

2023年 日本原子力学会 春の年会
標準委員会 企画セッション

グレーデッドアプローチを適用した廃止措置の在り方

(2) 廃止措置計画における安全評価への
グレーデッドアプローチの適用

2023/3/15

廃止措置分科会

委員 工藤 清一 (MHI NSエンジニアリング株式会社)

1. はじめに
2. 廃止措置計画における安全評価基準の整備
 - 2.1 新規制定の目的
 - 2.2 標準(規定)、附属書(参考)の構成
 - 2.3 廃止措置計画における安全評価の基本的考え方
 - 2.4 廃止措置計画における安全評価に関する要求事項
 - 2.5 廃止措置計画における安全評価の方法
3. グレーデッドアプローチ適用
 - 3.1 廃止措置段階のリスク
 - 3.2 グレーデッドアプローチについて
 - 3.3 公衆被ばく防護の観点からの重要度ランク (例示)
 - 3.4 重要度ランクの判定方法 (例示)
 - 3.5 PWRに関する解体対象物の重要度ランク試算例
4. 線量評価パラメータの整備
 - 4.1 核種データの整備
 - 4.2 線量評価パラメータの種類と整備の状況
 - 4.3 飛散パラメータ整備の状況
5. 公衆審査対応
6. まとめ

- IAEAでは廃止措置のあらゆる局面においてグレーデッドアプローチを適用することが提唱されている。
- 日本原子力学会 廃止措置分科会では、廃止措置に関する標準の整備を継続しており、その一つとして、
“発電用原子炉施設の廃止措置計画における安全評価基準：2023”
(以下、廃止措置安全評価基準)を整備し、**2023年3月1日に制定**され、発行準備中となっている。
- 安全評価基準では、**廃止措置計画にグレーデッドアプローチを適用するためのベースとなる公衆被ばく防護の観点からの重要度ランクの分類及び判定の方法**を(参考)として例示している。
- 本資料では、次を説明する。
 - 2章**：廃止措置安全評価基準の概要
 - 3章**：グレーデッドアプローチの適用例
 - 4章**：被ばく評価パラメータ
 - 5章**：今後の課題

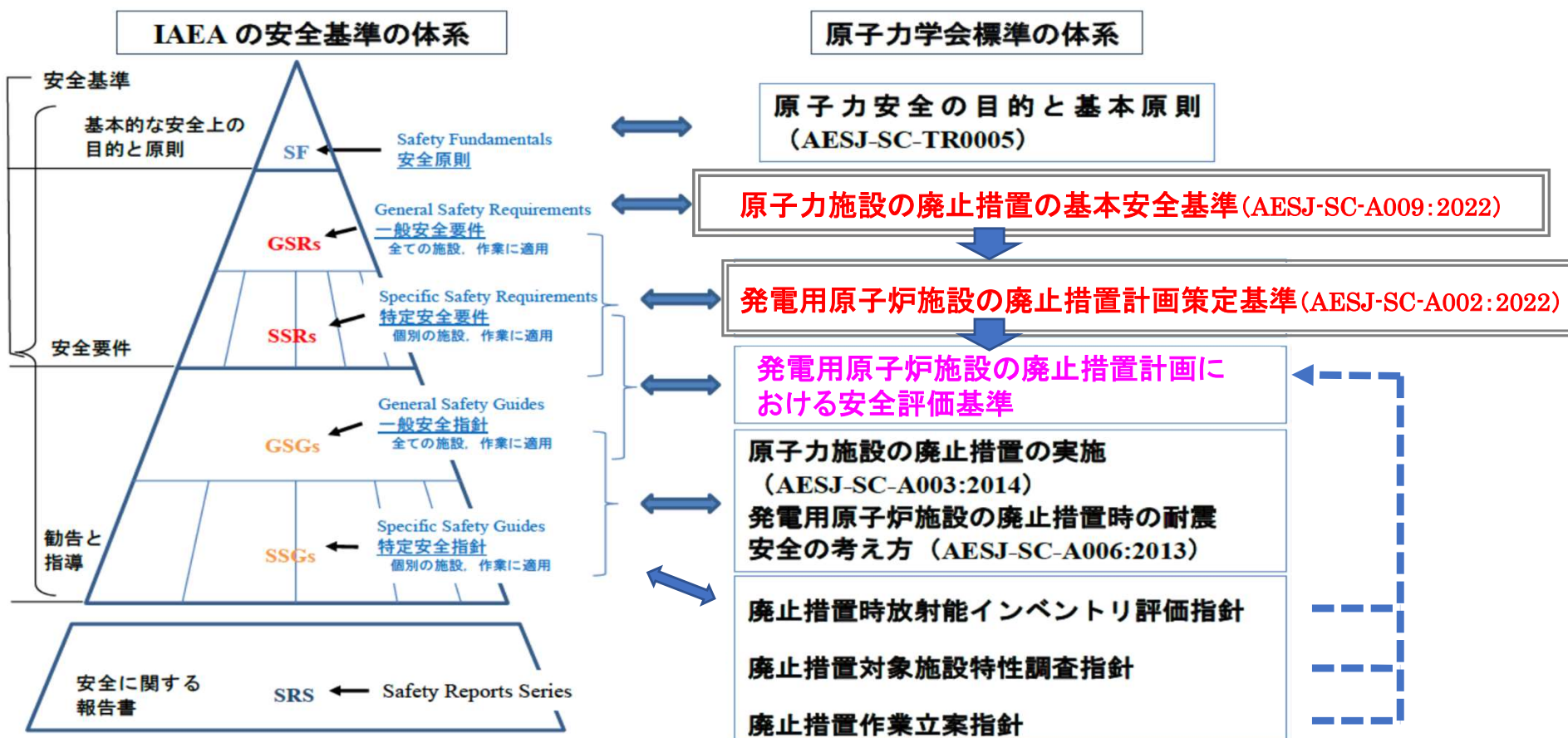
2. 廃止措置計画における安全評価基準の整備

2.1 新規制定の目的

(1) 標準制定の目的

廃止措置の対象となる発電用原子炉施設について、廃止措置計画策定時の安全評価の基本的考え方及び技術的要求事項を定めること。

(2) 廃止措置に関する標準の構成



2. 廃止措置計画における安全評価基準の整備

2.2 標準(規定)、附属書(参考)の構成

(1) 本体の目次構成

序文

1. 適用範囲

2. 引用規格

3. 用語及び定義

4. 廃止措置計画における安全評価の基本的考え方

4.1 廃止措置計画における安全評価の目的

4.2 廃止措置計画にグレーデッドアプローチを適用するための安全評価

5. 廃止措置計画における安全評価に関する要求事項

5.1 平常時の施設周辺の一般公衆の被ばく評価に関する要求事項

5.2 事故時の施設周辺の一般公衆の被ばく評価に関する要求事項

5.3 放射線業務従事者の被ばく評価に関する要求事項

6. 廃止措置計画における安全評価の方法

6.1 廃止措置計画における安全評価の手順

6.2 廃止措置計画における安全評価条件の設定方法

6.3 平常時被ばく評価の実施方法

6.4 事故時被ばく評価の実施方法

6.5 放射線業務従事者の被ばく評価の実施方法

2. 廃止措置計画における安全評価基準の整備

2.2 標準(規定)、附属書(参考)の構成

(2) 附属書(参考)の構成

附属書	タイトル	備考
附属書A(参考)	グレーデッドアプローチを適用した廃止措置計画における安全評価の考え方の例	重要度設定方法の例示
附属書B(参考)	平常時における施設周辺の一般公衆の被ばく評価モデル例	電中研ハンドブック引用
附属書C(参考)	事故時における施設周辺の一般公衆の被ばく評価モデル例	電中研ハンドブック引用
附属書D(参考)	廃止措置時の平常時被ばく評価における被ばく経路及び評価対象放射性核種の選定例	電中研ハンドブック引用
附属書E(参考)	廃止措置時の事故時被ばく評価における評価対象放射性核種の選定例	電中研ハンドブック引用
附属書F(参考)	廃止措置時の被ばく評価パラメータ例<線量評価パラメータ>	電中研ハンドブック引用
附属書G(参考)	廃止措置時の被ばく評価パラメータ例<飛散パラメータ>	電中研ハンドブック引用
附属書H(参考)	最大想定事故の選定方法	電中研ハンドブック引用
附属書I(参考)	放射線業務従事者の被ばく線量評価方法	
附属書J(参考)	グレーデッドアプローチを適用した廃止措置計画における安全評価の事例	暫定的重要度分類の例示
解説		

電中研ハンドブック：“廃止措置工事環境影響評価ハンドブック（第3次版）”，(財)電力中央研究所，平成19年3月，（“平成18年度発電用原子炉廃止措置工事環境影響評価技術調査（環境影響評価パラメータの調査研究）”添付資料）

2. 廃止措置計画における安全評価基準の整備

2.3 廃止措置計画における安全評価の基本的考え方

(1) 廃止措置計画における安全評価の目的 [4.1章]

廃止措置計画の安全評価の目的は、次の日本原子力学会標準

●“原子力施設の廃止措置の基本安全基準 : 2022” AESJ-SC-A009 : 2022

●“発電用原子炉施設の廃止措置計画策定基準 : 2022” AESJ-SC-A002 : 2022

からの要求に基づき、選定された廃止措置の方策及び計画された廃止措置の作業が放射線防護の観点から安全であることを証明することである。

そのために、次を実施しなければならない。

- 廃止措置の作業を安全に実施できることを確認する。
- 計画された廃止措置の作業が放射線防護の観点で、一般公衆及び放射線業務従事者の被ばくに対してALARAの精神に則り、箇条5に示す次の基準を超えることがないことを確認する。
 - 線量目標値：一般公衆 [平常時]
 - 目安線量 : 一般公衆 [事故時]
 - 実効線量限度又は計画線量：放射線業務従事者
- 施設の維持管理に関し、次を明確にする。
 - 廃止措置の作業を安全に実施するために必要な設備とその能力
 - その維持管理が必要となる期間

2.3 廃止措置計画における安全評価の基本的考え方

(2) 廃止措置計画にグレーデッドアプローチを適用するための安全評価 [4.2章]

- 廃止措置対象施設の特性及び廃止措置の作業に伴う放射線リスクの大きさに応じて効果的な廃止措置の方策，作業の手順，安全対策などを計画するために，放射線に対する安全評価を実施しなければならない。
- そのための手段として，基本安全基準の5.4及び廃止措置計画策定基準の5.5に則り，グレーデッドアプローチの考え方を適用し，廃止措置対象施設の状態を考慮し，除染，解体，撤去，処理，移送などの廃止措置の作業を安全に実施するために維持すべき設備とその性能を安全評価によって特定しなければならない。

2. 廃止措置計画における安全評価基準の整備

2.4 廃止措置計画における安全評価に関する要求事項

(1) 平常時の周辺公衆の被ばく評価の実施 [5.1章]

a) 線量目標値

- ・ 放射性物質の放出による被ばく：50 μ Sv/y/サイト以下
- ・ 施設からの放射線の放出による被ばく：50 μ Gy/y/サイト以下
(中性子の影響がある場合：50 μ Sv/y/サイト以下)

b) 濃度限度

- ・ 周辺監視区域外の排気中／排水中の濃度限度以下

⇒ 放出管理目標値の設定

(2) 事故時の周辺公衆の被ばく評価の実施 [5.2章]

a) 目安線量

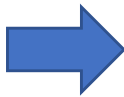
- ・ 事故当たりに5mSv以下（発生頻度：5年間の平均が1mSv/y以下）
(放射性物質の放出による線量と施設からの放射線の放出による線量の合算)

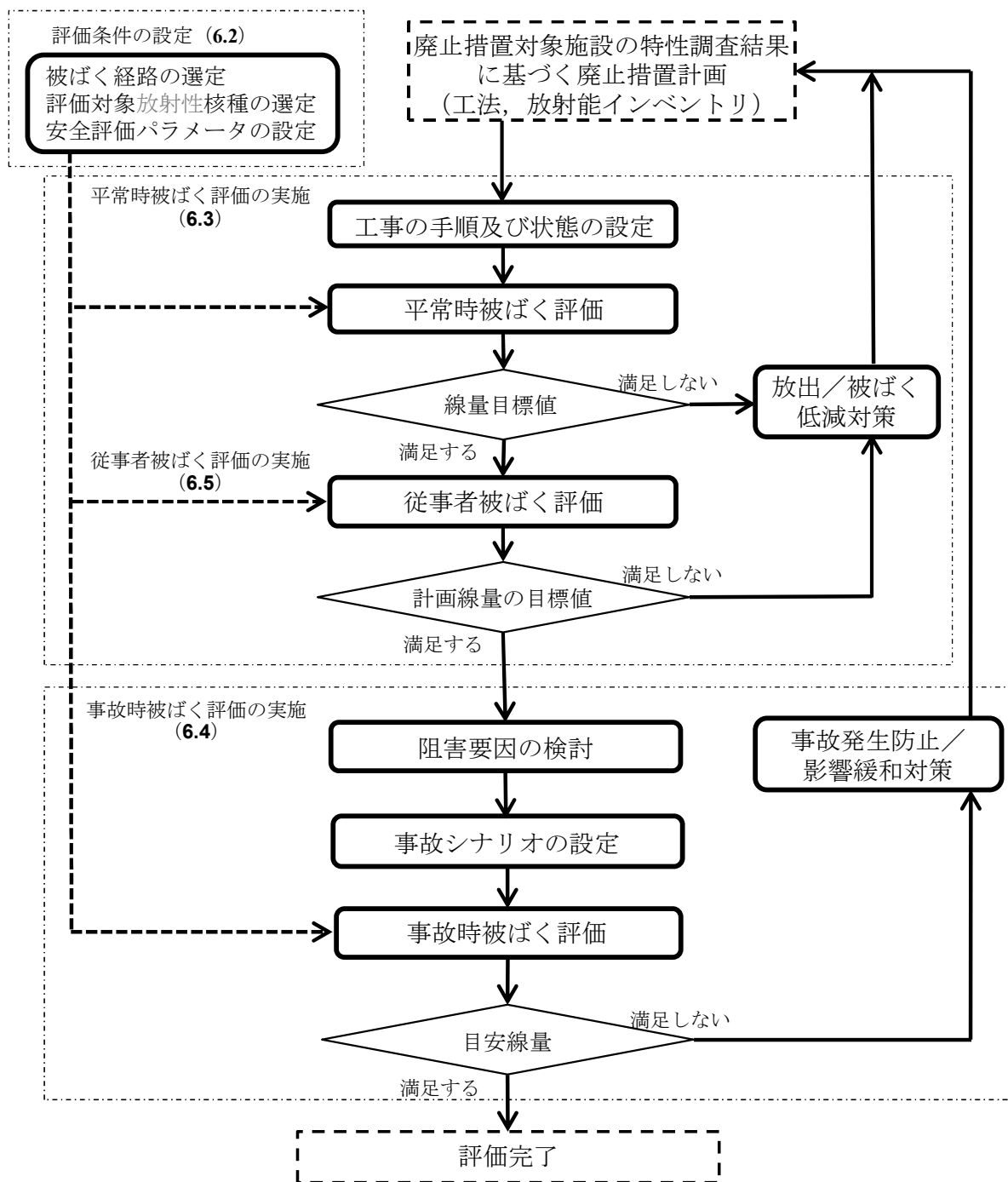
(3) 放射線業務従事者の被ばく評価の実施 [5.3章]

- ・ ALARA精神に則り、合理的に達成し得る限り従事者の総被ばく量を低減

⇒ 計画線量の目標値を設定

2.5 廃止措置計画における安全評価の方法

- (1) 廃止措置計画の安全評価の手順 [6.1章] 
- (2) 安全評価条件の設定方法 [6.2章]
 - ・放射性物質の発生源
 - ・放出経路の設定
 - ・被ばく経路の設定
 - ・被ばく評価モデルの設定
 - ・評価対象放射性核種の選定
 - ・安全評価パラメータの設定
 ⇒ 附属書B～I
- (3) 平常時被ばく評価の実施方法 [6.3章]
- (4) 事故時被ばく評価の実施方法 [6.4章]
- (5) 放射線業務従事者の被ばく評価の実施方法 [6.5章]



3.1 廃止措置段階のリスク

- **廃止措置とは**、廃棄物の塊（運転を終了した原子力施設）を安全、適切に分類して、廃棄物として処理すること。（C. Austin, 2016）
- **放射性物質という「リスク」**を内包している原子力施設を解体し、放射性物質を廃棄もしくは管理下におくとともに、施設自体からは、放射性物質による被ばくもしくは汚染のリスクを無くすこと。
- 安全に関する基本的考え方は変わらないが、**リスクに応じた対策が極めて重要**である。

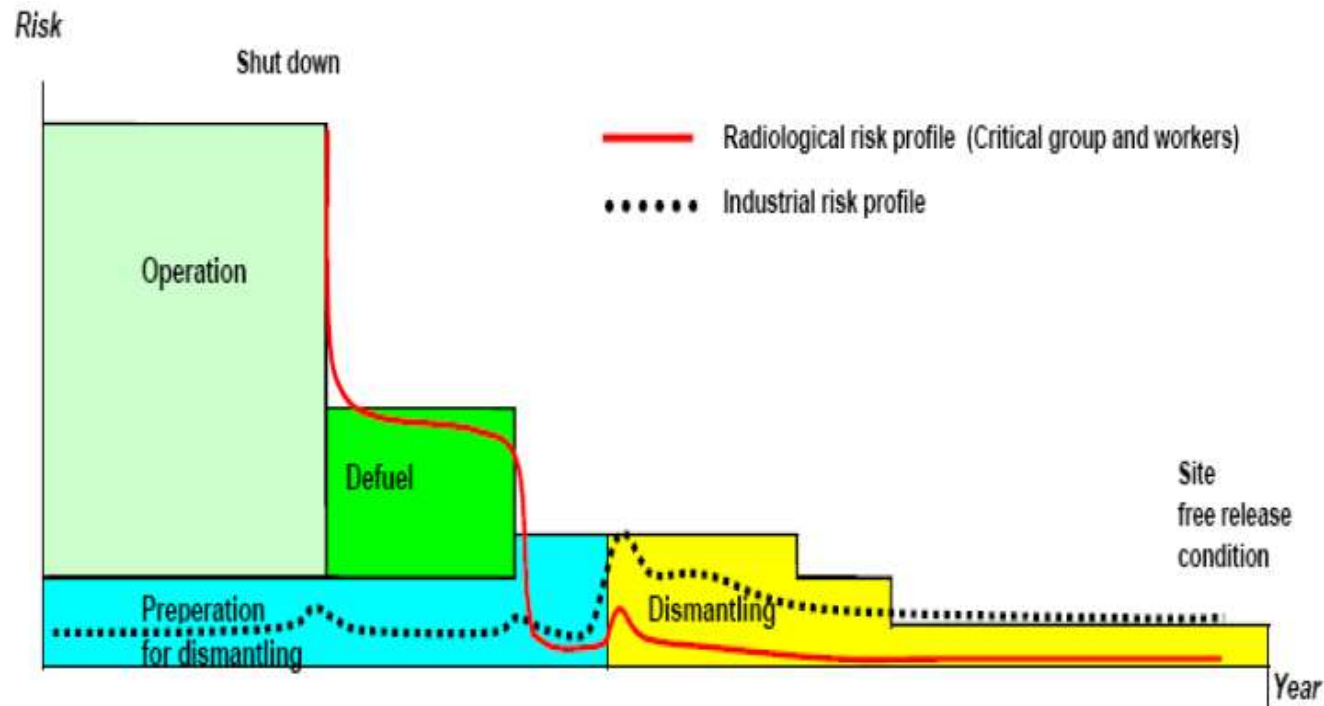


FIG. 3. An example of an overall radiological and industrial risk profile during the defueling and dismantling periods.

3.2 グレーデッドアプローチについて

(1) グレーデッドアプローチとは (IAEA Safety Glossary 引用)

- 規制体系あるいは安全系のような管理又は制御するシステムに対し、適用される管理又は制御法手段や条件の厳格さが、管理又は制御の喪失の起こり易さと起こりうる影響、及び管理又は制御の喪失に係るリスクのレベルと、実行可能な範囲で釣り合っていること。
- 行為あるいは線源の特性、被ばくの大きさや起こりやすさに見合った安全要件を適用すること。

(2) 公衆被ばく防護の観点からの重要度の区分

- グレーデッドアプローチの考え方を適用した廃止措置計画立案のための安全評価では、公衆被ばく防護の観点からの**重要度**を3つの領域に区分する。
 - 1) **安全確保対策を必須**とする領域
 - 2) **事業者の自主努力で安全確保対策を実施**する領域
 - 3) **安全確保対策を必要としない**領域

(3) 重要度に応じた安全評価の詳細度

- 重要度を判定するための周辺公衆の線量評価は、2段階で実施する。
 - 第1段階（概略評価）：想定される**全事故を考慮した包括的な条件**に基づく残存放射エネルギーと周辺公衆の被ばく線量との関係を予め求めておき、**判定基準となる残存放射エネルギーと取扱対象物の残存放射エネルギーとの比較**により重要度ランクを判定する。
 - 第2段階（詳細評価）：対象とする事故の**現実的な放出条件**に基づき周辺公衆の被ばく線量を求め、**判定基準となる実効線量との比較**により重要度ランクを判定する。
- 重要度の分類は、重要度の低い方から段階的に実施し、評価の効率化を図る。

3.3 公衆被ばく防護の観点からの重要度ランク (例示)

(1) 重要度ランクの判定基準 (例)

重要度区分		判定基準 ^{a)}	安全確保対策への要求事項
対策を 要求	ランクA	$Ds1 > 5mSv$	<ul style="list-style-type: none"> 事故発生防止対策及び事故発生時の影響緩和対策を要求 (5mSv以下にすること) 安全確保対策の機能を確実に確保
	事業者の 自主努力	$5mSv \geq Ds1$ 及び $Ds2 > 300\mu Sv/y$	<ul style="list-style-type: none"> 事故発生防止対策及び事故発生時の影響緩和対策を事業者の自主努力で実施 安全確保対策の機能を確保
	ランクC	$5mSv \geq Ds1$ 及び $300\mu Sv/y \geq Ds2 > 10\mu Sv/y$	<ul style="list-style-type: none"> 事故発生防止対策及び事故発生時の影響緩和対策を事業者の自主努力で実施 安全確保対策の機能を確保
対策不要	ランクD	残存放射エネルギーによる判定： 非飛散性： $1 \times 10^{11} Bq \geq As1$ 飛散性： $1 \times 10^{10} Bq \geq As2$ ($10\mu Sv/y \geq Ds2$ に相当)	<ul style="list-style-type: none"> 事故発生防止対策及び事故発生時の影響緩和対策を要求しない

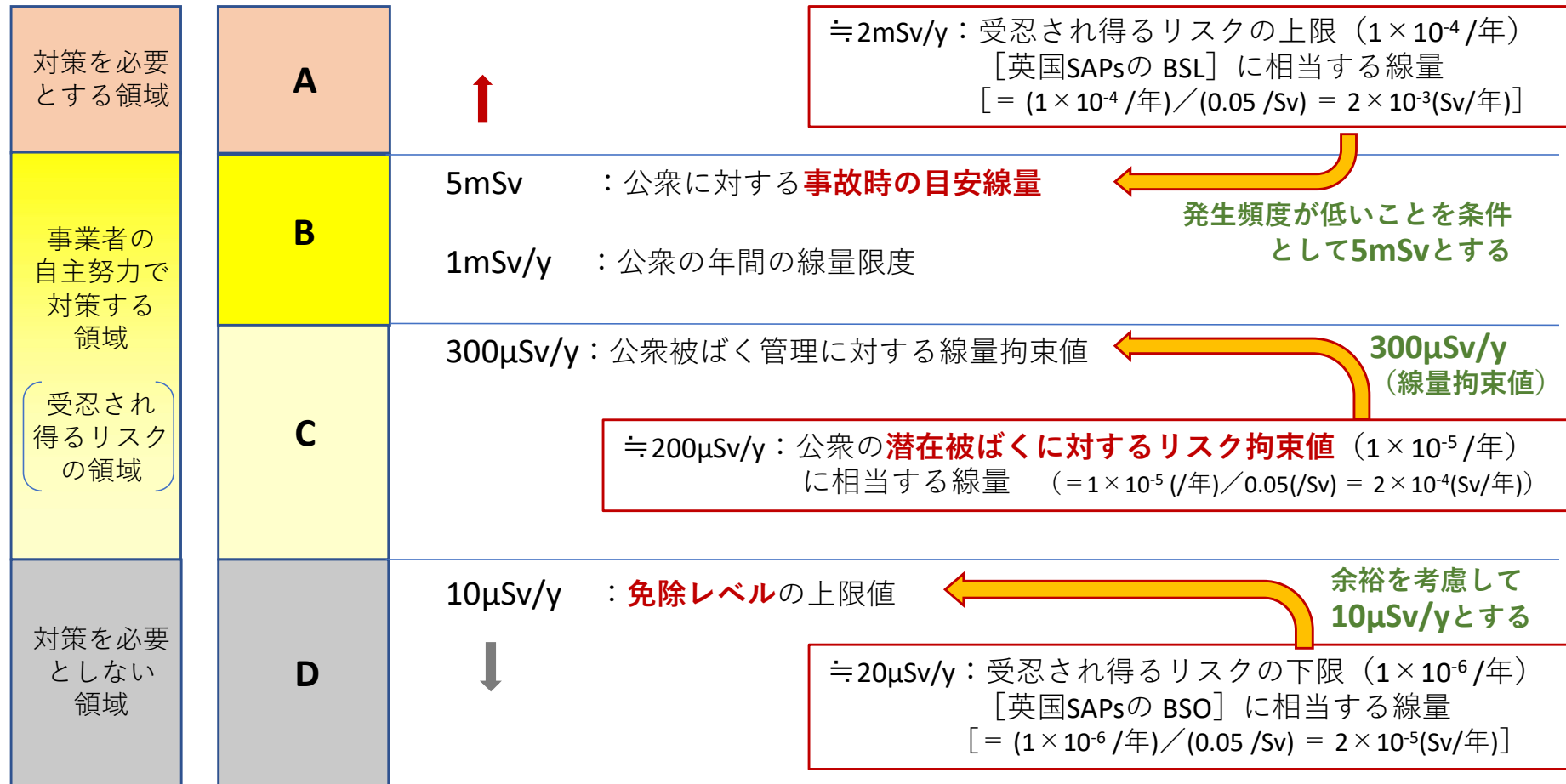
注a) Ds1：短期被ばく経路による線量 (放射性雲 + 吸入摂取)

Ds2：短期 + 長期被ばく経路による線量 (短期経路 + 地表面沈着 + 農作物摂取)

3. グレーデッドアプローチ適用

3.3 公衆被ばく防護の観点からの重要度ランク (例示)

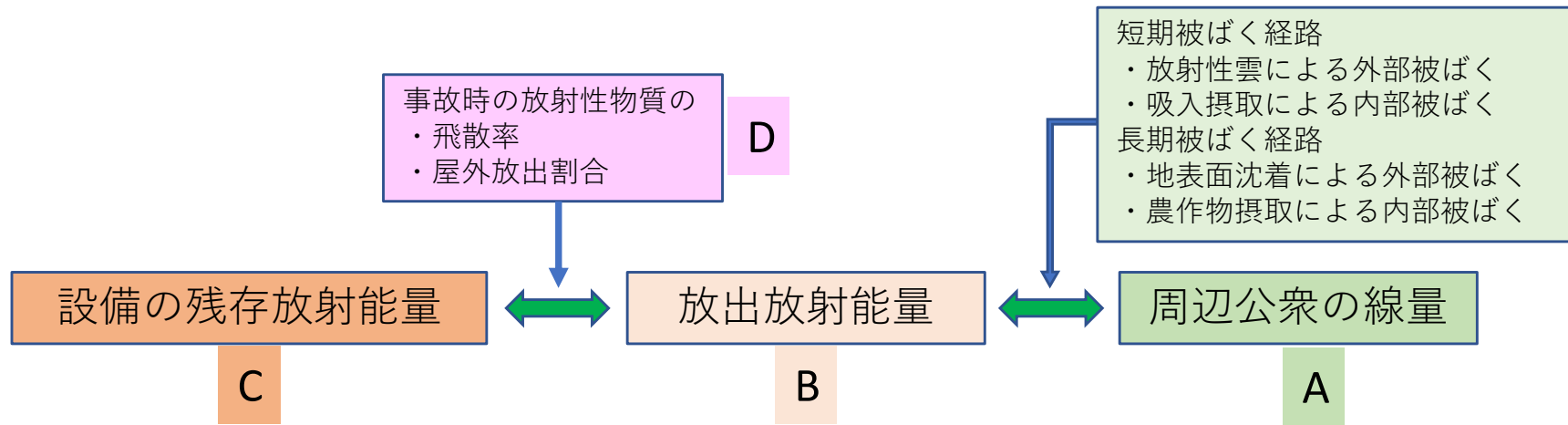
(2) 重要度ランク判定基準の設定根拠



3.3 公衆被ばく防護の観点からの重要度ランク (例示)

(3) 重要度ランクと放射エネルギーの関係

- 公衆被ばく防護の観点からの重要度ランクを判定する基準のうち、第1段階（概略評価）で使用する放射エネルギーの基準を決定するための放射エネルギーと線量の関係を求める。



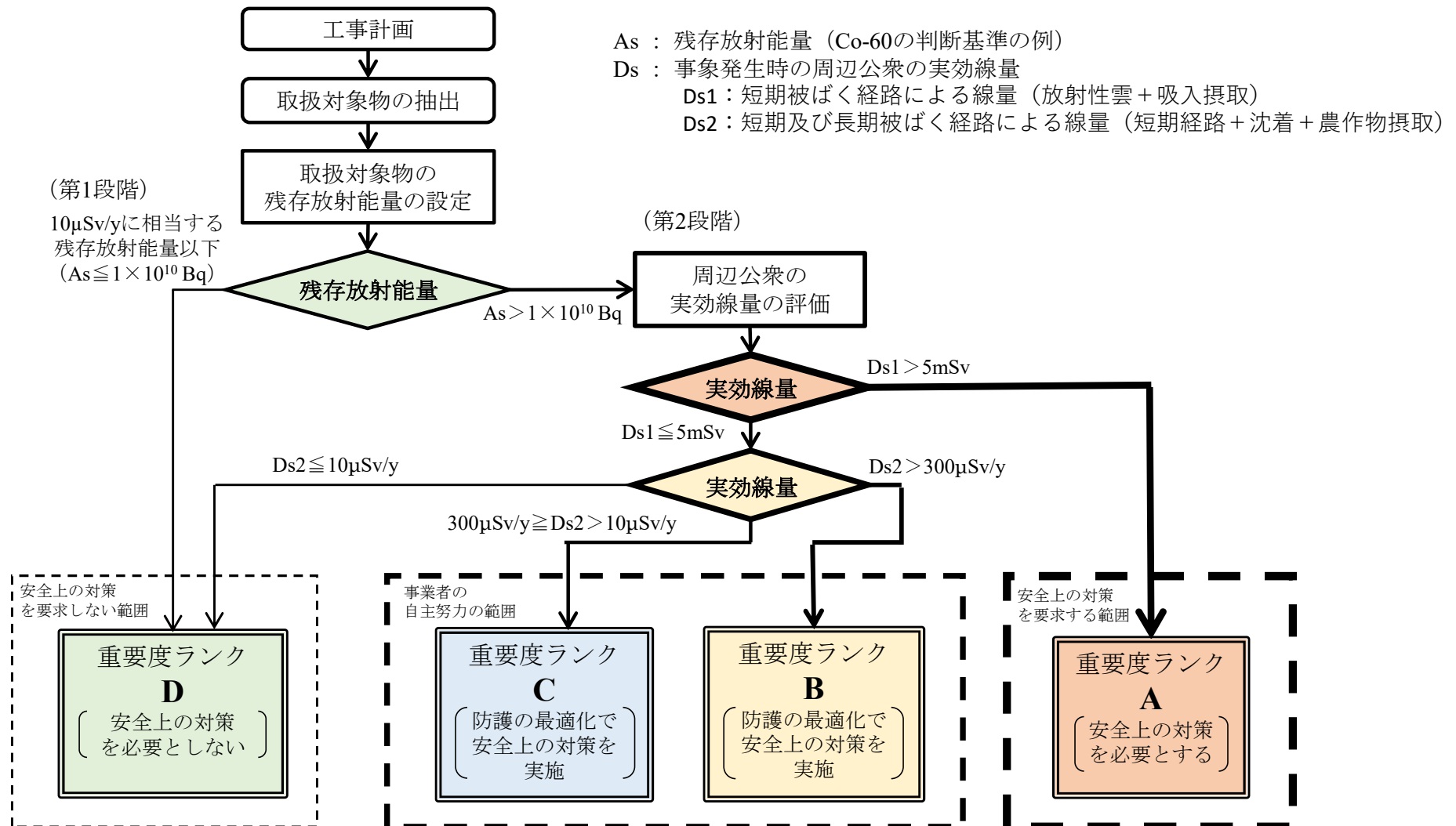
- Co-60に関する判定基準線量に相当する放射エネルギー

放出量 (Bq)			施設の残存放射エネルギー (Bq)							
A	5mSvに到達する量	300μSv/yに到達する量	飛散性核種 (表面汚染)			非飛散性核種 (放射化)				
			5mSvに到達する量	300μSv/yに到達する量	10μSv/yに到達する量	5mSvに到達する量	300μSv/yに到達する量	10μSv/yに到達する量		
B	2×10^{12}	B 5×10^9	B 1×10^8	C 2×10^{14}	C 5×10^{11}	C 1×10^{10}	C 2×10^{15}	C 5×10^{12}	C 1×10^{11}	
放出量算定式			放出量 = 0.01 × 残存放射エネルギー 飛散率 = 10% 屋外放出割合 = 10%			D	放出量 = 0.001 × 残存放射エネルギー 飛散率 = 1% 屋外放出割合 = 10%			D

3. グレーデッドアプローチ適用

3.4 重要度ランクの判定方法 (例示)

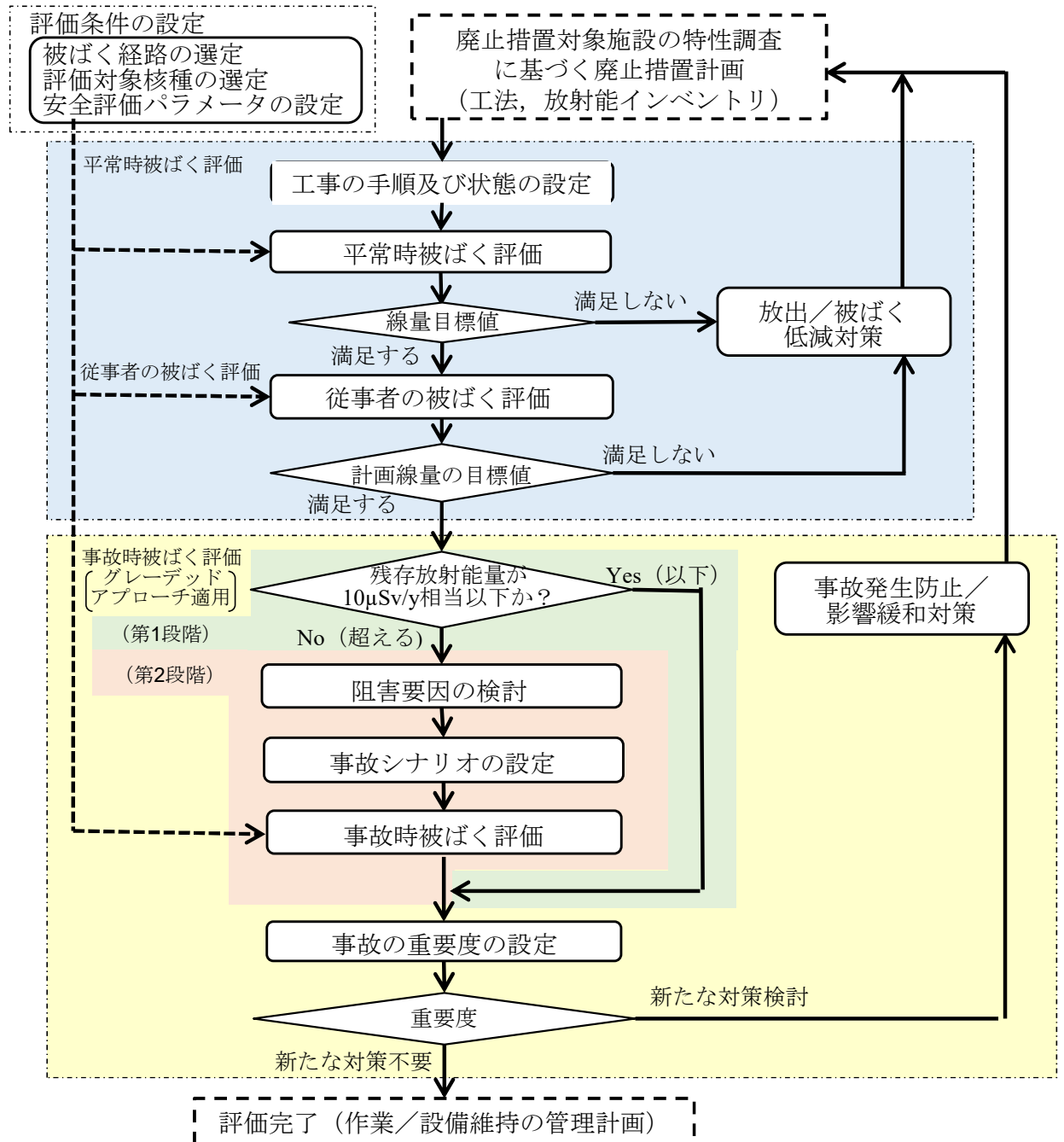
(1) 重要度ランクの判定フロー



3. グレーデッドアプローチ適用

3.4 重要度ランク の判定方法 (例示)

(2) グレーデッドアプローチ を適用した安全評価手順



3. グレーデッドアプローチ適用

3.5 PWRに関する解体対象物の重要度ランク試算例

〔重要度ランクA～Cについては、仮設定の位置付けで概略評価の結果を示した
ものであり、詳細評価を行って重要度ランクを設定し直す必要がある。〕

[減衰期間：6年、表内の%値：管理区域内物質重量に対する割合]

重要度ランク	非飛散性核種（放射化）＋飛散性核種（表面汚染）		
	原子炉格納容器（CV）内	原子炉建屋（RB）内	原子炉補助建屋（AB）内
ランクA	炉内構造物 0.03%	－	－
ランクB	原子炉容器 炉内計装設備 格納容器内構造物 1次冷却材ポンプ 蒸気発生器 機器類 14%	機器類 燃料取扱設備 0.8%	機器類 0.9%
ランクC	1次冷却材管 加圧器 燃料取扱設備 0.2%	建屋構造物 0.1%	WDC機器類 0.1%
ランクD	換気空調設備 ケーブル類 格納容器 1.5%	WDS機器類 換気空調設備 ケーブル類 建屋 42%	換気空調設備 建屋構造物 ケーブル類 電源設備 建屋 40%

4.1 核種データの整備

(1) 核種の種類

1) 電中研ハンドブックによる55核種を対象とする。

(2) 核種の半減期

1) ICRP pub.107

(3) 核種の崩壊定数

1) ICRP pub.107の核種半減期から1年を365.2422日として秒の単位で崩壊定数を求める。

2) 半減期 ($T_{1/2}$) から崩壊定数 λ への変換: $\lambda = \ln(2) / T_{1/2}$

(4) 崩壊系列

1) ICRP pub.107の崩壊系列情報を基本とする。

2) 放射平衡の崩壊系列核種があるものは、以下の条件に該当する核種を考慮する。

① 親核種の半減期に比べて崩壊系列核種の半減期が短い

② ICRP pub.107に基づき、崩壊系列核種を含む100年間の積算エネルギーが平衡になる核種を考慮

3) 崩壊系列に係る分岐比を考慮する。

4.1 核種データの整備

(5) ガンマ線実効エネルギー

- 1) ICRP pub.107の**ガンマ線実効エネルギー**、**X線実効エネルギー**、**陽電子消滅光子実効エネルギー**を使用する。
- 2) 放射平衡の崩壊系列核種がある場合は、親核種の実効エネルギーに対して崩壊系列核種の分岐比と実効エネルギーの積を加算する。
- 3) **(対象：U-234の崩壊系列核種)** 放射平衡核種であっても、半減期の極めて長い崩壊系列核種については、親核種に対するガンマ線の積算放出エネルギーの寄与が小さい場合には加算の対象としない。
- 4) **(対象：Pu-241の崩壊系列核種)** 放射平衡でない崩壊系列核種であっても、親核種に対するガンマ線の積算放出エネルギーの寄与が大きい核種については加算の対象とする。

(6) 吸入摂取による実効線量換算係数

- 1) 申請に係る評価：**(平常時被ばく評価) ICRP pub.119 の成人**
(事故時被ばく評価) ICRP pub.119 の小児
- 2) 重要度ランク設定に係る評価：**ICRP pub.119 の成人, 幼児, 乳児**
- 3) 複数の化学形態の線量換算係数がある場合：原則として最大となる形態の線量換算係数を採用
- 4) 公衆被ばく評価において化学形態が特定できる場合：その化学形態の値を採用可

4.1 核種データの整備

(7) 経口摂取による実効線量換算係数 [ICRP pub.123 p345-347 Corrigenda参照]

- 1) 申請に係る評価：(平常時被ばく評価) ICRP pub.123 の成人
- 2) 重要度ランク設定に係る評価：ICRP pub.123 の成人, 幼児, 乳児
- 3) 複数の化学形態の線量換算係数がある場合：最大となる形態の線量換算係数を採用
- 4) 公衆被ばく評価において化学形態が特定できる場合：その化学形態の値を採用可
- 5) 乳児を除き、ICRP pub.119、pub.123は ICRP pub.72 の値と相違ないことを確認済

(8) 地表面に沈着した放射性物質からの線量換算係数

- 1) 重要度ランク設定に係る評価：地表面沈着放射性物質からのガンマ線による外部実効線量を評価
- 2) 電中研ハンドブックの線量換算係数を採用
- 3) 地表面沈着後の放射性崩壊による減衰係数：(9)項の減衰割合を(8)2)項の換算係数に乗じて考慮

(9) 地表面沈着後の放射性崩壊による減衰係数

$$F_{A_Co60} = \frac{1}{T_{d1}} \times \int_0^{T_{d1}} e^{-\lambda_{Co60} \cdot t} dt = \frac{1}{T_{d1}} \cdot \frac{1}{\lambda_i} (1 - e^{-\lambda_{Co60} \cdot T_{d1}})$$

ここで、

- F_{A_Co60} : Co-60 の沈着後の放射性崩壊による減衰割合(-)
 T_{d1} : 被ばく期間 (s) [1年]
 λ_{Co60} : Co-60 の崩壊定数 (1/s)

4.1 核種データの整備

- (10) 農作物の葉面への付着割合
- (11) 農作物の葉面から可食部への移行割合
- (12) 農作物の土壌から可食部への移行割合
- (13) 農作物の炭素重量
- (14) 農作物の水素重量
- (15) 人体の海産物摂取量
- (16) 海洋系の外部被ばくに関する実効線量換算係数
- (17) 核種の海水からの移行係数
- (18) 核種の生物濃縮係数
- (19) 海産物の市場希釈係数
- (20) 海洋系の外部被ばく評価に係る被ばく時間
- (21) 海水希釈係数（希釈放出 or 海洋希釈）

電中研ハンドブックの値を採用

4. 線量評価パラメータの整備

4.2 線量評価パラメータの種類と整備の状況

(1) 気体放出系

番号	分類	データの種類	変更	備考
1	核種データ	半減期／崩壊定数 (1/s)	あり	ICRP pub.107
2	核種データ	ガンマ線実効エネルギー (MeV/nt)	あり	ICRP pub.107
3	核種データ	乾燥沈着速度 (m/s)	なし	電中研ハンドブック (一般公衆の線量評価 (内規))
4	摂取データ	呼吸率 (m ³ /d)	なし	電中研ハンドブック (線量目標値指針、安全評価指針)
5	摂取データ	人体の農作物摂取量 (g/d)	なし	電中研ハンドブック (線量目標値指針、再処理申請書)
6	摂取データ	人体の畜産物摂取量 (g/d)	なし	電中研ハンドブック (線量目標値指針、再処理申請書)
7	摂取データ	家畜の試料摂取量 (kg/d)	なし	電中研ハンドブック (再処理申請書)
8	摂取データ	家畜の水摂取量 (kg/d)	なし	電中研ハンドブック (安全側に水摂取量無視)
9	線量換算係数	吸入摂取に係る実効線量換算係数 (Sv/Bq)	なし	電中研ハンドブック (ICRP pub.119) (変更なし)
10	線量換算係数	経口摂取に係る実効線量換算係数 (Sv/Bq)	なし	ICRP pub.123 (乳児変更あり)
11	線量換算係数	地表面に沈着した放射性物質からの線量換算係数 (mSv/y) / (Bq/m ²)	なし	電中研ハンドブック
12	拡散データ	相対濃度 X/Q (s/m ³)	あり	国内P/Bサイト申請値の平均
13	拡散データ	相対線量 D/Q (Sv/Bq)	あり	国内P/Bサイト申請値の平均

4. 線量評価パラメータの整備

4.2 線量評価パラメータの種類と整備の状況

(1) 気体放出系

番号	分類	データの種類	変更	備考
14	環境移行データ	土壌からの系外除去率 (-)	なし	電中研ハンドブック (系外除去を無視)
15	環境移行データ	農作物の葉面への付着割合 (-)	なし	電中研ハンドブック (再処理申請書/R.G.1.109)
16	環境移行データ	農作物に関する核種のウェザリング除去率 (/s)	なし	電中研ハンドブック (一般公衆の線量評価(内規))
17	環境移行データ	農作物の栽培密度 (kg/m ²)	なし	電中研ハンドブック(再処理申請書)
18	環境移行データ	農作物への沈着を考慮する期間 (day)	なし	電中研ハンドブック(再処理申請書)
19	環境移行データ	農作物の葉面から可食部への移行割合 (-)	なし	電中研ハンドブック(CEC)
20	環境移行データ	農作物の土壌から可食部への移行割合 (Bq/kg-p) / (Bq/kg-soil)	なし	電中研ハンドブック (R.G.1.109/DOE/TIC-11468)
21	環境移行データ	農作物の水素重量割合 (kg-H/kg-p)	なし	電中研ハンドブック (再処理申請書/UCID-17743)
22	環境移行データ	空気中の水素炭素重量割合 (kg-H/m ³)	なし	電中研ハンドブック (再処理申請書)
23	環境移行データ	農作物の炭素重量割合 (kg-C/kg-p)	なし	電中研ハンドブック (再処理申請書/UCID-17743)
24	環境移行データ	空気中の炭素重量割合 (kg-C/m ³)	なし	電中研ハンドブック (再処理申請書/DOE/TIC-11468)
25	環境移行データ	農作物に関する実効地表面密度 (kg/m ²)	なし	電中研ハンドブック(再処理申請書)
26	環境移行データ	農作物の市場希釈係数 (-)	なし	電中研ハンドブック(市場希釈無視)

4. 線量評価パラメータの整備

4.2 線量評価パラメータの種類と整備の状況

(1) 気体放出系

番号	分類	データの種類	変更	備考
27	環境移行データ	核種の畜産物への移行割合 (Bq/kg)/(Bq/kg) 又は (Bq/l)/(Bq/kg)	なし	電中研ハンドブック (一般公衆の線量評価 (内規))
28	環境移行データ	畜産物中の水素重量割合 (kg-H/kg)	なし	電中研ハンドブック (再処理申請書/UCID-17743)
29	環境移行データ	畜産物中の炭素重量割合 (kg-C/kg)	なし	電中研ハンドブック (再処理申請書/UCID-17743)

(2) 液体放出系

番号	分類	データの種類	変更	備考
1	核種データ	半減期/崩壊定数 (/s)	あり	ICRP pub.107
2	核種データ	ガンマ線実効エネルギー (MeV/nt)	あり	ICRP pub.107
3	摂取データ	人体の海産物摂取量 1) 魚類 (g/d) 2) 無脊椎動物 (g/d) 3) 海藻類 (g/d)	なし	電中研ハンドブック (線量目標値指針)
4	線量換算係数	経口摂取に係る実効線量換算係数 (Sv/Bq)	なし	ICRP pub.123 (乳児変更あり)
5	線量換算係数	海洋系の外部被ばくに関する実効線量換算係数 1) 海浜砂 (μ Sv/h)/(Bq/kg) 2) 海水面 (μ Sv/h)/(Bq/m ³) 3) 海中 (μ Sv/h)/(Bq/m ³) 4) 船体 (μ Sv/h)/(Bq/m ²) 5) 漁網 (μ Sv/h)/(Bq/kg)	なし	電中研ハンドブック

4.2 線量評価パラメータの種類と整備の状況

(2) 液体放出系

番号	分類	データの種類	変更	備考
6	環境移行データ	核種の海水からの移行係数 1) 海水から海浜砂への移行係数 (m ³ /kg) 2) 海水から船体への移行係数 (m ³ /m ²) 3) 海水から漁網への移行係数 (m ³ /kg)	なし	電中研ハンドブック (一般公衆の線量評価、再処理申請書)
7	環境移行データ	元素の生物濃縮係数 1) 魚類 (m ³ /kg) 2) 無脊椎動物 (m ³ /kg) 3) 海藻類 (m ³ /kg)	なし	電中研ハンドブック (線量目標値指針、再処理申請書、 R.G.1.109、TRS、DOE/TIC-11468)
8	環境移行データ	海産物の市場希釈係数 (-)	なし	電中研ハンドブック (市場希釈無視)
9	暴露データ	海洋系の外部被ばく評価に係る被ばく時間 (h/y)	なし	電中研ハンドブック (一般公衆の線量評価)
10	拡散データ	海水希釈係数 (-)	-	希釈放出又は海洋希釈

4.3 飛散パラメータ整備の状況

(1) 電中研ハンドブックに基づく飛散パラメータの例示 (附属書G)

(2) DOEハンドブックに基づく事故時の飛散パラメータの整理 (NED379(2021)111212)

種類	飛散率	屋外放出割合	飛散割合
非飛散性核種 (放射化)	1%	10%	0.001
飛散性核 (表面汚染物)	10%	10%	0.01

4. 線量評価パラメータの整備

4.3 飛散パラメータ整備の状況

(2) ① 放射性物質の飛散率 (NED379(2021)111212)

起回事象	飛散対象物質	シナリオ	飛散率		包括的な適用方法
			事象別の値	包括的な値	
火災	金属母材 ／不燃物	火災時の金属(母材)の飛散	1E-3	1E-2	<火災> 燃焼するものによって飛散率が大きく異なるため、包括的な値も分割が必要であり、以下のとおりとする。 1) 可燃物 1.0 2) 金属(母材) 0.01 3) 金属(表面付着物) 0.01 4) HEPA フィルタ捕集物 1E-4 5) H-3 1.0 6) 燃料ギャップ FP 0.05
		火災時の不燃性固体成分の飛散	1E-2		
	燃焼物	火災による混合廃棄物の飛散	1E-3	1	
		火災時のパッケージ化されていない可燃性廃棄物の飛散	1E-2		
		火災時の焼却灰の飛散	1		
	表面汚染物	火災に伴う金属の酸化腐食による飛散	1E-4	1E-2	
		火災時のコンクリート表面付着物の飛散	1E-2		
HEPA フィルタ捕集物	火災時の HEPA フィルタからの飛散	1E-4	1E-4		
燃料ギャップ FP	火災時の損傷燃料ギャップ中 FP の飛散	5E-2	5E-2		
H-3	火災昇温時のコンクリートからの H-3 の飛散	高温時：1.0 低温時：0.5	高温時：1.0 低温時：0.5		
爆発	ルーズな汚染物 (堆積物)	爆発時のルーズな酸化物の飛散(気流：小)	1E-2	1E-1	<爆発> 対象物の性状によって風圧の影響が大きく異なるため、包括的な値も分割が必要であり、以下のとおりとする。 1) ルーズな表面付着物(堆積物) 0.1 2) 固形物(可燃物, 不燃物) 0.01 3) HEPA フィルタ捕集物 0.01
		爆発時のルーズな酸化物の飛散(気流：大)	1E-1		
	汚染物	爆発時の衝撃による飛散	1E-2	1E-2	
		爆発時の衝撃／爆風による可燃性廃棄物の飛散	1E-3		
	HEPA フィルタ捕集物	爆発時の HEPA フィルタからの飛散	1E-5	1E-2	
爆風による HEPA フィルタからの飛散		1E-2			
落下／衝突	金属母材 廃棄物	3m 以下の落下による母材の飛散	1E-2	1E-2	<落下／衝突／転倒> 衝撃を受ける対象物の性状によって飛散性が異なるため、包括的な値も分割が必要であり、以下のとおりとする。 1) 固形物 0.01 2) ダスト,粉体 0.1 3) HEPA フィルタ付着物 0.01 (ケーシングなし) 0.001 (ケーシングあり)
		脆性破壊が起こらない金属落下時の母材の飛散	1E-3		
		可燃性物質 1.5m 落下時の飛散	0		
		不燃性物質 1.5m 落下時の飛散	0		
		骨材、ガラス 1.5m 落下時の飛散	1E-5		
	可燃性物質衝突時の飛散	1E-3			
	周辺ダスト	重量物落下時のダストの飛散	1E-1	1E-1	
HEPA フィルタ付着物	ケーシングされた HEPA フィルタ落下時の付着物の飛散	1E-3	1E-2		
	ケーシングされていない HEPA フィルタ落下時の付着物の飛散	1E-2			
再浮遊	ダスト	風がある場合のダスト舞上りの飛散 (粉塵層)	1E-1	1E-1	<ダスト飛散> 風によるダスト,粉体の舞い上りを考慮する場合の飛散率は以下のとおりとする。 1) ダスト(粉塵層：有風時) 0.1 2) ダスト(固形物：有風時) 0.01 3) ダスト(粉体層：無風時) 0.001
		風がある場合のダスト舞上りの飛散 (廃棄物)	1E-2	1E-2	
		風がない場合のダスト舞上りの飛散 (粉体層)	1E-3	1E-3	
地震	砂、土	地震の振動による粉塵の舞上り	1E-2	1E-2	<地震> 地震時のダスト、粉塵の飛散率(舞い上がり)は 0.01 とする。

4. 線量評価パラメータの整備

4.3 飛散パラメータ整備の状況

(2) ② 屋外放出割合 (NED379(2021)111212)

ケース	想定する状態	LPF
ケース1	<ul style="list-style-type: none">・落下／衝突／転倒（高温流体の漏洩がない場合）・地震（高温流体の漏洩がない場合）・流体の漏洩（高温流体でない場合）・異常切断（高温流体の漏洩がない場合）・火災（HEPA捕集効果が期待できる場合）・爆発（HEPA捕集効果が期待できる場合）・液体系のポンプ、弁の機能喪失・換気停止（積極的な建屋内空気の漏洩がない場合）	10%
ケース2	<ul style="list-style-type: none">・火災（HEPA捕集効果が期待できない場合）・爆発（HEPA捕集効果が期待できない場合）・流体の漏洩（高温流体の場合）・ケース1に該当しない事象	100%

(1) 標準原案に関する公衆審査の結果

- ▶ 件名：「発電用原子炉施設の廃止措置計画における安全評価基準：20XX」
- ▶ 公衆審査期間：2022年11月15日(水)～2023年1月14日(土)
 - ・2名の方からコメントを受信

(2) コメントの概要

- ① 附属書Hにおいて示されている起因事象だけでは十分とは言えない。
- ② 附属書Hの図H.10の事象検討ツリーについて、発電所は津波の影響を受けないとしているが、現状を考慮した表現とすべきである。
- ③ 起因事象の定義が曖昧であり、定義し直す必要がある。
- ④ 地震に関する事象検討ツリーがあった方がよい。
- ⑤ 概略評価であっても、炉内構造物が重要度ランクAに該当とするのは懸念される。これについて原子力学会の見解を記載してほしい。
- ⑥ 炉内構造物の解体が重要度ランクAであれば、放出を防止する換気設備の耐震クラスをSsとする必要がある。

① 附属書Hにおいて示されている起因事象だけでは十分とは言えない。

H.1 最大想定事故の選定方法[←]

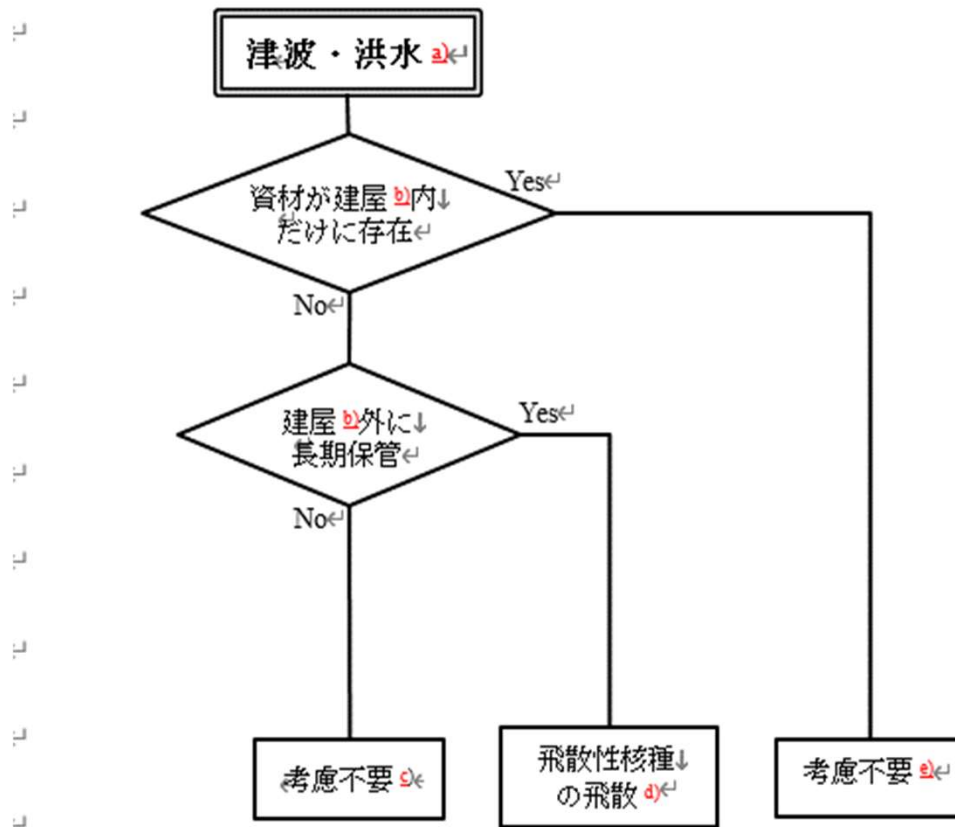
廃止措置中の事故における施設周辺の一般公衆の実効線量の評価は、最大想定事故について実施する。最大想定事故は、図 H.1 の手順[1] に従って選定する。その手順の例を次に示す。[←]

a) 想定する起因事象[←]

放射性核種の飛散・漏えいにつながる事故の起因事象として、次を想定する。[←]

- 火災[←]
- 爆発[←]
- 落下[←]
- 衝突[←]
- 動的機器の機能停止[←]
- 弁の誤開閉[←]
- 異常切断[←]
- 外部電源の喪失[←]
- 地震[←]
- 津波・洪水[←]

② 附属書Hの図H.10の事象検討ツリーについて、発電所は津波の影響を受けないとしているが、現状を考慮した表現とすべきである。



注① 地震を含む外部要因によって発生する事象を考慮する。
注② 建屋とは津波防護機能を有すると判断できる建屋をいう。
注③ 保管物の建屋外での移送中に、津波・洪水が同時に生じる確率は極めて小さいと仮定する。
注④ 津波・洪水の被害を受ける可能性ある場所に長期保管する場合には、原則として飛散性核種の漏えいを仮定する。
注⑤ 津波防護機能を有すると判断できる建屋内にすべての資材が存在する場合は、津波・洪水の影響を受けないとする。

③ 起回事象の定義が曖昧であり、定義し直す必要がある。

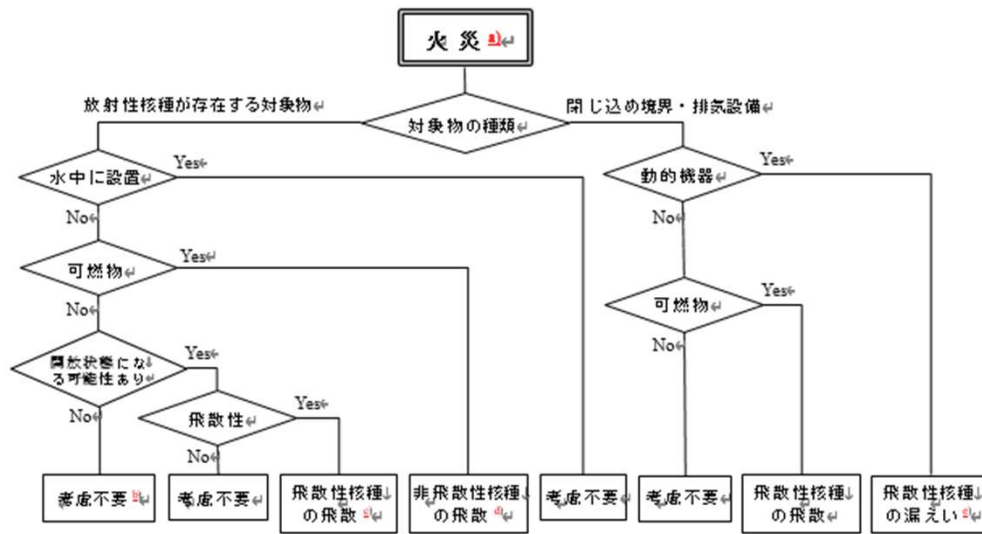
• 5.8 起回事象の定義について

起回事象の定義について、**AESJ-SC-TR014**ではリスク評価において機器類の故障確率などを設定して事象の発生頻度を求めることを目的として、事象の直接的な要因となる設備の機能停止などを対象として定義している。また、設備の機能喪失などは内部ハザード、外部ハザード、人為ハザードによって起こり得るとしている。よって、地震を起回事象としていない。

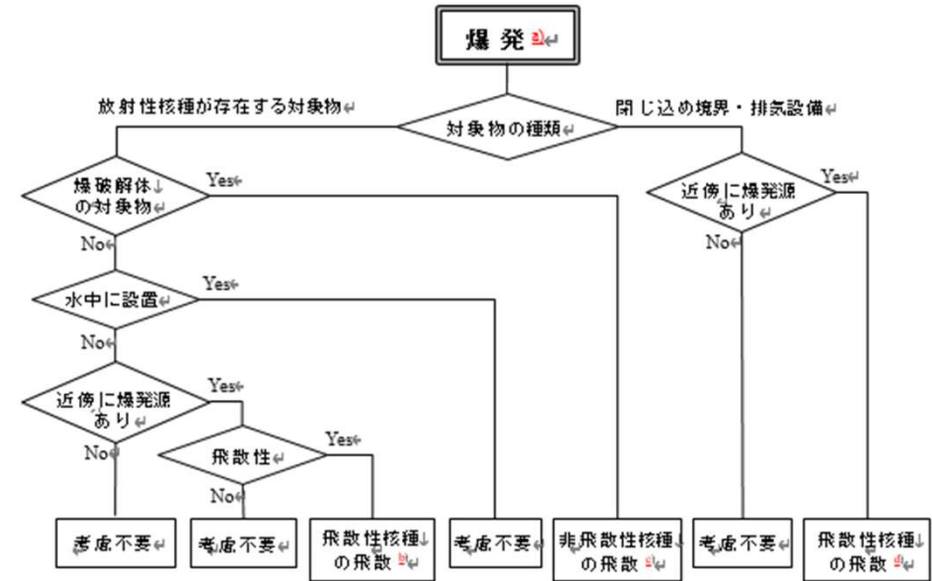
一方、この標準では廃止措置段階において想定される事象を抽出することとしており、運転段階に比べて廃止措置段階では多種多様な設備の人為操作が多くなること及び内部ハザード、外部ハザード、人為ハザードを考慮して事象を抽出することが目的となることから、**JIS Z 4001**の定義に基づく方が整理がしやすいと考えられる。よって、この標準では**JIS Z 4001**の定義に基づき事象選定の手順を記載することとした。

5. 公衆審査対応

④ 地震に関する事象検討ツリーがあった方がよい。



注^{a)} 内部要因及び地震を含む外部要因によって発生する火災を考慮する。
 注^{b)} 密閉状態にある場合は、外部で仮に火災が発生しても、放射能核種は空气中に飛散しない。
 注^{c)} 周囲の可燃物の火災時に高温状態となり、飛散性核種が空气中に飛散すると仮定する。
 注^{d)} 母材自体が燃焼する場合には、非飛散性核種であっても空气中に飛散すると仮定する。
 注^{e)} 閉じ込めの境界の維持に必要な排風機等が機能喪失した場合には、閉じ込めの境界内の飛散性核種が閉じ込めの境界から漏えいすると仮定する。

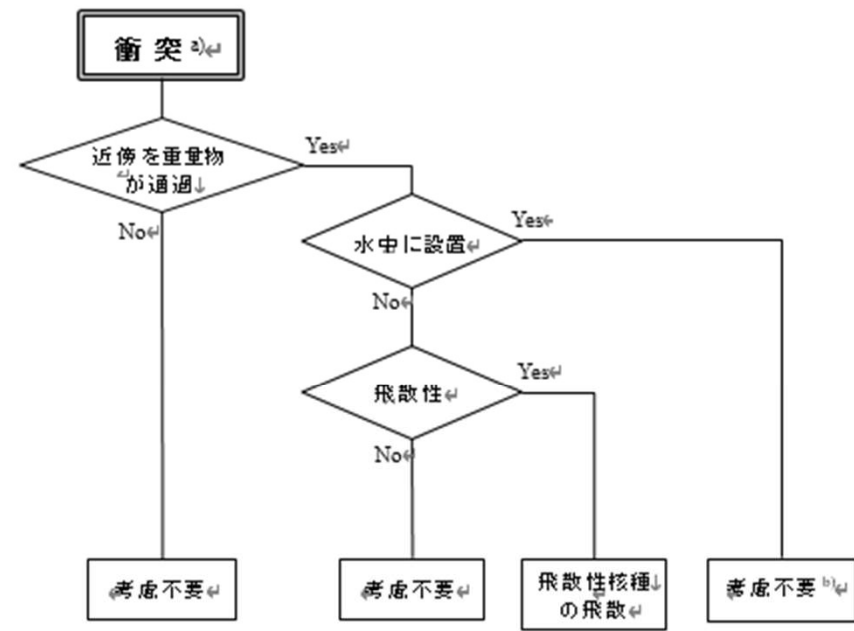
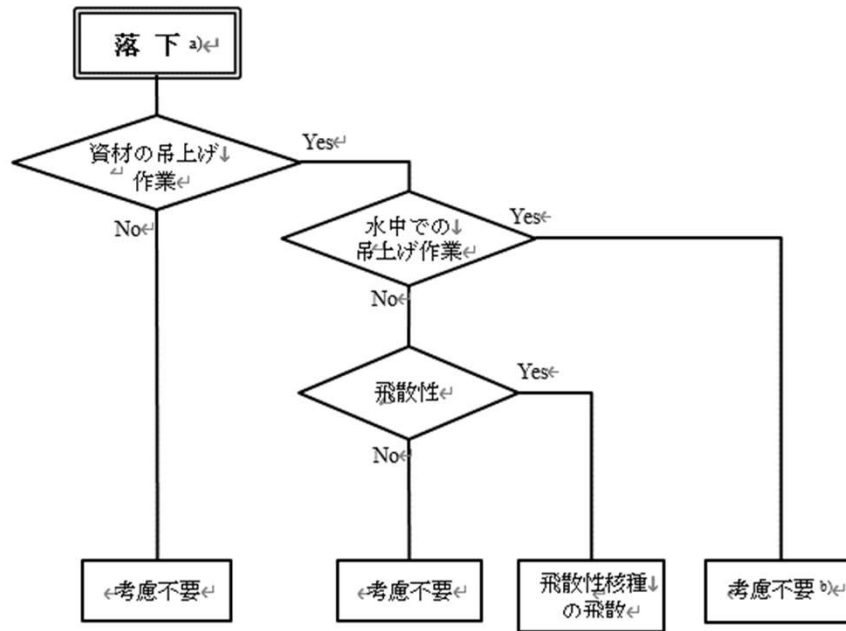


注^{a)} 内部要因及び地震を含む外部要因によって発生する爆発を考慮する。
 注^{b)} 近傍で爆発が起きた場合、衝撃、爆風などによって飛散性核種が飛散すると仮定する。
 注^{c)} 爆破解体物の誤爆破、異常爆破を仮定する。
 注^{d)} 近傍で爆発が起きた場合、衝撃、爆風などによって閉じ込め境界の損傷、動的機器の機能停止が起こると仮定する。

5. 公衆審査対応

5.1 公衆審査の概要

④ 地震に関する事象検討ツリーがあった方がよい。

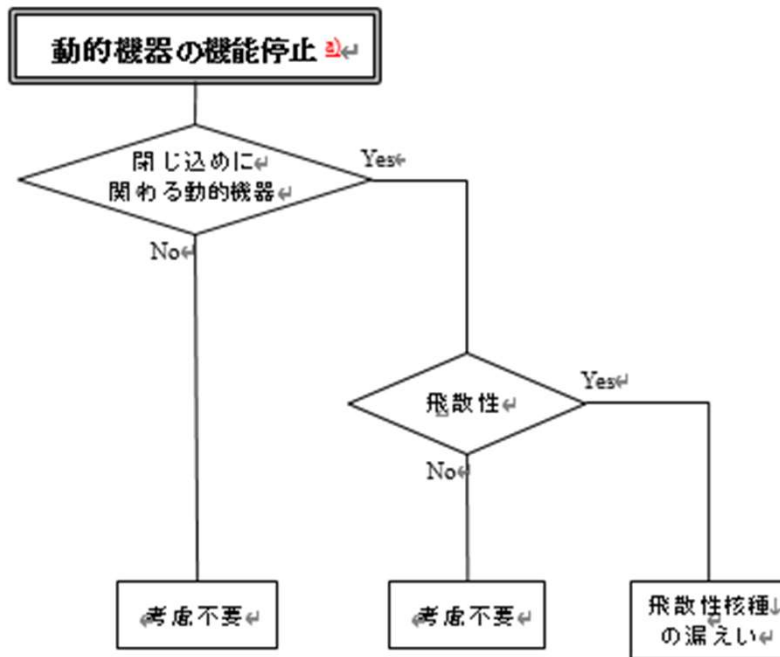


注 a) 内部要因及び地震を含む外部要因によって発生する落下を考慮する。また、資材の吊上げ作業時におけるほかの物体との衝突も含める。

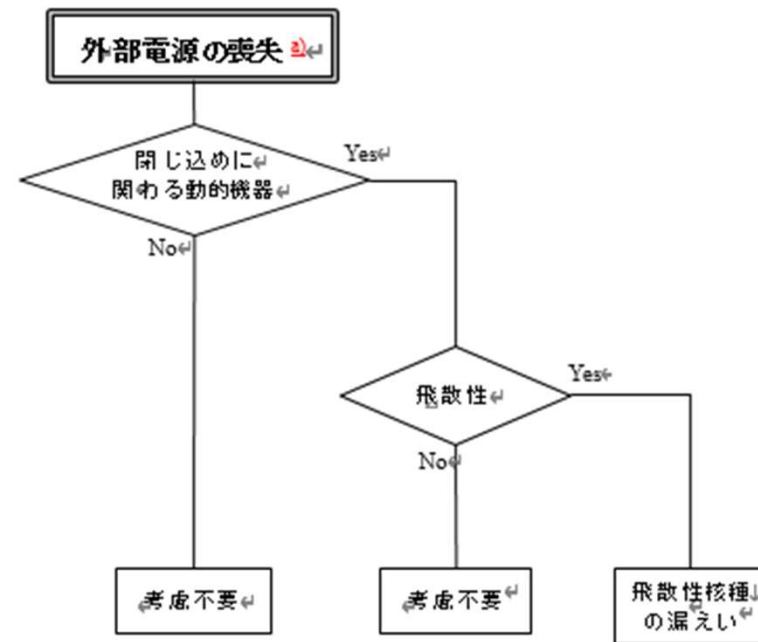
注 a) 内部要因及び地震を含む外部要因によって発生する衝突を考慮する。この衝突には、ほかの移動中資材が落下・衝突してきて機械的衝撃を被る場合も含む。
注 b) 水中では、資材が仮に衝突しても放射性核種は空気中に飛散しない。

5. 公衆審査対応

④ 地震に関する事象検討ツリーがあった方がよい。



注[※] 内部要因及び地震を含む外部要因によって発生する動的機器の機能停止を考慮する。



注[※] 内部要因及び地震を含む外部要因によって発生する外部電源の喪失を考慮する。

⑤ 概略評価であっても、炉内構造物が重要度ランクAに該当とするのは懸念される。これについて原子力学会の見解を記載してほしい。

• 5.10 概略評価の位置付けについて

附属書Aで示している安全評価の第一段階として実施する概略評価は、危険性がないか又は極めて低いと考えられる物質を判定することを目的として、想定し得るすべての事象を包含する放射性物質の飛散条件を設定して評価（判定）する手法としている。この評価で重要度ランクD（ $10\mu\text{Sv}/\text{y}$ 以下）を超える場合には、第二段階の詳細評価を行って重要度ランクを設定することとしている。詳細評価の際には、工法又は工事の手順の変更によって根本的に危険性を回避することができれば重要度ランクを下げることもできる。また、事象の発生とその規模について物理的な可能性を考慮することで重要度ランクが下がる可能性もある。想定される重要度の大きさに相応して事故シナリオとその発生の可能性の検討を詳細化して重要度ランクを設定することとする。

概略評価に基づく暫定的な結果を**附属書J**に載せることによって、潜在的危険性を考慮した上で、例えば、炉内構造物の解体において適切な工法を選択するよう注意喚起することとした。

- ⑥ 炉内構造物の解体が重要度ランクAであれば、放出を防止する換気設備の耐震クラスをSsとする必要がある。

<回答>

炉内構造物の解体の活動が重要度ランクAになると確定した場合には、換気設備及び建屋の耐震クラスをSにする必要が生じる可能性があるが、炉内構造物の取扱いに関する重要度ランクは、概略評価の結果ではなく、想定事象ごとに飛散条件を設定した詳細評価の結果に基づいて判断することになる。

- 「発電用原子炉施設の廃止措置計画における安全評価基準」の整備の内容を示した。この標準は2023年3月1日の第91回 標準委員会で制定された。
- IAEAが提唱するグレーデッドアプローチを廃止措置計画に適用するための安全評価の手法を例示した。
- 安全評価における線量評価パラメータ設定について例示した。

< 今後の課題 >

- 網羅的な事象抽出及び類型化方法の体系化
(事象抽出／選定フローの抜本的な見直し)
- 概略評価及び詳細評価に使用する放射性物質の飛散率の設定方法の構築
(工事の実情を踏まえたパラメータの設定方法の検討)
- 主要設備に関する詳細評価の実施及び重要度ランクの例示
- 炉停止からの経過期間による代表評価核種選定のためのケーススタディ
- 被ばくリスクの観点からの耐震安全／火災防護へのグレーデッドアプローチの適用 [2023年度以降に着手予定]

MOVE THE WORLD FORWARD