

【公開版】

# 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

重大事故等への対処と有効性評価の概要



日本原燃株式会社

令和2年6月18日

# 目次



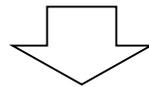
1. 重大事故の特徴及びその対策
  1. 1 重大事故対処の基本方針
  1. 2 平常運転時から重大事故等対処までの流れ
  1. 3 重大事故の特徴及び有効性評価の代表
  1. 4 対策の考え方
  1. 5 具体的対策及び重大事故等対処設備の整備
  1. 6 重大事故等対処設備の設計方針
2. 評価手法及び結果並びに不確かさの影響評価
  2. 1 評価手法
  2. 2 有効性評価の結果
  2. 3 不確かさの影響評価及び同時・連鎖の検討
3. 必要な要員及び燃料等
4. 核燃料物質等を閉じ込める機能の喪失に対処するための手順等
5. 重大事故対処の体制について
- 添付1 火災規模の評価
- 添付2 放出量評価の詳細(外的事象)
- 添付3 放出量評価の詳細(内的事象)
- 添付4 放出量評価の詳細(設計基準事故)
- 添付5 内的事象(多重故障)の代表事例
- 参考1 グローブボックスのインベントリ量の設定及び火災源との位置関係

# 1. 重大事故の特徴及びその対策

## 1. 1 重大事故対処の基本方針



MOX燃料加工施設の重大事故は、核燃料物質等を閉じ込める機能の喪失として、火災を駆動力とし、外部へ多量の放射性物質が放出される事象を選定した。

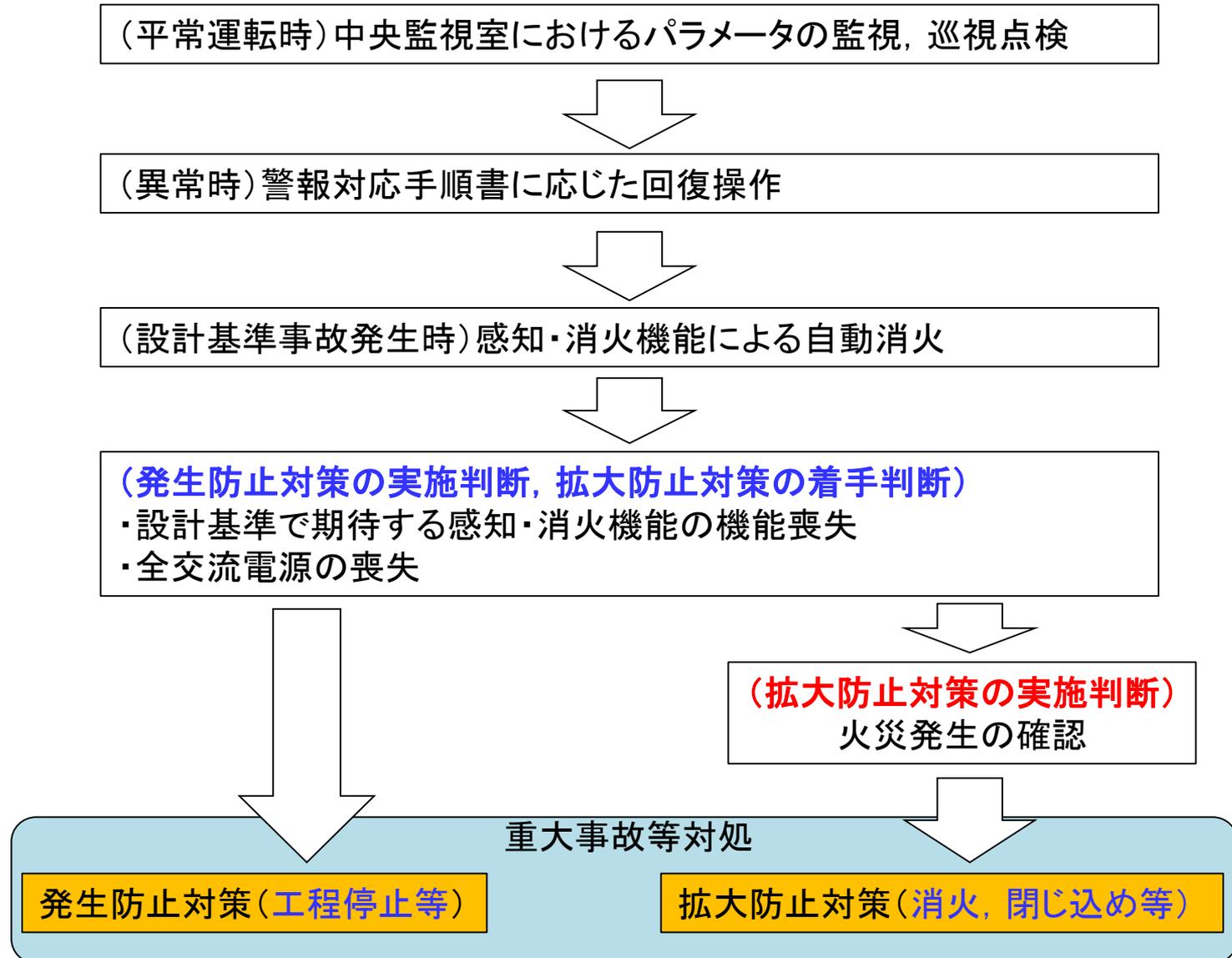


MOX燃料加工施設における重大事故対処は、**放射性物質が外部へ放出されることを防止するため**、以下を基本方針とする。

- ▶ 消火・・・核燃料物質等を外部に放出する駆動力となる火災を消火すること
- ▶ 閉じ込め・・・核燃料物質等を可能な限り閉じ込めること
- 重大事故の対処は火災の確認により開始する。
- 感知・消火機能の機能喪失により、火災の確認ができない場合においても、火災の発生箇所を最小限に留めることを目的として工程停止等の操作を実施する。本対策は消火及び閉じ込めに直接寄与しないため、有効性評価の対象とはしないが、発生防止対策として位置づける。
- 消火及び閉じ込めの対処が完了した後に施設をより安定な状態とするため、核燃料物質の回収と閉じ込める機能の回復を実施する。

# 1. 重大事故の特徴及びその対策

## 1.2 平常運転時から重大事故等対処までの流れ



# 1. 重大事故の特徴及びその対策

## 1.3 重大事故の特徴及び有効性評価の代表



### <重大事故の特徴>

- 露出したMOX粉末を取り扱い、潤滑油を有するグローブボックス(以下、「重大事故の発生を仮定するグローブボックス」)において、潤滑油がオイルパン上に漏えいし、火災が発生した場合、火災発生に伴う上昇気流により、周囲の核燃料物質がグローブボックス内の気相中に移行する可能性がある。



- 火災が継続している間は、グローブボックス内の温度上昇により、グローブボックス内の気体の体積が膨張するため、体積膨張した分の核燃料物質を含んだ気体は、大気と直接繋がる経路であるグローブボックス排気設備を介して大気中へ放出される可能性がある。さらに、グローブボックスが損傷又は送排風機が停止している場合は、工程室内に漏えいする可能性がある。



- 工程室内に漏えいした核燃料物質は、火災の上昇気流を直接受けないが、重大事故の発生を仮定するグローブボックス内の火災に伴う工程室内の温度上昇及び体積膨張も加わり、工程室排気設備を介して大気中へ放出される可能性がある。

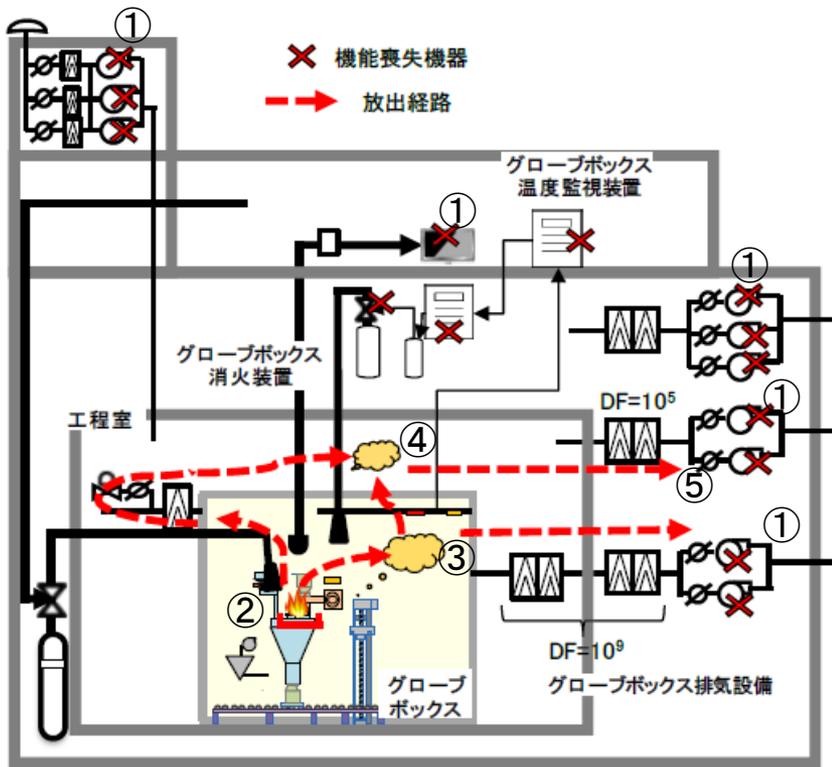
### <有効性評価の代表>

- 重大事故の発生を仮定するグローブボックスとして8基での火災の発生を仮定する。
- これらが発生する要因のうち地震は、機器の機能喪失の範囲が広いこと、重大事故等への対処時の作業環境が悪いこと等から、有効性評価の代表とする。

# 1. 重大事故の特徴及びその対策

## 1.3 重大事故の特徴及び有効性評価の代表

### <重大事故の特徴を踏まえた核燃料物質の放出経路>



外的事象

- ①: 地震発生と同時に、動的機器が機能喪失。
- ②: 地震発生と同時に火災が発生すると仮定。
- ③: 火災影響により、グローブボックスの気相中に核燃料物質が移行。
- ④: グローブボックス給気フィルタ又はグローブボックスの損傷部を經由して、工程室の気相中に核燃料物質が移行。
- ⑤ 工程室の温度上昇(空気の体積膨張)により、工程室排気設備を經由して放出される。

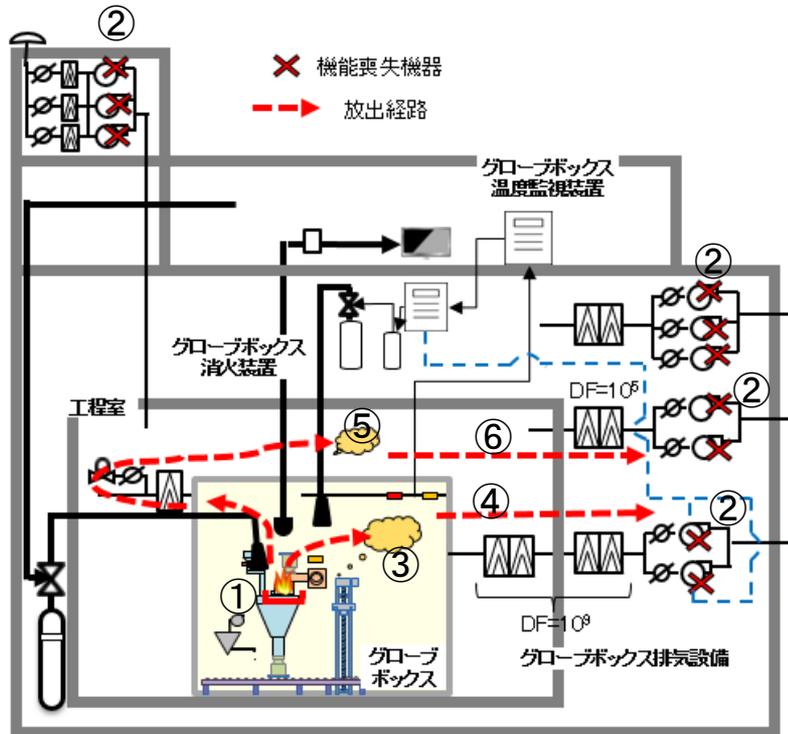
・グローブボックスから工程室への漏えい経路は、グローブボックス給気フィルタ経由、グローブボックス損傷部のいずれかが考えられるが、放出量評価上は保守的にグローブボックス損傷部からの漏えいを主経路とし、核燃料物質の雰囲気中濃度と体積膨張量から放出量を算定した。

・グローブボックス排気設備を經由する放出経路もありえるが、工程室排気設備のダクト開口面積がグローブボックス排気設備のダクト開口面積より大きいことを踏まえ、工程室排気設備経由が支配的と想定する。

# 1. 重大事故の特徴及びその対策

## 1.3 重大事故の特徴及び有効性評価の代表

### ＜重大事故の特徴を踏まえた核燃料物質の放出経路＞



内的事象

①: 火災の発生。

②: 重大事故等対処設備である火災確認用温度計により、火災を検知。この際、送排風機の多重故障により、設計基準の感知・消火設備が起動できない状態を想定する。

③: 火災影響により、グローブボックスの気相中に核燃料物質が移行。

④一部は、グローブボックス排気設備を経由して放出される。

⑤: 一部は、グローブボックス給気フィルタを経由して、工程室の気相中に核燃料物質が移行。

⑥: 工程室の温度上昇(空気の体積膨張)により、工程室排気設備を経由して放出される。

- ・グローブボックスから工程室への漏えいについては、グローブボックス給気フィルタ経由を考慮した核燃料物質の雰囲気中濃度と体積膨張量から放出量を算定した。
- ・グローブボックス排気設備のダクト開口面積とグローブボックス給気フィルタ側のダクト開口面積は同等であるため、それぞれ均等に移行すると想定した。

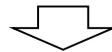
# 1. 重大事故の特徴及びその対策

## 1.4 対策の考え方



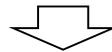
MOX燃料加工施設における重大事故の特徴を踏まえた対策は以下のとおり。

- ① 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、**火災が継続すると、グローブボックス内の核燃料物質が火災影響により気相中に飛散し、さらに工程室内に漏えいするおそれがある。**



速やかに火災発生の確認及び火災の消火ができる「核燃料物質の飛散又は漏えいの原因となる火災を消火するための設備」を整備する。

- ② 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継続している間は、一部は**グローブボックス排気設備及び工程室排気設備から大気中へ放出されるおそれがある。**



放出経路を速やかに閉止できる「燃料加工建屋外への核燃料物質の漏えいを防止するための設備」を整備する。

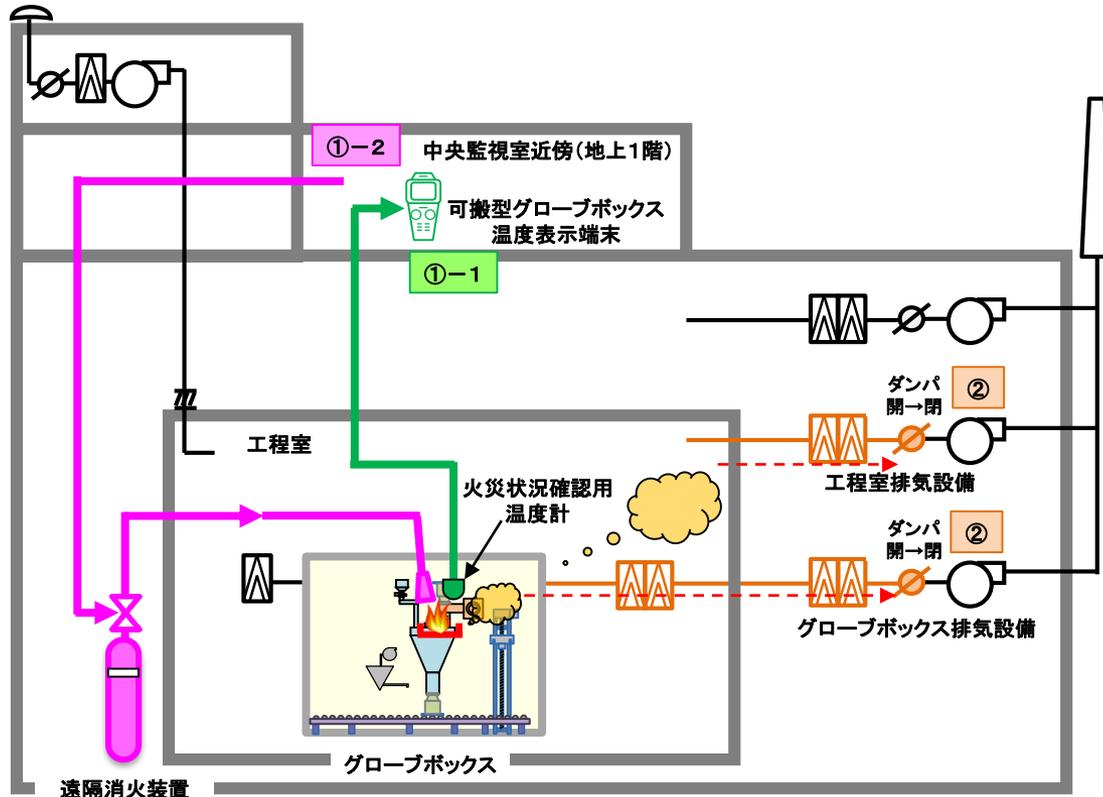
- ③ 上記対策により工程室内に留めた核燃料物質は、そのままの状態では仮に新たな駆動力が発生した場合に更なる大気中への放出の原因となることから、核燃料物質を回収し、施設をより安定な状態とするため、「飛散又は漏えいした核燃料物質を回収するための設備」を整備する。

- ④ 回収作業の完了後、平常時にグローブボックス及び工程室は排気機能との組み合わせにより閉じ込めていることを踏まえ、施設をより安定な状態とするため、グローブボックス排気設備の排気機能を回復することができる「閉じ込める機能を回復するための設備」を整備する。

# 1. 重大事故の特徴及びその対策

## 1.5 具体的対策及び重大事故等対処設備の整備

分類	No.	主な重大事故等対処設備	概要
核燃料物質の飛散 又は漏えいの原因 となる火災を消火 するための設備	①-1	火災状況確認用温度計	グローブボックス内の火災源近傍の温度を測定 (测温抵抗体)
		可搬型グローブボックス温度表示端末	中央監視室近傍に設置する火災状況確認用温度計の端子盤 に接続し、温度を表示(テスター)
	①-2	遠隔消火装置	中央監視室近傍からの遠隔操作により、消火剤を放出
燃料加工建屋外へ の核燃料物質の 漏えいを防止する ための設備	②	グローブボックス排気設備のダクト・ ダンパ・高性能エアフィルタ	地下1階の排風機室に設置するダンパによる放出経路の閉止 及び高性能エアフィルタによる放出量低減
		工程室排気設備のダクト・ダンパ・ 高性能エアフィルタ	地下1階の排風機室に設置するダンパによる放出経路の閉止 及び高性能エアフィルタによる放出量低減



### ①-1 核燃料物質の飛散防止(火災の感知)

喪失した火災の感知機能を代替する設備(火災状況確認用温度計等)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)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。

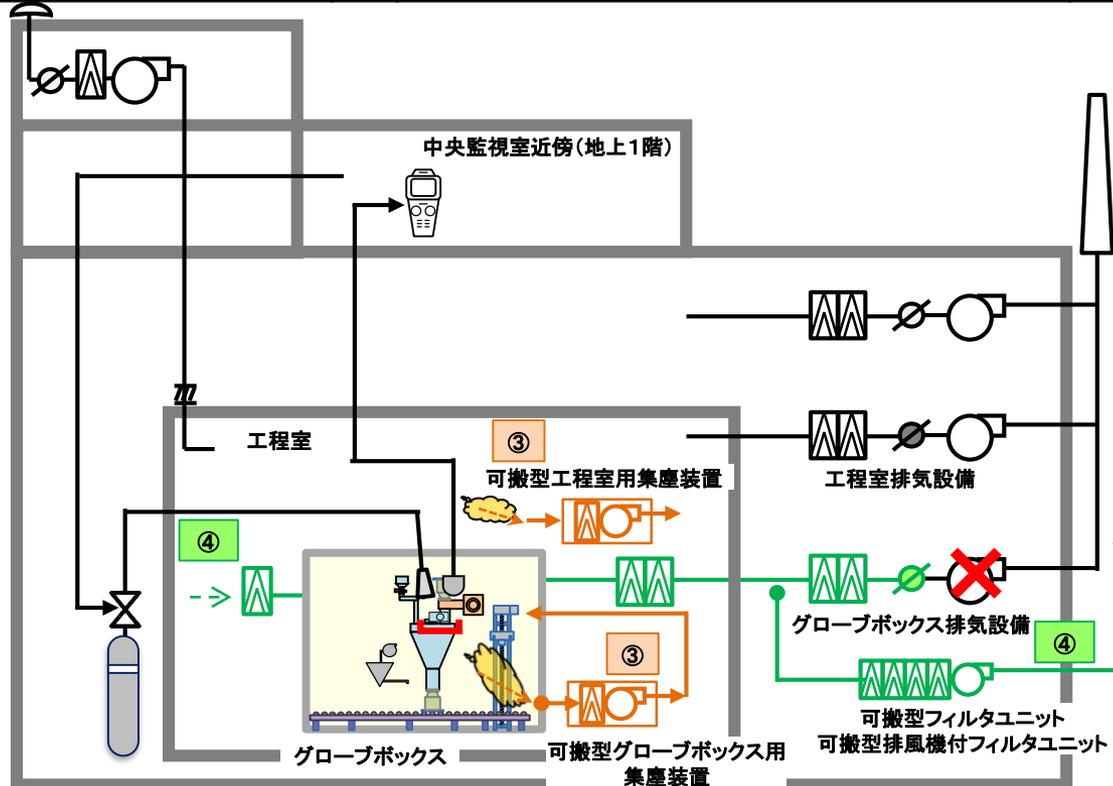
### ② 核燃料物質の漏えい防止(放出経路の閉止)

- ・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、ダンパを閉止する。
- ・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。

# 1. 重大事故の特徴及びその対策

## 1.5 具体的対策及び重大事故等対処設備の整備

分類	No.	主な重大事故等対処設備	概要
飛散又は漏えいした核燃料物質を回収するための設備	③	可搬型グローブボックス用集塵装置	グローブボックス内又は工程室内の気相中に存在する微粒子のMOX粉末を高性能エアフィルタで捕集することにより回収
		可搬型工程室用集塵装置	床面については、濡れウェス等の資機材により拭き取ることにより回収する
		—	グローブボックス内及び工程室内の気相中のMOX粉末が十分に回収されたことを確認
閉じ込める機能を回復するための設備	④	可搬型フィルタユニット, 可搬型排風機付フィルタユニット, 可搬型ダクト	グローブボックス排気設備の代替機能として, グローブボックス及び工程室の排気機能を確保



### ③ 飛散又は漏えいした核燃料物質の回収

- ・可搬型グローブボックス集塵装置をグローブボックスに接続し、グローブボックス内を循環させ、飛散した核燃料物質を高性能エアフィルタで捕集することにより回収する。
- ・工程室内も同様に、可搬型工程室集塵装置により回収する。
- ・工程室内の床に飛散又は漏えいしている核燃料物質は、濡れウェスによる拭き取り等、資機材を用いて回収する。

### ④ 閉じ込める機能の回復

- ・気相中の回収作業の完了後、MOX燃料加工施設をより安定な状態に復旧するため、喪失したグローブボックス排気機能を代替する設備(可搬型排風機付フィルタユニット等)により、グローブボックス及び工程室の排気機能を回復する。
- ・グローブボックス排気系の機能回復により工程室の排気機能も確保する。

# 1. 重大事故の特徴及びその対策

## 1.6 重大事故等対処設備の設計方針



	27条 設計方針展開	29条 設計方針
多様性	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計基準事故に対処するための設備と共通要因により同時にその機能が損なわれるおそれがない設計</li> <li>内的事象を要因とする重大事故等へ対処する安全上重要な施設以外の安全機能を有する施設と兼用する常設重大事故等対処設備の損傷を考慮し、代替設備による機能確保、修理、関連する工程の停止等により、その機能を確保</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔消火装置や火災状況確認用温度計等は、設計基準事故に対処するための設備と共通要因によって同時にその機能の損なわれるおそれがない設計</li> <li>排気モニタ等は、自然現象、人為事象、溢水、火災及び内部発生飛散物により機能が損なわれる場合、代替設備による機能の確保、修理、関連する工程の停止等の対応</li> </ul>
位置的分散	<ul style="list-style-type: none"> <li>屋外に保管する可搬型重大事故等対処設備は、設置される建屋の外壁から100m以上の離隔距離を確保した場所に保管、異なる場所にも保管</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>可搬型グローブボックス温度表示装置等は、燃料加工建屋から100m以上の離隔距離を確保した外部保管エリアに保管し、燃料加工建屋にも保管</li> </ul>
悪影響防止	<ul style="list-style-type: none"> <li>弁等の操作によって安全機能を有する施設として使用する系統構成から重大事故等対処設備としての系統構成とすること、他の設備から独立して単独で使用可能なこと等により、他の設備に悪影響を及ぼさない設計</li> <li>竜巻により飛来物となることを考慮し、屋外に保管する可搬型重大事故等対処設備は固縛等の措置で、他の設備に悪影響を及ぼさない設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>グローブボックス排気ダクト等はダンパ操作によって、安全機能を有する施設として使用する系統構成から対処としての系統構成として使用</li> <li>遠隔消火装置や可搬型グローブボックス用集塵装置等は、他の設備から独立して単独で使用可能な設計</li> <li>可搬型グローブボックス用集塵装置等は内部発生飛散物を防ぐことや、竜巻による飛来物とならないよう固縛等の措置を講ずる設計</li> </ul>
個数及び容量等	<ul style="list-style-type: none"> <li>系統の目的に応じて必要な個数及び容量を有する設計</li> <li>予備として故障時のバックアップ及び点検保守による待機除外時のバックアップを合わせて必要数以上確保</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔消火装置は、消火するために必要な消火剤量を有する設計及び当該系統の範囲ごとに対処に必要な設備を1セット確保</li> <li>可搬型グローブボックス用集塵装置等はフィルタの捕集能力を有する設計及び必要数、予備として故障時及び保守点検による待機除外時のバックアップを確保</li> </ul>
環境条件等	<ul style="list-style-type: none"> <li>火災により上昇する温度の影響により必要な機能を損なわない設計</li> <li>基準地震動の1.2倍の地震力に対して必要な機能が損なわれない設計</li> <li>溢水に対して、機能を損なわない高さへの設置、被水防護を行う</li> <li>屋内の常設重大事故等対処設備は、外部からの衝撃による損傷を防止できる建屋等に設置</li> <li>屋外の可搬型重大事故等対処設備は、転倒防止、固縛等の措置を講じて保管する設計</li> <li>可搬型重大事故等対処設備は、内部発生飛散物に対して影響を受けない位置へ保管</li> <li>線量率の高くなるおそれの少ない場所の選定、遠隔で操作可能な設計</li> <li>可搬型重大事故等対処設備は、設置及び常設設備との接続が可能な設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔消火装置等は、使用場所における環境条件(温度等)を考慮しても機能を損なわない設計</li> <li>遠隔消火装置やグローブボックス排気ダクト等は基準地震動を1.2倍にした地震力を考慮</li> <li>遠隔消火装置や可搬型フィルタユニット等は、溢水量を考慮し、影響を受けない高さへの設置及び被水防護する設計</li> <li>遠隔消火装置等は、外部からの衝撃による損傷を防止できる燃料加工建屋に設置し、風(台風)等により機能を損なわない設計</li> <li>可搬型グローブボックス用集塵装置等は、風(台風)及び竜巻による風荷重を考慮し、転倒防止、固縛等の措置を講じて保管する設計</li> <li>可搬型グローブボックス温度表示端末等は、内部発生飛散物の影響を受けない場所に保管する設計</li> <li>遠隔消火装置や可搬型グローブボックス温度表示端末等は、線量率の高くなるおそれの少ない場所の選定、遠隔で操作可能な設計</li> <li>可搬型グローブボックス温度表示端末等は、常設設備との接続が可能な設計</li> </ul>
操作性	<ul style="list-style-type: none"> <li>通常時に使用する系統から速やかに切替操作が可能な設計</li> <li>可搬型重大事故等対処設備と常設設備との接続は、速やかに容易にかつ簡便な接続方式を用いる設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>グローブボックス排気ダクト等は通常時に使用する系統から速やかに切り替え可能な設計</li> <li>可搬型グローブボックス温度表示端末と火災状況確認用温度計等は、速やかに容易かつ確実に接続が可能又は簡便な接続方式を用いる設計</li> </ul>
試験・検査性	<ul style="list-style-type: none"> <li>加工施設の運転中又は停止中に必要な箇所の点検保守、試験又は検査を実施できる構造</li> <li>多様性又は多重性を備えた系統及び機器は、独立して試験又は検査ができる設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>グローブボックス排気フィルタ等は、加工施設の運転中又は停止中に差圧の確認によりフィルタの目詰まりがないことの確認が可能な設計</li> <li>遠隔消火装置等は、加工施設の運転中又は停止中に独立して外観点検が可能な設計</li> </ul>

## 2. 評価手法及び結果並びに不確かさの影響評価

### 2.1 評価手法

#### 1. 評価の考え方

- 核燃料物質の気相への移行を防止するため、駆動力である火災の検知及び消火が可能であることを評価する。
- 火災により気相へ移行した核燃料物質を可能な限りグローブボックス及び工程室内に留めることができるかについて確認するため、経路上のダンパを早期に閉止し、その状態を維持できることについて評価する。
- 閉じ込め及び消火の完了後、工程室内に留めた核燃料物質は、仮に新たな駆動力が発生した場合、更なる漏えいの原因となることから、核燃料物質を回収及び閉じ込める機能の回復により、施設をより安定な状態とし、外部への放出量の観点で平常時と同等の環境を構築できることを確認する。上記の拡大防止対策を踏まえて、放射性物質の気相への移行量、放出経路の除染係数等を考慮し、総放出量を評価する。放出量評価の範囲は、火災発生から消火・ダンパ閉止までの期間とする。

#### 2. 事故条件

- 重大事故の発生を仮定するグローブボックス8基における同時発生を考慮する。火災源として想定する潤滑油量は、機器内で取り扱う最大値をグローブボックス毎に設定する。
- 基準地震動の1.2倍の地震動を考慮した際に機能維持できる設計としているもの以外は機能喪失を考慮し、動的機器は耐震性によらず機能喪失を想定する。

#### 3. 機器条件

- 消火に使用する遠隔消火装置は、消火対象の面積等に応じて必要な消火剤量を放出する。
- 排気経路上に設置するダンパは、空気の流れを遮断できる性能を有する。
- 気相中に移行した核燃料物質の回収に用いる集塵装置は、高性能エアフィルタを有し、気相中の核燃料物質の回収に必要な風量を有する。
- 閉じ込める機能の回復に用いる排風機は、対象範囲のグローブボックス及び工程室の気流を確保するための排気風量を有する。
- 重大事故の発生を仮定するグローブボックスが保有する核燃料物質量は、単一ユニットの運転管理値の上限値を設定する。

## 2. 評価手法及び結果並びに不確かさの影響評価



### 2.1 評価手法

#### 4. 操作条件

- 地震と同時に火災が発生し、放射性物質の外部への放出が開始することを想定する。また、地震による不感時間として10分を想定する。
- 火災発生箇所の特定及び消火は、4名で10分で完了する。本操作により、放射性物質の外部への放出は停止する。ダンパ閉止は、2名で10分で完了する。
- 回収・回復操作は、閉じ込め操作が完了し、駆動力となりうる火災の消火が完了した後であり、時間の制限は設けないが、消火の完了次第、可能な限り早期に着手する。

#### 5. 放出量評価の条件

- 重大事故の発生を仮定するグローブボックス内において、核燃料物質は機器又は粉末容器に収納されており、直接火災影響を受けることはないが、粉末容器の転倒等により、粉末容器が保有する核燃料物質が火災影響を受けることを想定する。
- 火災影響により気相へ移行した核燃料物質が、重大事故の発生を仮定するグローブボックスのパネルや、他グローブボックスとの連結部の損傷部から、工程室に漏えいすることを想定する。
- 火災の熱影響により膨張した分の工程室の空気が、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ダクトを通じて外部へ放出されることを想定する。
- 工程室に漏えいしたMOX粉末を含む空気は、直接的に火災の上昇気流を受けるものではなく、この際の空気中のMOX粉末の濃度は文献を参考に、 $100\text{mgMOX}/\text{m}^3$ と設定する。
- 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 $10^5$ を設定する。また、ダクト長を踏まえた除染係数10を設定する。
- 放射性物質の放出量は、セシウム-139換算を行う。

#### 6. 判断基準

- 可能な限り早期に火災及びダンパ閉止ができること。
- 気相中に移行した核燃料物質を回収することにより平常時と同等の環境を構築できること。
- 代替換気設備によりグローブボックス及び工程室の気流の流れを確保できること。
- 総放出量が $100\text{TBq}$ 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。

## 2. 評価手法及び結果並びに不確かさの影響評価



### 2. 2 有効性評価の結果

#### <対処の有効性>

- 火災を判断するための可搬型グローブボックス温度表示端末を設置し、可搬型グローブボックス温度表示端末の指示値が60°Cを超え、火災と判断した場合には、遠隔消火装置の起動操作を行う。本操作は、地震発生後20分以内に完了する。本操作により、駆動力の原因となる火災を消火できる。
- 遠隔消火装置は、動的機器を必要としないシンプルな起動原理とし、消火対象の面積等に応じて局所消火のために必要な消火剤量を供給することから、確実に消火が可能である。
- ダンパ閉止操作は、地震発生後20分以内に完了する。手動による簡便な操作であり、閉止後はその状態を維持できる構造であり、本操作により外部への放射性物質の放出経路を遮断できる。
- 気相中に移行した核燃料物質を回収するための集塵装置は、微粒子であるMOX粉末を捕集可能な高性能エアフィルタを有しており、気相に移行したMOX粉末を回収可能である。初期の空気中MOX粉末濃度に依存するものの、集塵装置の運転を継続することで、平常時のグローブボックス内雰囲気と同等の濃度まで回収が可能である。
- なお、床面に飛散した核燃料物質については、飛散を防止するためにウェス等によるふき取りにより回収する。
- 閉じ込める機能の回復は、対象範囲のグローブボックス及び工程室の気流を確保するための排気風量を有することから、気流の確保が可能である。

#### <放出量評価>

- 重大事故の発生を仮定するグローブボックス8基全ての火災を想定しても、外部への放出量は約  $5.3 \times 10^{-5}$  TBq となり、100TBqを十分下回るものであって、かつ、実行可能な限り低い。(添付2)

## 2. 評価手法及び結果並びに不確かさの影響評価

### 2.3 不確かさの影響評価及び同時・連鎖の検討



#### <不確かさの影響評価>

##### 1. 事象, 事故条件及び機器条件の不確かさの影響

- 内的事象を起因とした場合, 機能喪失の範囲, 重大事故が発生するグローブボックスが限定される。重大事故の有効性評価は, 重大事故の発生を仮定するグローブボックス全てで事故が発生する場合の有効性を確認しており, 評価結果は変わらない。
- 実際に想定される火災規模(添付1)を踏まえると, 核燃料物質の放出に至る規模の火災となることは考え難い。また, 火災源の位置関係(参考1)を踏まえると, 容器から漏れ出した粉末が直接火災影響を受けることは考え難いが, 評価においては, これらの状況を考慮している。
- 総放出量については, 移行経路等に不確かさがあるが, 保守性を見込んでおり, 判断基準を満足することにより変わりはない。

##### 2. 操作条件の不確かさの影響

- 遠隔消火装置の遠隔手動起動及びダンパの閉止操作は, 簡易な操作であるため, 余裕をもって作業を完了することができる。
- 核燃料物質の回収は, 経路上のダンパ閉止及び核燃料物質を気相へ移行させる駆動力となる火災の消火後に実施する作業であり, 回収作業の開始時間及び改修継続時間によって大気中への放出量の変動するものではないことから, 不確かさとして考慮する必要はない。

#### <同時・連鎖の検討>

- 重大事故が同時に発生する場合については, 同種の重大事故が同時に発生する場合と, 異種の重大事故が同時に発生する場合が考えられる。
- 本有効性評価は, 重大事故の発生を仮定するグローブボックス全てで同時に事故が発生するものとして評価した。
- 事象の選定の結果, 重大事故として選定された事象は火災のみであり, 異種の重大事故が同時に発生することはない。
- 重大事故の連鎖については, 火災規模等を踏まえると, 重大事故の発生を仮定するグローブボックス外へ火災が延焼することはない。また, 火災による影響により核燃料物質が集積する要因はないことから, 異種の重大事故が連鎖して発生することはない。

### 3. 必要な要員・燃料等

#### 1. 必要な要員

- 外的事象を想定した核燃料物質等を閉じ込める機能の喪失の拡大防止対策に必要な要員は合計59名であり、これに対しMOX燃料加工施設における事故対処を実施する実施組織要員は59名であることから、必要な作業が可能である。内的事象を想定した場合にも、必要な要員数は同様である。

#### 2. 必要な資源

##### (1) 水源

- 拡大防止対策の実施にあたり、水源は必要としない。

##### (2) 燃料

- 拡大防止対策に必要な軽油は、合計で1.5m<sup>3</sup>である。第1軽油貯槽及び第2軽油貯槽に合計800m<sup>3</sup>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。
- なお、拡大防止対策に重油は必要としない。

##### (3) 電源

- 拡大防止対策に必要な負荷としては、可搬型排風機付フィルタユニットの約4.8kVA、可搬型グローブボックス用集塵装置の約1kVA、可搬型工程室用集塵装置の約2kVA、可搬型ダストモニタの約1kVA、可搬型排気モニタリング用データ伝送装置の約0.5kVA及び代替通信連絡設備0.7kVAである。
- 核燃料物質の回収に使用する可搬型グローブボックス用集塵装置及び可搬型工程室用集塵装置は、閉じ込める機能の回復に使用する可搬型排風機付フィルタユニット及び可搬型ダストモニタと同時に使用しない。
- 上記の前提において、必要な給電容量は、可搬型排風機の起動時を考慮しても約36kVAである。
- MOX燃料加工施設の可搬型発電機の給電容量は約50kVA及び代替通信連絡設備可搬型発電機の給電容量は、約3kVAであり、必要負荷に対しての電源供給が可能である。

## 4. 核燃料物質等を閉じ込める機能の喪失に対処するための手順等

- MOX燃料加工施設における重大事故の拡大を防止するため、火災が発生し、グローブボックス温度監視装置の感知機能又はグローブボックス消火装置の消火機能が喪失している場合に、重大事故へ対処するための手順を整備する。
- なお、有効性評価において位置付けた重大事故等対処設備及び手順を適切に整備するとともに、重大事故への対処においては、柔軟な事故時対応を行うため、重大事故等対処設備のほかに、自主対策設備<sup>※1</sup>を使用する手順も整備する。

### <重大事故等対処設備の手順>

- (1) 火災の消火の手順(内の事象を起因とした場合)
- (2) 火災の消火の手順(外的事象を起因とした場合)
- (3) 燃料加工建屋内への核燃料物質の閉じ込めの手順(内の事象を起因とした場合)
- (4) 燃料加工建屋内への核燃料物質の閉じ込めの手順(外的事象を起因とした場合)
- (5) 核燃料物質の回収のための手順
- (6) 閉じ込める機能の回復のための手順(内の事象を起因とした場合)
- (7) 閉じ込める機能の回復のための手順(外的事象を起因とした場合)

### <自主対策設備の手順>

- (1) 自主対策設備による燃料加工建屋内への核燃料物質の閉じ込めの手順
- (2) 核燃料物質を回収する際に自主対策設備により確認するための手順

※1 自主対策設備とは、技術基準上の全ての要求事項を満たすことや全てのプラント状況において使用することは困難であるが、プラント状況によっては、事故対応に有効な設備である。また、自主対策設備を使用する対策は、重大事故等対処設備を用いた対処に係る要員及び時間を考慮して、重大事故等対処設備を用いた対処に悪影響を及ぼすことがないようにする。

## 5. 重大事故対処の体制について

MOX燃料加工施設の重大事故(単独発災\*)においては、核燃料物質等を閉じ込める機能の喪失の**拡大防止対策に必要な実施組織要員**は合計**59人**となる。  
(MOX燃料加工施設の要員21人+再処理施設の要員38人)

また、**建屋放水**を実施する場合は、水源からの水供給等で再処理施設の要員に期待することから、さらに12人を加え、再処理事業所として**71人**の要員を確保する。

\* 外的事象による重大事故では再処理施設と同時発災の可能性が高いが、内的事象を含めMOX燃料加工施設のみに重大事故が発生することを想定する。

MOX燃料加工施設要員

名称	人数	役割
MOX燃料加工施設対策班長	1人	MOX燃料加工施設の活動状況の把握 実施責任者への活動結果の報告
MOX燃料加工施設現場管理者	1人	燃料加工建屋における現場指揮、対策の作業進捗管理
MOX燃料加工施設情報管理班長	1人	MOX燃料加工施設の作業進捗の管理
MOX放射線対応班	2人	建屋周辺モニタリング、風向・風速測定、 捕集した排気試料の放射能測定
燃料加工建屋対策班員	16人	燃料加工建屋における各種事故対策作業の実施 (建屋放水、流出抑制対策の実施)
合計	21人	-

再処理施設要員

名称	人数	役割
実施責任者	1人	重大事故等対策の指揮、支援組織への支援要請等
情報管理班員	3人	時系列管理表の作成、作業時間の管理等
通信班長	1人	制御建屋における通信連絡設備敷設の指揮
放射線対応班長	1人	放射線対応班の指揮 放射線監視盤の状態確認及び管理
放射線対応班員	14人	可搬型環境モニタリング設備及びデータ伝送装置の設置 緊急時環境モニタリング等
建屋外対応班長	1人	建屋外対応班の指揮
建屋外対応班員	9人 (21人)	可搬型設備への燃料補給、建屋外対応における情報整理等 (水源からの水供給、流出抑制対策)
建屋対策班員	8人	制御建屋における通信連絡設備の敷設
合計	38人 (50人)	-

# 添付1 火災規模の評価 実現象の考察

- 各機器が保有する潤滑油量，燃焼面積(オイルパン面積)，潤滑油の物性値より，発熱速度及び燃焼時間を求めると，表1のとおり短時間で燃焼が完了する結果が得られた。本結果は，燃焼面積全面で理想的に火災が継続した場合である。
- 実際には潤滑油は引火点が $200^{\circ}\text{C}$ 以上であり，容易に全面火災に進展することは想定されない。また，参考1のとおり火災源の位置は限定されており，仮に容器から粉末が漏れいしても直火で火災影響を受けるとは考え難い。
- 重大事故の評価においては，オイルパン上に可燃物が存在することを仮定し，図1～3に示すような局所的な火災が継続し，容器から漏れいした粉末が直接的に火災影響を受けることを仮定し，火災の消火及び経路上のダンパ閉止を実施する。

表1 発熱速度及び燃焼時間の評価

GB名称	潤滑油量 [L]	発熱速度 [kW]	燃焼時間 [s]
予備混合装置GB	3.0	332	130
均一化混合装置GB	6.0	163	433
造粒装置GB	22.0	631	595
	1.0	85	115
回収粉末処理・混合装置GB	3.0	332	130
添加剤混合装置A GB	3.0	332	130
プレス装置A(プレス部)GB	2.2	715	54
添加剤混合装置B GB	3.0	332	130
プレス装置B(プレス部)GB	2.2	715	54

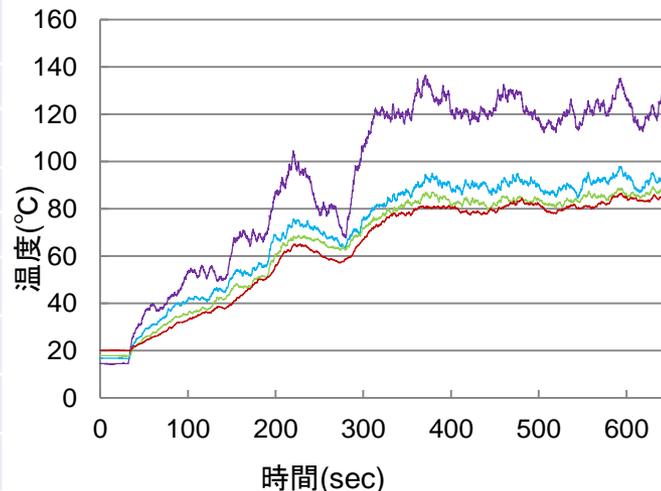


図1 火災試験の結果  
(スポンジにオイルを含ま)

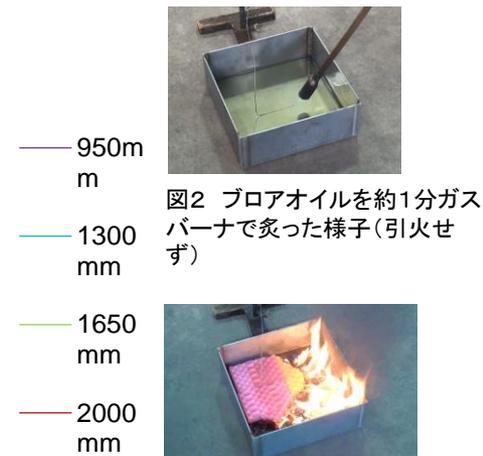


図2 プロアオイルを約1分ガスバーナで炙った様子(引火せず)

図3 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分後の様子)

## 添付2 放出量評価の詳細(外的事象)

### <外部への放出に至るシナリオ>

- ①: 地震と同時に火災が発生。設計基準の感知・消火機能が機能せず。送排風機も地震により停止。
- ②: 火災の直接的な上昇気流により、核燃料物質がグローブボックス内気相中へ移行。
- ③: グローブボックスの損傷により、全量が工程室の気相へと移行すると想定。
- ④: 工程室は火災の上昇気流を直接受けないので、気相中濃度として、文献を基に100mg/m<sup>3</sup>MOXを設定。
- ⑤: 火災による空気の体積膨張により、外部への繋がる経路として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への放出に至る。

### <工程室の体積膨張率の設定>

- ①: 保守的な条件として、全面火災時の各火災源の発熱量を当該室の空気に全て与え、雰囲気温度の時間変化を求めた。潤滑油の燃焼終了後の温度を基に、当該室の空気の体積膨張量を算出した。
- ②: ①の体積膨張量と、燃焼に要する時間から各室における体積膨張率を設定した。
- ③: 複数の火災源がある室は、発熱速度を合算し、それぞれの火災源の燃焼終了後に該当する発熱速度を差し引いた。実際には、ダクトを介した隣室への温度及び空気の移動による冷却の効果があるが、これは無視している。なお、熱量については、工程室壁及び天井からの放熱を考慮した。

$\Delta T = \frac{Q}{mc}$	$\Delta T$ : 時間あたりの温度変化量 $Q$ : 熱量	$m$ : 当該室の空気の質量 $c$ : 空気の比熱
---------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

- ④: 重大事故の発生を仮定するグローブボックスを設置する各室の体積膨張率は以下のとおり。
  - 粉末調整第2室の体積膨張率: 0.84m<sup>3</sup>/s
  - 粉末調整第5室の体積膨張率: 1.45m<sup>3</sup>/s
  - 粉末調整第7室の体積膨張率: 0.87m<sup>3</sup>/s
  - ペレット加工第1室の体積膨張率: 3.19m<sup>3</sup>/s

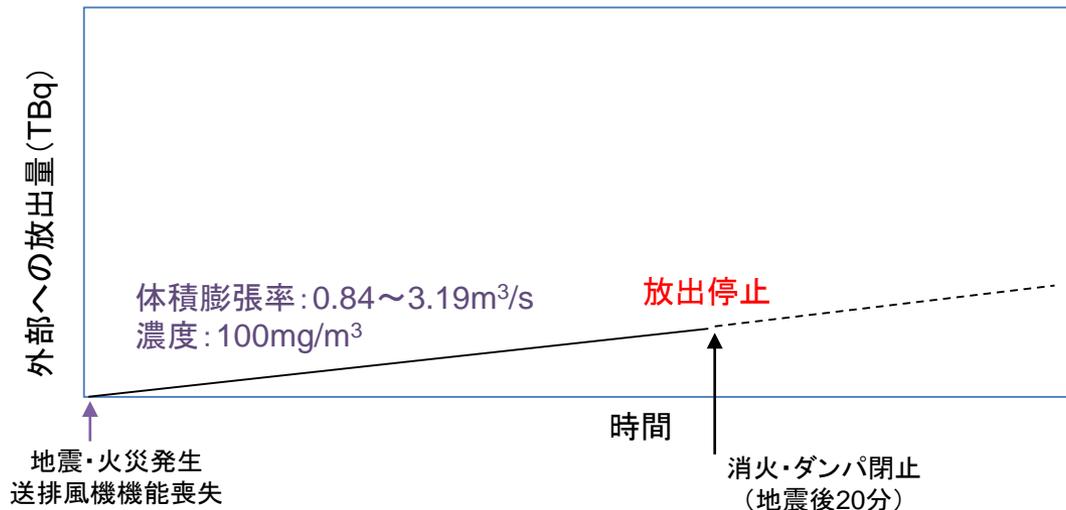
## 添付2 放出量評価の詳細(外的事象)

### <膨張した空気中のMOX粉末濃度の設定>

- 工程室に漏えいした場合の雰囲気濃度として $100\text{mg}/\text{m}^3$ を設定。本設定値は、 $\text{UO}_2$ 粉末をコンテナで攪拌し、100秒程度静置した試験(文献)の雰囲気濃度として引用した。工程室に漏えいしたMOX粉末は、火災の上昇気流を受けるものではないことから、本設定値は十分保守的といえる。

### <放出経路における低減割合>

- 工程室排気設備への移行を想定し、 $\text{DF}=10^5$ を設定する。また、工程室排気設備のダクト長は100m以上あり、縦横方向への曲がりも多数あることから、 $\text{DF}=10$ を見込む。放出経路としてはグローブボックス排気設備への移行も考えられるが、ダクト開口面積を踏まえると工程室排気設備への移行が支配的と考えられる。
- なお、グローブボックス排気設備を経由する分については、高性能エアフィルタ4段を介した放出となるため、放出量の下振れと整理できる。



セシウム137換算放出量:  $4.6 \times 10^{-5}\text{TBq}$   
敷地境界被ばく量:  $2.5 \times 10^{-3}\text{mSv}$

図 外的事象時の放出イメージ

## 添付3 放出量評価の詳細(内的事象)



### <外部への放出に至るシナリオ>

- ①: 火災が発生。送排風機の多重故障により、設計基準の感知・消火機能が機能せず。
- ②: 火災の直接的な上昇気流により、核燃料物質がグローブボックス内気相中へ移行。インベントリとしては、ほとんどの粉末が機器又は容器内に収納されていることから、粉末容器1容器分を想定する。グローブボックス内には、グローブボックス排気設備へ繋がるダクト及びグローブボックス給気フィルタへ繋がるダクトがあり、開口面積は同等であることから、50%ずつ均等に移行すると想定。
- ③: 火災の上昇気流により、消火及びダンパ閉止までの間に1%/hの割合で、グローブボックス排気設備へ核燃料物質が移行すると想定。
- ④-1: 火災の上昇気流により、消火及びダンパ閉止までの間に1%/hの割合で、グローブボックス給気フィルタを経由して工程室へ核燃料物質が移行すると想定。
- ④-2: ④-1の移行量と工程室容積より、工程室の雰囲気中の核燃料物質の気相中濃度を設定する。ここで設定した気相中濃度の核燃料物質が、火災による空気の体積膨張により、外部への繋がる経路として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への放出に至る。

### <工程室の体積膨張率の設定>

外的事象時と同様の考え方であるが、火災源としては単一火災を想定する。

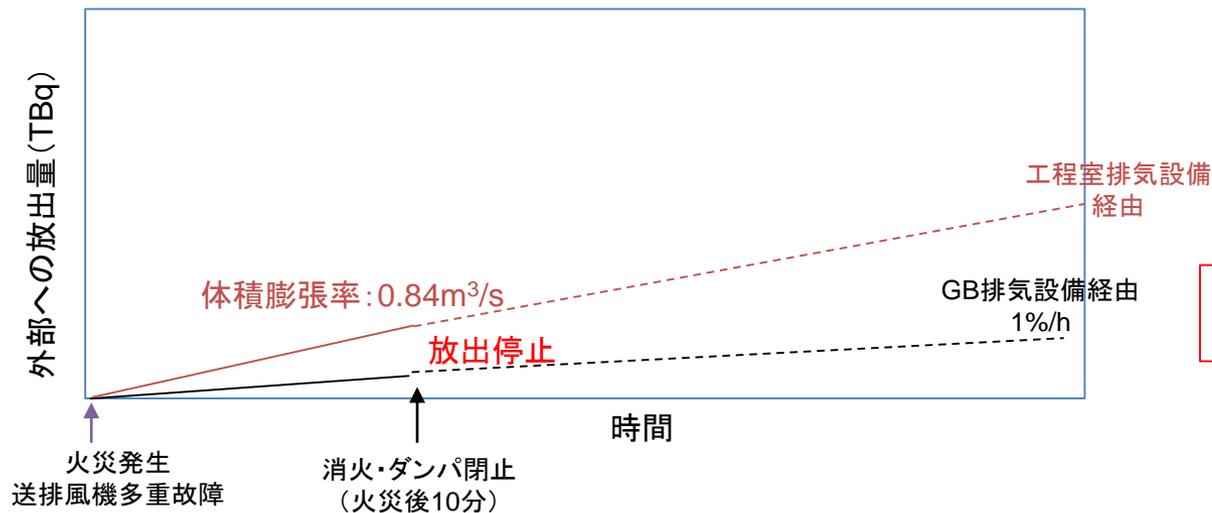
外部への放出量の観点で 予備混合装置グローブボックスでの単一火災を代表とする。

予備混合装置グローブボックスが設置された粉末調整第2室の体積膨張率:  $0.84\text{m}^3/\text{s}$

# 添付3 放出量評価の詳細(内的事象)

## <放出経路における低減割合>

- グローブボックス排気設備を経由する場合,  $DF=10^9$ を設定する。また, ダクト長は100m以上あり, 縦横方向への曲がりも多数あることから,  $DF=10$ を見込む。
- 工程室排気設備を経由する場合, グローブボックス給気フィルタと工程室排気設備のフィルタユニットを含めて $DF=10^7$ を設定する。また, ダクト長は100m以上あり, 縦横方向への曲がりも多数あることから,  $DF=10$ を見込む。



セシウム137換算放出量:  $2.8 \times 10^{-8}$  TBq  
 敷地境界被ばく量:  $1.6 \times 10^{-6}$  mSv

図 内的事象時の放出イメージ

# 添付4 放出量評価の詳細(設計基準事故)

## <外部への放出に至るシナリオ>

- ①: 火災が発生。
- ②: 火災の上昇気流により、気相へ移行した核燃料物質の全量がグローブボックス排気設備へ移行すると想定。インベントリとしては、ほとんどの粉末が機器又は容器内に収納されていることから、粉末容器1容器分を想定する。
- ③: 火災の検知後、5分程度で当該グローブボックス内は消炎濃度に達し、消火が完了する。消火までの間に1%/hの割合で、グローブボックス排気設備へ移行することを想定。

## <放出経路における低減割合>

- グローブボックス排気設備を経由する場合、DF=10<sup>9</sup>を設定する。また、ダクト長は100m以上あり、縦横方向への曲がりも多数あることから、DF=10を見込む。

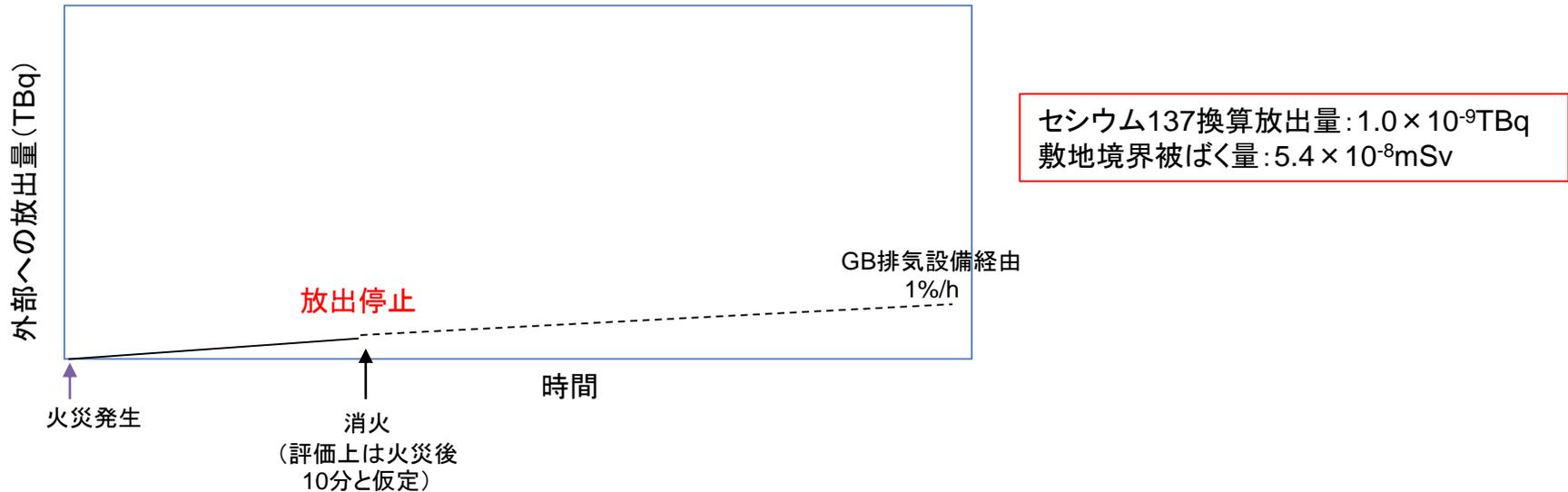


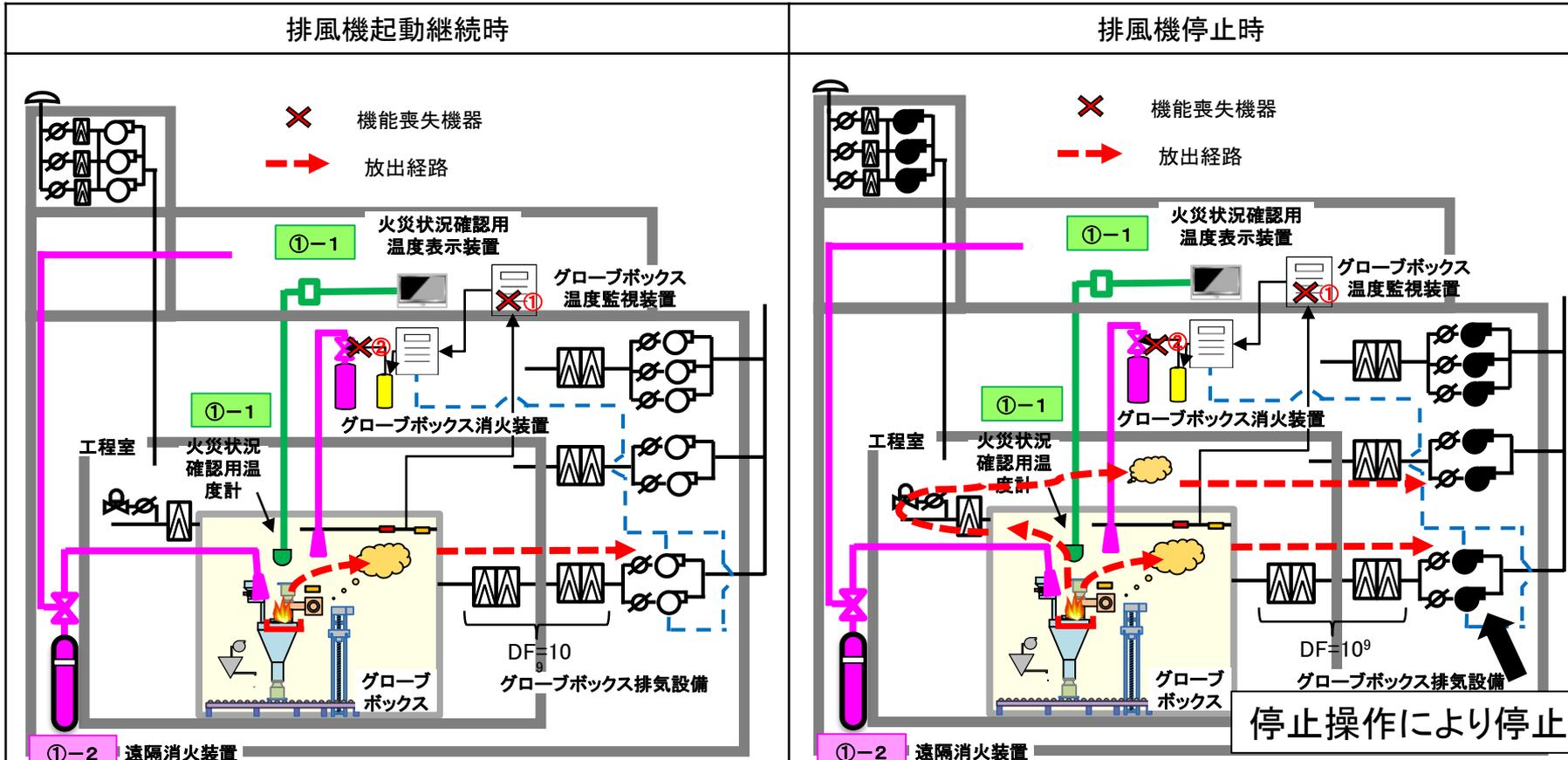
図 設計基準事故時の放出イメージ

## 添付5 内的事象(多重故障)の代表事例

- ✓ MOX燃料加工施設の重大事故は、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において、外的事象としての地震又は内的事象としての動的機器の多重故障により、火災の感知・消火機能が喪失した状態で火災が発生して継続し、火災による駆動力により、外部への多量の放射性物質の放出に至ることを仮定した。
- ✓ 火災の感知・消火は複数の機器が組み合わせて実施する。このため、感知・消火機能の多重故障の想定として、故障の対象とする機器の考え方を整理する。
- ✓ 火災の感知・消火の機能において、故障の対象とする機器は以下のとおり。
  - 多重故障① グローブボックス温度監視装置
  - 多重故障② グローブボックス消火装置
  - 多重故障③ グローブボックス排風機(グローブボックス消火装置の起動条件であるため)
- ✓ なお、これら装置同士は機器自体が異なること、設置する室も異なることから、内的事象としては同時に機能喪失することは想定されない。
- ✓ 次頁以降に示す各機器の多重故障を想定した結果、外部への放射性物質の放出の観点においては、グローブボックス排風機が機能喪失している場合が、放出経路における高性能エアフィルタの段数が少ないため、放出量が大きいと考えられる。
- ✓ このため、有効性評価のシナリオとしては、内的事象の動的機器の多重故障として、グローブボックス排風機の多重故障が発生した状態を想定する。
- ✓ なお、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の機能喪失の場合は、事故規模としては設計基準事故と同等と評価できる。

# 添付5 内的事象(多重故障)の代表事例

- 多重故障① 火災の感知機能の喪失(グローブボックス温度監視装置の機能喪失)  
 多重故障② 火災の消火機能の喪失(グローブボックス消火装置の機能喪失)

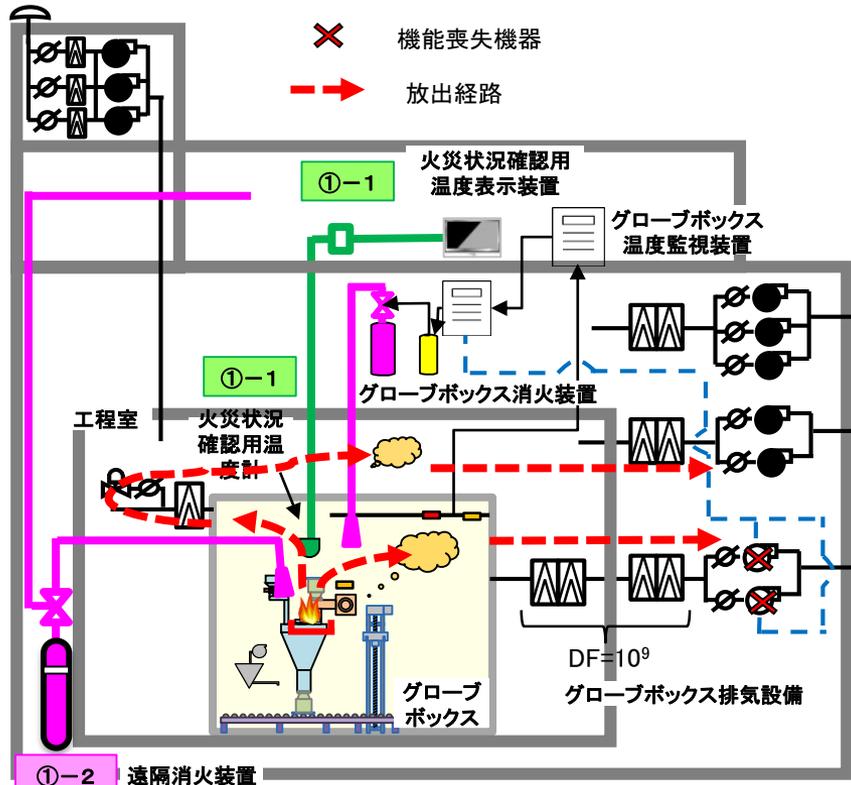


グローブボックス排風機による排気を継続することにより、火災影響を受けた核燃料物質は、高性能エアフィルタ4段を経由して外部へ放出

グローブボックス排風機を停止した場合、火災影響を受けた核燃料物質は、火災による駆動力の影響により、グローブボックス排気系又はグローブボックス給気系に移行する。グローブボックス給気系の場合、グローブボックス給気側及び工程室排気設備の高性能エアフィルタ系3段を経由して外部へ放出

# 添付5 内的事象(多重故障)の代表事例

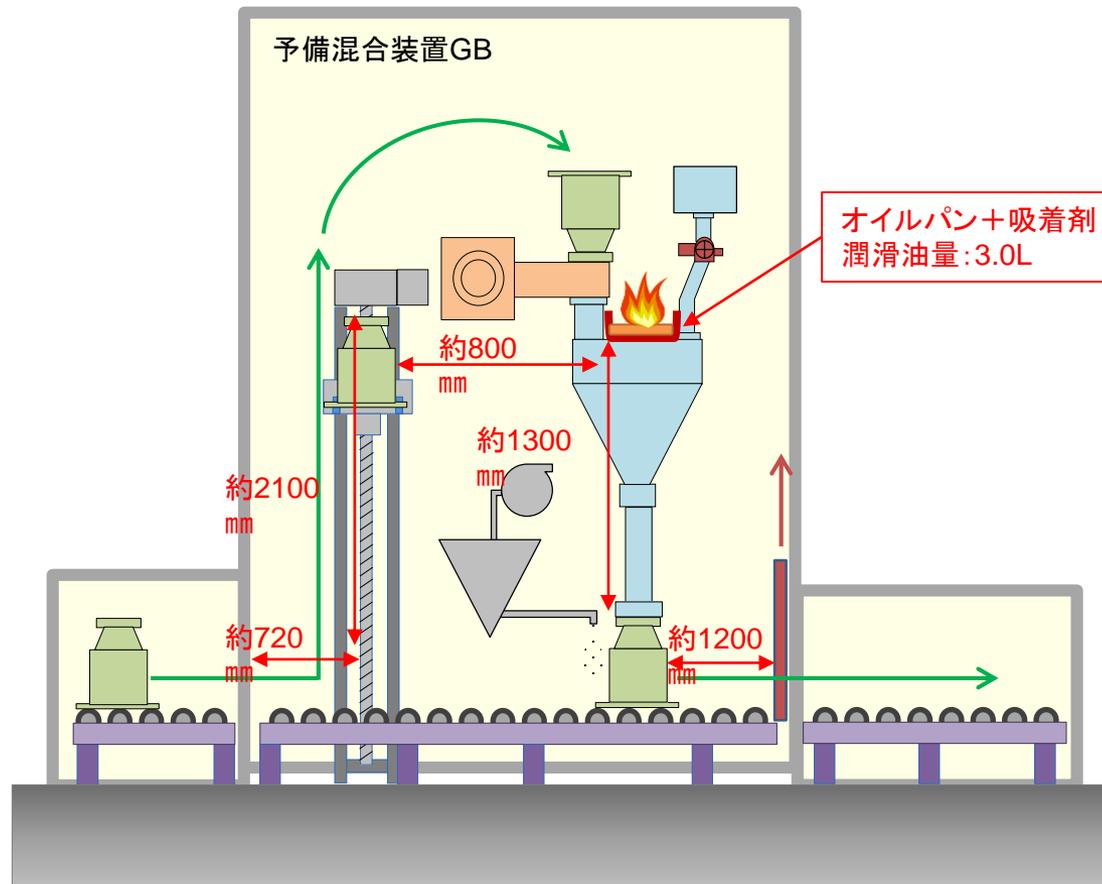
## 多重故障③ グローブボックス排風機の機能喪失

排風機起動継続時	排風機停止時
<p style="text-align: center;">—</p>	
<p style="text-align: center;">—</p>	<p>グローブボックス排風機が多重故障により停止し、火災影響を受けた核燃料物質は、火災による駆動力の影響により、グローブボックス排気系又はグローブボックス給気系に移行する。グローブボックス給気系の場合、グローブボックス給気側及び工程室排気設備の高性能エアフィルタ系3段を経由して外部へ放出</p>

# 参考1 グローブボックス内の核燃料物質と火災源の位置関係

## ① 一次混合設備(予備混合ユニット)

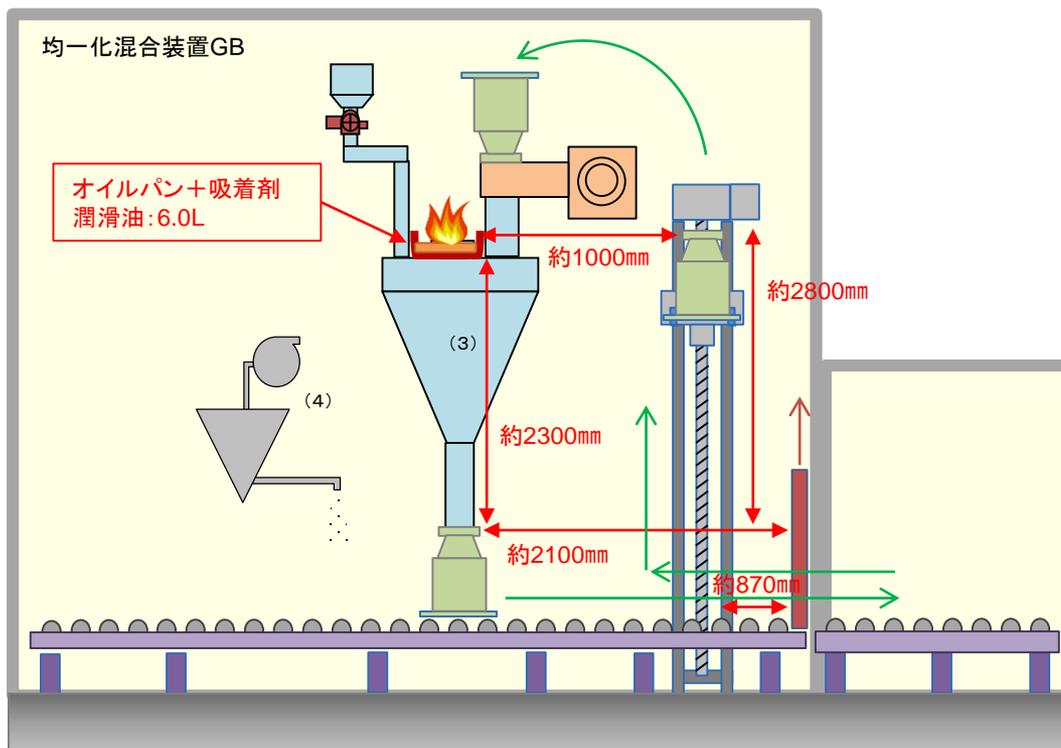
- 予備混合装置は、秤量・分取された原料MOX粉末、原料ウラン粉末及び回収粉末を受け入れ、添加剤と合わせて一次混合前の混合を行う。



# 参考1 グローブボックス内の核燃料物質と火災源の位置関係

## ② 二次混合設備(均一化混合ユニット)

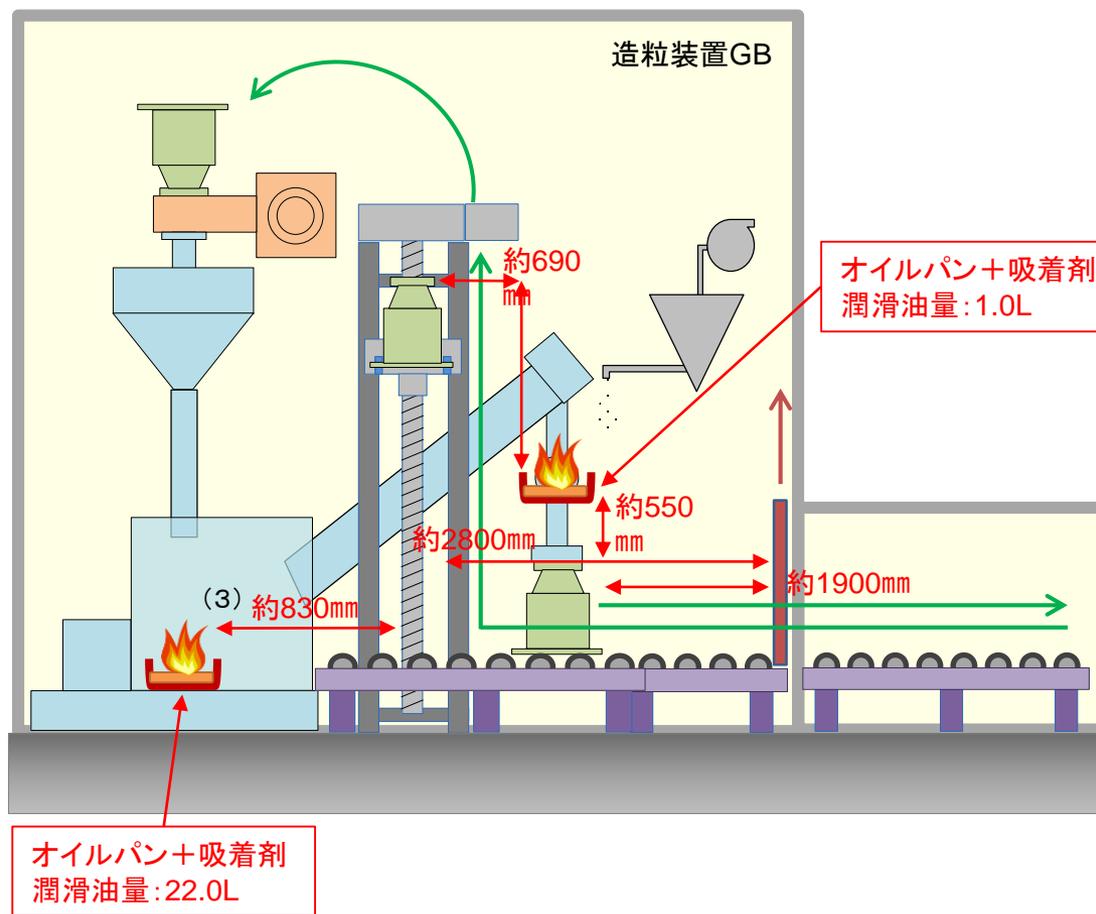
- 均一化混合装置は、一次混合粉末秤量・分取装置及びウラン粉末秤量・分取装置で秤量・分取した一次混合後の粉末、原料ウラン粉末、回収粉末及び添加剤を均一に混合する。



# 参考1 グローブボックス内の核燃料物質と火災源の位置関係

## ③ 二次混合設備(造粒ユニット)

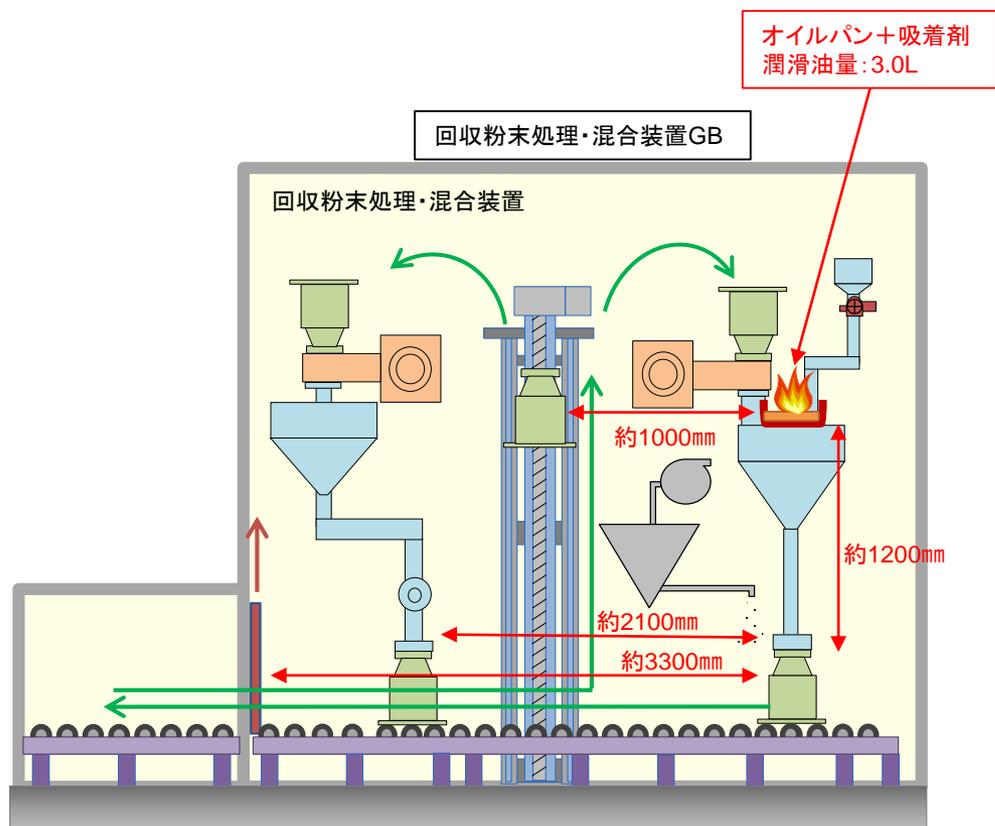
- 造粒装置は、均一化混合後の粉末を粗成形後に解砕し、圧縮成形に適した粉末に調整する。



# 参考1 グローブボックス内の核燃料物質と火災源の位置関係

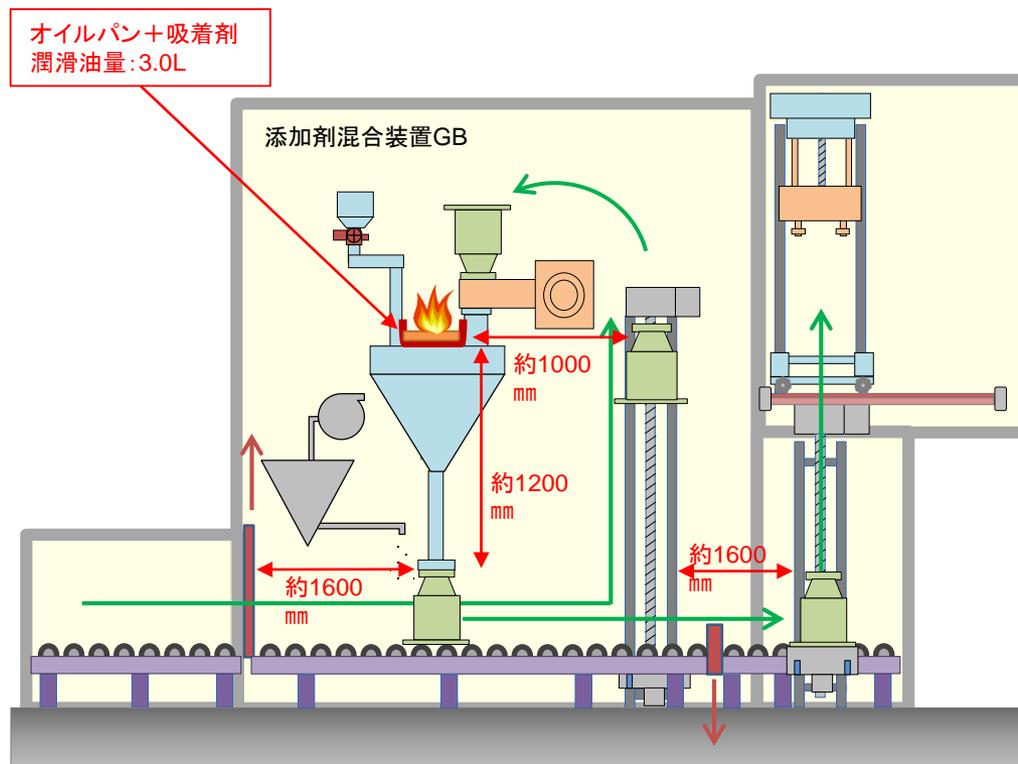
## ④ スクラップ処理設備(回収粉末処理・混合ユニット)

- 回収粉末処理・混合装置は、CS粉末及び添加剤を均一に混合する。
- 回収粉末処理・混合装置は、回収粉末の強制篩分を行う。



## ⑤ 二次混合設備(添加剤混合ユニットA/B)

- 添加剤混合装置は、均一化混合後の粉末又は造粒後の粉末と添加剤を混合する。



# 参考1 グローブボックス内の核燃料物質と火災源の位置関係

## ⑥ 圧縮成形設備(プレス・グリーンペレット積込ユニットA/B)

- プレス装置は、添加剤混合後の粉末を受け入れ、ペレットに圧縮成形する。
- グリーンペレット積込装置は、プレス装置から圧縮成形されたペレットを受け入れ、所定の頻度で抜き取ったペレットの寸法及び重量の測定を行う。

