

【公開版】

設計基準事故及び重大事故の評価の考え方

【設計基準事故】

1. 設計基準事故に対する基本方針

MOX燃料加工施設において、取り扱う核燃料物質の形態、取扱方法等を踏まえて、想定される異常事象を抽出、その中から設計基準事故を選定し、安全設計の妥当性を確認する。

安全設計の妥当性とは、設計基準事故時において、安全上重要な施設の機能により、工場等周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないことを確認することである。

2. 設計基準事故の選定

2. 1 設計基準事故の評価事象

事業許可基準規則を踏まえ、核燃料物質を取り扱う各工程における、放射性物質を外部に放出する可能性のある事象として、「核燃料物質による臨界」と「閉じ込め機能の不全」を設計基準事故の評価事象とし、その分類ごとに、発生が想定される異常事象を抽出し、その中から外部へ多量の放射性物質が放出するおそれがある事象を設計基準事故として選定する。

また、安全設計の妥当性として、発生防止対策の故障、誤動作及び誤操作が設計基準事故の誘因にならないこと並びに事故に対して拡大防止対策及び影響緩和対策（以下「拡大防止対策等」という。）の機能により公衆に著しい放射線被ばくを与えないことを確認する。

2. 2 設計基準事故の発生を想定する際の条件の考え方

外的事象については、設計基準で想定される規模に対して、機能喪失しない設計とすることから安全機能の機能喪失の要因とならないとし、内的事象については、発生防止対策の確認において、短時間の全交流電源喪失及び動的機器の単一の故障、誤動作及び誤操作（以下「単一故障等」という。）を、拡大防止対策等の確認においては、動的機器の単一故障等を考慮する。

2. 3 設計基準事故の選定

(1) 核燃料物質による臨界

発生防止対策の信頼性が十分に高く設計されており、臨界の発生を

十分に防止できることから、臨界は設計基準事故として選定しない。

(2) 閉じ込め機能の不全

露出した状態でMOX粉末を取り扱い、火災源となる潤滑油を保有しているグローブボックスにおいて火災が発生、グローブボックス内のMOX粉末が飛散し、外部に放射性物質が放出される事象を設計基準事故として選定する。

選定した設計基準事故の対象となる露出した状態でMOX粉末を取り扱い、火災源となる潤滑油を保有しているグローブボックスは8基あるが、いずれのグローブボックスで事故が発生しても、事象の進展が同様であるとともに、事故に対する拡大防止対策等として期待する設備は、いずれのグローブボックスも同じであることから、公衆への放射線被ばくのリスクの観点で、グローブボックス内で取り扱う粉末容器中のプルトニウム量が最も多い、予備混合装置グローブボックスを代表事例として選定する。

3. 設計基準事故の評価

3. 1 事故の特徴

露出した状態でMOX粉末を取り扱い、火災源となる潤滑油を保有しているグローブボックスにおいては、火災の発生防止対策として、グローブボックス内を窒素雰囲気とする、潤滑油を機器に収納する、着火源を排除する等の設計を講じているが、技術的想定を超え、これらの発生防止対策が機能喪失し、何らかの理由により火災が発生することにより、火災の影響によりグローブボックス内のMOX粉末が気相中に移行する。

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經由して外部に放出される。

3. 2 具体的対策

グローブボックス内において潤滑油を火災源とした火災が発生、設計基準対象施設のグローブボックス温度監視装置の感知器により火災を感知し、グローブボックス消火装置により消火ガスである窒素ガスを自動で放出することで、グローブボックス全体を窒息状態にすることにより消火する。

設計基準対象施設による火災の消火は、グローブボックス内には設計基準事故で火災源とした潤滑油以外に難燃性ケーブル等が点在することから、グローブボックス全体を窒息状態にする。

この際、グローブボックスに消火ガスを放出して早期に窒息状態にするために、グローブボックスから排気することによりグローブ

ボックス内を消火ガスと早期に置換する。このため、グローブボックス排風機により排気を維持した状態とする。

グローブボックス内への窒素ガス放出完了後、グローブボックス内の消火ガスが他のグローブボックスに移行することを抑えるため、自動でグローブボックス排気側の延焼防止ダンパを閉止する。

グローブボックス内にある飛散し易いMOX粉末が、火災により発生する気流によって気相中へ移行し、消火ガスの放出及び延焼防止ダンパが閉止されるまでの間、グローブボックス排気設備、高性能エアフィルタを経由して大気中に放出される。

3. 3 評価

(1) 単一故障等の条件

露出した状態でMOX粉末を取り扱い、火災源となる潤滑油を保有しているグローブボックス8基のうち、1基のグローブボックスで単独で火災が発生することを想定する。

また、設計基準対象施設の拡大防止対策等における動的機器の単一故障等を評価条件とし、火災の感知・消火に関係する全ての設備を対象として、火災の感知から消火完了までの時間が最も長くなる単一故障等を想定するものとする。

火災の感知に関連する設備は、火災感知器に多様性を有しており、単一故障等を想定しても、他の感知器により火災の感知が可能であるため、時間遅れは生じない。

消火に関連する設備のうち、消火ガスの放出に必要な起動用ガスの弁は多重化しており、単一故障等を想定しても、時間遅れなくもう一方の弁が作動するため、時間遅れは生じない。

消火に関連する設備のうち、消火ガスの放出の条件となるグローブボックス排風機は多重化しており、運転中の排風機に対して単一故障等を想定した場合は、故障を検知してもう一方の排風機が自動で起動するために時間が必要であり、消火ガスの放出に必要な条件の成立に時間遅れが生じる。

そのため、火災の感知から消火完了までの時間が最も長くなる単一故障等として、運転中のグローブボックス排風機の単一故障等を想定する。

(2) 評価の条件

予備混合装置グローブボックス内で取り扱う粉末容器に収納しているMOX粉末の全量である65kg・MOX(19kg・Pu)が火災影響を受けるものとし、消火が完了するまでの時間約6分に対し、評価上は火災の継続を10分と設定し、その間に火災によりMOX粉末が1%

/h でグローブボックス内の気相中に移行することとする。

グローブボックス排風機を運転した状態で消火ガスを放出することから、火災の影響によっ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て外部に放出されるものとする。

放出経路構造物への付着等による除染係数を10とする。

高性能エアフィルタ4段の除染係数を 10^9 とする。設計基準事故の事故進展を添付1に示す。

3. 4 評価の結果

評価の結果、設計基準事故により 1.7×10^3 TBqの放射性物質が放出され、これによる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 5.3×10^{-8} mSvであり、敷地周辺の公衆の実効線量の評価値が、判断基準とした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。

【重大事故】

1. 重大事故に対する基本方針

設計上定める条件より厳しい条件の下において、重大事故の起因となる安全機能の喪失及びその同時発生の範囲、機能喪失後の事象進展、重大事故の発生規模並びに重大事故の同時発生を重大事故の発生を仮定する機器として特定する。

重大事故の発生を仮定する機器の特定に当たっては、重大事故の発生を仮定する条件を設定し、これによる安全上重要な施設の機能喪失の範囲を整理することで重大事故の発生を仮定する機器を特定し、重大事故が単独で、同時に又は連鎖して発生することを仮定するとともに、それぞれの重大事故についての有効性評価の条件とする。

有効性評価は、「重大事故の発生を仮定する機器の特定」で特定する重大事故ごとに、機能喪失の範囲及び生じる環境条件をもとに、代表事例を選定し実施する。

また、重大事故等対策の有効性を確認するために設定する評価項目は、重大事故の特徴を踏まえたうえで、重大事故の発生により放射性物質の放出に寄与する重大事故等のパラメータ又はパラメータの推移とし、重大事故等対策が講じられた際に大気中へ放出される放射性物質の放出量がセシウム - 137 換算で 100TBq を十分下回るものであって、かつ、実行可能な限り低いことを確認する。

2. 重大事故の発生を仮定する機器の特定

(1) 重大事故の評価事象

重大事故の評価事象は、事業許可基準規則を踏まえ、設計上定める条件よりも厳しい条件の下において発生する以下のものとする。

- 一 臨界事故
- 二 核燃料物質等を閉じ込める機能の喪失

(2) 重大事故の発生を仮定する際の条件の考え方

外部からの影響による機能喪失（外的事象）と動的機器の故障等による機能喪失（内的事象）を考慮する。

外的事象の考慮として、設計基準より厳しい条件を施設に与えた場合に重大事故の要因となる可能性があり、かつ、重大事故に至る前までに対処が実施できない自然現象等として、地震を考慮するものとする。設計基準より厳しい条件として、基準地震動を上回る地震力を想定する。具体的には、基準地震動の 1.2 倍の地震力を考慮し、機能を維持できない静的機器の機能喪失、全ての動的機器の機能喪失を考慮し、重大事故の発生を想定する。

内的事象は、設計基準事故で想定した動的機器の単一故障等を超え

る条件として、動的機器の多重故障等を考慮する。

(3) 重大事故の発生を仮定する機器の特定

1) 臨界事故

外的事象発生時では、貯蔵施設等において、基準地震動の1.2倍の地震力によって設備が損傷等することを想定したとしても、臨界事故が発生する物理的条件が成立しないため、臨界事故の発生は想定できない。

内的事象発生時では、質量管理を行うグローブボックスにおいて、誤搬入防止機能での動的機器の多重故障等を想定し、さらに人による誤操作の重ね合わせを想定し、複数回の誤搬入を想定しても、臨界は発生しない。さらに、技術的想定を超えて、誤搬入を繰り返し行うことを想定したとしても、最も少ない設備で25回の多重の故障、誤操作の発生による誤搬入を行っても臨界の発生は想定できない。

以上のことから、臨界事故は重大事故として特定しない。

2) 核燃料物質等を閉じ込める機能の喪失

グローブボックス内を窒素雰囲気とすること、潤滑油が機器に収納されていること、着火源がないことなどの発生防止を講じており、外的事象等によって、動的機能の多重故障を想定してもそれ以外の基準地震動の1.2倍の地震力を考慮した際に機能維持できる設計とする静的機器により、火災が発生する条件が成立しないことから、その発生は想定できない。

しかしながら、技術的想定を超えて、核燃料物質等を閉じ込める機能の喪失として、露出した状態でMOX粉末を取り扱い、火災源となる潤滑油を保有しているグローブボックス8基において、発生防止対策の機能喪失及び異常事象が発生することに加え、動的機器の機能喪失として、感知・消火設備が同時に機能喪失することにより、火災が継続し、火災による駆動力により、設計基準事故を超えて外部への多量の放射性物質の放出に至ることを仮定する。

外的事象発生時では、地震により設計基準事故で想定した機能喪失に加え、動的機器の機能喪失として、感知・消火設備が同時に機能喪失すること、8基のグローブボックスで同時に火災が発生することを仮定する。

内的事象発生時では、動的機器の多重故障等として感知・消火設備の機能喪失を条件とし、共通要因で故障する可能性のある範囲を特定したうえで機能喪失を想定する。感知・消火設備の多重故障による機能喪失、感知・消火設備と連動するグローブボックス排風機の多重故

障による機能喪失，全交流電源喪失によるこれらの機器の機能喪失が想定される。また，8基のグローブボックスのうち1基において単独で火災が発生することを仮定する。

3. 重大事故の評価

重大事故の評価においては，閉じ込める機能の喪失に至る火災の発生する範囲及び環境条件を踏まえ対処内容を考慮し，外的事象の「地震」を代表事例として選定する。

3. 1 事故の特徴

露出した状態でMOX粉末を取り扱い，火災源となる潤滑油を保有しているグローブボックスにおいては，火災の発生防止対策として，グローブボックス内を窒素雰囲気とする，潤滑油を機器に収納する，着火源を排除する等の設計を講じているが，技術的想定を超え，発生防止対策が機能喪失し，何等かの理由により火災が発生し，同時に設計基準対象施設である感知・消火設備が機能喪失し，火災が継続することにより，火災により発生する気流によってグローブボックス内の気相中に移行する核燃料物質が設計基準事故よりも増加する。

火災が発生することに加え，グローブボックス排風機が停止することにより，グローブボックス内の負圧を維持できなくなり，火災によるグローブボックス内雰囲気の体積膨張の影響で，グローブボックスの気相中に移行したMOX粉末の一部が，グローブボックス排気設備へ移行し，残りのMOX粉末はグローブボックス給気系，グローブボックスのパネルの隙間等を経由してグローブボックスを収納する工程室に漏れ出す。

グローブボックス排気設備に移行したMOX粉末は，グローブボックス排気設備を経由して大気中へ放出される。工程室に漏れ出したMOX粉末は，火災によるグローブボックス内雰囲気の体積膨張の影響及びグローブボックスから工程室への放熱による工程室内雰囲気の体積膨張により工程室排気設備を経由して大気中へ放出される。

設計基準事故と重大事故の事故進展の比較を添付1に示す。

3. 2 具体的対策

設計基準対象施設の感知・消火設備の機能喪失を受け，火災の発生を確認するため，重大事故の発生を仮定するグローブボックスの火災源に設置された火災状況確認用温度計の指示値を，可搬型グローブボックス温度表示端末を接続することにより確認する。

火災状況確認用温度計の指示値が 60°C を超える場合は、火災の影響により気相中に移行した MOX 粉末が外部へ放出されることを可能な限り防止するため、グローブボックス排風機入口手動ダンパ及び工程室排風機入口手動ダンパを手動閉止する。

また、上記対策と並行して火災の発生が確認されたグローブボックスに対して、中央監視室近傍からの遠隔手動操作により、地下 3 階廊下に設置された遠隔消火装置を起動させ、消火剤（ハロゲン化合物消火剤）を放出する。

なお、閉じ込める機能の喪失に至る火災に繋がる火災源は潤滑油に限定されるため、上記対策では、潤滑油が存在する箇所に対して局所的に消火剤を放出することで火災を消火する。

重大事故対処に必要な設備を添付 2 に示す。

3. 3 評価の条件

火災による閉じ込める機能の喪失に対する有効性評価は、グローブボックス内の火災の影響による工程室内の体積膨張及び工程室から外部へ繋がる経路のうち支配的な開口面積を有する工程室排気設備を経由して外部に放出される放出量を評価する。

火災の燃焼状態や工程室での体積膨張による放出量には、火災発生からの時間経過により状態の変化が想定されるが、放出量の評価においては、工程室に漏れいする MOX 粉末の量 (1%/h) と最も厳しい条件としてオイルパン上での全面火災時の熱影響が工程室雰囲気を与えられた場合の工程室雰囲気の体積積膨張、工程室に漏れいする MOX 粉末の量 (1%/h) 及び飽和した状態の MOX 雰囲気濃度 (100mg/m³) による放出を考慮した。

放出経路の構造物への付着等による除染係数は 10 とする。

工程室排気設備の高性能エアフィルタ 2 段による除染係数は 10⁵ とする。重大事故の事故進展を添付 1 に示す。

3. 4 評価の結果

閉じ込める機能の喪失に至る火災に対し、消火剤の放出による消火、グローブボックス排風機入口手動ダンパ及び工程室排風機入口手動ダンパの閉止を行うことを踏まえ、重大事故による外部への放射性物質の放出量については、グローブボックス内で発生した火災が理想的な条件で燃焼したことを条件とし、火災発生直後からその影響により気相へ MOX 粉末が 1%/h で移行し、気相に移行した MOX 粉末がパネル隙間等から工程室に同じく 1%/h で移行、グローブボックス内での火災による熱影響により工程室内雰囲気の体積膨

張が発生し、体積膨張によって工程室から押し出された雰囲気は工程室廃棄設備を経由して放出されるとし、体積膨張で押し出される雰囲気中のMOX粉末の濃度を飽和した状態のMOX雰囲気濃度(100mg/m³)とする。

上記過程での評価の結果、外部への放出量は、 1.1×10^{-5} TBqであり、100TBqを十分下回る。実効線量及び放射性物質の放出量(セシウム-137)評価を添付3に示す。

潤滑油による火災の規模は、潤滑油を収納する箇所に設置しているオイルパン上での燃焼面積に依存し、火災の規模によって燃焼時間やグローブボックス及び工程室内雰囲気の体積膨張率変動する。

何らかの理由によりオイルパン上で火災が発生した場合、着火時点から時間の経過とともに火災の燃焼面積が大きくなり、オイルパン面積の全面での燃焼が燃焼面積として最大となる。その後は燃え尽きる状態が発生し、徐々に燃焼面積が小さくなる。

MOX粉末の工程室から外部への放出に至るまでの挙動としては、グローブボックス内で発生する火災初期段階においては、火災の熱影響を受けて工程室内の雰囲気が体積膨張することによって、工程室雰囲気がダクトに移行し、ダクト内のMOX粉末を含まない空気が外部に押し出され、その後は徐々に工程室内のMOX粉末濃度が上昇して、一定濃度で飽和し、このMOX粉末を含む空気が工程室内空気の体積膨張により放出に至る。これを踏まえると放出量は約 7.4×10^{-6} TBqとなる。(添付4参照)

また、外部へ放出される放出量は、グローブボックス排気設備を放出経路とした場合には、高性能エアフィルタが4段あり、工程室排気設備を放出経路とした場合よりも放出量が低くなる。

以 上

設計基準事故及び重大事故の事故進展

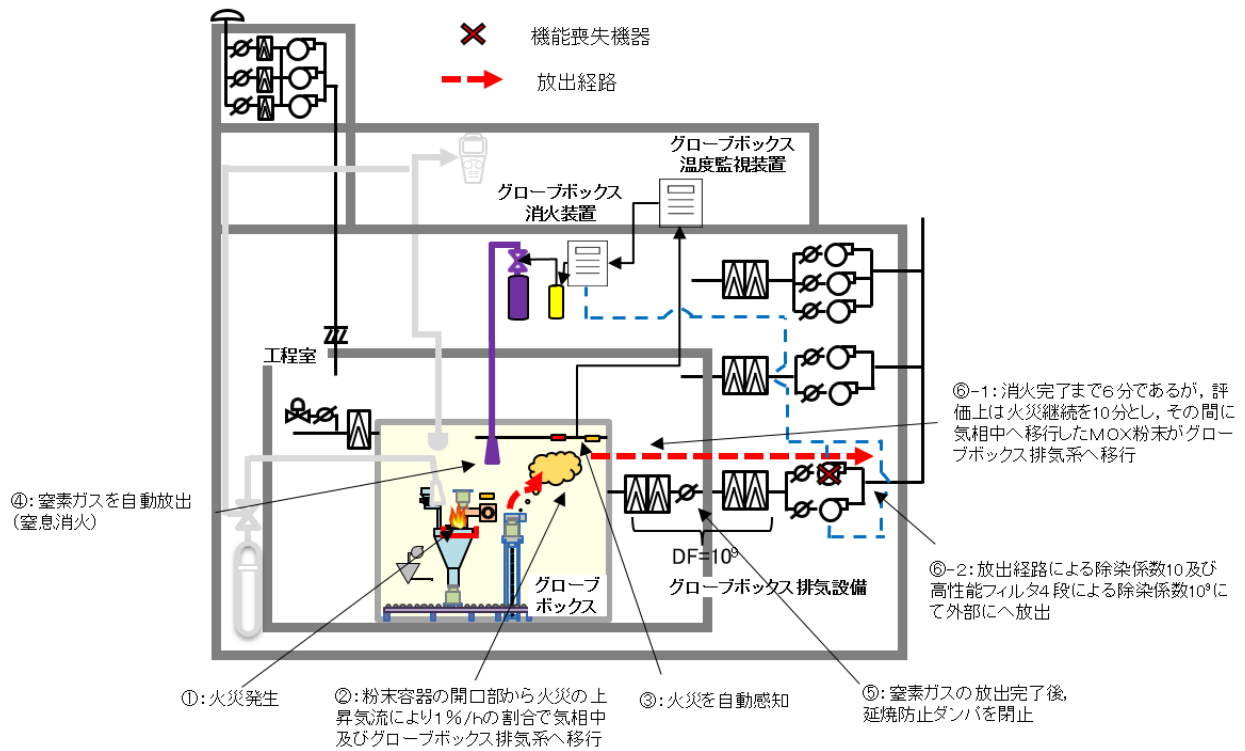


図1 設計基準事故の事故進展

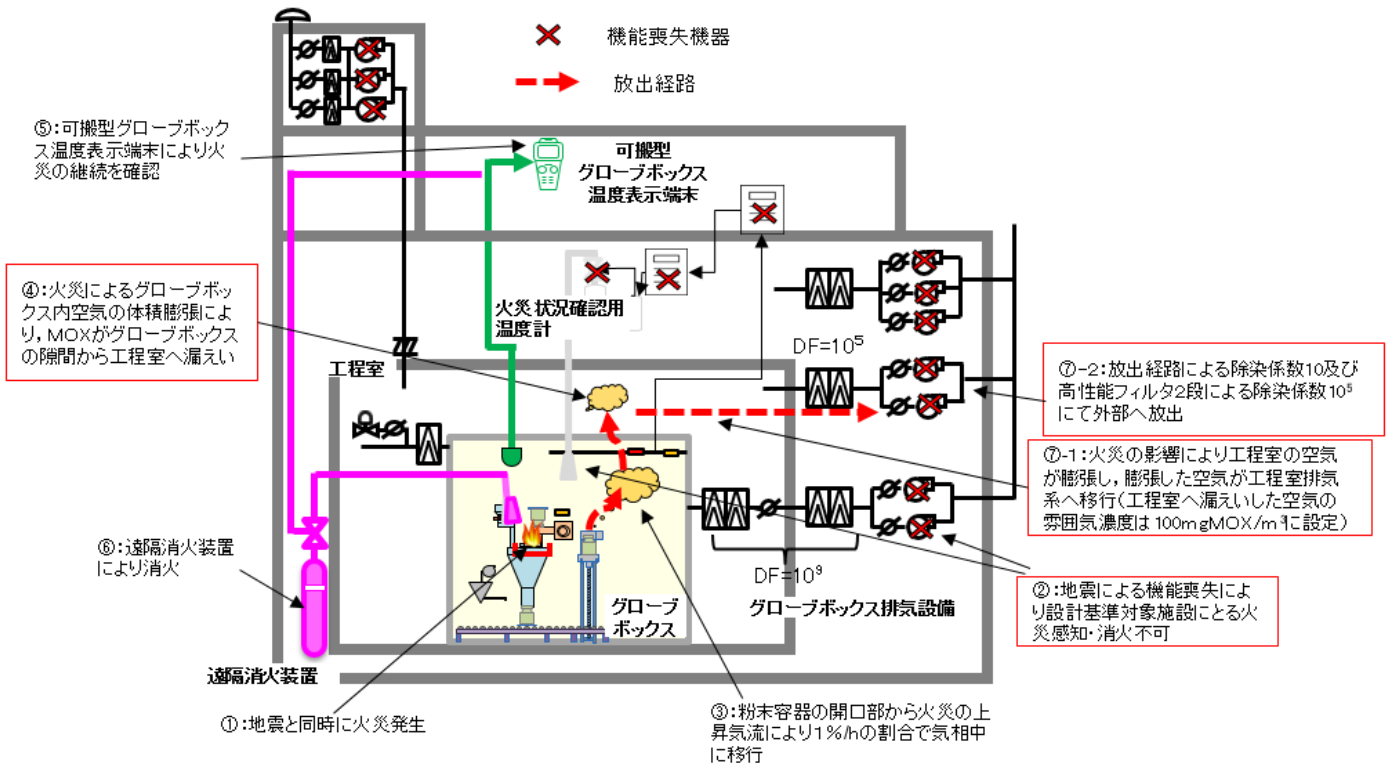
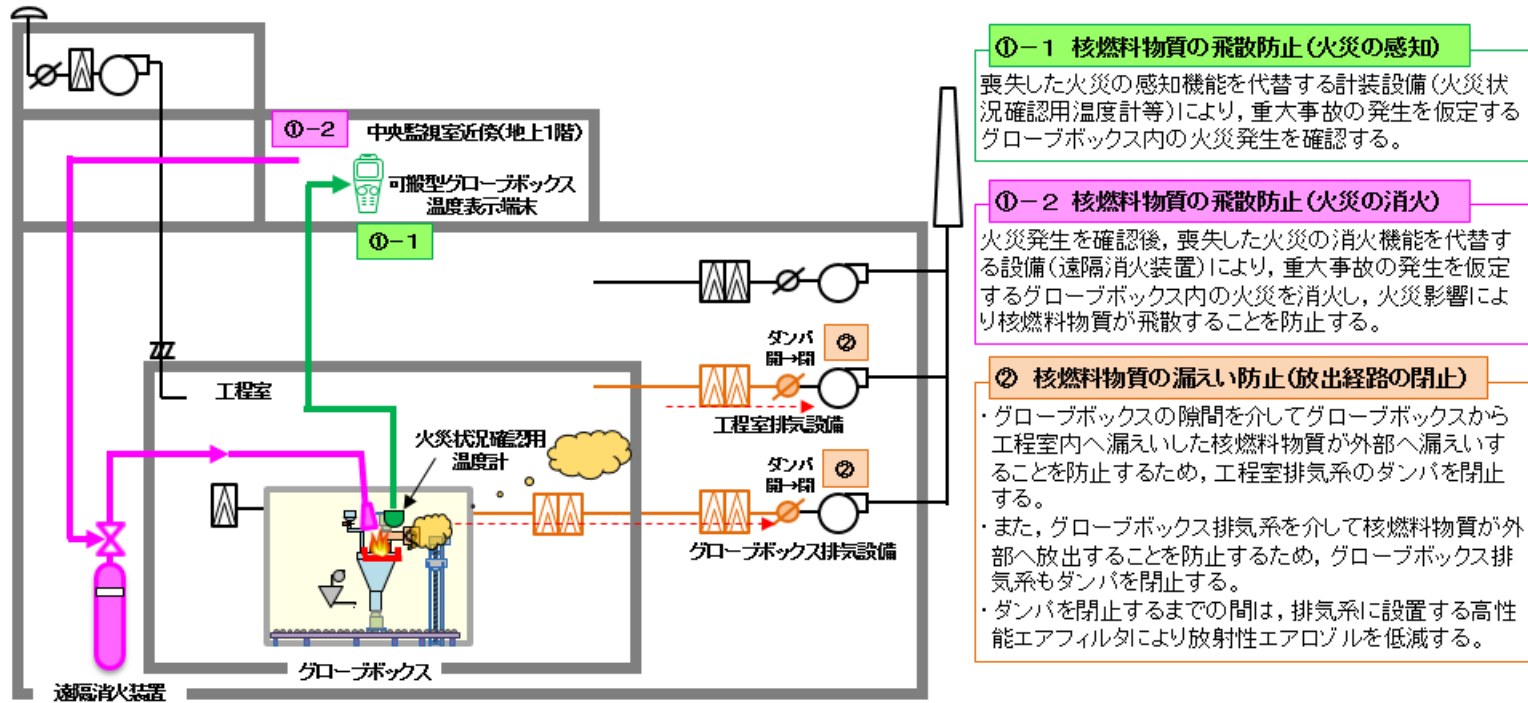


図2 重大事故の事故進展

重大事故対処(外的事象)するために必要な設備

判断及び操作	重大事故等対処設備		
	常設重大事故等対処設備	可搬型重大事故等対処設備	計装設備
①火災の消火	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔消火装置 	—	<ul style="list-style-type: none"> 火災状況確認用温度計 可搬型グローブボックス温度表示装置
②放出経路の閉止	<ul style="list-style-type: none"> グローブボックス排風機入口手動ダンパ 工程室排風機入口手動ダンパ グローブボックス排気ダクト 工程室排気ダクト グローブボックス給気フィルタ グローブボックス排気フィルタ グローブボックス排気フィルタユニット 工程室排気フィルタユニット 	—	— ※1

※1 ダンパ閉止に関連して変動するパラメータがないことから、必要な計装設備はない。建屋外への放出がないことについては、監視測定設備(第33条)による建屋周辺のモニタリング等を実施する。



実効線量及び放射性物質の放出量（セシウム-137換算）評価について

1. 実効線量の評価

1. 1 実効線量の評価方法

大気中への放射性物質の放出量は、対象となる放射性物質質量に対して、火災により影響を受ける割合、火災に伴い気相中に移行する放射性物質の割合、大気中への放出経路における低減割合及び肺に吸収され得るような浮遊性の微粒子の放射性物質の割合を乗じて算出する。

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。

表 1. 評価に用いるプルトニウム核種の組成

核種	質量割合 (%)
P u - 238	3.8
P u - 239	55.6
P u - 240	27.3
P u - 241	13.3
A m - 241	4.5
合計	104.5

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 $1.2m^3/h$ 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」の実効線量係数を用いる。

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、これに対応した以下の実効線量係数を適用する。

表 2. プルトニウム核種毎の実効線量係数

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}

1. 2 設計基準事故における実効線量評価

① グローブボックス内の気相中に移行する MOX 粉末量

予備混合装置グローブボックス内で取り扱う粉末容器に収納している MOX 粉末の全量である $65\text{kg} \cdot \text{MOX}$ ($19\text{kg} \cdot \text{Pu}$) が火災影響を受けるものとし、消火が完了するまでの時間約 6 分に対し、評価上は火災の継続を 10 分と設定し、その間に火災により MOX 粉末が $1\%/h$ でグローブボックス内の気相中に移行することとする。

② 気相中に移行した放射性物質の移行経路

グローブボックス排風機を運転した状態で消火ガスを放出することから、火災の影響によっ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て外部に放出されるものとする。

③ 大気中への放出経路における除染係数

放出経路である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は長く、屈曲部を多数有している。このため、これら構造物への付着等による除染係数を 10 とする。

放出経路上に設置される高性能エアフィルタとして、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がある。これらは合計4段の高性能エアフィルタとなる。高性能エアフィルタ4段の除染係数については、 10^9 とする。

④ 核種毎の放射性物質の放出量

放射性物質の放出量は、表1のプルトニウム核種組成を基に、「① グローブボックス内の気相中に移行するMOX粉末量」で求めたMOX粉末量に、「③ 大気中への放出経路における除染係数」に記載の除染係数を掛けることで求める。

設計基準事故における核種毎の放射性物質の放出量を表3に示す。

表3. 設計基準事故における核種毎の放射性物質の放出量

核種	放出量 (Bq)
Pu-238	7.6×10
Pu-239	4.1
Pu-240	7.3
Pu-241	1.6×10^3
Am-241	1.8×10
合計	1.7×10^3

⑤ 敷地境界の実効線量

①から④を基に、「1. 実効線量の評価方法」に記載の評価をした結果、敷地境界の実効線量は、約 5.3×10^{-8} mSv である。

1. 3 重大事故における実効線量評価

① グローブボックスから排気系に移行する放射性物質質量

グローブボックス内で発生した火災が理想的な条件で燃焼したことを条件とし、火災発生直後からその影響により気相へMOX粉末が1%/hで移行し、気相に移行したMOX粉末がパネル隙間等から工程室に同じく1%/hで移行、グローブボックス内での火災による熱影響により工程室内雰囲気気体の体積膨張が発生し、体積膨張によって工程室から押し出された雰囲気気体が工程室排気設備を経由して放出されるとし、体積膨張で押し出される雰囲気気中のMOX粉末の濃度を飽和した状態のMOX雰囲気気濃度 ($100\text{mg}/\text{m}^3$) とする。各火災源にてオイルパン全面で理想的に燃焼した場合の発熱速度及び燃焼継続時間から求めた工程室温度 (断熱条件) より、各部屋の体積膨張量と、それに含まれるMOX粉末量 (工程室排気設備に移行するMOX粉末量) を算出した結果を下記に示す。

す。

表 4. 各工程室の体積膨張量と工程室排気設備に移行するMOX粉末量

部屋名称	体積膨張量 [m ³]	MOX粉末量 [g]
粉末調整第2室	121	13
粉末調整第5室	1289	130
粉末調整第7室	123	13
ペレット加工第1室	463	47

② 気相中に移行した放射性物質の移行経路

グローブボックス内の火災の影響による工程室内の体積膨張及び工程室から外部へ繋がる経路のうち支配的な開口面積を有する工程室排気設備を経由して外部に放出されると想定する。

③ 大気中への放出経路における除染係数

気相中に移行した放射性物質は、工程室排気設備を経由して大気中へ放出される。

放出経路である工程室排気設備の工程室排気ダクトは長く、屈曲部を多数有している。このため、これら構造物への付着等による除染係数を10とする。

また、工程室排気設備の経路中には工程室排気フィルタユニットとして高性能エアフィルタが計2段設置されており、2段の除染係数を 1×10^5 と想定する。

④ 核種毎の放射性物質の放出量

放射性物質の放出量は、表1のプルトニウム核種組成を基に、「① グローブボックスから排気系に移行する放射性物質質量」で求めたMOX粉末量に、「③ 大気中への放出経路における除染係数」に記載の除染係数を掛けることで求める。

重大事故における核種毎の放射性物質の放出量を表5に示す。

表 5. 重大事故における核種毎の放射性物質の放出量

核種	放出量 (Bq)
P u - 238	8.5×10^5
P u - 239	4.5×10^4
P u - 240	8.1×10^4
P u - 241	1.8×10^7
A m - 241	2.0×10^5
合計	1.9×10^7

⑤ 敷地境界の実効線量

①から④を基に、「1. 実効線量の評価方法」に記載の評価をした結果、敷地境界の実効線量は、約 5.9×10^{-4} mSv である。

2. 放出量（セシウム-137換算）の評価

2. 1 放出量（セシウム-137換算）の評価方法

大気中への放射性物質の放出量は、対象となる放射性物質質量に対して、火災により影響を受ける割合、火災に伴い気相中に移行する放射性物質の割合、大気中への放出経路における低減割合及び肺に吸収され得るような浮遊性の微粒子の放射性物質の割合を乗じて算出する。

放出するプルトニウム核種の組成を表1のとおりとし、各プルトニウム核種の放出量を求める。

評価した大気中への放射性物質の放出量にセシウム-137 への換算係数を乗じて、大気中への放射性物質の放出量（セシウム-137換算）を算出する。セシウム-137換算係数は、IAEA-TECDOC-1162に示される、地表沈着した放射性物質からのガンマ線による外部被ばく及び再浮遊した放射性物質の吸入摂取による内部被ばくに係る実効線量への換算係数を用いて、セシウム-137と着目核種との比から算出する。ただし、プルトニウム及びアメリシウムは、化学形態による影響の違いを補正する係数を乗じて算出する。

表 3. セシウム-137 換算係数

核種	IAEA-TE CDOC-1162 の CF ₄ 換算係数 [A]	IAEA-TECD OC-1162のCF ₄ 換算係数(Cs-137 の値) [B]	吸入核種の化学 形態 に係る補正係数 [C] ([C]=[a]×[b])	IAEA-TE CDOC-1162 の吸入 摂取換算係数 [a]	ICRP Publ ication.72 の吸入摂取 換算係数(化学形態を 考慮) [b]	Cs137換算係数 ※1 [D] = [A] / [B] × [C]
	(mSv/(kBq q・m ⁻²))	(mSv/(kBq・ m ⁻²))	(-)	(Sv/Bq)	(Sv/Bq)	(-)
Pu-238	6.6E+00	1.3E-01	0.14	1.13E-04 ※2	1.6E-05	7.17
Pu-239	8.5E+00	1.3E-01	0.13	1.20E-04 ※2	1.6E-05	8.72
Pu-240	8.4E+00	1.3E-01	0.13	1.20E-04 ※2	1.6E-05	8.62
Pu-241	1.9E-01	1.3E-01	0.07	2.33E-06 ※2	1.7E-07	0.11
Am-241	6.7E+00	1.3E-01	0.17	9.33E-05	1.6E-05	8.84

※1：地表沈着した核種からの外部被ばく及び再浮遊核種の吸入による内部被ばくの50年間の実効線量を用いてセシウム-137放出量に換算する係数

※2：化学形態としてキレートを想定

2. 2 設計基準事故における放出量（セシウム-137換算）評価

設計基準事故の発生以降、事態が収束するまでの放射性物質の総放出量は、「1. 2 ④ 核種毎の放射性物質の放出量」にて算出した放射性物質の放出量に、表3のセシウム-137への換算係数を乗じて、大気中への放射性物質の放出量（セシウム-137換算）を算出する。

その結果、設計基準事故の発生以降、事態が収束するまでの放射性物質の総放出量（セシウム-137換算）は、約 1.0×10^{-9} TBqである。

2. 3 重大事故における放出量（セシウム-137換算）評価

重大事故の発生以降、事態が収束するまでの放射性物質の総放出量は、「1. 3 ④ 核種毎の放射性物質の放出量」にて算出した放射性物質の放出量に、表3のセシウム-137への換算係数を乗じて、大気中への放射性物質の放出量（セシウム-137換算）を算出する。

その結果、重大事故の発生以降、事態が収束するまでの放射性物質の総放出量（セシウム-137換算）は、約 1.1×10^{-5} TBqである。

MOX粉末の移行に関する詳細検討

放射性物質の放出量の評価は、以下の通り実施した。

- ①：オイルパン全面で潤滑油が理想的な燃焼をした場合の熱量が、火災源となるグローブボックスが設置された室の空気に全て与えられて体積膨張が発生。
- ②：消火及びダンパ閉止までの間に、体積膨張量の全てが 100 mg MOX/m^3 （ウラン粉末が入ったコンテナを攪拌し、100 秒程度静置した際の雰囲気中濃度を示した文献より設定）の濃度で、工程室排気系を經由して外部へ放出。

評価では、潤滑油が理想的に燃焼した場合の熱量を基に体積膨張量を算出したが、実際の燃焼には酸素濃度の変化や燃焼面積等のパラメータが関係し、工程室の温度変化、すなわち体積膨張率を明確に算出することは難しい。

しかしながら、以下の点については上記評価の条件よりも現実的な現象であり、この想定における外部への放出量は $7.4 \times 10^{-6} \text{ TBq}$ となる。（図参照）

- 工程室の雰囲気中 MOX 濃度は時間経過とともに徐々に高まり、ある濃度（ 100 mg/m^3 程度）で飽和する。
- 体積膨張の初期段階では、工程室排気ダクト内の MOX 粉末を含まない空気が押し出され、その間は外部への放出はない。

また、評価の下振れ要素として定量化は難しいが、見込むことができる要素としては以下がある。

- 火災の発熱速度及び燃焼継続時間
- 燃焼継続時間を踏まえた消火及びダンパ閉止による効果
- 工程室壁への放熱
- ダクトを介した隣室への熱及び空気の移動
- グローブボックスの損傷状況（現状は全量工程室排気系経由であるが、グローブボックス排気系からの放出も見込むことができる）

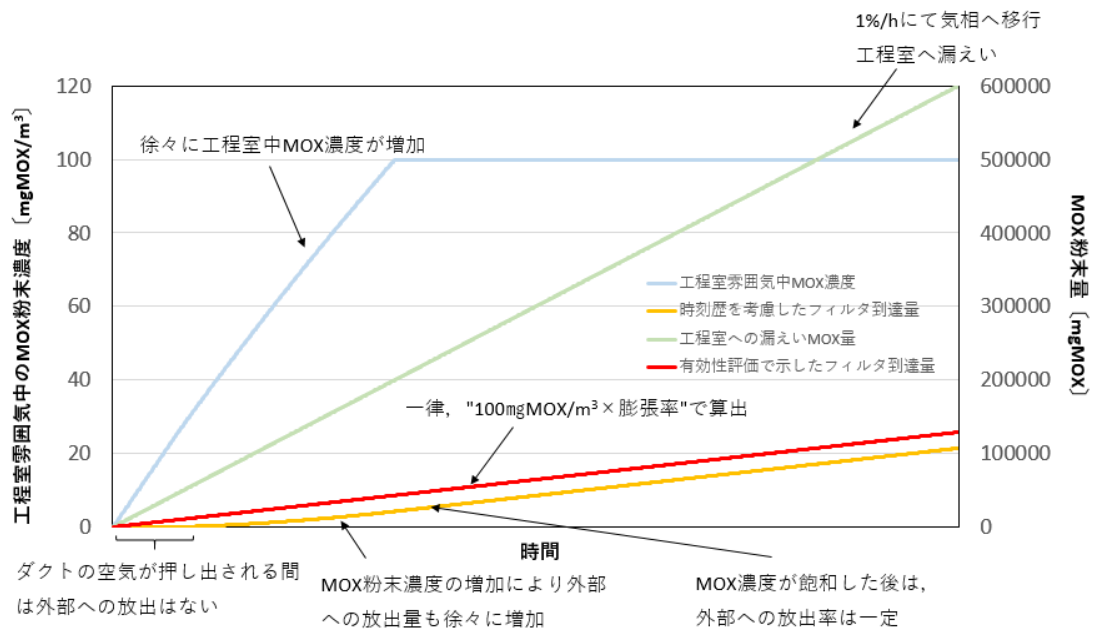


図 実現象に即した放出イメージ (例：粉末調整第5室)

以上