

# 放射性物質分析・研究施設第2棟における 耐震クラスの考え方について

2023年3月6日

東京電力ホールディングス株式会社  
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構



## 本技術会合における目的、概要

---

### ■ 本技術会合の目的

放射性物質分析・研究施設第2棟（以下「第2棟」という。）における耐震クラスを決定するためにご審議頂きたい。

### ■ 概要

- 『東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方（2022年11月16日）』のフロー（参考資料1）に基づき、第2棟における建屋及び設備の耐震クラスの分類を行った。
- 安全機能（閉じ込め機能、遮蔽機能）を失った際の被ばく評価をインベントリ毎に行った結果、「コンクリートセル」及び「試料ピット」が暫定Sクラス、その他建屋や主要設備は暫定Bクラス又は暫定Cクラスと分類される。
- 現実的な緩和対策としてSs900等による耐震性について評価した結果、おおむね弾性範囲にとどまるとともに安全機能を維持可能である。このため、「コンクリートセル」及び「試料ピット」についてはSクラス相当の実力ありと判断し、Sクラスに設定する。
- なお、建屋や主要設備については、長期間使用することも踏まえて、B+クラス又はCクラスに設定する。

# 目次

---

---

1. 第2棟の概要
2. 第2棟の役割
3. 耐震クラス設定のフローと考え方（概要）
4. 第2棟の耐震評価について
5. 第2棟の耐震クラスに係るまとめ

# 1. 第2棟の概要

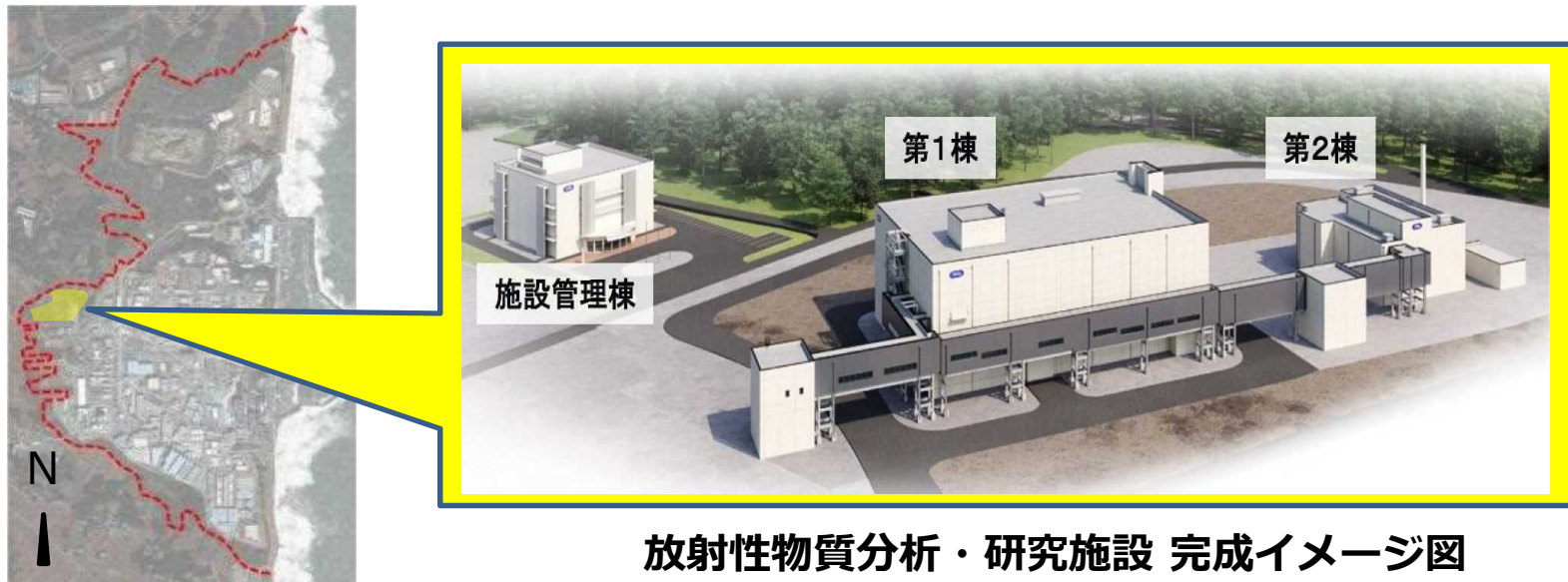
## 1.1 目的、分析対象

### ■ 目的

燃料デブリ等の取り出しや保管等、各プロセスの安全性向上を主目的とした研究開発を進めるため、第2棟では、燃料デブリの性状把握として必要な各種分析を行う。

### ■ 分析対象

- 燃料デブリ等（燃料デブリの他、PCV内構造材や堆積物を含む）
- 受入回数：年間12回を想定

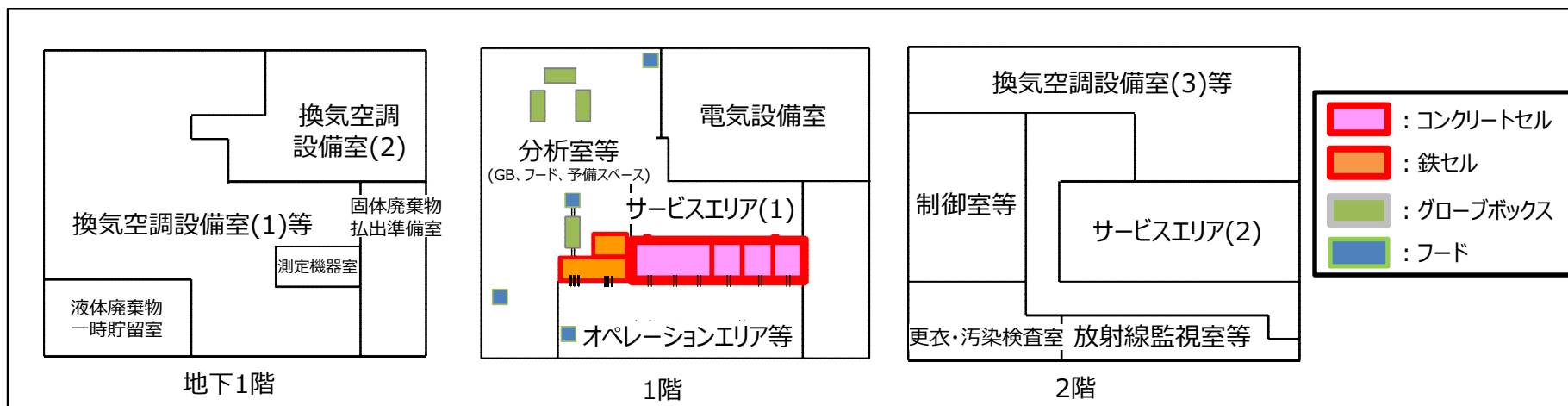


# 1. 第2棟の概要

## 1.2 施設・設備概要

- 建屋は1階、2階、地下1階の鉄筋コンクリート造とする。
- 燃料デブリ等を安全に取り扱えるよう、十分な遮蔽性と閉じ込め性を有したコンクリートセルや鉄セル、グローブボックス等を設置するとともに、発生する廃棄物についても安全に管理できるよう、換気空調設備や廃液受槽等を設置する。
- なお、コンクリートセル [redacted] では、燃料デブリ等の取扱量及び形状を制限することで臨界安全を確保する。

### <第2棟の施設レイアウト概要>

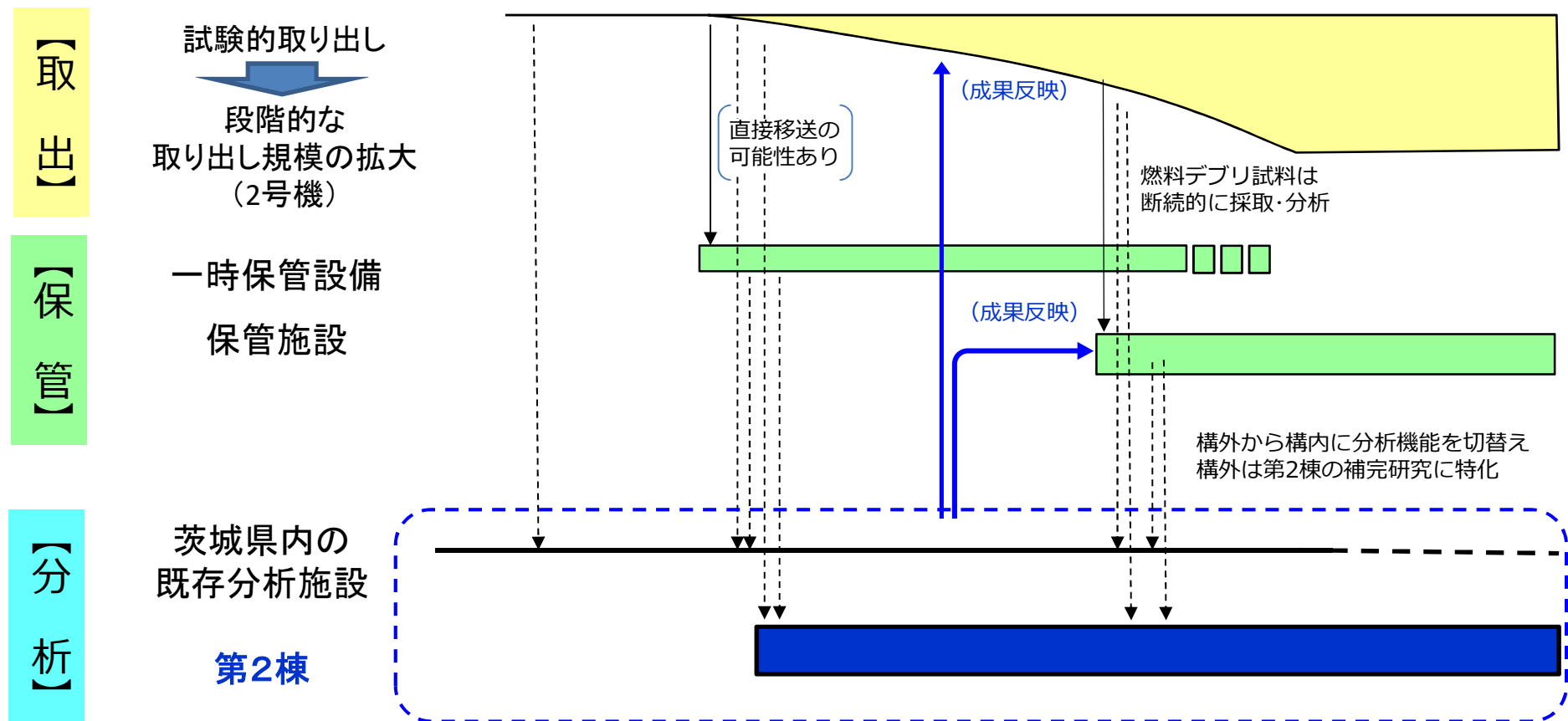


## 2. 第2棟の役割

### 2.1 第2棟の役割について

2023年1月24日 規制庁面談資料 資料5 p2 一部修正

第2棟は、段階的な取り出し規模の拡大で採取した燃料デブリ等を分析し、その分析成果を以降の燃料デブリの取り出しや保管施設の設計や運用に反映する。



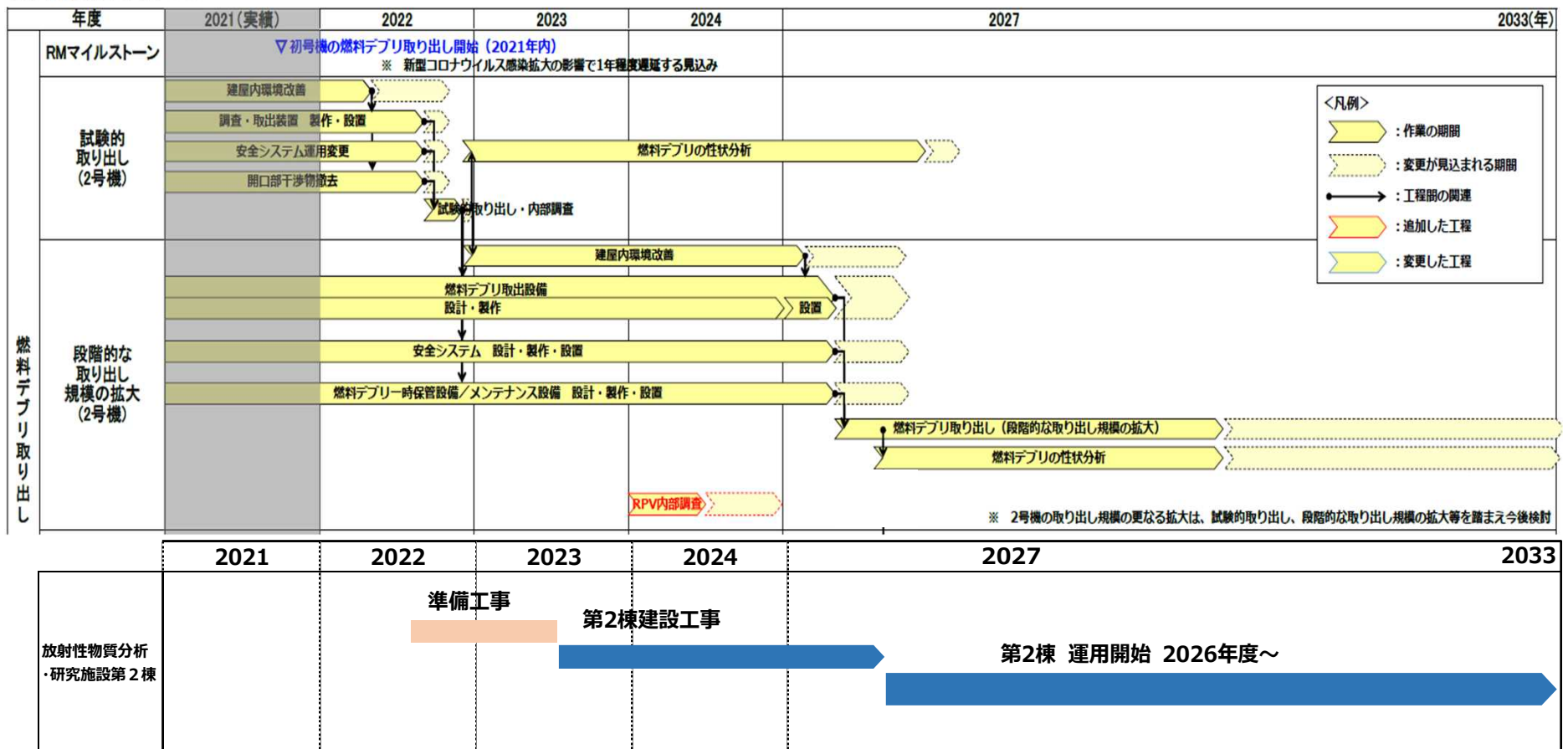
## 2. 第2棟の役割

### 2.2 第2棟のスケジュールについて

燃料デブリの段階的な取り出し規模の拡大を2020年代半ばに予定しており、第2棟は2026年度の早期竣工が必要である。2026年度に竣工するためには2023年9月着工が必要となる。

廃炉中長期実行プラン2022

燃料デブリ取り出しスケジュールについては廃炉中長期実行プラン2022より抜粋（2022年3月31日）



### 3. 耐震クラス設定のフローと考え方（概要）

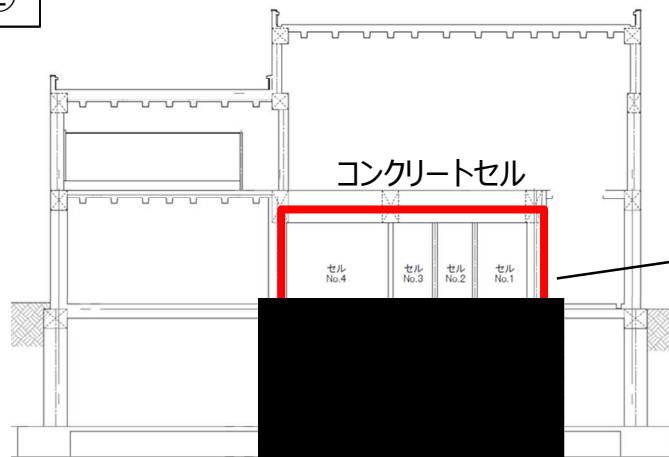
第2棟の耐震クラスは、第51回原子力規制委員会で示された文書「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方（2022年11月16日）」（参考資料1）のフローに従い設定しており、以下に概要を示す。

1-①：地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響に基づき暫定的に耐震クラスを設定

- ◆ 燃料デブリ等の受入、加工、保管等を行う**コンクリートセル、試料ピットについては、安全機能（遮蔽、閉じ込め）を失った場合、敷地境界の実効線量が5mSvを超える**（他の設備は5mSv未満）
- ◆ **また、試料ピットにおいては臨界量以上の燃料デブリを取り扱うため形状を管理**

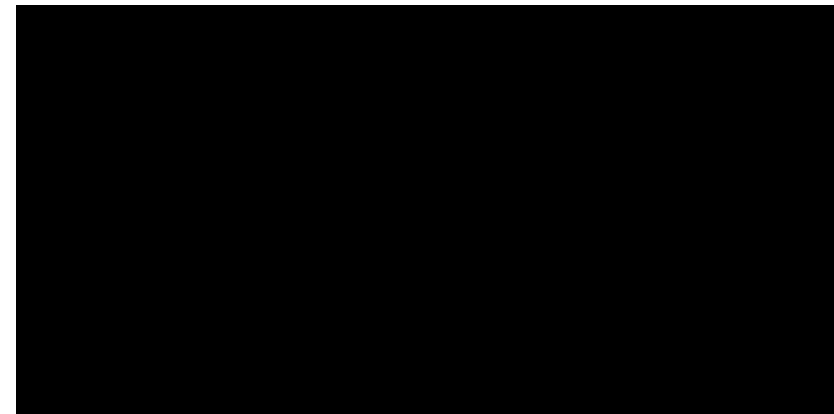
以上から、**コンクリートセル、試料ピットは暫定Sクラス、これ以外の設備は暫定Bクラス又は暫定Cクラスと分類**  
⇒ P10

1-②



建屋断面図

試料ピットは臨界量以上の燃料デブリを取り扱うことから、**間隔を確保し臨界を防止（形状管理）**する。試料ピットは燃料デブリが満杯の状態、同時にセル内で燃料デブリを取り扱う場合でも臨界安全を維持できる設計としている。



暫定Sクラスとしたコンクリートセル、試料ピット概要（断面図）



### 3.耐震クラス設定のフローと考え方（概要）

1-②：現実的な緩和対策を考慮（被ばく評価期間、放射線防護対策、建屋耐震設計など）

暫定Sクラスとした「コンクリートセル」及び「試料ピット」について耐震Sクラス相当の実力を有していることを評価

- ◆ 建屋（コンクリートセル含む）について、**動的地震力Ss900**を用いて耐震性（復元力特性）を評価した結果、おおむね弾性範囲に納まることを確認でき、**Sクラス相当の耐震性を有する**と判断 ⇒ P15
- ◆ 同様に**動的地震力Sd450**を用いて耐震性（復元力特性）を評価した結果においても、おおむね弾性範囲に納まることを確認でき、**Sクラス相当の耐震性を有する**と判断 ⇒ P16
- ◆ 静的地震力3.0Ciと動的地震力Ss900の地震力（層せん断力）を比較すると、動的地震力Ss900が静的地震力3.0Ciを上回ることを確認しているため、Ss900でおおむね弾性範囲に納まることから**Sクラス相当の実力があると判断** ⇒ P17
- ◆ また、**静的地震力3.0Ciを用いて耐震性（部材毎の短期許容応力）**を評価した結果、**コンクリートセル及び試料ピットについては、許容応力を満たす**ことを確認した。⇒ P18

コンクリートセル及び試料ピットの耐震クラスをSクラスとする ⇒ P22

## 4. 第2棟の耐震評価について

### 4.1 地震により安全機能を失った際の耐震クラス分類（1/2）

地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響を評価し、耐震クラスを分類する。

#### ■ 要求される安全機能

設計においては、既存ホットラボを参考に各設備での燃料デブリの取り扱い量を考慮して、以下の安全機能を要求している

設備名称	安全機能
建屋	遮蔽（一部の壁、天井等※1）、 間接支持機能
コンクリートセル	閉じ込め、遮蔽機能
試料ピット	遮蔽、臨界防止機能
鉄セル	閉じ込め、遮蔽機能
グローブボックス	閉じ込め機能※2
フード	閉じ込め機能※2
液体廃棄物一時貯留設備	閉じ込め機能※2
セル・グローブボックス用換気空調設備	閉じ込め機能※2
フード用換気空調設備	閉じ込め機能※2

※1 液体廃棄物一時貯留室の天井の一部、固体廃棄物準備室の天井及び一部の壁に遮蔽機能を要求する。

※2 取り扱う燃料デブリが少量であり、被ばく線量が極めて小さいため、遮蔽機能は要求しない。

#### ■ 第2棟の暫定耐震クラス

コンクリートセル、試料ピットは暫定Sクラス、これ以外は暫定B又はCクラスとなることから、第2棟は暫定Sクラスに分類される ⇒ P10

# 4. 第2棟の耐震評価について

## 4.1 地震により安全機能を失った際の耐震クラス分類 (2/2)

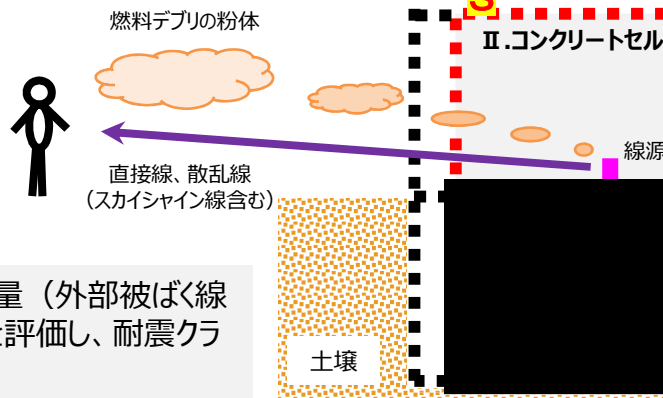
地震により安全機能を失った際（建屋、コンクリートセルの壁・天井等が無い場合）の公衆への被ばく影響を評価し、耐震クラスを分類した。結果を以下に示す。

(想定する条件)

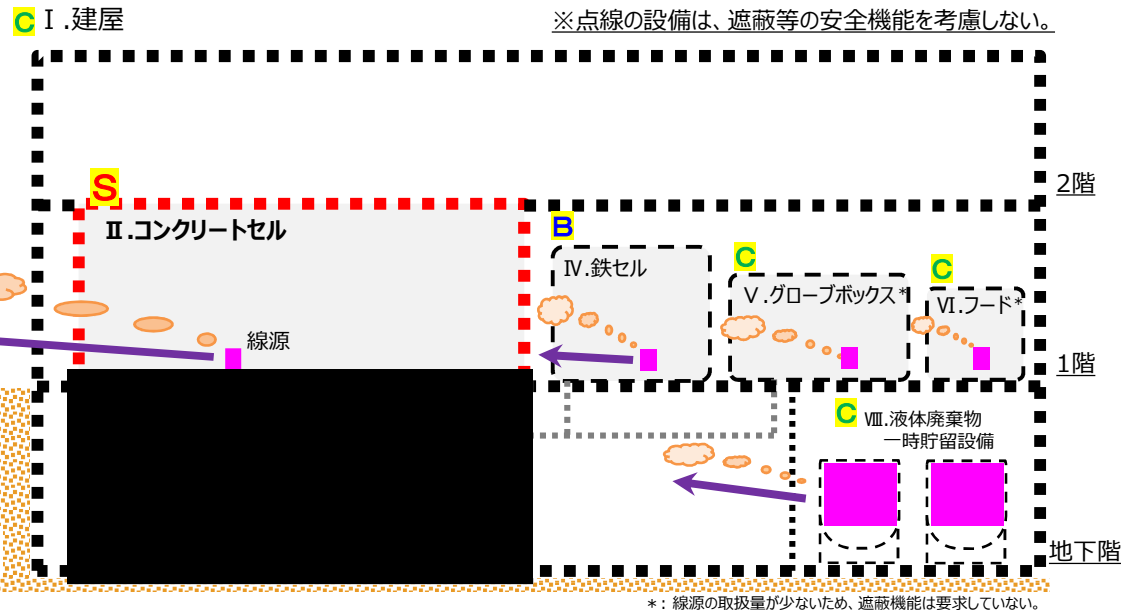
- ・閉じ込め機能 : コンクリートセル、建屋の除染係数は考慮しない。
- ・遮蔽機能 : コンクリートセル、建屋の遮蔽機能は考慮しない。

### 1F敷地境界

- (内部被ばく線量)  
放射性物質の吸入による
- (外部被ばく線量)  
直接線、散乱線による



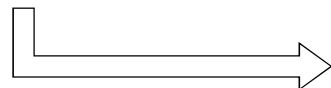
各設備に対し、敷地境界線量（外部被ばく線量と内部被ばく線量の和）を評価し、耐震クラスの分類を行った。



\*: 線源の取扱量が少ないため、遮蔽機能は要求していない。

第2棟の断面図 (イメージ図)

地震により安全機能を失った際の被ばく評価を行った結果、コンクリートセル、試料ピットは**暫定Sクラス**、これ以外の設備は暫定B又は暫定Cクラスと分類した。



「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方（2022年11月16日）」のフローに従い耐震クラスを分類した。

No.	設備名称 <sup>※1</sup>	敷地境界線量 (mSv)	暫定耐震クラス
I	建屋	$6.5 \times 10^{-4}$	暫定 C クラス
II	コンクリートセル	$1.4 \times 10^2$	暫定 S クラス
III	試料ピット	$> 1.9 \times 10^2$	暫定 S クラス
IV	鉄セル	2.8	暫定 B クラス
V	グローブボックス	$2.7 \times 10^{-4}$	暫定 C クラス
VI	フード	$2.7 \times 10^{-4}$	暫定 C クラス
VII	セル・グローブボックス用換気空調設備	2.0	暫定 B クラス
VIII	液体廃棄物一時貯留設備	$7.2 \times 10^{-5}$	暫定 C クラス

※1: 上記の設備の他、フード用換気空調設備、管理区域用換気空調設備、消火設備、固体廃棄物払出準備設備についても評価を行い、耐震クラスを分類した。詳細は、参考①に記載。

評価結果の詳細は、参考①に記載。

## 4. 第2棟の耐震評価について

### 4.2.1 現実的な緩和対策の考慮について (1/11)

#### ■ 暫定Sクラス設備に要求される安全機能

設備名称	要求される安全機能
コンクリートセル	壁、天井等による遮蔽機能
	壁、天井等による閉じ込め機能
試料ピット	コンクリート躯体による遮蔽機能
	試料ピットの形状維持による臨界防止機能

#### ■ 上記の暫定Sクラス設備がSクラスの実力があるか確認するため、下記の耐震評価を行う

No.	項目	地震力	評価項目	許容限界
①	コンクリートセル、 試料ピット	Ss900	耐震壁のせん断ひずみ	おおむね弾性範囲にとどまること (※ $2.0 \times 10^{-3}$ 以下)
②		Sd450	耐震壁のせん断ひずみ	おおむね弾性範囲にとどまること
③		3.0Ci	柱・梁・壁部材の応力	短期許容応力度以下
④	地盤	Ss900	接地圧	極限支持力度以下

※ せん断ひずみに関する許容限界（原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601））

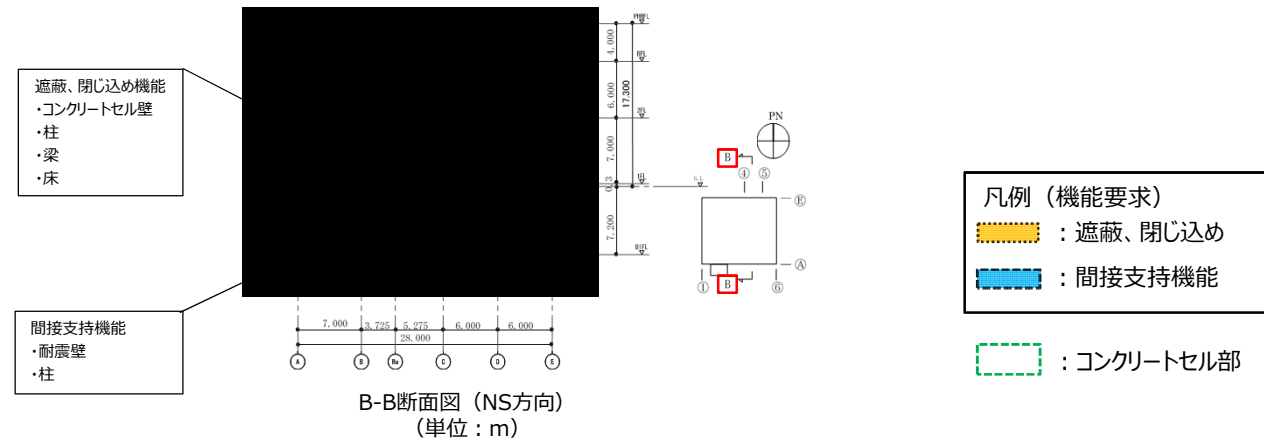
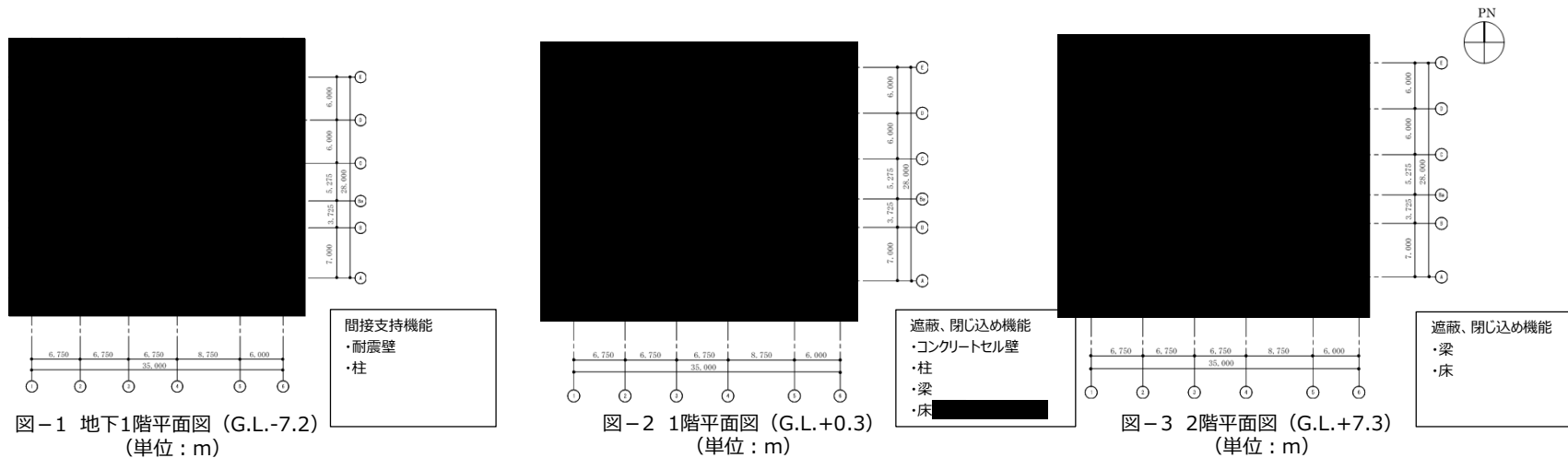
なお、Ss900による耐震評価の結果を基に、地震により試料ピットが変形した場合の臨界安全についても評価を行う

## 4. 第2棟の耐震評価について

### 4.2.1 現実的な緩和対策の考慮について (2/11)

#### 第2棟の建屋構成部材に要求されるSクラス相当の機能について

- ・コンクリートセル部を間接支持する部分は、Ss900に対して間接支持機能が要求される。
- ・Sクラス相当の耐震性が要求される範囲は、コンクリートセル、試料ピット [REDACTED] となる。
- ・第2棟の各部位に求められる機能要求は、以下の図に示す。



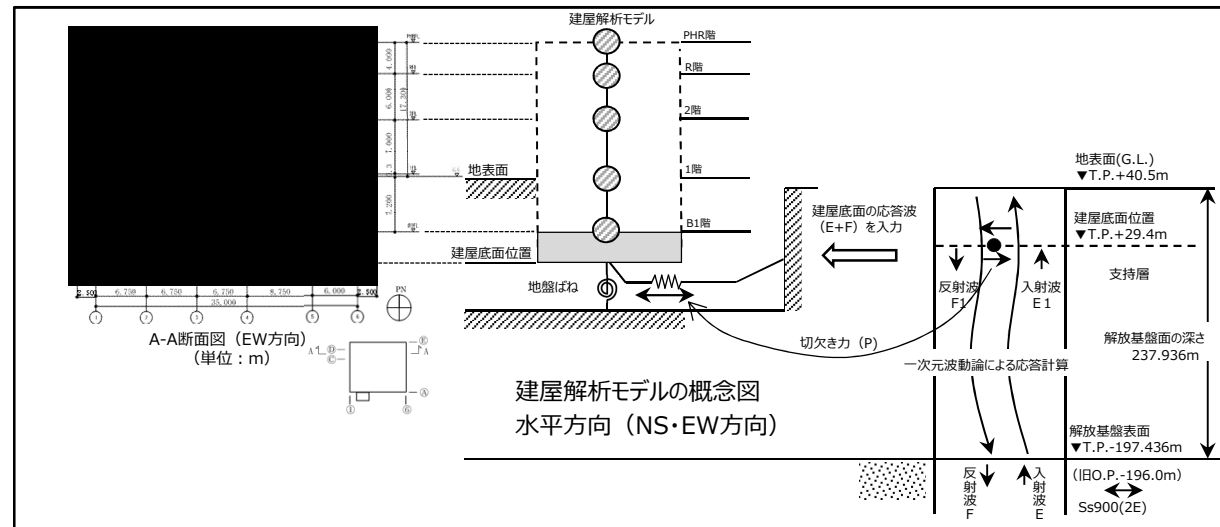
# 4. 第2棟の耐震評価について

## 4.2.1 現実的な緩和対策の考慮について (3/11)

### 解析モデルの概要

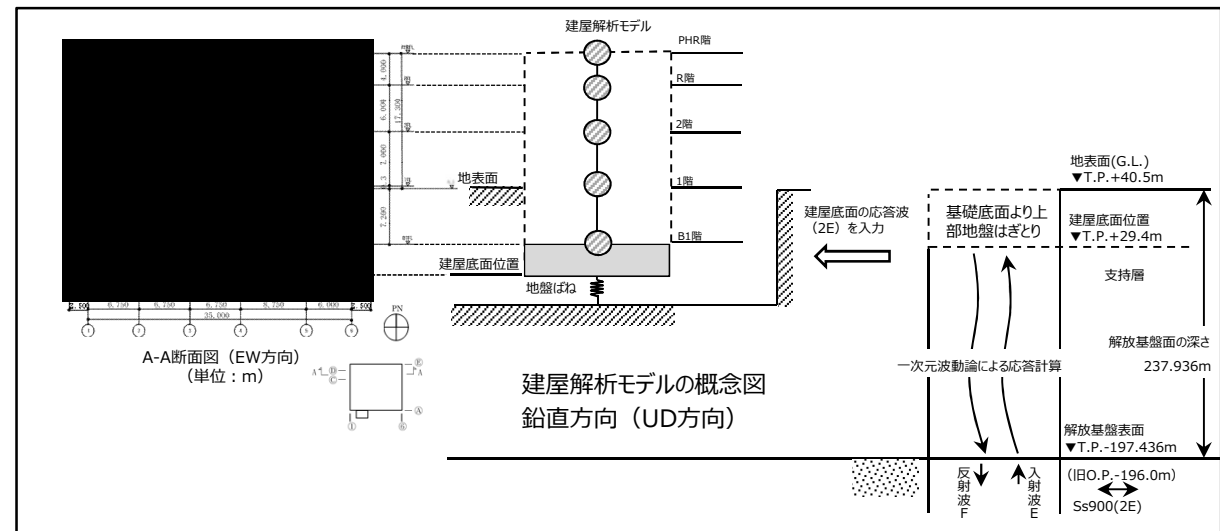
#### ■ 建屋概要

- ・構造：鉄筋コンクリート造
- ・階数：地上2階、地下1階
- ・基礎：直接基礎で人工岩盤（MMR）を介して富岡層（砂質泥岩～泥岩）に支持
- ・平面寸法：35.0m(EW方向)×28.0m(NS方向)
- ・基礎形状：40.0m(EW方向)×37.6m(NS方向)
- ・地上高さ：17.3m



#### ■ 建屋解析モデル（質点系モデル）概要

原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601）に基づくとともに、原子力施設の設計で参照される原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601）を参考にして、建屋解析モデル（質点系モデル）を作成し、地震応答解析を実施する。



## 4. 第2棟の耐震評価について

### 4.2.1 現実的な緩和対策の考慮について (4/11)

#### 鉄筋コンクリート造耐震壁の復元力特性の評価法

- 原子力施設のような耐震壁を主体とした建屋では塑性変形を考慮し、耐震壁に生じるせん断応力度とせん断ひずみの関係（スケルトンカーブ（ $\tau-\gamma$ ）※<sup>1</sup>）において、評価する。
- 一般的には、スケルトンカーブ（ $\tau-\gamma$ ）関係は、第1折れ点付近でコンクリートにひび割れが生じ、第2折れ点付近で鉄筋が降伏するとされている。そのため、第2折れ点付近にとどまると、おおむね弾性状態であると考えられ、変形は著しく発生せず、地震後の残留ひずみは小さいことから、遮蔽、閉じ込め機能を有するものと考えられる。
- このため、第2棟の建屋の地震応答解析は、おおむね弾性状態であることを確認する。

#### ・第1折れ点

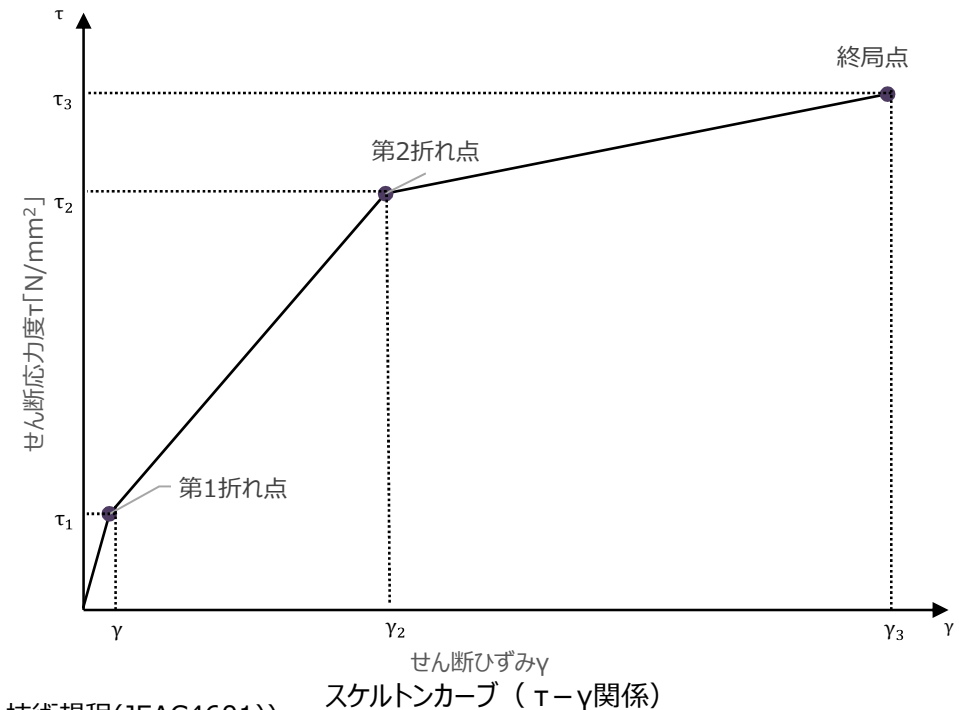
一般的に第1折れ点付近でコンクリートにひび割れが生じるとされている点

#### ・第2折れ点

一般的に第2折れ点付近で鉄筋が降伏するとされている点

#### ・終局点

終局せん断ひずみとされている点 ( $\gamma = 4.0 \times 10^{-3}$ )



※1 鉄筋コンクリート造耐震壁の復元力特性の評価法（原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601)）

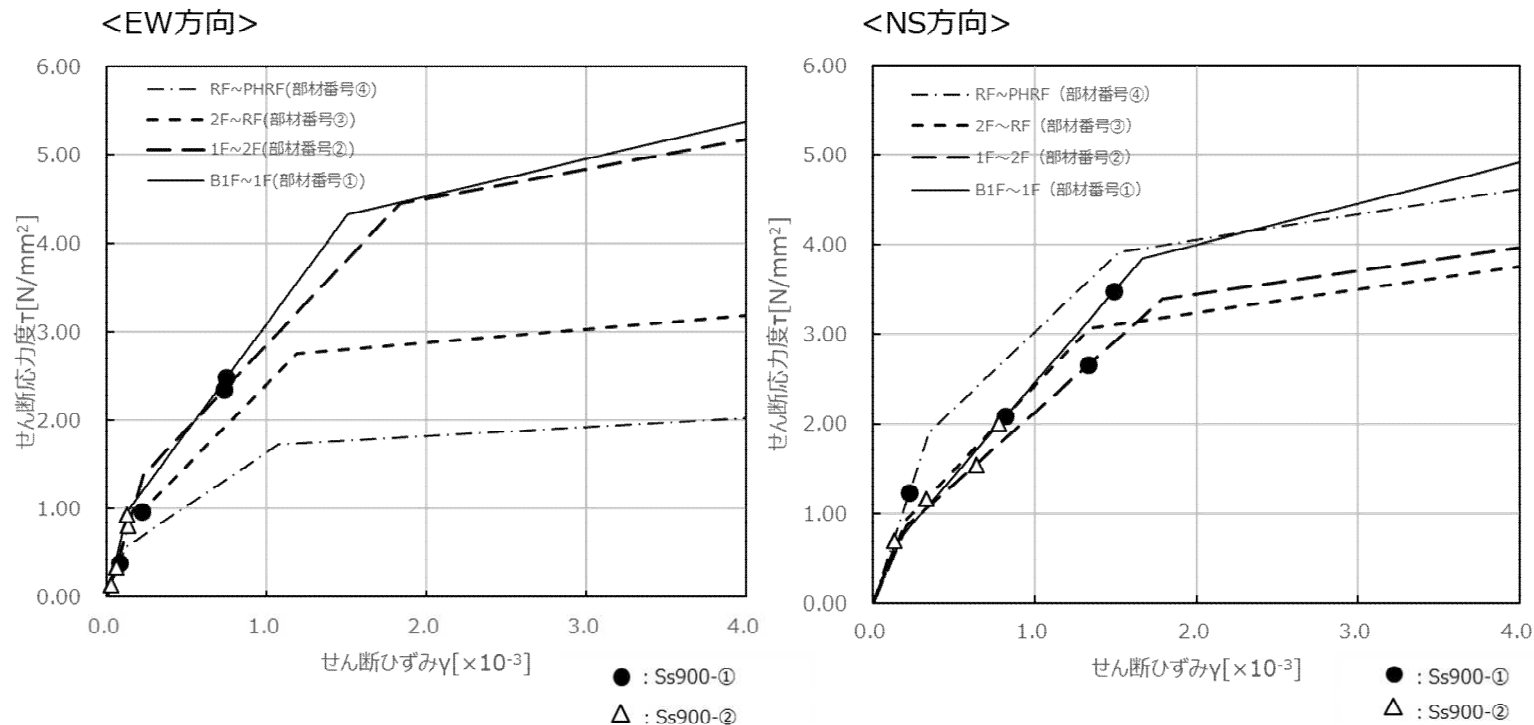


## 4. 第2棟の耐震評価について

### 4.2.1 現実的な緩和対策の考慮について (5/11)

#### ① : 動的地震力Ss900による確認結果

- Ss900※1における建屋各層のせん断応力度-せん断ひずみ関係は、下記のスケルトンカーブ ( $\tau-\gamma$ ) 関係となる。
- 各層に発生するせん断応力度におけるせん断ひずみは、**Ss900※1に対しいずれも $2.0 \times 10^{-3}$ 以下**であり、また、第2折れ点を超過しないことから、**建屋はおおむね弾性範囲**にとどまり、コンクリートセル部はクラス相当の耐震性を有することを確認した。



※1 Ss900-①及びSs900-②は第27回特定原子力施設監視・評価検討会 資料2「東京電力福島第一原子力発電所の外部事象に対する防護の検討について」で示された地震動

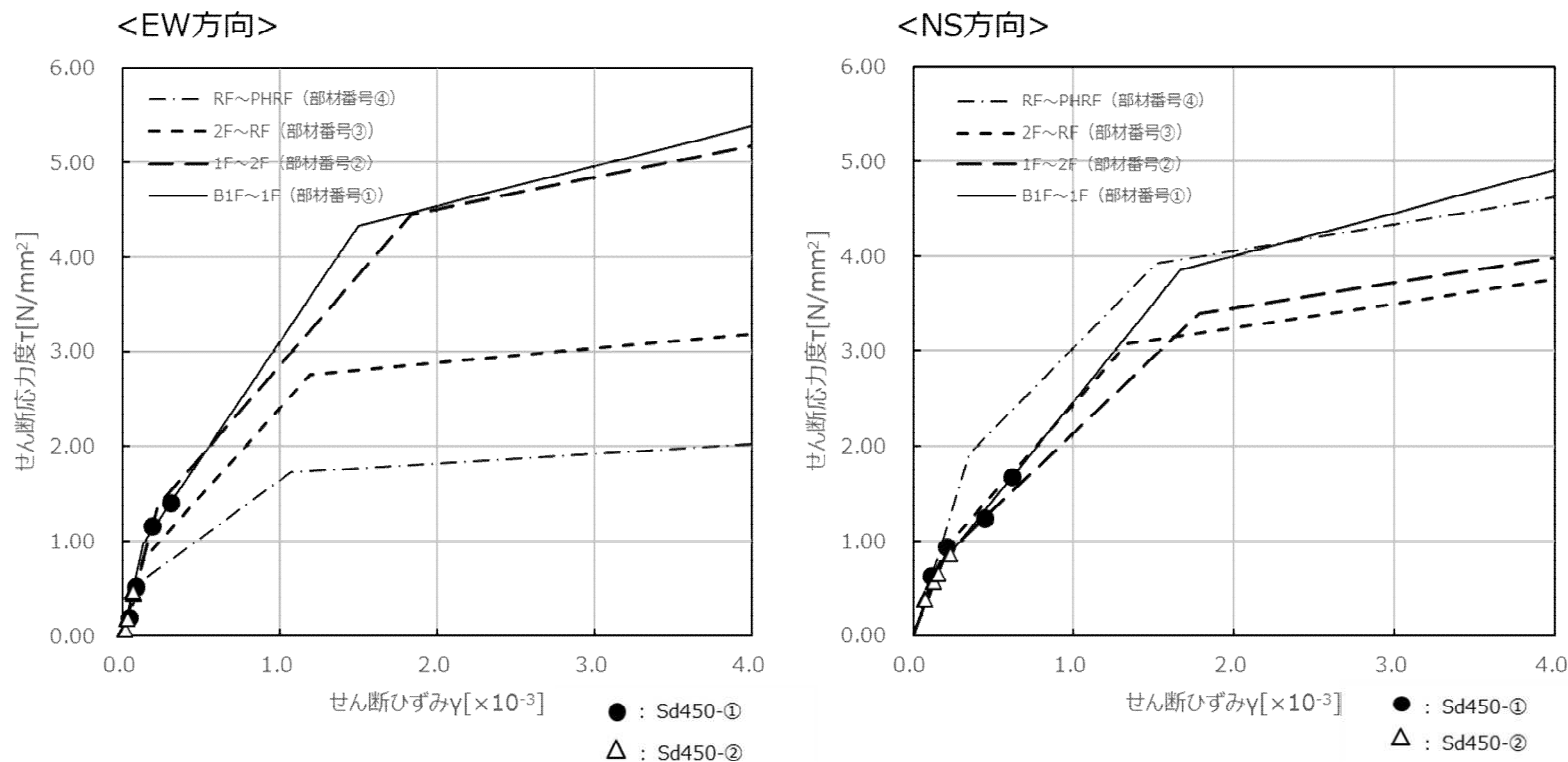


## 4. 第2棟の耐震評価について

### 4.2.1 現実的な緩和対策の考慮について (6/11)

#### ②：動的地震力Sd450による確認結果

- Sd450※1における建屋各層のせん断応力度－せん断ひずみ関係は、下記のスケルトンカーブ（ $\tau$ - $\gamma$ ）関係となる。
- 各層に発生するせん断応力度におけるせん断ひずみは**Sd450※1に対しいずれも第1折れ点付近**であり、また、第2折れ点を超過しないことから、**建屋はおおむね弾性範囲**にとどまり、コンクリートセル部はSクラス相当の耐震性を有することを確認した。



※1 Sd450-①及びSd450-②は検討用地震動（Ss900）に係数0.5を乗じて設定した地震動

## 4. 第2棟の耐震評価について

### 4.2.1 現実的な緩和対策の考慮について (7/11)

#### ③－1：静的地震力（3.0Ci）に対する評価の考え方

- 暫定Sクラスとなるコンクリートセル部は、静的地震力（3.0Ci）に対して短期許容応力度以下であることが求められる。
  - 第2棟の建屋は、Ss900における地震応答解析を実施しており、各階に発生する水平方向の地震力が算定できている。
  - 下表1に、各階ごとの水平方向の地震力（層せん断力）について、Ss900と静的地震力（3.0Ci）を示す。
  - 第2棟の建屋に発生する水平方向の地震力は、各階においてSs900の方が大きいことが確認された。
  - Ss900では、第2棟の建屋はおおむね弾性範囲にあることから、要求される静的地震力（3.0Ci）においても安全機能を確保できると考えられる。
- 以上のことから、コンクリートセル部については、耐震Sクラス相当の実力を有していると判断する。

(kN)

地震力	Ss900		3.0Ci
R階	8630	>	8178
2階	56108	>	34086
1階	127938	>	60026
B1階	201506	>	110986

表1 建屋各層における地震力（層せん断力）の比較

## 4. 第2棟の耐震評価について

### 4.2.1 現実的な緩和対策の考慮について (8/11)

③ - 2 : 静的地震力 (3.0Ci) による確認結果 (コンクリートセル部について) 参考値

- 暫定Sクラス設備の安全機能が維持されることを確認するため、「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に基づき、建屋の柱、梁、壁をモデル化し、静的地震力3.0Ciを入力して短期許容応力度計算を実施した。
- 暫定Sクラスに分類したコンクリートセル部について、短期許容応力度に対する部材の検定比は、柱1箇所を除き1.00以下である。
- 柱 (B通り-3通り) 1箇所では検定比1.00をわずかに上回るものの、柱に用いる鉄筋SD390はJIS適合品として降伏点が390~510N/mm<sup>2</sup>と規定され、解析に用いた基準強度 (390N/mm<sup>2</sup>) に対し強度に余裕を有している。
- JIS適合品の降伏点を考慮し、鉄筋の強度を建築基準法に基づき、基準強度の1.1倍とした場合、検定比1.00以下であり、実力としては鉄筋は降伏せずSクラス相当の耐震性を有している。

部材	階	対象範囲	荷重ケース	評価基準	検定比	
					曲げ	せん断
柱	1	B通り - 3通り	EW方向	≤1.00	1.02 (※0.93)	0.19

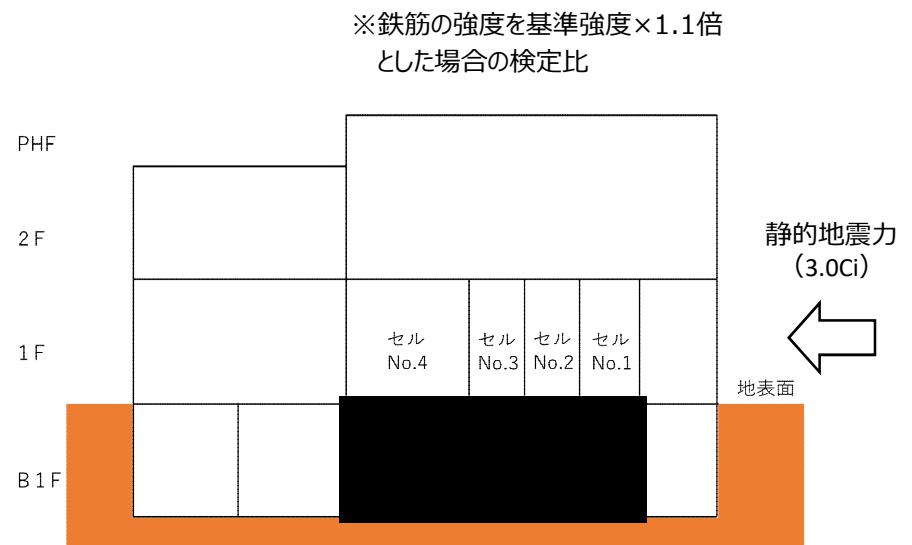
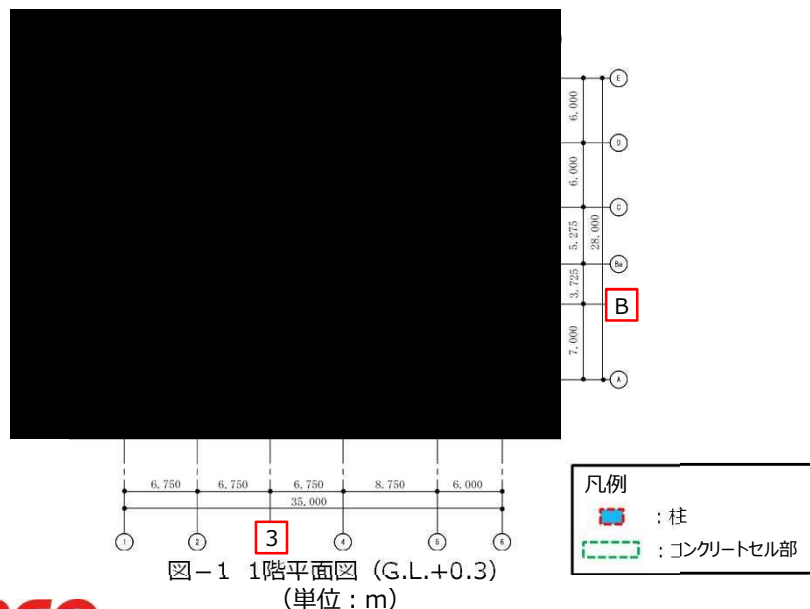


図-2 静的解析モデル イメージ (B-Ba通り断面図) (3次元耐震壁付きフレームモデル)

## 4. 第2棟の耐震評価について

### 4.2.1 現実的な緩和対策の考慮について (9/11)

#### ④ : 地盤の動的地震力Ss900による確認結果

- 地震時の最大接地圧は、動的解析の応答解析結果から水平地震動による応力と鉛直地震動による応力を組み合わせ係数法（係数0.4）を考慮して算出する。
- 接地圧は、最大で1697 kN/m<sup>2</sup>（上向き、NS方向）であり、評価基準値（極限鉛直支持力度3000 kN/m<sup>2</sup>※<sup>1</sup>）を超えないことから、**Ss900に対し第2棟の基礎地盤の支持性能は十分な余裕を有していることを確認した。**

#### (1) Ss900-①※<sup>2</sup>

(kN/m<sup>2</sup>)

評価項目	上下動	評価基準	接地圧	
			EW方向	NS方向
最大 接地圧	上向き	$q_u \leq 3000$	650	1697
	下向き		722	839

#### (2) Ss900-②※<sup>2</sup>

(kN/m<sup>2</sup>)

評価項目	上下動	評価基準	接地圧	
			EW方向	NS方向
最大 接地圧	上向き	$q_u \leq 3000$	353	335
	下向き		521	526

※<sup>1</sup> 極限鉛直支持力度は、建築基準法施行令の地盤の許容応力度より設定

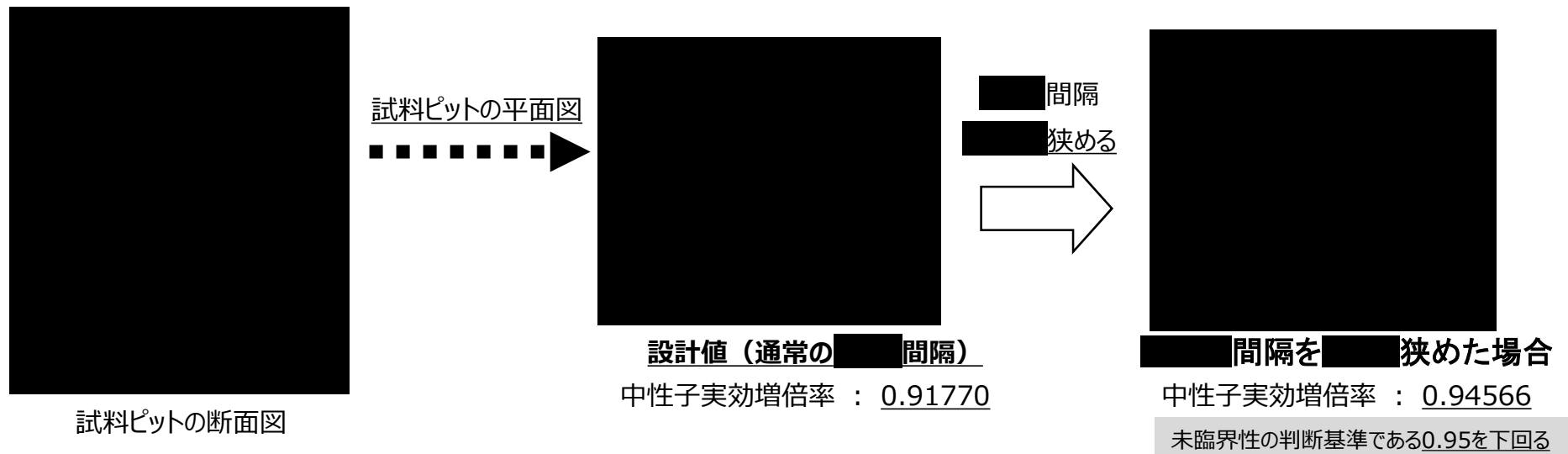
※<sup>2</sup> Ss900-①及びSs900-②は第27回特定原子力施設監視・評価検討会 資料2「東京電力福島第一原子力発電所の外部事象に対する防護の検討について」で示された地震動

## 4. 第2棟の耐震評価について

### 4.2.1 現実的な緩和対策の考慮について (10/11)

その他：Ss900により試料ピットが一時的に変形した場合の臨界防止の確認結果

#### ■ 間隔を狭めたときの中性子実効増倍率 (Keff+3σ)



間隔が狭まったとしても臨界にはならない (の余裕)

#### ■ 地震による間隔の変位量

Ss900による間隔の一時的な変位量 :

⇒ 間隔の余裕  $\gg$  地震時の一時的な変位量  
であり、**臨界防止において十分な余裕を有している**

評価結果の詳細は、参考④に記載。

## 公衆被ばく影響評価において考慮する安全機能

暫定 S クラス設備について現実的な緩和対策の評価結果を以下にまとめる。

No.	項目	地震力	評価結果
①	コンクリートセル、 試料ピット	Ss900	建屋全体としてせん断ひずみが $2.0 \times 10^{-3}$ 以下であり、おおむね弾性範囲にとどまるため、コンクリートセル部はSクラス相当の耐震性を有することを確認した。
②		Sd450	建屋全体としておおむね弾性範囲にとどまるため、コンクリートセル部はSクラス相当の耐震性を有することを確認した。
③		3.0Ci	コンクリートセル部についてSクラス相当の耐震性を有することを確認した。
④	地盤	Ss900	基礎地盤の支持性能は十分な余裕を有していることを確認した。

現実的な緩和対策の評価結果から、安全機能について以下のとおり判断する。

- コンクリートセルについて、Ss900及びSd450に対しおおむね弾性範囲にとどまり、3.0Ci評価においても S クラス相当の耐震性を有することから、遮蔽機能及び閉じ込め機能は維持されると判断する。
- 試料ピットについて、Ss900及びSd450に対しおおむね弾性範囲にとどまり、地震による[ ]間隔の変位も小さいため、遮蔽機能及び臨界防止機能は維持されると判断する。
- なお、建屋全体としてSs900に対し耐震性を有することから、建屋についても遮蔽機能、閉じ込め機能及び間接支持機能を有していると判断する。

# 4. 第2棟の耐震評価について

## 4.2.2 現実的な緩和対策を考慮した際の耐震クラス分類

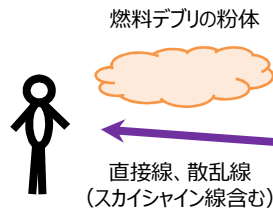
耐震性の評価結果に基づき、現実的な緩和対策（建屋、コンクリートセルの壁・天井等有る場合）を考慮して公衆の被ばく影響を評価し、耐震クラスを分類した。

(想定する条件)

- ・閉じ込め機能：コンクリートセル及び建屋の除染係数を見込んで評価を行う。
- ・遮蔽機能：建屋・コンクリートセルの遮蔽機能は保持されるものとして評価を行う。

### 1F敷地境界

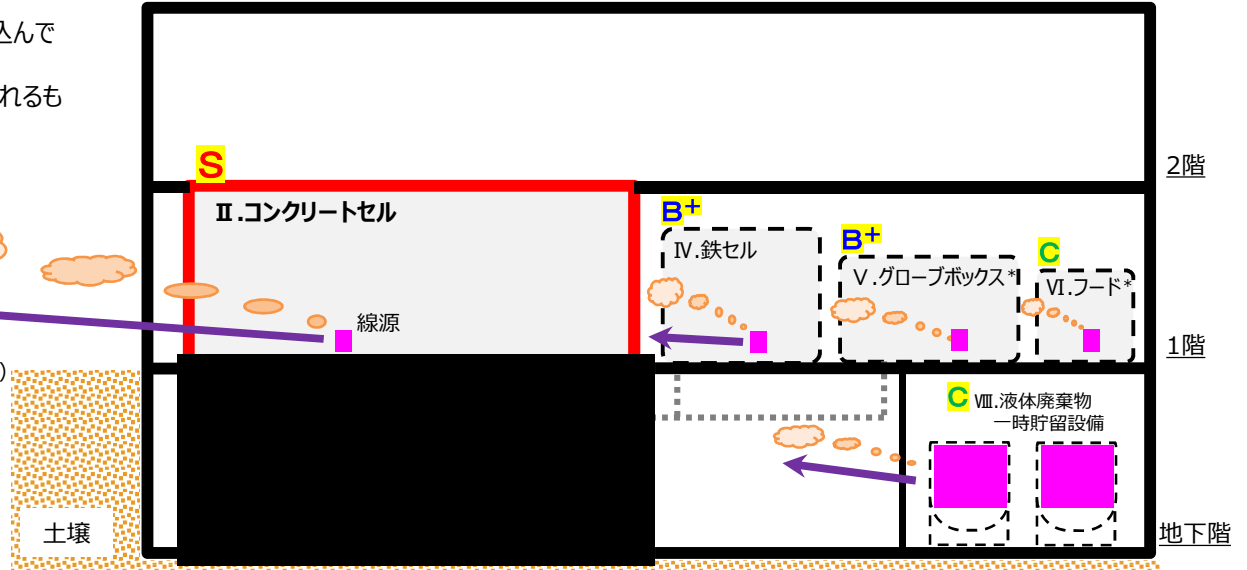
- 〔内部被ばく線量〕  
放射性物質の吸入による
- 〔外部被ばく線量〕  
直接線、散乱線による



各設備に対し、敷地境界線量（外部被ばく線量と内部被ばく線量の和）を評価し、耐震クラスの分類を行った。

B<sup>+</sup> I. 建屋

※点線の設備は、安全機能を考慮しない。

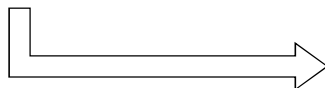


\*：線源の取扱量が少ないため、遮蔽機能は要求していない。

第2棟の断面図（イメージ図）

耐震性の評価結果、コンクリートセル、試料ピットはSクラスの実力があることを確認できた。耐震クラスはSクラスと分類した。これ以外の設備はB<sup>+</sup>又はCクラスと分類した。

評価結果の詳細は、参考⑥に記載。



「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方（2022年11月16日）」のフローに従い耐震クラスを分類した。

No.	設備名称 <sup>※1</sup>	敷地境界線量 (mSv)	耐震クラス
I	建屋	$1.5 \times 10^{-11}$	B <sup>+</sup> クラス
II	コンクリートセル	1.2	Sクラス
III	試料ピット	$2.6 \times 10^{-4}$	Sクラス
IV	鉄セル	$2.8 \times 10^{-1}$	B <sup>+</sup> クラス
V	グローブボックス	$2.7 \times 10^{-5}$	B <sup>+</sup> クラス <sup>※2</sup>
VI	フード	$2.7 \times 10^{-5}$	Cクラス
VII	セル・グローブボックス用換気空調設備	$2.0 \times 10^{-1}$	B <sup>+</sup> クラス
VIII	液体廃棄物一時貯留設備	$7.2 \times 10^{-6}$	Cクラス

※1：上記の設備の他、フード用換気空調設備、管理区域用換気空調設備、消火設備、固体廃棄物払出準備設備についても評価を行った。詳細は、参考⑥に記載。

※2：敷地境界線量が50μsv以下となるためCクラスとなるが、将来の機能拡張を考慮するとともに長期的に使用するため、B<sup>+</sup>クラスと分類した。



## 5. 第2棟の耐震クラスに係るまとめ

- Ss900等による耐震性の評価結果から、**建屋、コンクリートセル、試料ピットに要求する遮蔽機能、閉じ込め機能、臨界防止機能が維持できることを確認した**
- **コンクリートセル、試料ピットの耐震クラスはSクラス**（Ss900、Sd450及び3.0CiでSクラス相当の耐震性を有している）
- また、耐震性の評価結果から、建屋・コンクリートセルの遮蔽機能、放射性物質の除染係数を考慮し、公衆の被ばく影響を再評価した結果、**他設備の耐震クラスは以下のとおり分類した**
- さらに、**各設備の耐震クラスに応じた地震力に対する耐震性を有することを確認している**

設備名称	耐震クラス	動的地震力		静的地震力	説明
		機能維持	弾性範囲		
コンクリートセル 試料ピット	S	Ss900	Sd450	水平：3.0Ci (0.6G)	・コンクリートセル、試料ピットはSs900及びSd450に対しおおむね弾性範囲にとどまることを確認。また、3.0Ci評価においてもSクラス相当の耐震性を有することを確認。
建屋	B+	1/2Ss450	1/2Sd225※ (共振時のみ)	水平：1.5Ci (0.3G)	・建屋の公衆被ばく線量は50μSv以下であるが、長期的に使用することから、B+クラスの地震力を適用する。
鉄セル グローブボックス セル・グローブボックス 用換気空調設備	B+	1/2Ss450	1/2Sd225※ (共振時のみ)	水平：1.8Ci (0.36G)	・公衆被ばく線量評価を実施した結果50μSvを超え、5mSv以下となり、長期間使用する設備であることを考慮し、B+クラスの地震力を適用する。 ・グローブボックスについて、敷地境界線量が50μSv以下となるためCクラスとなるが、将来の機能拡張を考慮するとともに長期的に使用するため、B+クラスと分類した。
フード、液体廃棄物一時貯留設備、フード用換気空調設備、電気設備	C	—	—	水平：1.2Ci (0.24G)	・公衆被ばく線量評価を実施した結果、50μSv以下となるため、Cクラスの地震力を適用する。

※ 現設計において固有値解析を行った結果、固有周期は0.003～0.048秒であり、剛構造（0.05秒以下）であるため共振のおそれはない。



## <参考①> 地震により安全機能を失った際の線量評価 (1/3)

第2棟の耐震評価の考え方は、第51回原子力規制委員会で示された文書「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方」(参考資料1)に従うと以下のとおりとなる。

1 - ① : 地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響により、暫定的に耐震クラスをS、B及びCに分類

安全機能を失った際(建屋、コンクリートセルの壁・天井等が無いとした場合)の公衆被ばく線量は下表のとおり5mSvを超過する。

- ・閉じ込め機能 : コンクリートセル、建屋の除染係数は考慮しない。
- ・遮蔽機能 : コンクリートセル、建屋の遮蔽機能は考慮しない。

(1/3)

設備名称	耐震上の安全機能	機能喪失時の敷地境界線量評価の概要	内部被ばく	外部被ばく※1	敷地境界線量
建屋	遮蔽	【外部被ばく】建屋の遮蔽機能が喪失し、地下階に存在する固体廃棄物払出準備設備及び液体廃棄物払出準備設備に含まれる放射性物質の放射能(それぞれ $2.3 \times 10^{10}$ Bq及び $2.4 \times 10^8$ Bq)から燃料デブリ重量に換算し、その直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の遮蔽を考慮しない。 ・固体廃棄物払出準備設備及び液体廃棄物一時貯留設備は地下階に存在するため、土壌による遮蔽を考慮する。	—	$6.5 \times 10^{-4}$ mSv	$6.5 \times 10^{-4}$ mSv
コンクリートセル	閉じ込め	【内部被ばく】コンクリートセル内の試料調製時に発生する燃料デブリからの粉体の発生量を安全側に見積もり、粉体中の放射性物質がセル内の気相に移行※2し、排気系統を通じてではなく、直接、セル周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・コンクリートセル及び建屋の除染係数を考慮しない。	$1.1 \times 10^2$ mSv	$2.2 \times 10^1$ mSv	$1.4 \times 10^2$ mSv
	遮蔽	【外部被ばく】コンクリートセルの遮蔽機能が喪失し、燃料デブリからの直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・コンクリートセル及び建屋による遮蔽を考慮しない。			
試料ピット	遮蔽	【外部被ばく】試料ピットの遮蔽機能が喪失し、燃料デブリからの直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の遮蔽を考慮しない。 ・試料ピットは地下階に存在するため、土壌による遮蔽を考慮する。	—	$\geq 1.9 \times 10^2$ mSv	$\geq 1.9 \times 10^2$ mSv
	(臨界防止)	・試料ピットの臨界防止機能が喪失することを想定する。			

※1 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※2 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率1% (日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」)。Kr等の気体状の放射性物質は100%移行。

## <参考①> 地震により安全機能を失った際の線量評価 (2/3)

(2/3)

設備名称	耐震上の安全機能	機能喪失時の敷地境界線量評価の概要	内部被ばく	外部被ばく※1	敷地境界線量
鉄セル	閉じ込め	【内部被ばく】鉄セル内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がセル内の気相に移行※3し、排気系統を通じてではなく、直接、セル周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。	2.7 mSv	5.3×10 <sup>-2</sup> mSv	2.8 mSv
	遮蔽	【外部被ばく】鉄セルの遮蔽機能が喪失し、燃料デブリから直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の遮蔽を考慮しない。			
グローブボックス	閉じ込め	【内部被ばく】グローブボックス内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がグローブボックス内の気相に移行※3し、排気系統を通じてではなく、直接、グローブボックス周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。	2.7×10 <sup>-4</sup> mSv	—	2.7×10 <sup>-4</sup> mSv
フード	閉じ込め	【内部被ばく】フード内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がフード内の気相に移行※3し、排気系統を通じてではなく、直接、フード周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。	2.7×10 <sup>-4</sup> mSv	—	2.7×10 <sup>-4</sup> mSv
液体廃棄物一時貯留設備	閉じ込め	【内部被ばく】液体廃棄物一時貯留設備のうち分析廃液受槽が破損し、内蔵している放射性の液体廃棄物が堰内に漏えいし、漏えいに伴い液体廃棄物中の放射性物質の一部が室内の気相に移行※4し、排気系統を通じてではなく、直接、建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。	7.2×10 <sup>-5</sup> mSv	—	7.2×10 <sup>-5</sup> mSv

※1 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※2 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率 1% (日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」)。Kr等の気体状の放射性物質は100%移行。

※3 鉄セル、グローブボックス、フードでは、燃料デブリの切断は行わないが、取り扱う燃料デブリ全量が粉体化するものとし、※2の移行率を用いた。

※4 液体状の放射性物質の漏えい時の気相への移行率0.02% (“Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook”, NUREG/CR-6410)

## <参考①> 地震により安全機能を失った際の線量評価 (3/3)

(3/3)

設備名称	耐震上の安全機能	機能喪失時の敷地境界線量評価の概要	内部被ばく	外部被ばく <sup>※1</sup>	敷地境界線量
セル・グローブボックス用換気空調設備	閉じ込め	【内部被ばく】コンクリートセル内の試料調製時に発生する燃料デブリからの粉体の発生量を安全側に見積もり、粉体中の放射性物質がセル内の気相に移行 <sup>※2</sup> し、コンクリートセルの排気配管内の放射性物質を含む気体が直接周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。	2.0 mSv	—	2.0 mSv
フード用換気空調設備	閉じ込め	【内部被ばく】フード内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がフード内の気相に移行 <sup>※3</sup> し、フードの排気配管内の放射性物質を含む気体が直接フード周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。	$2.7 \times 10^{-4}$ mSv	—	$2.7 \times 10^{-4}$ mSv
管理区域用換気空調設備	—	設備が機能喪失しても公衆への被ばく影響はない。	—	—	—
消火設備	—	設備が機能喪失しても公衆への被ばく影響はない。	—	—	—
固体廃棄物払出準備設備	—	固定して使用する設備がないため、耐震上の安全機能はない。	—	—	—
合計			$1.2 \times 10^2$ mSv	$>2.2 \times 10^2$ mSv	$>3.4 \times 10^2$ mSv

※1 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※2 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率 1% (日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」)。Kr等の気体状の放射性物質は100%移行。

※3 鉄セル、グローブボックス、フードでは、燃料デブリの切断は行わないが、取り扱う燃料デブリ全量が粉体化するものとし、※2の移行率を用いた。

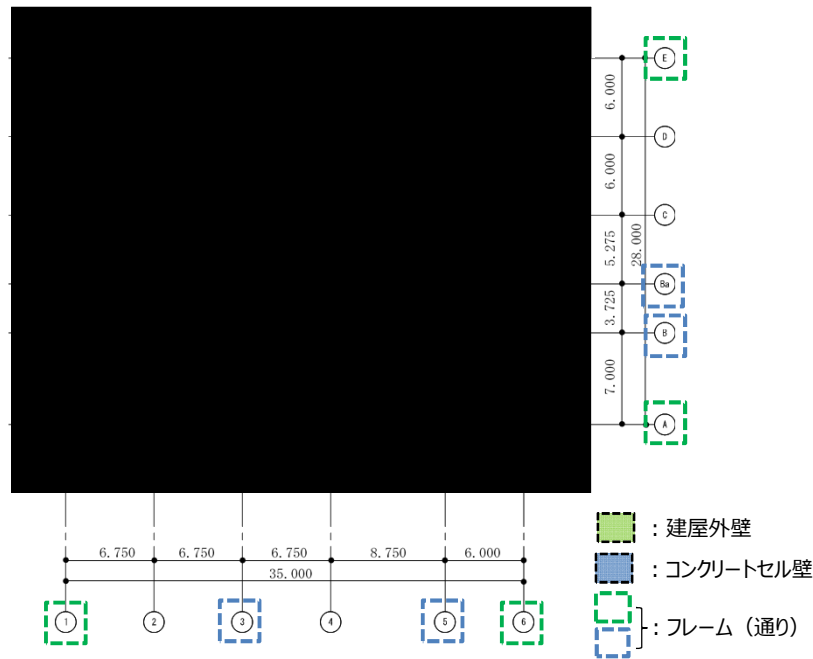
## <参考②> 建屋Ss900による評価結果 (1/2)

### ■ 評価方法

- 動的解析（等価せん断モデル）では、各階の層間変形から階高を除いて、耐震壁のせん断ひずみを算出している（下表（1））。同一階でも、建屋外壁とコンクリートセル壁では、耐震壁の剛性比や全体のねじれ等により、層間変形に差が生じることから、各フレーム毎の層間変形を求める。
- 静的解析で使用した解析モデル（3次元耐震壁付きフレームモデル）にSs900-①の評価時の外力を入力することで、各フレーム毎の層間変形を求め、せん断ひずみを算出する。

### ■ 評価結果

- 下表(2)、(3)のとおり、建屋外壁とコンクリートセル壁のせん断ひずみは、動的解析結果と同程度となっている。建屋外壁、コンクリートセル壁は、閉じ込め及び遮蔽機能の評価基準値（せん断ひずみ： $2.0 \times 10^{-3}$ ）を下回っていることを確認した。



1階平面図 (単位: m)

#### (1) 動的解析結果 ( Ss900-① )

	NS方向	EW方向
1階	$1.33 \times 10^{-3}$	$0.74 \times 10^{-3}$

#### (2) 建屋外壁

	NS方向	EW方向
1通り	$1.30 \times 10^{-3}$	
6通り	$1.35 \times 10^{-3}$	
A通り		$0.72 \times 10^{-3}$
E通り		$0.76 \times 10^{-3}$

#### (3) コンクリートセル壁

	NS方向	EW方向
3通り	$1.32 \times 10^{-3}$	
5通り	$1.34 \times 10^{-3}$	
B通り		$0.73 \times 10^{-3}$
Ba通り		$0.73 \times 10^{-3}$

## <参考②> 建屋Ss900による評価結果 (2/2)

### ■ 評価結果

- 耐震壁のせん断ひずみは、最大で $1.48 \times 10^{-3}$  (NS方向) であり、評価基準 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) を超えず、十分な裕度を確保していることを確認した。

#### (1) Ss900-①

評価項目		評価基準	EW方向	NS方向
せん断ひずみ	R階	$\gamma \leq 2.0 \times 10^{-3}$	$0.08 \times 10^{-3}$	$0.22 \times 10^{-3}$
	2階		$0.22 \times 10^{-3}$	$0.82 \times 10^{-3}$
	1階		$0.74 \times 10^{-3}$	$1.33 \times 10^{-3}$
	B1階		$0.75 \times 10^{-3}$	$1.48 \times 10^{-3}$

#### (2) Ss900-②

評価項目		評価基準	EW方向	NS方向
せん断ひずみ	R階	$\gamma \leq 2.0 \times 10^{-3}$	$0.03 \times 10^{-3}$	$0.13 \times 10^{-3}$
	2階		$0.06 \times 10^{-3}$	$0.33 \times 10^{-3}$
	1階		$0.13 \times 10^{-3}$	$0.64 \times 10^{-3}$
	B1階		$0.12 \times 10^{-3}$	$0.78 \times 10^{-3}$

## <参考③> 建屋Sd450による評価結果

### ■ 評価結果

- 耐震壁のせん断ひずみは、最大で $0.62 \times 10^{-3}$ （NS方向）であり、評価基準（ $2.0 \times 10^{-3}$ ）を超えず、十分な余裕を確保していることを確認した。

#### (1) Sd450-①

評価項目		評価基準	EW方向	NS方向
せん断ひずみ	R階	$\gamma \leq 2.0 \times 10^{-3}$	$0.04 \times 10^{-3}$	$0.11 \times 10^{-3}$
	2階		$0.09 \times 10^{-3}$	$0.21 \times 10^{-3}$
	1階		$0.19 \times 10^{-3}$	$0.44 \times 10^{-3}$
	B1階		$0.31 \times 10^{-3}$	$0.62 \times 10^{-3}$

#### (2) Sd450-②

評価項目		評価基準	EW方向	NS方向
せん断ひずみ	R階	$\gamma \leq 2.0 \times 10^{-3}$	$0.02 \times 10^{-3}$	$0.07 \times 10^{-3}$
	2階		$0.03 \times 10^{-3}$	$0.13 \times 10^{-3}$
	1階		$0.07 \times 10^{-3}$	$0.15 \times 10^{-3}$
	B1階		$0.06 \times 10^{-3}$	$0.23 \times 10^{-3}$

## <参考④> 静的地震力 (3.0Ci) による確認結果

### 静的地震力 (3.0Ci) による確認結果 (コンクリートセル部以外について)

参考値

- 静的地震力3.0Ciによる解析の結果、**コンクリートセル部以外の部材では、柱で1箇所、梁で2箇所、耐震壁で3箇所**が検定比1.0を上回ることを確認した。**これらの部材については、鉄筋の強度を建築基準法に基づき、基準強度の1.1倍とした場合においても検定比が1.0を上回る。**
- 検定比が1.0を上回る箇所があるが、Ss900では、第2棟の建屋はおおむね弾性範囲にある。

No	部材	階	対象範囲	荷重ケース	評価基準	検定比	
						曲げ	せん断
①-1	柱	1	A通り - 6通り	EW方向	≤1.00	1.15	0.42
②-1	梁	2	5通り A-B間	NS方向		1.13	0.60
②-2		1	5通り Ba-C間	NS方向		1.32	1.48

No	部材	階	対象範囲	荷重ケース	評価基準	検定比
						検定比
③-1	耐震壁	B1	E通り 3-4間	EW方向	≤1.00	1.17
③-2		B1	3通り A-B間	NS方向		1.15
③-3		B1	6通り C-D間	NS方向		1.20

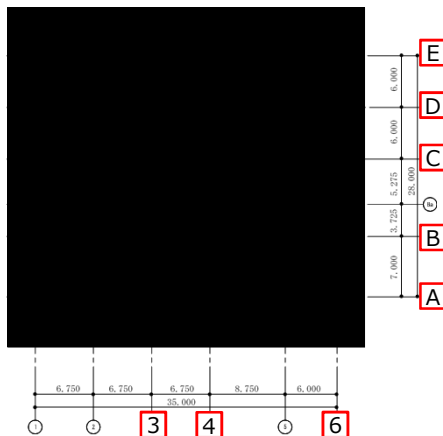


図-1 地下1階平面図 (G.L.-7.2)  
(単位 : m)

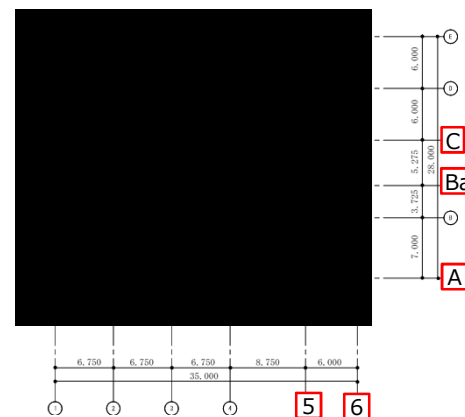


図-2 1階平面図 (G.L.+0.3)  
(単位 : m)

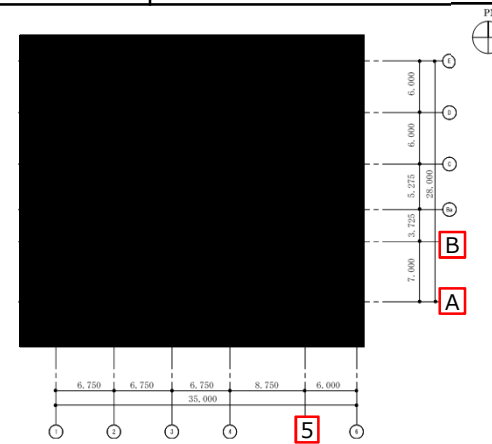


図-3 2階平面図 (G.L.+7.3)  
(単位 : m)

凡例	
	: 耐震壁
	: 柱
	: 梁
	: コンクリートセル部

## <参考⑤> 試料ピットの未臨界性評価結果

### ■■■■間隔についての臨界安全評価の詳細

#### 試料ピットの変位量の評価

試料ピットは、建屋■■■■と一体的に設置されることから、地震時の変形は建屋の変形に追従するものとする。■■■■最大せん断ひずみは  $1.48 \times 10^{-3}$  であり、試料ピットも同一のひずみと想定し、試料ピットの■■■■間隔の変位量を検討した。

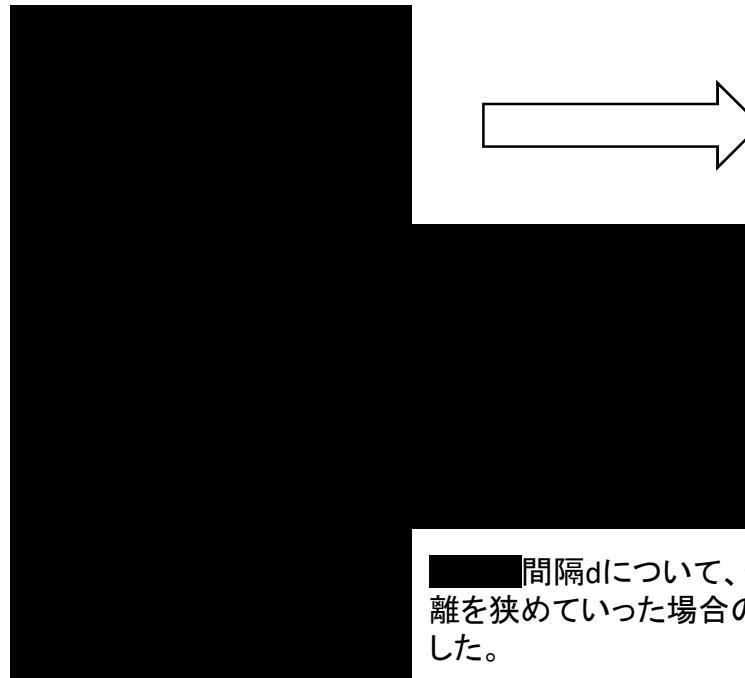
- ① 試料ピット高さ: ■■■■  
 ② ■■■■最大せん断ひずみ:  $1.48 \times 10^{-3}$

変位量 = ① × ② = ■■■■

地震による試料ピットの一時的な変位量は、■■■■であることを確認した。

#### ■■■■間隔を狭めた場合の中性子実効増倍率※1

##### 試料ピット(平面図)



単位: mm

##### 解析結果

中性子実効増倍率 ( $k_{eff} + 3\sigma$ )
0.94566
0.93485
0.93178
0.92625
0.92111
0.91909
0.91770

■■■■間隔dについて、形状の制限値である■■■■※2から距離を狭めていった場合の中性子実効増倍率 ( $k_{eff} + 3\sigma$ ) を評価した。

※1 試料ピット■■■■の■■■■に燃料デブリ等■■■■を収納した容器を■■■■積み上げて保管した状態を想定している。

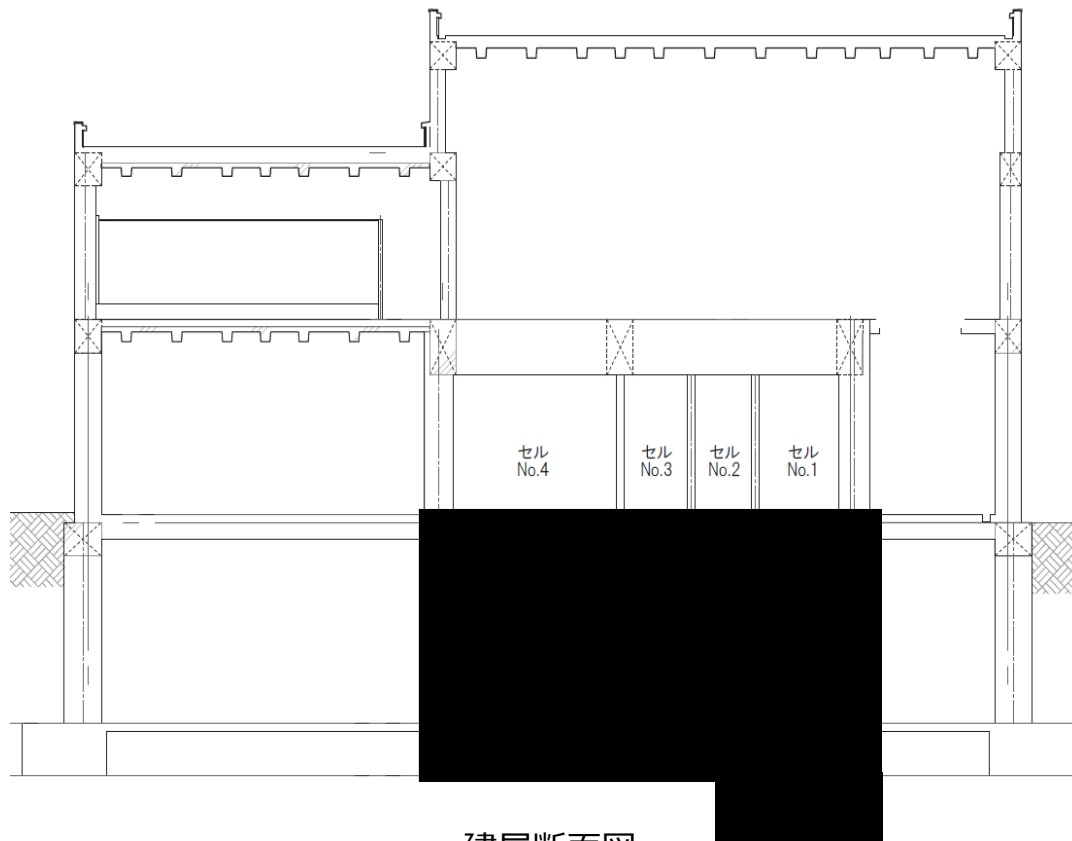
※2 試料ピットにおける■■■■間隔の設計寸法は■■■■であるが、施工誤差を考慮し、安全側の評価となるよう設計寸法から■■■■として評価した。

■■■■間隔の形状の制限値■■■■から■■■■狭めた■■■■としても中性子実効増倍率は0.94566であり、未臨界性の判断基準である0.95を下回るため、地震により試料ピットの■■■■間隔が■■■■程度一時的に変形しても十分な余裕を有している。

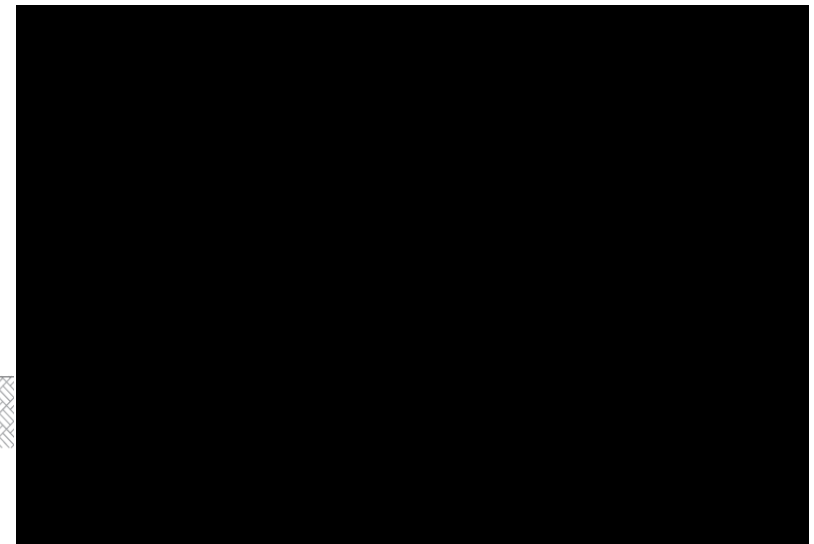


## <参考⑥> 試料ピットの形状維持について (1/3)

試料ピットの概要は以下のとおり。



建屋断面図



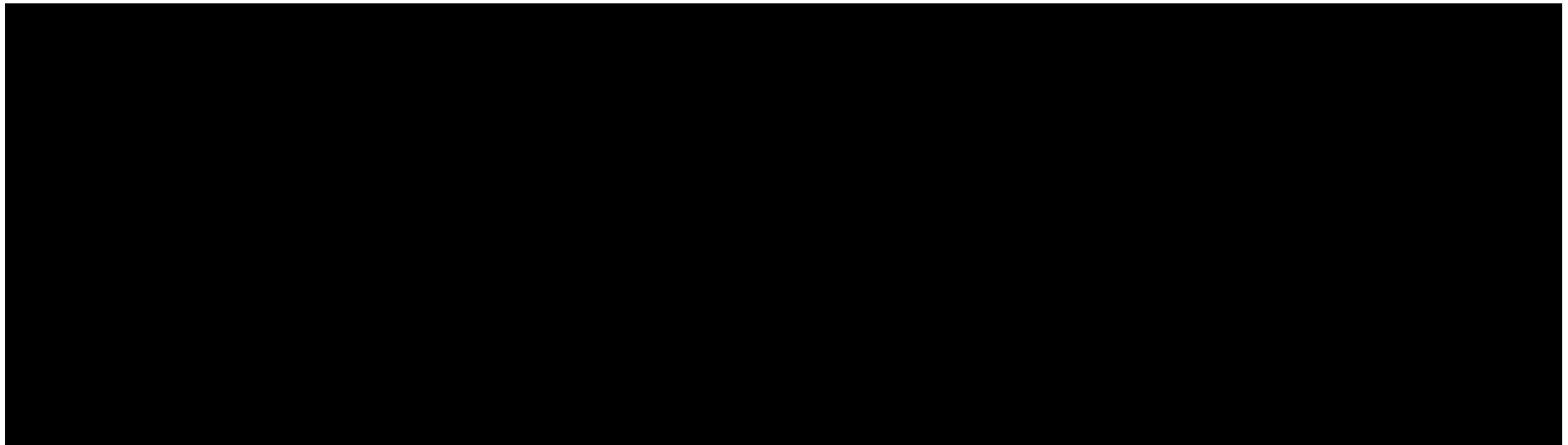
試料ピット平面図

拡大した断面図を次頁に示す。

## <参考⑥> 試料ピットの形状維持について (2/3)

---

---



建屋断面図（コンクリートセル周辺）

試料ピット断面図

コンクリートセルと [REDACTED] でライニング（内張鋼板）によって閉じ込め機能を果たす構造となっている。

## <参考⑥> 試料ピットの形状維持について (3/3)

---

### 試料ピットの形状維持評価

試料ピットは [REDACTED] であり建屋と一体な構造であることから、建屋のSs900の評価結果より、試料ピットの形状維持について評価する。

- 試料ピットは、建屋 [REDACTED] と一体的に設置されることから地震時の変形（形状維持）は建屋の変形に追従するものと考える。
- 解析の結果、第2棟はおおむね弾性状態（スケルトンカーブの第2折れ点以下）にとどまり、[REDACTED] 最大せん断ひずみは  $1.48 \times 10^{-3}$  であるため、試料ピットは形状維持できると考える。

## <参考⑦> 現実的な緩和対策を考慮した際の線量評価 (1/3)

### 現実的な緩和策を考慮した線量評価

Ss900等による耐震性の評価結果に基づき、以下の安全機能を考慮して公衆の被ばく影響を評価した。

- ・閉じ込め機能 : 換気空調設備による負圧維持機能が喪失されるため、放射性物質が外部に放出することを想定する。なお、おおむね弾性状態（スケルトンカーブの第2折れ点以下）にとどまることから、コンクリートセル及び建屋の除染係数として気体状の放射性物質を除き、各々 $10^{*1}$ を見込めるものとして評価を行う。
- ・遮蔽機能 : おおむね弾性状態（スケルトンカーブの第2折れ点以下）にとどまることから、建屋・コンクリートセルの遮蔽機能は保持されるものとして評価を行う。

(1/3)

設備名称	耐震上の安全機能	機能喪失時の敷地境界線量評価の概要	内部被ばく	外部被ばく <sup>*2</sup>	敷地境界線量
建屋	遮蔽	【外部被ばく】建屋の遮蔽機能が見込め、地下階に存在する固体廃棄物払出準備設備及び液体廃棄物払出準備設備に含まれる放射性物質の放射能（それぞれ $2.3 \times 10^{10}$ Bq及び $2.4 \times 10^8$ Bq）から燃料デブリ重量に換算し、その直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の遮蔽を考慮する。 ・固体廃棄物払出準備設備及び液体廃棄物一時貯留設備は地下階に存在するため、土壌による遮蔽を考慮する。	—	$1.5 \times 10^{-11}$ mSv	$1.5 \times 10^{-11}$ mSv
コンクリートセル	閉じ込め	【内部被ばく】コンクリートセル内の試料調製時に発生する燃料デブリからの粉体の発生量を安全側に見積もり、粉体中の放射性物質がセル内の気相に移行 <sup>*3</sup> し、排気系統を通じてではなく、直接、セル周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定 ・建屋、コンクリートセルの除染係数各々 $10^{*1}$ を考慮する。	1.1 mSv	$2.4 \times 10^{-4}$ mSv	1.2 mSv
	遮蔽	【外部被ばく】コンクリートセルの遮蔽機能が喪失し、燃料デブリ <sup>■</sup> からの直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定 ・コンクリートセル及び建屋による遮蔽を考慮する。	1.1 mSv	$2.4 \times 10^{-4}$ mSv	1.2 mSv
試料ピット	遮蔽	【外部被ばく】試料ピットの遮蔽機能が見込め、燃料デブリ <sup>■</sup> らの直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・ <sup>■</sup> 建屋による遮蔽を考慮する。 ・試料ピットは地下階に存在するため、土壌による遮蔽を考慮する。	—	$2.6 \times 10^{-4}$ mSv	$2.6 \times 10^{-4}$ mSv
	(臨界防止)	・試料ピットは臨界に達するおそれはない。			

※1 コンクリートセル、建屋の除染係数として気体状の放射性物質を除き、各々10を考慮。鉄セル、グローブボックス、フード、廃液受槽については建屋の除染係数のみ考慮  
Elizabeth M. Flew, et al. "Assessment of the Potential Release of Radioactivity from Installations at AERE, Harwell. Implications for Emergency Planning". Handling of Radiation Accidents. International Atomic Energy Agency. Vienna, 1969, IAEA-SM-119/7

※2 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※3 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率1%（日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」）。Kr等の気体状の放射性物質は100%移行。

## <参考⑦> 現実的な緩和対策を考慮した際の線量評価 (2/3)

(2/3)

設備名称	耐震上の安全機能	機能喪失時の敷地境界線量評価の概要	内部被ばく	外部被ばく <sup>※2</sup>	敷地境界線量
鉄セル	閉じ込め	【内部被ばく】鉄セル内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がセル内の気相に移行 <sup>※4</sup> し、排気系統を通じてではなく、直接、セル周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数10 <sup>※1</sup> を考慮する。	2.7×10 <sup>-1</sup> mSv	3.1×10 <sup>-7</sup> mSv	2.8×10 <sup>-1</sup> mSv
	遮蔽	【外部被ばく】鉄セルの遮蔽機能が喪失し、燃料デブリ <sup>■</sup> から直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の遮蔽を考慮する。			
グローブボックス	閉じ込め	【内部被ばく】グローブボックス内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がグローブボックス内の気相に移行 <sup>※4</sup> し、排気系統を通じてではなく、直接、グローブボックス周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数10 <sup>※1</sup> を考慮	2.7×10 <sup>-5</sup> mSv	—	2.7×10 <sup>-5</sup> mSv
フード	閉じ込め	【内部被ばく】フード内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がフード内の気相に移行 <sup>※4</sup> し、排気系統を通じてではなく、直接、フード周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数10 <sup>※1</sup> を考慮する。	2.7×10 <sup>-5</sup> mSv	—	2.7×10 <sup>-5</sup> mSv
液体廃棄物一時貯留設備	閉じ込め	【内部被ばく】液体廃棄物一時貯留設備のうち分析廃液受槽が破損し、内蔵している放射性の液体廃棄物が堰内に漏えいし、漏えいに伴い液体廃棄物中の放射性物質の一部が室内の気相に移行 <sup>※5</sup> し、排気系統を通じてではなく、直接、建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定 ・建屋の除染係数10 <sup>※1</sup> を考慮する。	7.2×10 <sup>-6</sup> mSv	—	7.2×10 <sup>-6</sup> mSv

※1 コンクリートセル、建屋の除染係数として気体状の放射性物質を除き、各々10を考慮。鉄セル、グローブボックス、フード、廃液受槽については建屋の除染係数のみ考慮  
Elizabeth M.Flew, et al. "Assessment of the Potential Release of Radioactivity from Installations at AERE, Harwell. Implications for Emergency Planning". Handling of Radiation Accidents. International Atomic Energy Agency. Vienna, 1969, IAEA-SM-119/7

※2 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※3 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率1%（日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」）。Kr等の気体状の放射性物質は100%移行。

※4 鉄セル、グローブボックス、フードでは、燃料デブリの切断は行わないが、取り扱う燃料デブリ全量が粉体化するものとし、※3の移行率を用いた。

※5 液体状の放射性物質の漏えい時の気相への移行率0.02%（"Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook", NUREG/CR-6410）

## <参考⑦> 現実的な緩和対策を考慮した際の線量評価 (3/3)

(3/3)

設備名称	耐震上の安全機能	機能喪失時の敷地境界線量評価の概要	内部被ばく	外部被ばく <sup>※2</sup>	敷地境界線量
セル・グローブボックス用換気空調設備	閉じ込め	【内部被ばく】コンクリートセル内の試料調製時に発生する燃料デブリからの粉体の発生量を安全側に見積もり、粉体中の放射性物質がセル内の気相に移行 <sup>※3</sup> し、コンクリートセルの排気配管内の放射性物質を含む気体が直接周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数10 <sup>※1</sup> を考慮する。	2.0×10 <sup>-1</sup> mSv	—	2.0×10 <sup>-1</sup> mSv
フード用換気空調設備	閉じ込め	【内部被ばく】フード内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がフード内の気相に移行 <sup>※4</sup> し、フードの排気配管内の放射性物質を含む気体が直接フード周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数10 <sup>※1</sup> を考慮する。	2.7×10 <sup>-5</sup> mSv	—	2.7×10 <sup>-5</sup> mSv
管理区域用換気空調設備	—	設備が機能喪失しても公衆への被ばく影響はない。	—	—	—
消火設備	—	設備が機能喪失しても公衆への被ばく影響はない。	—	—	—
固体廃棄物払出準備設備	—	固定して使用する設備がないため、耐震上の安全機能はない。	—	—	—
合計			1.6 mSv	5.1×10 <sup>-4</sup> mSv	1.7 mSv

※1 コンクリートセル、建屋の除染係数として気体状の放射性物質を除き、各々10を考慮。鉄セル、グローブボックス、フード、廃液受槽については建屋の除染係数のみ考慮  
Elizabeth M.Flew, et al. "Assessment of the Potential Release of Radioactivity from Installations at AERE, Harwell. Implications for Emergency Planning". Handling of Radiation Accidents. International Atomic Energy Agency. Vienna, 1969, IAEA-SM-119/7

※2 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※3 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率1%（日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」）。Kr等の気体状の放射性物質は100%移行。

※4 鉄セル、グローブボックス、フードでは、燃料デブリの切断は行わないが、取り扱う燃料デブリ全量が粉体化するものとし、※3の移行率を用いた。

## <参考⑧> B+クラスの機器・配管系の耐震評価結果(1/7)

### B+クラスの機器・配管系の耐震評価項目

B+クラスの機器・配管系に対して、以下の設計用地震力で耐震評価を行う。

耐震クラス	動的地震力		静的地震力
	機能維持	弾性範囲 (共振時のみ)	
B+	1/2Ss450	1/2Sd225※	水平：1.8Ci (0.36G) 鉛直：—

※ 現設計において固有値解析を行った結果、固有周期は0.003～0.048秒であり、剛構造（0.05秒以下）であるため共振のおそれはない。

## <参考⑧> B+クラスの機器・配管系の耐震評価結果(2/7)

### 機器の静的地震力1.8Ciに対する耐震評価

JEAC4601を参考に発生応力を計算し、許容応力との比較により、基礎ボルトの耐震性を評価する。

### 評価結果

すべての機器について、発生応力が許容応力を下回るため、1.8Ciに対して耐震性を有することを確認した。

設備名		設置床面	1.8Ciでの発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
鉄セル	遮蔽体	1階	引張	—	362
			せん断	60	278
	インナーボックス	1階	引張	—	183
			せん断	5	141
グローブボックス (GB-No.1,2,4)	1階	引張	—	183	
		せん断	1	141	
グローブボックス (GB-No.3)	1階	引張	—	183	
		せん断	2	141	
セル・グローブボックス用排風機	地下1階	引張	—	170	
		せん断	4	131	
セル・グローブボックス用排気フィルタユニットA,B	地下1階	引張	1	170	
		せん断	6	131	
セル・グローブボックス用排気フィルタユニットC,D	地下1階	引張	3	170	
		せん断	6	131	
コンクリートセル用給気フィルタユニットA,B	2階	引張	—	170	
		せん断	2	131	
鉄セル用給気フィルタユニットA,B	1階歩廊 (2階)	引張	1	153	
		せん断	1	118	
鉄セル用給気フィルタユニットC,D	1階歩廊 (2階)	引張	1	153	
		せん断	1	118	
グローブボックス用給気フィルタユニットA~F	1階歩廊 (2階)	引張	1	153	
		せん断	1	118	
グローブボックス用給気フィルタユニットG,H	1階歩廊 (2階)	引張	1	153	
		せん断	1	118	



## <参考⑧> B+クラスの機器・配管系の耐震評価結果(3/7)

### 配管系の静的地震力1.8Ciに対する耐震評価

JEAC4601を参考に以下のとおり、評価を行う。

- 鋼管については、固有振動数を20Hzとした場合の支持間隔から発生応力を計算し、許容応力と比較する。
- ダクト系については、許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔を計算する。

### 評価結果（応力評価）

すべての配管系について、発生応力が許容応力を下回るため、1.8Ciに対して耐震性を有することを確認した。

#### (1) 主要排気管（鋼管）

配管材料	SUS304							
配管口径	100A	125A	150A	200A	250A	350A	450A	600A
Sch	10S/20S	10S	10S/20S	10S/20S	10S	40		
設計圧力 (MPa)	0.0095							
1.8Ciでの発生応力 (MPa)	8	8	8	8	8	8	8	8
許容応力 (MPa)	1.0Sy = 153							

#### (2) 主要給気管（鋼管）

配管材料	SUS304				
配管口径	80A	150A	200A	250A	300A
Sch	20S			10S	
設計圧力 (MPa)	0.001			0.0005	
1.8Ciでの発生応力 (MPa)	8	8	8	8	8
許容応力 (MPa)	1.0Sy = 153				

## <参考⑧> B+クラスの機器・配管系の耐震評価結果(4/7)

### 計算結果（ダクトの支持間隔評価）

ダクトの支持間隔を計算した結果、ダクト系の固有振動数から定まる支持間隔の方が許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔よりも短いことを確認した。

第2棟の主要排気管（ダクト）の支持間隔は、固有振動数から定まる支持間隔以下とすることで、剛構造かつ1.8Ciに対して耐震性を有するものとする。

#### 主要排気管（ダクト）

材料	SS400		
設計温度（℃）	60		
寸法（mm）	559.0×559.0	659.0×659.0	φ706.4※1
板厚（mm）	4.5	4.5	3.2
①ダクト系の固有振動数から定まる支持間隔（m）	6.6	7.1	7.0
②許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔（m） （設計震度1Gの場合）	57.8	55.3	42.2
耐震支持間隔（=Min [①, ②]）（m）	6.6	7.1	7.0

※1 寸法706.4mm×706.4mm、板厚3.2mmの矩形ダクトとして代表した支持間隔を示す。

## <参考⑧> B+クラスの機器・配管系の耐震評価結果(5/7)

### 機器の1/2Ss450に対する耐震評価

JEAC4601を参考に発生応力を計算し、許容応力との比較により、基礎ボルトの耐震性を評価する。

#### 評価結果

すべての機器について、発生応力が許容応力を下回るため、1/2Ss450に対して耐震性を有することを確認した。

設備名		設置床面	1/2Ss450での発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
鉄セル	遮蔽体	1階	引張	127	225
			せん断	176	278
	インナーボックス	1階	引張	21	183
			せん断	15	141
グローブボックス (GB-No.1,2,4)		1階	引張	6	183
			せん断	3	141
グローブボックス (GB-No.3)		1階	引張	7	183
			せん断	4	141
セル・グローブボックス用排風機		地下1階	引張	4	170
			せん断	6	131
セル・グローブボックス用排気フィルタユニットA,B		地下1階	引張	18	170
			せん断	12	131
セル・グローブボックス用排気フィルタユニットC,D		地下1階	引張	26	170
			せん断	12	131
コンクリートセル用給気フィルタユニットA,B		2階	引張	9	170
			せん断	5	131
鉄セル用給気フィルタユニットA,B		1階歩廊 (2階)	引張	4	153
			せん断	2	118
鉄セル用給気フィルタユニットC,D		1階歩廊 (2階)	引張	4	153
			せん断	2	118
グローブボックス用給気フィルタユニットA~F		1階歩廊 (2階)	引張	4	153
			せん断	2	118
グローブボックス用給気フィルタユニットG,H		1階歩廊 (2階)	引張	4	153
			せん断	2	118

## <参考⑧> B+クラスの機器・配管系の耐震評価結果(6/7)

### 配管系の1/2Ss450に対する耐震評価

JEAC4601を参考に以下のとおり、評価を行う。

- 鋼管については、固有振動数を20Hzとした場合の支持間隔から発生応力を計算し、許容応力と比較する。
- ダクト系については、許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔を計算する。

### 評価結果（応力評価）

すべての配管系について、発生応力が許容応力を下回るため、1/2Ss450に対して耐震性を有することを確認した。

#### (1) 主要排気管

配管材料	SUS304							
配管口径	100A	125A	150A	200A	250A	350A	450A	600A
Sch	10S/20S	10S	10S/20S	10S/20S	10S	40		
設計圧力 (MPa)	0.0095							
1/2Ss450での発生応力 (MPa)	14	14	14	14	14	14	14	14
許容応力 (MPa)	1.0Sy=153							

#### (2) 主要給気管

配管材料	SUS304				
配管口径	80A	150A	200A	250A	300A
Sch	20S			10S	
設計圧力 (MPa)	0.001			0.0005	
1/2Ss450での発生応力 (MPa)	14	14	14	13	13
許容応力 (MPa)	1.0Sy=153				

## <参考⑧> B+クラスの機器・配管系の耐震評価結果(7/7)

### 評価結果（支持間隔評価）

ダクトの支持間隔を計算した結果、ダクト系の固有振動数から定まる支持間隔が最も短いことを確認した。  
第2棟の主要排気管（ダクト）の支持間隔は、固有振動数から定まる支持間隔以下とすることで、剛構造かつ1/2Ss450に対して耐震性を有するものとする。

#### 主要排気管（ダクト）

材料	SS400		
設計温度（℃）	60		
寸法（mm）	559.0×559.0	659.0×659.0	φ706.4※1
板厚（mm）	4.5	4.5	3.2
①ダクト系の固有振動数から定まる支持間隔（m）	6.6	7.1	7.0
②許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔（m） （設計震度1Gの場合）	57.8	55.3	42.2
③許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔（m） （1/2Ss450の場合）	37.3	35.7	27.2
耐震支持間隔（=Min [①, ②, ③]）（m）	6.6	7.1	7.0

※1 寸法706.4mm×706.4mm、板厚3.2mmの矩形ダクトとして代表した支持間隔を示す。

## <参考⑨> 上位クラス設備に対する波及的影響 ～機器転倒時のセルライニングの健全性確認～ (1/2)

上位クラス設備に対する波及的影響として、コンクリートセルに設置されることが想定される機器（前処理又は分析に使用する装置等）が転倒した場合のセルライニングの健全性評価を行った。

### ◇評価方法

機器の転倒の想定として、機器の重量を持つ質点が機器の高さから落下したとみなし、そのときのエネルギーすべてがセルライニングに与えられるものとする。機器の位置エネルギーとセルライニングを破損させるために必要なエネルギー（破損限界エネルギー）を比較することにより、セルライニングの健全性を確認する。

機器の位置エネルギーと破損限界エネルギーの算出式は以下のとおり。

・機器の位置エネルギー

$$E_p = mgh$$

・破損限界エネルギー\*1

$$E_f = 3.0 \times 10^8 \cdot D_e^{1.5} T^{1.5}$$
$$D_e = D_m$$

凡例

$E_f$	: 破損限界エネルギー(kgf・m)
$D_e$	: 相当直径(m)
$T$	: 鋼板板厚(m)
$D_m$	: 飛翔体直径(m)
$E_p$	: 装置の位置エネルギー
$m$	: 装置の質量(kg)
$g$	: 重力加速度(m/s <sup>2</sup> )
$h$	: 装置の高さ(m)

\*1 飛来物体に対する鋼板の耐衝撃性（第4報、破損限界エネルギーに対する材質の影響）、日本機械学会論文集（A編）49巻444号、昭和58年8月。

上記の算出式から、機器の重量（m）及び高さ（h）が大きく、かつ、機器の直径\*2（ $D_m$ ）が小さい条件が評価上厳しくなる。

\*2 各機器の最小面積の円相当直径

<参考⑨> 上位クラス設備に対する波及的影響  
～機器転倒時のセルライニングの健全性確認～ (2/2)

◇コンクリートセルで使用を想定している機器

コンクリートセルで使用する主な機器を以下に示す。コンクリートセルで使用する各機器は、それぞれの重量が700kg以下、高さが1.8m以下、直径\*2が50mm以上を想定している。

\*2 各機器の最小面積の円相当直径

- 蛍光X線分析装置 (XRF)
- 切断機
- 電気炉
- 研磨機
- スタンプミル
- ホットプレート 等

◇評価結果

最も保守的な条件として、重量が700kg、高さが1.8m及び直径\*2が50mmである機器を仮想的に想定して評価したところ、下記のとおり機器の位置エネルギーが破損限界エネルギーを下回る結果が得られた。このことから、機器の転倒によりセルライニングの破損は生じない。

転倒する仮想的な機器	機器の位置エネルギー(J)	破損限界エネルギー(J)
重量 : 700kg 高さ : 1.8m 相当直径 : 50mm	$1.24 \times 10^4$	■■■■■ (セルライニング厚■■■■■の場合)



～鉄セル遮蔽体衝突時のコンクリートセル等の健全性確認～ (1/2)

◇想定事象

天井：地震により、天井の部材が落下し、床に衝突※1する。

天井部材の落下速度 $v_1$ は自由落下を想定し、以下の式で算出する。

$$v_1 = \sqrt{2gh} \text{ (m/s)}$$

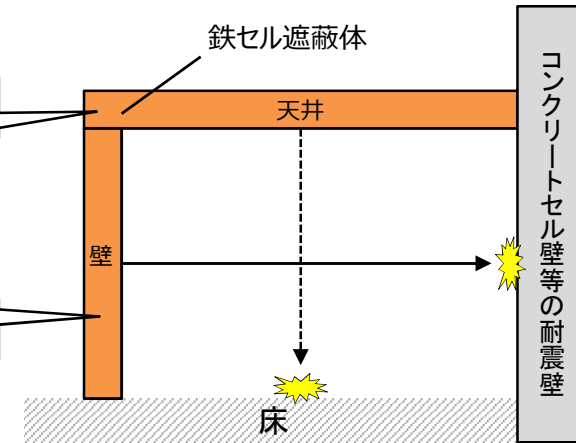
$g$ : 重力加速度(m/s<sup>2</sup>)  
 $h$ : 天井部材の設置高さ(m)

壁：壁の部材が地震の力を受け、耐震壁に衝突※1する。

壁部材の衝突速度 $v_2$ は等加速度直線運動を想定し、以下の式で算出する。

$$v_2 = \sqrt{2ax} \text{ (m/s)}$$

$a$ : Ss900の1階床面における最大応答加速度(m/s<sup>2</sup>)  
 $x$ : 天井部材の設置位置からコンクリートセル壁までの距離※2(m)



※1 衝突時の影響を保守的に考慮するため、衝突する部材の最小面積で衝突することを想定する。  
 ※2 地震の力が衝突するまで加わる保守的な想定であるため、壁部材とコンクリートセル壁の最大距離で衝突距離を代表する。

◇評価方法

上記の想定事象に基づいて、貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さを算出し、鉄セル遮蔽体が衝突する耐震壁及び床の厚さと比較することで健全性を確認する。

以下に貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さの算出式を示す。

・貫通限界厚さ\*1, 2

$$t_p = \alpha_p D \left\{ 2.2 \left( \frac{X_c}{\alpha_c D} \right) - 0.3 \left( \frac{X_c}{\alpha_c D} \right)^2 \right\}$$

$$X_c = \alpha_c \sqrt{4kWND \left( \frac{V}{1000D} \right)^{1.8}}$$

$$k = \frac{180}{\sqrt{F_c}}$$

・裏面剥離限界厚さ\*3

$$t_s = \frac{1.84\alpha_s \left( \frac{200}{V} \right)^{0.13} (MV^2)^{0.4}}{\left( \frac{D}{12} \right)^{0.2} (144F_c)^{0.4}}$$

低減係数は、剛飛来物=1.0, 柔飛来物=0.65

形状係数は、剛飛来物=1.14, 柔飛来物=0.72

⇒低減係数=1.0とした。

⇒形状係数=1.14とした。

凡例

$t_p$ :	貫通限界厚さ(in)
$\alpha_c$ :	貫入深さ飛来物低減係数(-)
$X_c$ :	貫入深さ(in)
$N$ :	形状係数(-)
$F_c$ :	コンクリート強度(psi)
$\alpha_p$ :	貫通限界厚さ低減係数(-)
$D$ :	飛来物直径(in)
$W$ :	飛来物重量(lb)
$V$ :	衝突速度(ft/s)
$t_s$ :	裏面剥離限界厚さ(ft)
$g$ :	重力加速度(ft/s <sup>2</sup> )
$\alpha_s$ :	裏面剥離限界厚さ低減係数(-)
$M$ :	質量(lb/(ft/s <sup>2</sup> ))

\*1 R. P. Kennedy, "A review of procedures for the analysis and design of concrete structures to resist missile impact effects", Nuclear Engineering and Design, 37, (1976).

\*2 P. P. Degen, "Perforation of reinforced concrete slabs by rigid missiles", Journal of the Structural Division, Proceeding of ASCE, vol.106, No.ST7, (1980).

\*3 W. S. Chang, "Impact of solid missiles on concrete barriers", Journal of the Structural Division, Proceeding of ASCE, Vol.107, No.ST2, (1981).

◇鉄セル遮蔽体の配置図及び寸法等

鉄セル遮蔽体は右図に示すとおり配置される。また、寸法等を下表に示す。

- 壁①～⑦

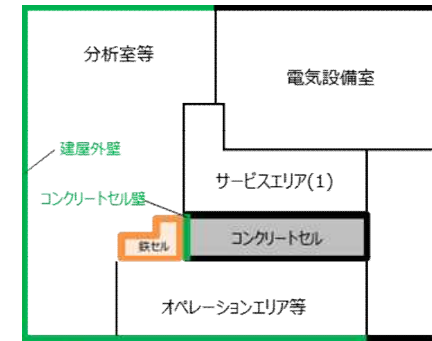
→ 壁③が最大寸法であり、コンクリートセル壁衝突時の影響が最大

部材No.	重量(t)	寸法W(m)	寸法D(m)	寸法H(m)	衝突距離(m)	衝突速度(m/s)
壁③	16.5	3.0	0.24	2.9	5.3	10.5

- 天井①～④ (天井②～④は同寸法)

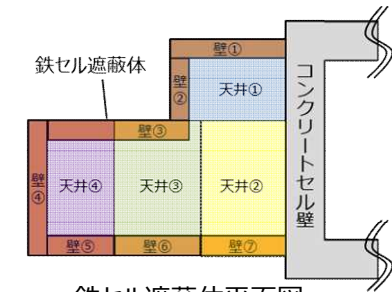
→ 天井②が最大寸法であり、床落下時の影響が最大

部材No.	重量(t)	寸法W(m)	寸法D(m)	寸法H(m)	落下距離(m)	衝突速度(m/s)
天井②	8.6	1.8	2.6	0.24	3.0	7.7



：鉄セル遮蔽体が衝突する可能性のある耐震壁

鉄セルの配置図 (1階平面図)



鉄セル遮蔽体平面図

◇評価結果

衝突時の影響が最も大きい部材に対し、貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さを求め、衝突する可能性のある耐震壁の壁厚及び床厚と比較した結果、耐震壁の壁厚及び床厚の方が大きいことから、貫通及び裏面剥離は発生しない。

部材No.	貫通限界厚さ(m)	裏面剥離限界厚さ(m)	耐震壁の壁厚(m)	
			建屋外壁	コンクリートセル壁
壁③	0.30	0.61	■	■

部材No.	貫通限界厚さ(m)	裏面剥離限界厚さ(m)	床厚(m)
天井②	0.20	0.42	0.6 (床厚)

## <参考⑩> 線量評価に用いた移行率及び除染係数について (1/3)

地震により安全機能を失った際の線量評価、現実的な緩和策を考慮した線量評価において用いた移行率及び除染係数は、以下の文献に基づき設定した。

### 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率：1%

「ホットラボの設計と管理（日本原子力学会）」において、以下の通り記載されている。

放射性物質がセルから排気系へ放出される可能性の大きいのは、主として照射燃料切断の場合である。第3-Ⅲ-6表は、照射燃料切断時に粒子状および揮発性放射性物質がどの程度セルから排気系へ飛散するか（飛散度）の測定結果を示したものである。この表から通常の飛散度は、粒子状の場合  $10^{-2}$ 、揮発性の場合  $10^{-1}$ と考えるとよい。

【ホットラボの設計と管理、社団法人 日本原子力学会、1976年9月、  
5. 排出廃棄物のモニタリング、5.1 排気 (p100) より抜粋】

第3-Ⅲ-6表 照射燃料切断時における放射性物質の飛散度<sup>+ 15)</sup>

核種 実験番号	$^{144}\text{Ce} - ^{144}\text{Pr}^{++}$	$^{134}\text{Cs}^{++}$	$^{137}\text{Cs}^{++}$	$^{125}\text{Sb}^{+++}$
1	$4.3 \times 10^{-5}$	$2.2 \times 10^{-4}$	$1.4 \times 10^{-4}$	$2.3 \times 10^{-2}$
2	$1.2 \times 10^{-4}$	$4.5 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$	$3.7 \times 10^{-2}$
3	$1.3 \times 10^{-4}$	$6.3 \times 10^{-4}$	$4.2 \times 10^{-4}$	$5.8 \times 10^{-3}$
4	$1.6 \times 10^{-4}$	$2.0 \times 10^{-3}$	$1.6 \times 10^{-3}$	$4.1 \times 10^{-2}$
5	$1.1 \times 10^{-4}$	$9.8 \times 10^{-4}$	$8.4 \times 10^{-4}$	$1.4 \times 10^{-2}$
6	$2.9 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-3}$	$3.8 \times 10^{-3}$	$5.0 \times 10^{-2}$
7	$3.1 \times 10^{-4}$	$6.6 \times 10^{-3}$	$4.7 \times 10^{-3}$	$3.9 \times 10^{-2}$
8	$2.7 \times 10^{-4}$	$4.9 \times 10^{-3}$	$3.4 \times 10^{-3}$	$2.6 \times 10^{-2}$
平均値	$1.8 \times 10^{-4}$	$2.5 \times 10^{-3}$	$1.9 \times 10^{-3}$	$3.0 \times 10^{-2}$

+ 飛散度 =  $\frac{\text{排気系へ飛散した全放射能}}{\text{照射燃料の切断の全放射能}}$   
 ++ 粒子状  
 +++ 揮発性（化学的性状）

地震により安全機能を失った際の線量評価、現実的な緩和策を考慮した線量評価では、照射燃料の切断時を想定したため、上記の文献に基づき、燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率を1%とした。

## <参考⑩> 線量評価に用いた移行率及び除染係数について (2/3)

### 液体状の放射性物質の漏えい時の気相への移行率：0.02%

「Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook (NUREG)」に基づき、液体状の放射性物質の漏えい時の気相への移行率を設定した。

Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook, NUREG/CR-6410, 3.3.3 Aerodynamic Entrainment/Resuspension, 3.3.4.2 Free-Fall Spill – Aqueous Liquids, Bounding Values (右記：p3-81より抜粋)

右記の赤実線部に、液体（水溶液、スラリー、粘性液）が落下した場合における放射性物質の気相への移行率（ARF）が示されている。

#### 【気相への移行率】

- a. 水溶液：2E-4 (0.02%)
- b. スラリー：5E-5 (0.005%)
- c. 粘性液：7E-6 (0.0007%)

#### 3.3.4.2 Free-Fall Spill - Aqueous Liquids, Bounding Values

a. Aqueous solutions (experiments performed using acidic UNH and sodium fluorocein), spill distance up to 3 m (~ 10 ft)

**ARF 2E-4**  
RF 0.4

b. Aqueous slurries, < 40 percent solids, spill distance < 3 m (~ 10 ft)

**ARF 5E-5**  
RF 0.8

c. Aqueous viscous solutions, spill distance < 3 m (~ 10 ft)

**ARF 7E-6**  
RF 0.8

ARF：物理的刺激による気相への移行率

UNH(Uranyl nitrate hexahydrate)：硝酸ウラニル六水和物

以上を踏まえ、第2棟の液体廃棄物一時貯留設備において漏えいが発生した場合の線量評価における放射性物質の気相への移行率は、最も高い移行率である2E-4 (0.02%)を設定した。

## <参考⑩> 線量評価に用いた移行率及び除染係数について (3/3)

### 除染係数 (DF) : 10

Ss900による建屋の耐震性の評価結果から、建屋及びコンクリートセルは閉じ込め機能を維持できるため、以下の文献に基づき除染係数 (DF) を設定した。

Elizabeth M.Flew, et al. "Assessment of the Potential Release of Radioactivity from Installations at AERE, Harwell. Implications for Emergency Planning". Handling of Radiation Accidents. International Atomic Energy Agency. Vienna, 1969, IAEA-SM-119/7 (右表 : p664より抜粋)

右表の赤破線部に、各設備における気体状を除く放射性物質の除染係数が示されているが、保守的な評価を行うため、赤実線部に基づき除染係数を設定した。

上記のことから、建屋及びコンクリートセルのDFは、気体状の放射性物質に対して1 (Factor : 1.0)、それ以外の放射性物質に対してそれぞれ10 (Factor : 0.1) とした。

<u>Modifying Factors</u>	
<u>Factor 3. Fraction of Aerosol released from primary containment into building.</u>	
<u>Primary Containment</u>	<u>Factor</u>
<u>Gases &amp; Vapours</u>	
Whatever the containment (except elemental iodine released under water).	1.0
Elemental iodine released under water.	0.01
<u>All other forms</u>	
Fibre drums, glove boxes, cells, reactor structures etc., which are so seriously damaged that containment is virtually nil.	1.0
Storage blocks and pits, seriously damaged glove boxes, cells, flasks, reactor structures, etc.	0.1
Safes, undamaged or slightly damaged glove-boxes <sup>(12)</sup> , cells, flasks, reactor structures, etc., under water storage, particulate release into building via filtered extract, single metal containment.	0.01
Concreted steel drums, double metal containment.	0.001
<u>Factor 4. Fraction of Airborne Material released from Building</u>	
<u>Condition of Building</u>	<u>Factor</u>
Gases in damaged or undamaged buildings.	1.0
Volatile and particulate aerosols in buildings so seriously damaged that containment is virtually nil.	
(a) by explosion	1.0
(b) by fire (factor allowed for thermal lift)	0.1
Volatile and particulate aerosols in building containments undamaged or slightly damaged.	0.1
Particulate release from building via filtered extract.	0.01

## <参考⑪> 段階的な取り出し規模拡大の燃料取り出し作業イメージ

- 取り出した燃料デブリの一部を第2棟へ輸送し分析（取出した少量燃料デブリは第2棟へ直接移送の可能性あり）

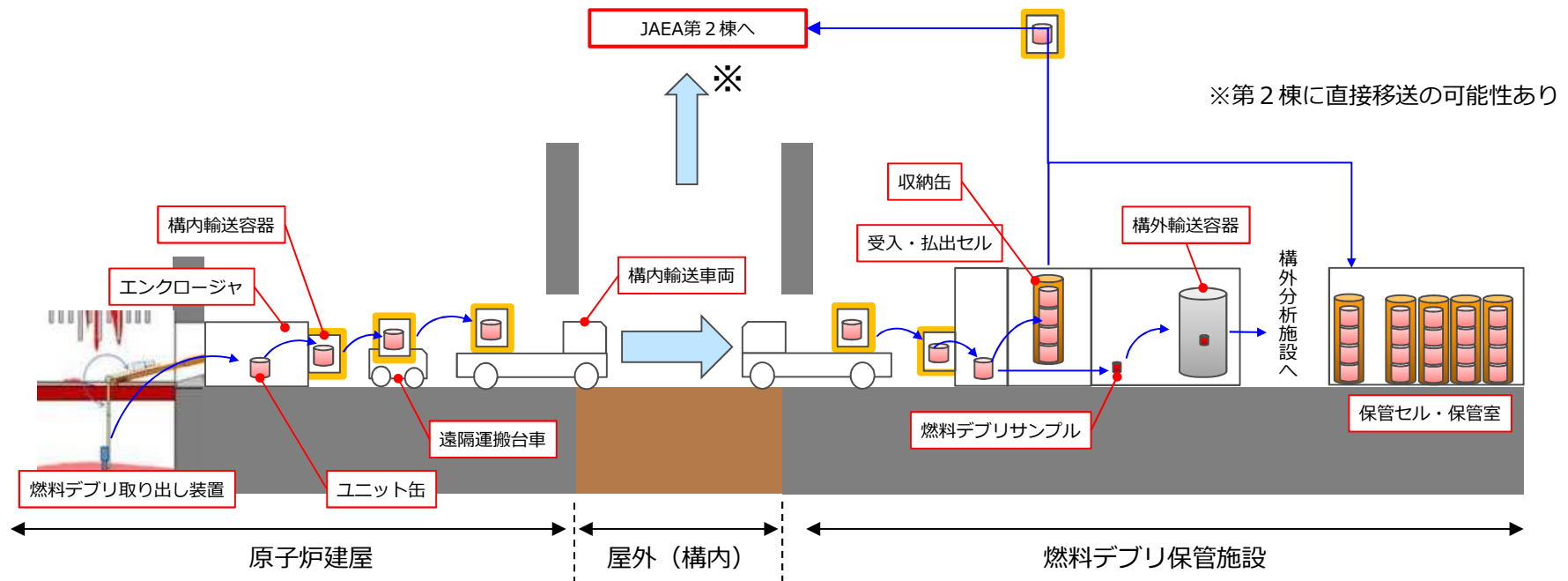
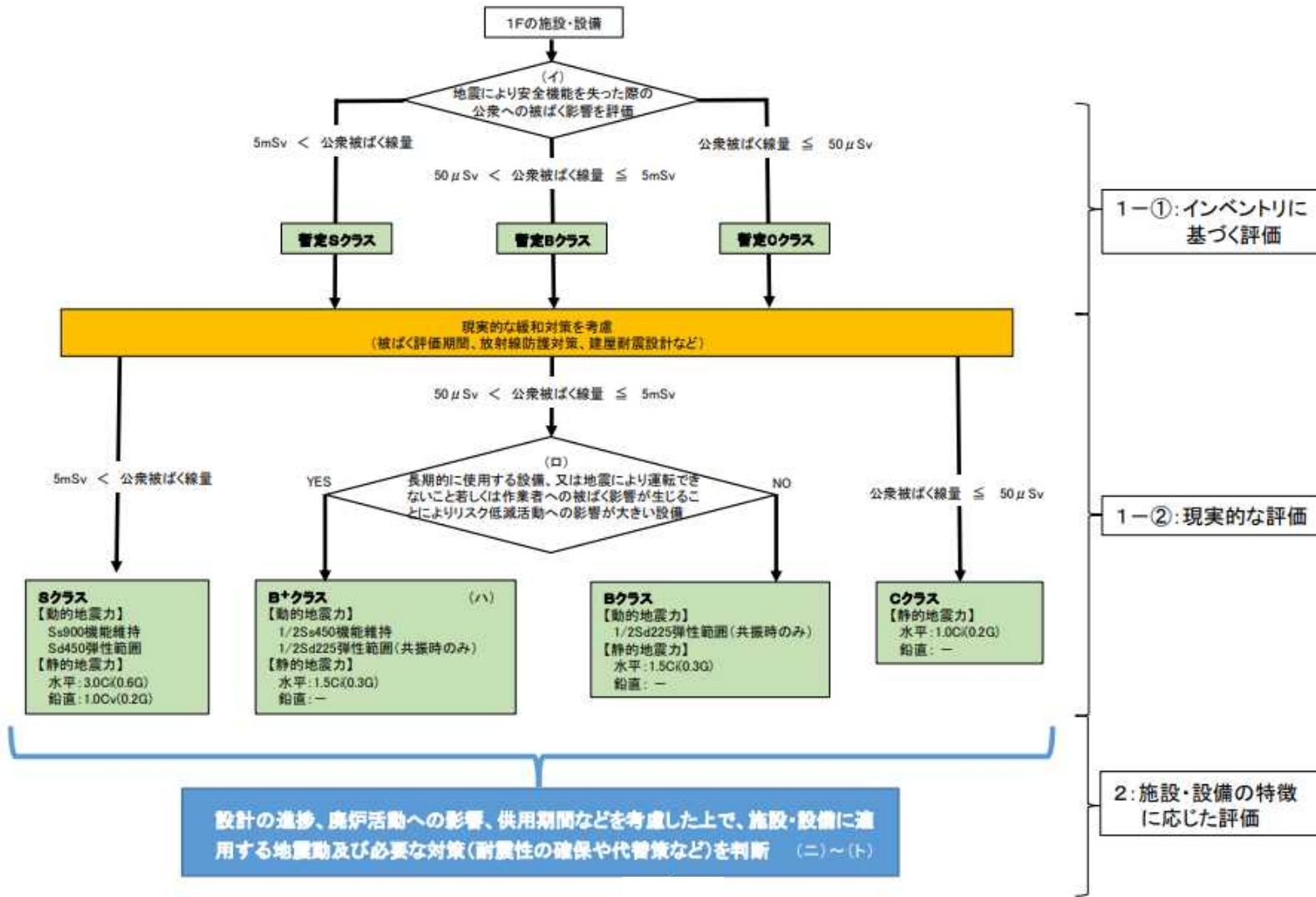


図 段階的な取り出し規模拡大の燃料デブリ取り出し作業イメージ\*

\*2022年12月1日 規制庁面談資料から第2棟を追記



耐震クラス分類と施設・設備の特徴に応じた地震動の設定及び必要な対策を判断する流れ



**【(イ)： 地震により安全機能を失った際の公衆被ばく影響】**

- 核燃料施設等の耐震クラス分類を参考にして、地震による安全機能喪失時の公衆被ばく線量により、S、B、Cを分類する。液体放射性物質を内包する施設・設備にあつては、液体の海洋への流出のおそれのない設計を前提とした線量評価によるものとする。

**【(ロ)： 通常のBクラスよりも高い耐震性が求められるB+クラスの対象設備の要件】**

- 「運転できないこと若しくは作業者への被ばく影響が生じることによりリスク低減活動への影響が大きい設備」の具体例は以下のとおり。
  - ・ 建屋滞留水・多核種除去設備などの水処理設備、使用済燃料をプールからより安定性の高い乾式キャスクへ移動させるために必要な燃料取出設備等。
  - ・ 閉じ込め・遮へい機能喪失時の復旧作業における従事者被ばく線量が1日当たりの計画線量限度を超える設備等。

**【(ハ)： B+クラスの1/2Ss450機能維持】**

- 1/2Ss450に対して、運転の継続に必要な機能の維持や閉じ込め・遮へい機能の維持を求める。
- 令和4年3月16日の福島県沖地震の地震動が1/2Ss450を上回った周期帯に固有振動数を有する施設・設備は、当該地震動による施設・設備の機能への影響を評価する。

**【(ニ)： 耐震性の確保】**

- 地震力の算定に際しては、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせる。

**【(ホ)： 耐震性の確保に対する代替策】**

- 耐震性の確保の代替策として、耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させるための対策を講ずるとしてもよい。具体例は以下のとおり。
  - 例：中低濃度タンクや吸着塔一時保管施設等の耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させる対策として、耐震性の高い建屋やタンクへの移替え及び移管、スラリー安定化処理設備や海洋放出設備による処理等を早期に行うことを想定。

**【(ヘ)： 上位クラスへの波及的影響】**

- 上位クラスへの波及的影響がある場合、原則上位クラスに応じた地震動を念頭に置くが、耐震クラス分類の考え方と同様に、下位クラスによる波及的影響を起因とする敷地周辺の公衆被ばく線量も勘案し、適切な地震動を設定する。

**【(ト)： 液体放射性物質を内包する設備】**

- 多核種除去設備等で処理する前の液体等、放出による外部への影響が大きい液体を内包する設備については、Ss900に対して、海洋に流出するおそれのない設計とすることを求める（滞留水が存在する建屋、ALPS処理前の水や濃縮廃液を貯留するタンクの堰等）。これ以外の液体を内包する設備については、上位クラスの地震動に対する閉じ込め機能の確保又は漏えい時の影響緩和対策を求める\*。
  - ※：設備自体を耐震CクラスからBクラスに格上げ、周囲の堰等に上位クラスの地震動に対して閉じ込め機能を維持する、漏えい時に仮設ホースによる排水等の機動的対応を講ずる等により、海洋への流出を緩和する措置を想定。



東京電力福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方の新旧比較表

参考

(旧) 昨年9月の耐震要求	(新) 今回の耐震要求案	備考
<p>耐震クラス分類と施設等の特徴に応じた地震動の設定及び必要な対策を判断する流れ</p> <p>①</p> <p>②</p> <p>心の耐震クラスを踏まえて、高が活動への影響、上巻クラスへの波及的影響、使用期間、設計の進捗状況、内訳する個体の耐震性能等の影響を考慮した上で、施設等の特徴に応じた地震動の設定及び必要な追加設備等の追加の代替措置を判断する。(C) (D) (E)</p> <p>※項目(イ)～(ロ)の順に示すは、決りは記載</p>	<p>1Fの施設・設備</p> <p>1-①: インベントリに基づく評価</p> <p>1-②: 現実的な評価</p> <p>2: 施設・設備の特徴に応じた評価</p> <p>設計の進捗、周囲への影響、利用期間などを考慮した上で、施設・設備に適用する地震動及び必要な対策(耐震性の確保や代替措置など)を判断。(C) (D) (E)</p>	<p><b>【1-①: インベントリに基づく評価】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>公衆への最大の放射線影響を把握するために全ての安全機能が喪失した場合のインベントリに基づく評価を求める。ただし、物理的に起こり得ないこと(例:地下施設の地上化)などは考慮する必要はない。</li> <li>6日目までに外部支援を受けれる方針であることを前提に、原則7日間で評価する。</li> </ul> <p><b>【1-②: 現実的な評価】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>評価期間として7日より短い期間を設定する場合は、その対策の実現性(人・資機材・時間等)を審査する。</li> <li>建屋等がSクラス設計の場合は、当該建屋等は地震により損傷しないことを前提としても良い。なお、Sクラス設計以外の施設・設備の損傷程度に鑑み、当該施設・設備の機能に期待する場合は、十分な技術的根拠を示すこと。</li> </ul> <p><b>【2: 施設・設備の特徴に応じた評価】</b></p> <p>間接的な施設・設備の損傷を考慮した場合に、耐震設計上の主たる機能を有する施設・設備に波及的な影響を及ぼさず、フロー1で定めた耐震クラスの決定の際の線量評価に影響がない場合は、間接的な施設・設備は下位の耐震クラスとしても良い。</p>

昨年9月の耐震要求（旧）	今回の耐震要求（新）	備考
<p><b>【(イ)： 地震により安全機能を失った際の公衆被ばく影響】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>核燃料施設等の耐震クラス分類を参考にして、地震による安全機能喪失時の公衆被ばく線量により、S、B、Cを分類する。液体放射性物質を内包する施設・設備にあっては、液体の海洋への流出のおそれのない設計を前提とした線量評価によるものとする。</li> </ul> <p><b>【(ロ)： 通常のBクラスよりも高い耐震性が求められるB+クラスの対象設備の要件】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>「運転できないこと若しくは作業への被ばく影響が生じることでよりリスク低減活動への影響が大きい設備」の具体例は以下のとおり。             <ul style="list-style-type: none"> <li>建屋滞留水・多核種除去設備などの水処理設備、使用済燃料をプールからより安定性の高い乾式キャスクへ移動させるために必要な燃料取出設備等。</li> <li>閉じ込め・遮へい機能喪失時の復旧作業における従事者被ばく線量が1日当たりの計画線量限度を超える設備等。</li> </ul> </li> </ul> <p><b>【(ハ)： B+クラスの1/2Ss450機能維持】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ss900の1/2の最大加速度450galの地震動に対して、運転の継続に必要な機能の維持や閉じ込め・遮へい機能の維持を求める。</li> </ul> <p><b>【(ニ)： 上位クラスへの波及的影響】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>上位クラスへの波及的影響がある場合、原則上位クラスに応じた地震動を念頭に置くが、耐震クラス分類の考え方と同様に、下位クラスによる波及的影響を起因とする敷地周辺の公衆被ばく線量も動かし、適切な地震動を設定する。</li> </ul> <p><b>【(ホ)： 地震力の組合せ】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>地震力の算定に際しては、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせる。</li> </ul> <p><b>【(ヘ)： 液体放射性物質を内包する設備】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>多核種除去設備等で処理する前の液体等、放出による外部への影響が大きい液体を内包する設備については、Ss900に対して、海洋に流出するおそれのない設計とすることを求める（滞留水が存在する建屋、ALPS処理前の水や濃縮廃液を貯留するタンクの堰等）。これ以外の液体を内包する設備については、上位クラスの地震動に対する閉じ込め機能の確保又は漏えい時の影響緩和対策を求める*。</li> </ul> <p><small>※：設備自体を耐震CクラスからBクラスに格上げ、両面の選等に上位クラスの地震動に対して閉じ込め機能を維持する。漏えい時に仮設ホースによる排水等の機動的対応を講ずる等により、海洋への流出を緩和する措置を想定。</small></p> <p><b>【(ト)： 耐震性の確保に対する代替措置】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>耐震性の確保の代替策として、機動的対応や耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させるための対策を講ずるとしてもよい。具体例は以下のとおり。</li> </ul> <p>例1：B+クラス設備の1/2Ss450機能維持の手段としては、耐震性の確保の他、機動的対応（予備品への交換、可搬型設備の運用等）による代替手段を想定。</p> <p>例2：中低濃度タンクや吸着塔一時保管施設等の耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させる対策として、耐震性の高い建屋やタンクへの移替え及び移管、スラリー安定化処理設備や海洋放出設備による処理等を早期に行うことを想定。</p>	<p><b>【(イ)～(ロ)】</b> 同左</p> <p><b>【(ハ)： B+クラスの1/2Ss450機能維持】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1/2Ss450に対して、運転の継続に必要な機能の維持や閉じ込め・遮へい機能の維持を求める。</li> <li>令和4年3月16日の福島県沖地震の地震動が1/2Ss450を上回った周期帯に固有振動数を有する施設・設備は、当該地震動による施設・設備の機能への影響を評価する。</li> </ul> <p><b>【(ニ)： 耐震性の確保】</b> 【(ホ)： 地震力の組合せ】と同じ</p> <p><b>【(ホ)： 耐震性の確保に対する代替策】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>耐震性の確保の代替策として、耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させるための対策を講ずるとしてもよい。具体例は以下のとおり。</li> </ul> <p><small>例：中低濃度タンクや吸着塔一時保管施設等の耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させる対策として、耐震性の高い建屋やタンクへの移替え及び移管、スラリー安定化処理設備や海洋放出設備による処理等を早期に行うことを想定。</small></p> <p><b>【(ヘ)： 上位クラスへの波及的影響】</b> 【(ニ)： 上位クラスへの波及的影響】と同じ</p> <p><b>【(ト)： 液体放射性物質を内包する設備】</b> 【(ヘ)： 液体放射性物質を内包する設備】と同じ</p>	<p>影響評価としては、実際に3.16地震が起こった際の施設・設備の損傷程度や公衆への被ばく影響の程度などについて評価することを求める。</p> <p>機動的対応は、フロー「1-②：現実的な評価」で考慮する。</p> <p>その他は記載の適正化</p>