

【公開版】

重大事故等に対する有効性評価について

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¹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²の範囲を重大事故の発生を仮定する機器として特定し、有効性を評価する。

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。

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。

また、内的事象と外的事象の同時発生は、外的事象は発生頻度が極めて低いことに加え、外的事象と内的事象は関連性が認められない偶

発的な事象となることから、考慮しない。

(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. 重大事故等の対処に係る有効性評価の基本的な考え方

3. 1 評価対象の整理及び評価項目の設定

「2. 重大事故の発生を仮定する機器の特定」において考慮した重大事故の発生を仮定する際の条件として考慮した設計上定める条件よりも厳しい条件をもとに、重大事故等の発生を防止している安全機能の喪失の範囲及び生じる環境変化に着目し、重大事故等対策の有効性を確認するための代表事例を選定して、対応する措置の有効性評価を行う。

拡大防止対策の有効性を確認するため、重大事故等のそれぞれについて有効性を確認するための評価項目を設定することとし、評価項目は重大事故等のパラメータ又はパラメータの推移とする。

3. 2 評価にあたって考慮する事項

(1) 安全機能を有する施設の安全機能の喪失に対する想定

網羅性を確保した有効性評価を実施するため、「3. 1 評価対象の整理及び評価項目の設定」において選定した代表事例にて想定される機能喪失の範囲に加えて、更なる機能喪失を重ね合わせることが合理的な場合には、代表事例では想定されない安全機能の喪失を加えて想定し、有効性評価を実施する。

(2) 操作及び作業時間に対する想定

重大事故等への対処のために実施する操作及び作業を開始する時間は、安全機能の機能喪失の要因となる事象によって異なり、事象の特徴を踏まえて以下のとおり想定する。

1) 外的事象の地震における想定

地震発生直後、要員は自らの身を守るための行為を実施し、揺れが収まったことを確認してから、安全機能が維持されているかの確認を実施する。したがって、地震の発生を起点として、その後10分間は要員による対処を期待しない。

2) 内的事象における想定

安全系監視制御盤等の情報から安全機能の喪失又は事故の発生を把握するためには、一つの指示情報だけではなく複数の指示情報から判断する必要があるが、重大事故に関連する情報は安全系監視制御盤等に集約されていることから、これらの確認に時間を要するものではなく、機能喪失を確認した後、速やかに重大事故等対処に移行するものとする。

(3) 環境条件の考慮

環境条件への考慮として、「2. 重大事故の発生を仮定する機器の特定」において整理する自然現象の組み合わせをもとに、設計基準において想定した規模の自然現象の発生を想定するが、対処により事象を収束させるまでの時間が短い場合には、その間に自然現象が発生する可能性が十分に低いと考えられることから、対処実施中の自然現象の発生は想定しない。

(4) 有効性評価の範囲

有効性評価は、重大事故等対処設備としている設備を用いたものを対象とする。手順及び体制としては、通信連絡設備等のその他の重大事故等対策との関係を含めて必要となる水源、燃料及び電源の資源や要員を整理したうえで、安全機能の喪失の仮定、環境条件を考慮して、事態が収束する時点までを対象とする。

3. 3 有効性評価における評価の条件設定

有効性評価における評価の条件設定については、「3. 2 評価にあたって考慮する事項」による仮定等を考慮するとともに、事象進展の不確かさを考慮して、設計値等の現実的な条件を設定することを基本とする。

なお、重大事故の有効性評価に解析コードは使用しない。

3. 4 評価の実施

有効性評価における評価は、発生を想定する重大事故等の影響を把握し、設備の健全性を確認するとともに、対策の実施により事故が収束すること及び事故によって外部に放出される放射性物質が十分に低く押さえられていることを確認し、その結果を明示する。

3. 5 評価条件の不確かさの影響評価

評価条件の不確かさの影響評価の範囲として、運転員等の操作時間に与える影響及び評価項目に与える影響を確認し、それらの影響を踏まえても重大事故等対策の実現性に問題なく、評価項目を満足することを確認する。

3. 6 重大事故等の同時発生又は連鎖

「2. 重大事故の発生を仮定する機器の特定」の結果に基づき、重大事故等が同時に発生する範囲を特定し、有効性評価を実施する。また、起因となる重大事故等の事象進展、事故規模を分析し、事故の影響によって顕在化する環境条件の変化を明らかにし、事故影響が安全機能に及ぼす影響等を評価する。

同じ重大事故等の同時発生は、複数の機器において重大事故等が同時に発生することを前提として有効性評価を行う。

連鎖により発生する重大事故等は、「2. 重大事故の発生を仮定する機器の特定」で特定した重大事故等を対象として検討することとし、重大事故の発生による環境条件等によって、その他の重大事故等が連鎖して発生するかを分析する。

3. 7 必要な要員及び資源の評価方針

重大事故等への対処に必要な要員及び資源の評価においては、重大事故の発生を仮定する際の条件をもたらす要因ごとに、同時に又は連鎖して発生することを仮定する重大事故等が全て同時に又は連鎖して発生することを仮定して評価を行う。

3. 8 重大事故等に対する対処

3. 8. 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MOX粉末量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粉末が、グローブボックス給気系、グローブボックス排気設備、グローブボックスのパネルの隙間等へ移行する。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に移行したMOX粉末は、当該グローブボックスを収納する工程室に漏れいする。

工程室に漏れいしたMOX粉末は、グローブボックス内で発生した火災の影響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。

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。

3. 8. 2 対処の基本方針

核燃料物質等を閉じ込める機能の喪失への対処として、加工施設

の位置、構造及び設備の基準に関する規則の第二十二條及び第二十九條に規定される要求を満足する重大事故等の拡大を防止するために必要な措置を講じる。

設計基準対象施設として機能を期待するグローブボックス温度監視装置の感知機能、グローブボックス消火装置の消火機能の喪失を確認した場合には、重大事故等の発生防止対策として、核燃料物質をグローブボックス内に静置した状態を維持し、火災の発生を未然に防止するため、全送排風機の停止（気体廃棄物の廃棄設備の建屋排風機、工程室排風機、グローブボックス排風機、送風機及び窒素循環ファン並びに燃料加工建屋の非管理区域の換気・空調を行う設備の停止）、全工程停止及び動力電源の遮断の対応を行う。

また、設計基準対象施設の感知機能、消火機能の喪失状態については、発生する要因によって、いくつかのケースが想定されるが、MOX燃料加工施設における重大事故等は火災による閉じ込める機能の喪失のみであることから、火災の確認、消火等の対処を優先的に行うことにより外部への放射性物質の放出を可能な限り抑制することを目的として、いずれのケースに対しても、上記の発生防止対策を行う。

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で火災が継続した場合、MOX粉末の飛散又は漏えいが発生することから、重大事故の拡大防止対策として、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、感知・消火設備が機能喪失及び火災の発生を確認後、速やかにグローブボックス排気設備及び工程室排気設備の流路を遮断する対策を整備する。

また、火災の影響による核燃料物質の気相中への移行の拡大を防止するために、速やかに火災を消火する対策を整備する。

以上の拡大防止対策により事態の収束を図る。

事態が収束するまでの間、グローブボックス内又は工程室に飛散又は漏えいしたMOX粉末は、火災によって生じる気流に同伴して大気中に放出されることから、これを抑制するため、グローブボックス排気系又は工程室排気系に移行するMOX粉末を高性能エアフィルタで捕集し低減する。

上記の事態の収束を図る対策実施後、工程室内の放射性物質濃度が通常時と同等になったことを確認した後に、工程室内床面に沈着したMOX粉末を回収するための対策を整備する。また、回収に係る対策を実施するための作業環境確保を行うための回復に係る対策を整備する。

3. 8. 3 具体的対策

(1) 発生防止対策

通常運転時は、安全系監視制御盤等で加工工程の各パラメータやグローブボックスの火災の感知・消火設備に異常がないことを監視するとともに、グローブボックスにおける火災警報が発報していないことを確認し、設計基準では、火災警報の発報を確認した後は、自動で消火設備が起動して消火を行う。

全交流電源喪失により、安全系監視制御盤等において、監視機能の喪失、母線電圧低の発報（全交流電源喪失）を確認した場合は、設計基準の感知・消火機能が喪失した状態になることから、重大事故等対処への着手を判断する。

重大事故等対処への着手判断を受け、火災の影響を受けるMOX粉末の対象を限定すること等により、外部への放出に至ることを防止することを目的とし、発生防止対策として、地上1階の中央監視室で、全送排風機の停止、全工程の停止及び火災源を有する機器の動力電源の遮断の状態確認（又は、停止等の操作）を行う。

非常用電源設備が起動した場合でも、安全系監視制御盤で監視機能の喪失、安全系監視制御盤や監視制御盤で感知機能の多重故障、消火機能（消火設備、グローブボックス排風機）の多重故障を確認した場合は、上記と同様に発生防止対策を行う。

また、安全系監視制御盤において、設計基準対象施設の消火機能の一部であるグローブボックス排風機の多重故障による消火機能の機能喪失を確認した場合には、連動して停止する設計としている工程室排風機も含めて設備が停止していることを確認するとともに、外部への放射性物質の放出を防止するという観点で、上述の対策に加えて、発生防止対策として、グローブボックス排気設備及び工程室排気設備の流路を遮断するため、地上1階の中央監視室で、グローブボックス排気閉止ダンパ及び工程室排気閉止ダンパを遠隔閉止する。

(2) 拡大防止対策

重大事故等対処への着手判断を受け、拡大防止対策として、火災の発生を確認するため、中央監視室において、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。

上記と並行して、拡大防止対策として、外部への放射性物質の放出を可能な限り防止するため、中央監視室から移動し、地下1階の排風機室において、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。当該ダンパ閉止後、排風機の下

流側ダクトに可搬型流量計を設置し、外部への放出になる流れが生じていないことを確認する。

火災状況確認用温度計の指示値が 60℃を超える場合は、当該グローブボックスで火災が発生していると判断し、拡大防止対策として、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、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（ハロゲン化物消火剤）を放出する。

なお、従前消火に使用するとしていたグローブボックス局所消火装置については、消火の確実性という点を考慮し、使用しないこととする。

重大事故発生時において、中央監視室の安全系監視制御盤や監視制御盤による操作等が可能な場合は、中央監視室の盤において、火災状況確認用温度計の指示値を確認するとともに、中央監視室の安全系監視制御盤等から遠隔消火装置の遠隔操作による起動、グローブボックス排気閉止ダンパ及び工程室排気閉止ダンパの遠隔操作による閉止を行う。

上述の一連の対策が完了した後、重大事故の発生により工程室内にグローブボックスから漏えいしたMOX粉末が沈降し、工程室内雰囲気安定した状態であることが確認された場合は、濡れウエス等により工程室内床面に沈着したMOX粉末の回収を行う。

なお、回収作業をMOX粉末が沈降し、工程室内雰囲気が安定した状態で行うことから、従前回収作業に使用するとしていた可搬型集塵装置は使用しないこととする。

回収作業は、可搬型ダストモニタ及びアルファ・ベータ線用サーベイメータにより工程室内の放射性物質濃度を確認し、通常の工程室内雰囲気と同程度になったこと及び以下に示す回復作業の準備完了をもって実施を判断する。

また、回収作業を実施する前に、回収作業を行う作業員の作業環境を確保することを目的として、可搬型排風機付フィルタユニット等をグローブボックス排気設備に接続し、工程室からグローブボックス排気経路への気流を確保する。

回復作業は、上記の可搬型ダストモニタ及びアルファ・ベータ線用サーベイメータにより工程室内の放射性物質濃度が通常の工程室内雰囲気と同程度になったことをもって着手を判断する。

このため、火災状況確認用温度計、遠隔消火装置等を常設重大事故等対処設備として設置するとともに、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閉止

ダンパ、工程室排気閉止ダンパ、グローブボックス排気ダクト等を常設重大事故等対処設備として位置付ける。また、可搬型グローブボックス温度表示端末、可搬型流量計、可搬型排風機付フィルタユニット、可搬型ダストモニタ及びアルファ・ベータ線用サーベイメータ等を可搬型重大事故等対処設備として配備する。

回収作業に用いる濡れウエス等は、資機材として配備する。

平常運転時の監視から対策開始までの基本的な流れを添付 3、初動対応の流れを添付 4、重大事故等の対処に係るタイムチャートを添付 5、重大事故等対処の概要を添付 6 に示す。

3. 9 重大事故に対する有効性評価

(1) 代表事例

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。

外的事象の「地震」を要因とした場合、閉じ込める機能の喪失に至る火災の発生箇所は、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 基である。

(2) 代表事例の選定理由

①機能喪失の範囲

火災による閉じ込める機能の喪失の発生の前提となる要因は、「3. 重大事故の発生を仮定する機器の特定」で示したように、外的事象「地震」において、感知・消火機能に係る動的機器を含む全ての動的機器の直接的な機能喪失により発生する。

また、内的事象の「動的機器の多重故障等」による同一機能を有する動的機器の直接的な機能喪失及び全交流電源喪失による間接的な動的機器の機能喪失により発生する。

以上により、外的事象の「地震」を要因とした場合が、動的機器の機能喪失が同時に発生し、機能喪失する機器が多く、その範囲も広い。

②重大事故等対策の種類

重大事故等対策は、遠隔消火装置による消火、ダンパ閉止による外部への放出経路の遮断であり、複数の設備故障が発生した場合においても対処が可能となるような対策を選定している。

整備した重大事故等対策が、外的事象「地震」を含む全ての要因で想定される機能喪失をカバーできており、重大事故等の対処の種類の観点から、外的事象「地震」以外の要因に着目する必要性はない。

③重大事故等への対処時の環境条件の観点

重大事故等への対処の環境条件に着目すると、外的事象の「地震」を要因とした場合には、基準地震動を1.2倍した地震動を考慮するとして設備以外の設備の損傷及び動的機器の動的な機能の喪失が想定される。建屋内では溢水等の内部ハザードが発生する可能性があり、また、全交流電源の喪失により換気空調が停止し、照明が喪失する。

内的事象の「動的機器の多重故障等」を要因とした場合は、建屋内の環境条件が有意に悪化することはない。また、内的事象として「全交流電源喪失」が発生した場合は、換気空調が停止し、照明が喪失するが、建屋内での溢水等の内部ハザードの発生は想定されない。

以上により、機能喪失する機器が多く、環境条件の悪化も想定されることから、有効性評価の代表としては、外的事象の「地震」による閉じ込める機能の喪失を選定する。

(3) 有効性評価の考え方

閉じ込める機能の喪失に至る火災に対する重大事故等の対処に対しては、対処により外部への放出を可能な限り防止することができるかについて確認するため、グローブボックス内で発生する火災の規模、火災の影響によるMOX粉末の外部への移行の推移を評価する。

外部への放出に繋がるグローブボックス内のMOX粉末の火災による影響については、火災の規模等により評価を行い、火災の影響を受けたMOX粉末の外部への放出量については、火災の影響を考慮したMOX粉末の移行量等を想定される移行経路ごとに評価する。

また、移行経路において、火災の影響による体積膨張等の状態変化が想定される場合には、火災の規模との関係でそれを評価する。

回収及び回復に係る対処については、作業の着手等の判断、作業の実施方法等に係る手順を評価する。

(4) 機能喪失の条件

代表事例において、基準地震動の1.2倍の地震動を入力した場合においても必要な機能を損なわない設計としていない機器は、機能を喪失するものし、動的機器については耐震性によらず機能喪失を想定する。

また、代表事例では、設計基準の火災に対する発生防止機能の喪失、潤滑油の火災の発生に加えて、設計基準の拡大防止機能等に係る全ての動的機器の機能喪失を想定しているため、追加での機能喪失は想定しない。

(5) 事故の条件及び機器の条件

本重大事故は、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基で同時に発生することを仮定する。

火災の消火に使用する消火剤は、消火性能確認の試験によって消火性能が確認されたものを使用するとともに、その量は、それぞれのグローブボックスの火災源となる潤滑油に対して設置したオイルパンの表面積に対して必要な消火剤量に余裕を考慮して設定し、火災源ごとに消火設備を1セット使用する。

(6) 操作の条件

地震の発生から10分以降、要員による安全系監視制御盤等の確認を実施し、その結果により安全機能の喪失を把握し、重大事故等への対処を実施するものと仮定し、閉じ込める機能の喪失に至る火災に対する消火は、中央監視室における火災状況確認用温度計での火災の発生の確認と併せて、地震発生後20分で完了する。

外部へのMOX粉末の放出の防止に係る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手動閉止は、地震発生後20分で完了する。

(7) 放出量評価に関連する事故、機器及び操作の条件の具体的な展開

有効性評価における大気中への放射性物質の放出量は、重大事故の発生を仮定するグローブボックス内で火災影響を受けるMOX粉末に対し、放射性物質の放出に寄与する火災継続時間、火災に伴い気相中に移行する放射性物質の割合、各経路への分配割合、空気中のMOX粉末濃度及び熱による体積膨張量を求め、大気中への放出経路における除染係数の逆数を乗じて算出する。(添付7参照)

また、算出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。

1) 火災規模、燃焼継続時間の設定

火災規模に関係するパラメータのうち、潤滑油量は設計上の上限値で設定できるが、オイルパン上での燃焼面積については、時間経過による燃焼面の広がりや潤滑油の漏えい状況に依存する。

これらの条件により、火災の継続時間（＝気相への移行が継続する時間）、火災影響による空気の膨張量等が変動する。

放出量評価においては、火災試験の状況等を踏まえ、それぞれの火災源にて燃焼面積 50%での火災が継続することを仮定する。

2) 火災影響を受けるMOX粉末量

グローブボックス内においては、MOX粉末を機器又は粉末容器で取り扱う。このうち、粉末容器については開口部が存在するため、火災影響を受けるMOX粉末量として設定する。

重大事故の発生を仮定するグローブボックスで取り扱う粉末容器は、J60（最大 Pu 富化度 33%，最大取扱量 65 kg MOX）又は J85（最大 Pu 富化度 18%，最大取扱量 90 kg MOX）であり、各グローブボックスで一度に取り扱う可能性がある粉末容器中のプルトニウム量の最大値を設定する。

3) 火災影響により粉末容器からグローブボックス気相中に移行するMOX粉末の割合

700°Cに加熱したシュウ酸プルトニウムを、風速 1 m/s で上昇気流の流れを模擬した際のフィルタ及びライナーへの付着量を求めた実験の結果、約 1%/h との結果が得られている。

一方、最も潤滑油量が多い造粒装置グローブボックスの火災時の熱気流上昇速度について文献で示された式で求めると、流速約 6 m/s との結果が得られた。

上記の実験において確認されている流速は、粉末が火災源直上にある状態での値であるのに対し、実機では火災源の直上に粉末容器はないため直接火炎にさらされることはなく、さらに、粉末容器の形状を踏まえると、開口部が限定されており、気流の影響を受けにくいいため、実機での粉末容器の位置関係と実験での条件との違いを踏まえ、火災影響により粉末容器からグローブボックス気相中への移行率、グローブボックス排気系への移行率、グローブボックス給気フィルタ及びグローブボックスパネル隙間を介した工程室への移行率として 1m/s 程度の流速による移行率である 1%/h を用いる。

4) MOX粉末の移行経路及び移行割合

グローブボックス内から系外への移行経路として、グローブボックス排気系、グローブボックス給気フィルタ及びグローブボックスパネル隙間を介した工程室への漏えいを想定する。

各経路への移行割合は、火災影響によるグローブボックス内空気の体積膨張率をグローブボックスに与え、各経路の圧力損失が等しくなる流速比より、経路別の分配比を算出する。

グローブボックスパネル隙間について、設計上の漏えい率から求められる隙間長さの 10 倍を仮定すると、各経路への移行割合は、「グローブボックス排気系：約 25%、グローブボックス給気系：約 74%、グローブボックスパネル隙間：約 1%」となる。

工程室に漏えいしたMOX粉末については、火災影響による工程室空気の体積膨張分が、工程室排気系を通じて外部へ放出されることを想定する。

5) 工程室に漏えいしたMOX粉末の工程室排気系への移行

工程室に漏えいしたMOX粉末は、火災の上昇気流の影響を直接受けるわけではない。このため、工程室へのMOX粉末の漏えい量と工程室の容積から求めたMOX粉末濃度の空気が、火災影響による工程室の温度上昇で膨張した分、工程室排気系を経由して放出されることを想定する。

火災の継続時間に応じて 1%/h でグローブボックスから工程室に漏えいしたMOX粉末は、グローブボックスの火災の影響による工程室内での体積膨張量に相当する空気量が工程室排気系に移行することから、上述のようなMOX粉末濃度を求めて放出量を想定する。

MOX粉末濃度及び工程室の体積膨張量については、火災の継続時間、火災源の熱量に依存するため、火災源毎にこれらを算出する。

6) 大気中の放出経路における除染係数

気相中に移行したMOX粉末は、グローブボックス排気設備、工程室排気設備を経由して大気中に放出される。また、グローブボックス給気フィルタを介して、工程室排気設備を経由する場合もある。

グローブボックス排気系及び工程室排気系のダクト内へのMOX粉末の沈着による除染係数は 10 とする。

また、経路上の高性能エアフィルタは 1 段あたり 10^3 以上 ($0.15 \mu\text{mDOP}$ 粒子) の除染係数を有する。

グローブボックス排気系は高性能エアフィルタ 4 段で構成され、除染係数は 10^9 とする。

工程室排気系は高性能エアフィルタ 2 段で構成され、除染係数は 10^5 とする。また、グローブボックス給気側の高性能エアフィルタ 1 段を経由し、工程室排気系から放出する場合には、高性能エアフィルタ 3 段を経由するため、除染係数は 10^7 とする。

(8) 判断基準

閉じ込める機能の喪失の拡大防止対策の判断基準は、消火剤の放出による火災の消火及び火災によるMOX粉末の外部への放出の遮断

の対策が実行可能で有効であること及び外部への放出の遮断の対策完了までに外部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。

3. 10 有効性評価の結果

(1) 重大事故等対処

閉じ込める機能の喪失に至る火災に対し、地震発生後、安全系監視制御盤で感知・消火設備の機能喪失等を確認し、20 分以内に手動で火災状況確認用温度計による火災の発生の確認及び消火剤の放出による消火ができるため、継続している火災に対し消火が可能である。

また、地震発生後、安全系監視制御盤で感知・消火設備の機能喪失等を確認した後、20 分以内に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で閉止できるため、火災が継続している場合に MOX 粉末の外部への放出を遮断できる。

評価の結果、外部への放出量は、 1.0×10^{-6} TBq であり、100TBq を十分下回る。放出量評価の算出については添付 7 に示す。

また、閉じ込める機能の喪失に至る火災の発生により、グローブボックス内に飛散、工程室に漏えいした MOX 粉末は、感知・消火設備の機能喪失等を確認した後、速やかに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閉止することにより、可能な限り外部に放出されないよう措置することから、実行可能な限り低い。

なお、工程室に漏えいした MOX 粉末については、それぞれの火災源の火災規模（発熱速度、燃焼継続時間）により変動するが、工程室に漏えいした MOX 粉末のうち約 99%～約 54%が、工程室に留まる。

回収及び回復に係る作業については、作業に着手するための判断基準が明確であり、作業実施に対して時間的な制約もないことから、実行可能である。

(2) 不確かさの影響評価

1) 事象、事故の条件及び機器の条件の不確かさの影響

① 事故の発生要因の違い

重大事故の発生を仮定する際の条件における内の事象で発生する閉じ込める機能の喪失に至る火災は、1 基のグローブボックスで単独で発生するため、対処が必要な対象が限定される。

代表事例においては、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 基で同時に閉じ込める機能の喪失に至る火災が発生する場合の対策の成立性を確

認していることから、評価結果は変わらない。

内的事象で発生する「長時間の全交流電源喪失」による感知・消火の機能喪失の場合、初動対応での状況確認等の作業において、外的事象の「地震」と比較して早い段階で拡大防止対策等に着手できるため、対処の時間余裕が大きくなることから、早期に対処を完了できる。

内的事象で発生する「動的機器の多重故障等」の場合、共通要因で故障等が発生しない設計基準対象施設の使用が可能であり、中央監視室での遠隔操作で操作を行うため、外的事象の「地震」と比較して早い段階で拡大防止対策等に着手、完了できるため、対処の時間余裕が大きくなることから、早期に対処を完了することができる。

②火災の規模、火災による影響を受けるMOX粉末

「3. 8. 1 事故の特徴」で示したようにグローブボックス内で発生する潤滑油による火災については、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よる火災の燃焼時間の不確かさがあり、燃焼面積が放出量評価の条件とした条件よりも小さい場合は、放出量の下振れが見込まれる。

火災の影響により気相部に移行するMOX粉末の量は、容器中に収納されるMOX粉末全量としているが、火災源と容器の位置関係から容器に収納されたMOX粉末全量が火災の影響を受けない場合は、外部への放出量において1～2桁程度の下振れが見込まれる。

③外部への放出経路の違い

外部へ放出される放出量は、放出する経路において不確かさがある。グローブボックスから工程室に漏れいする経路のひとつとしているグローブボックスパネルの隙間等からの漏れいについては、パネルの隙間等が発生しない場合、パネルの隙間等から工程室への漏れいは発生せず、外部への放出量において50%程度の下振れが見込まれる。

地震等の影響により、パネルの隙間等から工程室への漏れいが支配的になった場合は、外部への放出量において2桁程度の上振れが見込まれる。

グローブボックス給気系のダクトの損傷等による工程室への漏れいが発生しない場合、グローブボックス排気系とパネル隙間等からの工程室への漏れいが外部への放出経路になり、グローブボックス給気系におけるフィルタによる除染係数が期待できないため、外部への放出量において1.5倍程度の上振れが見込まれる。

グローブボックス排気設備のみに移行した場合には、高性能エアフィルタが4段あり、外部への放出量において下振れが見込まれる。

工程室から工程室排気設備への移行において、隣接する工程室に給気系等を経由して移行した場合には、外部への放出の観点では時間遅れが生じることによる放出量の下振れが見込まれる。

また、外部への放出に繋がる工程室内の体積膨張量については、グローブボックス内での火災発生時の熱量を工程室内空気に与えて断熱条件で評価を行っており、空気等への放熱を考慮すると、放出量の下振れが見込まれる。

2) 操作の条件の不確かさの影響

外的事象「地震」により重大事故が発生した場合においても、中央監視室の安全系監視制御盤等による操作が可能な場合は、ダンパ閉止操作等に対して、中央監視室での遠隔操作が可能であるため、対処に要する時間が短縮される。

ダンパ閉止による外部への放出経路の遮断に係る操作については、地上1階の中央監視室から地下1階の排風機室に移動して作業を行うことから、アクセスルート上の環境条件によっては、操作完了までの時間が上述の対処完了時間以上に必要となる場合が考えられるが、火災の継続時間に対する不確かさを踏まえると、火災継続中に外部への放出経路を遮断する対策を実施することが可能であり、対策が有効であることに変わりはない。

(3) 重大事故等の同時発生又は連鎖

1) 重大事故等の同時発生

本重大事故は、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基で同時に火災が発生するものとして評価した。

2) 重大事故等の連鎖

本重大事故の事象進展、事故規模の分析により明らかとなった通常運転時からの状態の変化等は、火災によるグローブボックス内の温度上昇、グローブボックス内の体積膨張及びそれによるグローブボックスから工程室へのMOX粉末の漏えい、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がある。

これによって臨界に係る安全上重要な施設の安全機能の喪失やMOXの集積等が発生することはないことから、臨界事故は生じない。

(4) 必要な要員及び資源

1) 要員

本重大事故における拡大防止対策に必要な要員は、安全系監視制御盤で感知・消火設備の機能喪失等の確認を受けて、通信連絡設備

等のその他の重大事故等対策を含め必要な対策を並行して実施することとしており、外的事象の「地震」を要因とした場合、合計で26名（MOX燃料加工施設：21人、再処理施設：5人）である。

また、内的事象を要因とした場合でも、作業環境が外的事象の「地震」で想定される環境条件よりも悪化することが想定されず、対処内容に違いがないことから、必要な要員は外的事象「地震」の場合の必要な人数以下である。

2) 資源

①電源

可搬型排風機付フィルタユニット及び可搬型ダストサンプラへの給電は、可搬型発電機を敷設するため、対応が可能である。また、その他の重大事故等対処として用いる可搬型排気モニタリング用データ伝送装置及び代替通信連絡設備への給電は、代替通信連絡設備可搬型発電機を敷設するため、対応が可能である。

②燃料

MOX燃料加工施設において拡大防止対策に必要な軽油は、対処に必要な設備へ給電するための可搬型発電機の燃料等として合計で約4m³である。

再処理施設において拡大防止対策に必要な軽油は、重大事故の同時発生を考慮しても約87m³である。

第1軽油貯槽及び第2軽油貯槽に合計800m³の軽油を確保していることから、外部支援を考慮しなくても7日間の対処の継続が可能である。

また、拡大防止対策に重油は必要としない。

3. 11 重大事故が同時に又は連鎖して発生した場合の対処

「2. 重大事故の発生を仮定する機器の特定」において示したとおり、重大事故として特定したのは火災による閉じ込める機能の喪失のみであり、異種の重大事故の同時発生は生じない。また、同種の重大事故の同時発生については「3. 10 有効性評価の結果」に整理した。

連鎖して発生する重大事故等の整理についても、重大事故として特定したのは火災による閉じ込める機能の喪失のみであり、

「3. 10 有効性評価の結果」に整理したとおり、火災による閉じ込める機能の喪失を起因として連鎖して発生する重大事故等はない。

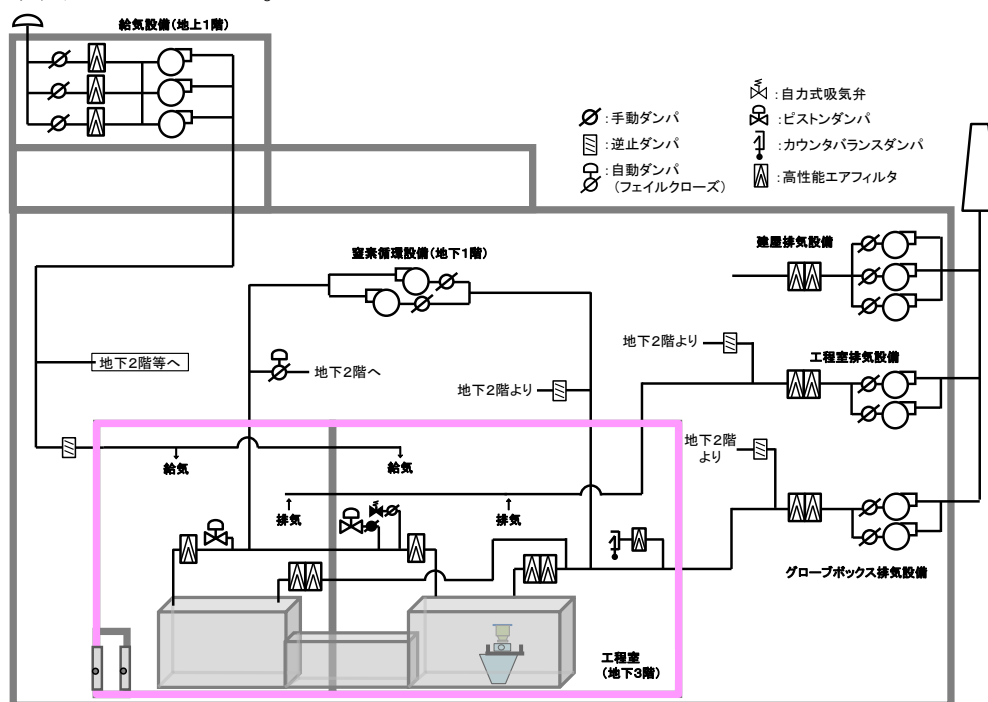
以 上

重大事故の発生を仮定したグローブボックスでの火災の発生について

火災は、可燃物、酸素供給体、着火源の 3 要素が揃った際に発生する。そのため、火災の消火は、これらの要素のうちの一つを排除することで行われる。

重大事故の発生を仮定したグローブボックスにおいて、火災の 3 要素が揃うために必要な条件及びその可能性について検討した。

重大事故の発生を仮定したグローブボックスは、MOX燃料加工施設におけるグローブボックスの種類のうち、窒素循環型であり、これに関連する設備の構成は、下図の通りである。



設備の構成をもとに上述のとおり火災の 3 要素が揃うために必要な条件等について整理する。

(1) 可燃物

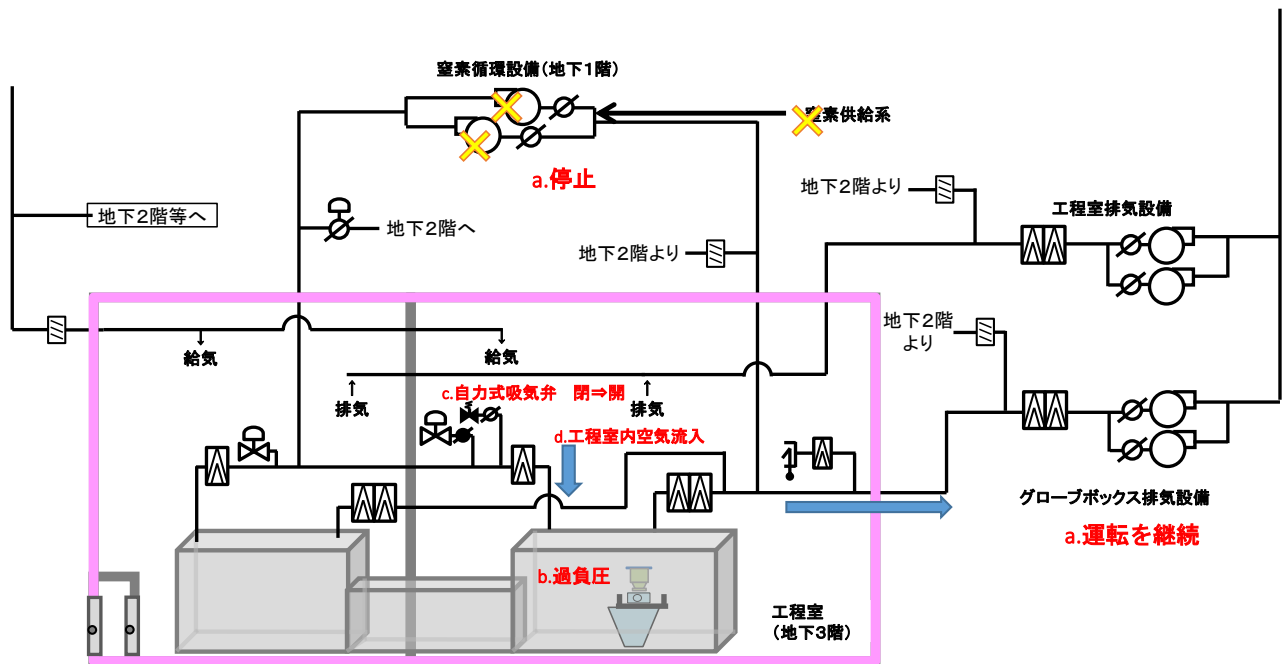
- 重大事故に至る火災の可燃物としては、グローブボックス内に設置する機器の潤滑油としている。
- 潤滑油は、機器のギアボックス等に使用されるものであり、ギアボックスを収納する筐体に潤滑油が内包され、潤滑油を内包している構造は溶接構造等となっている。
- 機器等は、基準地震動の 1.2 倍の地震動に対して機能を維持できるように設計することから、損壊は想定されず、機器に亀裂が発生して潤滑油

が漏えいすることにより、火災の要素となる可燃物となる可能性があるが、潤滑油は、燃焼するためには、一定の温度（約 250℃）が必要であり、漏えいしただけでは、火災の要素となる可燃物とならない。

- そのため、火災の要素となる可燃物となるためには、潤滑油の温度を燃焼するために必要な温度に上昇させるための加熱源が必要となる。この加熱源としては、潤滑油を使用する機器があるが、機器の運転時の温度は 60℃程度であり、潤滑油の燃焼に必要な温度まで上昇させる加熱源にはならないため、機器内で通常運転時の温度で保有された潤滑油が漏えいしたとしても可燃物としての条件は成立しない。
- 機器内で潤滑油の温度が上昇する要因として、過電流の発生が考えられるが、過電流に対しては過電流遮断機能を有している。過電流の発生と過電流遮断機能の機能喪失が同時に発生することにより、機器内の潤滑油の温度が上昇し、温度上昇した潤滑油が漏えいすることに加え、さらに着火源との関係で局所的な温度上昇が発生することで、火災の要素である可燃物になることが考えられる。

（2）酸素供給体

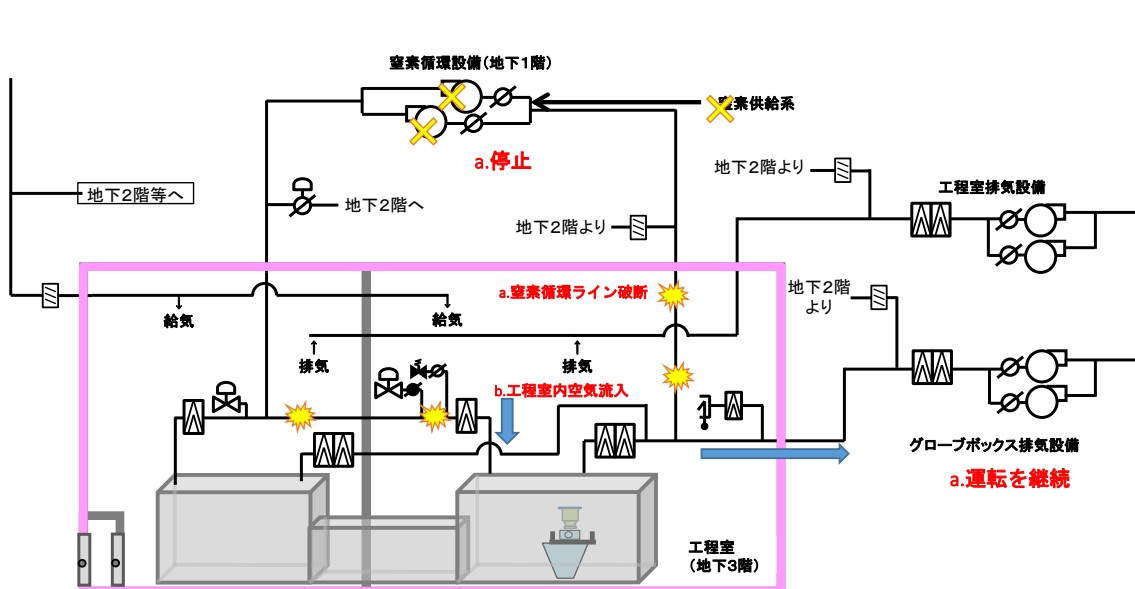
- 重大事故の発生を仮定したグローブボックスは、窒素循環型であり、通常運転時は、窒素循環系統のファンにより窒素が循環供給され、グローブボックス内は窒素雰囲気維持されている。
 - 火災が発生するためには、グローブボックス内の窒素が空気に置換されることが必要となるため、グローブボックス内の窒素を空気に置換するために必要な、以下の設備の状態を踏まえて整理した。
 - ① 窒素循環ファンが停止
 - ② グローブボックス給気系に設置された手動ダンパが開
 - ③ グローブボックスが過負圧になり自力式吸気弁が開
 - ④ 窒素循環ラインの破断
- ① 窒素循環ファンが停止
- 窒素循環ファンが停止した場合、窒素雰囲気となったグローブボックスへの給気が停止することになるが、同時にグローブボックス排風機が停止した場合は、窒素雰囲気の状態で流体の動きがなくなるため、窒素雰囲気が空気雰囲気になることはない。
 - そのため、窒素雰囲気を空気雰囲気に置換するためには、窒素循環ファンが停止した状態でグローブボックス排風機が運転を継続することが必要である。
 - 上記状態が継続すると、グローブボックスが過負圧になり自力式吸気弁が開になり、工程室内の空気がグローブボックス内に流入する。



- ② グローブボックス給気系に設置された手動ダンパが開
- 手動ダンパは、窒素循環型グローブボックスでMOX粉末を取り扱う運転を開始する前に閉になっていることを確認するため、これが開になった状態で運転を開始することは考え難い。
 - 万一、手動ダンパが開になっている状態で窒素循環ファンを運転して窒素循環を開始した場合には、手動ダンパの経路から工程室内の空気を取り込まれるため、排気により消費された窒素分に相当する空気量がグローブボックス内に混入するが、グローブボックス内全体が空気雰囲気置換されるまでに時間を要する。
 - ただし、グローブボックス内の酸素濃度を計測しているため、酸素濃度上昇等の異常があればMOX粉末を取り扱う運転を開始しないため、外部への多量の放射性物質の放出が発生する条件は成立しない。万一、運転中に上記状態になった場合には、加工工程の停止等の措置を講じるため、外部への多量の放射性物質の放出が発生する条件は成立しない。
 - 上記以外のケースとして、手動ダンパが開の状態、窒素循環ファンが停止し、さらにグローブボックス排風機が運転している状態になった際は、窒素雰囲気が空気雰囲気に置換される可能性があるが、運転開始前の確認時に手動ダンパが開になっていることは防止できるため、この条件は成立しない。
 - さらに別のケースとして、手動ダンパを開状態にする状況として、グローブボックス内機器の保守作業等があるが、この場合はグローブボックス内に蓋のない容器が存在しない状態にして作業を行うことから、外部への多量の放射性物質の放出が発生する条件は成立しない。また、保守

作業等を行う際には、作業員がグローブボックス周辺に居るため、万一火災が発生した際には、消火器により速やかに消火を行うことが可能であり、火災が継続することはない。

- ③ グローブボックスが過負圧になり自力式吸気弁が開
- グローブボックスが過負圧になり自力式吸気弁が開になる条件は、①に記載したとおりである。
- ④ 窒素循環ラインの破断
- 窒素循環ラインが破断した状態でグローブボックス排風機が運転を継続した場合、①と同様に工程室内の空気がグローブボックス内に流入し、窒素雰囲気は空気雰囲気に置換される。



(3) 着火源

- 着火源とは着火の原因となる小さな高温部分を発生させる現象であり、裸火、高温物、摩擦、衝撃、静電気放電など様々な種類があるが、裸火や高温物、摩擦、衝撃はグローブボックス内に存在しない、一定の耐震性を持たせることにより機器構造が維持されることなどの理由により発生の可能性はないが、地震発生時の静電気の発生やケーブル等によるスパークの発生の可能性は否定できない。

上記のことから、重大事故として特定した火災が発生させるためには、以下の状態が重なって発生する必要がある。

(可燃物)

- ✓ 過電流と過電流遮断機能の喪失が発生して機器内の潤滑油の温度が上昇

- ✓ 機器に亀裂が発生して温度上昇した潤滑油が漏えい
(酸素供給体)
- ✓ 窒素循環ファンが停止した状態で、グローブボックス排風機の運転が継続し、グローブボックスが過負圧になり自力式吸気弁が開になり、工程室内の空気がグローブボックス内に流入
または
- ✓ 窒素循環ラインが破断した状態でグローブボックス排風機が運転を継続し、工程室内の空気がグローブボックス内に流入
(着火源)
- ✓ ケーブル等によるスパークが発生し、潤滑油の着火

なお、火災の発生には、上記の 3 要素に係る状態が同時に整うことが必要であるが、潤滑油の温度上昇やグローブボックス内の空気への置換には一定の時間が必要であり、段階的に事象が発生する必要がある。

例えば、最初に、窒素雰囲気グローブボックス内が空気雰囲気になる事象と潤滑油の温度上昇に繋がる過電流が発生し潤滑油が温度上昇、次に、機器からの潤滑油の漏えいとスパークによる着火が発生する。

上述した各事象は偶発的な事象であり、共通要因により同時に発生することは想定できないが、技術的想定を超えた状態として、重大事故では、これらの偶発的な事象の重ね合わせを考え、火災が発生する状態を仮定する。

以 上

火災によるMOX粉末の移行等の現象について

1. 火災の規模

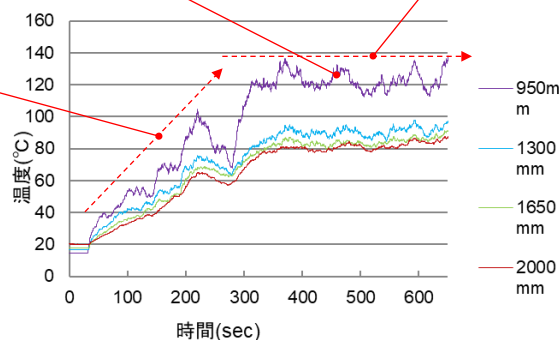
- 潤滑油による火災の規模は、潤滑油を収納する箇所に設置しているオイルパン上での燃焼面積に依存する。(オイルパンは、潤滑油を内包する箇所の底面に全体を覆うように設置)
- 以下に示す、火災試験の状況及び重大事故が発生する状況を踏まえ、燃焼面積 50%での火災が重大事故での火災の規模と考える。
 - ✓ 着火時点から時間の経過とともに火災の燃焼面積が大きくなるが、火災試験では潤滑油に直接着火しなかったため、スポンジを着火源としてオイルパン内に入れて着火し、着火後に徐々にスポンジが燃焼し、面積が半分程度の状態で火災が継続していた。
 - ✓ 機器内に収納されている潤滑油が地震等によりオイルパンにどの程度漏えいするかによって火災の規模が変わり、最初に漏えいした潤滑油に着火し、その後漏えいする潤滑油が増加するという状況が考えられる。
- 火災試験において、着火した後5分程度をかけて燃焼面積が広がり、それに応じて温度も上昇していく状況が確認されていることを踏まえると、火災源のうち最も長い燃焼時間のもので 20分以上火災が継続するものと考える。



可燃物（スポンジ）にプロアオイルを浸み込ませてガスバーナで炙った後の様子（引火から約8分後）

燃焼面積が広がった後は温度上昇は平衡した状態が継続

着火後5分程度で温度が上昇
⇒着火点から徐々に燃焼面積が広がっていく状況

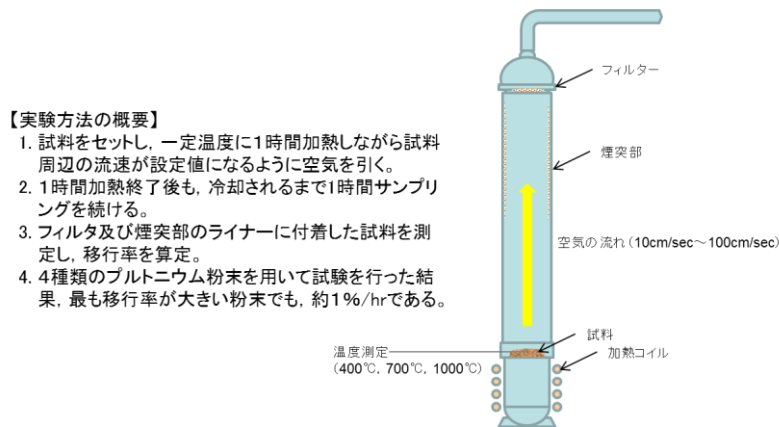


2. 火災の影響による気相へのMOX粉末の移行

(1) 文献による火災時のプルトニウム粉末の気相中への移行率

文献⁽¹⁾では、火災時のプルトニウム粉末の気相への移行量を調べるために、加熱状態で上昇気流がある状態を模擬した実験を行っている。実験の結果、最も気相中への移行率が高いのは、風速 100cm/s でシュウ酸プルトニウムを 700°Cで1時間加熱した場合であり、フィルタ及びライナーへの付着量の合計は約1%/hr という結果である。実験の概要及び実験の結果によるシュウ酸プルトニウムの移行率を下図に示す。

実験の結果、空気の流れが速い方が気相中への移行率が高く、温度に対する依存性は見られないという結果が得られている。



【文献による実験の概要図】

TABLE VIII. Plutonium Oxalate Release Rates (in wt%/hr)

| Temperature, °C | Sample Type | Nominal Air Velocity Through Chimney | | |
|-----------------|-------------|--------------------------------------|-----------|--------------|
| | | 10 cm/sec | 50 cm/sec | 100 cm/sec |
| Ambient | A | <0.004 | <0.004 | <0.004 0.073 |
| | B | <0.004 | <0.004 | 0.38 0.54 |
| 400 | A | -- | -- | 0.48 |
| | B | -- | -- | 0.016 |
| 700 | A | 0.0044 | <0.004 | 0.90 |
| | B | <0.004 | <0.004 | 0.047 |
| 1000 | A | <0.004 | 0.007 | 0.25 |
| | B | <0.004 | 0.005 | 0.075 |

A Particles carried through chimney (collected on glass fiber filter).

B Particles entrained but deposited on chimney walls (collected on 0.003 in. mild steel shimstock liner).

【シュウ酸プルトニウムの移行率】

(1) J.MISHIMA, L.C.SHEWENDIMAN, C.A.RADASCH.PLUTONIUM RELEASE STUDIES III. RELEASE FROM HEATED PLUTONIUM BEARING POWDERS,BATTELLE MEMORIAL INSTITUTE PACIFIC NORTHWEST

(2) 文献による火災時の熱気流上昇速度

火災時の熱気流上昇速度について、文献⁽²⁾では、熱源が面源である場合 $Z/\gamma_0 < 2.5$ (Z : 熱源からの高さ, γ_0 : 熱源の円相当半径) の領域での熱気流上昇速度は次式で表すことができるとされている。

$$W = 1.696 \left(\frac{g Q}{\rho_0 C_0 T_0} \right)^{1/3} \gamma_0^{-1/3}$$

W: 中心軸の上昇速度

T_0 : 上昇熱気外の空気の絶対温度

Q: 熱源から単位時間に与えられる熱量

C_0 : 熱気流の定圧比熱

ρ_0 : 熱気流の密度

g: 重力加速度

上記の式にMOX燃料加工施設のグローブボックス内火災で想定される条件として、保有する潤滑油が最も多い造粒装置グローブボックスにおいて、オイルパンの半分の面積で燃焼している状態の熱気流上昇速度を算出すると、約6m/secという結果が得られる。

計算に用いたパラメータを下表に示す。

【熱気流上昇速度算出に用いたパラメータ】

| | |
|------------|------------------------------------|
| γ_0 | 0.48 [m] (0.72m ² から算出) |
| T_0 | 293 [K] |
| Q | 53537 [cal/s] |
| C_0 | 240 [cal/kg°C] @773K |
| ρ_0 | 0.456 [kg/m ³] @773K |
| g | 9.8 [m/s ²] |

(2) 長谷川 浩治, 小島 正臣, 松橋 哲. 煙およびガスの流動拡散性情に関する研究. 消防科学研究所報 11号, 1974, p. 29-38.

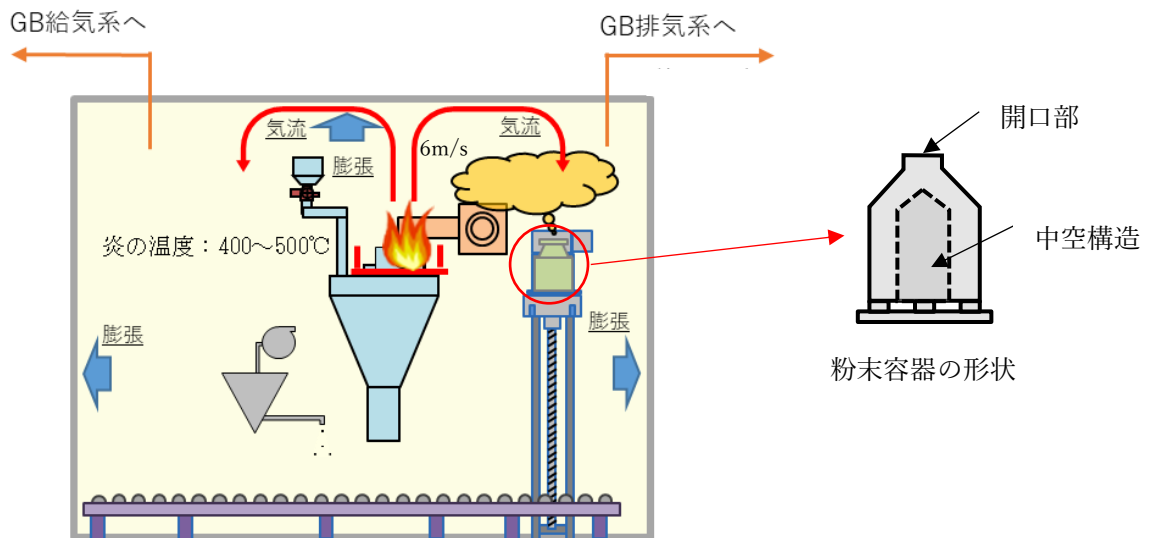
(3) 重大事故で想定する火災によるMOX粉末の移行率

グローブボックス内における火災を想定した場合、火災源と粉末容器の位置関係から、粉末容器が直接火災に曝されることは想定されないため、(2)で算出した熱気流上昇速度6m/sでの影響は受けない。

粉末容器には開口部があるため、グローブボックス内の気流の乱れ

による影響により、粉末容器内の粉末が気相中に移行することが想定されるが、粉末容器が火災源から離れていること及び粉末容器は開口部が限定されており、気流の影響を受けにくいことから、粉末容器内の粉末が影響を受ける気流としては、(2)で算出した熱気流上昇速度約6m/sを下回ることが想定されるため、(1)に記載の文献における実験条件である1m/sにおける火災時の粉末の移行率(1%/h)を適用することとする。火災時のグローブボックス内の状態の概要を下図に示す。

また、気流の影響を受けるのは粉末容器内の粉末全量ではなく、粉末容器内表面部分となった場合は、MOX粉末の移行量は下振れするものと考えられる。



【火災時のグローブボックス内の状態の概要図】

(4) 気相中に飛散したMOX粉末の移行経路

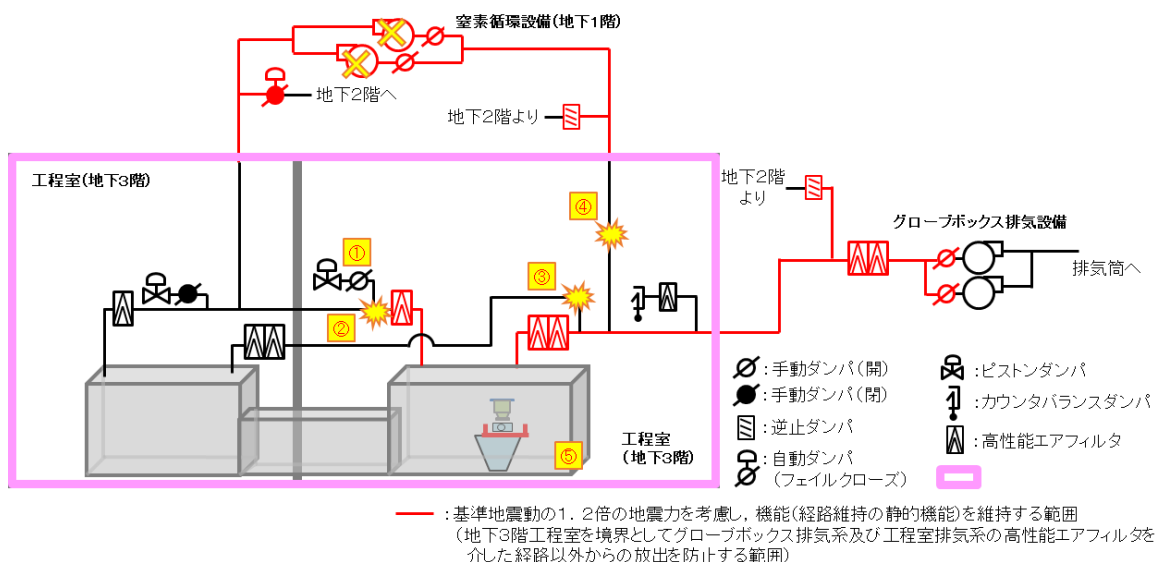
- グローブボックス内での火災の影響により1%/hで気相中に飛散したMOX粉末が、火災によるグローブボックス内雰囲気気体の体積膨張により当該グローブボックスに繋がる経路に移行する。
- 想定される経路としては、グローブボックス排気系、グローブボックス給気系や火災の影響によるパネルの隙間等がある。グローブボックス給気系や火災の影響によるパネルの隙間等から移行したMOX粉末は工程室に漏れ出す。

1) グローブボックスから工程室へのMOX粉末の漏れ発生ケース

- 外的事象(地震)発生時は、全交流電源喪失の発生が想定され、窒素循環設備の窒素循環ファンが停止する。
- 窒素循環ファンの停止のみでは、窒素循環設備が閉ループであ

ることから、グローブボックスから工程室への漏えい経路ができることはなく、窒素循環設備の経路中でのダクトの破損等が発生することで、グローブボックスから工程室への漏えいの可能性のある箇所が生じる。

- 外的事象(地震)を考慮した場合に、窒素循環設備の経路中から工程室へ漏えいする箇所としては以下が想定される。
- ① ピストンダンパ近傍の手動ダンパが開放されている場合
⇒当該手動ダンパは、グローブボックスのメンテナンス等、意図的に窒素循環型グローブボックスを空気雰囲気化する際に開放するものであり、通常運転時は閉止状態である。仮に当該手動ダンパの開放が維持された状態であれば空気流入箇所となり得る。外的事象が、ダンパを開とする要因とはならない。
- ② グローブボックス給気フィルタ上流側における基準地震動の1.2倍の地震力を考慮した設計としていないダクトが損傷(破断)した場合
- ③ グローブボックス排気ダクト合流部における基準地震動の1.2倍の地震力を考慮した設計としていないダクトが損傷(破断)した場合
- ④ 窒素循環ダクト分岐部における基準地震動の1.2倍の地震力を考慮した設計としていないダクトが損傷(破断)した場合
- ⑤ グローブボックスのパネルに隙間が生じている場合



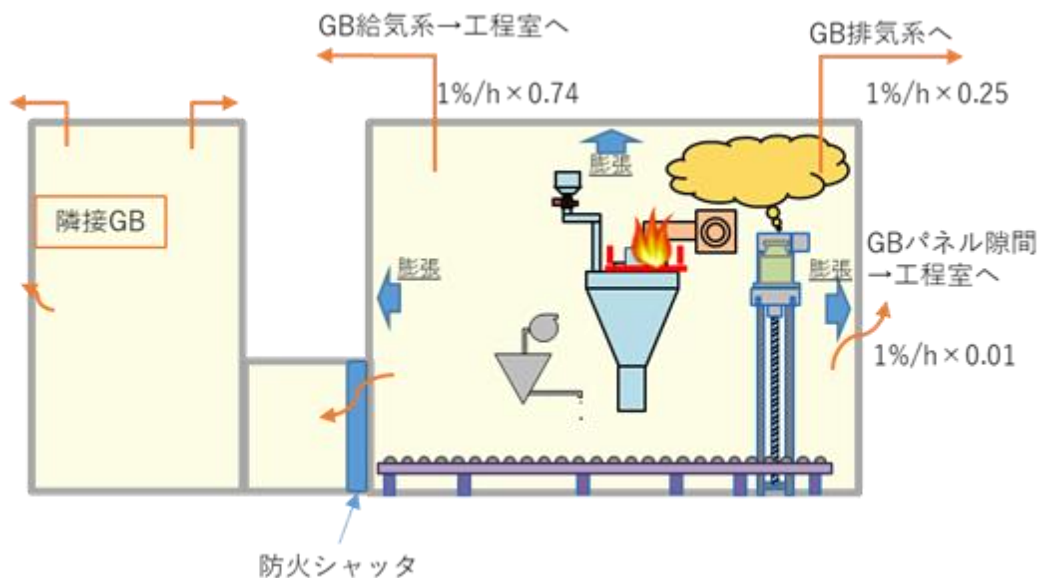
【外的事象(地震)時に想定される工程室への漏えい経路】

- なお、内的事象発生時は、窒素循環設備のダクト等の経路は健全であることから、窒素循環型グローブボックスへの空気流入箇所として想定されるのは、ピストンダンパ近傍の手動ダンパ

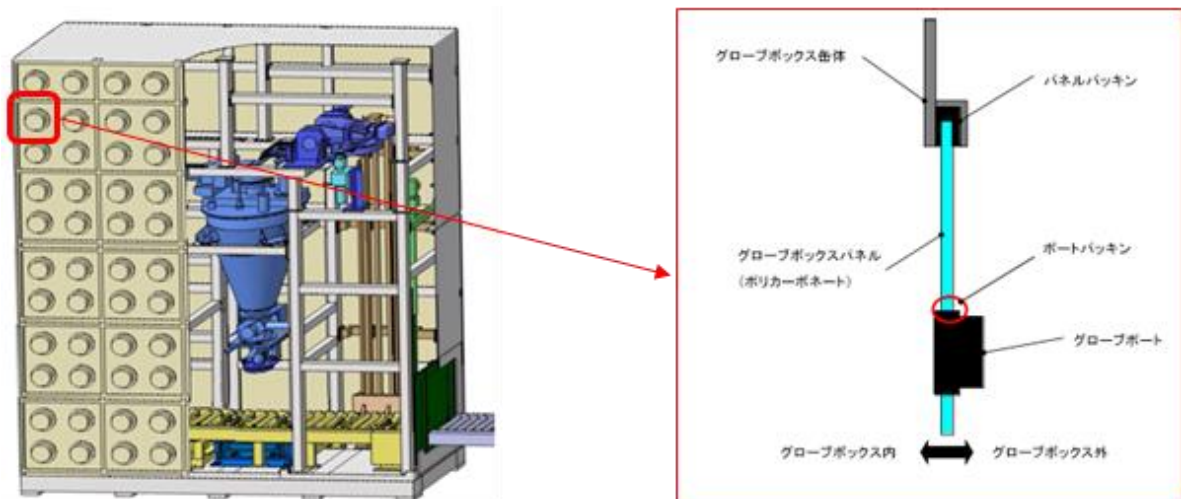
(①)が開放状態となっている場合のみである。

- 2) グローブボックスから工程室への移行経路ごとの放出量への寄与
- 重大事故の発生を仮定するグローブボックス内で火災が発生した場合に、1)で示したグローブボックスから工程室へのMOX粉末が漏えいする経路が、工程室への漏えいパスとして想定される。
 - 1)で示した③及び④のダクト損傷(破断)の場合は、グローブボックス排気フィルタ2段を介した後の経路であるため、当該部から工程室に移行した場合は、その後工程室排気系のフィルタ2段を介して外部へ放出されるため、合計4段のフィルタを経由する。
 - ①及び②の場合は、グローブボックス給気フィルタ1段を介して工程室へ移行し、その後工程室排気系のフィルタ2段を介して外部へ放出されるため、合計3段のフィルタを経由する。
 - ⑤の場合は、グローブボックスから直接工程室へ移行するため、その後工程室排気系のフィルタ2段を介して外部へ放出される。
 - 上記より、外部への影響の観点では、 $⑤ > ① = ② > ③ = ④$ となり、最も厳しい経路は⑤であるが、これは工程室への漏えい経路として別に考慮していることから、①が最も厳しい経路となる。
 - なお、仮にダクト損傷がなく、ピストンダンパ近傍の手動ダンパが閉止している場合は、グローブボックス給気系からの工程室への移行経路はなくなり、グローブボックス内の気相中に飛散したMOX粉末はグローブボックス排気系から外部へ放出又はグローブボックスのパネル隙間から工程室へ移行した後に外部へ放出するパターン of のいずれかが考えられるが、両経路の圧力損失を踏まえると、グローブボックス排気系へと移行する割合が支配的となる。
 - 想定される経路を①とした場合は、経路上の圧力損失を考慮すると、グローブボックス給気系(74%)、グローブボックス排気系(25%)、パネルの隙間等(1%)の移行割合になる。
 - なお、グローブボックスの給気系への移行経路は、基準地震動の1.2倍の地震力によるダクトの損傷等が生じることが条件となることから、万一これが発生しない場合は、グローブボックスからの移行経路は、グローブボックス排気系とグローブボックスの隙間等への移行のみとなり、その移行割合は、圧力損失の関係からグローブボ

ックス排気系 97%、グローブボックスの隙間等 3%となる。



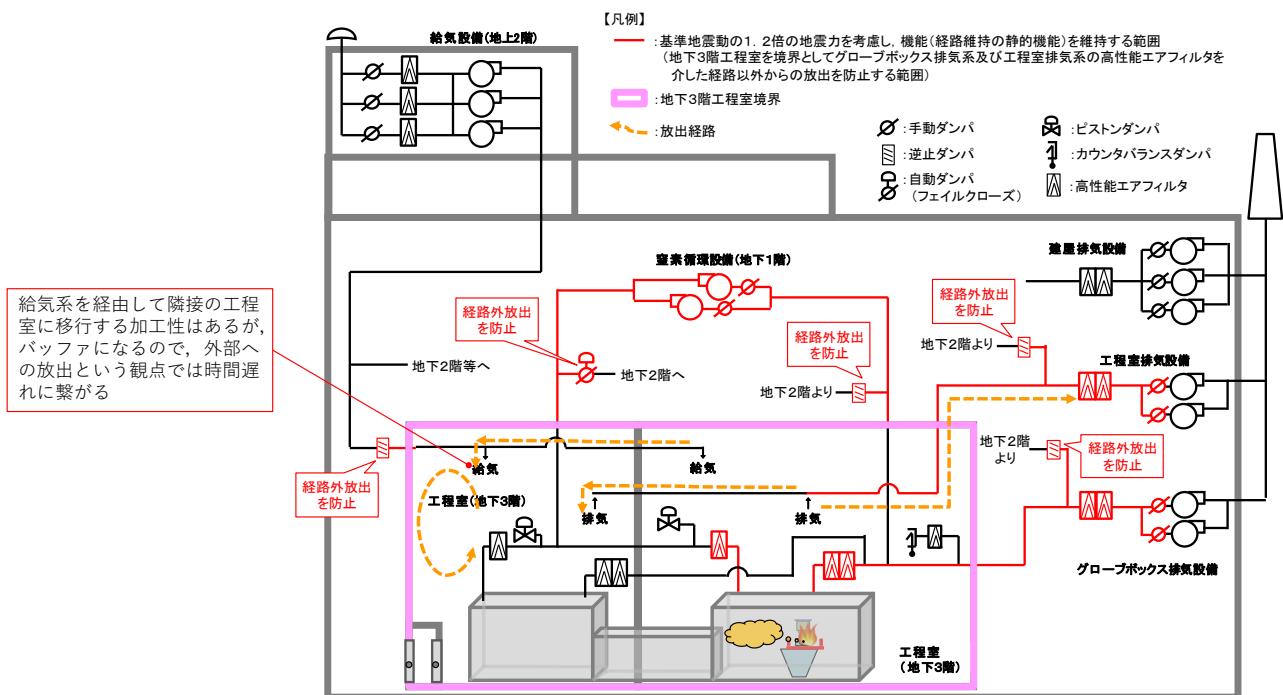
- また、パネルの隙間等については、パネルの缶体への固定方法を考えると、設計上のインリーク量に相当する隙間の 100 倍もの隙間が発生することは構造上想定しがたいため、火災の影響等を考慮した場合でも、設計上のインリーク相当の隙間（移行無し）かその 10 倍程度（全体の 1%の移行）の範囲になると考える。



- グローブボックス給気系に移行したMOX粉末は、フィルタ 1 段を経由して工程室に漏えいし、パネルの隙間等からはそのままの量が工程室に漏えいする。工程室へ移行した後の経路については（3）に示す。
- グローブボックス排気系に移行したMOX粉末は、フィルタ 4 段を経由して外部に放出される。

（3）工程室に漏えいしたMOX粉末の移行経路

- 工程室に漏えいしたMOX粉末は、グローブボックス内の火災の影響により工程室雰囲気が体積膨張することにより当該工程室外に移行する。工程室外へのMOX粉末の移行は、逆止ダンパを設置する等により、工程室排気系が主たる経路となり、フィルタ2段を経由して、外部に放出される。
- 火災が発生しているグローブボックスが設置されている工程室に繋がっている他の工程室に工程室給気系のダクトを経由して移行することも考えられるが、他の工程室がバッファの役割になり、外部への放出に対する時間遅れに繋がる。



(4) 工程室から外部へ放出されるMOX粉末の挙動

- グローブボックス内での火災の影響により容器内のMOX粉末が1%/hでグローブボックスの気相に移行し、気相に移行したMOX粉末が、同じく1%/hで給気系のフィルタやパネル隙間等を経由して、グローブボックス内の火災の継続時間に応じて、工程室に漏えいする。工程室に漏えいしたMOX粉末は、工程室雰囲気と混合し、工程室内が均一のMOX粉末濃度に達する。

以上

巡視・点検細則等

警報対応手順書, 異常・非常時対策要領 等

重大事故等発生時対応手順書

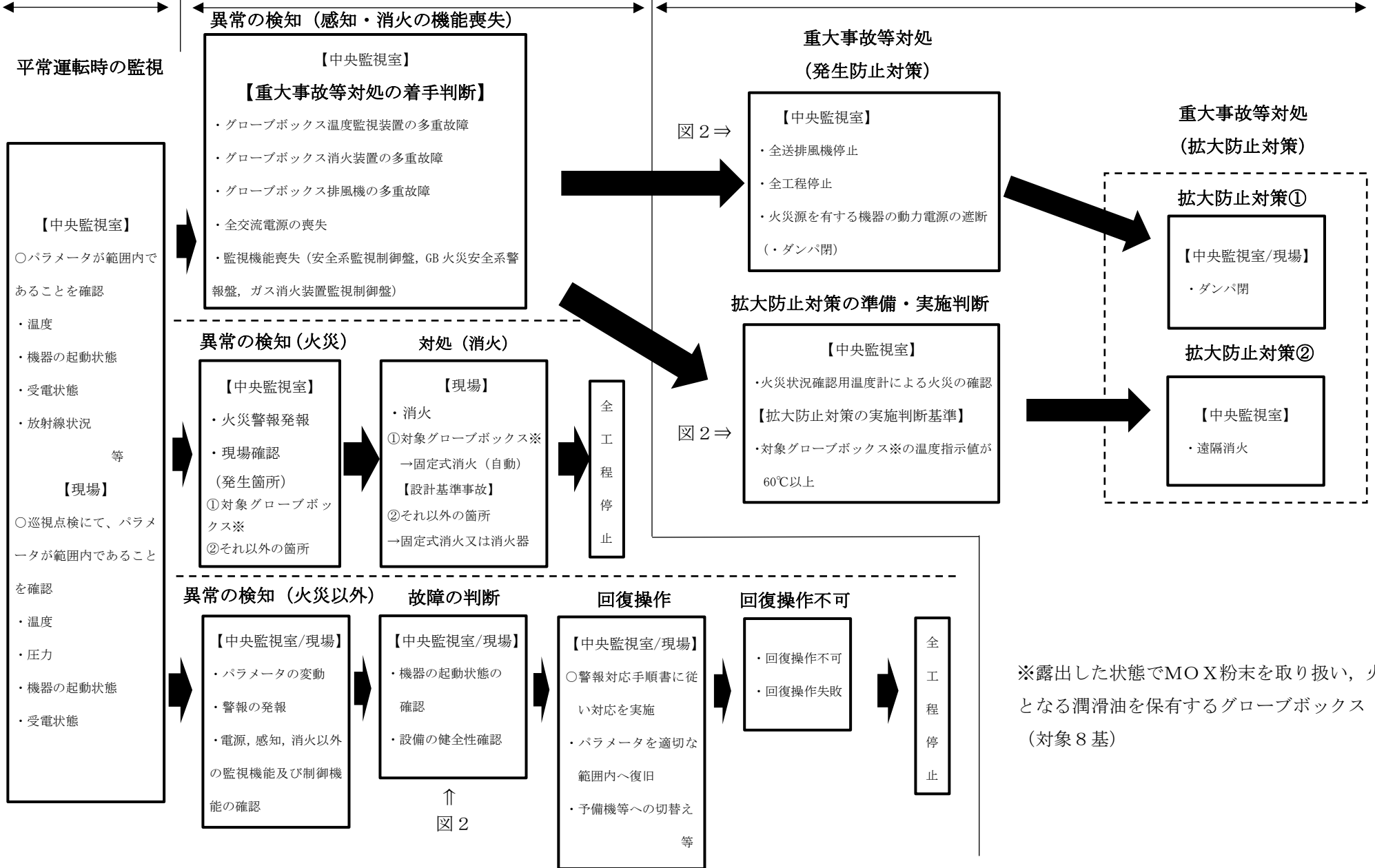


図1 平常運転時の監視から対策開始までの基本的な流れ

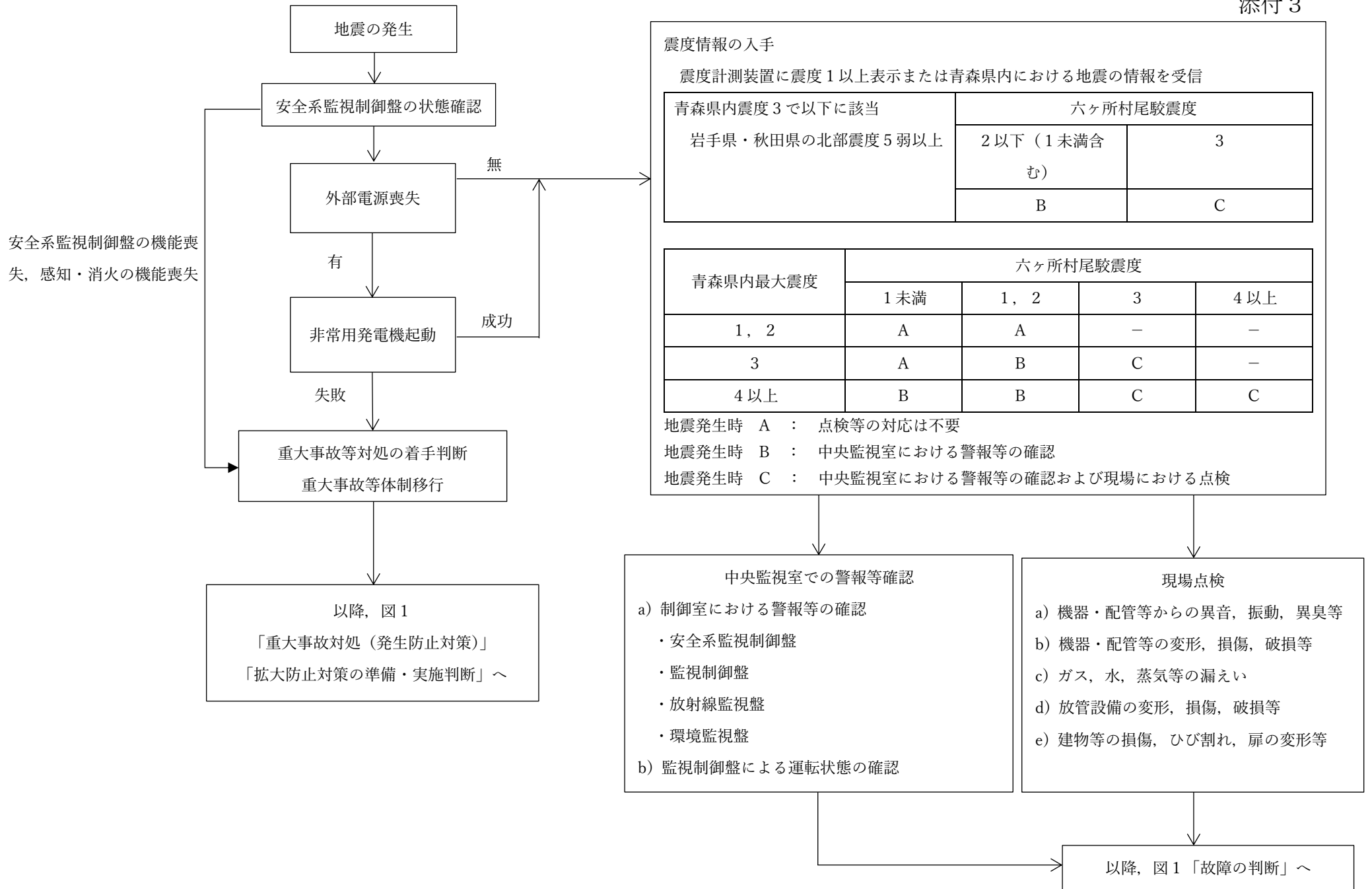
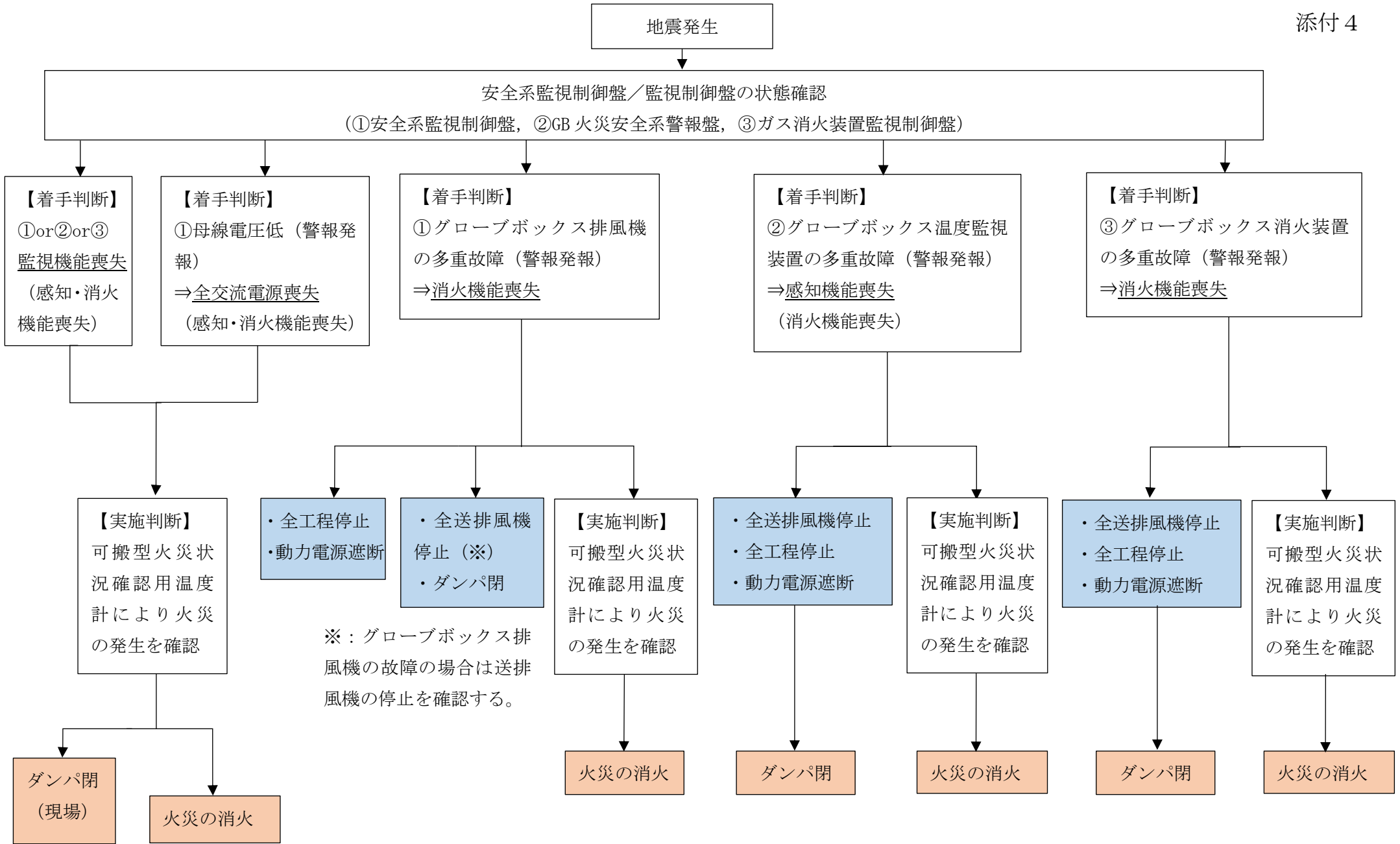
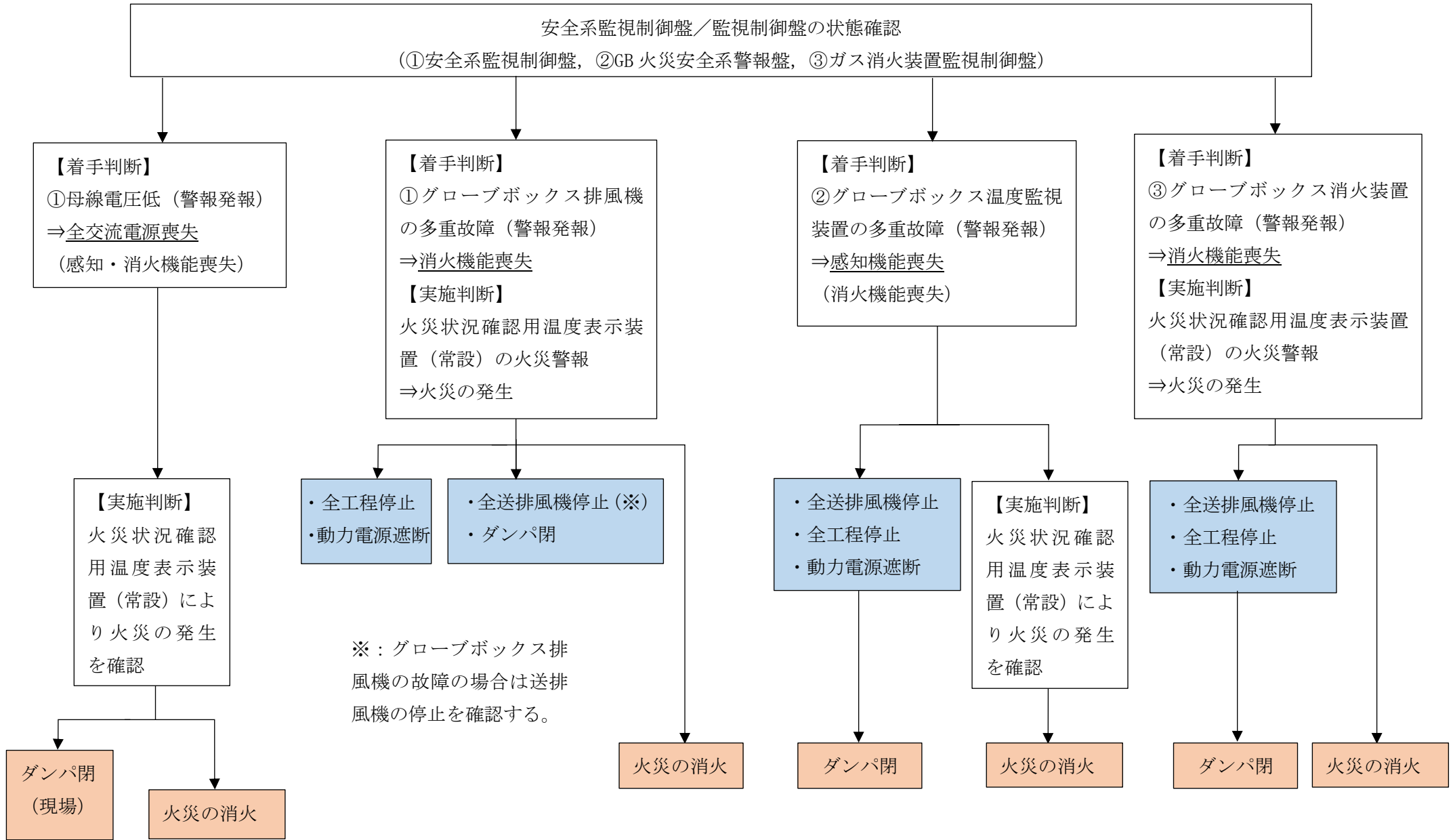


図2 地震発生における対策開始までの流れ



■ 発生防止対策として実施
 ■ 拡大防止対策として実施

重大事故等対処時の初動対応フロー (外的事象発生時)



■ 発生防止対策として実施
■ 拡大防止対策として実施

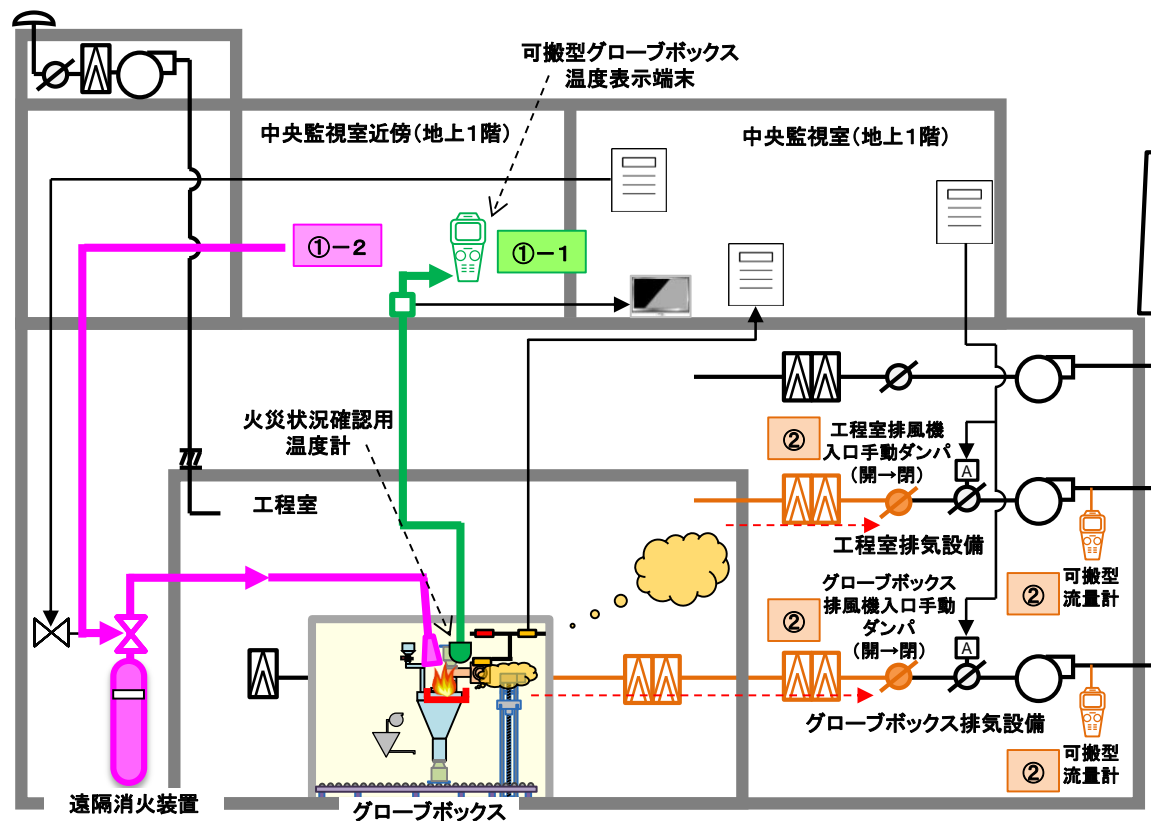
重大事故等対処時の初動対応フロー (内的事象発生時)

重大事故対処におけるタイムチャート (2/3)
【内の事象を起因とした場合 (全交流電源喪失以外)】

| 対策 | 作業番号 | 作業 | 作業班 | 要員数 | 所要時間 (時:分) | 経過時間 (時:分) | | | | | | | | | | | | 備考 |
|--------|------|---|------------------------------|-----|---------------|----------------------------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| | | | | | | 0:10 | 0:20 | 0:30 | 0:40 | 0:50 | 1:00 | 1:10 | 1:20 | 1:30 | 1:40 | 2:40 | 2:50 | |
| - | - | 実施責任者 (再処理) | | 1 | - | [Timeline bar from 0:10 to 2:40] | | | | | | | | | | | | |
| | | 情報管理班 (再処理) | | 3 | - | [Timeline bar from 0:10 to 2:40] | | | | | | | | | | | | |
| | | MOX燃料加工施設対策班長 | | 1 | - | [Timeline bar from 0:10 to 2:40] | | | | | | | | | | | | |
| | | MOX燃料加工施設現場管理者 | | 1 | - | [Timeline bar from 0:10 to 2:40] | | | | | | | | | | | | |
| | | MOX燃料加工施設情報管理班長 | | 1 | - | [Timeline bar from 0:10 to 2:40] | | | | | | | | | | | | |
| 火災状況確認 | 1 | 安全系監視制御盤の状況及び火災状況確認用温度表示装置の確認 (1F 中央監視室) | MOX燃料加工施設対策班 1班 | 2 | 0:03 | 班 | [Timeline bar from 0:03 to 0:03] | | | | | | | | | | | |
| 発生防止 | 2 | 全送排風機の停止 (中央監視室) | MOX燃料加工施設対策班 2班 | 2 | 0:03 | 班 | [Timeline bar from 0:03 to 0:03] | | | | | | | | | | | |
| | 3 | 全工程の停止、火災源を有する機器の動力電源の遮断 (中央監視室) | MOX燃料加工施設対策班 3班 | 2 | 0:03 | 班 | [Timeline bar from 0:03 to 0:03] | | | | | | | | | | | |
| 拡大防止 | 4 | グローブボックス排気閉止ダンパ及び工程室排気閉止ダンパの遠隔手動閉止 (1F 中央監視室) | MOX燃料加工施設対策班 2班 | 2 | 0:01 | 班 | [Timeline bar from 0:01 to 0:01] | | | | | | | | | | | |
| | 5 | 遠隔消火装置の遠隔手動起動 (1F 中央監視室) | MOX燃料加工施設対策班 3班 | 2 | 0:01 | 班 | [Timeline bar from 0:01 to 0:01] | | | | | | | | | | | |
| - | - | 放射線対応班長 (再処理) | | 1 | - | [Timeline bar from 0:10 to 2:40] | | | | | | | | | | | | |
| 放射線管理 | 6 | 管理区域への入退状況の確認 | MOX燃料加工施設対策班 8班 | 2 | 0:40 | 8班 | | | | | | | | | | | | |
| | 7 | 排気モニタリング設備 [※] による監視 (中央監視室、再処理施設の中央制御室及び緊急時対策所) | 実施責任者、放射線対応班長、MOX燃料加工施設現場管理者 | 3 | - | 実施責任者、放射線対応班長、MOX燃料加工施設情報管理班長 | | | | | | | | | | | 継続監視 | |
| 通信 | 8 | 所内通信連絡設備 [※] の確認 | - | - | - | [Timeline bar from 0:10 to 2:40] | | | | | | | | | | | | |

※：設計基準の範囲内において使用している設備を使用する。

重大事故等対処の概要



①-1 計装設備による火災の感知

喪失した火災の感知機能を代替する計装設備(火災状況確認用温度計及び可搬型グローブボックス温度表示装置)により、重大事故の発生を仮定するグローブボックス内の火災発生を確認する。

①-2 核燃料物質の飛散防止(火災の消火)

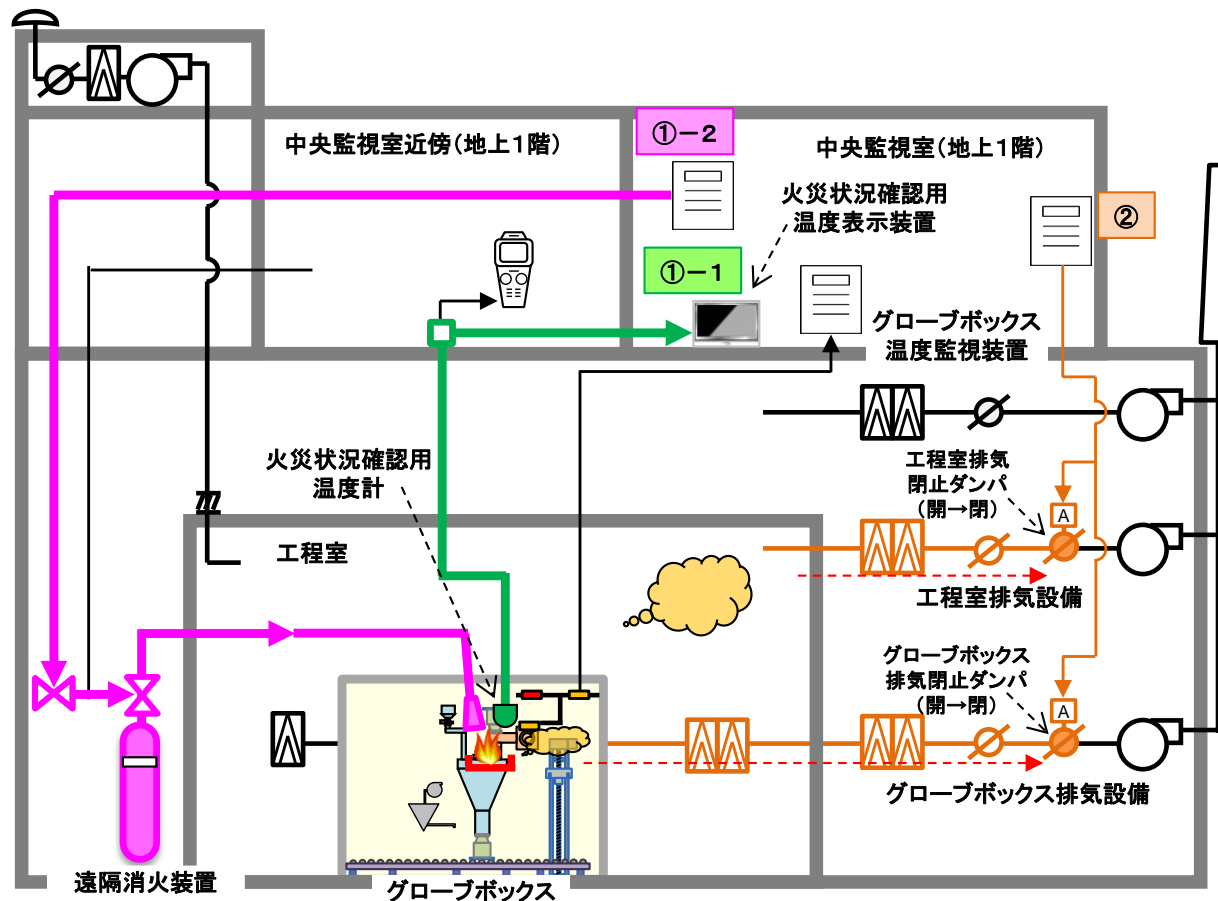
火災発生を確認後、喪失した火災の消火機能を代替する設備(遠隔消火装置)を中央監視室近傍からの操作で起動させることにより、重大事故の発生を仮定するグローブボックス内の火災を消火し、火災影響により核燃料物質が飛散することを防止する。

② 核燃料物質の漏えい防止(放出経路の閉止)

- ・火災の影響によりグローブボックス内の気相中に飛散し、グローブボックス排気系を介して核燃料物質が大気中に放出されることを防止するため、現場(地下1階)にてダンパを手動閉止する。
- ・ダンパを閉止するまでの間は、排気系に設置する高性能エアフィルタにより放射性エアゾルを低減する。
- ・グローブボックス接続部等を介してグローブボックスから工程室内へ漏えいした核燃料物質が外部へ漏えいすることを防止するため、工程室排気系へも同様の対処を実施する。
- ・放出経路が閉止されていることは、可搬型流量計により、流量が出ていないことをもって確認する。

※外的事象(地震)により、全交流電源喪失等が発生し安全系監視制御盤等が使用できない場合は、図に示す対処を行い、安全系監視制御盤等が使用可能な場合は、中央監視室での遠隔操作により遠隔消火装置の起動、ダンパ閉を行う。

図1 外的事象時の重大事故等対処



①-1 計装設備による火災の感知

喪失した火災の感知機能を代替する計装設備(火災状況確認用温度計及び火災状況確認用温度表示装置)により、重大事故の発生を仮定するグローブボックス内の火災発生を確認する。設計基準対象施設の感知機能の喪失を要因としない場合は、グローブボックス温度監視装置にて確認可能である。

①-2 核燃料物質の飛散防止(火災の消火)

火災発生を確認後、喪失した火災の消火機能を代替する設備(遠隔消火装置)を中央監視室からの盤操作で起動させることにより、重大事故の発生を仮定するグローブボックス内の火災を消火し、火災影響により核燃料物質が飛散することを防止する。

② 核燃料物質の漏えい防止(放出経路の閉止)

- ・火災の影響によりグローブボックス内の気相中に飛散し、グローブボックス排気系を介して核燃料物質が大気中に放出されることを防止するため、中央監視室からの盤操作にてダンパを遠隔手動閉止する。
- ・ダンパを閉止するまでの間は、排気系に設置する高性能エアフィルタにより放射性エアロゾルを低減する。
- ・グローブボックス接続部等を介してグローブボックスから工程室内へ漏えいした核燃料物質が外部へ漏えいすることを防止するため、工程室排気系へも同様の対処を実施する。

図2 内的事象時(全交流電源喪失以外)の重大事故等対処

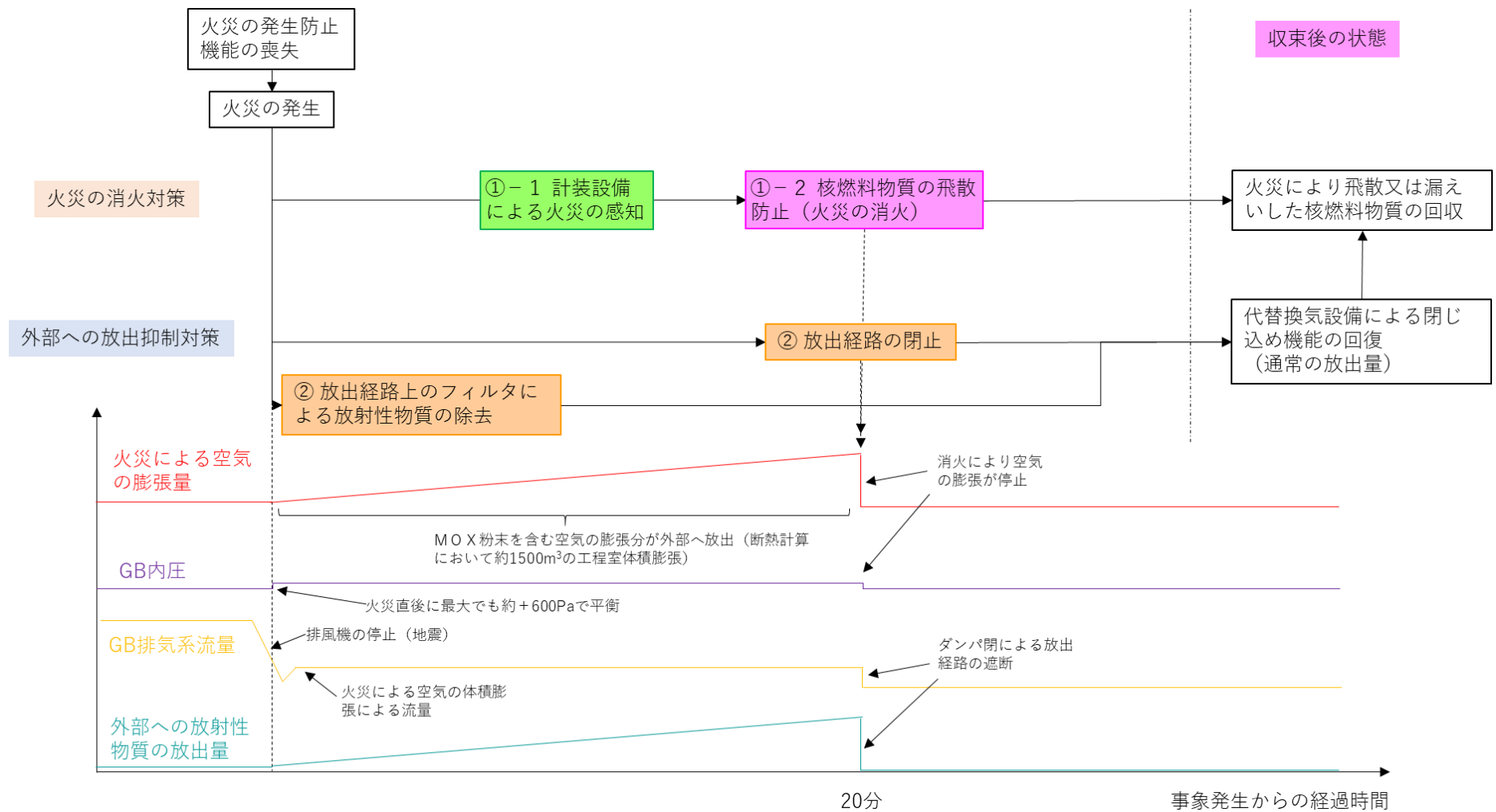


図4 拡大防止対策が機能した場合のトレンドのイメージ

放出量評価の詳細

1. 概 要

重大事故の発生を仮定するグローブボックス内での火災により、粉末容器の開口部からグローブボックス内の気相中へ移行したMOX粉末が、想定される経路を通じて外部へ放出されることを想定する。

想定する火災規模、燃焼継続時間及びこれらの影響を踏まえた体積膨張等の条件を火災源毎に設定し、外部への放出量を算出する。

2. 火災規模、燃焼継続時間の設定

火災規模に係るパラメータのうち、潤滑油量は設計上の上限値で設定できるが、オイルパン上での燃焼面積については、時間経過による燃焼面の広がりや潤滑油の漏えい状況に依存する。

これらの条件により、火災の継続時間（＝気相への移行が継続する時間）、火災影響による空気の膨張量等が変動する。

放出量評価においては、火災試験の状況等を踏まえ、それぞれの火災源にて燃焼面積 50%での火災が継続することを仮定する。

表 2 - 1 発熱速度及び燃焼継続時間の関係

| 対象 GB (火災源) | 発熱速度[kW]/燃焼継続時間 [s] | | |
|------------------------------|---------------------|----------|----------|
| | 燃焼面積 100% | 燃焼面積 50% | 燃焼面積 25% |
| 予備混合装置 GB | 332/130 | 126/260 | 47/520 |
| 均一化混合装置 GB | 163/433 | 61/866 | 22/1732 |
| 造粒装置 GB① ^{※1} | 631/595 | 244/1191 | 92/2382 |
| 造粒装置 GB② ^{※1} | 85/115 | 31/229 | 10/459 |
| 回収粉末処理・混合装置 GB | 332/130 | 126/260 | 47/520 |
| 添加剤混合装置 GB A/B ^{※2} | 332/130 | 126/260 | 47/520 |
| プレス装置 GB A/B ^{※2} | 715/54 | 277/109 | 105/217 |

※1：造粒装置 GB には火災源が 2 か所存在する

※2：添加剤混合装置 GB とプレス装置 GB は同一設計の A 系/B 系がある

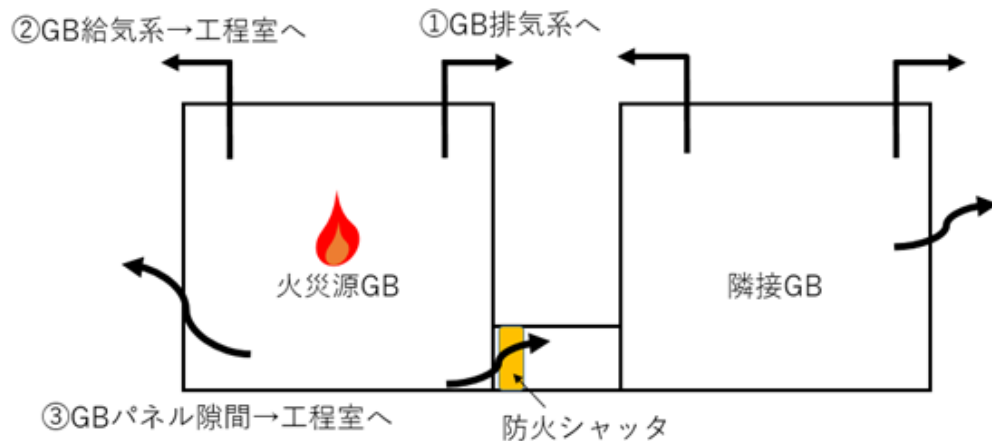
3. 移行経路及び移行割合の検討

3. 1 グローブボックスからの移行経路

(1) 評価イメージ

グローブボックスから系外へ繋がる経路としては、図中の①～③の経路を考慮する。防火シャッタの隙間を介して隣接グローブボックスへ経路するルートもあるが、隣接グローブボックスから先の経路

は、最終的には①～③の経路と同様となるため、ここでは考慮しない。



グローブボックス内で火災が発生した場合、温度上昇に伴い圧力も上昇するが、各経路の圧力損失を踏まえると、ほとんど圧力上昇がない段階で各経路への避圧により圧力は平衡する。

火災源の熱量が全量グローブボックス内空気に与えられると仮定し、断熱計算により温度上昇量を求め、これを体積膨張量として与えた場合に各経路で平衡する際の圧力損失は、最も潤滑油量が多い火災源である「造粒装置 GB①」の火災では、約 600Pa の圧力上昇が平衡する結果が得られた。最も潤滑油量が小さい火災源である「造粒装置 GB②」の火災では、約 10Pa の圧力上昇で平衡する結果が得られた。

また、これらの圧力平衡に要する時間は、火災の燃焼（体積膨張率）が一律であると仮定すると、1 秒未満であった。

グローブボックス内初期圧力が 1 気圧 ($1.01325 \times 10^5 \text{Pa}$) と仮定した場合の圧力トレンド計算値を図 3-2 に示す。

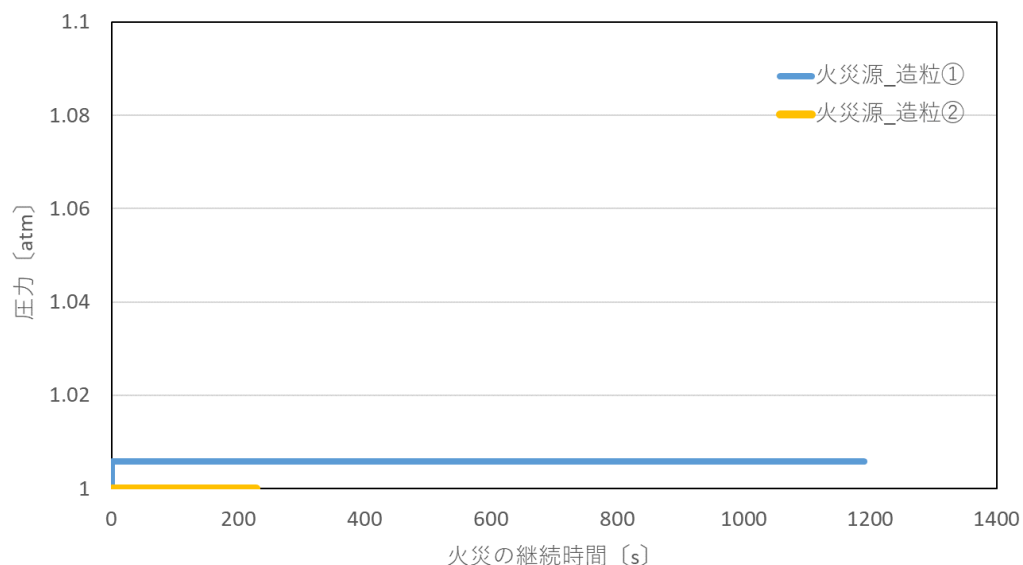


図 3-2 圧力トレンド計算値

上記のように、グローブボックス圧力上昇は大気圧に対してわずかであり、ごく短時間で平衡する。このため、圧力については初期状態から変化しないものと仮定し、火災源の熱量をグローブボックス中の空気に与えた場合の定圧変化として、表3-1のとおり体積膨張率を求めた。

求めた体積膨張率を開口部に与え、各経路の圧力損失が等しくなる流速比より、経路別の分配比を算出した。

表3-1 グローブボックスの体積膨張率

| 対象 GB (火災源) | 体積膨張率 [m ³ /s] |
|----------------|---------------------------|
| 予備混合装置 GB | 0.36 |
| 均一化混合装置 GB | 0.17 |
| 造粒装置 GB① | 0.69 |
| 造粒装置 GB② | 0.09 |
| 回収粉末処理・混合装置 GB | 0.36 |
| 添加剤混合装置 GB A/B | 0.33 |
| プレス装置 GB A/B | 0.78 |

(2) 評価条件

a. 空気密度

グローブボックス内温度上昇を考慮し、200°Cにおける空気密度を使用した。

空気密度：0.7455 [kg/m³]

b. グローブボックス排気系の圧力損失

経路上の長さ、曲がり、分岐・合流、拡大・縮小、フィルタ（4段）等を考慮した。なお、概略評価として、最も圧力損失が大きくなる経路の曲がり等の圧力損失情報を使用した。

ダクト径については、排風機側に近づくにつれ合流により太くなるが、グローブボックスの直近の口径（最も細い箇所）を一律適用した。

c. グローブボックス給気系の圧力損失

経路上の長さ、曲がり、フィルタ（1段）等を考慮した。なお、概略評価として、代表的なグローブボックスの圧力損失を適用した。

d. パネル開口の評価

グローブボックスの設計上の漏えい率は0.1vol%/h以下である。

また、上記の漏えい率を確認するための漏えい試験は 500～1000Pa で実施する。

ここでは、グローブボックスパネル外周に一律隙間があると仮定し、圧力損失が 1000Pa と等しくなる隙間長さを算出した。

最も火災源の発熱量が大きい造粒装置グローブボックスの寸法情報より求めた結果、隙間長さは $8.9 \times 10^{-6} \text{m}$ となった。

なお、地震を想定してもグローブボックスパネルが脱落するような損傷が考えられないが、グローブボックスパネルの歪み等の可能性は否定できない。

このため、放出量評価においては設計上の漏えい率から求められる隙間長さの 10 倍を仮定する。

(3) 評価結果

圧力損失を踏まえた各経路への分配割合は以下の通りとなった。

表 3-2 圧力損失を踏まえた各経路への分配割合

| GB 排気系 | GB 給気系 | パネル隙間 |
|--------|--------|-------|
| 約 25% | 約 74% | 約 1% |

3. 2 工程室へ漏えいした後の MOX 粉末の移行経路

工程室に漏えいした MOX 粉末の移行イメージを以下に示す。

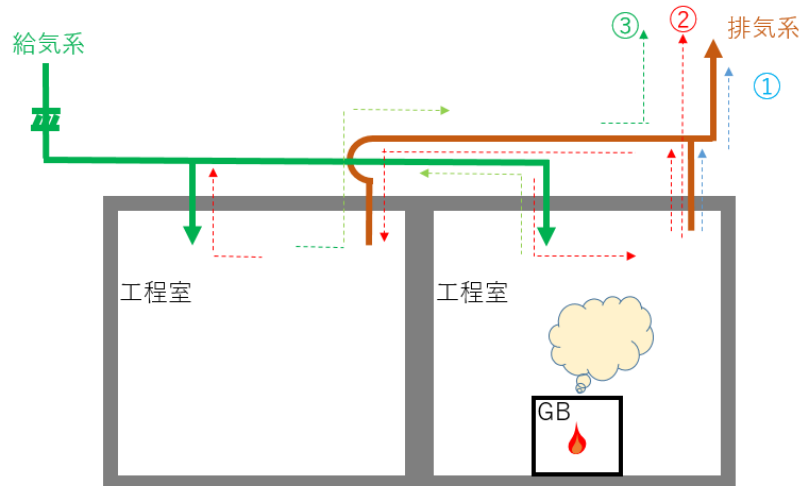


図 3-3 工程室からの移行イメージ

①のように工程室排気系から直接外部へ放出される経路のほか、②や③のように火災が発生しているグローブボックスが設置されている工程室に繋がっている他の工程室に工程室給気系又は排気系のダクトを経由して移行することも考えられるが、他の工程室がバッファの役割になり、外部への放出に対する時間遅れに繋がる。

このため、工程室に漏えいしたMOX粉末については、火災影響による工程室空気の体積膨張による駆動力で、工程室排気系を通じて外部へ放出されることを想定する。

なお、工程室給気系への逆流、工程室排気系を経由する地下3階以外への拡散については、経路上に逆止ダンパを設置することにより防止する設計としている。

4. 火災影響を受けるMOX粉末量の設定

グローブボックス内においては、MOX粉末を機器又は粉末容器で取り扱う。このうち、粉末容器については開口部が存在するため、ここから火災の上昇気流の影響により、MOX粉末が気相中へ移行することを想定する。

このため、火災影響を受けるMOX粉末量の設定にあたっては、各グローブボックスで一度に取り扱う可能性がある粉末容器中のプルトニウム量の最大値を設定する。

なお、グローブボックス内壁及び機器表面には微量のMOX粉末が付着しているが、粉末容器では65 kg～90 kgのMOX粉末を取り扱うため、これに包含されると想定する。

表4-1 火災影響を受けるMOX粉末量

| 対象 GB | 取扱容器 | 最大 Pu 富化度 [%] | 最大取扱量 [kg MOX] |
|------------------------------|---------|---------------|----------------|
| 予備混合装置 GB | J60 | 33 | 65 |
| 均一化混合装置 GB | J85 | 18 | 90 |
| 造粒装置 GB | J85 | 18 | 90 |
| 回収粉末処理・混合装置 GB ^{※1} | J60/J85 | 33/18 | 65/90 |
| 添加剤混合装置 GB A/B ^{※2} | J85 | 18 | 90 |
| プレス装置 GB A/B ^{※2} | J85 | 18 | 90 |

※1：J60 と J85 を同時に取り扱う可能性があるため、放出量評価の際は最大 Pu 富化度と最大取扱量の比より、最大 Pu 富化度 24%（最大取扱量 155 kg MOX）とみなす。

※2：添加剤混合装置 GB とプレス装置 GB は同一設計の A 系/B 系がある

5. 放出量評価

放出量評価については、それぞれの火災源、粉末容器毎に評価を行い、最後に合算値を求める。

5. 1 グローブボックス排気系経由

(1) グローブボックス内の気相への移行

- 重大事故の発生を仮定するグローブボックスそれぞれで一度に取

り扱う可能性がある粉末容器中のMOX粉末が、火災の上昇気流の影響を受け、グローブボックス中の気相へ移行する。

- 火災の上昇気流による移行率として文献を参考に1%/hと設定する。(詳細は添付1参照)
- 気相への移行が継続する時間については、表2-1で示した火災の継続時間を適用する。(約2分～約20分)

(2) グローブボックス排気系への移行

- 気相へ移行したMOX粉末は、火災の上昇気流、体積膨張の影響によりグローブボックス排気系を経由して外部へ放出される。
- グローブボックス内の各経路の圧力損失を考慮したグローブボックス排気系への移行割合として、25%を想定する。

(3) グローブボックス排気系の除染係数

- グローブボックス排気系を経由する際の除染係数として、ダクト：DF=10，高性能エアフィルタ4段：DF=10⁹を設定する。
- 経路へ移行したMOX粉末量に除染係数の逆数を乗じて、外部へ放出される放射性物質量を求める。

5. 2 工程室排気系経由 (グローブボックス給気フィルタ経由)

(1) グローブボックス内の気相への移行

- 5. 1 (1) と同様。

(2) グローブボックス給気系への移行

- 気相へ移行したMOX粉末は、火災の上昇気流、体積膨張の影響によりグローブボックス給気系を経由して工程室へ放出される。
- グローブボックス内の各経路の圧力損失を考慮したグローブボックス給気系への移行割合として、74%を想定する。

(3) グローブボックス給気系の除染係数

- グローブボックス給気系を経由する際の除染係数として、高性能エアフィルタ1段：DF=10³を設定する。

(4) 工程室排気系への移行

- 工程室に漏えいしたMOX粉末は、火災の上昇気流の影響を直接受けるわけではない。このため、工程室へのMOX粉末の漏えい量と工程室の容積から求めたMOX粉末濃度の空気が、火災影響による工程室の温度上昇で膨張した分、工程室排気系を経由して放出されることを想定する。
- 火災による温度が高い状態で工程室に漏えいした空気は上部に滞留しやすく、工程室内で濃度の勾配が生じることが想定される。放出経路となる工程室排気ダクト口が工程室の下部に設置されていることを踏まえ、工程室のMOX粉末濃度の設定は、濃度勾配を包含する条件として工程室体積で均一になったと仮定する。この場合、各火災源を発生元としたグローブボックス給気フィルタ経由

由来の工程室MOX粉末濃度は、約 0.009 mgMOX/m^3 ～約 0.1 mgMOX/m^3 である。

- 各火災源の熱量を工程室空気の与えた場合の膨張量は、約 20m^3 ～約 820m^3 である。

(5) 工程室排気系の除染係数

- グローブボックス排気系を経由する際の除染係数として、ダクト：DF=10、高性能エアフィルタ 2 段：DF= 10^4 を設定^{*}する。
- 経路へ移行したMOX粉末量に除染係数の逆数を乗じて、外部へ放出される放射性物質量を求める。

^{*}：通常、高性能エアフィルタ 2 段の除染係数を「 $3 \cdot 2$ 」でDF= 10^5 、3 段の除染係数を「 $3 \cdot 2 \cdot 2$ 」でDF= 10^7 と設定している。本経路はグローブボックス給気フィルタの除染係数としてDF= 10^3 を既に見込んでいるため、評価においては工程室排気系の高性能エアフィルタ 2 段の除染係数をDF= 10^4 と設定する。

5. 3 工程室排気系経由（グローブボックスパネル隙間経由）

(1) グローブボックス内の気相への移行

- 5. 1 (1) と同様。

(2) グローブボックスパネル隙間から工程室への移行

- 気相へ移行したMOX粉末は、火災の上昇気流、体積膨張の影響によりグローブボックスパネルの隙間を経由して工程室へ放出される。
- グローブボックス内の各経路の圧力損失を考慮したグローブボックスパネル隙間から工程室への移行割合として、1%を想定する。

(3) 工程室排気系への移行

- 工程室に漏えいしたMOX粉末は、火災の上昇気流の影響を直接受けるわけではない。このため、工程室へのMOX粉末の漏えい量と工程室の容積から求めたMOX粉末濃度の空気が、火災影響による工程室の温度上昇で膨張した分、工程室排気系を経由して放出されることを想定する。
- 火災による温度が高い状態で工程室に漏えいした空気は上部に滞留しやすく、工程室内で濃度の勾配が生じることが想定される。放出経路となる工程室排気ダクト口が工程室の下部に設置されていることを踏まえ、工程室のMOX粉末濃度の設定は、濃度勾配を包含する条件として工程室体積で均一になったと仮定する。この場合の、各火災源を発生元としたグローブボックスパネル隙間経由由来の工程室MOX粉末濃度は、約 0.1 mgMOX/m^3 ～約 2 mgMOX/m^3 である。
- 各火災源の熱量を工程室空気の与えた場合の膨張量は、約 20m^3 ～約 820m^3 である。

(4) 工程室排気系の除染係数

- グローブボックス排気系を経由する際の除染係数として、ダクト：

DF=10, 高性能エアフィルタ 2 段 : DF=10⁵ を設定する。

- 経路へ移行したMOX粉末量に除染係数の逆数を乗じて, 外部へ放出される放射性物質量を求める。

5. 4 外部への放出量

5. 1 ~ 5. 3 の経路毎に求めた外部への放出量は, セシウム 137 換算で 1.0×10^{-6} TBq であり, 100TBq を十分下回ることを確認した。
別紙 1 に放出過程の計算フローを, 別紙 2 に計算結果の詳細を示す。

5. 5 工程室に漏えいしたMOX量と工程室から外部へ放出されるMOX量の関係

本評価では, グローブボックスからの工程室への漏えい量については, 火災の上昇気流を直接受けるとして移行率 1 %/h を適用した。

工程室に漏えいした後については, MOX粉末が直接火災影響を受けるわけではないことから, 漏えいしたMOX粉末が工程室に拡散すると想定して工程室雰囲気中のMOX粉末濃度を求め, 火災影響による工程室の体積膨張量から工程室排気系に移行するMOX粉末量を算出した。

上記の評価の結果, 工程室に漏えいしたMOX粉末のうち工程室に留まる割合は, 火災規模 (発熱速度, 燃焼継続時間) により変動するが, 約 99% ~ 約 54% となった。

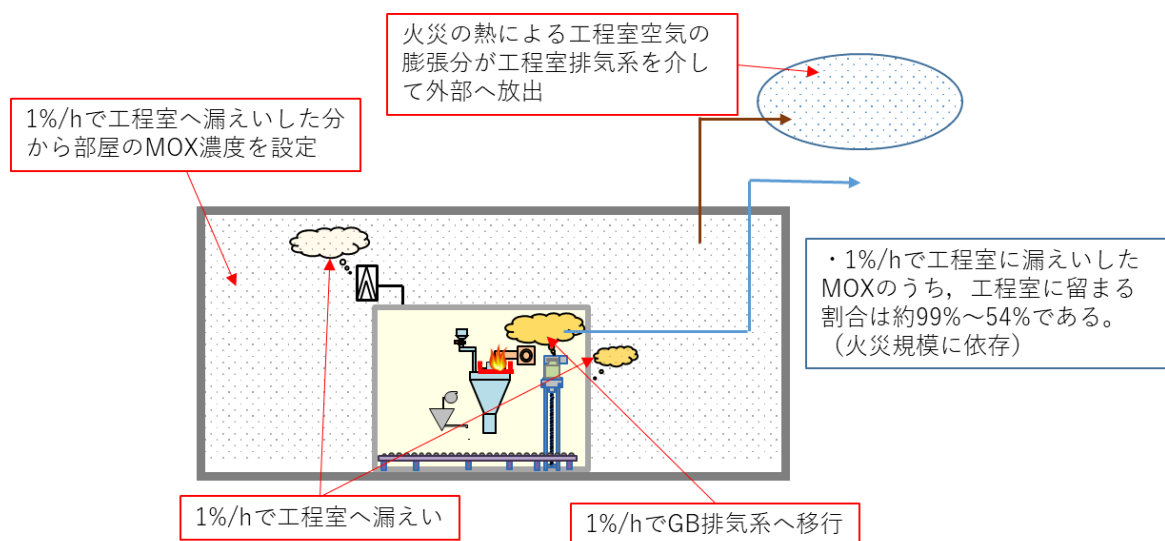


図 5 - 1 1 % / h での気相への移行と体積膨張による放出の関係

6. 放出量に係る不確かさ

6. 1 気相への移行率について

粉末容器中のMOX粉末が一律に 1 %/h で気相に移行するとしているが, 火災の上昇気流を受ける範囲は容器内のMOX粉末表層に限定される。

すなわち, 大半のMOX粉末は火災の上昇気流の影響を直接受けるこ

とはない。

影響範囲を明確に定義できないことから下振れとして整理するが、粉末容器は 60 cm 以上の高さがあり、1 桁～2 桁程度の下振れが想定される。

6. 2 グローブボックスパネル隙間を経由する工程室への漏えい

グローブボックスの設計上の漏えい率を基に評価したグローブボックスパネル隙間長さを 10 倍と評価しているが、グローブボックスパネルが健全であることも想定される。

グローブボックスパネルを経由する移行経路は、圧力損失を踏まえて 1% と設定したが、本経路が総放出量に寄与する割合は 50% 強である。

仮にグローブボックスパネルが健全であった場合、放出量が 50% 程度下振れする。また、グローブボックスの耐震性を踏まえると想定し難いが、仮にグローブボックスパネルに大開口が生じ、グローブボックスから直接工程室へ移行し、工程室排気系を経由する経路が支配的となった場合、経由する高性能エアフィルタが 1 段減るため、2 桁程度の上振れとなる。

6. 3 グローブボックス給気フィルタを経由する工程室への漏えい

本評価ではグローブボックス給気フィルタ以降の経路について、工程室へ繋がる弁が開いている又は配管が破断していることを仮定し、それぞれの圧力損失を考慮した経路毎の分配割合を表 3-2 のとおり求めている。

グローブボックス給気系が健全である場合、そもそもグローブボックス内が空気雰囲気となり火災が発生することが考え難いが、仮にグローブボックス給気系が健全であれば、グローブボックス排気系とグローブボックスパネル隙間からの移行割合が、「約 97% : 約 3%」となる。

グローブボックスパネル隙間を経由する場合、高性能エアフィルタを経由する段数が少なくなり、約 1.5 倍の上振れとなる。

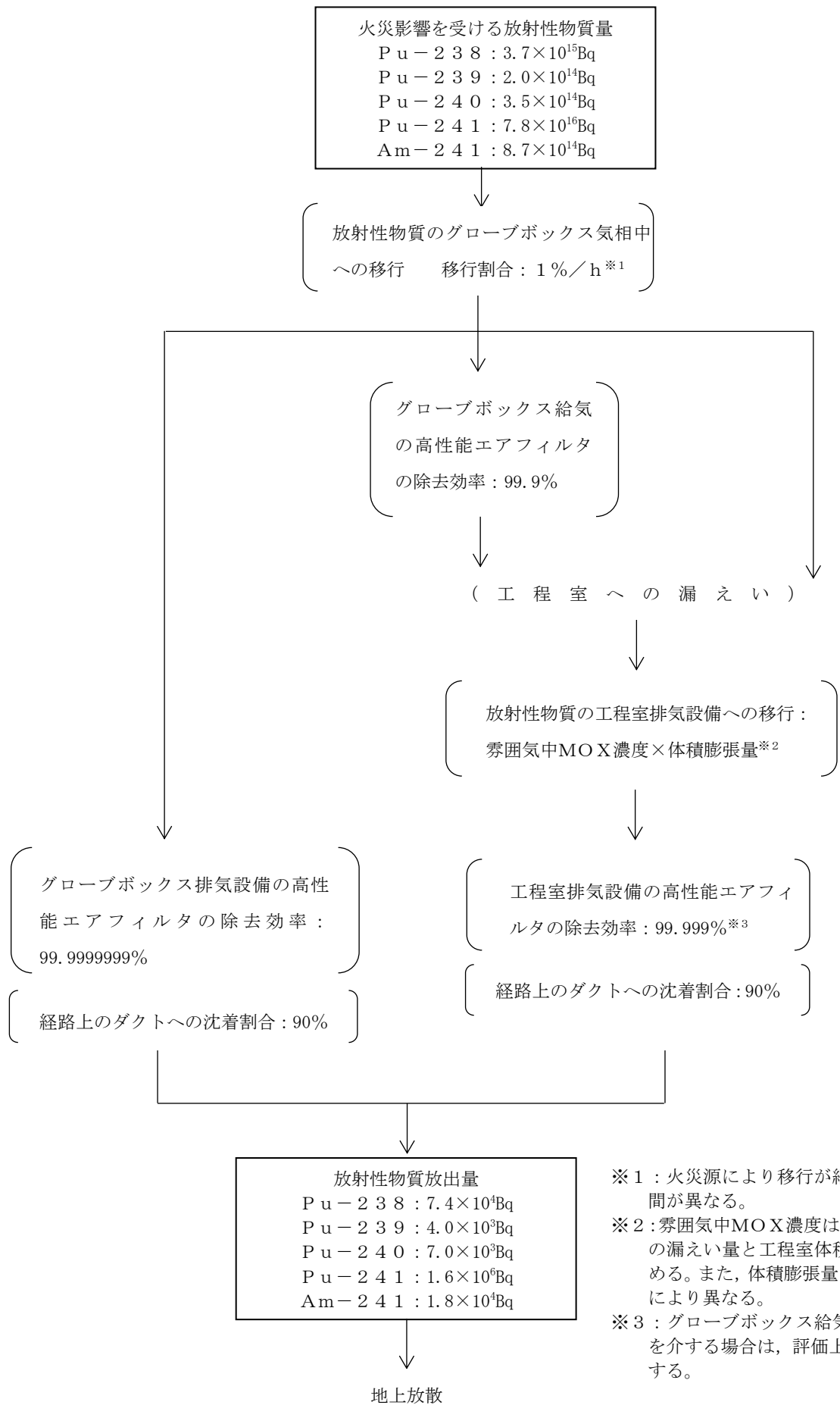
6. 4 体積膨張量の算出

工程室の温度上昇による体積膨張が最終的な放出量に寄与しているが、本評価では工程室の壁や機器への放熱を考慮していない。

また、隣室への避圧、熱の移動を考慮していない。

体積膨張量は温度に比例するため、放熱を考慮すると数倍程度の下振れを見込むことができる。

以 上



※1 : 火災源により移行が継続する時間が異なる。
 ※2 : 雰囲気中MOX濃度は、工程室への漏えい量と工程室体積により定める。また、体積膨張量は、火災源により異なる。
 ※3 : グローブボックス給気フィルタを介する場合は、評価上 99.99%とする。

放射性物質の大気放出過程

経路別の放出量計算詳細 (1 / 2)

| GB (火災源) 名称 | 工程室名称 | 移行経路 | 工程室体積 (m ³) | 火災継続時間 (s) | 膨張体積 (m ³) | MOX粉末量 (kg) | HM換算係数 | Pu富化度 | Pu質量(g) | 体積膨張率 (m ³ /s) | 工程室雰囲気濃度 (g MOX/m ³) | 気相への移行率 | 経路への移行割合 | GB排気フィルタ除染係数 | ダクト除染係数 | Pu放出量 (g・Pu) |
|----------------|-----------|--------|-------------------------|------------|------------------------|-------------|--------|-------|---------|---------------------------|----------------------------------|----------|----------|--------------|----------|--------------|
| 予備混合装置 GB | 粉末調整第2室 | GB排気系 | 910 | 260 | - | 65 | 0.882 | 0.33 | 18900 | - | - | 7.22E-04 | 0.25 | 1.00E-09 | 0.1 | 3.41E-10 |
| | | GB給気系 | | 260 | 92.6 | 65 | 0.882 | 0.33 | 18900 | 0.36 | 3.87E-05 | - | 0.74 | - | 0.1 | 3.58E-08 |
| | | パネル開口部 | | 260 | 92.6 | 65 | 0.882 | 0.33 | 18900 | 0.36 | 5.16E-04 | - | 0.01 | - | 0.1 | 4.78E-08 |
| 均一化混合装置 GB | 粉末調整第5室 | GB排気系 | 1790 | 866 | - | 90 | 0.882 | 0.18 | 14300 | - | - | 2.41E-03 | 0.25 | 1.00E-09 | 0.1 | 8.60E-10 |
| | | GB給気系 | | 866 | 149.3 | 90 | 0.882 | 0.18 | 14300 | 0.17 | 9.07E-05 | - | 0.74 | - | 0.1 | 1.35E-07 |
| | | パネル開口部 | | 866 | 149.3 | 90 | 0.882 | 0.18 | 14300 | 0.17 | 1.21E-03 | - | 0.01 | - | 0.1 | 1.81E-07 |
| 造粒装置 GB ① | 粉末調整第5室 | GB排気系 | 1790 | 1191 | - | 90 | 0.882 | 0.18 | 14300 | - | - | 3.31E-03 | 0.25 | 1.00E-09 | 0.1 | 1.18E-09 |
| | | GB給気系 | | 1191 | 821.2 | 90 | 0.882 | 0.18 | 14300 | 0.69 | 1.25E-04 | - | 0.74 | - | 0.1 | 1.02E-06 |
| | | パネル開口部 | | 1191 | 821.2 | 90 | 0.882 | 0.18 | 14300 | 0.69 | 1.66E-03 | - | 0.01 | - | 0.1 | 1.37E-06 |
| 造粒装置 GB ② | 粉末調整第5室 | GB排気系 | 1790 | 229 | - | 90 | 0.882 | 0.18 | 14300 | - | - | 6.36E-04 | 0.25 | 1.00E-09 | 0.1 | 2.27E-10 |
| | | GB給気系 | | 229 | 20.1 | 90 | 0.882 | 0.18 | 14300 | 0.09 | 2.40E-05 | - | 0.74 | - | 0.1 | 4.81E-09 |
| | | パネル開口部 | | 229 | 20.1 | 90 | 0.882 | 0.18 | 14300 | 0.09 | 3.20E-04 | - | 0.01 | - | 0.1 | 6.42E-09 |
| 回収粉末処理・混合装置 GB | 粉末調整第7室 | GB排気系 | 1330 | 260 | - | 155 | 0.882 | 0.24 | 32800 | - | - | 7.22E-04 | 0.25 | 1.00E-09 | 0.1 | 5.92E-10 |
| | | GB給気系 | | 260 | 92.6 | 155 | 0.882 | 0.24 | 32800 | 0.36 | 6.31E-05 | - | 0.74 | - | 0.1 | 5.84E-08 |
| | | パネル開口部 | | 260 | 92.6 | 155 | 0.882 | 0.24 | 32800 | 0.36 | 8.42E-04 | - | 0.01 | - | 0.1 | 7.79E-08 |
| 添加剤混合装置 A GB | ペレット加工第1室 | GB排気系 | 2380 | 260 | - | 90 | 0.882 | 0.18 | 14300 | - | - | 7.22E-04 | 0.25 | 1.00E-09 | 0.1 | 2.58E-10 |
| | | GB給気系 | | 260 | 92.6 | 90 | 0.882 | 0.18 | 14300 | 0.36 | 2.05E-05 | - | 0.74 | - | 0.1 | 1.92E-08 |
| | | パネル開口部 | | 260 | 92.6 | 90 | 0.882 | 0.18 | 14300 | 0.36 | 2.73E-04 | - | 0.01 | - | 0.1 | 2.56E-08 |
| 添加剤混合装置 B GB | | GB排気系 | 2380 | 260 | - | 90 | 0.882 | 0.18 | 14300 | - | - | 7.22E-04 | 0.25 | 1.00E-09 | 0.1 | 2.58E-10 |
| | | GB給気系 | | 260 | 92.6 | 90 | 0.882 | 0.18 | 14300 | 0.36 | 2.05E-05 | - | 0.74 | - | 0.1 | 1.90E-08 |
| | | パネル開口部 | | 260 | 92.6 | 90 | 0.882 | 0.18 | 14300 | 0.36 | 2.73E-04 | - | 0.01 | - | 0.1 | 2.53E-08 |
| プレス装置 A GB | | GB排気系 | 2380 | 109 | - | 90 | 0.882 | 0.18 | 14300 | - | - | 3.03E-04 | 0.25 | 1.00E-09 | 0.1 | 1.08E-10 |
| | | GB給気系 | | 109 | 85.3 | 90 | 0.882 | 0.18 | 14300 | 0.78 | 8.59E-06 | - | 0.74 | - | 0.1 | 7.33E-09 |
| | | パネル開口部 | | 109 | 85.3 | 90 | 0.882 | 0.18 | 14300 | 0.78 | 1.14E-04 | - | 0.01 | - | 0.1 | 9.77E-09 |
| プレス装置 B GB | GB排気系 | 2380 | 109 | - | 90 | 0.882 | 0.18 | 14300 | - | - | 3.03E-04 | 0.25 | 1.00E-09 | 0.1 | 1.08E-10 | |
| | GB給気系 | | 109 | 85.3 | 90 | 0.882 | 0.18 | 14300 | 0.78 | 8.59E-06 | - | 0.74 | - | 0.1 | 7.33E-09 | |
| | パネル開口部 | | 109 | 85.3 | 90 | 0.882 | 0.18 | 14300 | 0.78 | 1.14E-04 | - | 0.01 | - | 0.1 | 9.77E-09 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | 合計 | 3.06E-06 |

経路別の放出量計算詳細 (2 / 2)

| 放出量 | 核種 | 原料組成 (wt%) | 比放射能 (Bq/g・HM) | MAR (Bq) | DR | ARF | RF | LPF | 放出量 (Bq) | χ/Q (s/m3) | R (m3/s) | H (Sv/Bq) | 被ばく線量 (mSv) |
|------------|----------|-----------------------|----------------|----------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|-----------|----------------|-----------------|-------------|-----------|-------------|
| kg・MOX | Pu-238 | 3.80 | 6.342E+11 | 7.39E+04 | 1 | 1.0E+00 | 1 | 1.00E+00 | 7.39E+04 | 8.10E-05 | 0.000333333 | 1.60E-05 | 0.0000319 |
| | Pu-239 | 55.60 | 2.297E+09 | 3.91E+03 | 1 | 1.0E+00 | 1 | 1.00E+00 | 3.91E+03 | 8.10E-05 | 0.000333333 | 1.60E-05 | 0.0000017 |
| 富化度 | Pu-240 | 27.30 | 8.402E+09 | 7.03E+03 | 1 | 1.0E+00 | 1 | 1.00E+00 | 7.03E+03 | 8.10E-05 | 0.000333333 | 1.60E-05 | 0.0000030 |
| | Pu-241 | 13.30 | 3.827E+12 | 1.56E+06 | 1 | 1.0E+00 | 1 | 1.00E+00 | 1.56E+06 | 8.10E-05 | 0.000333333 | 1.70E-07 | 0.0000072 |
| Pu量 (g・HM) | Am-241 | 4.50 | 1.271E+11 | 1.75E+04 | 1 | 1.0E+00 | 1 | 1.00E+00 | 1.75E+04 | 8.10E-05 | 0.000333333 | 1.60E-05 | 0.0000076 |
| 3.065E-06 | | | | | | | | | Pu放出放射能合計 | 1.66E+06 | | 敷地境界被ばく量 | 0.0000514 |
| 核種 | 放出放射能 | IAEA TECDOC 50year | Cs137との比 | ICRP Pub72 預託換算係数 | IAEA TECDOC 預託換算係数 | IAEA TECDOC 呼吸率 | IAEA TECDOC 預託換算係数 | ICRP/IAEA | Cs137 換算係数比 | Cs137 換算放射能 | | | |
| | (Bq) | (mSv/kBq/m2) | | (Sv/Bq)TypeS | nSv/h)/(kBq/m) | (m3/h) | (Sv/Bq) | | | (Bq) | | | |
| Pu-238 | 7.39E+04 | 6.60E+00 | 5.08E+01 | 1.60E-05 | 1.70E+02 | 1.50E+00 | 1.13E-04 | 1.41E-01 | 7.17E+00 | 5.29E+05 | | | |
| Pu-239 | 3.91E+03 | 8.50E+00 | 6.54E+01 | 1.60E-05 | 1.80E+02 | 1.50E+00 | 1.20E-04 | 1.33E-01 | 8.72E+00 | 3.41E+04 | | | |
| Pu-240 | 7.03E+03 | 8.40E+00 | 6.46E+01 | 1.60E-05 | 1.80E+02 | 1.50E+00 | 1.20E-04 | 1.33E-01 | 8.62E+00 | 6.06E+04 | | | |
| Pu-241 | 1.56E+06 | 1.90E-01 | 1.46E+00 | 1.70E-07 | 3.50E+00 | 1.50E+00 | 2.33E-06 | 7.29E-02 | 1.06E-01 | 1.66E+05 | | | |
| Am-241 | 1.75E+04 | 6.70E+00 | 5.15E+01 | 1.60E-05 | 1.40E+02 | 1.50E+00 | 9.33E-05 | 1.71E-01 | 8.84E+00 | 1.55E+05 | | | |
| | | | | | | | | | | 9.45E+05 | 9.45E-07 | TBq | |