしても工程停止の措置を講じれば停止時の状態が維持でき、異常の範囲は当該処理単位に限定される。そのため、核燃料物質の移動も停止することから、核燃料物質が異常に集積して臨界に至ることはない。また、地下階のグローブボックス等の中にMOX粉末が静置されるため、建屋外への放射性物質の放出を抑制することができる。

⑤ ①を踏まえ、MOX燃料加工施設において、可能な限りMOXと水が直接接触しないようにするとともに、取り扱う核燃料物質量等を制限し、物理的に臨界事故が起こらないようにする。

⑥ MOX燃料加工施設では核燃料物質が飛散・漏えいすることにより、公衆及び従事者に被ばく影響を与えないために、核燃料物質を限定した区域に閉じ込める設計とする。

⑦ ②を踏まえると、非密封のMOX粉末を取り扱うグローブボックス等は、燃料加工建屋の地下3階及び地下2階に設置することから、燃料加工建屋外に放射性物質を放出する事象は、火災及び爆発のように地下階から地上へとMOX粉末を移動させる駆動力を有する事象に限定される。

⑧ ⑥を踏まえ、MOX燃料加工施設においては、MOX粉末を取り扱う箇所における火災及び爆発の発生防止、拡大防止及び影響軽減の対策

を重点的に講じる。

上記のMOX燃料加工施設の特徴を考慮したときに、MOX燃料加工施設から多量の放射性物質が放出するおそれがある事故は、火災、爆発といった、地下階から地上まで放射性物質を上昇させる駆動力を有する事象であると想定される。

このため、設計基準事故の選定として、MOX燃料加工施設において核燃料物質が存在する各工程における設備・機器の破損、故障、誤動作あるいは運転員の誤操作により、どのような事故が発生し得るかを抽出する。

抽出した事故について、それら事故の性質を踏まえて類型化する。類型化した事故については、MOX燃料加工施設の特徴を踏まえて、MOX燃料加工施設から多量の放射性物質が放出するおそれがある事故を、設計基準事故として選定する。

抽出した異常事象は、以下のとおりである。

【補足説明資料1-1】

閉じ込め機能を有するもの	異常事象	事象
-	核燃料物質による臨界	核燃料物質による臨界
グローブボックス、焼結炉、小規模焼結処理装置及びスタック乾燥装置	内部発生飛散物の飛散（回転羽根の損壊）	グローブボックス、焼結炉、小規模焼結処理装置及びスタック乾燥装置の機械的破損（機械的破損によるグローブボックス等の閉じ込め機能の不全）
	内部発生飛散物の飛散（重量物落下）	
	機器の逸走	
	崩壊熱による温度上昇	
	火災	
	グローブボックス及びスタック乾燥装置の負圧維持機能の喪失	
焼結炉及び小規模焼結処理装置への空気混入	焼結炉及び小規模焼結処理装置の水素爆発（水素爆発起因の焼結炉及び小規模焼結処理装置の閉じ込め機能の不全）	
焼結炉及び小規模焼結処理装置の負圧維持機能の喪失	焼結炉及び小規模焼結処理装置の負圧維持機能の喪失（負圧維持機能の喪失による閉じ込め機能の不全）	
混合酸化物貯蔵容器及び燃料棒	内部発生飛散物の飛散（回転羽根の損壊）	混合酸化物貯蔵容器及び燃料棒の機械的破損（機械的破損による混合酸化物貯蔵容器及び燃料棒の閉じ込め機能の不全）
	内部発生飛散物の飛散（重量物落下）	
	燃料棒と機器の干渉	
	混合酸化物貯蔵容器及び燃料棒の落下	

上記の整理に基づくと、MOX燃料加工施設において発生が想定される事

故は、以下の五種類に類型化される。

- ・核燃料物質による臨界
- ・機械的破損（閉じ込め機能の不全）
- ・熱的破損（閉じ込め機能の不全）
- ・爆発（閉じ込め機能の不全）
- ・負圧維持機能の喪失（閉じ込め機能の不全）

上記の類型化した五種類の事故を事業許可基準規則等に基づき、「核燃料物質による臨界」及び「閉じ込め機能の不全」に分類して設計基準事故を選定し、MOX燃料加工施設周辺の公衆に著しい放射線被ばくのリスクを与えないことを確認する。

なお、上記は、MOX燃料加工施設における設備・機器の破損、故障、誤動作あるいは運転員の誤操作による異常事象である。

外部からの影響については、「第九条 外部からの衝撃による損傷の防止」に記載のとおり、MOX燃料加工施設は想定される自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とすることから、設計基準事故の選定において、自然現象については事故の起因として想定しない。

津波については、「第八条 津波による損傷の防止」に記載のとおり、MOX燃料加工施設の敷地に津波が到達する可能性はないことから、事故の起因として想定しない。

地震については、基準地震動による地震の発生時に、核燃料物質により臨界に至る事象を想定すると、地震による核燃料物質を取り扱う設備・機器の損傷に伴う核燃料物質の集積及び地震による水配管の損傷による核燃料物質の没水が想定される。MOX燃料加工施設は、MOX粉末を取り扱う主要なグローブボックスは耐震重要度分類をSクラスとして設計すること及び耐震重要度分類がSクラスのグローブボックスが、耐震重要度分類の下位の

クラスに属するものの波及的影響によってその安全機能が損なわれないよう設計することから、地震により核燃料物質が集積することはない。また、水配管の破損による溢水が発生した場合においても、水位はグローブボックスの機能喪失高さに達しない設計であることから、水配管の破損が発生しても、核燃料物質による臨界は発生しない。

また、基準地震動による地震の発生時に、MOX燃料加工施設から多量の放射性物質が放出するおそれの有無について整理すると、MOX燃料加工施設においては核燃料物質は主に地下階で取り扱うこと、燃料加工建屋外に多量の放射性物質が放出するためには地下階から地上階へと上昇する駆動力が必要となること及び駆動力による燃料加工建屋外への放出に至る場合の核燃料物質の形態については、粉末状態であること又はペレットが粉砕され粉末状態になることが必要である。これらを考慮すると、基準地震動による地震の発生を想定した場合においても、MOX粉末を取り扱う主要なグローブボックスは耐震重要度分類をSクラスとして設計すること、焼結炉等については、爆発が発生するおそれがあることから耐震重要度分類をSクラスとして設計すること、耐震重要度分類がSクラスのグローブボックス、焼結炉等が、耐震重要度分類の下位のクラスに属するものの波及的影響によってその安全機能が損なわれないよう設計することから、地震は事故の起因として想定しない。

以上より、設計基準事故の選定としては、設備・機器の破損、故障、誤動作あるいは運転員の誤操作を起因とした事故を選定する。

(1) 事象の検討及び選定 (核燃料物質による臨界)

① MOX燃料加工施設における臨界防止の設計

MOX燃料加工施設は、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、核燃料物質が臨界に達するおそれがない設計である。

MOX燃料加工施設においては、核燃料物質の取扱い上の一つの単位を単一ユニットとし、これに核的制限値を設定することにより臨界を防止する設計である。

MOX燃料加工施設の臨界管理は、形状寸法管理を基本とし、これが困難な場合にあつては、質量管理を行う。形状寸法管理及び質量管理を行う各単一ユニットにおいて、核的制限値の維持及び管理は次のとおり行うことから、設備・機器の単一の破損、故障、誤動作あるいは運転員の単一の誤操作を想定した場合においても、核燃料物質の誤搬入を防止することが可能な設計である。

a. 形状寸法管理

形状寸法管理は、核燃料物質を取り扱う設備・機器の構造又は機構により核的制限値を維持する設計である。また、核燃料物質を取り扱う容器は、通常のとおり取扱い条件において容易に変形しない構造材を用いる設計である。

b. 質量管理による臨界防止

質量管理は、臨界管理用計算機、運転管理用計算機等を用いて行い、各単一ユニットの核燃料物質の在庫量を常時把握するとともに、核燃料物質を搬送する容器を識別し、それにより搬送する核燃料物質の質量、形態等を把握することにより行う。搬送装置を用いた単一ユニットへの核燃料物質の搬送において、核的制限値以下であることが確認されなければ搬入が許可されないインターロックを有する誤搬入防止機構を設ける設計であり、誤搬入防止機構は、秤量器、ID番号読取機、運転管理用計算機、臨界管理用計算機、誤搬

入防止機構（シャッタ）等から構成する。また、混合機への添加剤の投入については、核的制限値以下であることが確認されなければ搬入が許可されないインターロックを有する誤投入防止機構を設ける設計であり、誤投入防止機構は、秤量器、I D番号読取機、運転管理用計算機、臨界管理用計算機及び誤投入防止機構（添加剤受入バルブ）又は誤投入防止機構（添加剤投入バルブ）（以下「誤投入防止バルブ」という。）から構成する。

② 核燃料物質による臨界に至るおそれのある異常事象の抽出

核燃料物質による臨界に至るおそれのある事象の検討として、核燃料物質が存在するMOX燃料加工施設の各工程における設備・機器の破損、故障、誤動作あるいは運転員の誤操作により核燃料物質により臨界に至るおそれのある異常事象として、核燃料物質の誤搬入を抽出した。

形状寸法管理を行う設備においては、核燃料物質がその形状寸法内でいかなる配置となったとしても、臨界に至らない設計としているため、臨界は発生しない。

質量管理を行う設備においては、搬送する容器の秤量及びI D番号の確認を、二つの秤量器及びI D番号読取機により行い、秤量値及びI D番号に有意な差がないことを臨界管理用計算機及び運転管理用計算機により確認している。これらが全て誤作動した場合は、意図しない核燃料物質が誤搬入されることが想定される。しかし、核燃料物質が1回誤搬入されたとしても、グローブボックス内の核燃料物質は、臨界に至る質量を下回るため、臨界は発生しない。

以上のことから、MOX燃料加工施設において、核燃料物質による

臨界は想定されない。

(2) 事象の検討及び選定（閉じ込め機能の不全）

① MOX燃料加工施設における閉じ込めの設計

MOX燃料加工施設は、放射性物質を限定された区域に適切に閉じ込めるために、系統、機器又はグローブボックスに放射性物質を閉じ込め、漏えいした場合においても、工程室及び燃料加工建屋内に保持することができる設計である。

MOX燃料加工施設においては、密封形態のMOXとして混合酸化物貯蔵容器及び燃料棒を取り扱う。また、非密封のMOXは、作業環境中にプルトニウム等が飛散又は漏えいすることのないようにグローブボックス等で取り扱い、非密封のMOXを取り扱うグローブボックス等はグローブボックス排風機の連続運転によって、グローブボックス等内を負圧に維持することで、非密封のMOXを限定された区域に閉じ込める設計である。グローブボックス等は、グローブボックス等内で取り扱うMOXの形態及び取扱量に応じて、グローブボックス排気設備の排気側に設ける高性能エアフィルタ3段又は4段を介して排気することにより、仮に粉末容器の転倒等でグローブボックス等にMOXが飛散したとしても、公衆に放射線障害を及ぼすことのない設計である。

また、MOX燃料加工施設においては、工程室外の廊下等、工程室等、グローブボックス等の順に気圧を低くすることで、放射性物質の漏えいの拡大を防止する設計である。燃料加工建屋の管理区域の室については、放射性物質が漏えいした場合においても、建屋排気設備及び工程室排気設備の排気側に設ける高性能エアフィルタ2段を介して排気することにより、周辺環境へ放出される放射性物質の量を合理的に達成できる限り少なくする設計である。

事故時には、MOX燃料加工施設で取り扱う核燃料物質の形態及び想定される閉じ込め機能の不全に至る事象の特徴を考慮し、設計基準事故時においても限定された区域に核燃料物質を閉じ込めるため、漏えい防止及び逆流防止の機能が確保される設計であり、公衆に対して著しい放射線被ばくのリスクを与えないよう、事故に起因して周辺環境へ放出される放射性物質の量を低減させる機能を有する設計である。また、放射性物質を燃料加工建屋外に放出するおそれのある事象に対しては、必要に応じて全工程停止の措置並びに送排風機の停止の措置を講ずることにより、放射性物質を可能な限りMOX燃料加工施設内に閉じ込める設計である。

② 放射性物質を外部に放出する可能性のある事象の想定

上記「① MOX燃料加工施設における閉じ込めの設計」の設計に係らず、万一、閉じ込め機能の不全が発生し、グローブボックス等、混合酸化物貯蔵容器又は燃料棒の外に核燃料物質が漏えいした場合、漏えいした核燃料物質の一部が燃料加工建屋外に放出されることによって、公衆に著しい放射線被ばくのリスクを与える可能性がある。

このため、グローブボックス等、混合酸化物貯蔵容器又は燃料棒の閉じ込め機能の不全に至るおそれのある事象から、設計基準事故を選定する。

(3) 設計基準事故の選定

上記(2)に記載したMOX燃料加工施設における閉じ込めの設計を踏まえ、先記の5つの類型化した事故のうち、閉じ込め機能の不全に分類される4つの異常事象(「機械的破損」、「熱的破損」、「爆発」及び「負圧維持機能の喪失」)から、MOX燃料加工施設において発生が

想定される閉じ込め機能の不全に対する拡大防止及び影響緩和に係る安全設計の妥当性を確認するため、影響の大きさの観点で設計基準事故を選定して、敷地境界の実効線量の評価を行い、公衆に著しい放射線被ばくのリスクを与えないことを確認する。

設計基準事故の選定では、核燃料物質を取り扱う設備・機器の特徴、核燃料物質の取扱量及び取扱形態を考慮し、最も公衆に対する影響が大きいものを選定する。特に核燃料物質の取扱形態については、グリーンペレット、ペレット及びペレットを燃料棒に密封した状態では、核燃料物質の気相中への移行は極めて起こりにくいが、粉末の状態では、落下等の衝撃により核燃料物質の一部が気相中へ移行し、火災による温度上昇等の駆動力がある場合には燃料加工建屋外への放出の可能性のあることを考慮する。設計基準事故において想定する主要な工程室におけるMOXの取扱形態を第1図に示す。

① 機械的破損によるグローブボックス等、混合酸化物貯蔵容器及び燃料棒の閉じ込め機能の不全

本事象の要因となる異常事象は、「内部発生飛散物の飛散（回転羽根の損壊）」、「内部発生飛散物の飛散（重量物落下）」、「機器の逸走」、「内部発生飛散物の飛散（回転羽根の損壊）」、「内部発生飛散物の飛散（重量物落下）」、「燃料棒と機器の干渉」及び「混合酸化物貯蔵容器及び燃料棒の落下」である。

機械的破損により閉じ込め機能の不全に至るおそれのある事象は、以下の設計により多量のMOX粉末がグローブボックス外へ飛散又は漏えいすることはない。

a. 機械的破損によりグローブボックスのパネルに一部開口部が生じ

たとしても、工程室とグローブボックス内との差圧異常を検知して、給気設備、窒素循環設備、工程室排気設備及び建屋排気設備を停止し、グローブボックス排気設備から排気することにより、開口部から空気がグローブボックス内に流入するため、多量のMOX粉末がグローブボックス外に飛散又は漏えいすることはない。

b. グローブボックス排風機は安全上重要な施設であり、運転中の当該排風機が故障した場合においても、自動的に予備機に切り替わる設計であるとともに、外部電源喪失時には非常用所内電源設備から電力を自動的に供給する設計である。

c. 仮にグローブボックスのパネルが破損した状態で、グローブボックス排気設備が停止したとしても、グローブボックス内の圧力は工程室の圧力と同等以下であることから、多量のMOX粉末がグローブボックス外へ飛散又は漏えいすることはない。

したがって、機械的破損によるグローブボックス等、混合酸化物貯蔵容器及び燃料棒の閉じ込め機能の不全については、設計基準事故としない。

② 熱的破損によるグローブボックスの閉じ込め機能の不全

本事象の要因となる異常事象は、「崩壊熱による温度上昇」及び「火災」である。

a. 崩壊熱による閉じ込め機能の不全

グローブボックス排気設備の停止時に崩壊熱による閉じ込め機能の不全に至るおそれのある事象のうち、最も発熱量の大きいスクラップ貯蔵設備において、崩壊熱が最も厳しくなるよう再処理施設において再処理する使用済燃料の燃焼条件及び冷却期間を設定することにより発熱量 30W/kg を想定したとき、グローブボックスの

パネルの健全性を確保するための制限温度 (135°C) に達するまでに 1 週間以上を要し、閉じ込め機能の不全に至るまでに時間的な余裕があることから、崩壊熱による閉じ込め機能の不全については、設計基準事故としない。貯蔵施設以外のグローブボックスについては、貯蔵施設の最大貯蔵能力と比較して、核的制限値が小さいため、スクラップ貯蔵設備の評価に包含される。

【補足説明資料 1 - 2】

b. 火災による閉じ込め機能の不全

火災により閉じ込め機能の不全に至るおそれのある事象のうち、設計基準事故として想定する MOX 燃料加工施設から多量の放射性物質を放出するおそれがある事象は、火災区域に設定する工程室において MOX 粉末を露出した状態で取り扱うグローブボックス内における火災である。火災発生時に公衆が受ける放射線被ばくは、MOX 粉末の取扱量に依存する。火災発生時に公衆への影響が最も大きくなるのは以下の(a)から(e)を考慮すると、MOX 粉末の取扱量が最大のペレット加工第一室に設置するグローブボックス内で発生する火災であることから、当該火災を対象として設計基準事故の評価を行う。設計基準事故において想定する主要な工程室における MOX 質量を第 2 図に示す。

【補足説明資料 1-13】

- (a) MOX の取扱形態として、グリーンペレット、ペレット及びペレットを燃料棒に密封した状態であれば、火災時においても気相中への移行量は極めて少ないことから、MOX 粉末を取り扱う火災区域に設定する工程室を設計基準事故の選定の対象とする。た

だし、MOX粉末をグリーンペレットに加工する単一ユニットは、取り扱うMOXの全量をMOX粉末として評価する。

- (b) 容器の搬送又は保管のみを行う設備においては、MOX粉末は金属製の容器内で取り扱うことから、MOX粉末が火災影響を受けることを想定しない。一方、容器を反転して混合機への粉末の投入、混合操作等を行う設備においては、グローブボックス内でMOX粉末が飛散するリスクが高いことから、火災時において露出したMOX粉末が火災影響を受けることを想定する。
- (c) 混合酸化物貯蔵容器の取り扱いにおいては、密封したMOX粉末が飛散するリスクはないことから、MOX粉末が火災影響を受けることを想定しない。また、粉末缶についても、MOX粉末が容易に飛散することのない構造であることから、粉末缶の蓋を開閉しない装置においては、MOX粉末が火災影響を受けることを想定しない。
- (d) 原料受払室では主に混合酸化物貯蔵容器及び粉末缶に収納した状態で核燃料物質を取り扱うため、火災影響を受けることは想定しにくい。クリーンアウトの際には粉末を回収する作業が想定される。この粉末量を原料MOXポット1容器分と想定し、その全量が火災影響を受けることを想定する。
- (e) ペレット加工第3室ではペレットを主に取り扱うが、ペレットの研削の際には粉末が発生する。この粉末量を当該室の単一ユニットの核的制限値に対する3分の1と想定し、その全量が火災影響を受けることを想定する。

グローブボックス外においては非密封の核燃料物質が存在せず、グローブボックス外で火災が発生したとしても放射性物質が燃料

加工建屋外へ放出されることはないことから、グローブボックス外で発生する火災は設計基準事故として選定しない。また、分析設備においては、分析作業のために可燃性物質及び着火源を使用するが、分析設備における核燃料物質の取扱量は少量であることから、分析設備において火災が発生しても燃料加工建屋外に放射性物質を多量に放出するおそれはない。

③ 水素爆発起因の焼結炉及び小規模焼結処理装置の閉じ込め機能の不全

水素爆発により閉じ込め機能の不全に至るおそれのある設備は、焼結炉及び小規模焼結処理装置である。

本事象の要因となる異常事象は、「焼結炉及び小規模焼結処理装置への空気混入」である。

MOX燃料加工施設で使用する水素ガスは、爆ごうに至らない水素濃度である 9vol%以下の水素・アルゴン混合ガスを使用すること、運転中の焼結炉等は高温状態であるため、炉内に空気が流入したとしても直ちに局所的な燃焼を起こすだけであり、爆発による異常な圧力の上昇には至らないことから、水素爆発起因の閉じ込め機能の不全は、設計基準事故として選定しない。

③ 負圧維持機能の喪失によるグローブボックス等の閉じ込め機能の不全

本事象の要因となる異常事象は、「グローブボックス及びスタック乾燥装置の負圧維持機能の喪失」及び「焼結炉及び小規模焼結処理装置の負圧維持機能の喪失」である。

負圧維持機能の喪失によりグローブボックス等の閉じ込め機能の不全に至るおそれがあるが、以下の設計により、多量のMOX粉末がグ

グローブボックス等外へ飛散又は漏えいすることはない。

a. グローブボックス排風機，排ガス処理装置等の補助排風機は安全上重要な施設であり，運転中の当該排風機又は当該補助排風機が故障した場合においても，自動的に予備機に切り替わる設計であるとともに，外部電源喪失時には非常用所内電源設備から電力を自動的に供給する設計である。

b. 仮にグローブボックス排風機，排ガス処理装置等の補助排風機の機能が全て失われたとしても，グローブボックス等は放射性物質が漏えいしにくい構造であることから，多量のMOX粉末がグローブボックス等外へ飛散又は漏えいすることはない，また，グローブボックス及び換気設備は以下の設計であることから，多量のMOX粉末がグローブボックス外へ飛散又は漏えいすることはない。

(a) グローブボックスは，ステンレス鋼製の本体を溶接及びボルト締結により加工し，その操作面にグローブポートを有する透明なパネル等を，ガスケットを介して取り付け，給気口及び排気口を除き密封でき，放射性物質が漏えいしにくい構造である。

(b) 換気設備は，排気ダクトをフランジ又は溶接で接続する構造であり，高性能エアフィルタ，排風機及び逆止ダンパを設けており，放射性物質が漏えいしにくく，かつ逆流しにくい構造である。

したがって，負圧維持機能の喪失によるグローブボックス等の閉じ込め機能の不全は，設計基準事故としない。

(4) 判断基準

設計基準事故の判断基準は，公衆に著しい放射線被ばくのリスクを与えないこととし，敷地周辺の公衆の実効線量の評価値が5 mSv を超えなければリスクは小さいと判断する。

2.3 解析に当たって考慮する事項

設計基準事故の評価に当たっては、加工運転の状態を考慮して評価条件を設定するとともに、事象が発生してから収束するまでの間の設備・機器の作動状態及び運転員の操作を考慮する。また、使用するモデル及びパラメータは、評価の結果がより厳しい評価となるよう選定する。

2.4 設計基準事故の評価

MOX燃料加工施設の安全設計の妥当性を確認するため、MOX燃料加工施設において発生する可能性のある設計基準事故に係る事象に対して、その発生原因、拡大防止対策及び影響緩和対策を考慮し、事故経過の解析及び結果の評価を行い、MOX燃料加工施設の安全性がいかに確保されるかを確認する。

- (1) 火災区域に設定する工程室においてMOX粉末を露出した状態で取り扱うグローブボックス内における火災による閉じ込め機能の不
全

① MOX燃料加工施設の火災に関する特徴

設計基準事故の想定においては、以下のMOX燃料加工施設における火災に関する特徴を考慮する。

- a. MOX燃料加工施設においてMOX粉末又はグリーンペレットを取り扱うグローブボックス、乾燥後のペレットを取り扱うグローブボックス及び分析設備を収納する一部のグローブボックスは、窒素ガス雰囲気中で運転を行うため、窒素ガス雰囲気下において火災は発生しない。主要な工程室におけるMOXの取扱形態及びグローブボックス内雰囲気を第3図及び第4図に示す。

- b. MOX燃料加工施設の燃料製造における工程は乾式工程であり、焼結処理で水素・アルゴン混合ガスを使用するほかには、有機溶媒等の可燃性物質を多量に取り扱う工程はなく、有機溶媒等による大規模な火災は発生しない。
- c. MOX燃料加工施設において、核燃料物質を取り扱うグローブボックス等の設備・機器は、不燃性材料又は難燃性材料を使用する。このため、グローブボックス等の設備・機器による大規模な火災は発生しない。

② 火災の発生シナリオ

火災の発生要因は酸素、着火源及び可燃性物質であることから、火災の発生の想定において、これらが揃うことを想定する。

a. グローブボックス内への酸素の混入の想定

MOX粉末を取り扱う工程のうち、分析設備及びスクラップ処理設備の一部を除き、粉末の調整又は圧縮成形を行う工程のグローブボックスは品質管理の観点から窒素ガス雰囲気で行う。また、一定の酸素濃度（12.5vol%以下に設定）を超えた場合には、万一、火災が発生した場合の公衆への影響を考慮し、速やかに酸素濃度の異常を検知した範囲の設備の運転を停止する。停止後は、酸素濃度が上昇したグローブボックス及びグローブボックス内機器の健全性を確認し、核燃料物質を貯蔵施設に退避させる。このため、粉末の調整又は圧縮成形を行う工程のグローブボックス内における火災は、窒素ガス雰囲気下である限り発生することはなく、グローブボックス内で火災が発生したとしても、運転時に取り扱う核燃料物質全量が火災影響を受けるような事故に至ることは考えにくい。また、粉末の調整又は圧縮成形を行う工程以外のグローブボックスに

については、取り扱う核燃料物質が少量であること又は取扱形態がグリーンペレット若しくはペレットであり、MOXが飛散しにくいことから、万一、グローブボックス内で火災が発生したとしても公衆への影響は小さい。

ただし、窒素循環設備が機能喪失に至った場合、グローブボックス内の過負圧時に自力式吸気弁から吸気する場合又は設備・機器の更新を行う場合には、グローブボックス内に空気が混入することが考えられることから、グローブボックス内が空気雰囲気になることを想定する。また、窒素雰囲気型グローブボックス内が空気雰囲気になったとしても、グローブボックス内の核燃料物質を貯蔵施設へ退避していない状態であるものとする。

b. 着火源の想定

グローブボックス内機器のケーブルの過電流による発火を想定する。過電流遮断器等を設置することを発生防止対策としているが、過電流遮断器等が機能せず、過電流が発生し、ケーブルが発火することを想定する。

c. 火災源としての可燃性物質の想定

核燃料物質を取り扱う火災区域に設定する工程室に設置するグローブボックス内において想定する火災源には、除染作業に使用するアルコール及びウエス並びに機器の駆動に使用する潤滑油がある。グローブボックス内で使用する機器のうち、火災源となり得る潤滑油を内包するものは漏えいしにくい構造とすること、除染作業用のアルコール、ウエス等の可燃性物質は必要最小限とし、グローブボックス内に保管する場合は金属製の容器等に収納することから、火災源となることは想定しにくい。潤滑油を内包する機器か

ら潤滑油が漏えいすること又は作業員がアルコール、ウエス等の金属製の容器等への収納し忘れることにより、グローブボックス内で火災源として存在することを想定する。

以上より、MOX燃料加工施設においては、グローブボックス内の火災の発生は想定しにくい、グローブボックス内で火災が発生することを想定する。

また、MOX燃料加工施設においては、管理区域及びグローブボックス内に持ち込む可燃性物質は必要最小限とすること、グローブボックス内に可燃性物質を保管する場合は金属製の容器等に収納すること、グローブボックス内機器の主要な構造材は不燃性材料又は難燃性材料を使用すること及びグローブボックスについても主要な構造材は不燃性材料又は難燃性材料を使用することから、火災が発生してもその火災規模は小さく、グローブボックスの閉じ込め機能の不全が発生するほどの火災になることは考えにくい。また、酸素濃度を監視するグローブボックスにおいて一定の酸素濃度（12.5vol%以下の設定）を超えた場合には、速やかに酸素濃度の異常を検知した範囲の設備の運転を停止する措置を講ずること、仮に核燃料物質を貯蔵施設に退避していなかったとしても、グローブボックス内では核燃料物質を金属製の容器又は機器内で取り扱うため露出が少ないことから、グローブボックス内の火災が発生したとしても、火災により核燃料物質が火災影響を受けることは考えにくい。しかし、設計基準事故の評価としては、取り扱うMOX粉末の全量が火災影響を受けることを想定する。

③ 拡大防止対策及び影響緩和対策

a. 火災の拡大防止対策及び影響緩和対策

火災区域に設定する工程室においてMOX粉末を露出した状態で取り扱うグローブボックス内における火災の発生，継続及び消火を確認する対策並びに発生した火災を消火する対策及び火災を当該火災区域内に限定するための対策を以下に示す。

(a) 火災の感知及び消火（グローブボックス温度監視装置及びグローブボックス消火装置）

安全上重要な施設のグローブボックス内の火災に対して，火災の感知が可能なようにグローブボックス温度監視装置を設置する設計である。安全上重要な施設のグローブボックス内には，火災区域に設定する室のうち，グローブボックスごとに3個以上の感知器を設置する設計である。また，グローブボックス内の火災を消火できるよう，グローブボックス消火装置を設置する設計である。グローブボックス消火装置は，連結したグローブボックス内で組み合わせて設置した感知器のうち，2個以上の感知器で火災を感知したい場合に，自動で消火ガスを放出する設計である。

グローブボックス温度監視装置及びグローブボックス消火装置による火災の感知及び消火は，火災の感知としては，グローブボックス内には温度異常（60℃以上）を感知する温度測定検出器及び温度異常（15℃/min以上）を感知する温度上昇検出器の2種類を組み合わせて3個以上設置するとともに，火災の消火ガス放出のための起動用ガスは2系統設ける設計である。また，これらの火災の感知及び消火に関する制御回路は自己診断機能により自らの故障を検知する機能を有している。このため，火災の感知及び消火の対策は信頼性を有することから，設計基準事故時においても火災の感知及び消火の機能を期待できる。

(b) 火災区域による火災の影響の軽減

火災区域境界は、火災区域を越える火災の伝播を防止するため、3時間以上の耐火能力を有する耐火壁（壁，耐火シール，防火扉，防火シャッタ及び延焼防止ダンパを含む。）により，他の火災区域及び火災区画と分離し，火災発生時には延焼防止ダンパを閉止し，開状態の防火シャッタは容器の搬送終了後に閉止することにより，延焼防止を行い，火災の影響を軽減する設計である。

火災区域境界を構成する設備のうち，防火シャッタ及び延焼防止ダンパを除いた設備は静的機器であるため，装置自体が高い信頼性を有することから，設計基準事故時においても機能が期待できる。

防火シャッタは，容器搬送時を除き，通常時は閉止状態であることから，設計基準事故時においても機能が期待できる。

延焼防止ダンパは，グローブボックス消火装置から発せられる閉止信号を受けて，自動で窒素ガスにより閉止する設計であり，構造が単純なエアシリンダを用いる機構であるため故障しにくい構造であるとともに，延焼防止ダンパが閉止するときは複数設置する作動用の窒素ガスボンベの開放弁を同時に開放する設計であり，信頼性を有することから，設計基準事故時においても機能が期待できる。

以上より，火災区域の形成については，信頼性を有することから，設計基準事故時においても機能が期待できる。

上記の(a)及び(b)の火災の拡大防止対策及び影響緩和対策並びに「② 火災の発生シナリオ」を考慮すると，火災が発生したとしても感知及び消火の対策があるため火災の規模は小さいことか

ら、グローブボックス内で火災により核燃料物質が火災影響を受けることは想定しにくいですが、設計基準事故の評価では、核燃料物質が火災影響を受けるものとする。また、火災が発生しても、火災防護設備による延焼防止により火災は当該火災区域内に限定されることから、火災によるグローブボックスの閉じ込め機能の不全についても、当該火災区域内に限定されるとともに、グローブボックスを含めたグローブボックス排気系統は健全であるものとして評価する。

また、安全上重要な施設のグローブボックス内に設置する機器が有する潤滑油が漏えいして火災が発生した場合、グローブボックス局所消火装置により消火されることも想定される。グローブボックス局所消火装置の起動のみで消火されるような火災は、火災の規模が小さく、核燃料物質の飛散も少ないと考えられる。このため、設計基準事故の評価としては、グローブボックス消火装置が起動するような規模の火災が発生することを想定する。

b. 火災による閉じ込め機能の不全の拡大防止対策及び影響緩和対策

火災は核燃料物質を燃料加工建屋外に放出するおそれがあることから、送排風機を停止するとともに、ダンパを閉止することで、核燃料物質を限定した区域内に閉じ込めることを基本方針とする。

火災に伴う温度上昇による圧力上昇により、意図しない経路から核燃料物質が燃料加工建屋外に放出されるおそれがあることから、消火ガスを放出して火災を消火することにより、火災に伴う温度上昇を抑制し、意図しない経路から核燃料物質を燃料加工建屋外に放出することがない設計である。また、消火ガスの放出が完了するまでの間においては、火災の規模並びにMOXの取扱形態及び取扱量

に応じて、グローブボックス排気設備から高性能エアフィルタを介して燃料加工建屋外に放出する経路を形成することで、消火ガス放出区域の圧力上昇を抑制し、意図しない経路から核燃料物質を燃料加工建屋外に放出することがない設計である。

上記の設計を踏まえた火災区域に設定する工程室においてMOX粉末を露出した状態で取り扱うグローブボックス内で火災を感知してグローブボックス消火装置により消火ガスを放出する場合における火災による閉じ込め機能の不全に対する具体的な拡大防止対策及び影響緩和対策を以下に示す。

(a) 火災を感知した際の拡大防止対策及び影響緩和対策

火災区域に設定する工程室内に設置するグローブボックス内の火災を感知し、グローブボックス消火装置により消火ガスを放出する際は、送風機、建屋排風機、工程室排風機及び室素循環ファンを停止し、避圧エリアの給気ダクト、避圧エリアの室素循環ダクト及び避圧エリアのグローブボックス排気ダクトのバランスダンパ下流に設置する延焼防止ダンパ並びに工程室排気設備のフロア境界の工程室排気ダクトに設置する避圧エリア形成用自動閉止ダンパを閉止する設計である。また、開状態の防火シャッターは、容器の搬送終了後に閉止する設計である。

(b) グローブボックス消火装置による消火ガスの放出完了後の拡大防止対策及び影響緩和対策

火災区域に設定する工程室内に設置するグローブボックス内のグローブボックス消火装置による消火ガスの放出完了後は、当該火災区域に設定する工程室のグローブボックス排気設備のグローブボックス排気ダクトに設置する延焼防止ダンパを閉止す

る設計である。

なお、消火ガスの放出が完了して火災が消火されることにより、室内の圧力上昇の要因がないと当直長が判断した場合は、運転員の操作によりグローブボックス排風機を停止する。

上記の(a)及び(b)の対策について、「③a. 火災の拡大防止対策及び影響緩和対策」としての機能も有している設備である、防火シャッター及び延焼防止ダンパは、同様に信頼性を有することから、設計基準事故時においても機能が期待できるとともに、「③a. 火災の拡大防止対策及び影響緩和対策」に記載したように、大規模な火災に至ることは想定しにくいことから、これらは設計基準事故時においても機能が期待できる。

以上より、火災区域に設定する工程室内に設置するグローブボックス内で火災が発生し、火災によりグローブボックスが閉じ込め機能の不全に至ったとしても、グローブボックス消火装置による消火ガスの放出が完了するまではグローブボックス排気設備から排気を継続することから、グローブボックス内のMOX粉末が工程室に飛散することはないと見込まれ、火災影響を受けて気相中に移行したMOX粉末はグローブボックス排気設備を経由し、高性能エアフィルタを介して除去することができる。

④ 事故経過

公衆への影響を評価するために、ペレット加工第1室のグローブボックス内で火災が発生することを想定する。ペレット加工第1室のグローブボックス内は窒素ガス雰囲気であること、過電流遮断器等によりケーブルの発火を防止していること及び可燃性物質は金属製の容

器等に収納していることから、グローブボックス内の火災は発生しにくいですが、火災が発生することを想定し、ペレット加工第1室の添加剤混合装置グローブボックス、プレス装置（粉末取扱部）グローブボックス又はプレス装置（プレス部）グローブボックス内で火災が発生することを想定する。

火災の発生と同時に外部電源が喪失するものとする。

解析に当たって事故の拡大防止対策、影響緩和対策のうち、放射性物質の放出経路及び放出量に影響を与えるものとして考慮する機能は、発生した火災の感知及び消火に関する機能を有するグローブボックス温度監視装置及びグローブボックス消火装置である。このため、解析の結果が最も厳しくなる単一故障として、これらいずれにも影響を与えるものである非常用所内電源設備の単一故障を仮定する。

MOX粉末は金属製の容器又は機器内で取り扱うため露出が少ないことから、火災時に核燃料物質の全量が火災影響を受けることは考えにくいですが、ペレット加工第1室においてMOX粉末を収納した容器の反転、混合等の処理を行う添加剤混合ユニットA、添加剤混合ユニットB、プレス・グリーンペレット積込ユニットA及びプレス・グリーンペレット積込ユニットBの核的制限値の全量が火災影響を受けることを想定する。

グローブボックス内で火災が発生したとしても、火災の感知後速やかに消火することからグローブボックス内のMOX粉末が火災影響を受けて気相中に移行する量は極めて少ないと考えられるが、火災影響を受けるMOX粉末の100分の1⁽¹⁾が気相中に移行するものとする。また、グローブボックス内面に付着しているMOX粉末の100分の1が気相中に移行することを想定する。グローブボックス内面へのMO

X粉末の付着量は少ないと考えられるが、グローブボックス内面へのMOX粉末の付着量の不確かさを考慮し、評価上はより厳しい評価となるようMOX粉末の全量と仮定する。発生した火災に対して、感知器によりグローブボックス内の火災を感知し、グローブボックス消火装置が起動する。グローブボックス消火装置は、消火ガス放出のための起動用ガスを2系統設ける設計であるため、火災を感知した場合には、確実に消火ガスを放出することが可能である。グローブボックス消火装置の起動に伴い、グローブボックス排風機を除く送排風機が自動停止するとともに、避圧エリアの窒素循環ダクトに設置する延焼防止ダンパ、避圧エリアの給気ダクトに設置する延焼防止ダンパ、避圧エリアのグローブボックス排気ダクトのバランスダンパ下流に設置する延焼防止ダンパ及び工程室排気設備のフロア境界の工程室排気ダクトに設置する避圧エリア形成用自動閉止ダンパが閉止し、グローブボックス内に消火ガスを放出する。また、消火ガスの放出と同時にピストンダンパが閉止する。

グローブボックス消火装置からの消火ガスの放出が完了し、グローブボックス排気設備のグローブボックス排気ダクトに設置する延焼防止ダンパが閉止するまでの間に、気相中に移行したMOX粉末の全量がグローブボックス排気設備の高性能エアフィルタ（4段）に到達し、捕集されるものとする。

消火ガスの放出完了後、当該室のグローブボックス排気設備のグローブボックス排気ダクトに設置する延焼防止ダンパが閉止する。また、消火を確認後、運転員の操作によりグローブボックス排風機を停止する。

高性能エアフィルタ1段当たりの除染係数は 1×10^3 以上であり、

火災により高性能エアフィルタの機能が喪失することはないが、その除染係数は低下しないが、評価上は高性能エアフィルタ 4 段の除染係数を 1×10^9 と設定する。高性能エアフィルタに捕集されなかった MOX 粉末は、燃料加工建屋外へ放出されるものとする。

グローブボックスが火災により閉じ込め機能の不全に至ったとしても、MOX 粉末を燃料加工建屋外へ放出するおそれのある火災による温度上昇は消火により停止していることに加え、当該室の延焼防止ダンパ、避圧エリアの窒素循環設備の窒素循環ダクト及び給気設備の給気ダクトに設置する延焼防止ダンパ並びに工程室排気設備のフロア境界の工程室排気ダクトに設置する避圧エリア形成用自動閉止ダンパを閉止していることから、MOX 粉末が燃料加工建屋外へ移行することはない。

⑤ 放射性物質の放出量及び線量の評価

燃料加工建屋外への放射性物質の放出量は、火災が発生したグローブボックスを設置する室内で保有する放射性物質質量、火災に伴い気相中へ移行する放射性物質質量の割合、燃料加工建屋外への放出経路における低減割合を乗じて算出する。

a. 火災が発生したグローブボックスを設置する室内で保有する放射性物質質量

ペレット加工第 1 室における MOX 粉末を取り扱う単一ユニットの合計量 ($143.8\text{kg} \cdot \text{Pu}$) と設定する。

b. 火災により放射性物質が気相へ移行する割合

(a) 1×10^{-2} と設定する。

(b) グローブボックス内の付着分として放射性物質質量のうち 100 分の 1 がグローブボックス内の気相中へ移行すると想定し、 $1 \times 10^{-$

²と設定する。

c. 大気中への放出経路における低減割合

(a) 高性能エアフィルタ4段の除染係数より 1×10^{-9} と設定する。

(b) (a)に同じ。

放出するプルトニウム核種の組成を以下のとおりとし、各プルトニウム核種の放出量を求める。

アメリシウム-241 は、再処理後の蓄積を考慮し、プルトニウム質量に対する比で 4.5%と設定する。また、ウラン、不純物として含まれる核分裂生成物等については、プルトニウム(アメリシウム-241を含む。)に比べて、公衆の被ばくへの寄与が小さく無視できる。

核種	質量割合 (%)
Pu-238	3.8
Pu-239	55.6
Pu-240	27.3
Pu-241	13.3
Am-241	4.5
合計	104.5

【補足説明資料 1-3】

【補足説明資料 1-5】

【補足説明資料 1-10】

MOX粉末が気相中に移行し、浮遊したMOX粉末が高性能エアフィルタを通過して放出されるMOX粉末の放出量を評価する。

大気拡散の計算に使用する放出源は、排気口の地上高さ及び排気口

からの吹上げを考慮せずにより厳しい評価となるよう地上放出とする。

空気中に浮遊し、燃料加工建屋外に放出されたMOX粉末が大気拡散して敷地境界に到達し、吸入により体内に取り込まれるとしたモデルを用いて実効線量の評価を行う。

具体的には、以下の式により、敷地境界における吸入による内部被ばくの実効線量を算出する。

$$D_m = R \times \chi/Q \times \sum \{Q_i \times (H_{50})_i\}$$

ここで、

D_m : 吸入による実効線量(Sv)

R : 呼吸率(m^3/s)

成人の活動時の呼吸率を $1.2m^3/h$ ⁽²⁾ とする。

χ/Q : 相対濃度(s/m^3)

地上高 10m (標高 69m) における 2013 年 4 月から 2014 年 3 月までの 1 年間の観測資料を使用して求めた $8.1 \times 10^{-5} s/m^3$ を用いる。

Q_i : i 核種の大気放出量(Bq)

$(H_{50})_i$: i 核種の吸入摂取による 50 年の預託実効線量係数 (Sv/Bq)

「ICRP Publication 72」⁽³⁾の実効線量係数を用い、MOX燃料加工施設で取り扱うMOXは不溶性の酸化物であることから吸収タイプSを適用し、以下の値を用いる。

核種	実効線量係数 (Sv/Bq)
Pu-238	1.6×10^{-5}
Pu-239	1.6×10^{-5}
Pu-240	1.6×10^{-5}
Pu-241	1.7×10^{-7}
Am-241	1.6×10^{-5}

【補足説明資料 1-3】

【補足説明資料 1-7】

【補足説明資料 1-8】

【補足説明資料 1-9】

⑥ 評価結果

評価の結果、敷地境界の実効線量は、約 4.9×10^{-5} mSv であることから、拡大防止対策及び影響緩和対策である、火災の感知及び消火、ダンプの閉止及び送排風機の停止並びに消火ガス放出時の高性能エアフィルタを通じた経路からの燃料加工建屋外への排気によって、ペレット加工第1室での火災によるグローブボックスの閉じ込め機能の不全により、敷地周辺の公衆の実効線量の評価値が5 mSv を超えることはなく、公衆に著しい放射線被ばくのリスクを与えることはない。

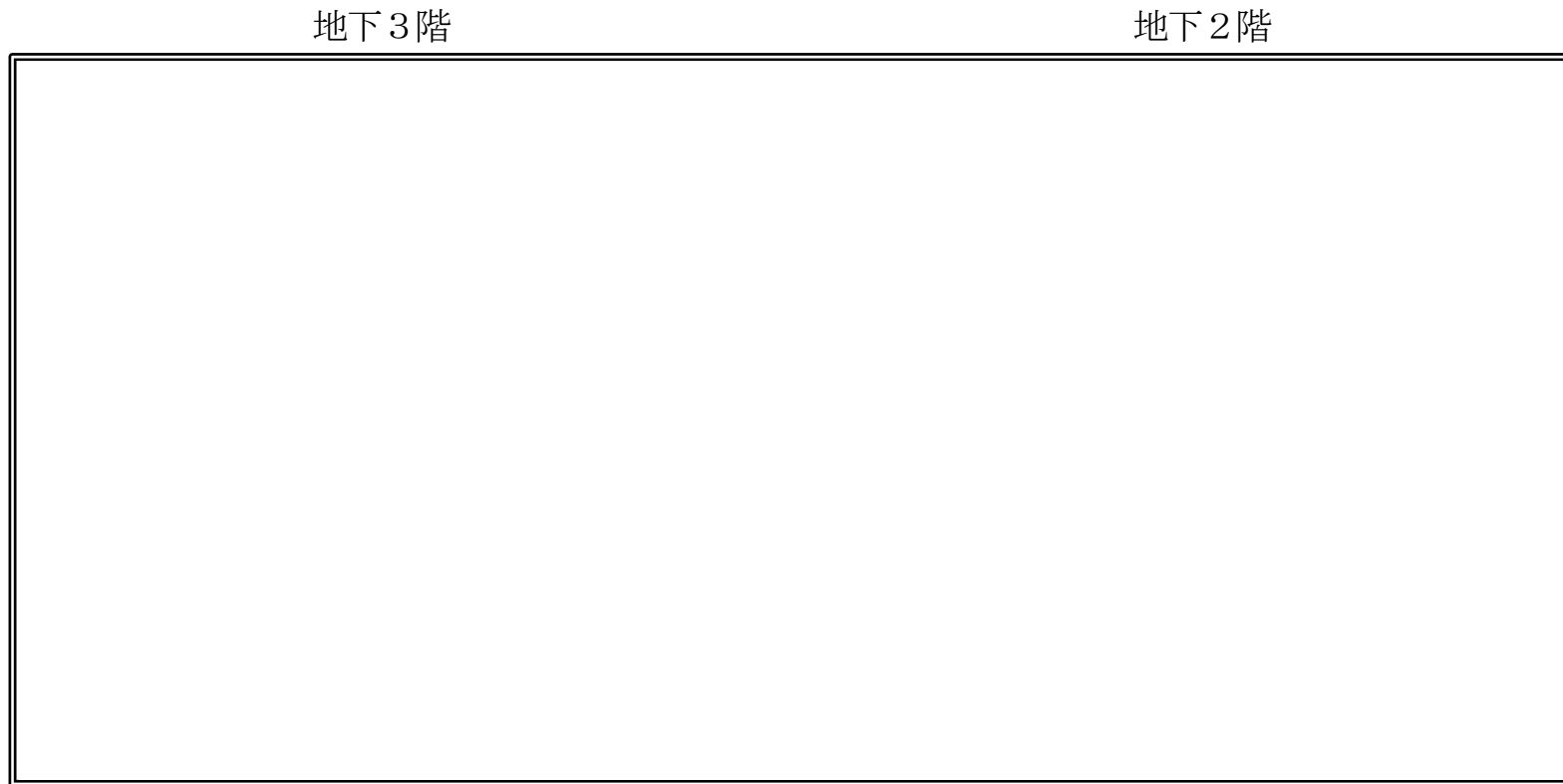
なお、火災によりグローブボックスの閉じ込め機能の不全が発生したとしても、MOX粉末はグローブボックス内に留まるとしているが、より厳しい条件としてグローブボックス外へのMOX粉末の漏えいを想定したとしても、フロア境界の工程室排気ダクトに設置する避圧

エリア形成用自動閉止ダンパの閉止及び工程室排風機の停止により燃料加工建屋外へのMOX粉末の放出には至らないため、実効線量の評価結果が本評価を上回ることはない。また、再処理後のMOX粉末の長期間の貯蔵により、プルトニウムの崩壊に伴うアメリシウムの増加が考えられることから、さらに厳しい評価となる組成としてプルトニウム核種の組成をそのままとし、アメリシウム-241含有率を最大である11.9%として評価を行ったとしても、敷地境界の実効線量の評価値は約 6.0×10^{-5} mSvとなり、評価値が大きく変わることはない。

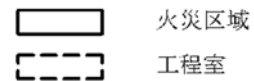
本事象が、火災区域に設定する工程室においてMOX粉末を露出した状態で取り扱うグローブボックス内における火災のうち、実効線量が最大となる事象であることから、火災による閉じ込め機能の不全に係る他の事象においても、公衆に著しい放射線被ばくのリスクを与えることはない。

2.6 参考文献

- (1) ANSI N46. 1-1980 : 1981. American National Standard Guidance for Defining Safety-Related Features of Nuclear Fuel Cycle Facilities.
- (2) 原子力安全委員会. 発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針. 1990.
- (3) ICRP. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients. ICRP Publication 72. 1996.

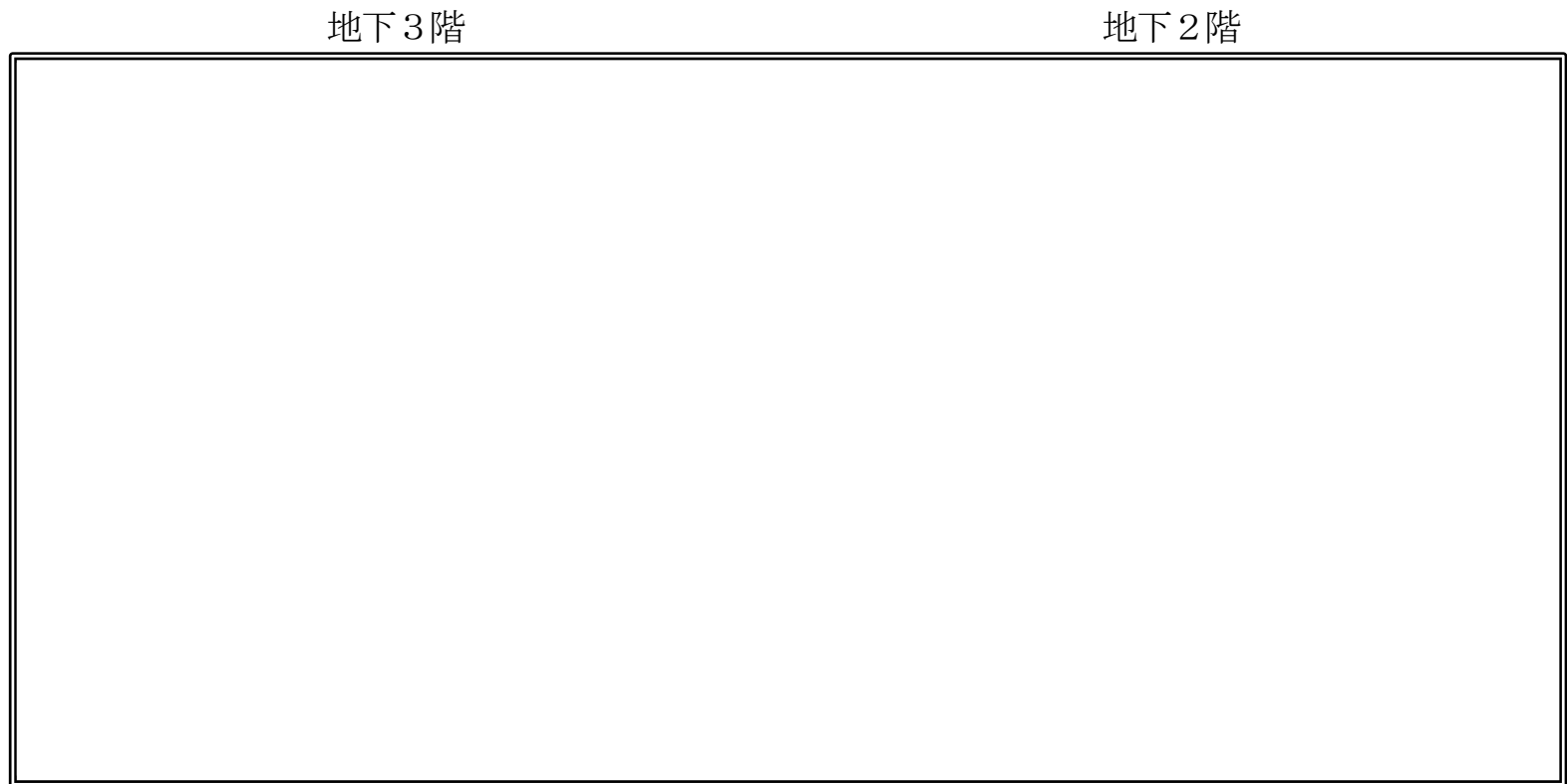







主なMOXの取扱形態	
	グリーンペレット
	粉末
	粉末を密封した混合酸化物貯蔵容器
	燃料棒
	ペレット





は核不拡散上の観点から公開できません。

第1図 設計基準事故で想定する主要な工程室におけるMOXの取扱形態

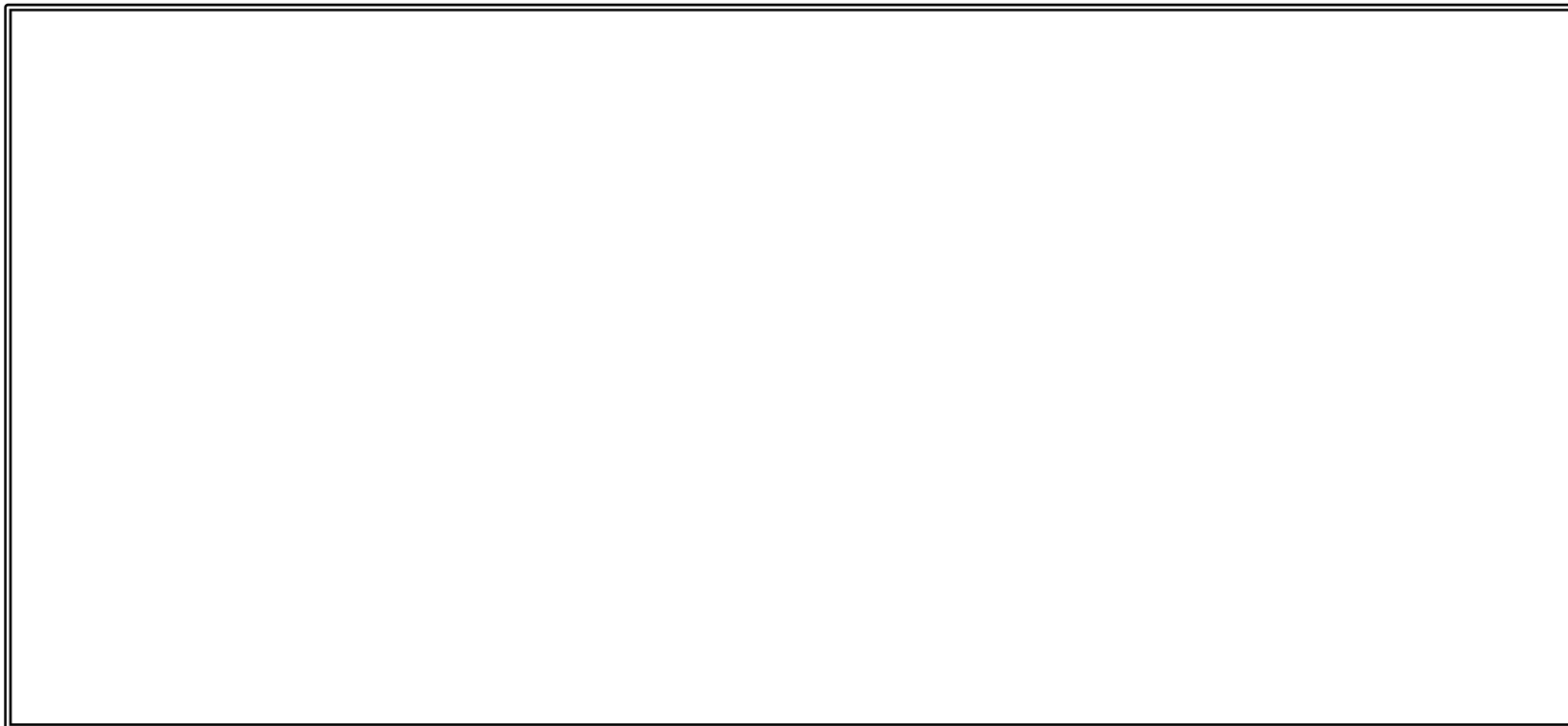






MOX質量	
	200kg・MOX未満
	~300kg・MOX
	~400kg・MOX
	~500kg・MOX
	500kg・MOX~




 火災区域
 工程室

 は核不拡散上の観点から公開できません。

第2図 設計基準事故で想定する主要な工程室におけるMOX質量

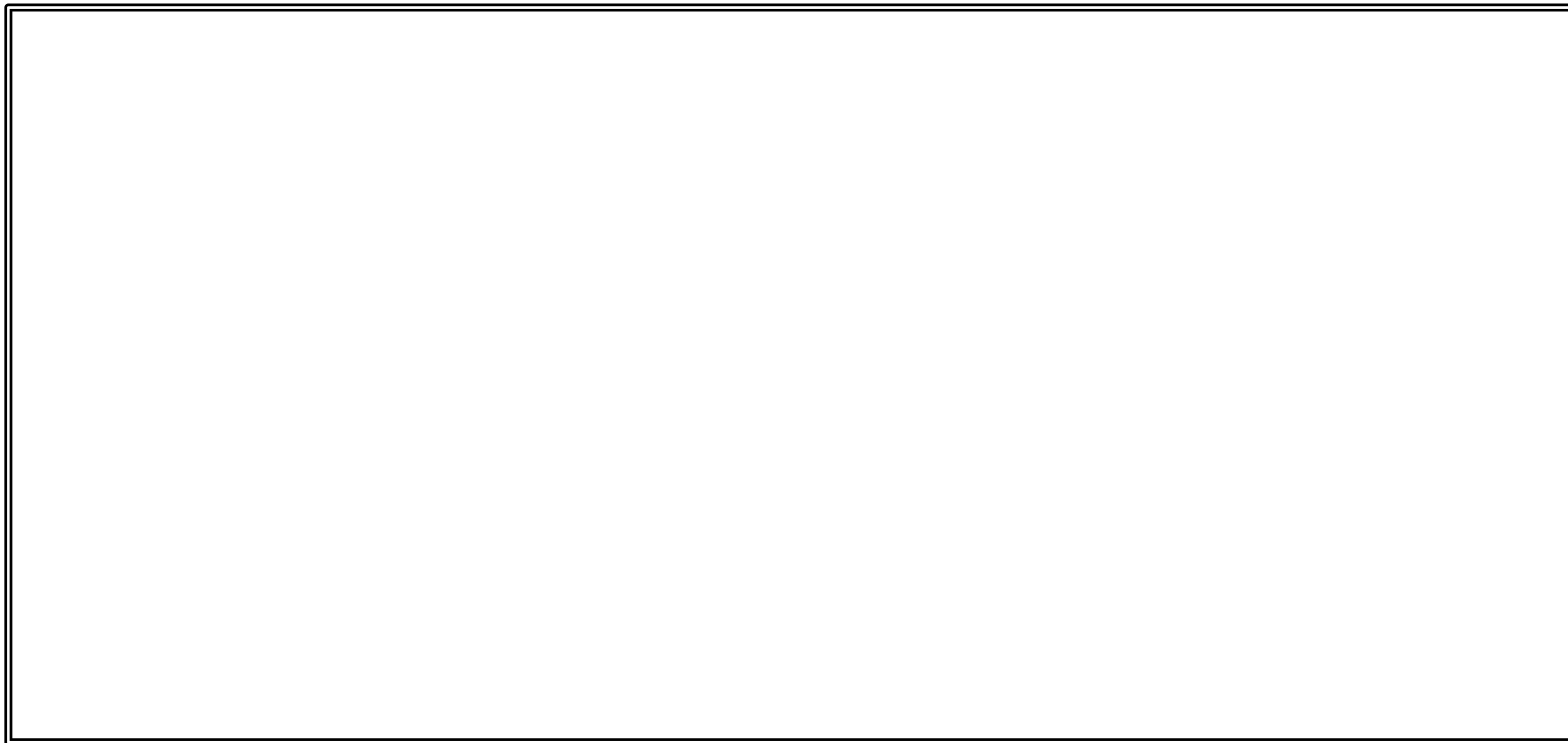






主なMOXの取扱形態	
	燃料棒（燃料集合体）
	ペレット
	グリーンペレット
	粉末




グローブボックスの種類	
	窒素雰囲気型グローブボックス（窒素循環型）
	窒素雰囲気型グローブボックス（窒素貫流型）
	空気雰囲気型グローブボックス

 は核不拡散上の観点から公開できません。

第3図 主要な工程室におけるMOXの取扱形態及び
グローブボックス内雰囲気（地下3階）

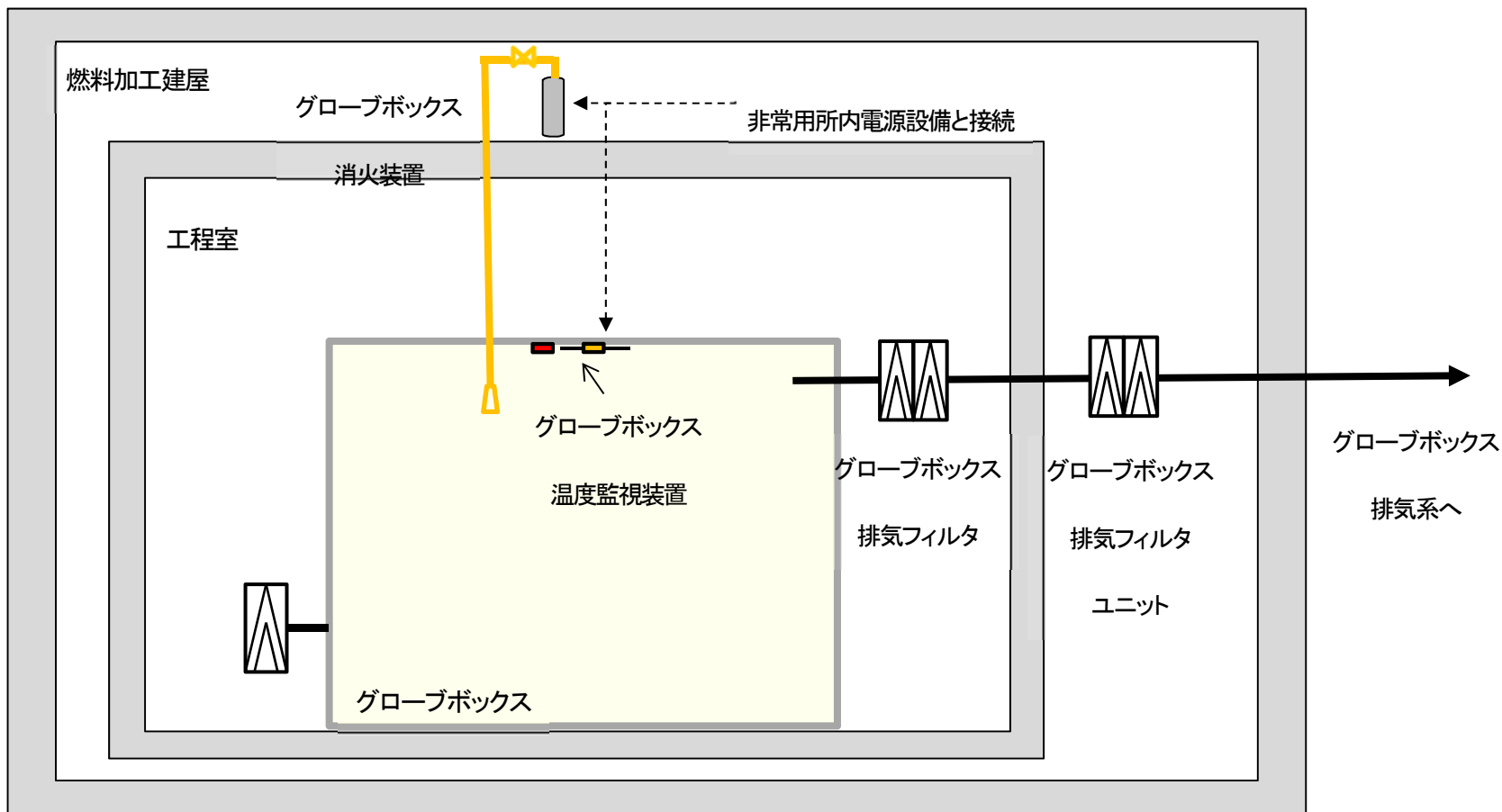


主なMOXの取扱形態	
	燃料棒 (燃料集合体)
	ペレット
	グリーンペレット
	粉末

グローブボックスの種類	
	窒素雰囲気型グローブボックス (窒素循環型)
	窒素雰囲気型グローブボックス (窒素貫流型)
	空気雰囲気型グローブボックス

 は核不拡散上の観点から公開できません。

第4図 主要な工程室におけるMOXの取扱形態及び
グローブボックス内雰囲気 (地下2階)



第5図 設計基準事故（火災）への対処に使用する設備の系統図

2章 補足説明資料

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15条:設計基準事故の拡大の防止

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1-1	設計基準事故の選定について	1/17	0	
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	1	
添付資料2	各異常事象に対する発生防止対策について	1/17	0	
補足説明資料1-2	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	1	
補足説明資料1-3	放射性物質の放出量の評価について	2/26	1	
補足説明資料1-4	最大想定事故と設計基準事故の評価の比較	<u>3/18</u>	1	
補足説明資料1-5	使用済燃料15年冷却による事故時評価用最大線源の影響について	2/26	0	
補足説明資料1-6	設計基準事故時の対応について	<u>3/18</u>	1	
補足説明資料1-7	排気筒の位置変更について	2/26	0	
補足説明資料1-8	安全解析に使用する気象条件の変更について	2/26	0	
補足説明資料1-9	排気筒の位置変更, 安全解析に使用する気象条件の変更等に伴う相対濃度の評価	2/26	0	
補足説明資料1-10	冷却期間の変更における影響	<u>3/18</u>	1	
補足説明資料1-11	臨界の発生可能性の検討	<u>3/18</u>	0	
補足説明資料1-12	設計基準事故の評価の各パラメータについて	<u>3/18</u>	0	
補足説明資料1-13	火災による放出Pu量一覧	<u>3/18</u>	0	

令和2年3月18日 R 1

補足説明資料 1-4 (15 条)

最大想定事故と設計基準事故の評価の比較（火災）

	最大想定事故	設計基準事故（火災）
事故概要	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 空気雰囲気下でMOXを取扱い、着火源となり得る電気炉等が設置され、かつ除染用の紙、アルコールを使用する可能性がある<u>分析装置を収納するグローブボックス内の火災</u>を想定する。 ✓ 火災発生によりMOX粉末の一部が気相中に移行し、火災によりグローブボックスが破損した箇所から、<u>部屋内に全量が飛散し、グローブボックス排気設備を経由して、高性能エアフィルタ2段（後段2段）を介して外部へ放出</u>される。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ MOXの取扱量や形態を考慮し、最も公衆に対する影響が大きい火災区域として、<u>ペレット加工第1室のプレス装置又は添加剤混合装置を収納するグローブボックス内の火災</u>を想定する。 ✓ GB への消火ガス供給により、気相に移行した<u>全量がグローブボックス排気設備を経由して、高性能エアフィルタ4段を介して外部へ放出</u>される。
評価条件	<p>火災影響を受ける MOX 量：1 kg-MOX（プルトニウム富化度 33%）</p> <p>気相中への移行率：10^{-2}</p> <p>除去効率：10^{-5}（HEPA フィルタ 2 段）</p>	<p>火災影響を受ける Pu 量：143.8kg・Pu （グローブボックス内への付着分も含む。）</p> <p>気相中への移行率：10^{-2} （グローブボックス内への付着分については、143.8kg・Pu の 100分の1が気相中に移行することを想定）</p> <p>除去効率：10^{-9}（HEPA フィルタ 4 段）</p>
評価結果	<p>Pu 放出量 (g・Pu)：3.0×10^{-5}</p> <p>敷地境界の実効線量：記載なし （ただし、最大想定事故（爆発）との比例計算より約 4.5×10^{-4}mSv と評価）</p>	<p>Pu 放出量 (g・Pu)：2.9×10^{-6}</p> <p>敷地境界の実効線量：約 4.9×10^{-5}mSv</p>

最大想定事故と設計基準事故の評価の比較（臨界）

	最大想定事故	設計基準事故
事故概要	<p>MOX燃料加工施設の主要な工程は乾式であり、十分な臨界防止対策が講じられていることから、臨界事故の発生が想定されない施設である。しかしながら、<u>一般公衆に放射線障害を与えない施設であることを確認するために、事故の発生シナリオなしに臨界事故を仮想した。</u></p> <p>事故の発生箇所は、MOX粉末を取り扱う設備・機器のうち最大容積となる成形施設の粉末調整工程の二次混合設備の均一化混合装置とし、臨界の規模は総核分裂数を5×10^{18}個*と想定した。</p> <p>※「仮想的な臨界事故評価方法について」に記載の最大値</p>	<p>【内的事象】</p> <ul style="list-style-type: none"> 機器の単一故障等で臨界は発生しない。 混合機への核燃料物質及び添加剤の異常な集積を想定しても、均一化混合機を小型化することにより臨界は発生しない。 グローブボックス内への核燃料物質の異常な集積を想定しても、24時間以内に異常を検知できるため臨界は発生しない。 <p>【外的事象】</p> <ul style="list-style-type: none"> 基準地震動による地震力により、耐震重要度分類B、Cクラスの機器及び配管の破損を想定しても臨界は発生しない。 基準地震動を超える地震動による地震力により、耐震重要度分類Sクラスの機器及び配管の破損を想定しても臨界は発生しない。 <p>⇒<u>MOX燃料加工施設において臨界は発生しない。</u></p>
評価条件	<p>プルトニウム量 58kg・Pu*</p> <p>ARF：7×10^{-4}</p> <p>LPF：1×10^{-5}</p> <p>よう素・希ガス</p> <p>ARF：1</p> <p>LPF：1</p> <p>※MOX粉末量 360kg・MOX，プルトニウム富化度 18%</p>	
評価結果	<p>大気中への放出量</p> <p>Pu(Am)：2.16×10^8Bq</p> <p>よう素：1.15×10^{14}Bq</p> <p>希ガス：2.11×10^{15}Bq</p> <p>全身に対する線量：約 3.3mSv</p>	

令和2年3月18日 R 1

補足説明資料1－6（第15条）

設計基準事故時の対応について

1. 中央監視室について

中央監視室は、MOX燃料加工施設の状態監視を実施するため、平常運転時における運転操作のほか、設計基準事故時において必要な操作及び確認が行える設計とする。

第1表 中央監視室で実施できる内容（代表例）（平常運転時）

作業内容
製造工程の運転状態の監視
製造工程の停止操作
送排風機の運転状態の確認 (停止操作を含む。)
グローブボックス内の温度の監視（異常警報も含む。)
グローブボックス内の負圧の監視（異常警報も含む。)
グローブボックス内の火災への対処に関する監視 (グローブボックス消火装置からの消火ガスの放出の確認、延焼防止ダンパの駆動の確認、避圧エリア形成用自動閉止ダンパの閉止の確認)
通信連絡設備による連絡
排気モニタ等の監視

2. 制御室について

制御室は、MOX燃料製造の加工工程の各工程における機器の運転・制御及び監視を行える設計とする。

第2表 制御室で実施できる内容（代表例）（平常運転時）

作業内容
当該工程の運転状態の監視
当該工程のグローブボックス内の温度の監視（異常警報も含む。)
当該工程グローブボックス内の負圧の監視（異常警報も含む。)
当該工程の停止操作

3. 設計基準事故時の対応

MOX燃料加工施設で想定する設計基準事故が発生したときの対応を示す。

設計基準事故の評価は、MOX粉末の取扱量が最も多いペレット加工第1室におけるグローブボックス内火災で、対策及び放出量进行评估する。

また、設計基準事故時において、外部電源の喪失及び非常用所内電源設備の単一故障を想定していることから、その状態を想定する。

上記の環境条件を考慮した上で、各設計基準事故の発生時の対応について示す。

3. 1 事故シナリオの概要

ペレット加工第1室のMOX粉末を取り扱うグローブボックス内で、火災が発生する。

発生した火災については、温度異常（60℃以上）を感知する温度測定検出器及び温度上昇異常（15℃/min 以上）を感知する温度上昇検出器の2種類を組み合わせて3個以上設置することから、これらの異常を検知する。

上記の異常は、中央監視室に設置するグローブボックス温度監視装置に異常を発報するとともに、グローブボックス消火装置の起動信号を送信する。

グローブボックス消火装置により、発生した火災を消火するための消火ガスが放出される。

消火ガスの放出が完了しペレット加工第1室に設置するグローブボ

ックスのグローブボックス排気ダクトに設置する延焼防止ダンパが閉止するまでの間に、気相中に移行した放射性物質がグローブボックス排気設備に移行し、大気中に放出される。

消火ガスの放出が完了し、火災が消火されることにより、室内の圧力上昇の要因がないと当直長が判断した場合は、中央監視室にて運転員の操作によりグローブボックス排風機を停止する。

3. 2 運転員の作業の必要性

事故シナリオの概要より、運転員に必要となる作業は以下のとおり。

①グローブボックス内の火災の発生の確認

火災が発生したことを運転員が認識するために必要である。この作業は、中央監視室のグローブボックス温度監視装置の盤を確認することで可能である。

グローブボックス温度監視装置は、非常用所内電源設備と接続するとともに、感知器については、蓄電池からの給電又は電源を必要としない感知方法の採用により、外部電源喪失時においても機能を維持できる。

②グローブボックス消火装置の起動、完了

グローブボックス内の火災の発生をグローブボックス温度監視装置が感知すると、グローブボックス消火装置が自動起動し、消火ガスを放出する。グローブボックス消火装置の消火ガスの放出開始、放出完了は、中央監視室の盤を確認することで、消火ガスの放出状況を確認することができる。

グローブボックス消火装置は非常用所内電源設備と接続することか

ら、外部電源喪失時においても機能を維持できる。

③グローブボックス排風機の停止操作

グローブボックス消火装置からの消火ガスの放出完了後、運転員によるグローブボックス排風機の停止操作を、中央監視室にて実施する。

④その他、環境への影響の監視

事故時の状態監視として、排気モニタ等の監視を中央監視室にて実施する。

4. 計基準事故時の対応まとめ

上記の対応のまとめを第3表に示す。

第3表に示すように、設計基準事故における対応は中央監視室において可能である。

なお、外部電源が喪失していなければ、制御室において機器の運転状況やグローブボックス内の温度状況といった情報の把握も可能である。

第3表 設計基準事故への対応まとめ

<u>作業内容</u>	<u>室</u>
<u>安全上重要な施設のグローブボックスの温度の異常の警報の確認</u>	<u>中央監視室</u>
<u>グローブボックス排風機の停止の操作</u>	<u>中央監視室</u>
<u>グローブボックス消火装置からの消火ガスの放出の確認</u>	<u>中央監視室</u>
<u>排気モニタ等の監視</u>	<u>中央監視室</u>

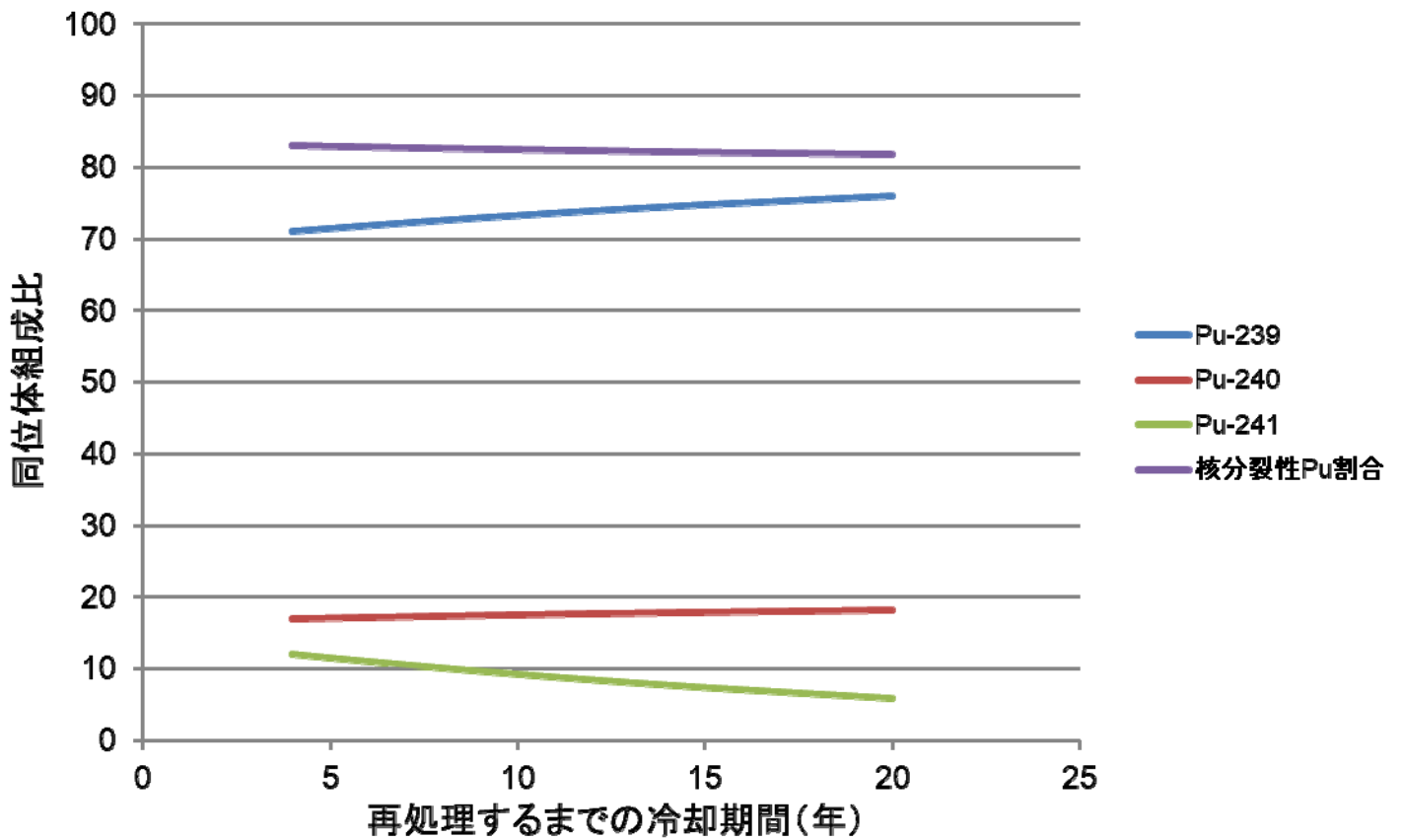
令和2年3月18日 R 1

補足説明資料 1－10（第15条）

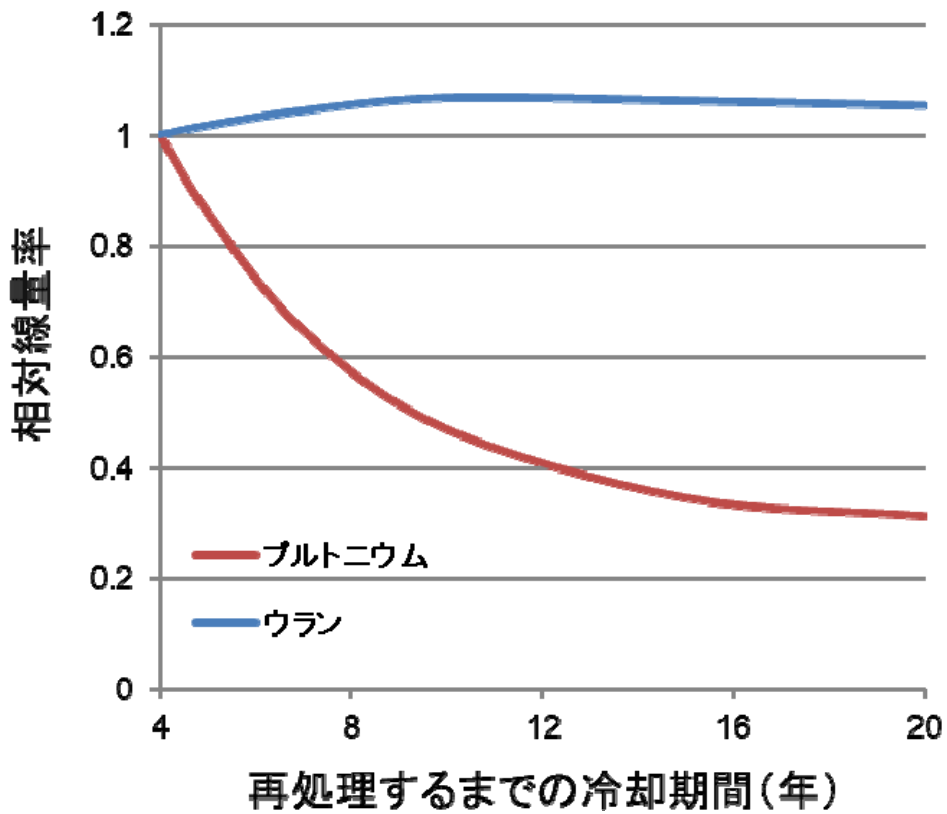
冷却期間の変更における影響

安全設計に係る各種評価で使用するパラメータ（線量率，放射能，崩壊熱）の冷却期間依存性については第1図から第7図に示す。

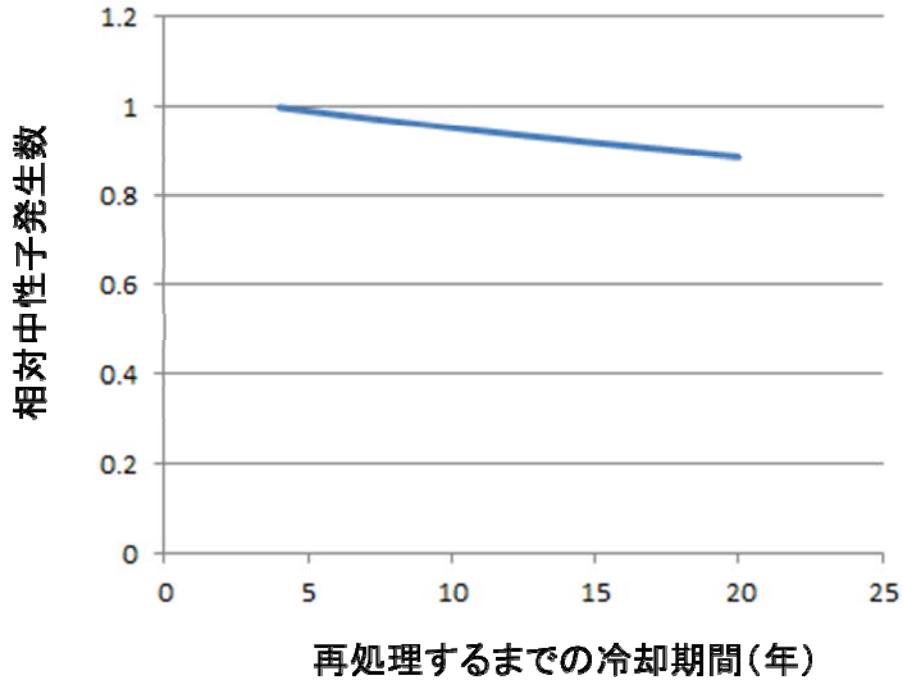
MOX燃料加工施設においては，再処理される燃料の仕様として冷却期間を最低4年と設定して安全設計に係る各種評価を行っているが，第1図から第7図で示すとおり，各パラメータ（線量率，放射能，崩壊熱）は，冷却期間を短い年数で設定した方が長い年数で設定する場合より厳しい値となる。このため，冷却期間の最低年数が増加した場合においても安全設計に係る各種評価は，冷却期間を4年と設定して実施する。



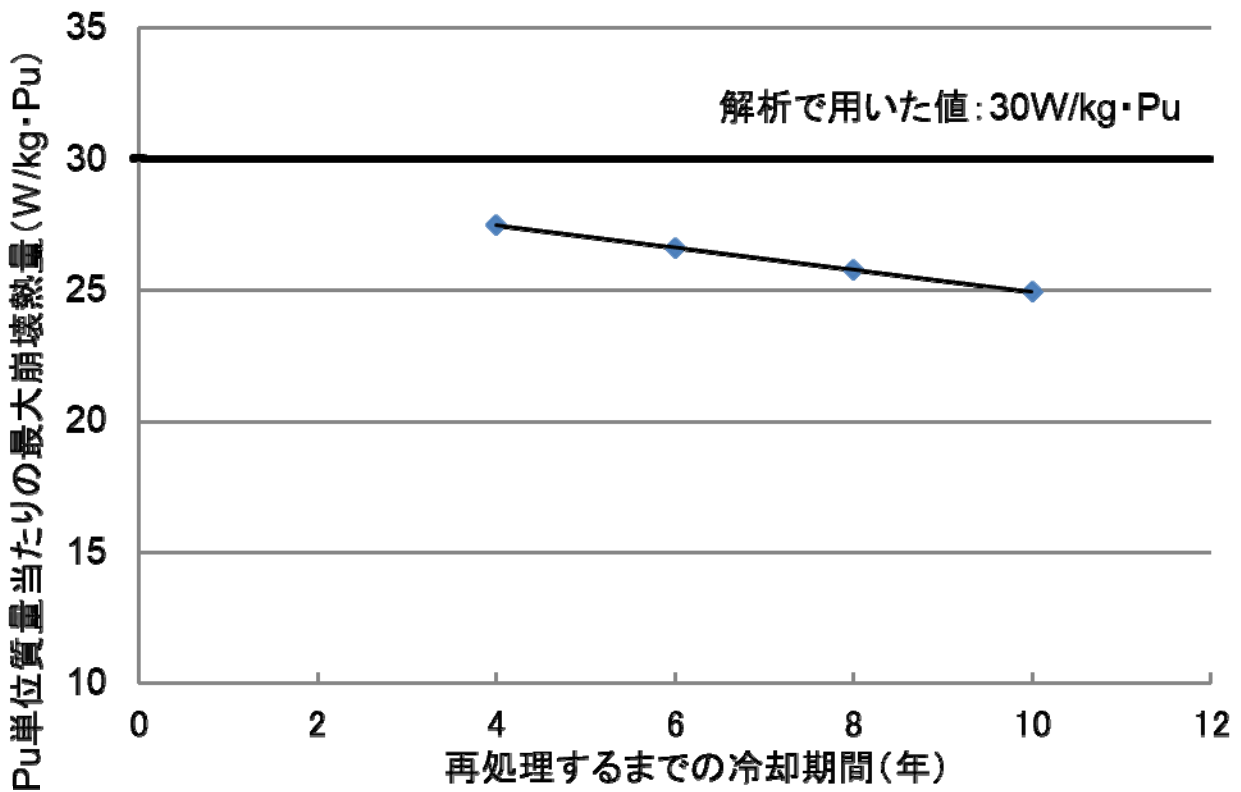
第1図 Pu 同位体組成の冷却期間依存性



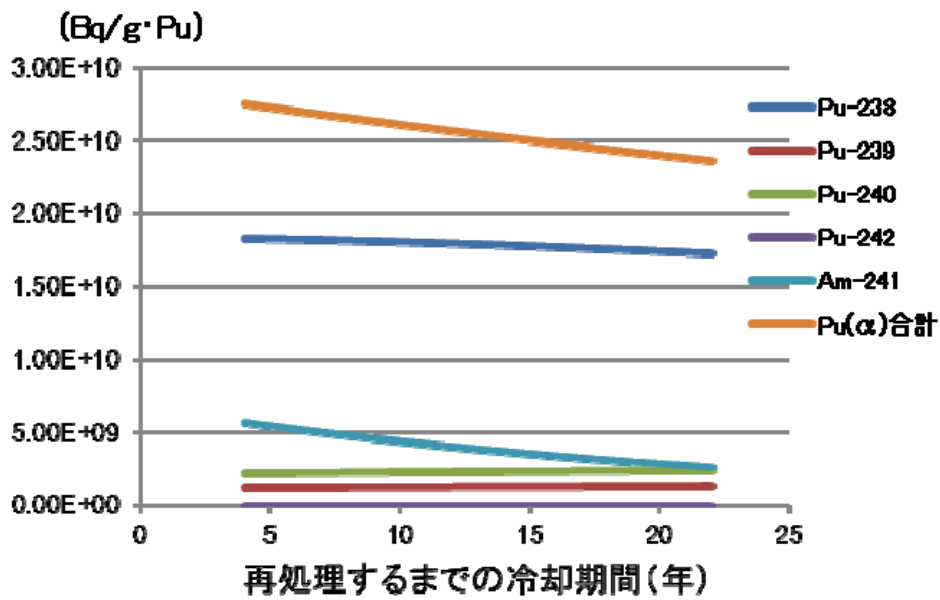
第2図 ガンマ線線量率の冷却期間依存性



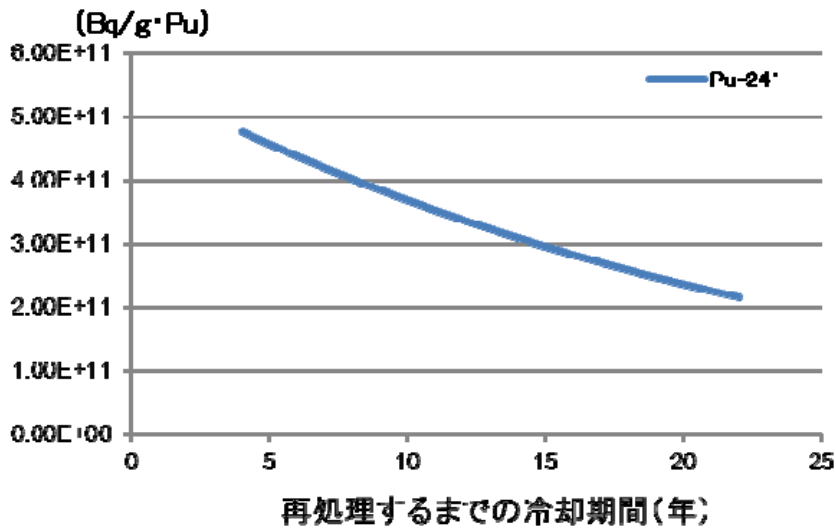
第3図 中性子発生数の冷却期間依存性



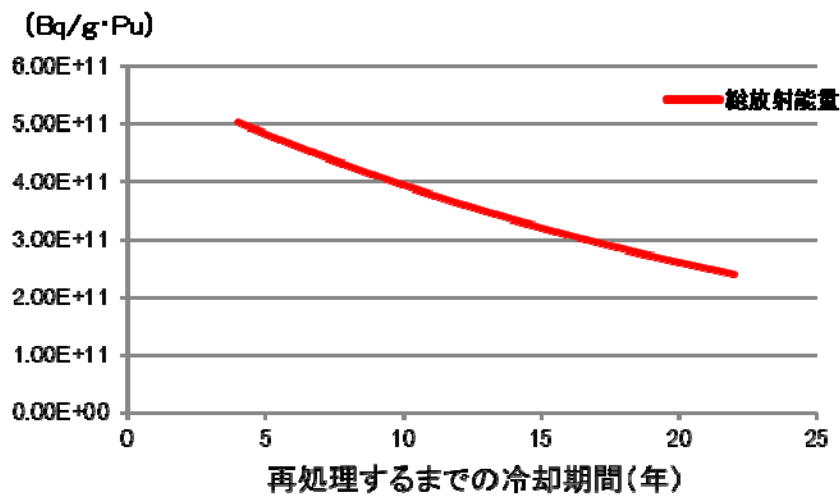
第4図 再処理精製後の経過期間を考慮した崩壊熱量の最大値



第5図 α核種の放射能の冷却期間依存性



第6図 β核種の放射能の冷却期間依存性



第7図 総放射線量の冷却期間依存性

令和2年3月18日 R0

補足説明資料1-12 (15条)

設計基準事故の評価の各パラメータについて

設計基準事故の放射性物質の放出量評価において使用している各パラメータの設定の考え方を示す。

1. 放出量の算出について

放出量評価における大気中への放射性物質の放出量は以下の①から⑤のパラメータより算出する。

- ① 設計基準事故が発生した機器に保有される放射性物質量
- ② ①のうち事故の影響を受ける割合
- ③ 事故により放射性物質が気相に移行する割合
- ④ 大気中への放出経路における低減割合
- ⑤ 肺に吸収され得るような浮遊性の微粒子状の放射性物質の割合

大気中への放射性物質の放出量

$$= \text{①} \times \text{②} \times \text{③} \times \text{④} \times \text{⑤}$$

各設計基準事故でを使用した各パラメータを以下に示す。

2. 設計基準事故（火災）

2. 1 設計基準事故が発生した機器に保有される放射性物質量

設計基準事故を想定するペレット加工第1室のグローブボックス中のMOX粉末のインベントリは、MOX粉末を取り扱うグローブボックスから、核的制限値に基づき第2. 1-1表のとおり設定し、プル

トニウム量 143.8kg・Pu を火災が発生した機器に保有される放射性物質質量とする。

第2. 1-1表 ペレット加工第1室のグローブボックスの
インベントリ

部屋名称	ユニット名	グローブボックス名称	MOX質量 (kg・MOX)	プルトニウム富化度 (%)	インベントリ (kg・Pu)	インベントリ (kg・Pu)
ペレット加工第1室	添加剤混合ユニットA	添加剤混合装置Aグローブボックス	208	18	33.0	143.8
	添加剤混合ユニットB	添加剤混合装置Bグローブボックス	208	18	33.0	
	プレス・グリーンペレット積込ユニットA	プレス装置（粉末取扱部）グローブボックス	245	18	38.9	
		プレス装置（プレス部）グローブボックス				
	プレス・グリーンペレット積込ユニットB	プレス装置（粉末取扱部）グローブボックス	245	18	38.9	
		プレス装置（プレス部）グローブボックス				
空焼結ポート取扱ユニット	添加剤混合装置グローブボックス	36	18	-※		

※MOX粉末を取り扱わないグローブボックスであるため、設計基準事故の評価ではインベントリとして見込まない。

2. 2 事故の影響を受ける割合

より厳しい条件として設定するために1とする。

2. 3 事故により放射性物質が気相に移行する割合

文献(1)では、火災による非揮発性物質の移行率として 10^{-2} を推奨値としていることから、気相への放射性物質の移行率として 1×10^{-2} に設定する。

第2. 3. 1表 火災による気相中への移行率

Table A-1 (Continued)

Release Mechanism	Safety Analysis Parameter	Range of Observations	Current Practice	Recommended Values
6. Fire Release (Fraction released except as noted)	(a) Noble Gas	—	0.90 - 1.00	1.00
	(b) Halogen	0.65 - 0.84	1.00	1.00
	(c) Volatile Solids	$\sim 3 \times 10^{-6}$ - 0.01	0.01 - 0.90	0.01
	(d) Non-Volatile Solids	$\sim 4 \times 10^{-6}$ - 0.28	0.01 - 0.60	0.01
	(e) Fly Ash	$\sim 3 \times 10^{-4}$ - 0.20	0.01 - 0.05	0.01
	(f) Airborne Particle Size (μ)	<0.1 - 10	<5	<5
7. Explosions (Fraction released except as noted)	(a) Noble Gas	—	1.00	1.00
	(b) Halogens	—	1.00	1.00
	(c) Volatile Solids	—	0.001	0.01
	(d) Non-Volatile Solids	3×10^{-5} - 0.14	0.01	0.01
	(e) Airborne Material (time > 100 sec)	1.0 - 71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 - 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (d)
	(f) Airborne Particle Size (μ)	—	<10 - <30	<10
8. Criticality	(a) Initial Pulse - Fissions	1×10^{15} - 4.68×10^{18}	1×10^{18} - 3.7×10^{18}	1.0×10^{18}
	(b) Secondary Pulse - Fissions	No Estimate	0.4×10^{17} - 5×10^{17}	1.9×10^{17}
	Pulse Interval	No Estimate	10 min	10 min
	(c) Total Fissions	3×10^{15} - 1.2×10^{20}	1×10^{18} - 1×10^{20}	1.0×10^{19}
	Total Time	No Estimate	7 min - 24 hr	8 hr
	(d) Gas Release Fraction	No Estimate	1.00	1.00
	(e) Halogen Release Fraction	No Estimate	0.25 - 1.00	0.25
	(f) Solid Release Fraction	No Estimate	0.001 - 0.20	(e)
	(g) Material Release	No Estimate		(e)

(d) Applicable to particulate material only, not to gas or volatile material release
(e) Use applicable Reg Guide Recommendations

なお、グローブボックス内に付着したMOX粉末についても、より厳しい条件となるように評価するために、2. 1に記載のインベントリに対して100分の1が気相中に移行するものとして評価する。

2. 4 大気中への放出経路における低減割合

設計基準事故（火災）における大気中への放出経路における低減割合として、高性能エアフィルタ（4段）の捕集効率を 10^{-9} （99.9999999%）と見込み、その逆数の 10^9 を除染係数として設定している。

高性能エアフィルタ1段当たりの捕集効率は99.97%以上（ $0.15 \mu\text{mDOP}$ 粒子）⁽²⁾であり、高性能エアフィルタ1段目と2段目の捕集効率は同等との試験データ⁽³⁾もある。また、第2. 4-1図に示すように、多段フィルタシステムでは後段のフィルタほど捕集効率は低下するものの、除染係数が最小となる粒径付近では、各段のフィルタの捕集効

率に大きな違いはなく，1桁も変わるものではない⁽⁴⁾という報告もある。これらから，後段フィルタの捕集効率の低下を考慮し，1段目：99.9%，2段目：99%として，グローブボックス排気設備の高性能エアフィルタ2段の捕集効率を99.999%としている。

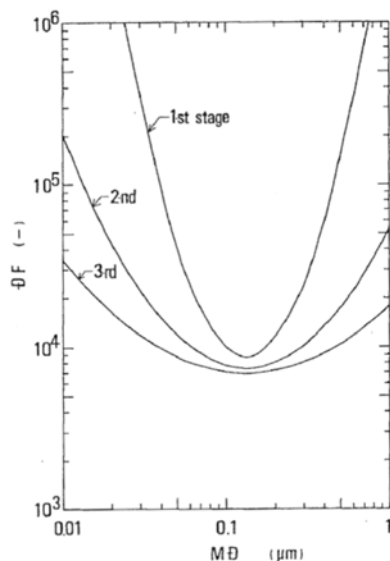
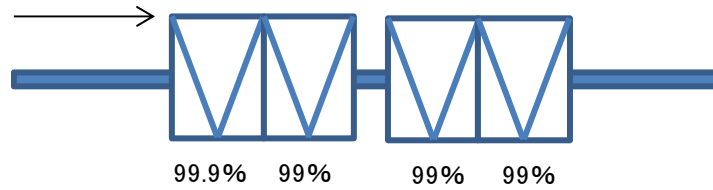


Fig. 5 DF values of HEPA filter in multistage filtration system for aerosol particles with $\sigma_g=1.5$.

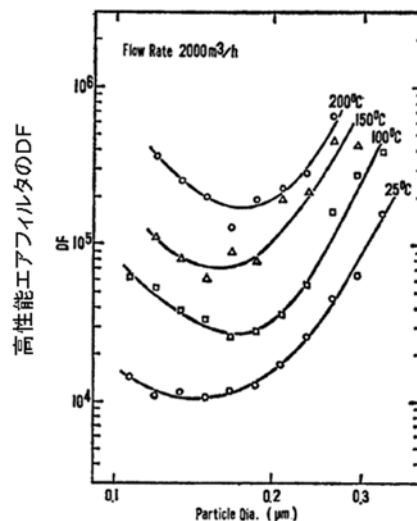
第2. 4-1 図 フィルタの段数と除染係数の関係

また，高性能エアフィルタを3段直列に並べたDF測定試験⁽⁵⁾ではDF $\geq 10^{11}$ との結果が得られているが，設計基準事故の評価における高性能エアフィルタ4段の捕集効率については，後段3段の高性能エアフィルタの捕集効率をそれぞれ99%と設定し，全体として捕集効率を99.9999999% (DF : 10^9)としている(第2. 4-2 図)。



第2. 4-2図 設計基準事故（火災）で設定する
高性能エアフィルタ（4段）の捕集効率

高性能エアフィルタは不燃性材料又は難燃性材料で構成されていることから、火災により損傷することはない。また、高性能エアフィルタへの高温負荷試験により、面速を一定として試験空気温度を 200℃まで上昇させた場合、温度の上昇に伴い高性能エアフィルタの除染係数は上昇する結果が報告されている⁽⁶⁾こと、グローブボックス消火装置は温度異常（60℃）を感知して消火ガスを放出することからグローブボックス消火装置は火災による温度上昇を考慮しても評価上期待している高性能エアフィルタの除染係数は維持できる。



第2. 4-3図 高性能エアフィルタの温度と捕集効率の関係

設計基準事故（火災）の放出量評価では温度上昇による高性能エアフィルタの捕集効率の上昇は見込んでいないことから、裕度を含んだ評価であるといえる。

また、グローブボックスの排気システムのダクトは数十mあり、経路中における沈着等も想定されるが、設計基準事故の評価では見込んでいない。

2. 5 肺に吸収され得るような浮遊性の微粒子状の放射性物質の割合

より厳しい条件として設定するために1とする。

3. 参考文献

- (1) American National Standard Guidance for Defining Safety-Related Features of Nuclear Fuel Cycle Facilities. American National Standards Institute. N46.1-1980.
- (2) 放射性エアロゾル用高性能エアフィルタ. 日本規格協会, 1995, JIS Z 4812-1995.
- (3) 尾崎 誠, 金川 昭. 高性能エアフィルタの苛酷時健全性試験, (I) DOP エアロゾルの捕集性能. 日本原子力学会誌. Vol.27, No.7, 1985, p. 626-636.
- (4) 山田裕司ほか. HEPA フィルタの捕集効率と除染係数. 保健物理, 21, 1986,
- (5) Seefeldt, W. H. et al. Characterization of Particulate Plutonium Released in Fuel Cycle Operations. Argonne National Laboratory, 1976, ANL-75-78.
- (6) 尾崎誠, 残間徳吾, 金川昭. “高性能エアフィルタの苛酷時健全性試験, (III) 高温負荷”, 日本原子力学会誌. 1986.

令和2年3月18日 R0

補足説明資料1-13 (15条)

