

福島第一原子力発電所 安全確保 今後の評価に向けた見直しについて

2025年3月5日

東京電力HD株式会社
福島第一廃炉推進カンパニー

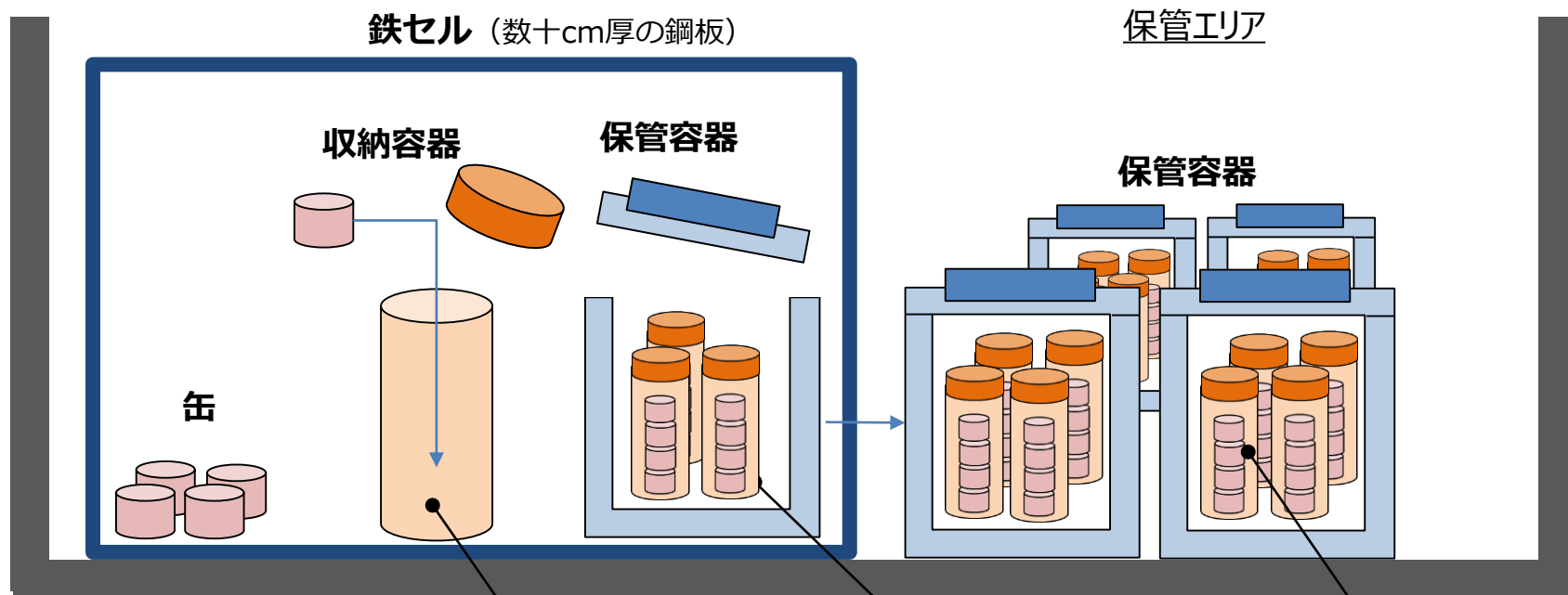
- 燃料デブリ保管に向けての取り扱い設備の評価例を対象に、評価結果（被ばく量評価）に影響する事項を挙げ、各事項についての従来の扱いと今後の評価に向けた見直しの方向性、当該の見直しを妥当と判断する場合の条件について意見交換させていただきたい。
- 本資料に示す設備の設計や評価は、評価における従来の扱いと今後の見直しに関する意見交換のためのケーススタディである。

- 1 評価対象
- 2 地震時の放射性物質の放出による公衆被ばくの評価
- 3 地震時の直接線・スカイシャイン線の飛来による公衆被ばくの評価
- 4 評価を踏まえた耐震クラス設定
- 5 耐震クラスの違いが与える影響

※以降の各ページ右上の **n** は当該の目次の内容であることを示す

1

評価対象



鉄セル内に搬入した缶を乾燥させる

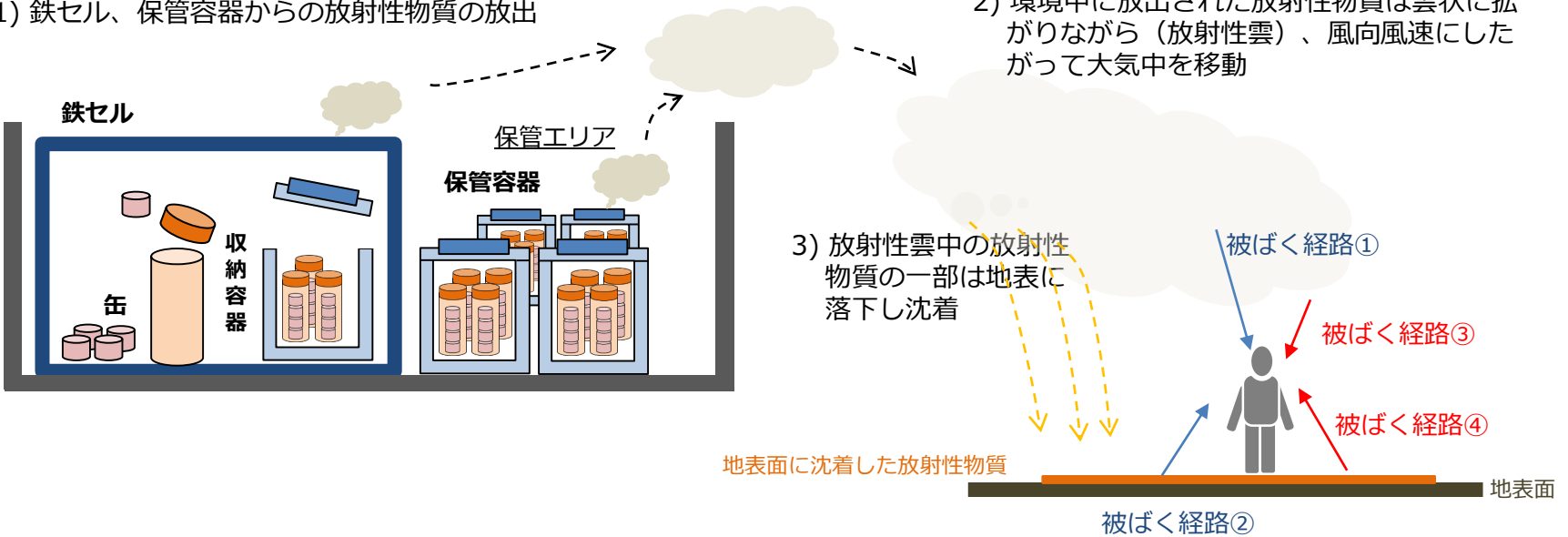
鉄セル内で缶を吊り上げて収納容器に収納し蓋締めする (収納容器1体に缶4体を収納)

鉄セル内で収納容器を吊り上げて保管容器に収納し蓋締めする (保管容器1体に収納容器4体を収納)

保管容器を鉄セル内から搬出し、保管エリアで保管する

1) 鉄セル、保管容器からの放射性物質の放出

2) 環境中に放出された放射性物質は雲状に拡がりながら（放射性雲）、風向風速にしたがって大気中を移動



放出された放射性物質による外部被ばく

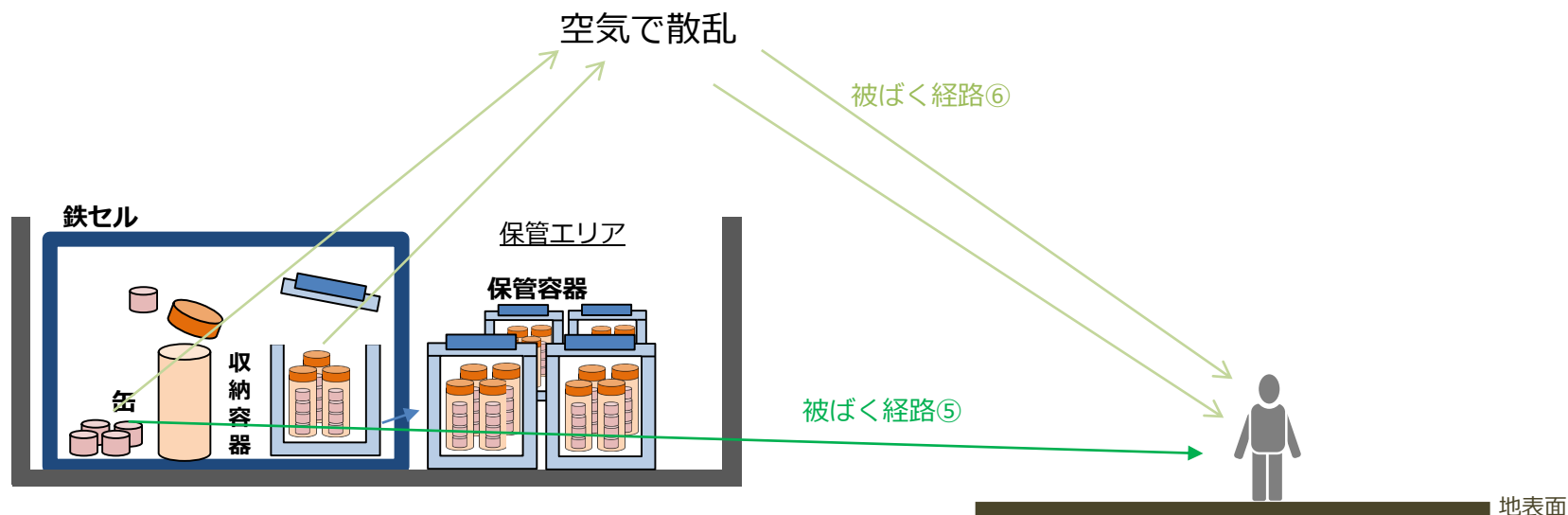
- 被ばく経路①：放射性雲中の放射性物質からの放射線による被ばく
- 被ばく経路②：地表面に沈着した放射性物質からの放射線による被ばく

放出された放射性物質による内部被ばく

- 被ばく経路③：放射性雲中の放射性物質を吸入することによる被ばく
- 被ばく経路④：地表面に沈着した放射性物質が再浮遊し、それを吸入することによる被ばく



「閉じ込め」の対象とする放射性物質の放出



直接線・スカイシャイン線による外部被ばく

- 被ばく経路⑤：鉄セルや保管容器内の放射性物質が発した γ 線（中性子線）が壁を通過し、空気の散乱を受けずに到達することによる外部被ばく（直接線）
- 被ばく経路⑥：鉄セルや保管容器内の放射性物質が発した γ 線（中性子線）が壁を通過し、上方の空気中で散乱され地表に到達することによる外部被ばく（スカイシャイン線）



「遮へい」の対象とする放射線の飛来

■ 各容器に期待する機能（従来の扱い）

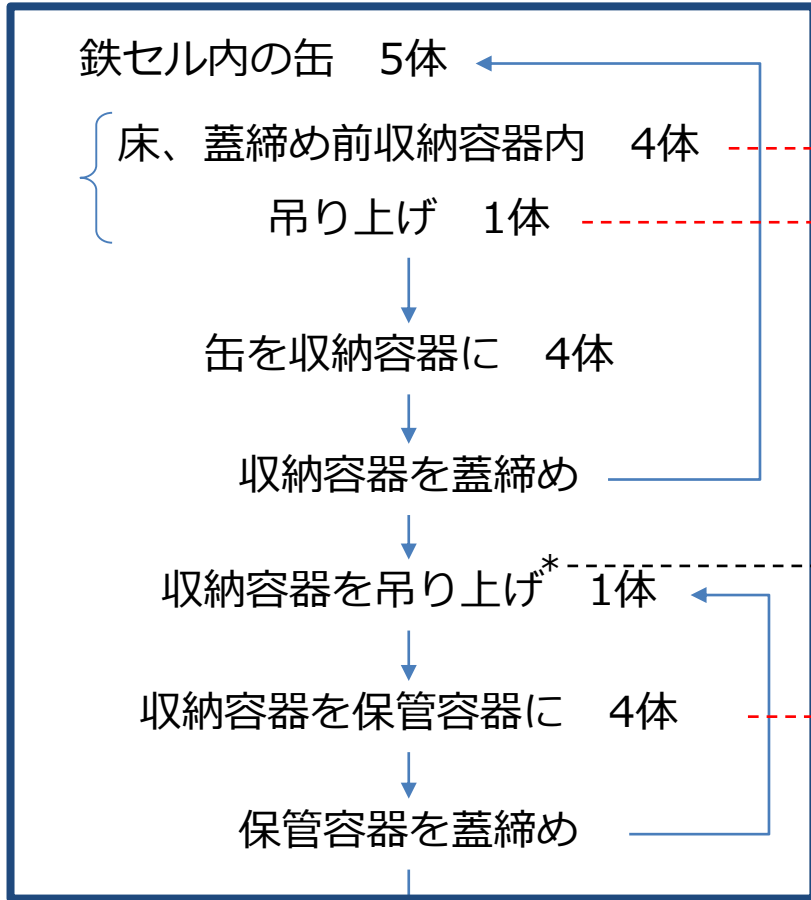
	閉じ込め		遮へい	
	振動	落下		
缶	あり	なし	なし	<ul style="list-style-type: none"> 振動：蓋が閉まった状態で1%の放出を想定 落下：全量が缶から放出されると想定 遮へい：考慮せず
収納容器	なし	あり	なし	<ul style="list-style-type: none"> 振動：容器内発生ダストは全量容器外に放出されると想定 落下：構造健全性は維持され、吊り上げ時はDF100のフィルタ設置 遮へい：考慮せず
保管容器	あり	—	あり	<ul style="list-style-type: none"> 振動：DF1000のフィルタを設ける 落下：吊り上げを行わないため想定せず 遮へい：遮へい厚を確保した設計とする

■ 燃料デブリの取扱い

	各容器の燃料デブリ取扱い量	設備内での状態
鉄セル内	缶 (1体あたり3kg)	<ul style="list-style-type: none"> 収納容器に収納する前の缶5体が鉄セル内に搬入される 収納容器に収納するために缶1体が吊り上げられる
	収納容器 (缶4体を収納、12kg)	<ul style="list-style-type: none"> 缶4体を収納し蓋締めする 保管容器に収納するために収納容器1体が吊り上げられる
	保管容器 (収納容器4体を収納、48kg)	<ul style="list-style-type: none"> 収納容器4体を収納し蓋締めする 保管エリアに搬出される（吊り上げを要しない設計とする）
保管エリア	保管容器 (収納容器250体分、3トン)	<ul style="list-style-type: none"> 蓋締めされた保管容器63体が保管エリアに置かれる

2 地震時のダスト放出による公衆被ばくの評価

想定事象①～④は同時に起こるものとして合算する



- 想定事象① 床等に置いた缶4体の振動

振動によって缶内に発生すると想定されるダストの1%が鉄セル内に放出
- 想定事象② 吊り上げ中の缶1体の落下

缶内の燃料デブリの全量が鉄セル内に放出
- 想定事象③

蓋締め前の保管容器内の収納容器 3 体の振動

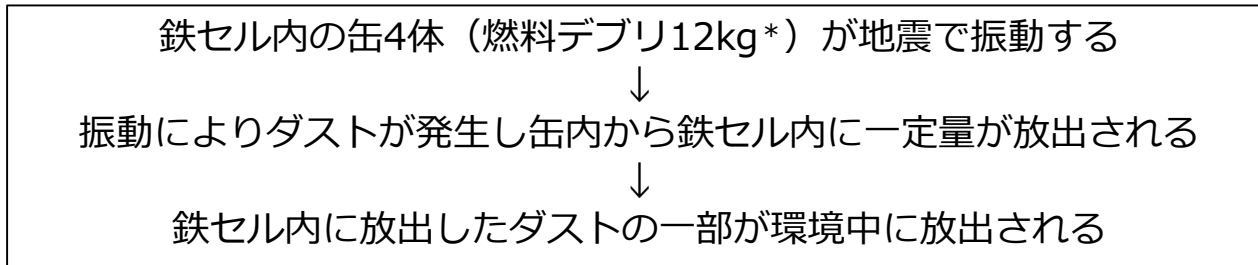
 - 缶の放出率1%、収納容器の放出率も見直しとして1%を考慮する
 - 残りの収納容器 1 体分は蓋締め前の状態もとるため想定事象①で代表
- 想定事象④ 保管エリア内の保管容器の振動

 - 缶の放出率1%、保管容器のDF1000の設計とするため影響は微小

缶と収納容器を同時に吊り上げない運用とし、評価結果が大きくなる缶の吊り上げで代表するため、想定事象としない

- 地震を起因とした放射性物質の放出想定事象
地震に伴う缶や収納容器の落下、振動により発生したダストが環境中に放出され被ばくを与える事象を想定事象とし被ばく評価を行う。

【想定事象①】（鉄セル内）



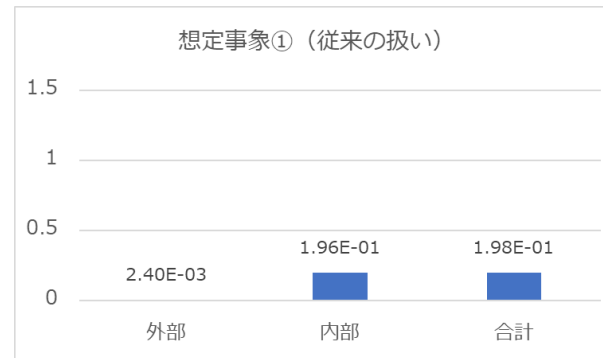
* 評価上は構造物等が混合していない燃料12kgとする。以下同じ

鉄セル 一部が環境中に放出



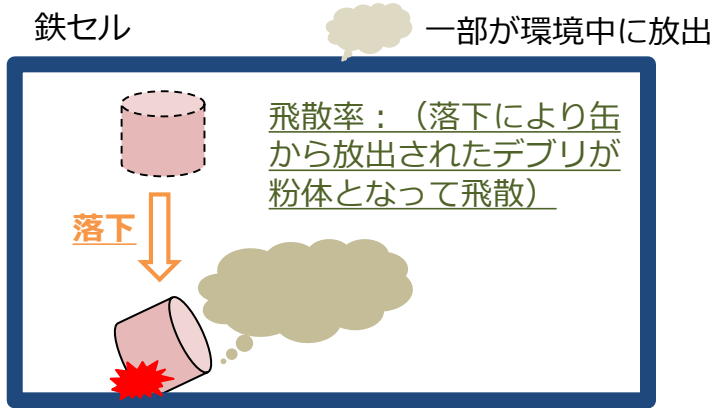
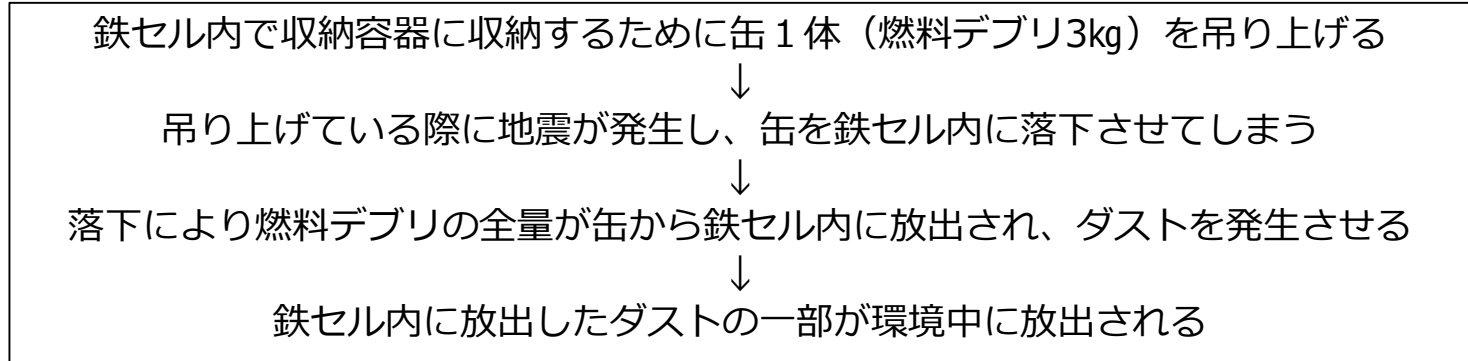
【評価結果】

単位：mSv/地震



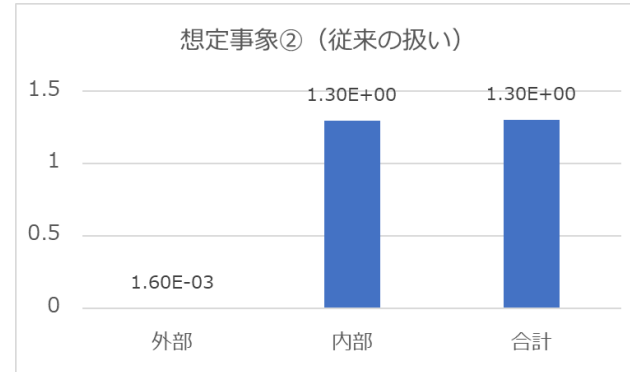
- 振動により発生し、環境中に放出されたダストに含まれるα核種の吸入による内部被ばくが被ばく線量に対し支配的
- 振動による粉体飛散が、想定事象②（落下による粉体飛散、次ページ）より少ないため、被ばく線量は想定事象②を下回る

【想定事象②】（鉄セル内）



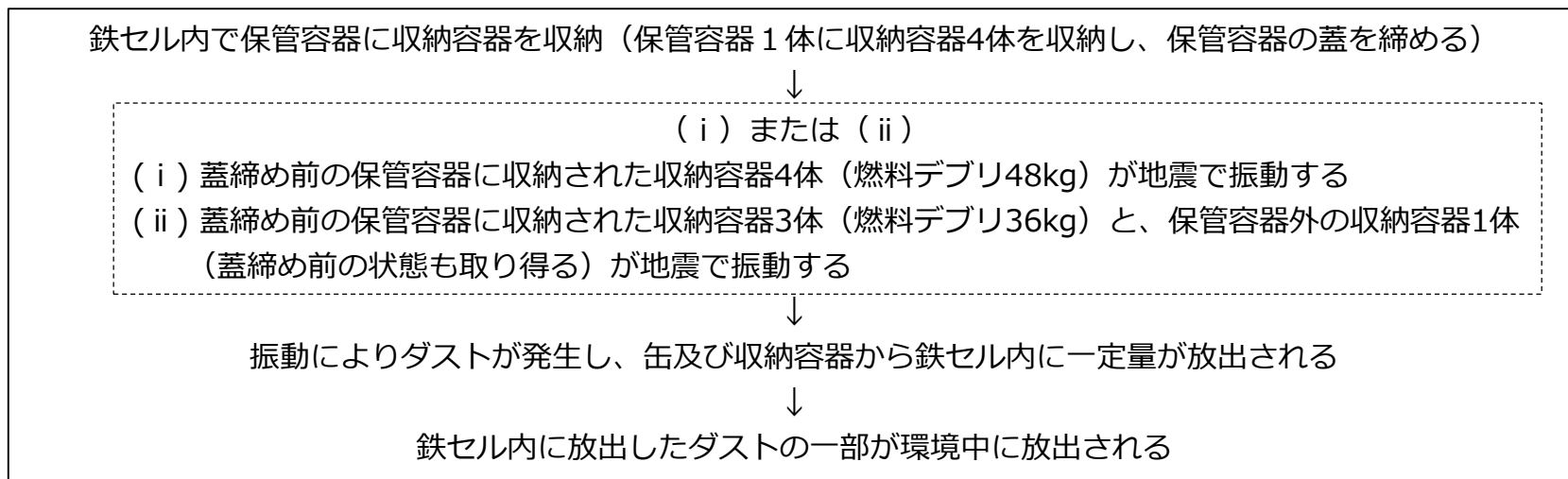
【評価結果】

単位：mSv/地震



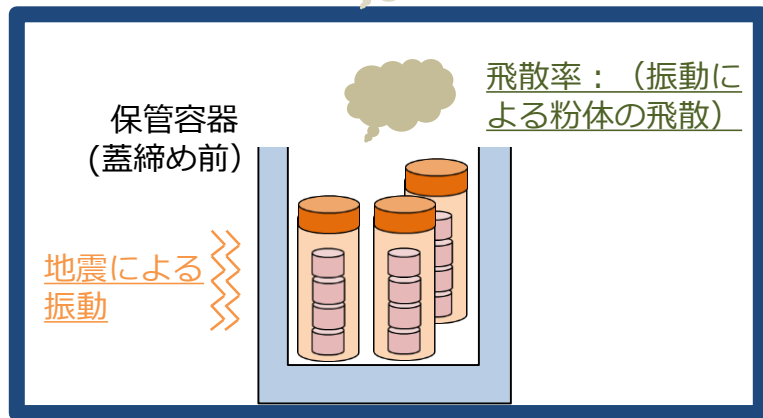
- 落下により発生し、環境中に放出されたダストに含まれるα核種の吸入による内部被ばくが被ばく線量に対し支配的
- 振動による粉体飛散（想定事象①、③）より落下による粉体飛散が大きいため、被ばく線量は想定事象①、③を上回る

【想定事象③】（鉄セル内）



鉄セル

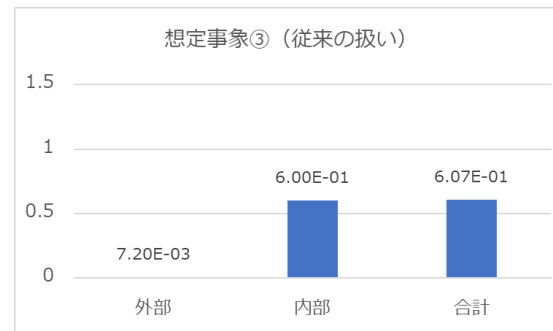
一部が環境中に放出



※ 上図は (ii) の蓋締め前の保管容器に収納缶 3 体が収納された状態のもの

【評価結果】

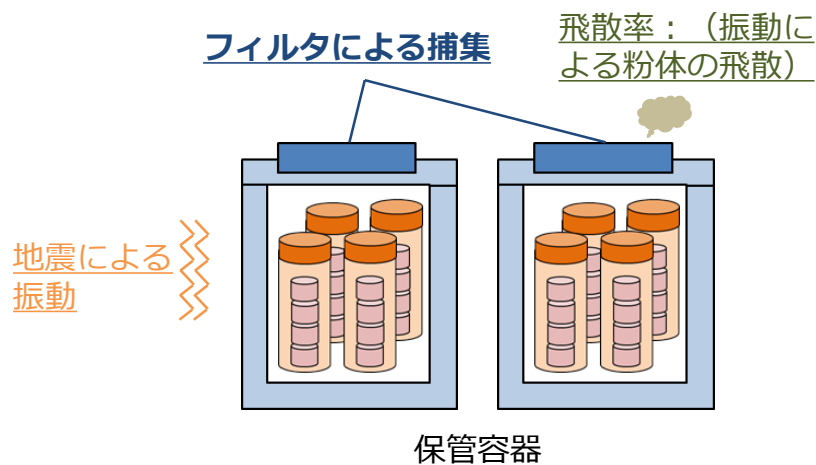
単位: mSv/地震



- 振動により発生し、環境中に放出されたダストに含まれるα核種の吸入による内部被ばくが被ばく線量に対し支配的
- 振動による粉体飛散が、想定事象②（落下による粉体飛散、前ページ）より少ないため、被ばく線量は想定事象②を下回る

【想定事象④】（保管エリア内）

保管エリア内で蓋締め後の保管容器（収納容器250体分、燃料デブリ3トン）を保管する
 ↓
 振動によりダストが発生し、保管容器内から一部が環境中に放出される



評価結果

単位：mSv/地震

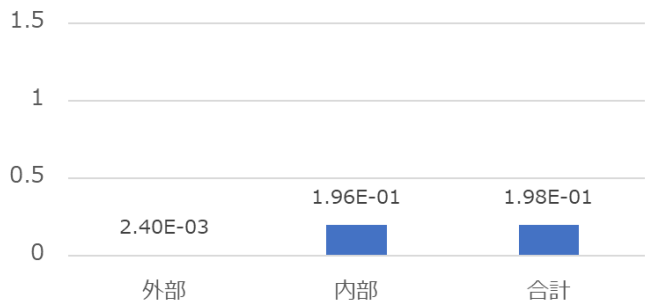


- 振動により発生し、環境中に放出されたダストに含まれるα核種の吸入による内部被ばくが被ばく線量に対し支配的
- 高い閉じ込め性能を有する保管容器等によって環境中への放出が大きく抑えられる結果、被ばく線量は小さい

想定事象①

鉄セル内床の缶4体（燃料デブリ12kg）が振動でダスト放出

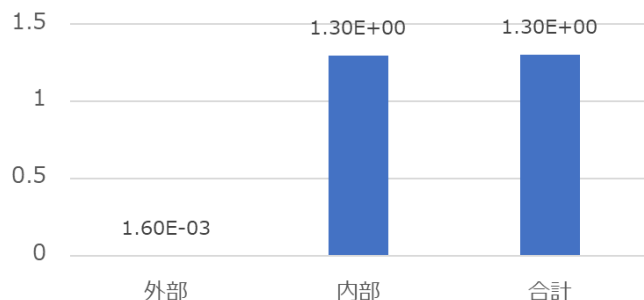
想定事象①（従来の扱い）



想定事象②

吊り上げられた缶1体（燃料デブリ3kg）が落下しダスト放出

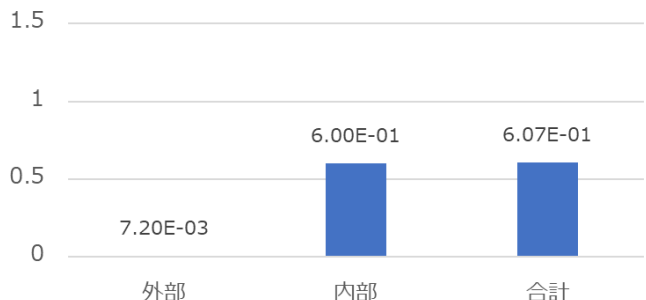
想定事象②（従来の扱い）



想定事象③

蓋締め前の保管容器内の収納容器3体（燃料デブリ36kg）が振動でダスト放出

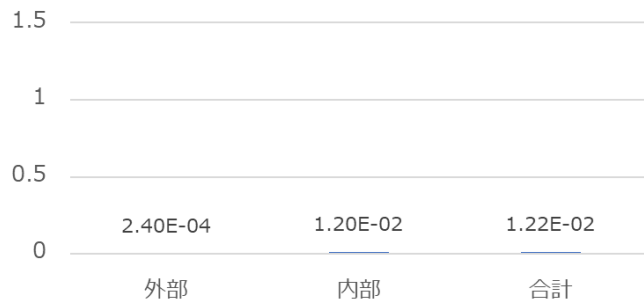
想定事象③（従来の扱い）



想定事象④

蓋締め後の保管容器（収納容器250体分、燃料デブリ3トン）が振動でダスト放出

想定事象④（従来の扱い）



- どの想定事象でも、内部被ばくの寄与がほぼ100%
- 想定事象②は、缶の落下によるダスト放出量が多いため、被ばく線量が4つの想定事象の中で最大

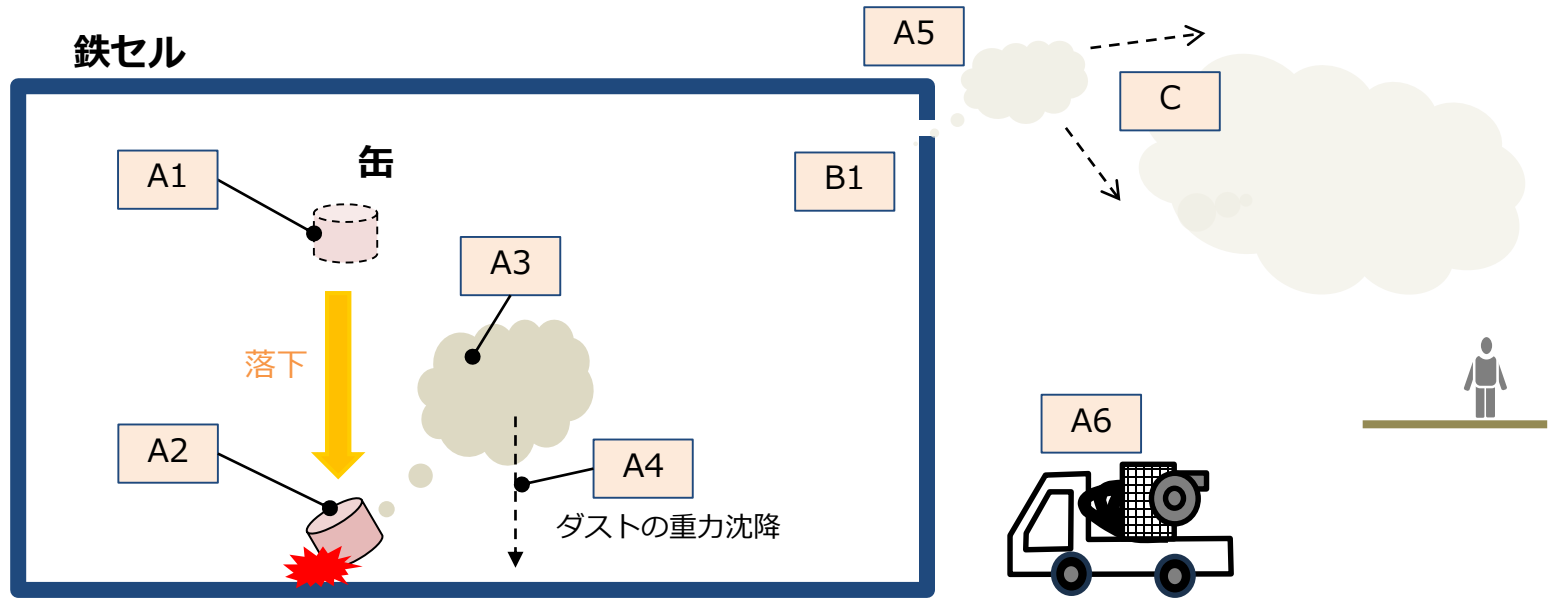


想定事象②を対象として、事象進展に沿って見直しの内容を説明する

単位：mSv/地震

放射性物質放出に至る事象進展の従来の扱いと本ケーススタディでの扱い (想定事象②)

事象の進展	従来の扱い	本ケーススタディでの扱い	評価条件となる要素 (略号の意味は次ページ)
燃料デブリを収納した缶を吊り上げる ↓ 地震 缶を落下させる	燃料デブリの 3kg ← 量 → ピークノード燃焼度 ← 燃焼度 → 9年 ← 停止後年数 → ① 構造材等の混入なし ← 成分 → ② 事故時の揮発や放出、事故後の水への溶解を考慮せず	燃料デブリの 設計に応じて見直す 現時点では見直しせず 適宜見直し ① 缶の重量測定等により成分割合を評価し適用 ② 核種に応じ、事故時の揮発や放出、事故後の水への溶解を考慮する	↓ A1
缶が鉄セル内床面に衝突	缶が破損し、缶内の燃料デブリの全量が鉄セル内に放出すると設定	本ケーススタディでは見直していないが、今後見直しに取り組む (17ページ)	A2
放出した燃料デブリの一部がダストとして飛散	DOEハンドブック (粉体の地震振動による飛散率) を適用	本ケーススタディでは見直していないが、今後見直しに取り組む (19ページ)	A3
飛散したダストの一部が鉄セル外に放出	鉄セルは存在しないものとし、鉄セルによる閉じ込めに一切期待しない そのため、鉄セル内に飛散したダストの全量が瞬時に鉄セル外に放出されるとの想定	鉄セル内でのダストの重力沈降を考慮する ダスト放出のメカニズムを考慮する <ul style="list-style-type: none"> 鉄セルに生じる開口が狭隘な場合には、狭隘部を通じた放出のDFを設定する ダストを鉄セル外に押し出す駆動力がない場合には、大気圧変動での放出とする 	A4 B1 A5
環境中に放出されたダストが被ばくを与える	放出されたダストの拡散は、評価期間を通じて一定方向からの微風、安定な大気安定度が継続する	現実的な事象進展は瞬時に完了しないことを前提に、人的対応による影響緩和効果を考慮する 本ケーススタディでは見直していないが、評価期間内での気象条件の変化を考慮した評価を検討していく	A6 C



■ 評価条件となる要素

- (A1) 缶内の燃料デブリ量
- (A2) 缶の落下により影響を受ける燃料デブリ量の特定（本ケーススタディでは見直しなし）
- (A3) 缶の落下により発生が想定されるダスト量（本ケーススタディでは見直しなし）
- (A4) 鉄セルからの放出に至るまでの過程でのダストの減少
- (A5) 鉄セルからのダスト放出量
- (A6) 人的な対応によるダスト放出抑制

- (B1) 鉄セルの残存閉じ込め機能の想定

- (C) 放出したダストの大気拡散評価（本ケーススタディでは見直しなし）

A. 想定事象に係る放射性物質、ダストの発生量、放出量評価

		従来の扱い	今後の見直しの方向性	本資料での見直し例	見直しによる評価結果への影響
A1	想定事象が対象とする放射性物質	近似的に安全側になる量として、取扱量に応じた平均的燃焼度（鉄セル内はピークノード燃焼度、保管容器は炉心平均燃焼度）を設定	事故時の放出や冷却水への溶出、構造材の混合等の実態を評価に反映する	セシウムを80%減とする（次ページ参照）	想定事象②の外部被ばくは80%減となるが、従来の扱いでの外部被ばくの寄与は0.5%程度と小さいため影響はほぼなし
		取り出した燃料デブリは評価上は全て燃料と想定	缶の重量測定等により、燃料成分の割合を評価し適用していく	—	—
A2	想定事象によって影響を受ける放射性物質特定	缶が破損し、缶内の燃料デブリの全量が鉄セル内に放出すると想定	缶の落下試験等により、落下時の缶の破損／非破損、鉄セル内への放出割合を明らかにし、評価に反映する	—	—

- セシウムは平均的にはほとんど残っていないと考えられ、少なくとも今回示す初期段階の燃料デブリ保管に関しては、80%減の適用が妥当と考える。
- 状況に依存するセシウム残存の濃淡、例えば炉内残存ペレットの保管のような極端な状況については別途（そのようなペレットの保管が必要となった際に）改めて検討する。

【根拠】

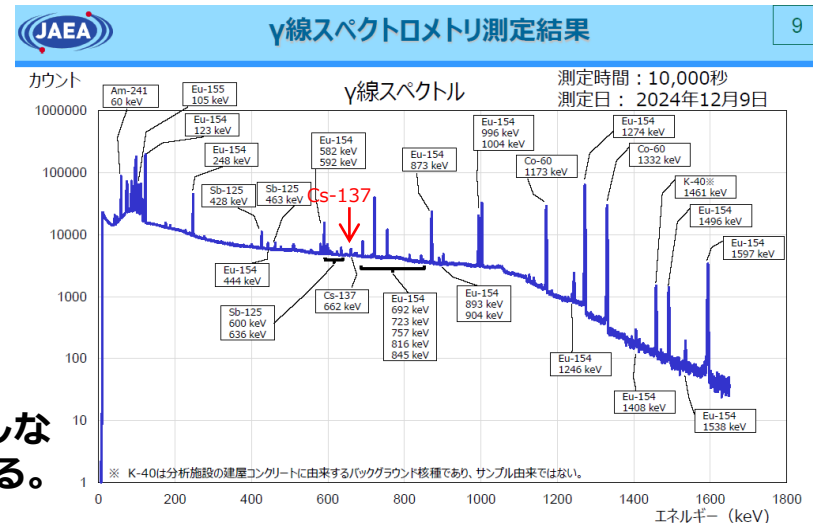
- ① 事故時（燃料溶融時）の放出はBWRについて一般的に60%程度とされている（NUREG-1465）。
② 事故後、水処理系で元来存在していたセシウムの50%程度の回収を確認している。
これらを合わせて考えると、燃料デブリからセシウムはほぼ全量放出されていると考えて良い。

2. 2号試験的取り出しで取り出された燃料デブリの成分分析（γ線スペクトロメトリ）ではセシウムはほとんど検出されていない。燃料成分に応じて残存※すれば、ユーロピウムより2桁程度多いカウントとなるはずだが、実際にはユーロピウムより1桁程度低いカウントでしか確認されていない。（本来の燃料成分の1/1000レベルになっていると想定）

※本来の燃料成分（事故・事故後の燃料外放出なし）
10年経過後： Cs-137 2.03×10^8 GBq/core
Eu-154 4.66×10^6 GBq/core

3. TMI-2の燃料デブリ（ペレット片を含む8個のサンプル）を、旧・日本原子力研究所で分析した結果、セシウム残留率は非常に低く、0.4~6%であったことが報告されている（JAERI-Research 95-084 「TMI-2デブリに対するガンマ線分析」（1995年11月））

以上を勘案すると、燃料デブリ中にセシウムはほとんど存在しないと考えられるが、不確かさも考慮しセシウムを80%減とする。



A. 想定事象に係る放射性物質質量、ダストの発生量、放出量評価

		従来の扱い	今後の見直しの方向性	本資料での見直し例	見直しによる評価結果への影響
A3	想定事象において発生が想定される放射性物質のダスト量	<ul style="list-style-type: none"> 落下（缶）：吊り上げ高さを1mとして、DOEハンドブックの粉体の自由落下に対する飛散率評価式に基づき算出した値を適用 (2.7×10^{-5}) 	<ul style="list-style-type: none"> 左記の飛散率は放射性物質への作用、作用が与えられる状況に整合したものと判断しているが、データ取得にも取り組んでいる（参考表1） DOEハンドブックには、様々な実験によるデータを包絡するものとしてBounding Valueが設定されているが、基本的にはBounding Valueの使用は問題ないものとする 	—	—
A4	容器、構築物等からの放出に至るまでの過程での減少	ダストが容器、構築物等からの放出に至るまでに、重力沈降、容器、構築物表面への沈着を考慮せず	重力沈降等によるダスト低減を評価に取り込む <ul style="list-style-type: none"> ストークスの式（終端速度）に基づくダスト沈降 実機データを根拠としたダスト低減（参考図1） 	鉄セル内での事象である想定事象②について、DF10を考慮	想定事象②の被ばくは1/10となる

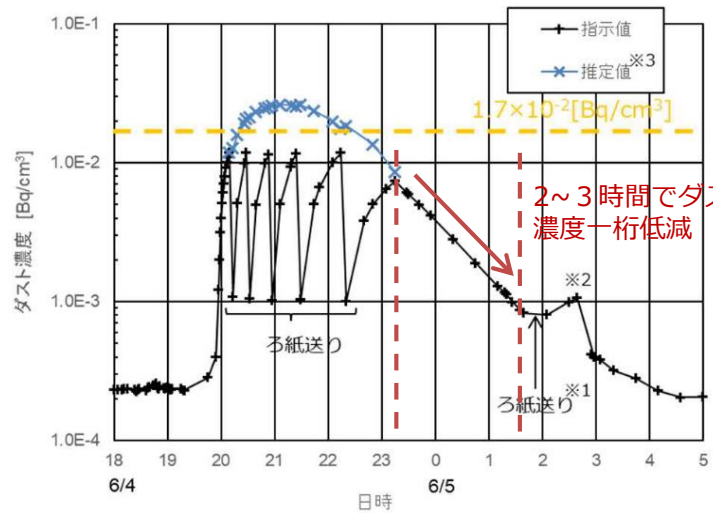
対象	実施者	内容	成果・時期
燃料デブリ加工時飛散率 (機械的加工：ディスク カッター、コアボーリング、 チゼル、AWJ) (熱的加工：レーザー)	国プロ (電中研)	2021-2022(Phase1) ドライ条件でのデータ取得 2023-2024(Phase2) ウェット条件でのデータ取得 2025-2026(Phase3)、2027- 2028(Phase4)を検討予定	ドライ条件の基本的な飛散率：Phase1取得済 み(大容量換気を想定した流れの中で測定し、 保守的な飛散率として数十%の結果を取得) ウェット条件の基本的な飛散率：Phase2取得 予定 レーザーを除く飛散率整理完了：Phase3予定 全ての飛散率の整理完了：Phase4予定
ALPSスラリー脱水物落 下時の飛散率・静置時の 時間当たりの飛散率	東電	2023-2024 ALPSスラリー脱水物落下・静置 試験の実施、DOEハンドブック 値を下回ることを確認	落下時:試験 4.3E-6、DOE5.0E-5 静置時:試験 3.0E-7/h、DOE4.0E-7/h
ゼオライト落下時の飛散 率・静置時の時間当たり の飛散率	東電	2024 ゼオライト落下・静置試験の実 施、DOEハンドブック値を下回 ることを確認	落下時:試験 N.D.、DOE5.0E-5 静置時:試験 1.1E-7/h、DOE4.0E-7/h

- ・ 気中のダスト粒子は、その粒径に応じた重力沈降速度で床面に沈降する。
- ・ ストークスの式にしたがった沈降速度の想定
- ・ 粒径の設定は、ダストの発生メカニズムに応じた代表粒径の適用、あるいは粒径データの取得

$$\lambda_d = V_d \frac{A_F}{V_G} \cdot 3600$$

$$V_d = \frac{2r_p^2 \rho_p g}{9\mu_g}$$

- ・ λ_d : ダストの沈降率 (1/h)
- ・ V_G : ダストの浮遊体積 (m³)
- ・ A_F : ダストの沈着面積 (m²)
- ・ r_p : ダストの粒子半径 (m)
- ・ ρ_p : ダストの粒子密度 (kg/m³)
- ・ g : 重力加速度 (m/s²)
- ・ μ_g : 気体の粘度 (Pa・s)
- ・ V_d : ダストの終端速度 (m/s)



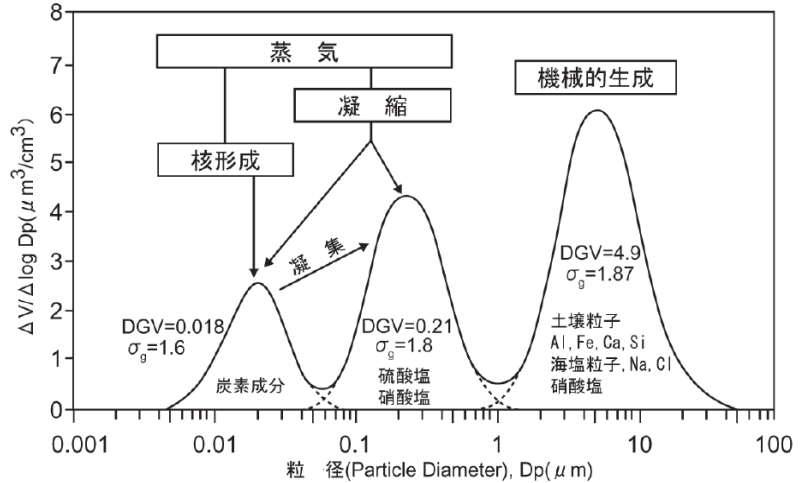
※1：ろ紙送りの理由
ろ紙上の放射能濃度が高くなることで検出器が応答しきれず、ダスト濃度を過小評価することを未然に防ぐためにろ紙送りが自動動作（測定値の信頼性保護機能）。

※2：濃度上昇の理由
モニタ内部の汚染分だけ上昇。

※3：ろ紙送り直前のダスト濃度が継続すると仮定して、実際のダスト濃度を推定した。

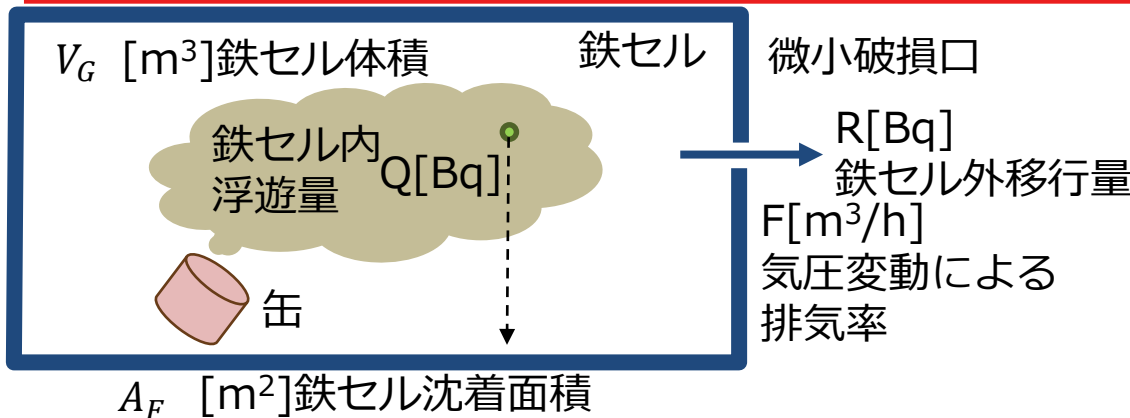
図：実機でのダスト低減（1号機のAWJ時）

出典：「1号機PCV内部調査にかかるアクセスルート構築作業について」（2019年8月29日、IRID、東京電力HD）に一部加工



図：粒子の代表的な生成メカニズムと粒径分布

出典：「微小粒子状物質健康影響評価検討会 報告書」（平成20年4月、環境省）



評価パラメータ	
λ_d :ダスト沈降率	0.02[1/h]
V_G :浮遊体積	600[m ³] (鉄セル内体積として設定)
A_F :沈着面積	130[m ²] (鉄セル内面積として設定)
r_p :ダスト粒子半径	5x10 ⁻⁷ , 2.5x10 ⁻⁶ [m]
ρ_p :ダスト密度	1000[kg/m ³]
g :重力加速度	9.8[m/s ²]
μ_g :気体の粘度	1.82x10 ⁻⁵ [Pa · s]
V_d :ダスト終端速度	3x10 ⁻⁵ [m/s]
F :気圧変動排気率	0.2% V_G [m ³ /h]

■ ダスト沈降率[1/h]

$$\lambda_d = V_d \frac{A_F}{V_G} \cdot 3600, \text{ where } V_d = \frac{2r_p^2 \rho_p g}{9\mu_g}.$$

■ 鉄セル内ダスト浮遊量Q[Bq]

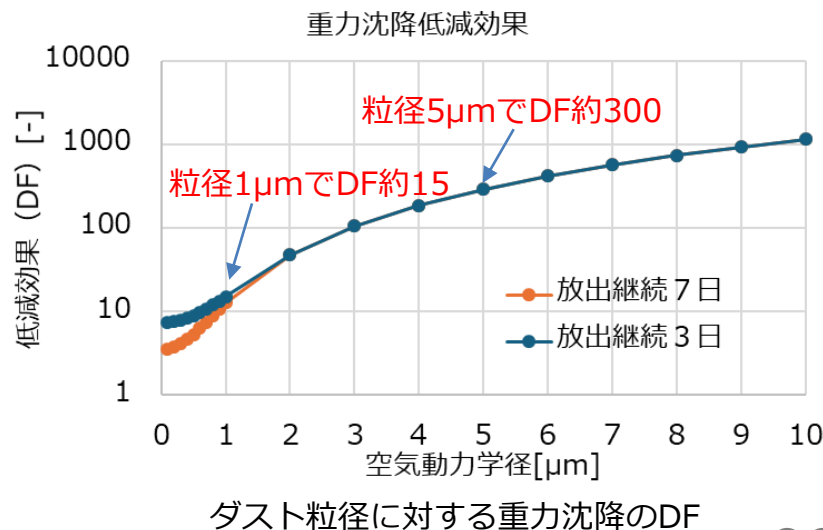
$$\frac{dQ}{dt} = -\left(\lambda_d + \frac{F}{V_G}\right)Q \rightarrow Q = Q_0 \exp\left\{-\left(\lambda_d + \frac{F}{V_G}\right)t\right\}$$

■ 鉄セル外ダスト移行量R[Bq]

$$\frac{dR}{dt} = \frac{F}{V_G}Q$$

$$\rightarrow R = \int_0^T \frac{F}{V_G} Q dt = \frac{Q_0 \frac{F}{V_G}}{\lambda_d + \frac{F}{V_G}} \left(1 - \exp\left\{-\left(\lambda_d + \frac{F}{V_G}\right)T\right\}\right)$$

ダスト粒径1 μm として、低減効果を保守的にDF10と設定した。



		従来の扱い	今後の見直しの方向性	本資料での見直し例	見直しによる評価結果への影響
A5	容器、構築物等からの放出量	鉄セルの閉じ込めを考慮せず	<p>具体的な放出メカニズムを想定して放出を評価する。例えば、</p> <ul style="list-style-type: none"> 狭隘部を通じた放出のDFとして、旧NUPECの試験結果では、少なくとも10~100程度のDFをとることが可能としている（参考図2） ダストを押し出す駆動力がない場合には、大気圧変動に伴う放出を考慮する。（参考図3） 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄セル内での事象である想定事象②について、狭隘部を通じた放出のDFとして10を適用 鉄セル内での事象である想定事象②について、放出率として、0.336（0.2%/h×7日間）を適用する 	<ul style="list-style-type: none"> 想定事象②の被ばくは1/10となる 想定事象②の被ばくは約1/3となる
			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>上の2つの放出メカニズムを考慮するとDFを100程度とれることになる。地震により建屋内に発生したダスト（通常値から2桁以上の上昇）の影響が建屋外では有意には見られていないことと整合する（参考図4）</p> </div>		

試験体	放射線エネルギー ^{※2}	加熱ガス ^{※2}	圧力 ^{※2} (MPa)	破損温度 ^{※2} (°C)	DF
					全粒径範囲 (0.5~5 ミクロン)
低電圧モジュール					
0.9mm ²	有	水蒸気	0.8	303	1300
0.9mm ²	有	水蒸気	0.8	284	620
0.9mm ²	有	水蒸気	0.4	284	22000
0.9mm ²	無	水蒸気	1.0	266	2500
0.9mm ² (T/C) ^{※1}	有	水蒸気	0.8	324	280
0.9mm ² (T/C)	無	水蒸気	0.8	285	160
同軸ケーブル	有	水蒸気	0.8	301	270
100mm ²	有	水蒸気	0.8	280	340
2mm ²	有	水蒸気	0.8	286	40
フランジ・ガスケット					
甲丸タイプ	無	水蒸気	0.8	276	11
甲丸タイプ	有	水蒸気	0.8	303	11
甲丸タイプ	有	水蒸気	0.8	324	13
甲丸タイプ	有	水蒸気	0.4	349	20
グループ&タンクタイプ	有	水蒸気	0.8	345	25

※1 熱電対
 ※2 3.2.2 リーク発生条件評価試験時の試験条件

① ↑

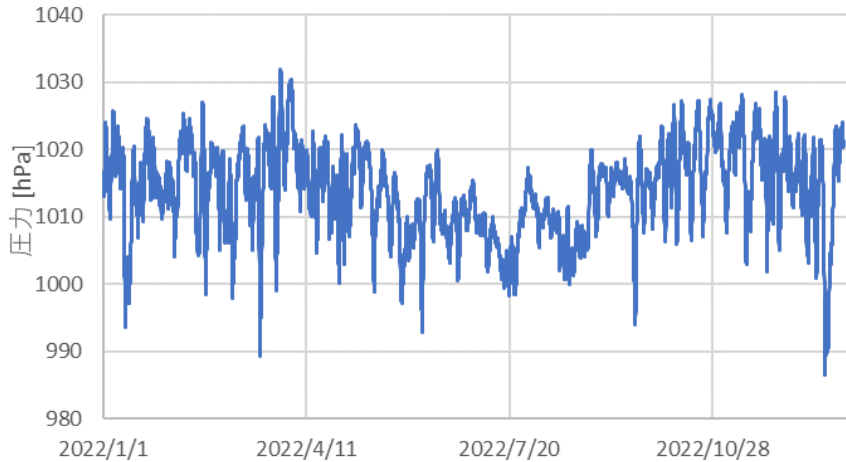
	NUPEC試験における試験条件	MARK-I (改良型含む)	MARK-II (改良型含む)	比較結果・考察
漏えいを想定する対象	電気配線貫通部 フランジ・ガスケット	電気配線貫通部 フランジ・ガスケット	電気配線貫通部 フランジ・ガスケット	漏えい想定箇所は、「2.1 原子炉格納容器の構造及び漏えい想定箇所」に記載のとおりで、試験条件と同等である。
エアロゾル粒径	1~2μm (CaI) DF評価範囲0.5~5μm	数μm (事象初期(格納容器スプレイ実施前))	数μm (事象初期(格納容器スプレイ実施前))	重大事故等時における粒径分布として取引量に支配的な事象初期(格納容器スプレイ実施前)では数μm程度を想定している。NUPEC試験ではDF値を0.5~5μmで評価しており、重大事故等時の条件と同等であることから適用可能である。 【4.1 エアロゾル粒子の粒径に対する考察】
シール材の材質	電気配線貫通部： (高電圧) エチレンプロピレンゴム (低電圧) エポキシ樹脂 メタル製又はエチレンプロピレンゴム製 Oリング フランジ・ガスケット： シリコンゴム	電気配線貫通部： (高電圧) エチレンプロピレンゴム (低電圧) エポキシ樹脂 メタル製又はエチレンプロピレンゴム製 Oリング ^{※1} フランジ・ガスケット： 改良 EPDM	電気配線貫通部： (高電圧) エチレンプロピレンゴム (低電圧) エポキシ樹脂 メタル製又はエチレンプロピレンゴム製 Oリング ^{※1} フランジ・ガスケット： 改良 EPDM	電気配線貫通部について、試験で用いたシール材と実機のシール材が同様であることを確認した。 フランジ・ガスケットについて、試験で用いたシール材と実機のシール材は異なるが、試験の材質よりも実機の方が長期にわたり高温環境下においてシール機能を維持できることから、NUPEC試験結果を適用できると考えられる。 【4.2 シール材の差異に対する考察】
環境条件	温度：100~300°C ^{※2} 圧力：0.11 ~0.60MPa[gage] (ドライ条件) ^{※3}	温度：~200°C 圧力：~0.353 MPa[gage] ~0.354 MPa[gage] (ウェット条件) ^{※3}	温度：~200°C 圧力：~0.620 MPa[gage] (ウェット条件) ^{※3}	重大事故等時に想定する温度条件は、試験における測定時の条件とほぼ同等であることを確認した。 試験に用いたシール材は最大約 270~350°Cの環境で曝露し、リークが発生したものをを用いている。一方、実機においては200°C以下であり、曝露環境試験においても漏えいがないことを確認している。 【4.2 シール材の差異に対する考察】 重大事故等時に想定する圧力は、試験における測定時の圧力と差異があるが、NUPEC試験によるとDFと流量には明確な依存性がないことから、DFと圧力に対しても明確な依存性がないと考えられ、NUPEC試験結果は適用可能である。 【4.3 圧力条件に対する考察】 試験環境はドライ条件であるが、実機で想定する環境はウェット条件であるため、水蒸気凝縮やエアロゾル粒子の凝集・凝縮効果が期待でき、実機の方がDFが大きくなると考えられる。 【4.4 蒸気条件に対する考察】

※1 Oリングはメタル製又はエチレンプロピレンゴム製 Oリングを使用しているが、重大事故等時の環境下においてシール機能を維持できることを確認している
 ※2 貫通部のシール機能が健全な場合にはエアロゾルのリークが生じないため、試験体を300°C以上(最大約270~350°Cまで)の環境で約20時間以上曝露し、リークの発生を確認した後に温度を低下させて試験を実施している
 ※3 NUPEC試験での試験条件ではエアロゾル粒子のサンプリング測定中の水蒸気凝縮による測定誤差を避けるためにドライ条件を用いている

←②

←③

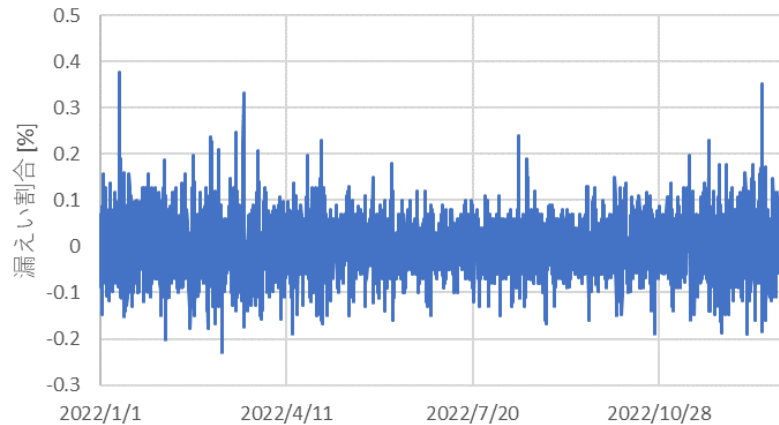
- ① ダストの粒径が0.5~5μmの範囲であれば、DFは小さくとも10と設定できる。
- ② DFと、狭隘部から外部に向かう流量に明確な依存性なし。
- ③ 試験はドライ条件で実施。ウェット条件であれば水蒸気凝縮やダスト粒子の凝集に期待でき、実際のDFはさらに大きくなると考えられる。



小名浜の2022年の大気圧変動データ
(1時間ごと)

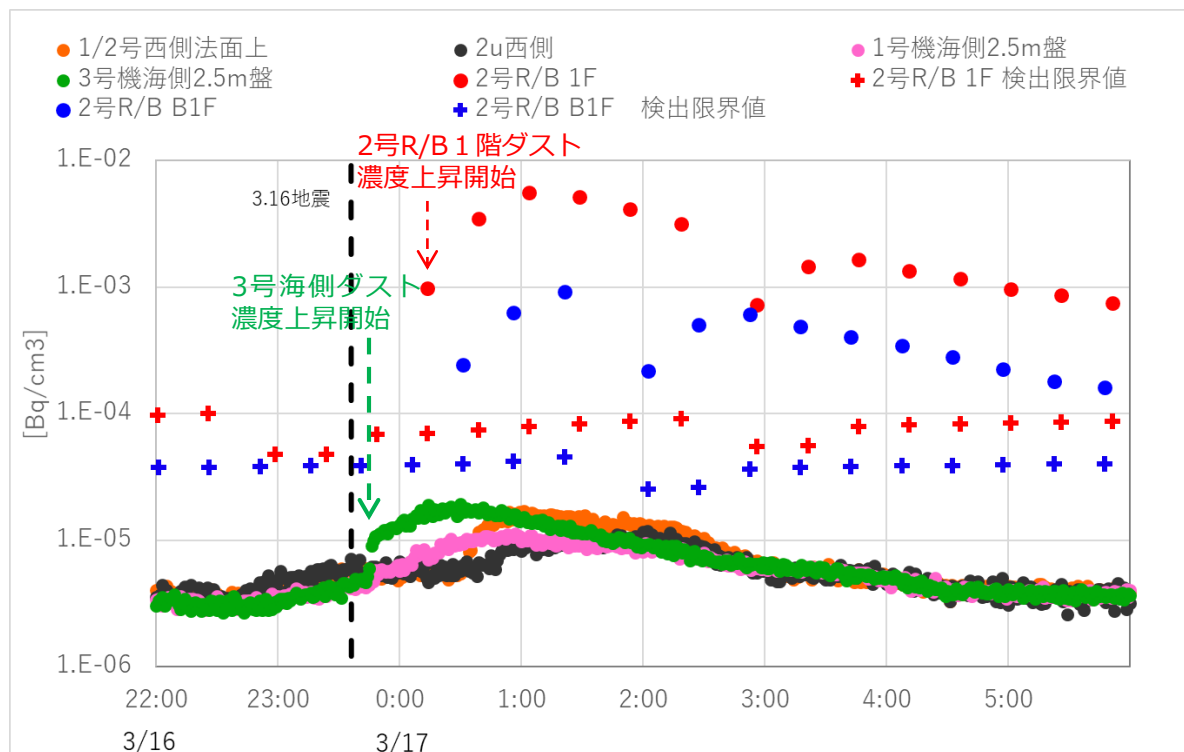


PCV内気体を理想気体とし、
外気圧の変動に伴うPCV内か
らの漏えい割合を算出



99%以上の時間で漏えい割合（放出率）
は0.2%以下

地震発生前後のダスト濃度の変動



- 2022年3月16日23時36分頃に発生、6号機加速度：水平221.3ガル 垂直202ガル
- 2号R/B1階ダスト(赤) は検出限界値から2桁程度の上昇が確認されているが、建屋周辺のダストモニタには有意な変動は確認されていない(3号海側ダストモニタ(緑)はその30分前から上昇しており、2号R/B内のダストが放出、拡散したわけではない)。
- 空間容積の大きさ、重力沈降等の効果により、PCV、R/Bのダストは建屋周辺のダストモニタに有意な変動を与える程には放出・拡散していなかった。

		従来の扱い	今後の見直しの方向性	本資料での見直し例	見直しによる評価結果への影響
A6	人的対応等による影響緩和（放出抑制）	<p>鉄セルへの放出が想定される放射性物質の全量が、瞬時に放出されるとの想定</p> <p>事象の時間的な進展を考慮しておらず緩和の効果を考慮することができない</p>	<p>現実的な事象進展を検討*し、事象進展が瞬時に完了せず時間余裕があること（参考図3）を示し、それを前提とした影響緩和の効果を考慮する</p> <p>例えば、作業停止することにより新たなダスト発生がない（事象進展が停止）ケースでは、設計に加え、人的対応による影響緩和策の効果を考慮し評価する</p>	<p>3日間で事象が終息するとして、想定事象②の放出率として、0.144（0.2%/h×3日間）を適用する</p>	<p>想定事象②の被ばくは約2/5となる</p>

*現実的な事象進展の検討の例として、イベントツリーによる整理を試みた（参考図5）。

イベントツリー：最終事象（この場合、ダスト放出）を途中で阻止する条件を明らかにすることを目的に、事象の進展要因、阻止要因と最終事象との関係を樹形図として示したもの

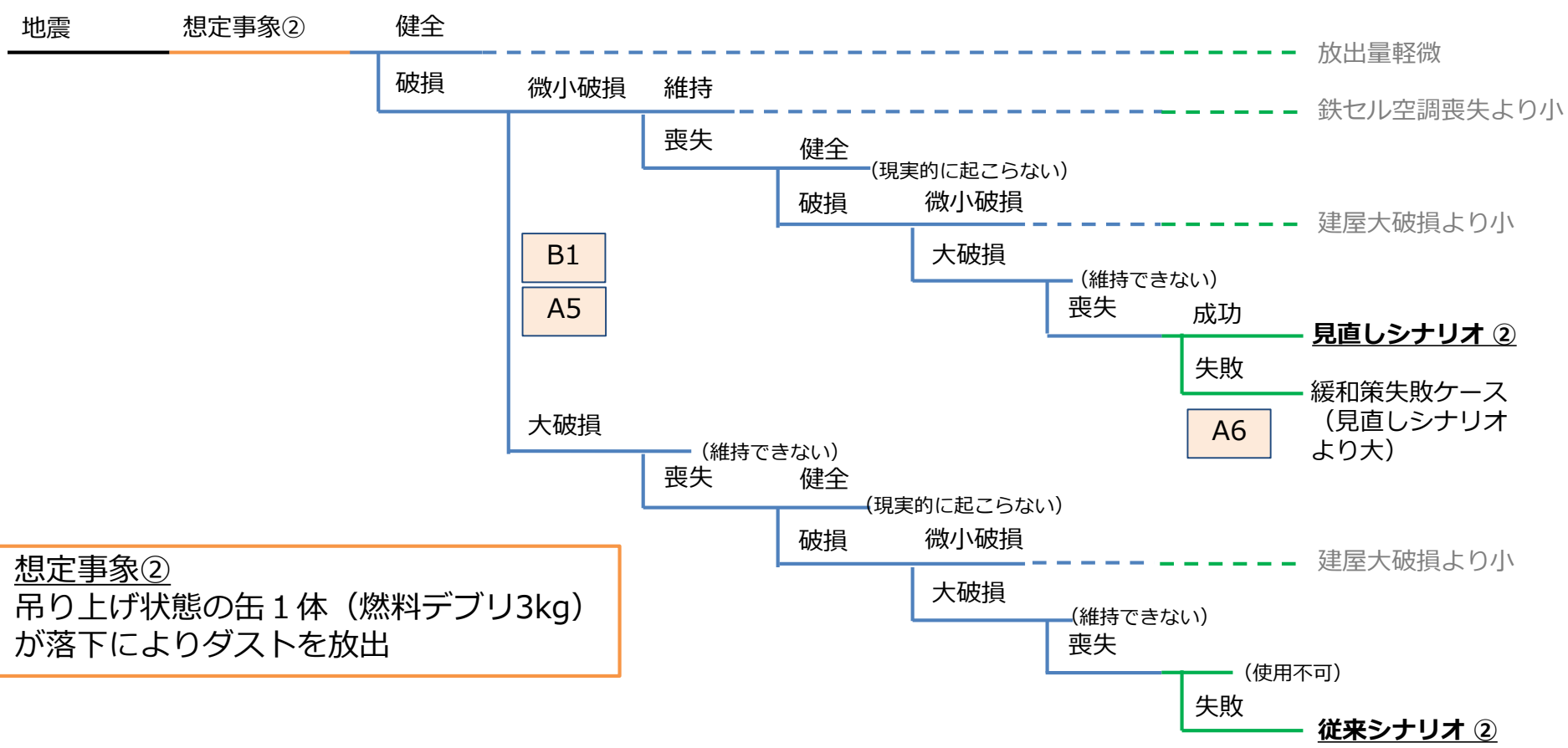
参考図5-1 イベントツリー (想定事象 ②)

A6

2



起因事象	ダスト発生	閉じ込め機能 (防止機能)			(緩和機能)			ダスト放出
地震	想定事象	鉄セル健全性	鉄セル破損程度	鉄セル空調	建屋壁健全性	建屋壁破損程度	建屋空調	可搬型排風機



想定事象②
吊り上げ状態の缶1体 (燃料デブリ3kg) が落下によりダストを放出

B. 想定事象における構造物挙動評価（閉じ込め機能の維持状況）

	従来の扱い	今後の見直しの方向性	本資料での見直し例	見直しによる評価結果への影響
B1	残存閉じ込め機能の想定	<p>耐震クラスを越える地震に対して閉じ込め機能は残存しないとして評価</p> <ul style="list-style-type: none"> 耐震クラスを越える地震に対しても構造物の応答評価により破損程度を明らかにし、破損程度（塑性変形、ひび割れ、躯体は大破しない等）に応じた残存機能を想定した評価を実施する 例えば、前回技術会合「資料3-1 廃スラッジ回収施設の設置に関する耐震評価」において対応措置の選択肢の一つとして示したのと同様の考え方（S_yを超過するものの、$0.9S_u$を満足することで閉じ込めは確保される）（参考図6） 事後の人的対応による機能復旧を考慮する 	<p>想定事象②について、鉄セルの破損程度に応じた放出（A5）、人的対応による影響緩和（A6）を考慮</p>	<p>A5（開口は狭隘）、A6（3日間で事象終息）の効果として反映</p>

(参考) 許容応力を満たしていない個所が発生した場合の対応措置



- 今回の配管動解析を実施した配管は、最も評価が厳しいと想定される配管長が長い配管であり、今後評価を実施する配管が許容応力である設計降伏点 (Sy) を超える可能性は低い。万が一、設計降伏点 (Sy) を満たしていない個所が発生した場合は、廃スラッジ回収施設の供用期間が短いことと、早期の廃スラッジ回収によるリスク低減を踏まえたうえで下記対応措置を実施する。
 - Bクラス地震時に配管バウンダリが破損することがないように、発生応力をJEAG4601で定められている、Sクラス施設の許容応力状態 $IV_A S$ の1次応力(曲げ応力を含む) $0.9Su$ (Su : 設計引張強さ) と比較し、小さいことを確認する。
 - ただし、設計降伏点 (Sy) を満たしていないため、廃スラッジ回収施設の供用期間中に地震が発生した場合には、必要に応じて健全性を確認したうえで運転を再開することとする。
- 今後1Fの廃炉設備の耐震評価において、許容応力を超える場合は、供用期間やリスク低減の観点から、本対応措置を選択肢の1つとし、合理的な対応を図りたい。

設計降伏点 (Sy) (MPa)	0.9Su (MPa)
175	432
175	432

(Su : 480MPa)

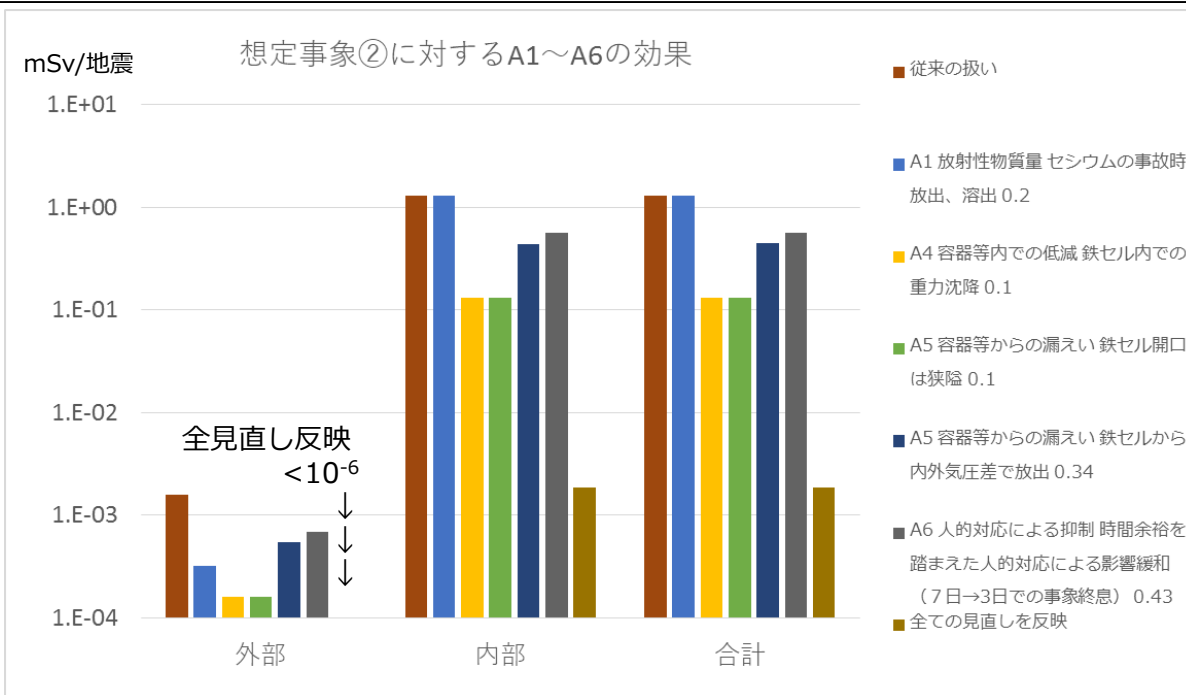
出典：第24回特定原子力施設の実施計画の審査等に係る技術会合 資料3-1「廃スラッジ回収施設の設置に関する耐震評価の状況」(令和7年2月4日、東京電力HD)

C. 放出放射性物質の大気拡散評価

	従来の扱い	今後の見直しの方向性	本資料での見直し例	見直しによる評価結果への影響
C 放出放射性物質の大気拡散評価	評価期間を通じて一定方向からの微風、安定な大気安定度継続を想定	<p>評価期間によって気象条件の変化を考慮した評価を実施</p> <ul style="list-style-type: none"> 2020年度発電所気象データによれば、標高 46m（地上高 10m）で同一風向が継続する時間は、2時間以内が全体の約87%、6時間以内が全体の約99% 地上高10mでは日を超える期間で同一の風向はなく、日オーダーの期間に一定風条件を想定することは実態を離れた想定である 具体的に評価にどのように反映するかは検討中 	—	—

【想定事象②】（鉄セル内、再掲）

- 鉄セル内で収納容器に収納するために缶1体（燃料デブリ3kg）を吊り上げる
- 吊り上げている際に地震が発生し、缶を鉄セル内に落下させてしまう
- 落下により燃料デブリの全量が缶から鉄セル内に放出され、ダストを発生させる
- 鉄セル内に放出したダストの一部が環境中に放出する



- A1（セシウムの放出分考慮）：外部被ばくを8割減とするが、被ばくに支配的な内部被ばくへの寄与はない
- A4（鉄セル内での重力沈降）：ダストの放出を1/10とする効果
- A5（鉄セルの開口は狭隘）：ダストの放出を1/10とする効果
- A5（内外気圧差を駆動力とした放出）：ダストの放出を約1/3とする効果
- A6（時間余裕を踏まえた人的対応による影響緩和）：ダストの放出を約2/5とする効果
- B1（残存閉じ込め機能の想定）：鉄セルの破損程度に応じた放出（A5）、人的対応による影響緩和（A6）の前提

- 鉄セル内での振動によるダスト飛散（想定事象①、③）と、保管容器の振動によるダスト飛散（想定事象④）は、缶の落下事象に比べ結果が小さいため詳細な検討は割愛する。
- 放射性物質の放出に関する想定事象①～④の評価結果を合算し以下にまとめる。

単位：mSv/地震

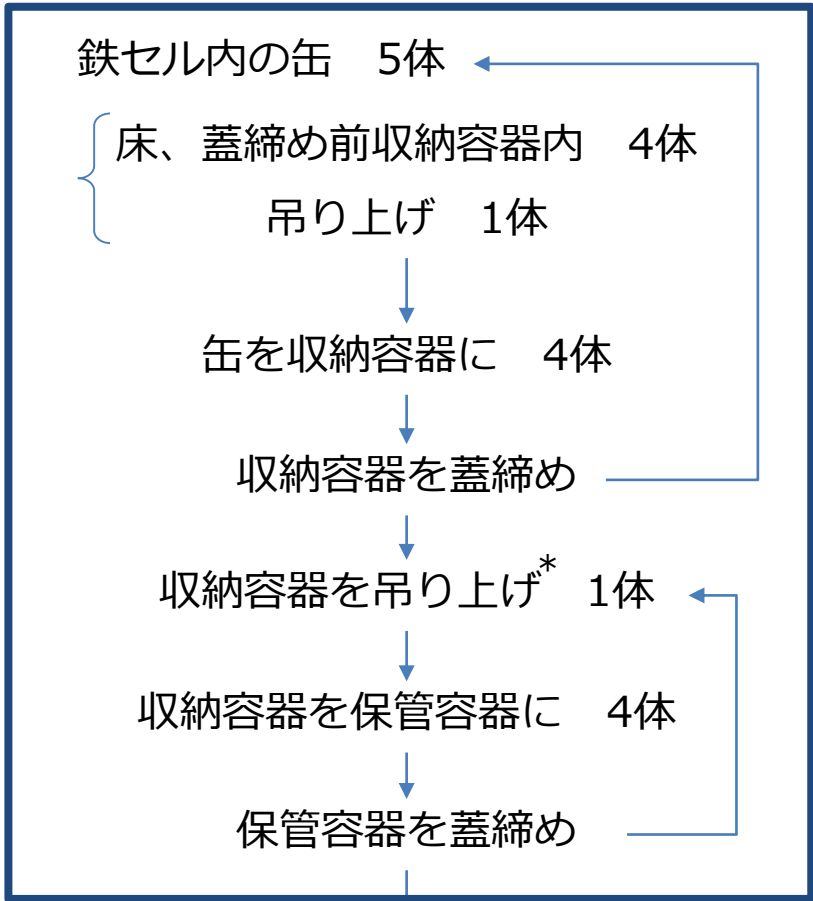
		従来への扱い	A1を考慮	A1～A6、B1を考慮
閉じ込め	外部被ばく	1.2×10^{-2}	2.3×10^{-3}	1.7×10^{-6}
	内部被ばく	2.2	2.2	2.3×10^{-3}
	合計	2.2	2.2	2.3×10^{-3}

[参考] 想定事象ごとの内部被ばくの評価結果

単位：mSv/地震

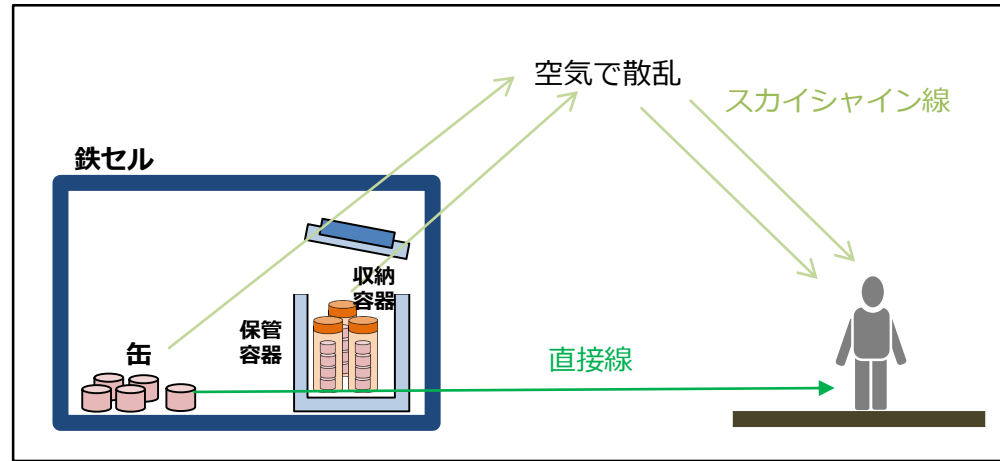
		従来への扱い	A1を考慮	A1～A6、B1を考慮
想定事象①	内部被ばく	0.20	0.20	2.9×10^{-4}
想定事象②		1.3	1.3	1.9×10^{-3}
想定事象③		0.60	0.06	$< 10^{-5}$
想定事象④		0.012	0.012	1.2×10^{-4}
小計		2.2	2.2	2.3×10^{-3}

3 地震時の直接線・スカイシャイン線による公衆被ばくの評価



【想定事象】

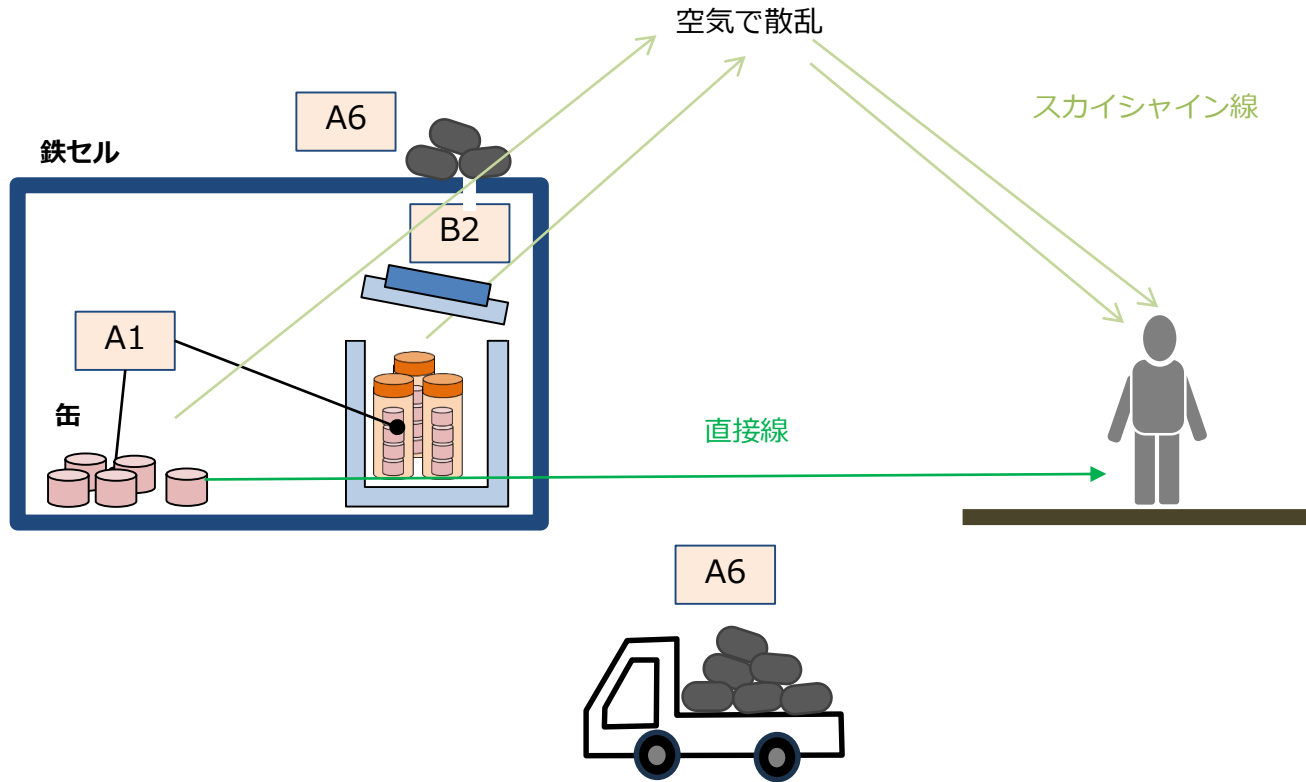
鉄セル内に存在する放射性物質が発する直接線、スカイシャイン線が飛来し被ばくする



保管容器を保管エリアに搬出

蓋締め後の保管容器は地震によっても遮へい機能を失わないよう設計することで、被ばく線量は極めて小さくなることから本ケーススタディでは考慮せず

事象の進展	従来の扱い	本ケーススタディでの扱い	評価条件となる要素（略号の意味は次ページ）
<p>地震</p> <p>鉄セル内のインベントリ</p>	<p>燃料デブリの</p> <p>3 kg ← 量 →</p> <p>ピークノード燃焼度 ← 燃焼度 →</p> <p>9年 ← 停止後年数 →</p>	<p>設計に応じて見直す</p> <p>現時点では見直しせず</p> <p>適宜見直し</p>	A1
<p>鉄セルの遮へい機能の劣化、機能喪失</p>	<p>鉄セルは存在しないものとし、鉄セルによる直接線、スカイシャイン線の遮へいに一切期待しない</p>	<p>発生する開口は狭隘なものとなり、現実的な事象進展は瞬時で完了しないことを示した上で、</p>	B2
<p>直接線、スカイシャイン線による被ばく影響</p>		<ul style="list-style-type: none"> 狭隘部を通じた直接線、スカイシャイン線の評価する 本ケーススタディでは見直していないが、人的対応による影響緩和効果を考慮する（例：土嚢を積むことによる遮への復旧） 	A6



■ 評価条件となる要素

(A1) 鉄セル内の燃料デブリの線源強度

(A6) 人的な対応による放射線の放出抑制（本ケーススタディでは見直しなし）

(B2) 残存遮へい機能の想定

		従来の扱い	今後の見直しの方向性	本資料での見直し例	見直しによる評価結果への影響
A1	想定事象が対象とする放射性物質	近似的に安全側になる量として、取扱量に応じた平均的燃焼度（鉄セル内はピークノード燃焼度、保管容器は炉心平均燃焼度）を設定	事故時の放出や冷却水への溶出、構造材の混合等の実態を評価に反映する	<ul style="list-style-type: none"> セシウムを80%減とする 全核種について15年の減衰を考慮する 	直接線、スカイシャイン線による被ばくを約78%低減する
		取り出した燃料デブリは評価上は全て燃料と想定	缶の重量測定等により、燃料成分の割合を評価し適用していく	—	—
A6	人的対応等による影響緩和（遮へい）	放射線源が遮へいなしに置かれた状態を設定	現実的な事象進展を検討し、事象進展が瞬時で完了しない（時間余裕がある）ことを示し、それを前提とした影響緩和の効果を検討する 例えば、土嚢を積むなどの遮へい対策を行うことで、影響を緩和する	—	—

B. 想定事象における構造物挙動評価（遮へい機能の維持状況）

	従来の扱い	今後の見直しの方向性	本資料での見直し例	見直しによる評価結果への影響
B2 残存遮へい機能の想定	耐震クラスを越える地震に対して遮へい機能は残存しないとして評価	<ul style="list-style-type: none"> 耐震クラスを越える地震に対しても構造物の応答評価により破損程度を明らかにし、破損程度（塑性変形、ひび割れ、躯体は大破しない等）に応じた残存機能想定した評価を実施する 事後の人的対応による機能復旧を考慮する 	鉄セルの開口が狭隘である(A5)とした場合の遮へい機能の残存を考慮し*、0.02を適用する	直接線、スカイシャイン線による被ばくを約98%低減する

* 下の簡易式に基づき、狭隘部通過前後の放射線の線束の比を設定

$$\frac{\Phi 2}{\Phi 1} = \frac{1}{2} C \cdot \left(\frac{T}{L}\right)$$

Φ2：狭隘部通過後の線束、Φ1：狭隘部通過前の線束
 C：狭隘部入り口での散乱等の補正係数（C≤1、ここではC=1とする）
 T：狭隘部の幅（1cmとする）
 L：狭隘部の長さ（鉄セルの厚さ、30cmとする）

右上の条件で狭隘部通過前後の線束の比は0.02となる

出典：「JAERI-M-86-060 再処理施設の放射線遮蔽安全ガイド資料」（1986年4月、日本原子力研究所）

以下を考慮した直接線、スカイシャイン線による被ばく線量を簡易的に評価

- A1：セシウム80%減に加え、全核種について15年の減衰を考慮
- B2：遮へい機能の残存

単位：mSv/地震

	従来扱い	A1を考慮	A1、B2を考慮
遮へい	2.7	0.6	1.2×10^{-2}

4

評価を踏まえた耐震クラスの設定

■ 被ばく線量

単位：mSv/地震

		従来の扱い	A1を考慮	A1~A6、B1、B2を考慮
閉じ込め	外部被ばく	1.2×10^{-2}	2.3×10^{-3}	1.7×10^{-6}
	内部被ばく	2.2	2.2	2.3×10^{-3}
	小計	2.2	2.2	2.3×10^{-3}
遮へい		2.7	0.6	1.2×10^{-2}
合計		4.9	2.8	1.4×10^{-2}

■ 耐震クラスの設定

	従来の扱い	A1を考慮	A1~A6、B1、B2を考慮
保管のための建屋	S	B	C
鉄セル	S	B	B

従来の扱い：鉄セルの閉じ込め、遮へい機能を考慮しない被ばく線量は 4.9mSv （ $\approx 5\text{mSv}$ ） →保管のための建屋の耐震クラスはSとなる（保管のための建屋の閉じ込め、遮へい機能を考慮しなければ、鉄セルの耐震クラスはSとなる）

A1を考慮（インベントリだけを見直した場合）：被ばく線量は 2.8mSv →保管のための建屋の耐震クラスはBとなる。また、鉄セルの閉じ込め、遮へい機能を考慮しなくても 2.8mSv であることから鉄セルの耐震クラスもBとなる

A1~A6、B1、B2を考慮：被ばく線量は $1.4 \times 10^{-2}\text{mSv}$ →保管のための建屋の耐震クラスはCとなる。鉄セルは地震（ S_s900 ）に対して必要な閉じ込め・遮へい機能を前提としているため鉄セルの耐震クラスはBとすることが必要

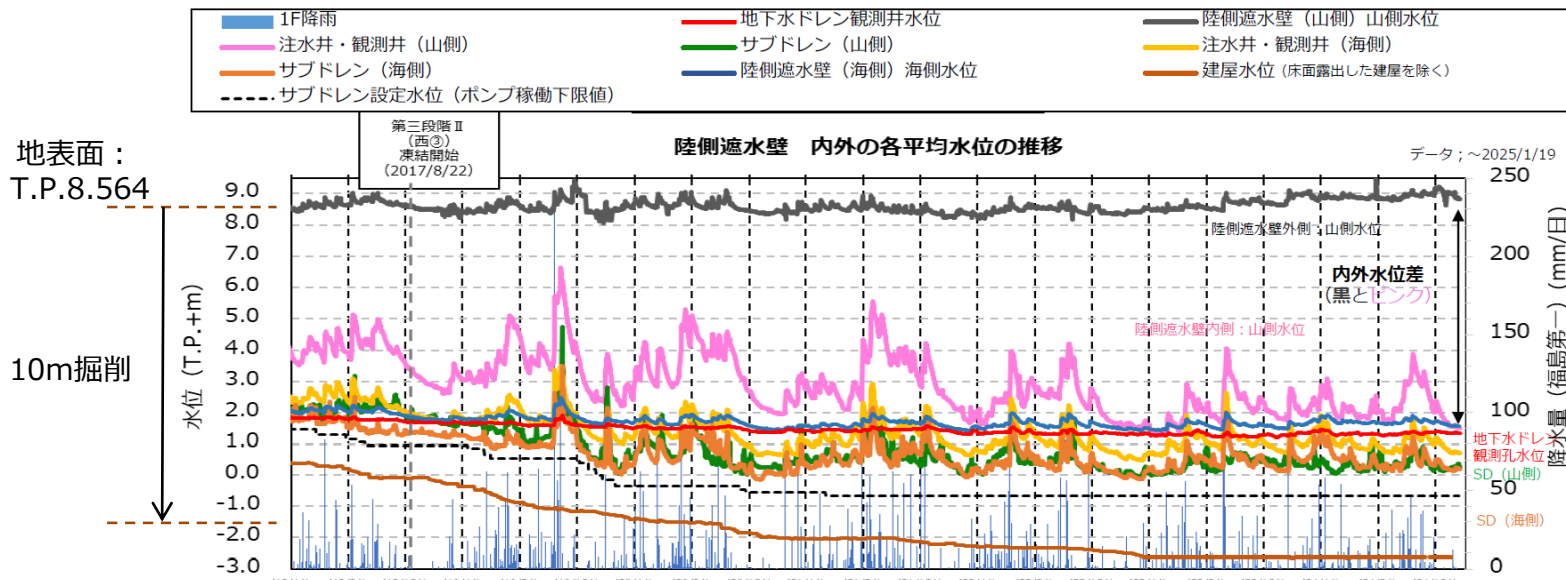
5 耐震クラス違いが与える影響

5. 耐震クラスによる違い

- 設備設置のために8.5m盤のR/B近傍で掘削すると、R/B近傍の地下水水位に影響を与え得る（下図）
- 設備設置に要する期間は、設備により異なるため大まかな値であるが、耐震Sクラスで5~6年、耐震Bクラスで2~3年程度
- 掘削深さは、大まかな値として耐震Sクラスで20~30m、耐震Bクラスで10m程度

掘削深さ	R/B近傍の地下水水位への影響	設備設置に要する期間	50m×50mの床面積の設備*の掘削で発生する土砂量
10m	現行のR/B滞留水水位よりも浅い掘削にとどまるため、建屋の水位管理に与える影響は小さい	2~3年	25000m ³
20m	現行のR/B滞留水水位よりも深い掘削となるため、建屋の水位管理に大きな影響を与える可能性あり	5~6年	50000m ³

* 参考：3号R/Bの1階の床面積：約47m×約47m



出典：第134回 廃炉・汚染水・処理水対策子一ム会合事務局会議 資料3-1 「建屋周辺の地下水水位、汚染水発生状況」（令和7年1月30日、東京電力HD）に一部加工