

【公開版】

| | |
|----------|-------------|
| 提出年月日 | 令和2年2月6日 R3 |
| 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2月6日 R 1

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)</p> <p>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。</p> <p>(解釈)</p> <p>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。</p> <p>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)</p> <p>指針3. 事故時条件</p> <p>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 | 加工施設安全審査指針 | 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) 遮へい機能の健全性</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。

「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(火災及び爆発並びに重量物落下を含む。)」について、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。

(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取扱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よう設計する。

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、取扱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、安全設計の妥当性を確認するために、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、設計基準事故とし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

閉じ込め機能の不全については、「第四条 閉じ込めの機能」に記載のとおり、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、焼結炉、小規模焼結処理装置、スタック乾燥装置（以下、「グローブボックス等」という。）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。

上記の閉じ込めの機能が損なわれ、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。

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

MOX燃料加工施設の燃料製造工程においては、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、燃料集合体への加工工程においては、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。

このため、閉じ込め機能の不全に至るおそれのある事象の検討として、各工程の特徴を考慮し、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発生する事象（外部電源喪失を含む。）を想定し、その中で閉じ込め機能の不全に至るおそれのある異常事象を抽出する。

また、閉じ込め機能の不全に至るおそれのある異常事象について、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、閉じ込め機能の不全に至らないように発生防止対策が講じられていることを確認する。

閉じ込め機能の不全に至るおそれのある事象は、以下の4つに分類される。

a. 機械的破損

グローブボックス等、混合酸化物貯蔵容器及び燃料棒が、物理的衝撃を受けて損傷することにより閉じ込め機能の不全に至るおそ

れのある事象を，機械的破損に分類する。

b. 熱的破損

グローブボックスが火災又は崩壊熱による温度変化により損傷することにより閉じ込め機能の不全に至るおそれのある事象を，熱的破損に分類する。

c. 爆発

水素ガスを取り扱う設備で水素爆発が発生することにより閉じ込め機能の不全に至るおそれのある事象を，爆発に分類する。

d. 負圧維持機能の喪失

グローブボックス等内の負圧を維持する機能が喪失することにより閉じ込め機能の不全に至るおそれのある事象を，負圧維持機能の喪失に分類する。

上記 a. から d. に分類した閉じ込め機能の不全に至るおそれのある異常事象に対し，「第四条 閉じ込めの機能」，「第五条 火災等による損傷の防止」及び「第十四条 安全機能を有する施設」に記載のとおり，各種の発生防止対策を講じているため，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により，閉じ込め機能の不全は発生しないことを確認した。

② 安全設計の妥当性を確認するための設計基準事故の選定

MOX燃料加工施設において閉じ込め機能の不全が発生した場合における安全設計の妥当性を確認することを目的として，各種の発生防止対策が機能しない場合を想定し，閉じ込め機能の不全に至る事故の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。

MOX燃料加工施設の特徴を考慮すると，前述の a. から d. に分

類した閉じ込め機能の不全に至るおそれのある異常事象から、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として、b. 熱的破損のうち火災として、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と、c. 爆発として、焼結炉等における水素爆発による閉じ込め機能の不全が抽出される。

設計基準事故として公衆への影響を評価するにあたり、設備・機器で取り扱う核燃料物質の取扱量を考慮し、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以下の2事象を選定し、評価する。

- ・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
- ・焼結炉における水素爆発による閉じ込め機能の不全

(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5mSv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」及び「焼結炉における水素爆発による閉じ込め機能の不全」の2事象について、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
- (c) 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

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) 防火シャッターの閉止（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) 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の停止
- (i) 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

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。

火災の発生シナリオとして、ペレット加工第1室において、窒素循環設備の機能喪失により空気雰囲気となったグローブボックスから核燃料物質を退避しない状態で、過電流の遮断失敗によりケーブルが発火し、金属製の容器等に収納し忘れたアルコール又はウエスに引火することにより、グローブボックス内で火災が発生した際の対策を以下のとおり想定する。

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の取扱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が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。また、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5mSv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。

(2) 焼結炉における水素爆発による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. 水素爆発の拡大防止対策及び影響緩和対策

水素爆発による影響を軽減するための対策を以下に示す。

- (a) 水素濃度異常時の水素・アルゴン混合ガスの供給停止
- (b) 爆発圧力に対する焼結炉等の炉殻及び焼結炉等からの排気経路の維持

b. 水素爆発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

水素爆発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を以下に示す。

- (a) 焼結炉等の炉内の圧力異常の検知による延焼防止ダンパの閉止
- (b) 運転員の操作による送排風機の停止
- (c) 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

② 事故シナリオ

公衆への影響を評価するために、焼結炉における水素爆発が発生す

ることを想定する。焼結炉は、焼結炉内部温度高による過加熱防止回路及び焼結炉への冷却水流量低による加熱停止回路により温度異常を防止できることから、温度異常による焼結炉の損傷は想定しにくい。また、焼結炉内に空気が流入しても空気の混入の検出時はアルゴンガス掃気を行うことから、焼結炉内での爆発は発生しにくい。しかしながら、焼結炉内の水素爆発の発生シナリオとして、焼結炉の温度異常により損傷した焼結炉の炉体箇所から空気が流入し、炉内の水素濃度が9 vol%の状態では爆発下限値を超える混合ガスが形成され、加熱ヒータが着火源となり着火し、爆発が発生することを想定する。

焼結炉ユニットの取扱制限値の3分の2相当である274kg・MOXがグリーンペレットであると想定し、その全量が焼結炉内に存在することを想定する。

爆発により焼結炉内のグリーンペレットが粉末化し、100分の1が焼結炉内の気相中に移行することを想定する。

焼結炉内の気相中に移行した放射性物質は排ガス処理装置を経由する間に機器及び配管に付着し、10分の1が排ガス処理装置グローブボックス（上部）内に放出されることを想定する。

爆発による炉内の圧力異常を検知し、ペレット加工第2室の給気ダクト、工程室排気ダクト、窒素循環ダクト及び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。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、排ガス処理装置グローブボックス（上部）内に放出された放射性物質の10分の1がグローブボックス排気設備に移行し、高性能エアフィルタ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段の除染係数については、排ガス処理装置グローブボックス

(上部)直近の高性能エアフィルタ(2段)の1段目は爆発圧力による一部損傷を想定し、除染係数が1桁低下することを想定し、評価上は高性能エアフィルタ4段の除染係数を 1×10^8 とする。

なお、爆発圧力により排ガス処理装置グローブボックス(上部)のグローブが外れて、グローブボックス内に留まったMOX粉末がペレット加工第2室に漏えいしたとしても、爆発による焼結炉内の圧力異常の警報を確認した運転員が送排風機を手動停止することから、漏えいしたMOX粉末は当該室内に留まる。

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 7.3×10^{-7} 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影響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。

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（火災及び爆発並びに重量物落下を含む。）」について、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。

(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、これに取扱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、取扱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であり、核燃料物質が臨界に達するおそれはない。

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取扱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、通常取扱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、取扱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、取扱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、ID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。

臨界に対する発生防止対策（誤搬入防止機構及び誤投入防止機構）に期待せず、意図しない核燃料物質がグローブボックスに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。

外的事象については、「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。

以上のことから、設計基準事故として、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内に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。

事故時においては、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。

外的事象については、「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、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。

③ 閉じ込め機能の不全の要因となる異常事象の抽出

閉じ込め機能の不全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の設備・機器の破損、故障、誤動作あるいは運転員の誤操作による事象(外部電源喪失を含む。)を想定し、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の要因となる異常事象を抽出する。抽出された閉じ込め機能の不全の要因となる異常事象は、以下のとおり分類する。

【補足説明資料1】

| | | |
|----------------------------------|---------------------------------|---|
| 閉じ込め機能を有するもの | 閉じ込め機能の不全の要因となる異常事象 | 閉じ込め機能の不全に至る事象 |
| 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 | a. 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） |
| | b. 内部発生飛散物の飛散（重量物落下） | |
| | c. 機器の逸走 | |
| | d. 崩壊熱による温度上昇 | グローブボックスの熱的破損（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） |
| | e. 火災 | |
| | f. 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 | 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（負圧維持機能の喪失による閉じ込め機能の不全） |
| | g. 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） |
| | h. 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 | i. 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） |
| | j. 内部発生飛散物の飛散（重量物落下） | |
| | k. 燃料棒と機器の干渉 | |
| | l. 混合酸化物貯蔵容器及び燃料棒の落下 | |

④ 各異常事象に対する発生防止対策の確認

上記「③ 閉じ込め機能の不全の要因となる異常事象の抽出」にて抽出した閉じ込め機能の不全の要因となる異常事象について、設備・機器の破損、故障、誤動作あるいは運転員の誤操作から閉じ込め機能

の不全の要因となる異常事象を経て閉じ込め機能の不全に至るまでの事象の進展を想定し、その中でどのような発生防止対策が講じられているかを確認することにより、MOX燃料加工施設の安全設計の妥当性を確認する。

グローブボックス等に関する閉じ込め機能の不全の要因となる異常事象を a. から h. に、混合酸化物貯蔵容器及び燃料棒に関する閉じ込め機能の不全の要因となる異常事象を i. から l. に示す。

a. 内部発生飛散物の飛散（回転羽根の損壊）

過電流が発生し、電力を駆動源とする回転機器が過回転することにより回転機器の回転羽根が損壊して飛散し、グローブボックス等に衝突した場合、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。

本異常事象の発生防止対策として、電力を駆動源とする回転機器は、過電流遮断器等を設置することに加えて、誘導電動機による回転数を制御する機構又はケーシングを有することにより、回転機器の過回転による回転羽根の損壊による飛散物の発生を防止できる設計である。

このため、内部発生飛散物の飛散（回転羽根の損壊）を要因としたグローブボックス等の閉じ込め機能の不全に至ることはない。

b. 内部発生飛散物の飛散（重量物落下）

重量物を取り扱う設備・機器に故障又は誤動作が発生し、取り扱う重量物が落下して飛散し、グローブボックス等に衝突した場合、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。

本異常事象の発生防止対策として、以下の設計を講ずることから、内部発生飛散物による飛散（重量物落下）を要因としたグローブボ

ックス等の閉じ込め機能の不全に至ることはない。

- (a) 重量物を積載して搬送する機器は、積載物の転倒及び逸走を防止するための機構を設けることにより、重量物落下による飛散物の発生を防止できる設計である。
- (b) 重量物をつり上げて搬送するクレーンその他の搬送機器は、つりワイヤ等を二重化することに加え、つり上げ用の把持具又はフックにはつり荷の脱落防止機構又はつかみ不良時のつり上げ防止機構を設けることにより、重量物落下による飛散物の発生を防止できる設計である。
- (c) 重量物を搬送する機器は、逸走を防止するための機構を設けることにより、機器の落下による飛散物の発生を防止できる設計である。
- (d) 重量物を搬送する機器は、搬送するための動力の供給が停止した場合に、取扱中の重量物の落下を防止する機構を設ける設計により、重量物の落下による飛散物の発生を防止する設計である。

c. 機器の逸走

グローブボックス内の設備・機器の誤動作によりグローブボックス等に衝突した場合、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。

本異常事象による閉じ込め機能の不全の発生防止対策として、グローブボックス内でMOX粉末及びペレットを取り扱う可動機器は、逸走、落下又は転倒によりグローブボックスの閉じ込めに影響を及ぼさないよう、逸走防止及び転倒防止並びに容器の落下防止等の構造又は機構を設ける設計である。

このため、機器の逸走を要因としたグローブボックス等の閉じ込

め機能の不全に至ることはない。

d. 崩壊熱による温度上昇

MOX燃料加工施設では、グローブボックス内及び室内の負圧維持のために換気する設計であることから、換気設備によりMOXの崩壊熱を除去する。

このため、崩壊熱による温度上昇を要因としたグローブボックスの閉じ込め機能の不全に至ることはない。

e. 火災

火災が発生し、火災がグローブボックスに延焼した場合、グローブボックスの閉じ込め機能の不全に至るおそれがある。

本異常事象による閉じ込め機能の不全の発生防止対策として、以下の設計を講ずることから、火災を要因としたグローブボックスの閉じ込め機能の不全に至ることはない。

(a) 可燃性物質に対する考慮

i. 核燃料物質を取り扱うグローブボックス等の設備・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設計である。

ii. 火災源になり得る機器及び電気盤並びにこれらの支持構造物の主要な構造材は、火災の発生を防止するため、金属材料であるステンレス鋼及び炭素鋼、コンクリート等の不燃性材料又は難燃性材料を使用する設計である。また、安全上重要な施設のうち、機器、ダクト、ケーブルトレイ、電線管及び盤の筐体並びにこれらの支持構造物の主要な構造材は、金属材料、コンクリート等の不燃性材料を使用する設計である。

iii. 安全上重要な施設に使用するケーブルは、一部の専用ケーブルを除いて難燃ケーブルを使用する設計である。

- iv. 管理区域内における可燃性の遮蔽材は、不燃性材料又は難燃性材料で覆う設計である。
 - v. 管理区域及びグローブボックス内に持ち込む除染作業用のアルコール、ウエス等の可燃性物質は、必要最小限とするとともに、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。
 - vi. グローブボックス内で使用する機器のうち、火災源になり得る潤滑油を内包するものは、漏えいしにくい構造である。
 - vii. 駆動装置用の油圧作動油は、封入する設計である。
- (b) 着火源に対する考慮
- i. 電気を供給する設備は、機器の損壊、故障及びその他の異常を検知するとともに、速やかに、かつ、自動的に遮断器等により故障箇所を隔離することにより、故障の影響を局所化するとともに、他の安全機能への影響を限定できる設計である。
 - ii. グローブボックス内に電気炉を設ける場合は、可能な限り装置表面の温度を低く保つ設計である。
- (c) 火災の延焼防止
- i. 発火性又は引火性の液体が漏えいした場合の漏えいの拡大を防止するため、吸着剤を入れたオイルパンを設置する設計である。
 - ii. 火災区域に設定する工程室では、グローブボックス外の火災源になり得る潤滑油を内包する機器及び電気盤の火災について、安全上重要な施設のグローブボックスへの火炎及び輻射熱による影響を軽減するため、離隔距離を設ける設計又は遮熱板を設置する設計である。
- f. 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

グローブボックス及びスタック乾燥装置はグローブボックス排風機の連続運転によって負圧に維持しているが、負圧維持機能を喪失した場合、グローブボックス及びスタック乾燥装置の閉じ込め機能の不全に至るおそれがある。

本異常事象の発生防止対策として、以下の設計を講ずることから、負圧維持機能の喪失を要因としたグローブボックス及びスタック乾燥装置の閉じ込め機能の不全に至ることはない。

(a) グローブボックス排風機の停止の防止

グローブボックス排風機が停止した場合、グローブボックス及びスタック乾燥装置の閉じ込め機能の不全に至るおそれがある。

本異常事象の発生防止対策として、グローブボックス排風機には予備機を設け、運転中の当該排風機が故障した場合においては、自動的に予備機に切り替わる設計である。また、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) グローブボックスへの過剰な給気の防止

窒素雰囲気型グローブボックスに対して、窒素ガスが過剰に供給された場合、グローブボックス内の圧力が過度に上昇し、グローブボックスの閉じ込め機能の不全に至るおそれがある。

本異常事象の発生防止対策として、窒素雰囲気型グローブボックスに供給される窒素ガスの供給流量は、調整弁の開度を設定すること及び減圧弁の設置によりグローブボックス排気風量に比べ低くなるよう調整し、グローブボックス内の気圧が過度に上昇することがない設計である。

また、窒素雰囲気型グローブボックス内の気圧が設定値以上になった場合には、警報を発報するとともに窒素ガスの供給を停止

できる設計である。

(c) 排気経路の閉塞の防止

グローブボックス等の排気経路が閉塞した場合、グローブボックス等内の負圧を維持できず、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。

本異常事象の発生防止対策として、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は、グローブボックス消火装置の消火ガス放出後に閉止することにより、排気経路の閉塞を防止する設計である。

また、グローブボックス排気フィルタ及びグローブボックス排気フィルタユニットには予備機を設け、保守及び修理時においても排気経路を維持する設計である。

g. 焼結炉及び小規模焼結処理装置への空気混入

焼結炉等の温度制御機器に異常が発生し、過加熱状態となった場合、焼結炉等の炉体が損傷し、炉内に空気が混入して爆発に至るおそれがある。

本異常事象の発生防止対策として、以下の設計を講ずることから、焼結炉等への空気混入による爆発を要因とした焼結炉等の閉じ込め機能の不全に至ることはない。

(a) 空気混入の防止

- i. 焼結炉等の炉体及び閉じ込め境界を構成する部材には、不燃性材料又は耐熱性を有する材料を使用し、焼結炉等は、爆発を防止するため、溶接又は継手により空気が流入しにくい構造である。
- ii. 焼結炉等の水素・アルゴン混合ガスを受け入れる配管内に逆止弁を設置し、水素・アルゴン混合ガスの配管が破断した場合は、

水素・アルゴン混合ガスの供給圧力が低下することで焼結炉等内への空気の流入を防止する設計である。

iii. 焼結炉の出入口に入口置換室及び出口置換室を設け、容器を出し入れする際には置換室内の雰囲気置換し、炉内へグローブボックス雰囲気が流入しない設計である。また、焼結炉等は、運転時に炉内の圧力をグローブボックスより高くすることで、炉内へグローブボックス雰囲気が混入しない設計である。

(b) 空気混入時の対策

焼結炉等に設置する酸素濃度計で炉内への空気の混入を検出した場合には、所定の制御室及び中央監視室に警報を発するとともに、ヒータ電源を遮断し、アルゴンガスで掃気をする設計である。

(c) 異常な温度上昇の防止

i. 焼結炉等は、炉内の異常な温度上昇を防止するため、使用温度が熱的制限値として設定する上限値(1800℃)を超えないように、温度制御機器により炉内の温度を制御する設計である。また、熱的制限値として設定する上限値を超えるおそれのある場合には、過加熱防止回路により自動的に加熱を停止する設計である。

ii. 焼結炉等は炉殻表面が高温にならないよう、運転中には冷却水を流す設計である。冷却水を循環させる燃料加工建屋内の冷水ポンプは予備機を有し、当該ポンプの故障を検知した場合には、予備機が起動する設計である。冷却水流量が低下した場合は、冷却水流量低による加熱停止回路によりヒータ電源を自動的に遮断し加熱を停止する設計である。

h. 焼結炉及び小規模焼結処理装置の負圧維持機能の喪失

焼結炉等は、グローブボックス排風機の連続運転に加え、排ガス

処理装置の補助排風機又は小規模焼結炉排ガス処理装置の補助排風機（以下、「排ガス処理装置等の補助排風機」という。）の運転によって、焼結炉等の運転時は炉体内部を負圧に維持するが、負圧維持機能を喪失した場合、焼結炉等の閉じ込め機能の不全に至るおそれがある。

本異常事象の発生防止対策として、以下の設計を講ずることから、負圧維持機能の喪失を要因とした焼結炉等の閉じ込め機能の不全に至ることはない。

- (a) 焼結炉等に水素・アルゴン混合ガス又はアルゴンガスを供給する際は、グローブボックス排風機の連続運転に加え、排ガス処理装置の補助排風機又は小規模焼結炉排ガス処理装置の補助排風機の運転によってグローブボックスと同様に負圧に維持する設計である。
- (b) 排ガス処理装置の補助排風機及び小規模焼結炉排ガス処理装置の補助排風機には予備機を設け、運転中の当該排風機が故障した場合は、自動的に予備機に切り替わる設計である。また、排ガス処理装置の補助排風機及び小規模焼結炉排ガス処理装置の補助排風機は、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) 焼結設備の排ガス処理装置のフィルタ及びコールドトラップは予備機を設け、保守及び修理時においても排気経路を維持する設計である。

i. 内部発生飛散物の飛散（回転羽根の損壊）

過電流が発生し、電力を駆動源とする回転機器が過回転することにより回転機器の回転羽根が損壊して飛散し、混合酸化物貯蔵容器

又は燃料棒に衝突した場合、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がある。

本事象の発生防止対策として、電力を駆動源とする回転機器は、過電流遮断器等を設置することに加えて、誘導電動機による回転数を制御する機構又はケーシングを有することで、回転機器の過回転による回転羽根の損壊による飛散物の発生を防止できる設計である。

このため、内部発生飛散物の飛散（回転羽根の損壊）を要因とした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至ることはない。

j. 内部発生飛散物の飛散（重量物落下）

重量物を取り扱う設備・機器に故障又は誤動作が発生し、取り扱う重量物が落下して飛散し、混合酸化物貯蔵容器又は燃料棒に衝突した場合、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がある。

本異常事象の発生防止対策として、以下の設計を講じることから、内部発生飛散物による飛散（重量物落下）を要因とした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至ることはない。

- (a) 重量物を積載して搬送する機器は、積載物の転倒及び逸走を防止するための機構を設けることにより、重量物落下による飛散物の発生を防止できる設計である。
- (b) 重量物をつり上げて搬送するクレーンその他の搬送機器は、つりワイヤ等を二重化することに加え、つり上げ用の把持具又はフックにはつり荷の脱落防止機構又はつかみ不良時のつり上げ防止機構を設けることにより、重量物落下による飛散物の発生を防止

できる設計である。

(c) 重量物を搬送する機器は、逸走を防止するための機構を設けることにより、機器の落下による飛散物の発生を防止できる設計である。

(d) 重量物を搬送する機器は、搬送するための動力の供給が停止した場合に、取扱中の重量物の落下を防止する機構を設ける設計により、重量物の落下による飛散物の発生を防止する設計である。

k. 燃料棒と機器の干渉

燃料棒の引き込みを行う機器においては、機器の誤動作により燃料棒と機器が干渉することにより燃料棒が破損し、閉じ込め機能の不全に至るおそれがある。

本事象の発生防止対策として、燃料集合体組立設備のマガジン編成装置及び燃料集合体組立装置では、燃料棒がスケルトン等の所定の位置まで引き込まれたことの確認をセンサにより行い、位置の確認が終了するまで次の動作を行わない機構を設ける設計である。

このため、機器との干渉を要因とした燃料棒の閉じ込め機能の不全に至ることはない。

1. 混合酸化物貯蔵容器及び燃料棒の落下

混合酸化物貯蔵容器又は燃料棒が落下した場合、混合酸化物貯蔵容器又は燃料棒が破損し、閉じ込め機能の不全に至るおそれがある。

本異常事象の発生防止対策として、以下の設計を講じることから、落下を要因とした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至ることはない。

(a) 燃料棒搬送装置等では、燃料棒をローラコンベア等で移動し、落下防止のためのガイド又はストッパを設置する設計である。さ

らに、仮に燃料棒が落下しても破損しない高さである4 m以下で取り扱う設計である。

- (b) 燃料集合体組立工程搬送設備の組立クレーン及び梱包・出荷設備の貯蔵梱包クレーンは、移動時の燃料集合体の落下を防止するため、燃料集合体をクレーン内に収納し落下防止扉を閉じて移動する構造である。また、つりワイヤを二重化し、燃料集合体をつかむ爪の開閉検出器、着座検出器、機械的な固定により、つかみ不良の場合には燃料集合体を持ち上げられず、荷重がなくならなければ爪が開放しない落下防止のための機構を設ける設計である。さらに、仮に燃料集合体が落下しても破損しない高さである9 m以下で取り扱う設計である。
- (c) 混合酸化物貯蔵容器を取り扱う搬送装置、燃料集合体等を取り扱う搬送設備は、動力が喪失したときに移動を停止し、混合酸化物貯蔵容器、燃料集合体等を保持できる設計である。
- (d) 洞道搬送台車は、軌道走行型とし、転倒しにくい構造とするとともに、搬送を安全かつ確実に行うため、逸走防止等のための機構を設ける設計である。
- (e) 混合酸化物貯蔵容器の取扱いにおいては、落下防止のための機構を設ける設計である。さらに、仮に落下しても破損しない高さである4 m以下で取り扱う設計である。

(3) 設計基準事故の選定

上記「(2)④ 各異常事象に対する発生防止対策の確認」に記載したとおり、各異常事象に対する発生防止対策が施されていることから、単一の機器の破損、故障、誤動作あるいは単一の運転員の誤操作では閉じ込め機能の不全に至ることはなく、設計上定める条件では設計基

準事故は選定されないが、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、閉じ込め機能の不全に至る事象を以下のとおり整理し、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又は爆発による爆発圧力がある場合には燃料加工建屋外への放出の可能性が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。

また、爆発については、爆発下限値を超える水素濃度の雰囲気下で核燃料物質を取り扱う焼結炉等において発生する爆発を、設計基準事故の選定対象とする。

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、「(2)③ 閉じ込め機能の不全の要因となる異常事象の抽出」の「a. 内部発生飛散物の飛散（回転羽根の損壊）」、「b. 内部発生飛散物の飛散（重量物落下）」、「c. 機器の逸走」、「i. 内部発生飛散物の飛散（回転羽根の損壊）」、「j. 内部発生飛散物の飛散（重量物落下）」、「k. 燃料棒と機器の干渉」及び「1.

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のうち、MOXの取扱量及び取扱形態を考慮すると、最も公衆に対する影響が大きいのは、粉末一時保管装置グローブボックスにおける閉じ込め機能の不全であるが、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、「(2)③ 閉じ込め機能の不全の要

因となる異常事象の抽出」の「d. 崩壊熱による温度上昇」及び「e. 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℃）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、取扱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。設計基準事故として公衆への影響を評価するにあたり、これらのなかで、以下の事項をもとにMOXの取扱量を考慮すると、最も公衆に対する影響が大きいのは「二次混合設備 添加剤混合装置」を含む添加剤混合ユニット並びに「圧縮成形設備 プレス装置（粉末取扱部）」及び「圧縮成形設備 プレス装置（プ

レス部)」を含むプレス・グリーンペレット積込ユニットが存在するペレット加工第1室における火災であることから、当該室に設置するグローブボックス内で発生する火災による閉じ込め機能の不全を選定し、評価する。

- (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取扱制限値に対する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。

上記の(a)から(e)を考慮し、火災区域の中で取り扱うMOX質量が最大となるペレット加工第1室を、火災による閉じ込め機能の不全の評価対象の室として選定する。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質量を第2図に示す。

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

本事象の要因となる異常事象は、「(2)③ 閉じ込め機能の不全の要因となる異常事象の抽出」の「g. 焼結炉及び小規模焼結処理装置への空気混入」である。

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、焼結炉及び小規模焼結処理装置における水素爆発である。設計基準事故として公衆への影響を評価するにあたり、これらのなかで、MOXの取扱量を考慮すると、最も公衆に対する影響が大きいのは焼結炉における閉じ込め機能の不全であることから、焼結炉における水素爆発による閉じ込め機能の不全を選定し、評価する。

④ 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、「(2)③ 閉じ込め機能の不全の要因となる異常事象の抽出」の「f. 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「h. 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5mSv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、窒素ガス雰囲気での運転を行うため、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

「2.2 (2) 事象の検討及び選定 (閉じ込め機能の不全)」に記載のとおり、MOX燃料加工施設は動的機器の単一故障、誤動作あるいは単一の運転員の誤操作では事故が発生しない設計であることから、

設計基準事故の想定に当たっては、火災に対する発生防止対策の多重の機能喪失を想定する。ただし、静的機器はそれ自体が高い信頼性を有することから、静的機器の単一故障は事故の発生起因としては想定しない。

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い、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、設計基準事故で想定する火災の発生シナリオは、空気雰囲気となったグローブボックスから核燃料物質を退避しない状

態で、過電流によりケーブルが発火し、機器から漏えいした潤滑油若しくは金属製の容器等に収納し忘れたアルコール又はウエスに引火することにより、グローブボックス内で火災が発生することを想定する。

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℃以上/min）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，火災区域を形成については，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。

なお、建屋内に設備・機器の運転状況を確認できる監視カメラを設置することから、火災区域に設定する工程室のうち、火災源となり得る機器が存在する室において、監視カメラにより事故時の現場状況を確認することも期待できる。

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、工程室排風機及び窒素循環ファンを停止し、避圧エリアの給気設備の給気ダクト、避圧エリアの窒素循環設備の窒素循環ダクト及び避圧エリア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。

また、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る。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。

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におけるグローブボックス局所消火装置による消火においても、放出経路はグローブボックス排気設備の高性能エアフィルタを経由する。このため、グローブ

ボックス局所消火装置のみが起動したとしても、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。グローブボックス局所消火装置のみが起動した場合は、延焼防止ダンパは閉止しないが、仮にグローブボックス局所消火装置により消火ができなかった場合は、グローブボックス消火装置が起動することにより、所定の延焼防止ダンパが閉止する。

グローブボックス内で火災が発生し、グローブボックス局所消火装置のみが起動して消火した場合、グローブボックス内に設置するグローブボックス温度監視装置の感知器が1個でも異常を感知すれば警報を発報するため、火災の消火後におけるグローブボックス排風機の停止について当直長が判断することが可能である。なお、火災の発生又はグローブボックス局所消火装置の起動により、機器の異常の警報又はグローブボックス内の気圧の異常の警報が発報されることも想定される。

グローブボックス消火装置の起動中にグローブボックス局所消火装置が起動した場合においても、グローブボックス消火装置の起動中は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は閉止せず、排気経路は維持されることから、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、窒素循環設備の機能喪失により空気雰囲気となったグローブボックス内から核燃料物質を退避しない状態で、過電流の遮断失敗によりケーブルが発火し、金属製の容器等に収納し忘れたアルコール又はウエスに引火することで、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。

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の取扱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MOX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設備の窒素循環ダクトに設置する延焼防止ダンパ、避圧エリアの給気設備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、火災に伴い気相中に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 (143.8kg・Pu) と設定する。

b. 火災により放射性物質が気相に移行する割合

(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、 1×10^{-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は、再処理する使用済燃料の燃焼条件（燃料型式、初期濃縮度、燃焼度及び比出力）及び冷却期間をパラメータとして、ORIGEN-2 コードで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。

再処理する使用済燃料の冷却期間を4年以上とし、燃焼条件（燃料型式、初期ウラン-235濃縮度、燃焼度及び比出力）を考慮して、被ばくの観点で最も厳しくなるように以下のとおりプルトニウム同位体組成を設定している。

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 |

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ー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 3】

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、ダンパ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、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) 焼結炉及び小規模焼結処理装置における水素爆発

① MOX燃料加工施設の爆発に関する特徴

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爆発に関する特徴を考慮する。

- a. MOX燃料加工施設においては、焼結炉等において、水素・アルゴン混合ガスを使用し、ペレットの焼結を行う。
- b. 焼結炉には排ガス処理装置を、小規模焼結処理装置には小規模焼結炉排ガス処理装置を接続する。排ガス処理装置及び小規模焼結炉排ガス処理装置（以下、「排ガス処理装置等」という。）は核燃料物質を取り扱わず、焼結炉等から排出される排ガスの冷却及び有機物の除去を行うとともに、補助排風機による排気で、炉内の負圧を維持する設計である。
- c. 焼結炉等へ供給する水素・アルゴン混合ガスは、あらかじめ水素ガスを不活性のアルゴンガスで水素濃度9 vol%以下に混合し、希釈したものを供給する。また、水素・アルゴン混合ガスを供給する配

管は、漏えいしにくい構造である。

- d. 分析設備においても水素ガスを使用するが、分析設備では爆発下限値（水素濃度4 vol%）未満の濃度にて水素ガスを使用することから、爆発は発生しない。

② 水素爆発の発生シナリオ

「2.2 (2) 事象の検討及び選定（閉じ込め機能の不全）」に記載のとおり、動的機器の単一故障、誤動作あるいは単一の運転員の誤操作では事故が発生しない設計であることから、設計基準事故の想定に当たっては、水素爆発に対する発生防止対策の多重の機能喪失を想定する。ただし、静的機器はそれ自体が高い信頼性を有することから、静的機器の単一故障は、事故の発生起因としては想定しない。

MOX燃料加工施設における水素爆発の発生防止対策は「炉内への空気混入の防止」及び「炉内への空気混入時の炉内雰囲気気の掃気」に分類でき、これらが損なわれた場合に水素爆発が発生することを想定する。

a. 炉内への空気混入の想定

焼結炉等は、異常な温度上昇が発生したとしても、焼結炉内部温度高による過加熱防止回路によりヒータ電源を自動的に遮断すること、炉体を冷却するための燃料加工建屋内の冷水ポンプは予備機を有すること及び冷却水流量の低下時は冷却水流量低による加熱停止回路によりヒータ電源を自動的に遮断することにより、異常な温度上昇による損傷は発生しない設計であるが、これらが機能せず、焼結炉等の温度制御機器の故障による異常な温度上昇により、焼結炉等の接続部が損傷することを想定する。また、焼結炉等は、排ガス処理装置等の補助排風機により炉内の負圧を維持する設計であ

ることから、焼結炉等の接続部の損傷箇所から、工程室と炉内の圧力差により炉内に空気が流入することを想定する。

b. 炉内雰囲気の掃気機能の喪失の想定

炉内への空気の混入を監視するために酸素濃度計を設置し、空気の混入を検知した場合には、所定の制御室及び中央監視室に警報を発するとともに、ヒータ電源を遮断し、炉内雰囲気を不活性ガスであるアルゴンガスで掃気する設計であるが、これが機能せず、混入した空気が掃気されないことを想定する。

以上により、設計基準事故で想定する水素爆発の発生シナリオは、異常な温度上昇による損傷部から焼結炉等内に空気が流入し、空気がアルゴンガスで掃気されず、水素爆発が発生することを想定する。

なお、焼結炉等内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、水素爆発には至らないと考えられるが、設計基準事故の評価としては、炉内で空気と混合して燃焼可能な混合ガスが形成され、水素爆発が発生することを想定する。

③ 拡大防止対策及び影響緩和対策

a. 水素爆発の拡大防止対策及び影響緩和対策

焼結炉等における水素爆発による影響を軽減するための対策を以下に示す。

(a) 水素濃度異常時の水素・アルゴン混合ガスの供給停止

燃料加工建屋に供給される水素・アルゴン混合ガスの水素濃度を常時監視し、万一、水素濃度が9 vol%を超える水素・アルゴン混合ガスを燃料加工建屋に受け入れた場合は、自動的に水素・アルゴン混合ガスの焼結炉等への供給を停止し、アルゴンガスで掃

気する設計である。

上記の対策は焼結炉等における爆発発生前から実施される対策であるため、設計基準事故時においても機能を発揮できる。

(b) 爆発圧力に対する焼結炉等の炉殻の維持

焼結炉等は、水素・アルゴン混合ガス（水素濃度 9 vol%以下）に空気が混入した場合の爆発圧力（最大値 206 k PaG）によって、炉殻（焼結炉の場合は、入口側機構及び出口側機構を含む。）の損傷で閉じ込め機能を損なわない設計である。これによって、炉内の高温となった構造物が当該工程室内に飛散及び散在し、これらが火災源となって炉体周辺のグローブボックスが閉じ込め機能の不全に至ることを防止する。

想定される爆発圧力に対して、損傷により閉じ込め機能を損なわない設計であることから、設計基準事故時においても機能を期待できる。

(c) 爆発圧力に対する排ガス処理装置等による排気経路の維持

排ガス処理装置等及び安全弁の系統は、水素・アルゴン混合ガス（水素濃度 9 vol%以下）に空気が混入した場合の爆発圧力（最大値 206 k PaG）においても、排気経路が維持される設計である。

想定される爆発圧力に対して、損傷により閉じ込め機能を損なわない設計であることから、設計基準事故時においても機能を期待できる。

上記の水素爆発の拡大防止対策、影響緩和対策及び「② 水素爆発の発生シナリオ」を考慮すると、水素爆発が発生したとしても、その爆発規模は爆ごうには至らないものであるが、爆発圧力の避圧先の設備が閉じ込め機能の不全に至る可能性がある。このため、設

計基準事故の評価では、通常運転時に焼結炉等内で水素爆発が発生し、爆発圧力の避圧先の排ガスの処理に係るグローブボックスが閉じ込め機能の不全に至ることを想定する。

b. 水素爆発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

水素爆発は、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、水素爆発が発生したときには、焼結炉等の炉内圧力の異常を検知し、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。

上記の考え方を踏まえた焼結炉における水素爆発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) 炉内の圧力異常の検知による延焼防止ダンパの閉止

焼結炉等には、爆発が発生した際の圧力異常を検知するための検知器を複数個設置する設計であり、炉内の圧力異常を検知した場合、当該工程室の給気設備の給気ダクト、工程室排気設備の工程室排気ダクト、窒素循環設備の窒素循環ダクト及び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。また、爆発による焼結炉等内の圧力異常の警報を確認した運転員の操作により送排風機を手動停止する。

爆発による圧力異常のための検知器を複数個設置する。焼結炉等内で発生した爆発圧力は、排ガス処理装置等を経由して排ガスの処理に係るグローブボックスへ開放されることから、延焼防止ダンパが焼結炉等で発生した爆発の影響を受けることは想定しに

くい。このため、炉内の圧力異常の検知による延焼防止ダンパの閉止については、信頼性を有しており、設計基準事故時においても機能を発揮できる。

- (b) グローブボックス排気設備の排気側には放射性物質を除去するための設備・機器として、高性能エアフィルタを設け、放射性物質を除去する設計である。

焼結炉等内で発生した爆発圧力は、排ガス処理装置等を経由して排ガスの処理に係るグローブボックスへ開放されることから、高性能エアフィルタが爆発により影響を受けることは想定しにくい。

④ 事故経過

公衆への影響を評価するために、焼結炉における水素爆発が発生することを想定する。焼結炉内部温度高による過加熱防止回路及び焼結炉への冷却水流量低による加熱停止回路により温度異常を防止することから、炉体の損傷は想定しにくいだが、異常な温度上昇により炉体が損傷し、空気が焼結炉内部に流入することを想定する。

炉内に空気が流入した際、酸素濃度異常を検知しアルゴンガス掃気を行うことから、爆発は発生しにくいだが、炉内の水素濃度が9 vol%の状態、爆発下限値を超える混合気が形成され、加熱ヒータが着火源となり着火し、爆発に至るものとする。

焼結炉ユニットには焼結炉以外の装置も含まれるが、より厳しい評価となるよう焼結炉ユニットの取扱制限値の3分の2相当がグリーンペレットであると想定し、さらにその全量が焼結炉内に存在するものとする。

爆発により焼結炉内のグリーンペレットの100分の1⁽⁴⁾⁽⁵⁾が粉末

化し、気相中に移行するものとする。

気相中に移行したMOX粉末は排ガス処理装置を経由する間に機器及び配管内に付着し、10分の1が排ガス処理装置グローブボックス（上部）内に放出されるものとする。安全弁を設置している経路へのMOX粉末の移行は、配管径が小さいことから考慮しない。

炉内の圧力異常を検知し、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10分の1がグローブボックス排気設備に移行する。排ガス処理装置グローブボックス（上部）直近の高性能エアフィルタ（2段）の1段目は爆発圧力による一部損傷を想定し、除染係数が1桁低下することを見込み、1段目を経由したMOX粉末は残りの2段目及びグローブボックス排風機直近の高性能エアフィルタ（合計3段）にて捕集されるものとする。また、炉内の圧力異常の検知により、ペレット加工第2室の給気設備の給気ダクト、工程室排気設備の工程室排気ダクト及び窒素循環設備の窒素循環ダクトに設置する延焼防止ダンパを閉止するとともに、爆発による焼結炉内の圧力異常の警報を確認した運転員の操作により送排風機を手動停止する。

爆発圧力により排ガス処理装置グローブボックス（上部）のグローブが外れて、グローブボックス内に留まったMOX粉末がペレット加工第2室内に漏えいしたとしても、爆発による焼結炉内の圧力異常の警報を確認した運転員の操作による送排風機の手動停止を行うことから、漏えいしたMOX粉末は当該工程室内に留まる。

高性能エアフィルタ1段当たりの除染係数は 10^3 以上であり、爆発が発生したとしても爆発範囲は限られ、発生圧力の大きさ及びその上昇速度は小さいが、評価上は排ガス処理装置グローブボックス（上部）

直近の高性能エアフィルタ（2段）の1段目は爆発圧力による一部損傷を想定し，除染係数として1桁の低下を見込むことから，評価上は高性能エアフィルタ4段の除染係数を 1×10^{-8} とする。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。

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，爆発が発生した機器が保有する放射性物質質量，爆発により影響を受ける割合，爆発に伴い気相に移行する割合，大気中への放出経路における低減割合を乗じて算出する。

a. 爆発が発生した機器が保有する放射性物質質量

焼結炉ユニットの取扱制限値より， $65.3\text{kg} \cdot \text{Pu}$ と設定する。

b. 爆発により影響を受ける割合

焼結炉内のグリーンペレット全量が爆発により粉末化することを想定し，3分の2と設定する。

c. 爆発により放射性物質が気相に移行する割合

1×10^{-2} と設定する。

d. 大気中への放出経路における低減割合

排ガス処理装置から排ガス処理装置グローブボックス（上部）への移行率（ 1×10^{-1} ），延焼防止ダンパの閉止までのグローブボックス排気設備への移行率（ 1×10^{-1} ）と設定する。また，爆発による一部損傷を考慮した高性能エアフィルタ4段の除染係数を 1×10^{-8} と設定する。

放出するプルトニウム核種の組成は，再処理する使用済燃料の燃焼条件（燃料型式，初期濃縮度，燃焼度及び比出力）及び冷却期間をパラメータとして，ORIGEN-2コードで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。

再処理する使用済燃料の冷却期間を4年以上とし、燃焼条件（燃料型式、初期ウラン-235濃縮度、燃焼度及び比出力）を考慮して、被ばくの観点で最も厳しくなるように以下のとおりプルトニウム同位体組成を設定している。

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 |

気相中に移行するMOX粉末のうち、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。

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

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 |
|-----------|----------------------|
| P u - 238 | 1.6×10^{-5} |
| P u - 239 | 1.6×10^{-5} |
| P u - 240 | 1.6×10^{-5} |
| P u - 241 | 1.7×10^{-7} |
| A m - 241 | 1.6×10^{-5} |

⑥ 評価結果

評価の結果、敷地境界の実効線量は、約 7.3×10^{-7} 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、水素・アルゴン混合ガスの水素濃度の管理並びに炉内の圧力異常の検知によるダンパの閉止及び送排風機の停止によって、焼結炉内での水素爆発による閉じ込め機能の不全が発生したとしても、敷地周辺の公衆の実効線量の評価値が 5mSv 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、本評価では排ガス処理装置グローブボックス（上部）直近の高性能エアフィルタ（2段）の1段目の爆発圧力による一部損傷を想定したが、仮に排ガス処理装置グローブボックス（上部）直近の高性能エアフィルタが2段とも除染係数を見込めないとしても、敷地境界の実効線量の評価値は約 7.3×10^{-4} mSv となり、5mSv を超えることはない。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 9.1×10^{-7} mSv となり、評価値が大きく変わることはない。

本事象が、焼結炉及び小規模焼結処理装置における水素爆発による閉じ込め機能の不全のうち、実効線量が最大となる事象であることから、水素爆発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。

2.5 結論

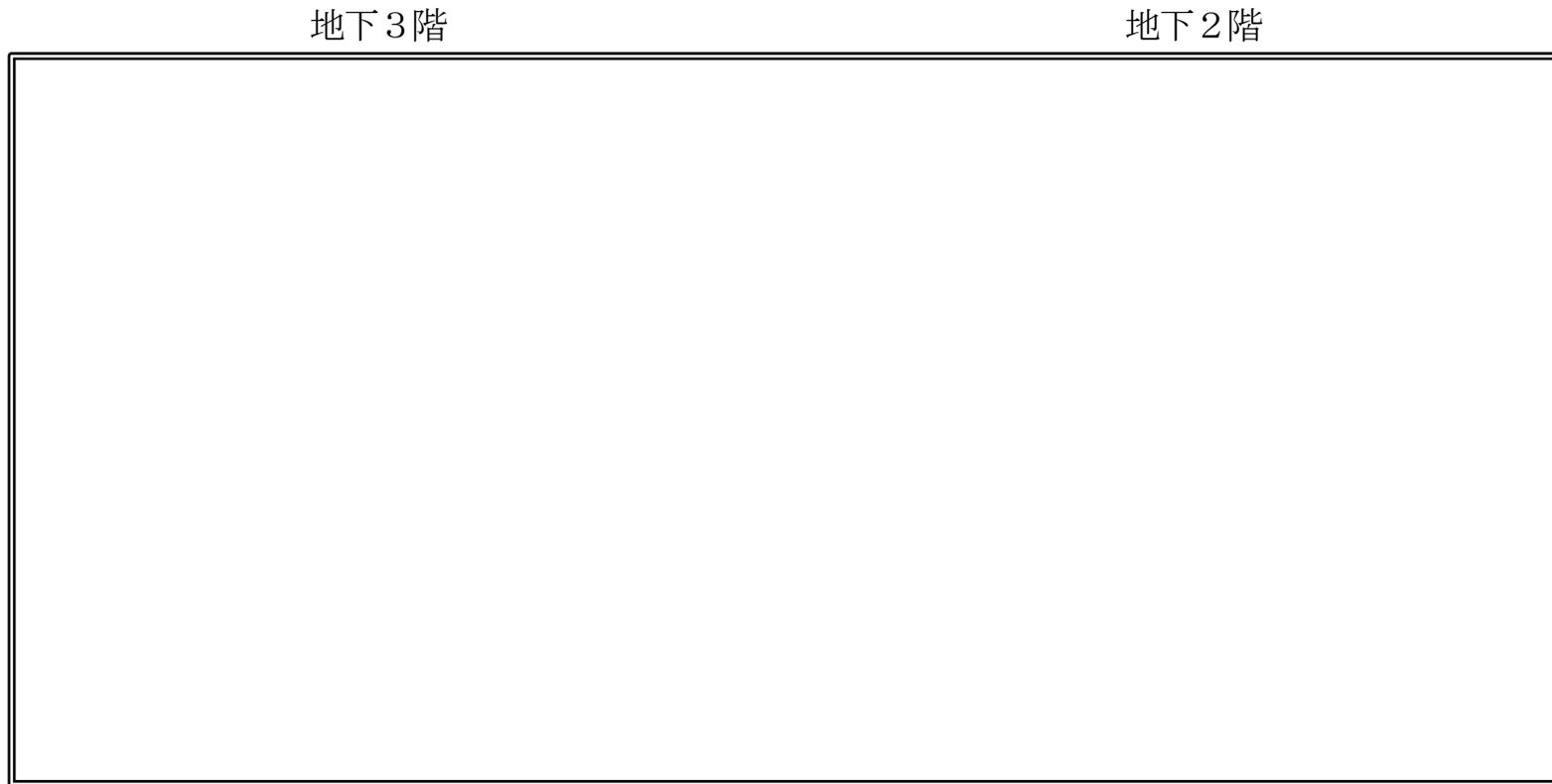
選定された設計基準事故は、火災区域に設定する工程室においてMOX粉末を露出した状態で取り扱うグローブボックス内における火災及び焼結炉並びに小規模焼結処理装置における水素爆発である。これらの事象について、公衆への影響が最も大きいと考えられる設計基準事故の敷地境界の実効線量の評価値は、ペレット加工第1室における火災によるグローブボックスの閉じ込め機能の不全で約 4.9×10^{-5} mSv、焼結炉における水素爆発による閉じ込め機能の不全で約 7.3×10^{-7} mSv であり、いずれも敷地周辺の公衆の実効線量の評価値が5mSv を下回っており、公衆に著しい放射線被ばくのリスクを与えることはない。

また、設計基準事故時に運転員の対応を要するものとして、グローブボックス内火災又は爆発の発生後の送排風機の停止操作があるが、グローブボックス内火災又は爆発の発生後に、当該工程室の給気設備の給気ダクト、工程室排気設備の工程室排気ダクト、窒素循環設備の窒素循環ダクト及び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自動閉止することから、短時間で工程室外に核燃料物質が放出されることは考えにくく、時間余裕をもって停止操作ができる。

さらに、設計基準事故により遮蔽壁等の遮蔽機能は損なわれないことから、通常運転時と同様に運転員が中央監視室又は制御室内に留まり、対策に必要な操作を行うことができる。

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.
- (4) U. S. Department of Energy DOE Handbook Airborne Release Fractions/Rates and Respirable Fractions for Nonreactor Nuclear Facilities. Volume I - Analysis of Experimental Data DOE-HDBK -3010-94. December 1994.
- (5) Duke Cogema Stone & Webster, L. L. C. Final Safety Evaluation Report on the Construction Authorization Request for the Mixed Oxide Fuel Fabrication Facility at the Savannah River Site, South Carolina. Docket No. 70-3098. NUREG-1821.

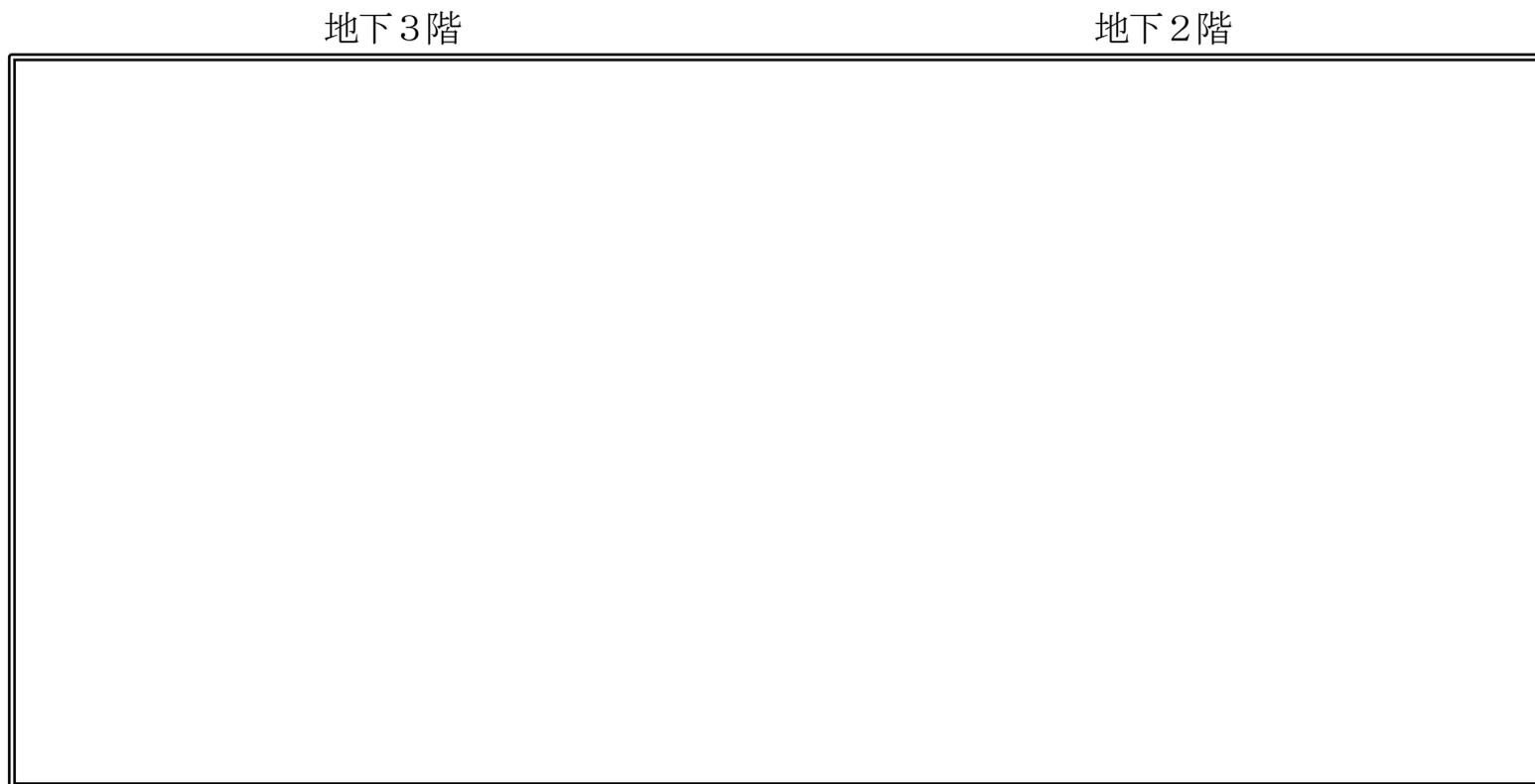


| 主なMOXの取扱形態 | |
|------------|------------------|
| | グリーンペレット |
| | 粉末 |
| | 粉末を密封した混合酸化物貯蔵容器 |
| | 燃料棒 |
| | ペレット |



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

□は核不拡散上の観点から公開できません。

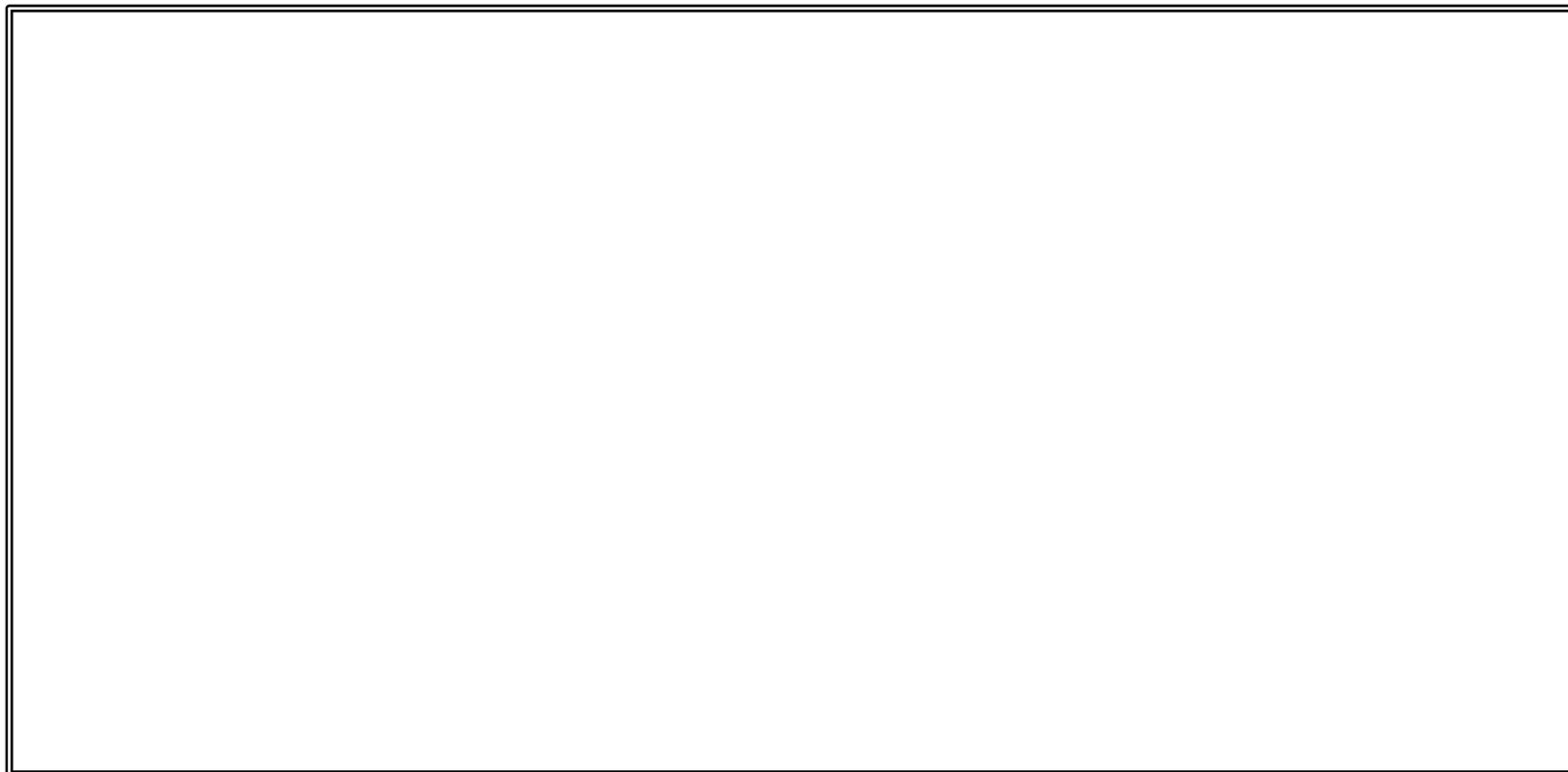


| MOX質量 | |
|---|-------------|
|  | 200kg・MOX未満 |
|  | ~300kg・MOX |
|  | ~400kg・MOX |
|  | ~500kg・MOX |
|  | 500kg・MOX~ |

-  火災区域
-  工程室

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

□は核不拡散上の観点から公開できません。

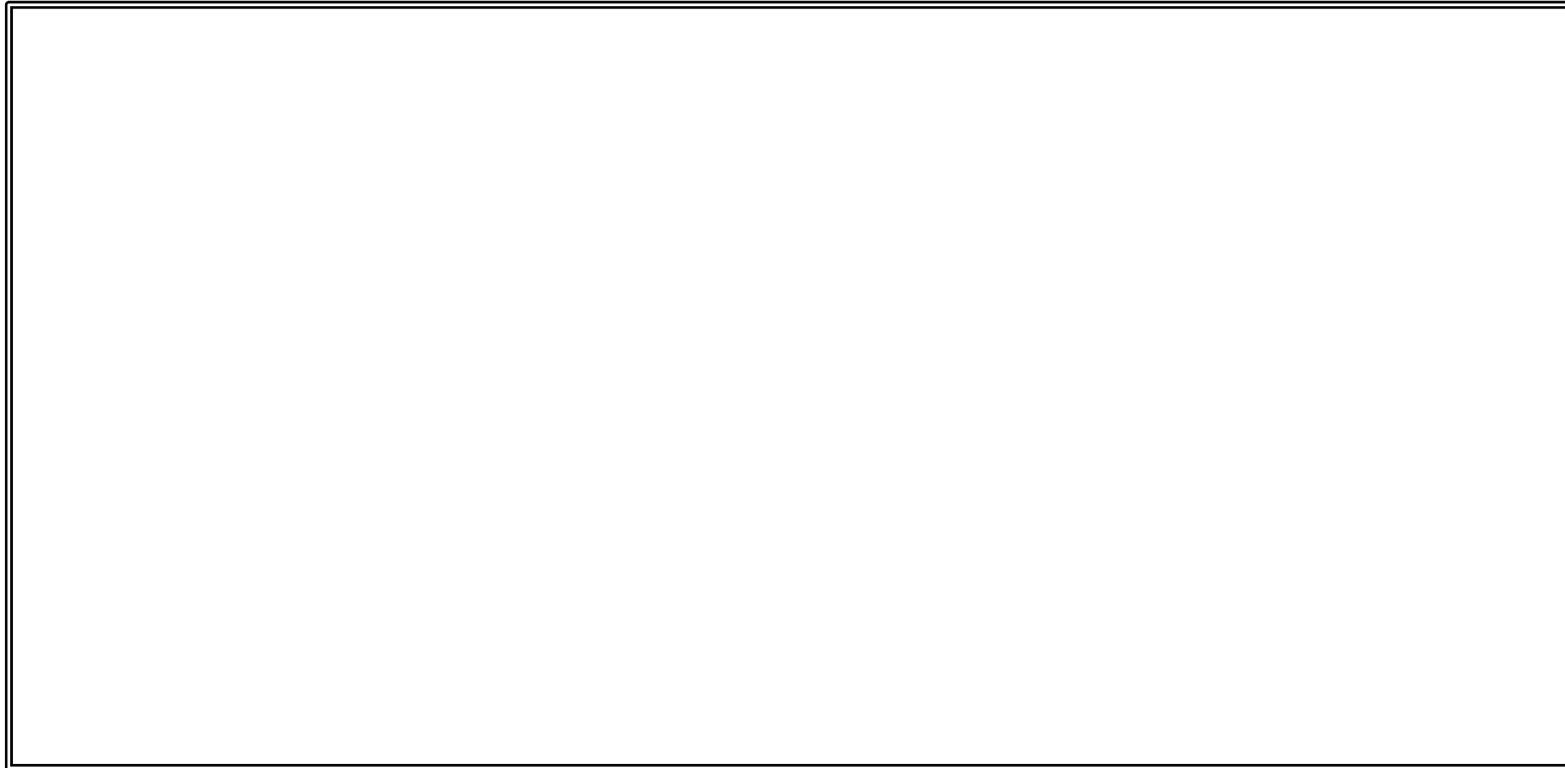


| 主なMOXの取扱形態 | |
|---|------------|
|  | 燃料棒（燃料集合体） |
|  | ペレット |
|  | グリーンペレット |
|  | 粉末 |

| 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 |

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）

□は核不拡散上の観点から公開できません。



| 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 |

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）

□は核不拡散上の観点から公開できません。

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 | 1/17 | 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 | 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 | 12/26 | 0 | |
| 補足説明資料1-3 | 放射性物質の放出量の評価について | 2/6 | 1 | |

令和2年2月6日 R 1

補足説明資料 1 - 3 (15 条)

放射性物質の放出量の評価について

設計基準事故における敷地境界の実効線量評価については、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。

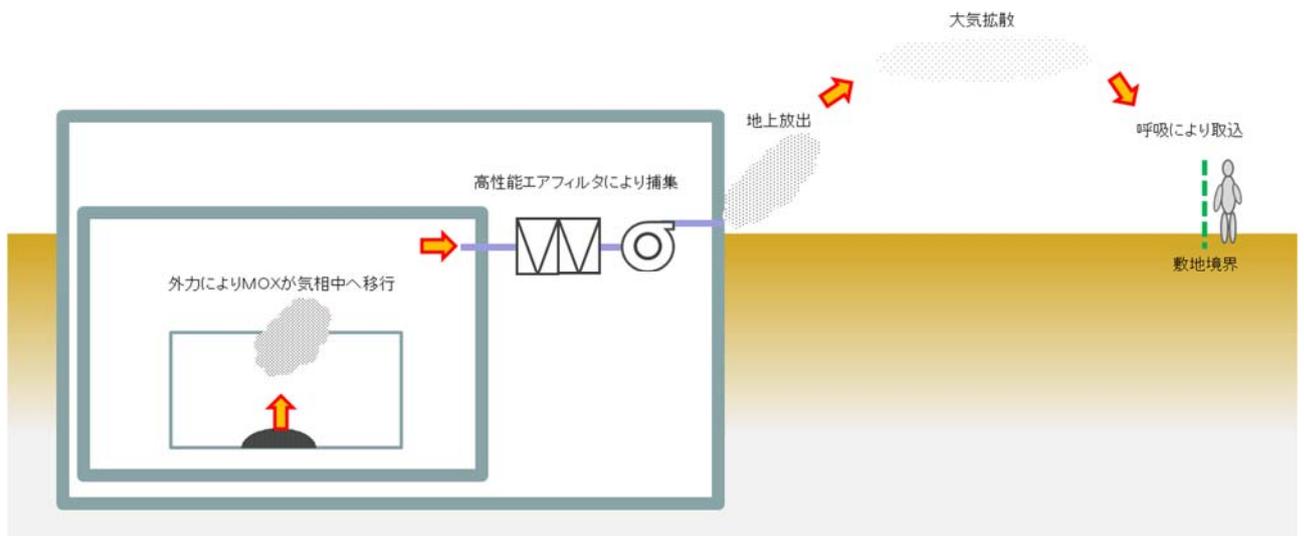


図1 評価モデルのイメージ

1. 計算について

敷地境界における吸入による実効線量の算出は、以下の式により算出する。

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

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 $1.2m^3/h^{(1)}$ 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」⁽²⁾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。

2. 計算における核組成について

プルトニウム同位体組成は以下のとおり設定する。

再処理する使用済燃料の冷却期間を4年以上とし、燃焼条件(燃料型式、初期ウラン-235濃縮度、燃焼度及び比出力)を考慮して、被ばくの観点で最も厳しくなるように、表1に示すプルトニウム同位体組成を設定している。

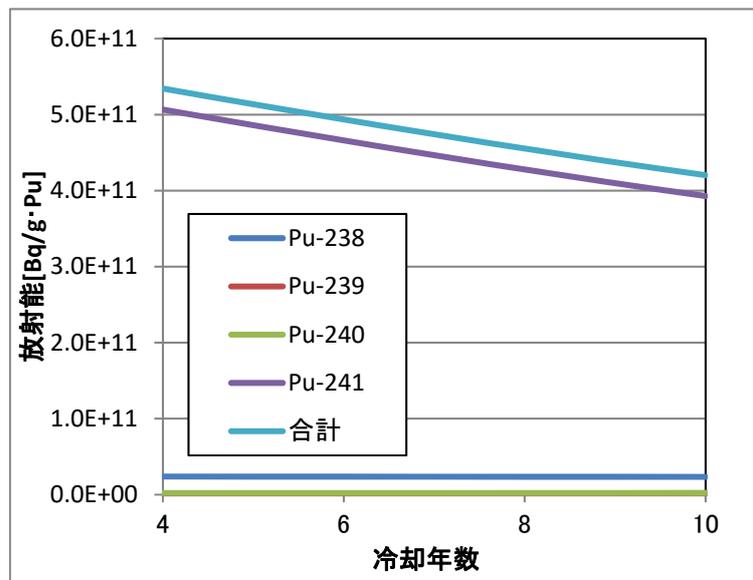
このため、冷却期間が長い使用済燃料を再処理してMOX燃料加工施設で取り扱ったとしても、表1に示すプルトニウム同位体組成によ

る実効線量を超えることはない。

表1 プルトニウム同位体組成の設定

| 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 |

表2 冷却年数と各核種の放射能の変化について

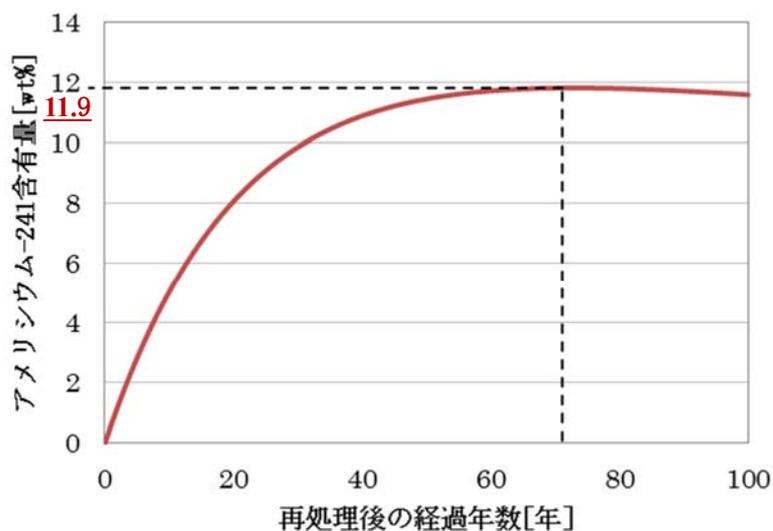


また、プルトニウム以外の組成として、再処理後の蓄積を考慮し、アメリシウム-241 をプルトニウム質量に対する比で 4.5% と設定している。

プルトニウム（アメリシウム-241 を含む。）に比べて、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、公衆の被ばくへの寄与が小さいことから評価の対象外としている。

なお、アメリシウム-241 の質量比が最大となるのは 11.9%であり、再処理してから 73 年後である。

表 3 再処理後の経過年数に対するアメリシウム-241 含有量の推移



3. 参考文献

- (1) 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.
- (2) 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.