

設計基準事故、重大事故の選定等の考え方

1. 設計基準事故

- 設計基準事故の選定として、外的事象、内的事象に対して事故の発生の可能性を検討するとともに、発生するとした事故に対する安全設計の妥当性を評価する。
- 選定において想定する事故は、臨界と閉じ込め機能の不全とする。

(1) 事故の起因の想定

1) 外的事象

- 外的事象については、想定すべき規模に対して設計基準として機能を維持し、事故の誘因とならないように設計することから事故の発生の要因として想定されない。

2) 内的事象

- 内的事象については、動的機器の単一故障、及び短時間の全交流動力電源喪失を考慮し、それによる事故の発生の可能性を検討する。
- MOX燃料加工施設には、放射性物質を内包する液体の移送配管がなく、放射性物質以外の液体の移送配管は存在するものの腐食性ではないことから、腐食の進展が遅く保守点検によってその予兆を確認し、保守が実施できることから腐食による配管の貫通亀裂は想定されない。

(2) 臨界

1) 臨界に係る安全設計

- 形状寸法管理を行うユニット（密封形態の核燃料物質を取り扱う設備）については、形状寸法又は核燃料物質間の距離を臨界の発生防止機能として設定していることから、これらを安全上重要な施設として防護する。
- 質量管理を行うユニット（非密封形態で核燃料物質を取り扱うグローブボックス等）は、臨界の発生防止機能として誤搬入防止機構の設置、容器の搬入の物理的な制限の実施を行う等の複数の対策を行うことで、臨界の発生防止対策を行う。
- 主要な加工工程は乾式工程であり、取り扱う核燃料物質に吸湿性はない。
- 加工工程はバッチ処理であり、異常が発生したとしても工程停止の措置を講じることで停止時の状態が維持できる。

2) 外的事象

- 想定すべき規模に対して設計基準として機能を維持し、事故の誘因とならないように設計することから外的事象によって臨界にはならない。
- 臨界との関係で溢水を想定したとしても、緊急遮断弁によって溢水量が制限されることなどから臨界は発生しない。

3) 内的事象

- 動的機器の単一故障：安全上重要な施設に動的機器はない。安全上重要な施設以外の施設の動的機器の単一故障（1回の搬入のために行う5回の計算機、人による確認・操

作を一つの機能として単一故障を想定)を想定しても未臨界質量を超えないこと、最適臨界条件にならないことから、臨界にならない。

- 短時間の全交流電源喪失：短時間の全交流電源喪失により常用電源による運転する核燃料物質の搬入を行うための機器が停止するため搬入が行われず臨界にならない。
- 臨界との関係で溢水を想定したとしても、堰によって工程室への溢水の浸入を防止すること、仮に溢水した水が工程室に浸入したとしても、臨界が発生する条件（グローブボックス内の粉末のグローブボックス外への漏えい、複数の工程室に存在する粉末の1箇所への粉末の集積、集積した場所への一定高さの水位の確保）が成立しないため臨界は発生しない。

(2) 閉じ込め機能の不全

1) 閉じ込めに係る安全設計

- 非密封形態については、グローブボックス等で取り扱う設計とすることで核燃料物質を限定された区域に閉じ込める。
- グローブボックスは核燃料物質の取扱量が多いものを安全上重要な施設とし、グローブボックス内での粉末等は、機器内に保持、粉末容器内に収納（蓋あり、蓋なし）した状態で取扱っている。安全上重要な施設のグローブボックスには可燃物として潤滑油を有するものがある。
- 通常時においては、従事者保護の観点で、グローブボックス等が損傷した場合であっても、作業環境中に核燃料物質が飛散又は漏えいすることのないよう、燃料加工建屋の管理区域、工程室、グローブボックス等の順に負圧を深くすることで、汚染の拡大を防止する。
- 排気設備に高性能エアフィルタを設置することで外部への放出を抑制する。
- 非密封のMOX粉末を取り扱うグローブボックス等は、燃料加工建屋の地下階に設置することで、駆動力を伴わない異常事象（機械的破損、誤操作、誤動作）に対して核燃料物質が外部に放出されることを抑制する。
- 異常な高温状態を生じないため、換気が停止したとしても、崩壊熱によって閉じ込め機能が損なわれ難い。
- 加工工程はバッチ処理であり、異常が発生したとしても工程停止の措置を講じることで停止時の状態が維持できる。

2) 外的事象

- 想定すべき規模に対して設計基準として機能を維持し、事故の誘因とならないように設計することから外的事象によって閉じ込め機能の不全は発生しない。
- GB内の機器は粉末を保持しているが損傷し粉末が飛散、漏えいしないように設計することから、GB内への粉末の漏えいは発生しない。

3) 内的事象

- 動的機器の単一故障：動的機器である排風機の単一故障が発生した場合でも予備機の起動により閉じ込め機能の不全は発生しない。感知・消火機能の単一故障が発生した場合でも、火災の発生を重ね合わせても感知・消火が出来ることから閉じ込め機能の

不全は発生しない。

- 短時間の全交流電源喪失：短時間の全交流電源喪失が発生した場合は、排風機が停止するが、MOX粉末等を取扱う工程も停止し、静置された状態になるため、閉じ込め機能の不全は発生しない。
- 動的機器の単一故障等では閉じ込め機能の不全は発生しないことから、閉じ込め機能の不全として、グローブボックス内のMOX粉末等が外部に放出される状況になる可能性のある事象として、火災と爆発を想定する。
- 火災については、潤滑油の機器内への収納、ケーブルの電線管への収納、着火源の排除、グローブボックス内の窒素雰囲気維持の発生防止に加え、感知の多様化、消火設備の多重化といった設計を講じていることから、火災が発生し、それによってMOX粉末等を外部に放出する状況に至る事態（閉じ込め機能の不全）の発生は想定されない。
- 爆発については、焼結炉等で水素・アルゴン混合ガスを使用しており、水素による爆発が想定されるが、爆発による拡散燃焼は起こるものの、圧力上昇が小さく、MOX粉末等を外部に放出する状況に至る事態（閉じ込め機能の不全）の発生は想定されない。
- 上記のとおり火災、爆発ともにその発生による閉じ込め機能の不全の発生は想定されないものの、グローブボックス内に潤滑油という火災源があること、火災源となる潤滑油を有する機器内にはMOX粉末が保持されていること、火災が駆動力があつて外部に核燃料物質の放出の可能性のある唯一の事象であることから、火災による閉じ込め機能の不全を設計基準事故として選定し、拡大防止、影響緩和の安全設計の妥当性を確認する。

（3）設計基準事故の事故評価

- 蓋の付いていない粉末缶を取扱うグローブボックス内で火災が発生し、火災の影響により粉末缶等の内部の粉末が気相部に移行し、グローブボックス排気設備を経由してフィルタを介して外部に放出する。
- 火災の発生している状況で、感知・消火に関係する動的機器の単一故障として、評価条件が最も厳しくなる排風機の単一故障（消火設備の起動には排風機が起動していることが必要）を想定する。

2. 重大事故

設計基準事故の条件よりも厳しい条件を想定して事故の発生の可能性を含めて評価する。

（1）事故の起因の想定

1) 外的事象

- 設計基準で想定した外的事象に対して、それを超える条件が想定される地震、火山は、それによって事故が発生するかを評価する。地震、火山以外は、設計基準で想定した条件を超える条件が想定されない。

地震：基準地震動を超える地震力を想定する。

火山：設計基準を超える降下火砕物を想定する。

2) 内の事象

- 設計基準で想定した単一故障、短時間の全交流電源喪失の規模の拡大を条件とし、動的機器の多重故障（誤作動、誤操作を含む）、長時間の全交流電源喪失を想定する。

(2) 臨界事故

1) 外的事象

- 地震：基準地震動を超える地震力として1.2 S sを考慮し、機能を維持できる設計の機器等は損傷しない。機能を維持できないものが損傷したとしても臨界が発生するための条件が成立しないため臨界は発生しない。
- 臨界との関係で溢水を想定したとしても、臨界が発生するための条件（グローブボックス内の粉末のグローブボックス外への漏えい、複数の工程室に存在する粉末の1箇所への粉末の集積、集積した場所への一定高さの水位の確保）が成立しないため臨界は発生しない。
- 火山：設計基準を超える降下火砕物を想定した場合、送排風機の機能喪失、非常用電源設備の機能喪失は想定されるが、それによって臨界は発生しない。

2) 内の事象

- 動的機器の多重故障等：安全上重要な施設に動的機器はない。安全上重要な施設以外の施設の動的機器の多重故障を想定（1回の搬入のために行う5回の計算機、人による確認・操作を一つの機能として単一の故障とし、それを複数回想定）しても、臨界にならない。⇒最低25回の誤動作・誤操作、約12時間の時間余裕
- 長時間の全交流電源喪失：長時間の全交流電源喪失により常用電源による運転する核燃料物質の搬入を行うための機器が停止するため搬入が行われず臨界にならない。

(3) 閉じ込め機能の喪失

1) 外的事象

- 地震：基準地震動を超える地震力として1.2 S sを考慮し、機能を維持できる設計のグローブボックス、機器等は損傷しない。機能を維持できないものが損傷した場合、粉末缶に収納されている粉末や機器内に保持されている粉末が直接工程室内に漏えいすることは想定しがたいが、万一工程室内にグローブボックスの粉末が漏えいしたとしても駆動力がなく、外部に放出する事態にはならない。また、外的事象による火災の発生の可能性が否定できないことから、地震によって複数のグローブボックスで火災が発生し、消火ができず火災が継続することを想定する。
- 火山：設計基準を超える降下火砕物を想定した場合、送排風機の機能喪失、非常用電源設備の機能喪失による全交流電源喪失は想定されるが、駆動力がなくMOX粉末等を外部に放出する事態にはならない。また、降下火砕物等の発生予報により工程停止等を行うことで火災の発生の可能性を排除することが可能であり、外部へ放出する事態にはならない。

2) 内的事象

- 動的機器の多重故障等：動的機器である排風機の多重故障が発生した場合は、負圧の維持ができなくなるがそれだけで駆動力ある状態にはならないので外部に放出する事象にはならない。感知・消火機能の多重故障が発生した場合は、工程停止等を行うことで火災の発生の可能性を排除することで外部に放出する事象には至らない。
- 長時間の全交流電源喪失：長時間の全交流電源喪失により、動的機器である排気設備、感知・消火設備が機能喪失するが、負圧の維持ができなくなるがそれだけで駆動力ある状態にはならないこと、工程停止等を行うことで火災の発生の可能性を排除すること外部に放出する事象にはならない。
- 動的機器の多重故障等では閉じ込め機能の喪失（外部に放出する事象）は発生しないことから、閉じ込め機能の喪失として、グローブボックス内のMOX粉末等が外部に放出される状況になる可能性のある事象として、火災と爆発を想定する。
- 火災については、設計基準事故で火災を想定したことを考慮し、重大事故として火災の規模の拡大を想定する。設計基準事故においては、何らかの原因で火災が発生し、感知・消火設備により消火できるとしたが、重大事故では設計基準の感知・消火設備による消火ができず、火災が継続することを想定する。
- 爆発については、設計基準で想定した状態を超える条件が想定されないため、爆発による閉じ込め機能の喪失は想定しない。

(4) 重大事故の特定

- 粉末を露出した状態で取扱い、可燃物としての潤滑油を保有するグローブボックス内で何らかの原因で火災が発生し、設計基準の感知・消火設備で消火ができず、火災が継続した場合に、容器・機器上部で露出しているMOX粉末が火災による温度上昇の影響によって気相部に移行（浮遊）し、火災による煙とともに排気経路を通過して外部への放出に至る。
- 対象は、粉末を露出した状態で取扱い、可燃物としての潤滑油を保有する8つのグローブボックスとなる。
- 内的事象による重大事故については、グローブボックスでの単一の火災を想定し、規模の拡大として連結しているグローブボックスでの火災の影響を考慮する。外的事象による重大事故については、8つのグローブボックスでの火災を想定する。

3. 重大事故の特徴

- 粉末を露出した状態で取扱い、可燃物としての潤滑油を保有するグローブボックス内で何らかの原因で火災が発生し、設計基準の感知・消火設備で消火ができず、火災が継続する。
- 火災による温度上昇によって容器・機器上部で露出しているMOX粉末が火災による温度上昇の影響によって気相部に移行（浮遊）し、火災による煙とともに排気経路を通過して外部へ放出される。
- 潤滑油の火災では火災発生場所近傍では数百度に達することから煙突効果によって粉

末が排気経路に移行する状況を想定する。

- 火災源近傍は相当の温度上昇が生じるものの、距離が離れることによってその影響が低減することからグローブボックスのパネルが損傷することはない。
- 重大事故による外部への放出の評価では、飛散した粉末が火災によって気相に移行する状態を想定した移行率をグローブボックス内の粉末缶、機器内に保有する粉末全量を対象として評価する。

4. 重大事故の特徴を踏まえた重大事故対策

(1) 対策の考え方

- 火災によってグローブボックス内の露出したMOX粉末が温度上昇の影響により気相部に移行していることから、火災を感知し、遠隔消火設備で火災を消火することによってMOX粉末の気相への移行（飛散）を止める。
- 気相部に移行し、煙突効果によって排気経路を経由して外部に核燃料物質が放出される状態に対しては、ダンパを閉止することでこれを止める。

(2) 具体的な対策

- 喪失した火災の感知機能を代替する設備（代替火災感知設備）により、重大事故の発生を仮定するグローブボックスの火災発生を確認する。
- 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（代替消火設備）により、重大事故の発生を仮定するグローブボックスの火災を消火し、火災影響により核燃料物質が飛散することを防止する。
- 火災の影響によりグローブボックス内の気相中に移行し、グローブボックス排気系に移行した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。

(3) 事態の収束

- 消火ガスにより火災を消火した状態が維持されること（グローブボックス内の温度の上昇がないこと）をもって事態の収束と判断する。
- 万一、温度上昇が確認された場合には、遠隔消火設備の予備の消火ガスボンベを接続して再度消火を行う。

以 上

臨界の可能性検討に係る機能喪失想定に基づく事象抽出（例）

No.	グローブボックス名称	ユニット名称	臨界防止機能（故障は赤，誤作動は緑，誤操作は青）	臨界が発生するまでの障壁数	臨界に至るまでの障壁数の内訳			臨界発生可能性の想定結果	想定時間余裕
					故障	誤作動	誤操作		
1	原料MOX粉末缶取出装置グローブボックス	原料MOX粉末缶取出ユニット	①（搬送容器の）ID番号の一致の確認×12回 ②秤量器の一致の確認（有意な差のないことの確認）×12回 ③計算機による核的制限値以下の確認×12回 ④誤搬入防止シャッタの開放（通常時閉止）×12回 ⑤運転員の搬入許可×12回	60	0	48	12	発生しない	約12時間
2	原料MOX粉末秤量・分取装置グローブボックス	原料MOX粉末秤量・分取ユニット	①（搬送容器の）ID番号の一致の確認×12回 ②秤量器の一致の確認（有意な差のないことの確認）×12回 ③計算機による核的制限値以下の確認×12回 ④誤搬入防止シャッタの開放（通常時閉止）×12回 ⑤運転員の搬入許可×12回	60	0	48	12	発生しない	約12時間
3	ウラン粉末・回収粉末秤量・分取装置グローブボックス	ウラン粉末・回収粉末秤量・分取ユニット	①（搬送容器の）ID番号の一致の確認×37回 ②秤量器の一致の確認（有意な差のないことの確認）×37回 ③計算機による核的制限値以下の確認×37回 ④誤搬入防止シャッタの開放（通常時閉止）×37回 ⑤運転員の搬入許可×37回	185	0	148	37	発生しない	約44時間
4	予備混合装置グローブボックス	予備混合ユニット	①（搬送容器の）ID番号の一致の確認×8回 ②秤量器の一致の確認（有意な差のないことの確認）×8回 ③計算機による核的制限値以下の確認×8回 ④誤搬入防止シャッタの開放（通常時閉止）×8回 ⑤運転員の搬入許可×8回	40	0	32	8	発生しない	約13時間
5	一次混合装置グローブボックス	一次混合ユニット	①（搬送容器の）ID番号の一致の確認×8回 ②秤量器の一致の確認（有意な差のないことの確認）×8回 ③計算機による核的制限値以下の確認×8回 ④誤搬入防止シャッタの開放（通常時閉止）×8回 ⑤運転員の搬入許可×8回	40	0	32	8	発生しない	約22時間

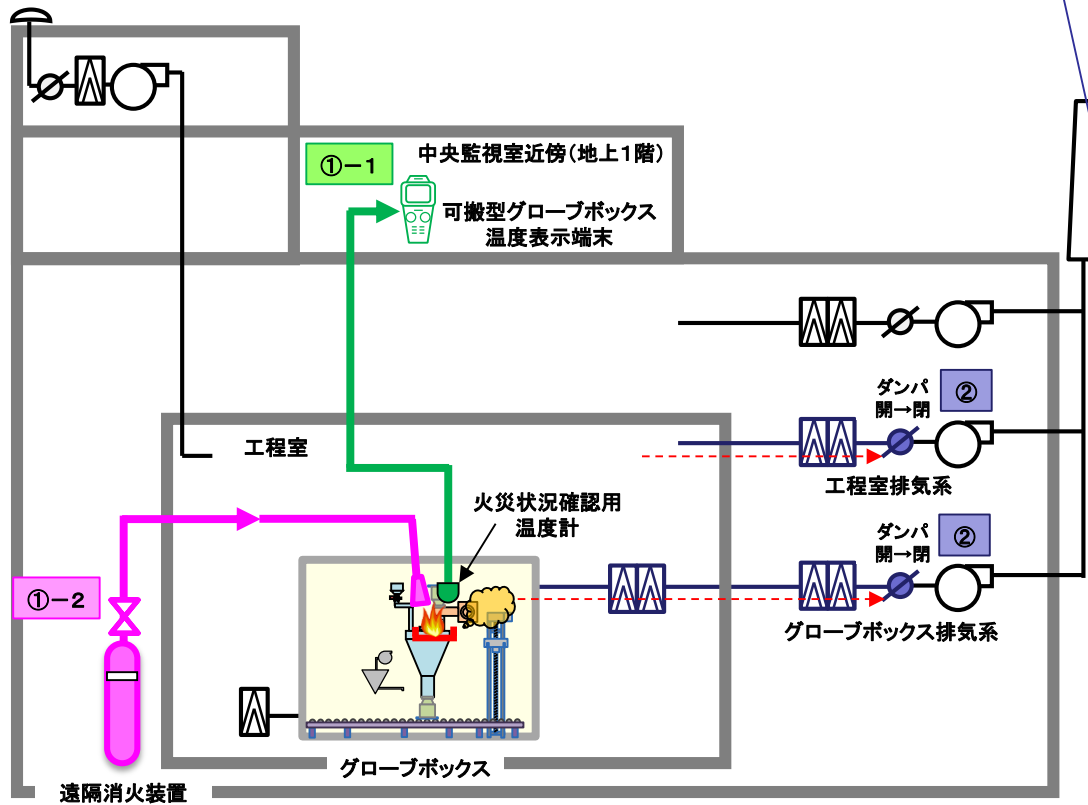
No.	グローブボックス名称	ユニット名称	臨界防止機能（故障は赤，誤作動は緑，誤操作は青）	臨界が発生するまでの障壁数	臨界に至るまでの障壁数の内訳			臨界発生可能性の想定結果	想定時間余裕
					故障	誤作動	誤操作		
16	再生スクラップ受払装置グローブボックス	再生スクラップ受払ユニット	①（搬送容器の）ID番号の一致の確認×127回 ②秤量器の一致の確認（有意な差のないことの確認）×127回 ③計算機による核的制限値以下の確認×127回 ④誤搬入防止シャッタの開放（通常時閉止）×127回 ⑤運転員の搬入許可×127回	635	0	508	127	発生しない	約160時間
17	プレス装置（粉末取扱部）グローブボックス プレス装置（プレス部）グローブボックス グリーンペレット積込装置グローブボックス	プレス・グリーンペレット積込ユニット	①（搬送容器の）ID番号の一致の確認×5回 ②秤量器の一致の確認（有意な差のないことの確認）×5回 ③計算機による核的制限値以下の確認×5回 ④誤搬入防止シャッタの開放（通常時閉止）×5回 ⑤運転員の搬入許可×5回	25	0	20	5	発生しない	約13時間
18	空焼結ボート取扱装置グローブボックス	空焼結ボート取扱ユニット	①（搬送容器の）ID番号の一致の確認×45回 ②秤量器の一致の確認（有意な差のないことの確認）×45回 ③計算機による核的制限値以下の確認×45回 ④誤搬入防止シャッタの開放（通常時閉止）×45回 ⑤運転員の搬入許可×45回	225	0	180	45	発生しない	約35時間
19	焼結ボート供給装置グローブボックス 焼結炉 焼結ボート取出装置グローブボックス	焼結炉ユニット	①（搬送容器の）ID番号の一致の確認×45回 ②秤量器の一致の確認（有意な差のないことの確認）×45回 ③計算機による核的制限値以下の確認×45回 ④誤搬入防止シャッタの開放（通常時閉止）×45回 ⑤運転員の搬入許可×45回	225	0	180	45	発生しない	約46時間
20	焼結ペレット供給グローブボックス 研削装置グローブボックス 研削粉回収装置グローブボックス ペレット検査設備グローブボックス	ペレット研削・検査ユニット	①（搬送容器の）ID番号の一致の確認×85回 ②秤量器の一致の確認（有意な差のないことの確認）×85回 ③計算機による核的制限値以下の確認×85回 ④誤搬入防止シャッタの開放（通常時閉止）×85回 ⑤運転員の搬入許可×85回	425	0	340	85	発生しない	約34時間

火災の発生を想定するグローブボックス

グローブボックス	インベントリ (kg・Pu)	潤滑油量 [L]	オイルパン面積 (m ²)	燃焼時間 (s)
予備混合装置グローブボックス	46.0	3.0	0.45	130
均一化混合装置グローブボックス	90.5	6.0	0.27	434
造粒装置グローブボックス	20.3	22.0	0.72	596
		1.0	0.17	115
回収粉末処理・混合装置グローブボックス	54.1	3.0	0.45	130
添加剤混合装置Aグローブボックス	33.0	3.0	0.45	130
プレス装置（プレス部）Aグローブボックス	38.9	2.2	0.79	55
添加剤混合装置Bグローブボックス	33.0	3.0	0.45	130
プレス装置（プレス部）Bグローブボックス	38.9	2.2	0.79	55

＜要求事項＞

- 核燃料物質等の飛散又は漏えいを防止する
- 飛散又は漏えいした核燃料物質を回収する
- 核燃料物質を閉じ込める機能を回復する



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(代替火災感知設備)により、重大事故の発生を仮定するグローブボックス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(代替消火設備)により、重大事故の発生を仮定するグローブボックスの火災を消火し、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移行し、グローブボックス排気系に移行した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。
- ・火災影響により気相中に移行した核燃料物質は、グローブボックス上部に位置する排気口からグローブボックス排気系に移行するものが支配的であるが、グローブボックスから工程室内へ漏えいすることも考慮し、工程室排気系へも同様の対処を実施する。