

平成29年12月7日  
第13回再処理・リサイクル部会セミナー

テーマⅡ：重大事故等に対する再処理施設の  
安全性向上について

重大事故等：セル内において発生する臨界事故に  
係る安全対策



日本原燃株式会社

再処理事業部 エンジニアリングセンター

プロジェクト部 安全グループ

佐藤 友樹

# 目次



## 1. 六ヶ所再処理施設における臨界事故の発生の想定

- 1.1 臨界安全設計の概要
- 1.2 セル内の臨界安全管理対象の設備
- 1.3 セル外の臨界安全管理対象の設備
- 1.4 臨界事故の発生を想定する条件
- 1.5 臨界事故の発生が想定されない条件
- 1.6 臨界事故の発生を想定する機器
- 1.7 更なる安全性向上への取り組み

## 2. 臨界事故への具体的対処

- 2.1 事故の特徴
- 2.2 事故への対処概要
- 2.3 外部への放出量の低減対策
- 2.4 未臨界への移行対策
- 2.5 有効性評価

## 3. まとめ

## 4. 今後の課題

# 1. 六ヶ所再処理施設における臨界事故の発生の想定

## 1.1 臨界安全設計の概要

➤ 六ヶ所再処理施設の臨界安全設計は次に大別される。

### 1. 核燃料物質を再処理プロセス内で連続的に取り扱う工程の臨界安全管理

- ✓ 平常運転時のプルトニウム濃度が未臨界濃度を超える溶液を内包する機器は、全濃度安全形状寸法管理による臨界安全設計とする。また、それらの機器は耐震Sクラスとする。
- ✓ さらに、上記機器を設置するセルの漏えい液受皿は、漏えい液が臨界にならないよう液厚さを制限する形状寸法管理による臨界安全管理を行う。
- ✓ プルトニウムの主流路から分かれる支流にプルトニウムが移行することを防止するために、臨界に係る異常の発生防止対策と異常の拡大防止対策を組み合わせ、単一故障を考慮しても臨界にならない設計とする。

### 2. 誤移送を防止するための臨界安全管理（施錠管理）

- ✓ 開錠を行う場合は、分析における標準試料との並行分析及び複数回の測定並びに複数の操作員による分析データと核的制限値との照合を行う。

### 3. 固体状の核燃料物質を複数ユニットとして形状寸法管理を行う設備で保管する場合

- ✓ 基準地震動に耐える設計の静的な設備による臨界安全管理とする。
- ✓ 臨界計算では計算パラメータを十分保守的に設定するとともに、製作寸法に十分な安全裕度を確保し、さらに構造強度の余裕を確保する。

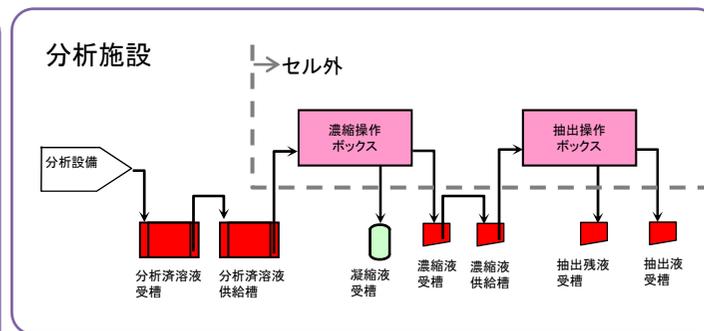
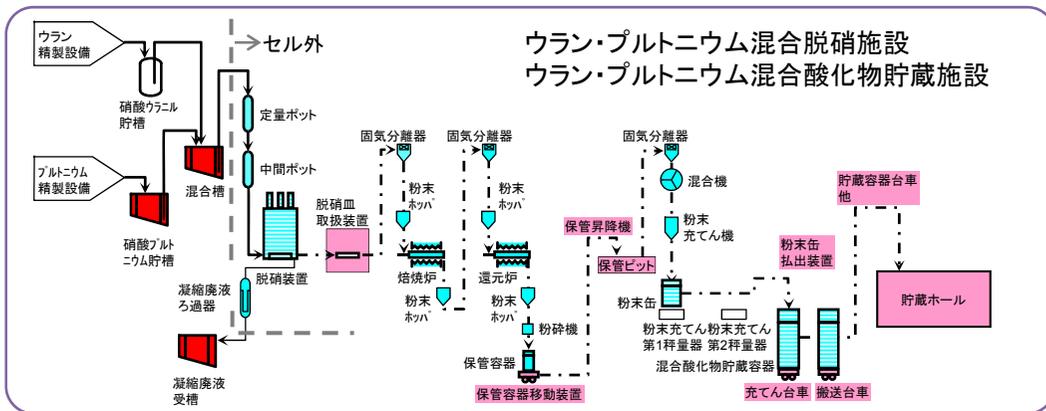
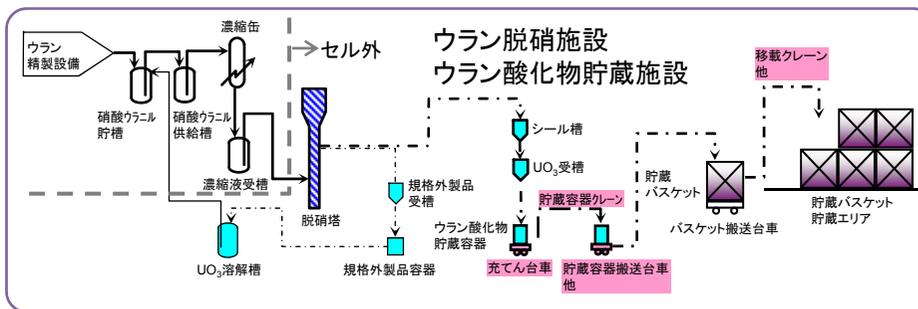
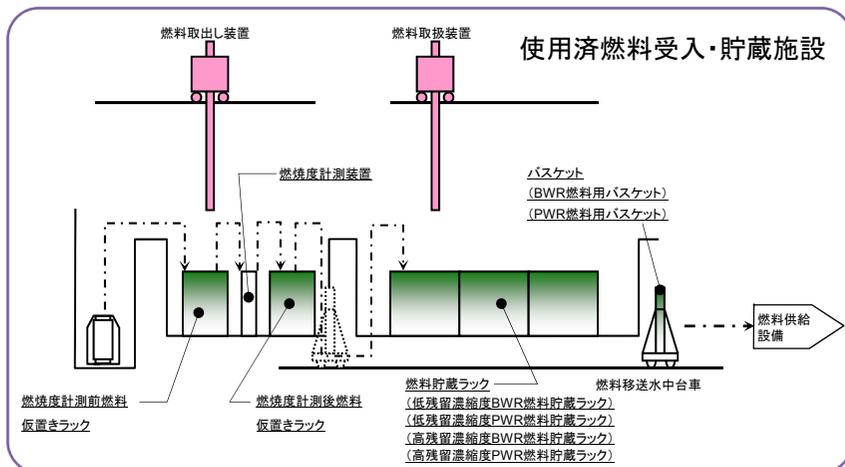


臨界の発生の可能性は極めて低いが、再処理施設の特徴を考慮し、  
重大事故として想定すべき臨界事故を検討した



# 1. 六ヶ所再処理施設における臨界事故の発生の想定

## 1.3セル外の臨界安全管理対象の設備



- 全濃度安全形状寸法管理
- 形状寸法管理
- 形状寸法管理、減速度管理
- 形状寸法管理、質量管理
- 濃度管理
- 質量管理
- 同位体組成管理
- 中性子吸収材管理

図：臨界事故への進展を検討した機器（セル外）

# 1. 六ヶ所再処理施設における臨界事故の発生の想定

## 1.4 臨界事故の発生を想定する条件

設計基準において頑健な臨界安全設計がすでに行われている



他の重大事故（蒸発乾固等）の発生条件を上回る条件を想定

### 1. プロセスの異常な変動の放置

臨界安全管理対象機器 : 多数の計器（安全系は多重化）により異常を監視  
異常に気づけない可能性は低い

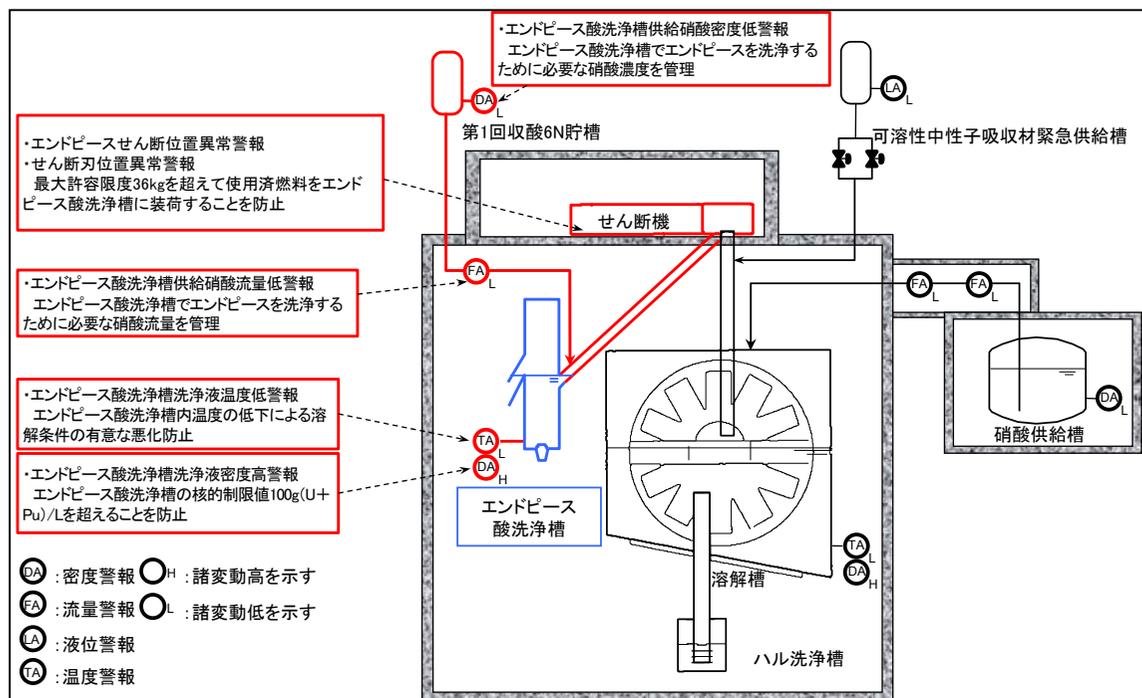


臨界事故の発生防止に係る一連の機能の喪失を想定

（右図の例の場合、すべてのパラメータが監視できないことを想定）



異常状態が継続し、臨界安全設計の持つ裕度がなくなり、臨界事故が発生



図：エンドピース酸洗浄槽での臨界管理に係るパラメータ

# 1. 六ヶ所再処理施設における臨界事故の発生の想定

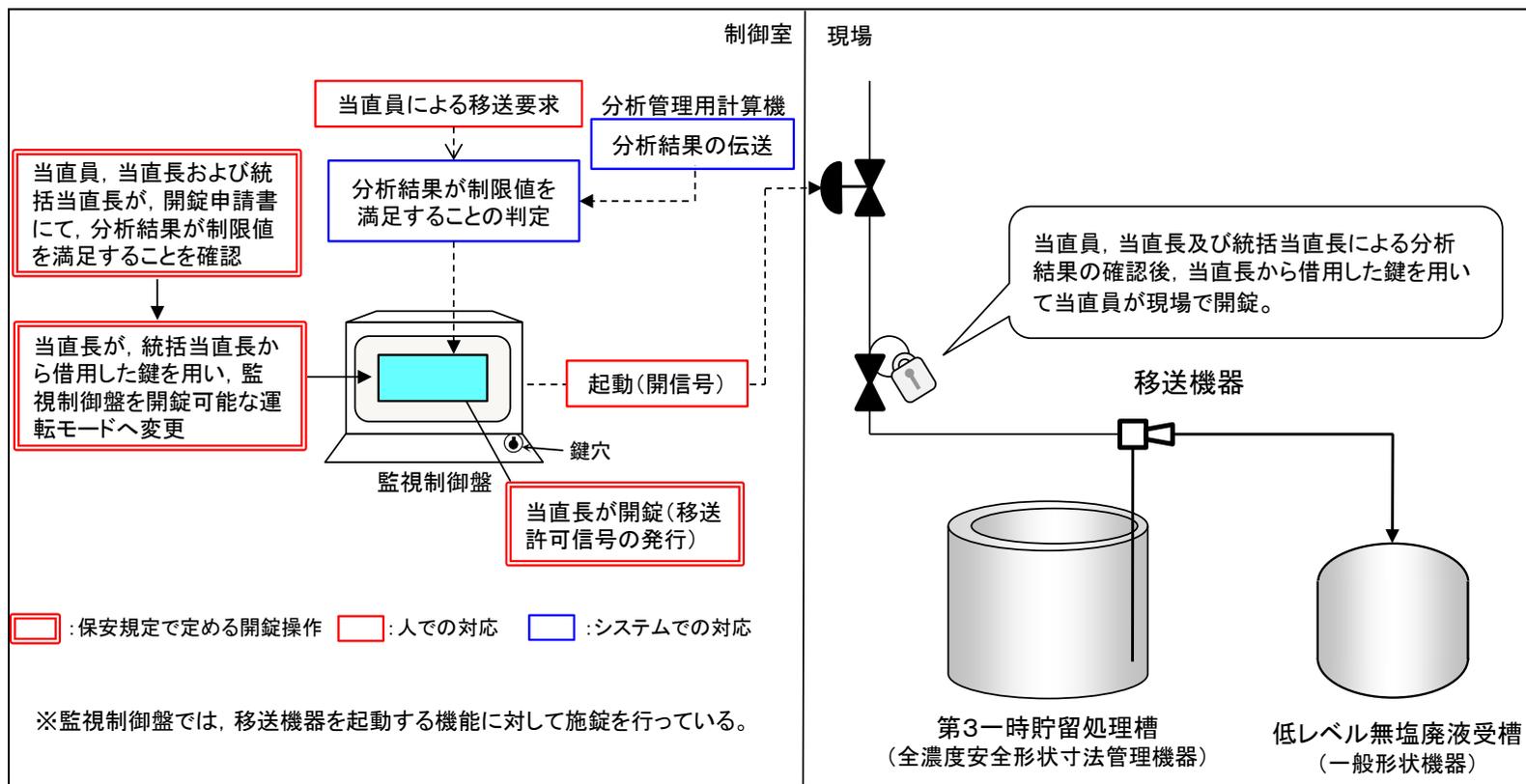
## 1. 4臨界事故の発生を想定する条件

### 2. 未臨界濃度を超える溶液の誤移送

誤移送を防止する対策 → 複数回の分析、複数の運転員による分析結果の確認  
さらに施錠管理による誤移送の発生防止



人的過誤の複数の重ね合わせにより、未臨界濃度を超える溶液を濃度管理機器または臨界管理対象外の機器に移送してしまうことを想定



図：核燃料物質の誤移送の発生防止に係る管理例

# 1. 六ヶ所再処理施設における臨界事故の発生の想定

## 1. 4臨界事故の発生を想定する条件



### 3. アルカリ試薬との接触による沈殿物の生成

再処理施設の工程停止時には、試薬（硝酸、純水、アルカリ試薬）を用いて設備の洗浄を実施する場合がある。



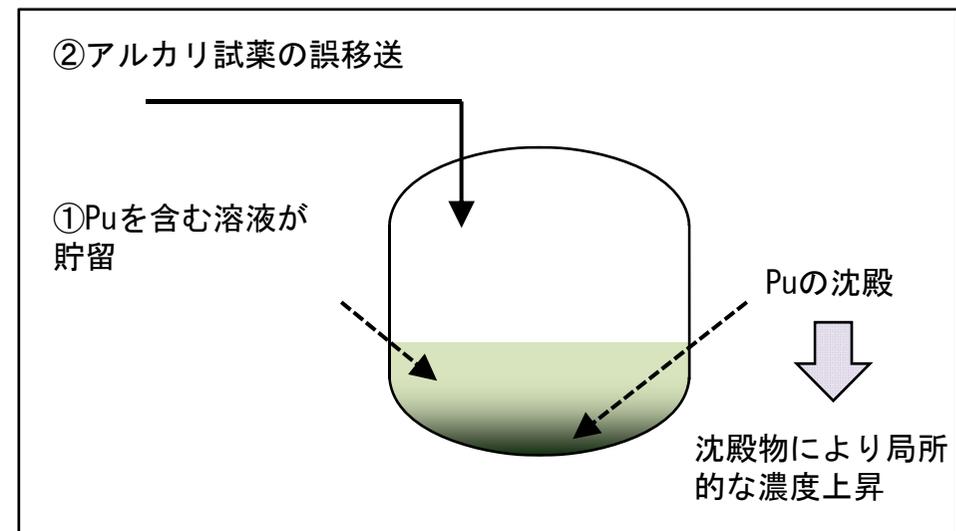
アルカリ試薬を誤ってPuを含む硝酸溶液と接触させると、Puを含む沈殿物やポリマーを生じる



アルカリ試薬の移送に当たっては厳格な管理により、誤移送を防止している。



人的過誤の複数の重ね合わせにより、アルカリ試薬の移送管理失敗によるPu沈殿物・ポリマーの生成による臨界事故の発生を想定



図：アルカリ試薬との接触による沈殿物の生成

# 1. 六ヶ所再処理施設における臨界事故の発生の想定

## 1.5 臨界事故の発生が想定されない条件

### 1. 外的事象（地震）による臨界事故

地震に対しては以下の理由により臨界事故の発生を想定しない。

- ✓ 地震が発生したことを検知した場合、速やかに再処理施設の運転を停止する  
→異常が進展しない。
- ✓ 機器に内包する溶液の核燃料物質の濃度又は質量が未臨界量以下の場合は、機器の破損を想定しても臨界に至らない
- ✓ 臨界の発生防止を担う静的な機能については、基準地震動を上回る地震力によっても、臨界防止機能を損なわない設計とする

### 2. セル外における臨界事故

セル外に設置された設備の特徴

- ✓ 核燃料物質の取扱い方法がバッチ操作、バッチ処理を中心とした方法で構成  
⇒信頼性の高い方法（目視、操作毎の設備の性能確認）による確認が可能
- ✓ 外的事象（地震）により設備が損傷した場合でも、臨界安全設計の持つ裕度や、機器の配置により、未臨界が維持できる

# 1. 六ヶ所再処理施設における臨界事故の発生の想定

## 1. 6臨界事故の発生を想定する機器

再処理施設に設置されている機器のうち、全23機器において臨界事故の発生を想定する。

表：臨界事故の発生起因と発生を想定する機器

臨界事故の起因	設備区分	機器名称
プロセスの異常な変動の放置	溶解設備	溶解槽A, B
		ハル洗浄槽A, B
		エンドピース酸洗浄槽A, B
	分配設備	プルトニウム洗浄器
		ウラン逆抽出器
	プルトニウム精製設備	放射性配管分岐第1セル漏えい液受皿1
		放射性配管分岐第1セル漏えい液受皿2
		油水分離槽セル漏えい液受皿
		プルトニウム濃縮缶供給槽セル漏えい液受皿
		プルトニウム精製塔セル漏えい液受皿
プルトニウム溶液一時貯槽セル漏えい液受皿		
誤移送	精製建屋 一時貯留処理設備	第5一時貯留処理設備
		第7一時貯留処理設備
	酸回収設備	第2酸回収系 低レベル無塩廃液受槽
	低レベル廃液処理設備	第1低レベル廃液処理系 相分離槽
アルカリ試薬との接触	清澄・計量設備	中継槽A, B
		計量前中間貯槽A, B
	一時貯留処理設備	第3一時貯留処理槽（分離建屋） 第7一時貯留処理槽（精製建屋）※再掲

# 1. 六ヶ所再処理施設における臨界事故の発生の想定

## 1.7更なる安全性向上への取り組み

### 外的事象による臨界事故の発生防止

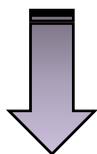
Pu濃縮液は貯蔵状態において減速不足



万一、形状が制限された体系で漏えいした場合に、他の溶液との接触により、想定よりも液厚さが上昇すると臨界に近づく



Pu濃縮液を内蔵する機器及び希釈を引き起こす配管を、基準地震動を上回る地震力でも損傷しない設計とする。

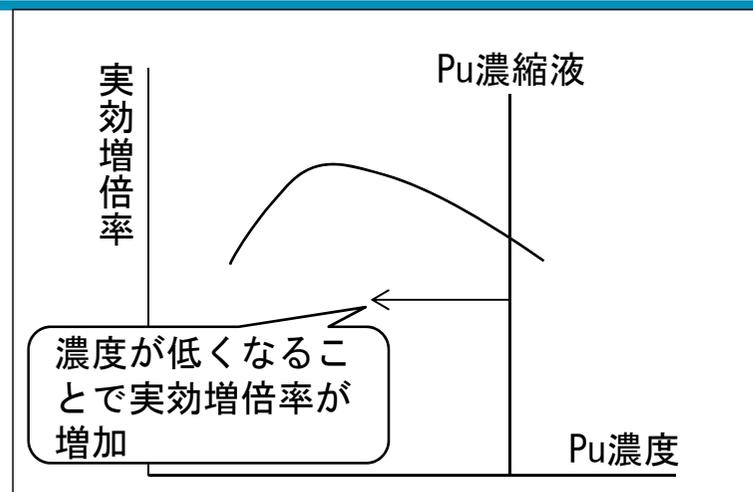


基準地震動を上回る地震力でも損傷しない設計とする

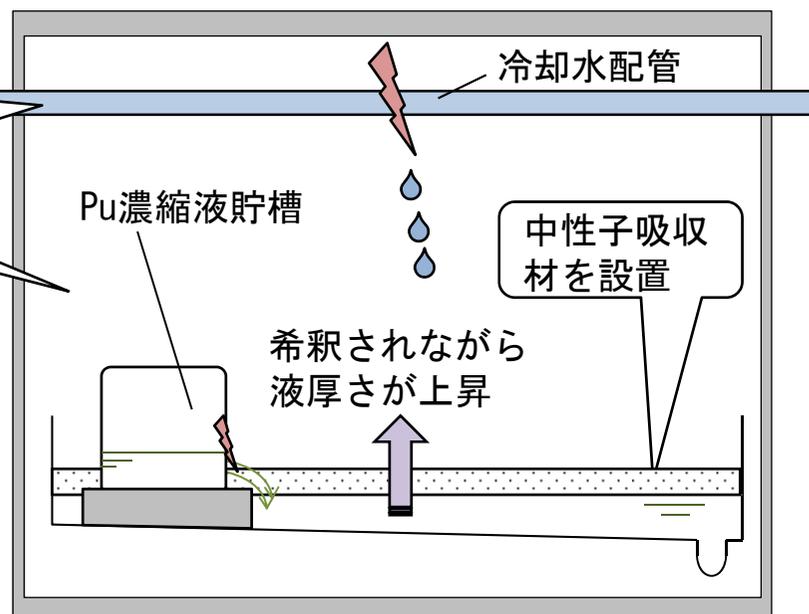
万一、機器と配管が損傷した場合、臨界安全設計条件を上回る条件が成立



過酷な状態でも臨界事故の発生を防止するため、中性子吸収材をセルに設置



図：漏えい液受皿における実効増倍率の変化



図：セルへの中性子吸収材の設置

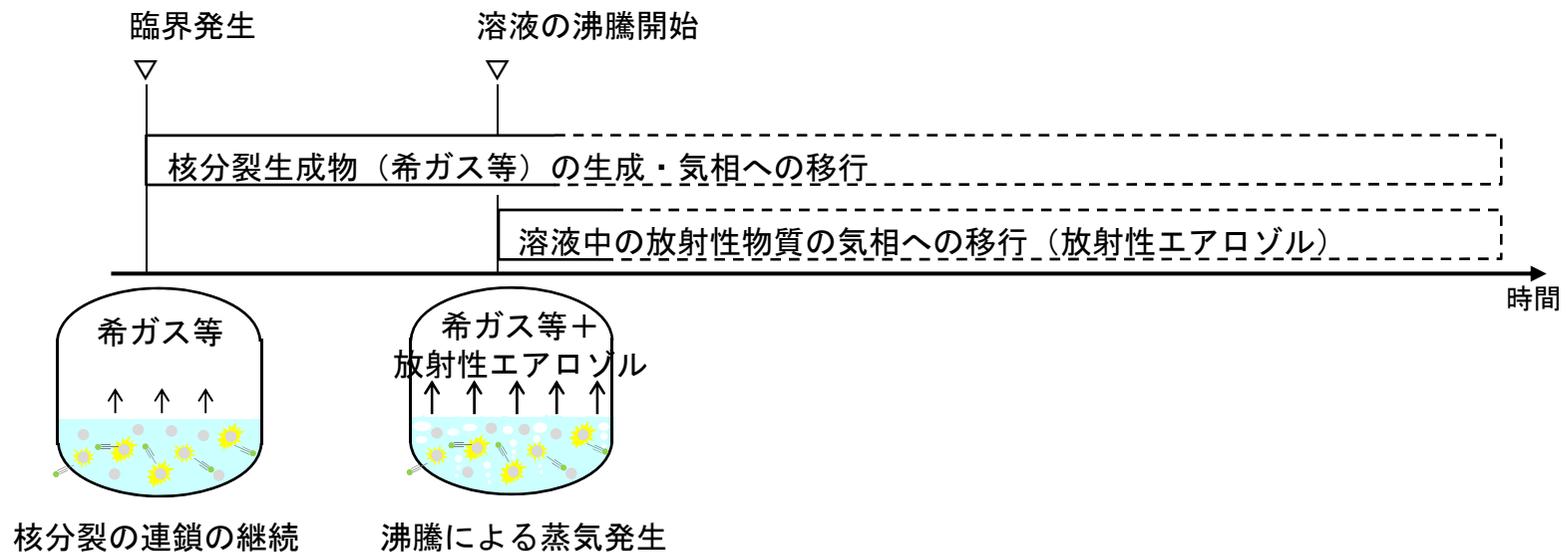
## 2. 臨界事故への具体的対処

### 2.1 事故の特徴



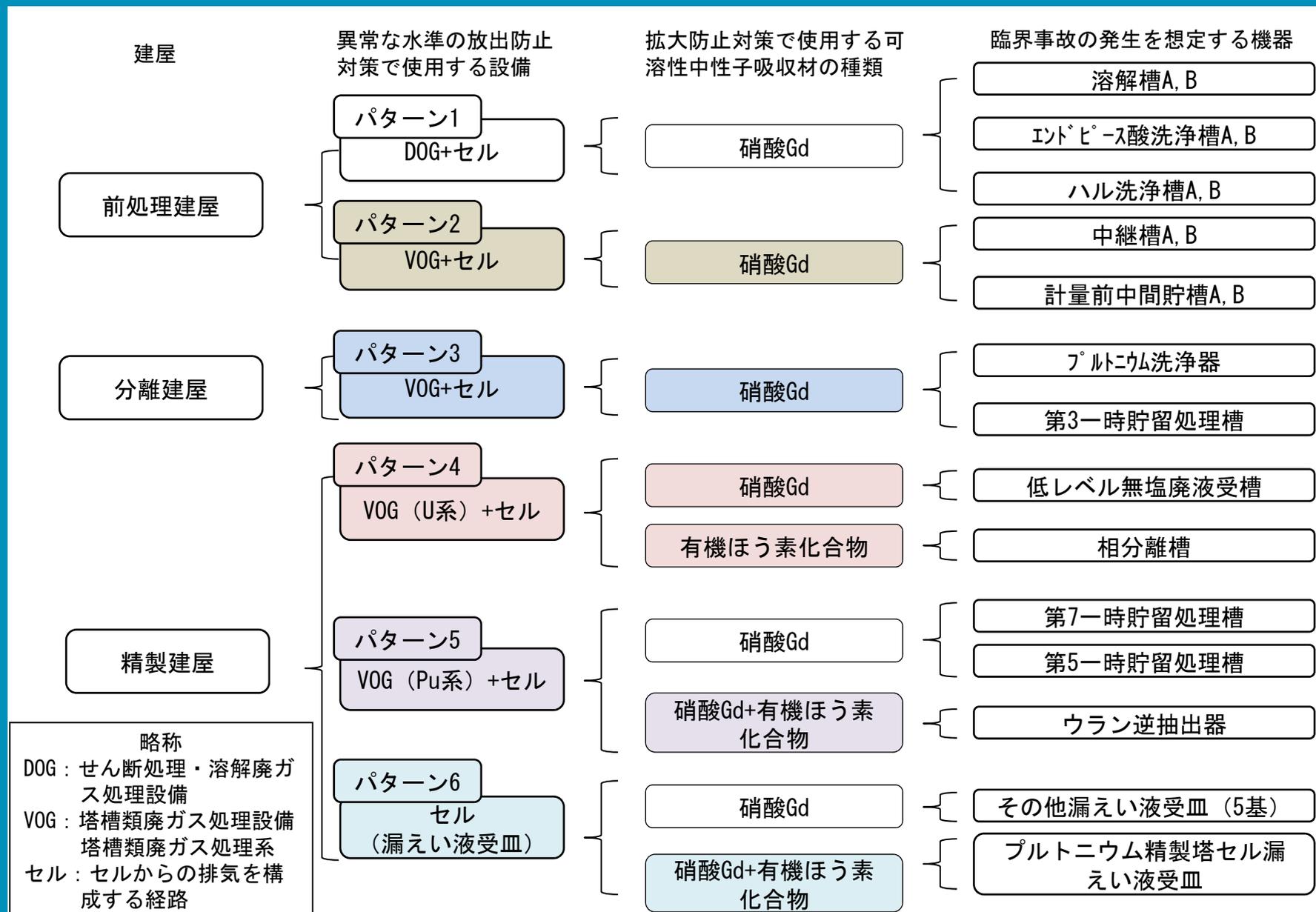
#### 【臨界事故の特徴】

- 臨界事故においては、ウラン及びプルトニウムの核分裂の連鎖反応により、新たな核分裂生成物が生成するとともに、核分裂により放出される熱エネルギーによって溶液の温度が上昇する。新たに生成する核分裂生成物のうち希ガス、よう素等が気相中に放出される。また、溶液の温度が上昇し沸点に至ると、溶液の蒸発に伴って放射性物質が気相中に放出される。



## 2. 臨界事故への具体的対処

### 2.1 事故の特徴



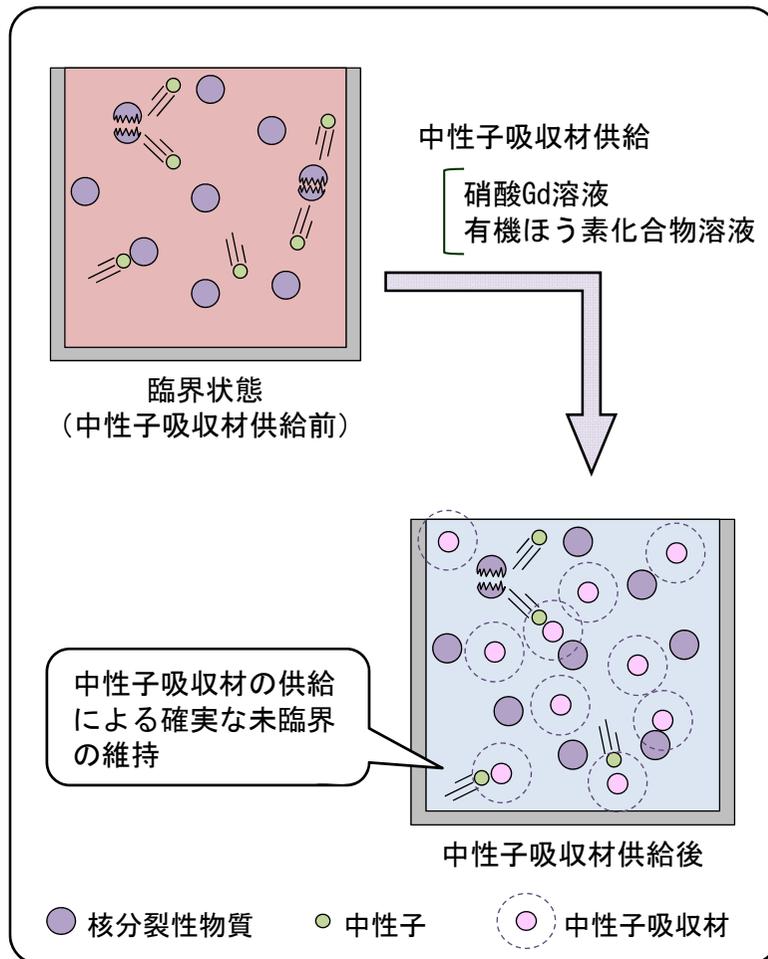
## 2. 臨界事故への具体的対処

### 2.2 事故への対処概要

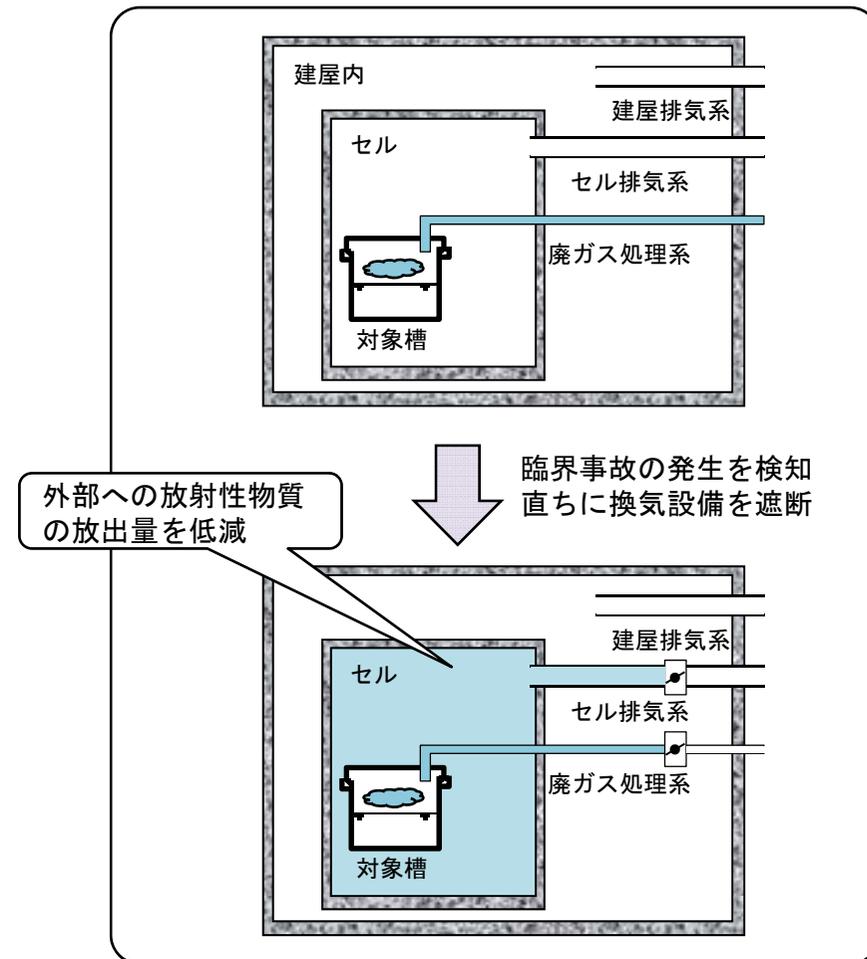


#### 基本的な方針

臨界事故が発生した場合は、拡大防止対策と異常な水準の放出防止対策を講ずる。

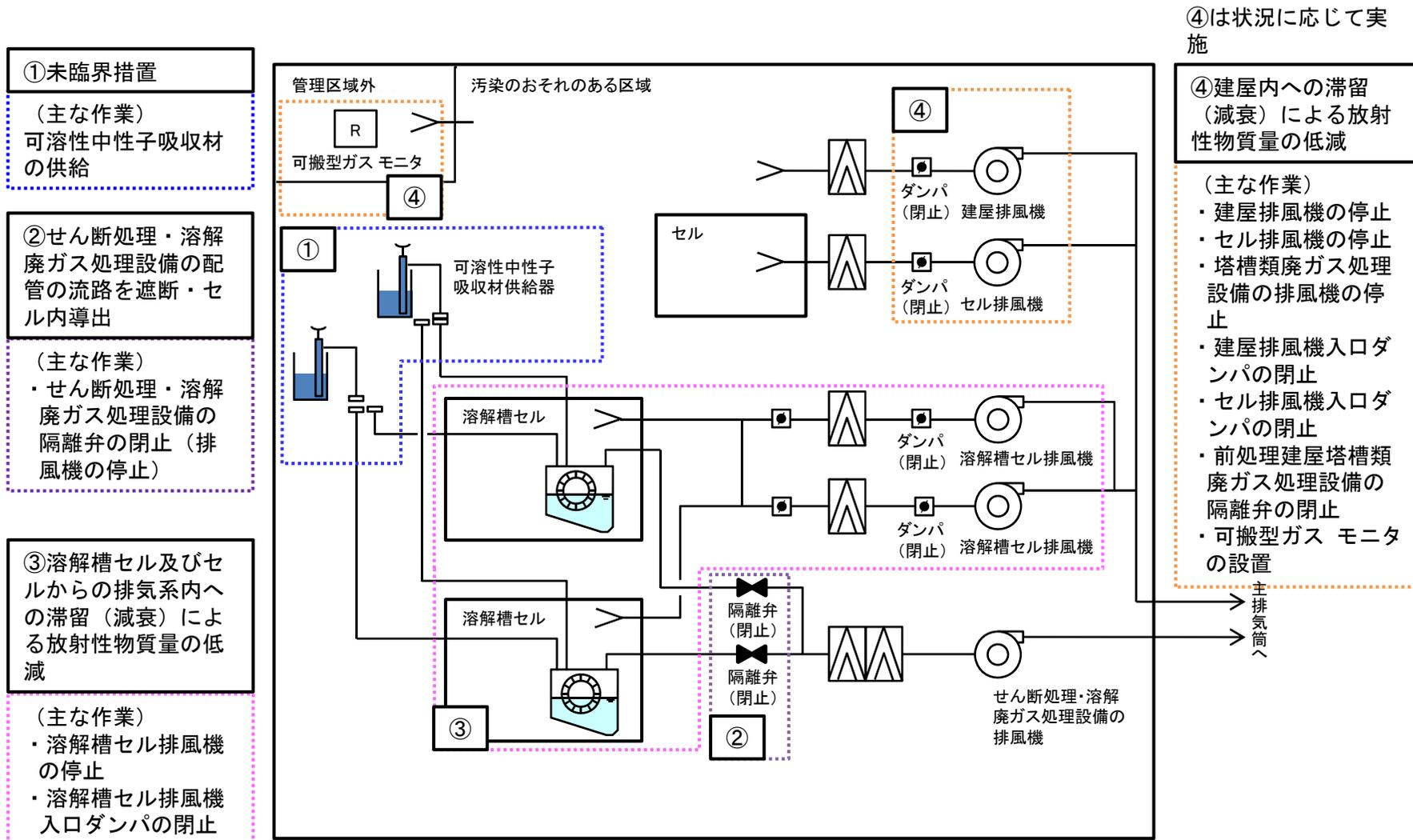


図：拡大防止対策



図：異常な水準の放出防止対策

## 2. 臨界事故への具体的対処 2.2 事故への対処概要



図：溶解槽における臨界事故が発生した場合の対処例

## 2. 臨界事故への具体的対処

### 2.2 事故への対処概要



#### 臨界事故への対処シーケンス

- (1) 内的事象により臨界事故が発生することを想定する。臨界事故の発生により、放射性物質を含む気体が気相中に移行する。
- (2) 臨界事故の発生を検知し、直ちに、放射性物質の放出を抑制するために、廃ガス処理設備の配管の流路を遮断し、放射性物質を含む気体を水封部又はセルに導出するユニットからセルに導出する。
- (3) さらに、セルからの排気経路を遮断し、放射性物質を含む気体をセル及びセルからの排気系内に滞留させる。



廃ガス処理設備の配管の流路を遮断



セルからの排気系の経路を遮断

## 2. 臨界事故への具体的対処

### 2.2 事故への対処概要



- (4) 放射性物質の放出の抑制作業と並行して、可溶性中性子吸収材を供給することで、未臨界に移行させるとともに未臨界を維持
- (5) 可溶性中性子吸収材の供給が困難である場合は、別なアクセスルート上に設けた他の接続口より可溶性中性子吸収材を供給する。
- (6) セル及びセルからの排気系内から建屋への微少な漏えいを検知した場合は、建屋排気系の経路を遮断し、放射性物質を含む気体を建屋内に滞留させる。



可溶性中性子吸収材  
(保管例)



溶解槽に接続する配管 (接続口)



供給ポンプ



供給訓練写真

## 2. 臨界事故への具体的対処

### 2.3 外部への放出量の低減対策

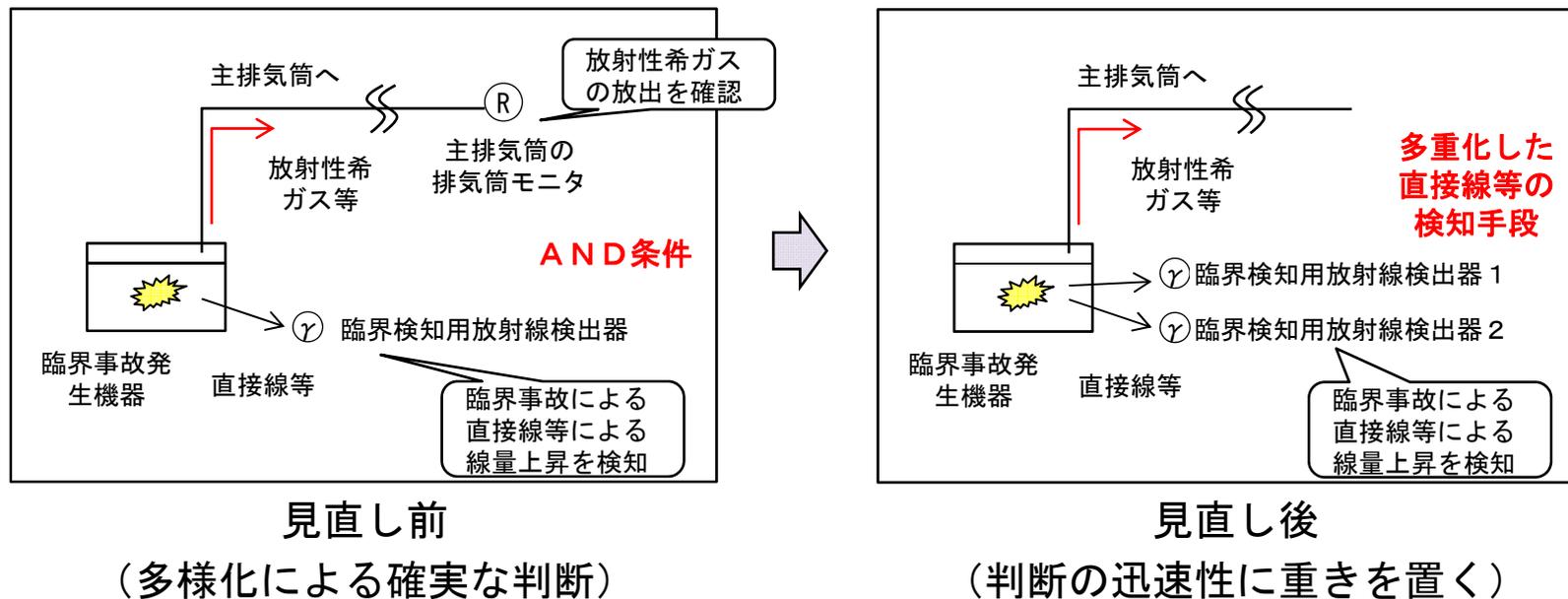


臨界事故の発生後直ちに・・・

- ✓ 一般公衆への被ばく影響が大きい放射性希ガス・よう素が放出される
- ✓ しかし、希ガスはフィルタによる除去が期待できない



換気設備を直ちに停止するために、臨界事故検知手段を最適化  
(再処理施設の原則である負圧維持よりも、臨界事故への対処を優先)

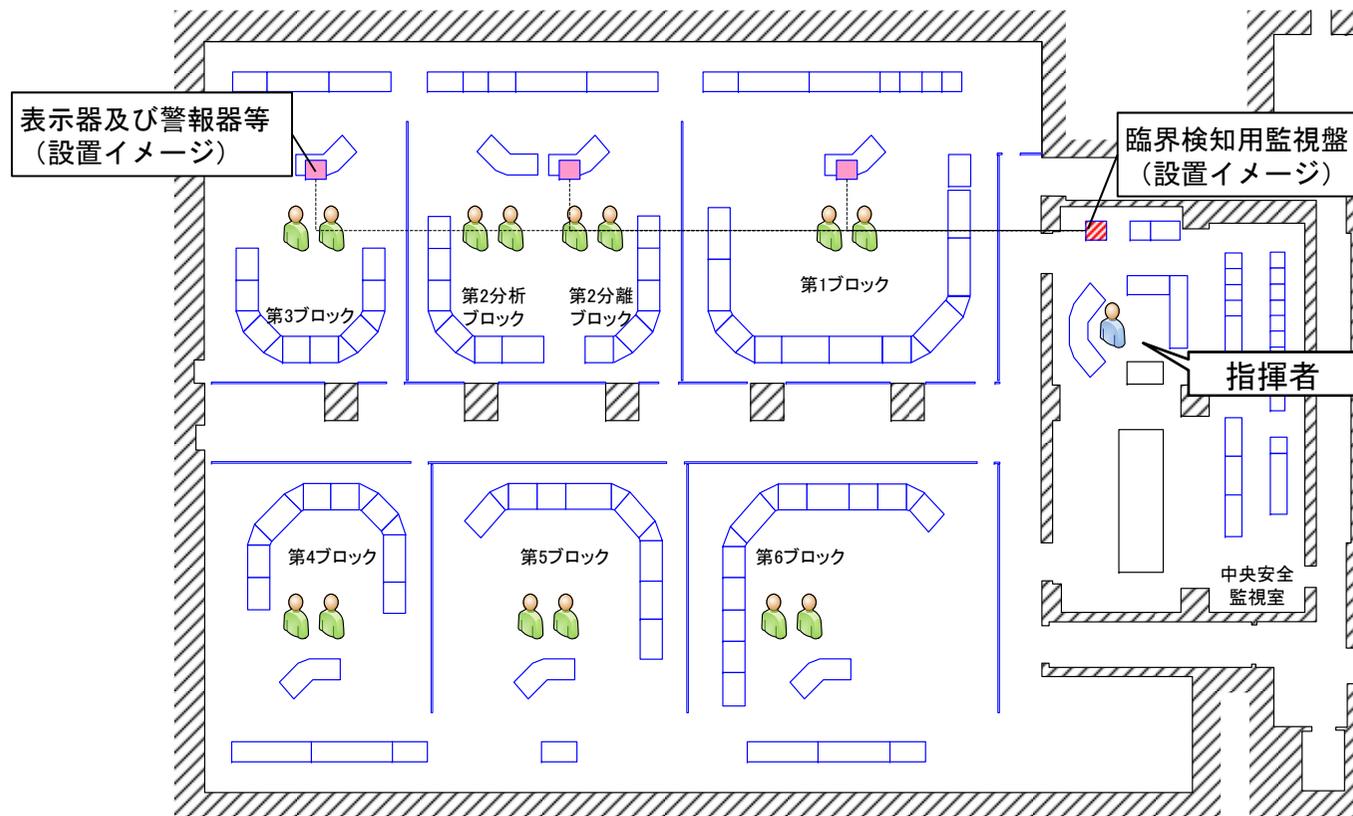


## 2. 臨界事故への具体的対処

### 2.3 外部への放出量の低減対策



臨界事故初期のバースト期の放出が全放出量の3割程度を占める可能性  
バースト期の放出も可能な限り抑制する  
⇒直ちにシステムの遮断操作をできるように、情報伝達時間の短縮化を図る



臨界事故発生に係る情報の伝達時間短縮対策例

## 2. 臨界事故への具体的対処

### 2.3 外部への放出量の低減対策



#### 放射性希ガス等の放出量低減効果の試算

表：溶解槽における臨界事故による放射性希ガス・よう素の放出量試算結果

区間	対策の進行状況	核分裂率 $1 \times 10^{15}$ [fissions/s]				効果内訳
		標準的な作業時間による試算値		現実的な評価方法※2による訓練実績等を踏まえた試算値		
		放出量	滞留量	放出量	滞留量	
1	臨界事故発生～ せん断処理・溶解廃ガス処理設備 隔離弁操作及び排風機停止まで※1	61%	—	—	38%	異常な水準の放出 防止対策の早期実 施効果
2	せん断処理・溶解廃ガス処理設備隔離弁 操作及び排風機停止～ 溶解槽セル排風機入口ダンパの閉止ま で	10%	29%	4%	58%	
合計		71%	29%	4%	96%	可溶性中性子吸収 材供給完了までの時 間短縮効果
総発生量(放射性希ガス等) (総核分裂数)		$3 \times 10^{15}$ Bq ( $3.1 \times 10^{18}$ fissions)		$3 \times 10^{15}$ Bq ( $2.7 \times 10^{18}$ fissions)		

※1：バースト期の核分裂数として設定した  $1 \times 10^{18}$  fissions で発生する放射性希ガス等を含む。

※2：より現実的な条件として、放射性物質を含む気体の配管での滞留効果とセルでの希釈を考慮した場合の試算値

- 可溶性中性子吸収材の供給作業時間短縮により核分裂数（総発生量）を低減
- 閉じ込め操作に係る作業時間の短縮により放出量を低減

## 2. 臨界事故への具体的対処

### 2.4 未臨界への移行対策



#### 未臨界への移行手段

②上流の貯槽から硝酸等を供給することにより希釈

上流の貯槽にプルトニウムを含む溶液が内蔵されている場合は、排出する必要がある。また、手順が多く、時間がかかる

①可溶性中性子吸収材の手動による供給

手動操作による可溶性中性子吸収材の供給により確実な未臨界への移行

③移送機器による液移送

移送先に全濃度安全形状寸法管理の機器が無い場合は困難

溶液が沸騰している場合、移送機器が使用できない場合あり

確実性の高い対策である「中性子吸収材の供給」を選択

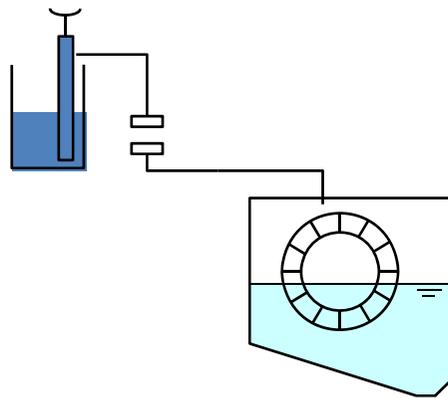
## 2. 臨界事故への具体的対処

### 2.4 未臨界への移行対策

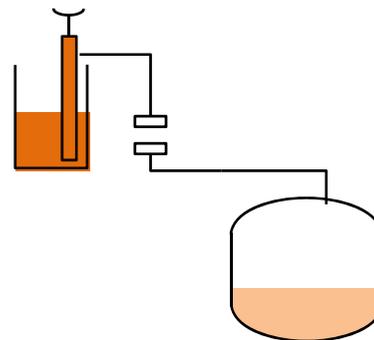


#### 可溶性中性子吸収材の種類

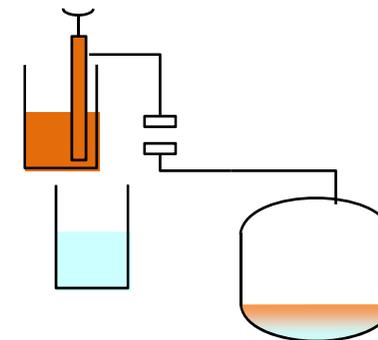
臨界事故が想定される液性には下図の3パターンがある。



水相における臨界事故：  
硝酸ガドリニウム溶液  
(ガドリニウムによる中性子吸収効果)



有機相における臨界事故



水相/有機相における臨界事故

硝酸ガドリニウム溶液を供給しても、  
相分離してしまい未臨界に移行できない



有機相に可溶性中性子吸収材として  
「有機ほう素化合物」を採用

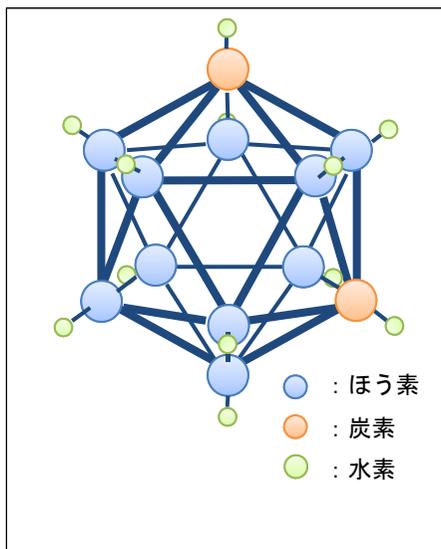
## 2. 臨界事故への具体的対処

### 2. 4未臨界への移行対策



#### 有機ほう素化合物 (m-カルボラン)

- 有機ほう素化合物として、有機溶媒に可溶であり、ほう素を含む物質である m-カルボラン ( $C_{10}H_{12}B_{10}$ ) を用いる。
- 未臨界への移行には、m-カルボラン中に存在するほう素のうち、熱中性子に対する中性子吸収効果が大きいB-10の中性子吸収効果に期待する。
- m-カルボランは粉末状物質であり、粉末状のまま機器に供給する場合には、配管閉塞のリスクや溶解時間を考慮する必要性があることから、有機溶媒（希釈剤）であるn-ドデカンに溶解して供給する。



図：m-カルボランの構造



図：保管イメージ

## 2. 臨界事故への具体的対処

### 2.4 未臨界への移行対策



#### 有機ほう素化合物（m-カルボラン）の再処理施設への適用

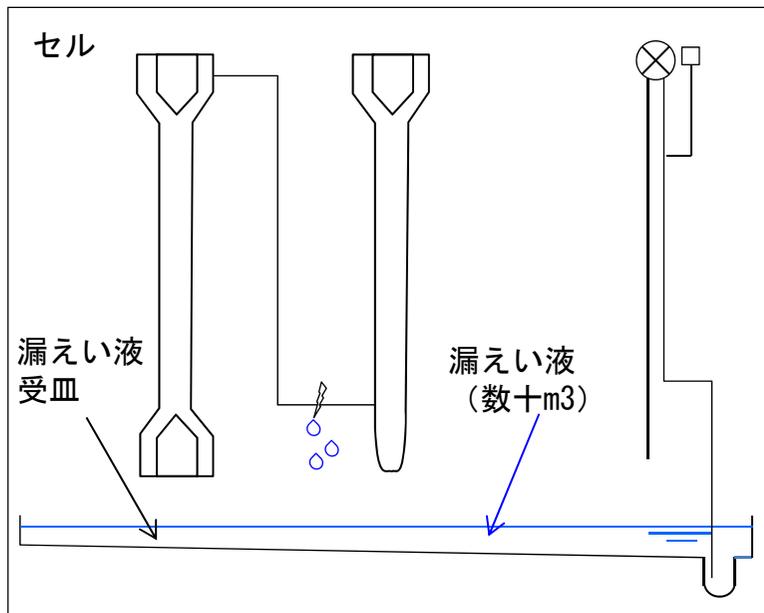
##### m-カルボラン

- ✓ 一般的に使用される数量（グラムオーダー）よりも大きい数量（kgオーダー）を取り扱う
- ✓ 一般的な特性についてデータが十分取得されているとはいえない



新たに種々のデータを取得し、臨界事故対処に使用できることを確認

表：m-カルボランに対する試験内容



図：漏えい液受皿における臨界事故概念図

No.	m-カルボランの試験内容	試験結果
1	n-ドデカンへの溶解特性の把握	溶解特性を把握し、保有量を決定
2	元来存在する不純物の特定	微量のみであることを確認
3	物理的特性の把握(析出性、昇華性、粘性、密度、法令上の要求)	対処上問題となる特性なし
4	再処理施設で用いる有機溶媒(30%TBP+n-ドデカン)との反応性	反応なし
5	再処理施設で用いる硝酸との反応性	反応なし

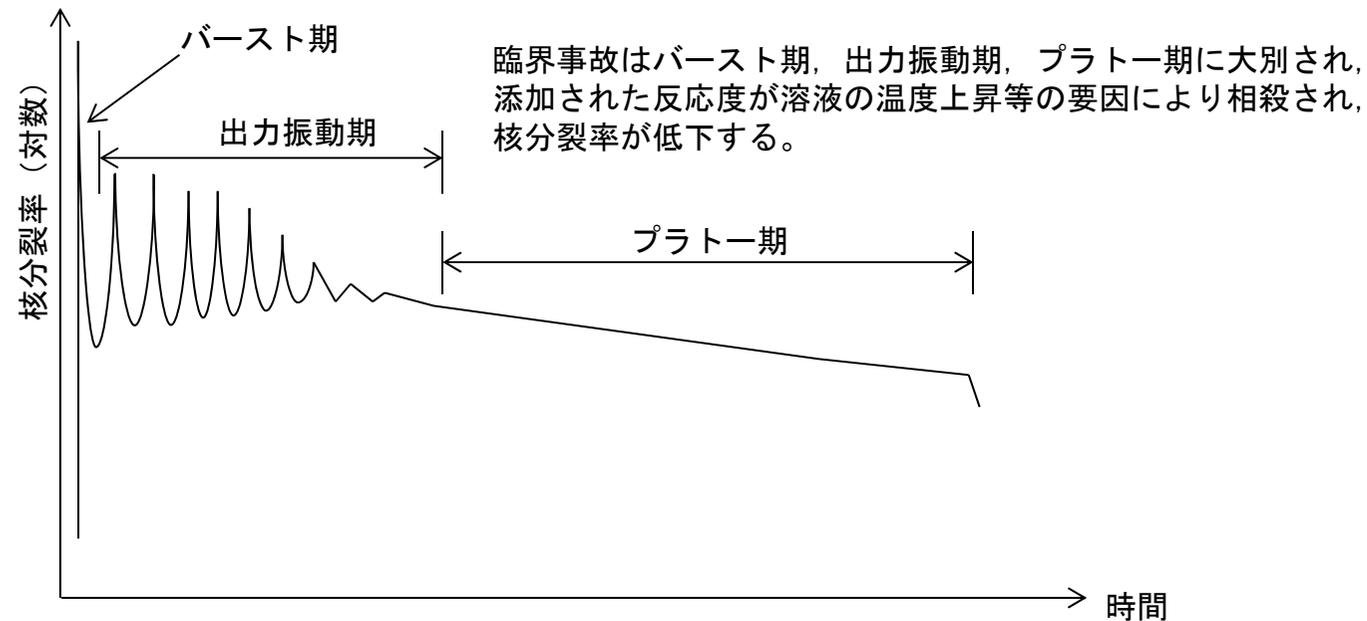
## 2. 臨界事故への具体的対処 2.5有効性評価（前提条件）



### 臨界事故の挙動の仮定

核燃料物質の処理施設の臨界事故推移の特徴

- 臨界事故発生初期に生じる極短時間の急激な核分裂反応（バースト）
- 安定した核分裂状態が長時間にわたり継続（プラトー）



図：臨界事故における出力の過渡変化例

臨界事故の特徴を踏まえ、異常な水準の放出防止対策による放出放射エネルギーの低減効果及び臨界事故時の環境条件を考慮した対策の実現性の評価を行うための、バースト期の核分裂数、プラトー期の核分裂率を設定

## 2. 臨界事故への具体的対処 2.5 有効性評価（前提条件）



臨界事故の規模の設定には、過去に発生した臨界事故を参考にする。  
過去に発生した臨界事故の規模の範囲は下表の通りであり、総核分裂数、核分裂率ともに規模に幅がある。



現実的に発生の可能性の高い条件を設定するとともに、特にプラト一期の核分裂率について、規模が上ぶれした場合の影響を考慮

項目	過去に発生した臨界事故の規模	有効性評価で基準とする規模	有効性評価において考慮する項目
総核分裂数 [fissions]	$10^{15} \sim 10^{19}$	$10^{20}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>セシウム137換算放出量評価(対処失敗時)</li> </ul>
バースト期の核分裂数 [fissions]	$10^{14} \sim 10^{17}$	$10^{18}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射性希ガス等の放出量評価</li> <li>セシウム137換算放出量評価(対処成功時)</li> </ul>
プラト一期の核分裂率 [fissions/s]	$10^{12} \sim 10^{16}$	$10^{15}$ ( $10^{16}$ に上ぶれした場合の影響も考慮 )	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射性希ガス等の放出量評価</li> <li>セシウム137換算放出量評価(対処成功時)</li> <li>作業環境の評価</li> </ul>



## 2. 臨界事故への具体的対処

### 2.5 有効性評価（外部への放出量）



#### 臨界事故による放出量の計算条件

表：異常な水準の放出防止対策の有効性評価の条件（溶解槽の例）

項目	対処成功時の放出量	対処失敗時の放出量	設定の考え方
M A R	平常運転時の最大値	同左	1日当たり再処理する使用済燃料の平均燃焼度 $45,000\text{MWd}/\text{t}\cdot\text{U}_{\text{Pr}}$ 、冷却期間15年を基に算出した平常運転時の最大値とする。
D R	総核分裂数 $10^{20}$ に対し、拡大防止対策により早期に未臨界に移行する効果を見込み、総核分裂数 $3 \times 10^{18}$ ※2に相当する蒸発量	総核分裂数 $10^{20}$ に相当する蒸発量	対処失敗時の放出量には、過去の臨界事故の総核分裂数を参考に設定する。 対処成功時の放出量は拡大防止対策が成功した場合の効果を見込む。
A R F	ルテニウム：溶液中の保有量 及び臨界に伴う生成量の0.1% その他：臨界に伴う蒸発量に相当する溶液体積中の保有量の0.05%	同左	設計基準事故の溶解槽における臨界と同じ値とする。
L P F ※1	蒸気による劣化を考慮した高性能粒子フィルタ1段相当のDF $10^2$ 異常な水準の放出防止対策による効果(放出割合：80%)を考慮	同左 セルへの滞留効果は見込まない	— 対処成功時の放出量には、異常な水準の放出防止対策の効果として、基準とする臨界事故の規模の場合におけるセルへの滞留効果を見込む。
RF	保守的に1を設定	同左	—

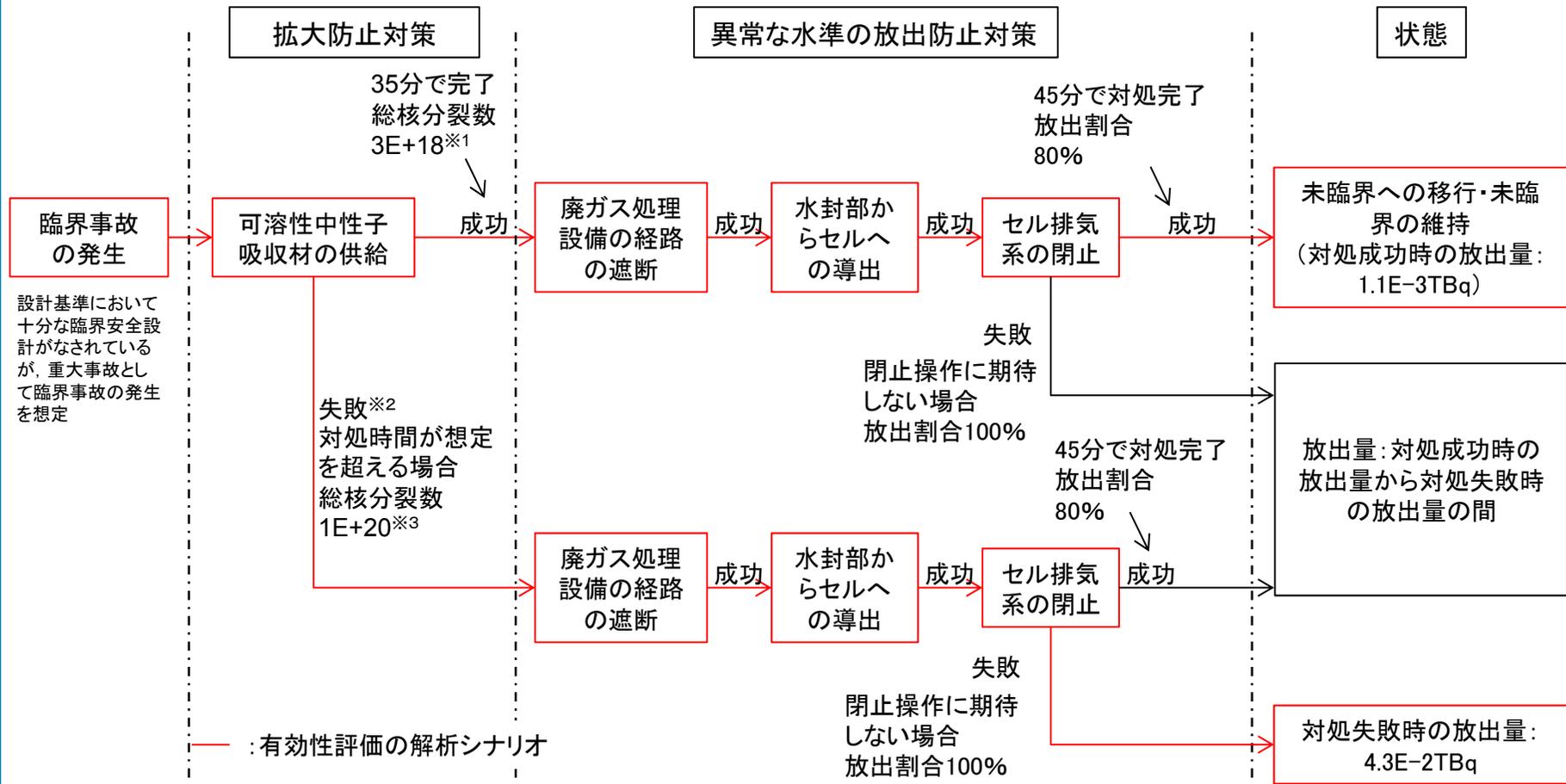
※1：溶解槽は放出経路の構成上、放出経路構造物によるDF10を見込まない。

※2：バースト期における核分裂数 ( $1 \times 10^{18}$ [fissions]) 及び、基準とする核分裂率 ( $1 \times 10^{15}$ [fissions/s]) に拡大防止対策の完了時間 (35分) を乗じて算出

## 2. 臨界事故への具体的対処 2.5有効性評価（外部への放出量）



### 臨界事故による放出量の計算シナリオ（溶解槽の例）

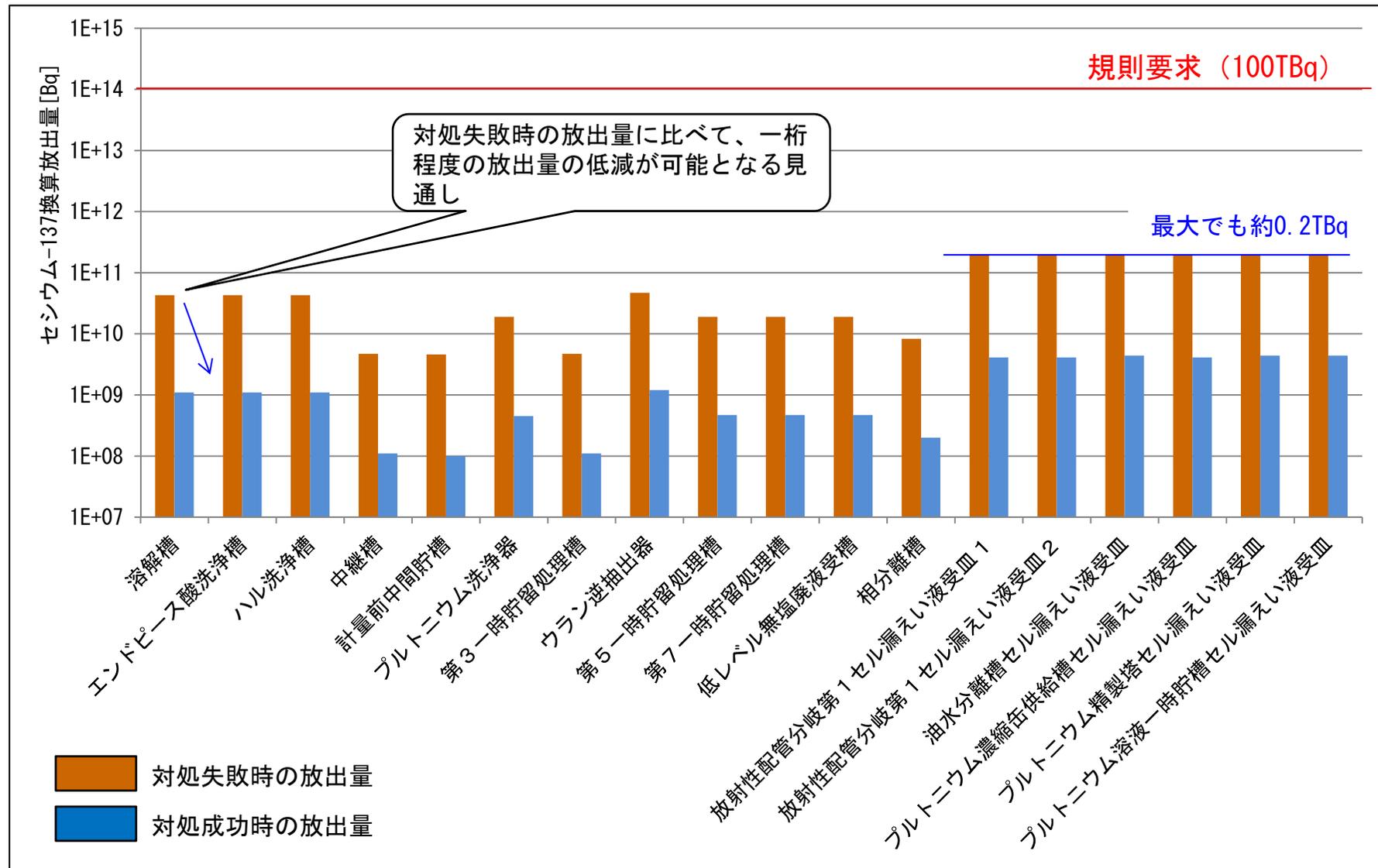


※1: バースト期の核分裂数及び、基準とする規模の臨界におけるプラト一期の核分裂率に拡大防止対策の完了時間を乗じて算出

※2: 臨界事故に伴う線量の影響を考慮した異なる2箇所に接続口を準備しているため、可溶性中性子吸収材の供給は確実性が高い。

※3: 可溶性中性子吸収材の供給は確実性が高いが、可溶性中性子吸収材の供給に想定よりも時間を要する場合又は核分裂率が有効性評価において基準とする規模を超える場合に、対処成功時の核分裂数を超える可能性がある。これらの条件を包含できるように核分裂数 $1E+20$ を設定する。

## 2. 臨界事故への具体的対処 2.5有効性評価（外部への放出量）



図：臨界事故による放出量（セシウム-137換算）の計算結果

## 2. 臨界事故への具体的対処

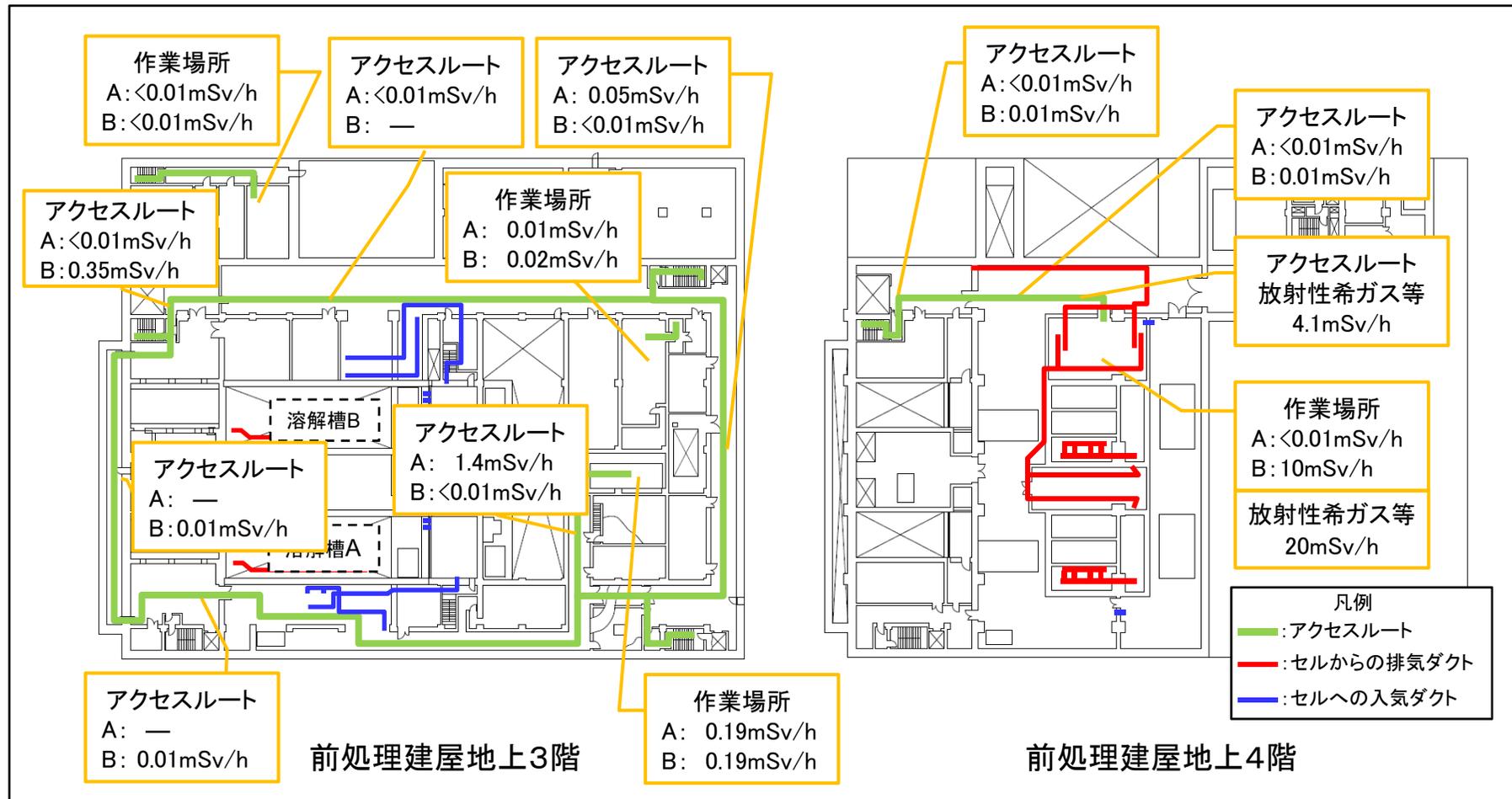
### 2.5有効性評価（作業環境の評価）



核分裂による放射線の放出（ガンマ線/中性子線）  
 さらに、核分裂生成物の生成による線量率の上昇（ガンマ線）



作業環境の放射線  
 レベルが上昇



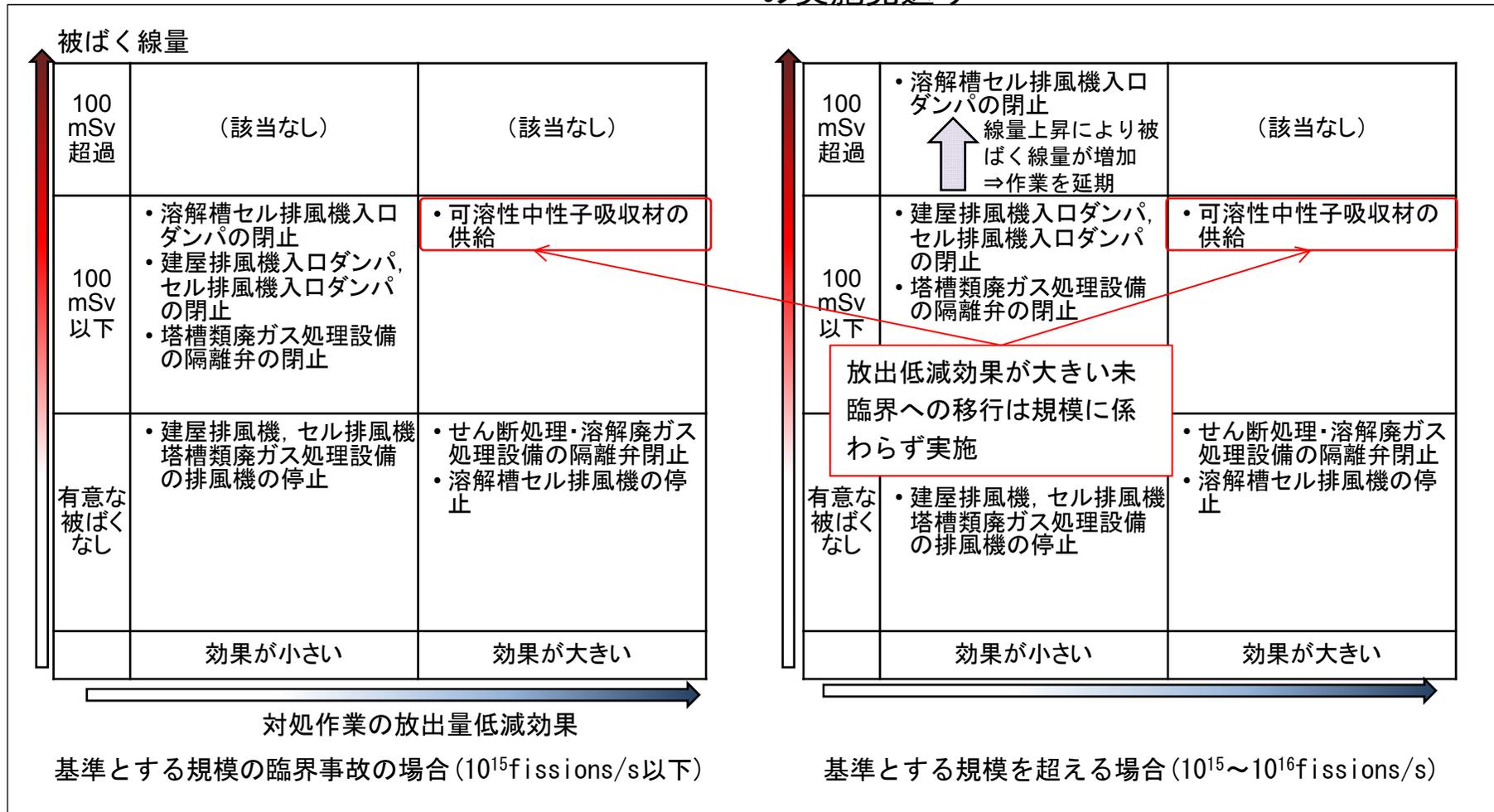
図：溶解槽における臨界事故の線量評価例

## 2. 臨界事故への具体的対処 2.5有効性評価（作業環境の評価）



### 作業実施の判断

臨界事故の規模には不確実性が含まれる → 線量率が高い場合 AND 効果が小さい作業の実施見送り



図：溶解槽における臨界事故の作業判断マトリクス例

## 2. 臨界事故への具体的対処

### 2.5有効性評価（作業環境の評価）



#### 事故時の被ばく線量

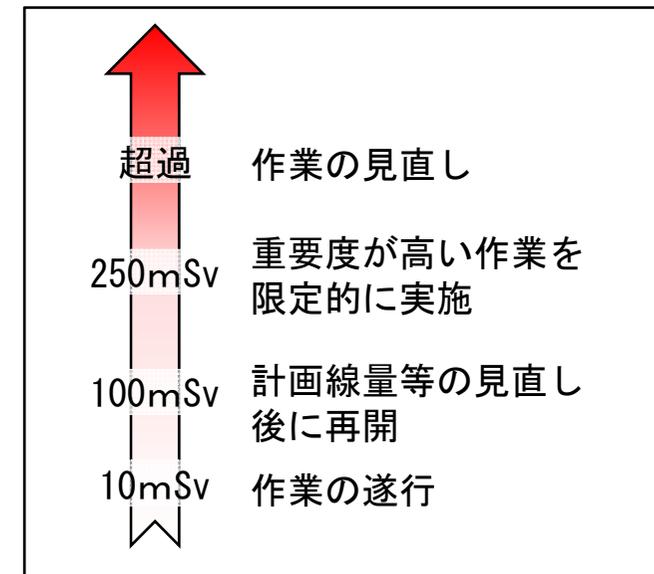
- ✓ 臨界事故における対処では、作業員が受ける線量を約10mSvを目安に管理
- ✓ 重要性が高い場合は、作業の重要性を踏まえ、段階的に引き上げる「段階的な管理」



作業員の被ばくを可能な限り低減することを考慮

表：溶解槽の臨界事故における被ばく線量試算例

作業	作業員 C, D	作業員 G, H
可溶性中性子吸収材の供給	○	—
セルからの排気系の系統遮断	—	○
建屋内滞留（建屋排風機入口ダンパ及びセル排風機入口ダンパの閉止）	—	○
建屋内滞留（塔槽類廃ガス処理系隔離弁（手動）の閉止）	—	○
アクセスルート上で受ける線量	○	○
作業によって作業員が受ける線量	0.07mSv/人	10mSv/人



図：線量基準概念図

## 2. 臨界事故への具体的対処

### 2.5有効性評価（作業環境の評価）

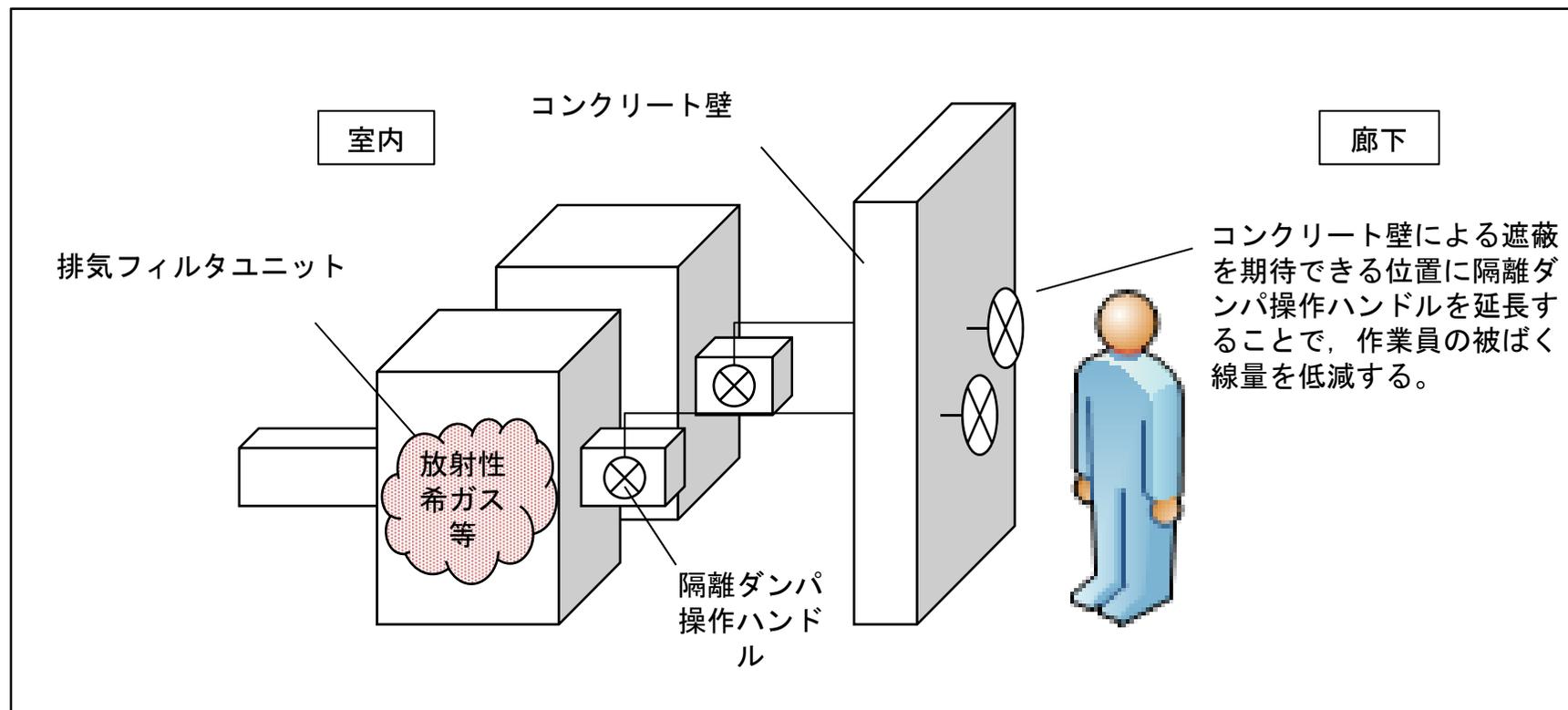


#### 追加の線量低減措置

放射性希ガス等によるセルからの排気ダクト周辺の線量率の上昇が比較的大きい



十分な遮蔽効果を期待できる位置にて操作を行えるよう設計



図：線量低減対策の概念図

### 3. まとめ

#### I. 臨界事故の選定

- ✓ 臨界事故の想定として、他の事故よりも厳しい条件を適用
- ✓ セル内に設置した23機器において臨界事故の発生を想定し対策を準備
- ✓ セル外に設置した機器については機器の特徴を踏まえると、厳しい条件を適用しても臨界に至らないと評価

#### II. 臨界事故への対処の特徴

- ✓ 規則要求にある“未臨界の維持”及び“異常な水準の放出防止”を実施することはもとより、特に外部への放出量を低減する対策を優先的に実行
- ✓ 可能な限り建屋に閉じ込める ということを重大事故への対処の基本コンセプトに位置づける

### 3. まとめ



#### Ⅲ. 拡大防止対策（未臨界への移行）

- ✓ 信頼性・確実性が高い中性子吸収材の供給による対策を実施
- ✓ 硝酸Gd水溶液または有機ほう素化合物溶液（m-カルボラン）を使用

#### Ⅳ. 異常な水準の放出防止対策（閉じ込め）

- ✓ 保守的な仮定をおいても、規則上の要求事項（Cs-137換算100TBq）を満足
- ✓ 対策が成功した場合、更なる放出量の低減効果が見込める
- ✓ Cs-137換算には算定しなかった希ガス・よう素についても臨界事故による放出量を算定し、対策の実施効果を定量的に評価

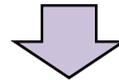
#### Ⅴ. 作業環境の評価

- ✓ 臨界事故発生中の作業環境の悪化として線量率の上昇を想定
- ✓ 線量率上昇の要因には、放射性希ガスによる線量上昇も考慮
- ✓ 線量率が過度に上昇している場合、重要度が低い一部の作業は見送る判断
- ✓ 重要度が高い作業は遠隔化や遮へいを考慮することにより、確実に操作できるよう措置

## 4. 今後の課題

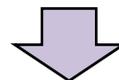


- ✓ より確実に臨界事故の発生を検知して、対策系に移行できるように、設計段階からヒューマンマシンインターフェースの考慮が必要



重大事故が発生した場合でも間違いのない操作を可能とする  
設備の設計ガイドラインの策定が望まれる

- ✓ 有機ほう素化合物溶液（m-カルボラン）の特性を把握したが、長期的な安定性については継続的にデータを取得する必要有



m-カルボランに係るデータの蓄積を行うとともに、  
新たな物質を使用することによる  
有機相での臨界の未臨界への移行も継続的に検討