

## 2.14.2 自然現象に対する設計上の考慮への 適合性

(中略)

2.14.2.2 対応方針

具体的な対応方針を以下に示す。なお、防護すべき施設として、「安全性が損なわれた場合に公衆に対して過度な放射線被ばくを及ぼす恐れのある施設」を防護対象として定める。第2棟では「コンクリートセル(給排気弁含む)及び試料ピット」が該当し、それら施設の安全性が損なわれない設計とする。

(1) 地震に対する第2棟の設計上の考慮

① 建屋 (別紙-1 参照)

第2棟は、「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」(第51回原子力規制委員会資料, 令和4年11月16日)に基づき、耐震設計上の重要度に応じてクラス別分類を行うとともに、耐震性評価を行う。なお、設計は建築基準法に準拠し、積雪荷重及び風圧についても評価する。

第2棟は、鉄筋コンクリート造の地上2階、地下1階、平面寸法35.0m(EW方向)×28.0m(NS方向)、地上高さ17.3mの建物である。基礎は直接基礎で、人工岩盤を介して富岡層に支持させる。建屋に加わる地震時の水平力は、主に外周部及び建物内部に設けた耐震壁にて負担する。

② 設備

i) 設備に係る耐震設計方針 (別紙-2~4 参照)

第2棟の設備に係る耐震設計は、「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」(第51回原子力規制委員会資料, 令和4年11月16日)に基づき、耐震設計上の重要度に応じてクラス別分類を行うとともに、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」等に基づくとともに、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」を参考に耐震性評価を行う。また、耐震B<sup>+</sup>クラスの各設備は、剛構造(固有周期:0.05s以下)とする。

なお、コンクリートセルの開口部については、コンクリートセルと同等のSクラスの耐震性を有する設計とする。

また、安全上重要な施設(コンクリートセル及び試料ピット)に対する波及的影響について評価した。

ii) クレーンの重量及び耐震上の考慮について (別紙-5 参照)

第2棟には定格荷重(20t, 4.8t)の計2基のクレーンの配置を計画している。コンクリートセルの上部を走行する定格荷重20tクレーンは「クレーン機器重量約16t, 吊荷荷重20t」となる。1階ローディングドックに配置する定格荷重4.8tクレーンは「クレーン機器重量約2.5t, 吊荷荷重4.8t」となる。建屋の耐震設計では、クレーン構造規格や建築物荷重指針・同解説により、吊荷重量を除きクレーン機器重量を考慮して評価をしており、建屋の耐震性に問題ないことを確認した。

また、定格荷重 20t クレーンは、安全上重要な施設(コンクリートセル)に対する波及的影響について評価した。

iii) 塩酸含有廃液保管ラック、有機廃液保管ラックの耐震設計の考え方について

塩酸含有廃液保管ラック及び有機廃液保管ラックは、取り扱う燃料デブリ等が少量であり、被ばく線量が極めて小さいことから、耐震Cクラスとする。

(2) 地震以外の想定される自然現象(津波、豪雨、台風、竜巻等)に対する第2棟の設計上の考慮  
第2棟は地震以外の想定される自然現象(津波、豪雨、台風、竜巻等)によって、施設の安全性が損なわれないよう設計する。

① 津波(別紙-6 参照)

第2棟は津波が到達しないと考えられる T.P.+約 40 m に建設し、検討用津波(T.P. 22.6 m)での遡上評価でも津波は到達しない。

② 豪雨

第2棟は屋根面等が適切に排水できる設計とする。

③ 積雪

積雪時に係る建屋の設計は、建築基準法及び関係法令、福島県建築基準法施行細則第19条に基づく積雪荷重(積雪量: 30cm, 単位荷重 20N/m<sup>2</sup>/cm)に耐えられる構造とする。なお、その積雪荷重は、その地方における垂直積雪量を考慮したものとする。

④ 落雷(別紙-7 参照)

第2棟は施設の安全性が損なわれないように、建築基準法、関係法令及び JIS A 4201(建築物等の雷保護)に基づき落雷防護のために避雷針等を設置する設計とする。

⑤ 台風(強風・高潮)

台風など暴風時に係る建屋の設計は、建築基準法及び関係法令に基づく風圧力(基準風速: 30m/s)に対して耐えられる構造とすることにより、強風(台風等)に対してその安全性が損なわれない設計とする。なお、その風圧力はその地方における観測記録に基づくものとする。

高潮は T.P.+約 40m の場所に設置することにより、影響は受けない設計とする。

⑥ 竜巻(飛来物含む)(別紙-8 参照)

過去に発生した竜巻の最大風速に不確かさを考慮して 100m/s と設定し、竜巻荷重、飛来物及び竜巻随件事象を耐えられる設計とする。

⑦ 凍結

第2棟は鉄筋コンクリート造であるため、凍結により建屋が損傷するおそれはない。また、屋外配管に対しては、保温材の設置等の対策を講じることにより、凍結に対して、その安全性が損なわれない設計とする。

⑧ 紫外線

第2棟は、建屋外壁への塗装等により、紫外線に対してその安全性が損なわれない設計とする。

⑨ 高温

第2棟は福島第一原子力発電所近傍の気象観測記録として過去に計測された最高気温を踏まえて、適切な材料、機器等を選定することにより、高温に対して、その安全性が損なわれない設計とする。

⑩ 生物学的事象

小動物等の襲来により、建屋貫通孔等からの小動物の侵入が想定されるため、建屋貫通孔や電路端部等に対してシール材を施工することにより、侵入を防止する設計とする。

⑪ 地滑り（別紙-9 参照）

第2棟は斜面からの離隔を確保し、地滑りのおそれがない位置に設置する設計とする。

⑫ 火山の影響（別紙-10 参照）

コンクリートセル(給排気弁含む)及び試料ピットは第2棟建屋内に設置されていることから、火山事象により安全機能を損なう恐れはない。なお、火山の影響により第2棟に火山灰が降下してきた場合は、屋上階の降灰をシャベル、塵取り等を用いて除去する。また、火山灰により建屋の給気フィルタに目詰まりが生じた場合は給気フィルタを交換し、目詰まりを解消する。火山灰の降灰により送電線が切断され、外部電源が喪失した場合でもセル・グローブボックス用換気空調設備及び圧縮空気設備に非常用電源設備から給電できる設計であり、コンクリートセルは電源喪失による負圧維持機能が停止しても、自動的に給排気弁が閉止し、構造による閉じ込め機能が維持される。

⑬ その他

i) 外部火災（別紙-11 参照）

第2棟で想定される外部火災である森林火災、産業施設の火災・爆発及び航空機落下による火災の影響を評価し、それに耐えられる設計とする。

ii) 内部火災(別紙-12 参照)

第2棟は火災に対して、火災の発生防止、火災の検知及び消火及び火災影響の軽減の3方策を適切に組み合わせた措置を講ずる設計とする。

iii) 内部溢水

コンクリートセル及び試料ピットは第2棟の1階に設置されており、セル周囲に対して最大の溢水源となる消火設備による放水を全量実施しても、水位は約0.4 mとなり水没しない。万が一、水没しても試料ピットの臨界評価は保守的に評価するため、水没状態で評価を実施しており、水没状態でも臨界には達せず、臨界防止機能は損なわれない。

また、コンクリートセルはコンクリート造であり、放水によって破損する恐れはないため、遮へい機能は維持される。

コンクリートセル給排気弁は2階及び中地下1階に設置されているため、放水した水は階段等から流出し、中地下1階よりも低い地下1階レベルとなるため水没しない。また、空気作動のフェイルクローズ弁としているため、消火設備の放水によって電気系または圧縮空気系の不具合が発生して負圧維持機能を喪失しても、自動的に弁が閉止し、構造による閉じ込め機能は維持される。

(中略)

## コンクリートセル付帯設備の耐震性評価について

## 1. 概要

コンクリートセルの付帯設備について、コンクリートセルと同等のSクラスの耐震性を有する設計とする。コンクリートセル付帯設備は「設備の4面以上がコンクリートで拘束されている設備（以下「埋設設備」という。）」、「埋設設備以外の設備（以下「非埋設設備」という。）」の2つに分類する。埋設設備及び非埋設設備の耐震性評価は、水平2方向及び鉛直1方向の地震力を考慮することを基本とする。

なお、一般的な使用施設のコンクリートセルに設置される設備と比較して、第2棟において特有な設備は存在しないことを確認している。

## 2. コンクリートセル付帯設備

コンクリートセル付帯設備を図2.14.2.2-1に示す。埋設設備を黒字で示し、非埋設設備を赤字で示す。

\* 括弧内の番号は表 2.14.2.2-1，表 2.14.2.2-2 に対応したものである。

2.14.2.2-2

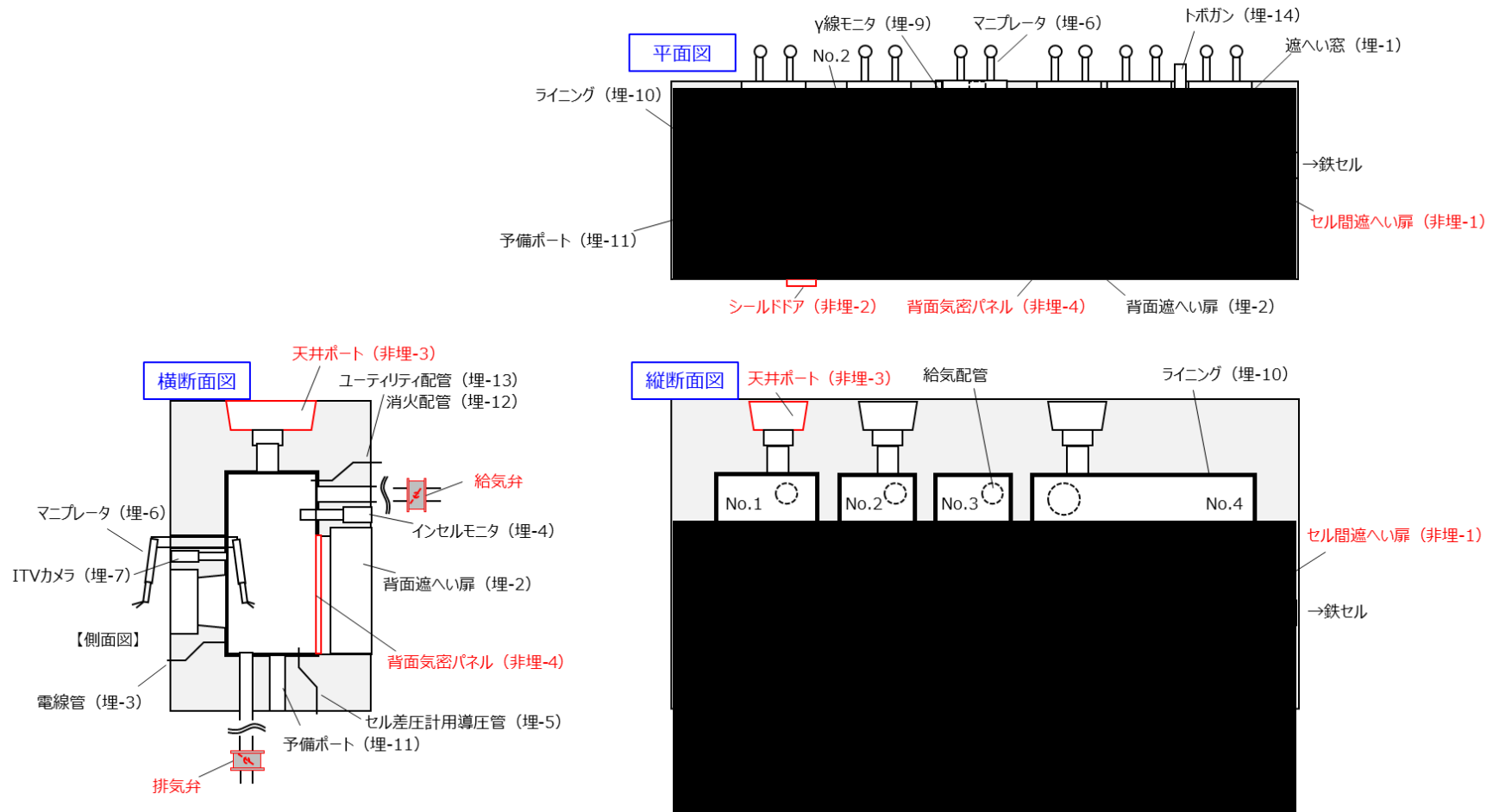


図2.14.2.2-1 コンクリートセル付帯設備

## 2.1 コンクリートセル付帯設備の分類

コンクリートセル付帯設備の分類を検討した結果、第2棟に特有な設備は存在しないことを確認した。埋設設備及び非埋設設備に分類した結果を表2.14.2.2-1及び表2.14.2.2-2に示す。

表2. 14. 2. 2-1 埋設設備

No.	名称	安全機能			開口寸法 (mm)	主要材質	用途
		閉 込	遮 へ い	臨 界			
埋-1	遮へい窓	○	○	—	W1360×H1360 6基	ガラス・鉄・ ステンレス・アク リル	オペレーションエリアからセル内を観察するための、 遮へい機能付きの窓である。
埋-2	背面遮へい扉	—	○	—	W1430× <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span> ×H2140 4基	鉄・ポリエチレン	背面遮へい扉は、セル内のメンテナンス等により作業 者が気密パネルへのアクセス又はセル内に立ち入る際 に使用する扉である。
埋-3	電線管 (気密ボックス 含む)	○	○	—	φ 53. 5	鉄・ステンレス・ 樹脂	電線管は、オペレーションエリア側からセル内に、機 器の電源供給や信号を送受信するための電線を通す配 管である。
埋-4	インセルモニタ	○	○	—	φ 195 4基	鉄・コンクリート	セル内線量の把握及び背面遮へい扉を開ける際のイン ターロック機能の一つである。
埋-5	セル差圧計用導 圧管	○	○	—	φ 14. 3×2本	ステンレス	セル内の差圧を測定するためのものである。
埋-6	マニプレータ (スルーウォー ルチューブ)	○	○	—	φ 279. 4 12基	ステンレス・鉄・ 鉛	マニプレータは、セル内の放射性物質等を遠隔で取扱 う設備である (参考資料2-1 埋-6参照)。

2. 14. 2. 2-4



No.	名称	安全機能			開口寸法 (mm)	主要材質	用途
		閉込	遮へい	臨界			
埋-7	ITVカメラ	○	○	—	φ 250 4基	ステンレス・鉛・ ポリエチレン	セル内の観察，監視を行うためのカメラである。
埋-8	遮へいプラグ (予備的措置)	○	○	—	φ 400 1基	ステンレス・鉄・ コンクリート	将来設置機器のための予備的措置である。
埋-9	γ線モニタ (コンジット 管)	○	○	—	φ 28 (25A. Sch20) 1基	ステンレス	セル内の試料のγ線計測を行い組成等を調べるものである。
埋-10	ライニング	○	—	—	—	ステンレス	ライニングはセル内のコンクリート壁6面を完全にステンレス鋼板にて覆うことで気密性と除染性を持たせるものである。
埋-11	予備ポート (予備的措置)	○	○	—	φ 480 1基	ステンレス・鉄・ ポリエチレン	将来設置機器のための予備的措置である。
埋-12	消火配管 (逆止弁まで)	○	○	—	φ 22.2	ステンレス	火災発生時にセル内を消火する設備である。
埋-13	ユーティリティ 配管	○	○	—	φ 22.2	ステンレス	セル内へ水，圧空，試薬等を導入するためのものである。

No.	名称	安全機能			開口寸法 (mm)	主要材質	用途
		閉 込	遮 へ い	臨 界			
埋-14	トボガン	○	○	—	φ 165.2 1基	ステンレス	セル内に資材を投入するため、気密性能を持たせた配管である。

2. 14. 2. 2-6

表2. 14. 2. 2-2 非埋設設備

No.	名称	安全機能			開口寸法 (mm)	主要材質	用途
		閉込	遮へい	臨界			
非埋-1	セル間遮へい扉 (セルNo. 4-鉄セル間)	○	○	—	W1470× <span style="background-color: black; color: black;">■■■■</span> ×H2767 1基	鉄・ポリエチレン	セル間遮へい扉は、鉄セルへ試料等を移送する際に用いる扉である。
非埋-2	シールドドア	○	○	—	ポート径：φ340 遮へい体：W900 × <span style="background-color: black; color: black;">■■■■</span> ×H1000	鉄・鉛	試料等の放射性物質の移送を行うため、サイドローディングキャスクをセルに接続するための設備である。
非埋-3	天井ポート (天井ハッチ含む)	○	○	—	W2250×D1570 × <span style="background-color: black; color: black;">■■■■</span> 3基	ステンレス (鉄, ポリエチレン)	天井ポートは、セルとキャスク等を接続させ、試料の搬入や廃棄物の搬出を行うためのものである。
非埋-4	背面気密パネル	○	—	—	W800×H2000 4基	ステンレス	背面遮へい扉に気密性能が無いため、扉の内側に気密性能を持たせたパネルである。また、セル内のメンテナンスを考慮して大型のPVCバッグポートを備えている。

2. 14. 2. 2-7

### 3. 非埋設設備の耐震性評価

コンクリートセル付帯設備を分類し、非埋設設備に分類した設備に対して、耐震Sクラスの耐震性を有していることを確認する。

なお、非埋設設備に分類される背面気密パネルについては、質量が■■■■と軽くSs900地震時の発生応力が小さい（引張応力■■MPa、せん断応力■■MPa）ことを確認している。

#### 3.1 セル間遮へい扉

##### (1) 設計用地震力及び供用状態

セル間遮へい扉に対して、表 2.14.2.2-3 に示す設計用地震力及び供用状態で耐震性評価を行う。

表 2.14.2.2-3 セル間遮へい扉の設計用地震力

耐震クラス	設計用地震力		供用状態
S	動的地震力	Ss900	Cs <sup>※1</sup>
		Sd450	Cs
	静的地震力	水平：3.6Ci 鉛直：1.2Cv	Cs

※1 Ss900 に対して供用状態 Ds の評価を実施すればよいが、供用状態 Cs の評価を実施することにより、Sd450 及び静的地震力に対する供用状態 Cs の評価を省略する。

##### (2) 評価対象

セル間遮へい扉の構造は、コンクリートセル内の遮へい壁に厚さ■■■■のセル間遮へい扉を昇降させるレールが取り付けられており、レール上をセル間遮へい扉がセル間遮へい扉昇降機構によって、昇降することで開閉する機構となっている。セル間遮へい扉のレールは6本のボルトで固定されている。

セル間遮へい扉の外形図を図2.14.2.2-2に示す。評価対象はセル間遮へい扉のレール取付ボルト及びレール架台取付ボルトとし、仕様を表2.14.2.2-4に示す。また、ボルトに作用する力について図2.14.2.2-3に示す。

表 2.14.2.2-4 評価対象の仕様

評価設備	設備質量	評価部位	材料	呼び径
セル間遮へい扉	■■■■	レール取付 ボルト	SUS304	M12
		レール架台取付 ボルト		

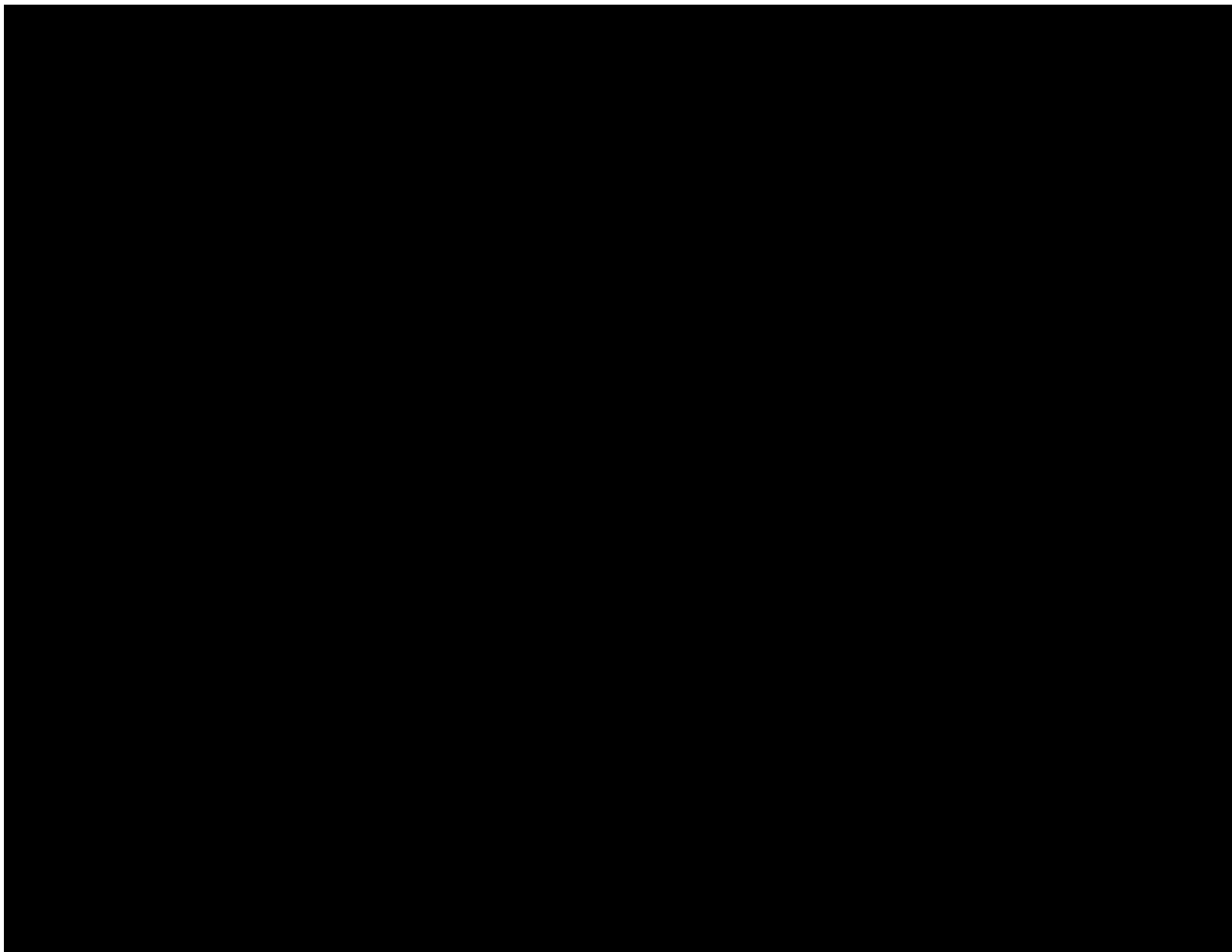


図 2.14.2.2-2 セル間遮へい扉の外形図

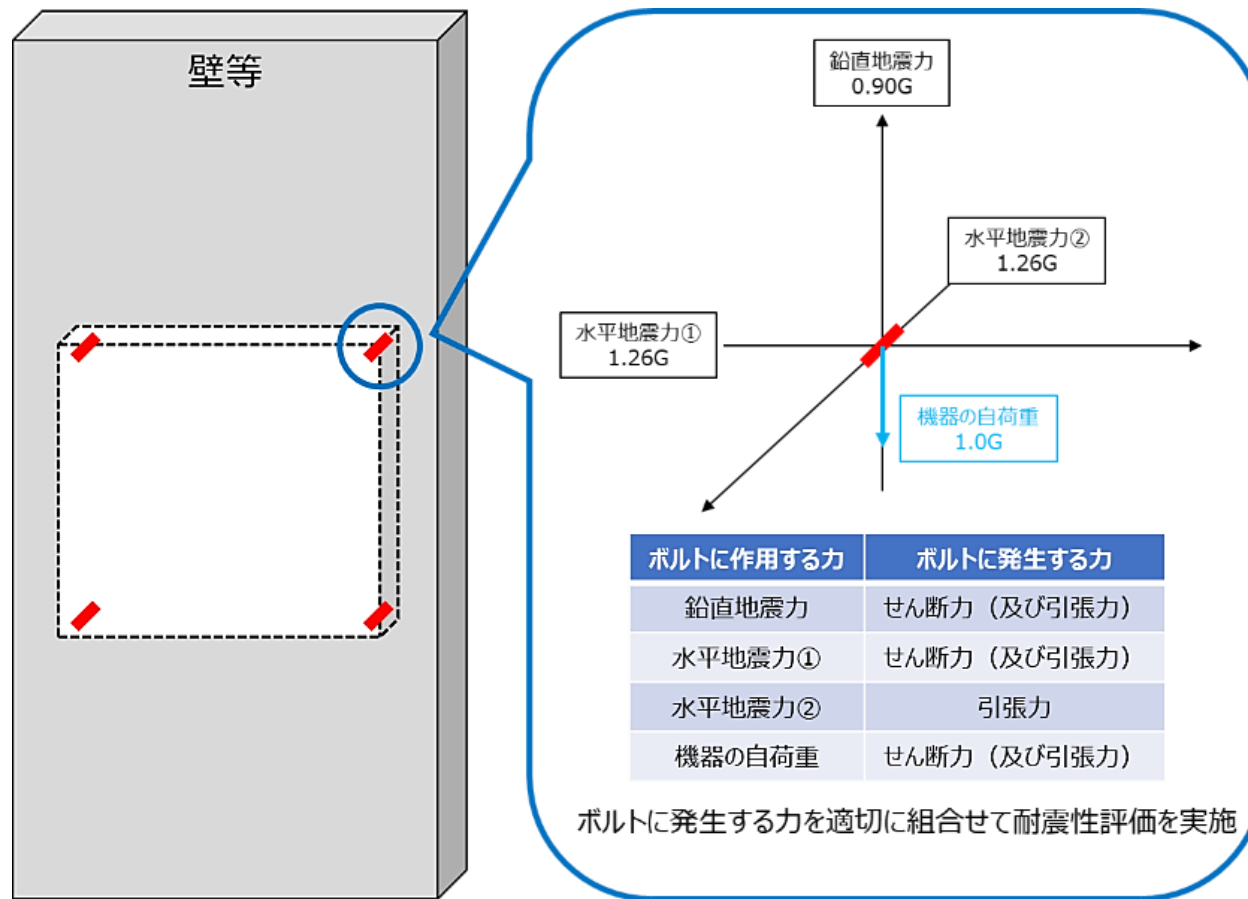


図 2.14.2.2-3 ボルトに作用する力

### (3) 固有周期の計算

セル間遮へい扉を上端自由，下端固定の1質点系振動モデルとしてモデル化し，固有周期を算出し，剛構造（固有周期が0.05秒以下）であることを確認する。以下の各パラメータについて計算し，固有周期を求める。結果として，固有周期は $4.6 \times 10^{-4}$ 秒となり0.05秒以下であるため剛構造であることを確認した。

- 有効せん断面積 $A_e$

機械工学便覧のせん断応力分布より，せん断応力の最大値 $\tau_{\max}$ から有効せん断面積 $A_e$ は以下の式で表される。

$$A_e = \frac{2}{3}bh$$

- せん断弾性係数 $G$

等方性体のせん断弾性係数 $G$ は，縦弾性係数 $E$ 及びポアソン比 $\nu$ の間に以下の関係式が成り立つ。

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

- 断面二次モーメント $I$

機械工学便覧より，断面二次モーメント $I$ は以下の式で表される。

$$I = \frac{1}{12}bh^3$$

- ばね定数 $K$

JEAC4601を参考にばね定数 $K$ は以下の式で表される。

$$K = \frac{1}{\frac{h^3}{3EI} + \frac{h}{GA_e}}$$

- 固有周期 $T$

JEAC4601を参考に固有周期 $T$ は以下の式で表される。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{10^3 K}}$$

なお，記号の説明及び数値を以下に示す。

記号	記載内容	値	単位
b	機器の幅	2000	mm
h	機器の高さ	217	mm
W	機器の質量	2100	kg
E	縦弾性係数	200600	MPa
$\nu$	ポアソン比	0.3	-

(4) 耐震計算の条件

セル間遮へい扉は1階に設置されているため、1階におけるSs900の設計用震度で評価する。Ss900の階別設計用震度を表2. 14. 2. 2-5に示す。また、供用状態はC<sub>s</sub>とし、最高使用温度は60°Cの条件で計算を行う。

なお、セル間遮蔽扉の固有値解析を行い固有周期が0.05秒以下であるため、剛構造であることを確認している。

表2. 14. 2. 2-5 Ss900の階別設計用震度

階層	水平設計用震度 <sup>※1</sup>		鉛直設計用震度 <sup>※1</sup>
	EW 方向 C <sub>H</sub>	NS 方向 C <sub>H</sub>	UD 方向 C <sub>V</sub>
2階 (T. P. +47.8m)	1.74	1.74	0.91
1階 (T. P. +40.8m)	1.26	1.26	0.90
地下1階 (T. P. +33.3m)	0.84	0.84	0.89

※1 Ss900に対する建屋の床応答加速度の1.2倍を考慮している。

(4-1) レール取付ボルトに対する耐震計算

i) 記号の説明及び数値

記号	記載内容	値	単位
$\tau$	レール取付ボルトにかかるせん断応力	/	MPa
Q	レール取付ボルトにかかるせん断荷重	/	N
A	レール取付ボルトの軸断面積	113.1	mm <sup>2</sup>
n	レール取付ボルトの全本数	6	本
m	セル間遮へい扉の質量	■	kg
g	重力加速度	9.80665	m/s <sup>2</sup>
C <sub>H</sub>	水平方向の設計用震度	1.26	—
C <sub>V</sub>	鉛直方向の設計用震度	0.90	—
f <sub>s</sub>	許容せん断応力	/	MPa
F	設計・建設規格SSB-3133に定める値	/	MPa

ii) レール取付ボルトにかかる引張応力の計算

レール取付ボルトは、図2. 14. 2. 2-2に示すとおり、同数のレール取付ボルトが対向して配置されているため、引張応力は相殺される。



iii) レール取付ボルトにかかるせん断応力  $\tau$  の計算

レール取付ボルトについて、地震力によりレール取付ボルトに垂直な方向の力（水平1方向及び鉛直1方向）について、力のベクトル合成を考慮した際に生じる応力を求める。セル間遮へい扉に作用するせん断荷重は、6本のレール取付ボルトに均等に荷重が作用するものとする。

レール取付ボルトのせん断応力は、「原子力発電所耐震設計技術規程JEAC4601-2008」（以下「JEAC4601」という。）等を参考に次式により求める。

$$\tau = \frac{Q}{A \cdot n}$$

$$Q = m \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2}$$

結果として、レール取付ボルトのせん断応力  $\tau$  は  $\blacksquare$ MPa となった。

iv) 許容応力の計算

許容応力の計算は、「発電用原子力設備規格（JSME S NC1-2005/2007 追補版）」（以下「JSME S NC1」という。）に示す計算方法により算出する。許容せん断応力の計算式を以下に示す。

$$f_s = \frac{1.5 \cdot F}{1.5\sqrt{3}}$$

なお、F値についてはJSME S NC1の付録図表による設計降伏点  $S_y$  及び設計引張強さ  $S_u$  から求める。ボルトの最高使用温度である60℃における  $S_y$  及び  $S_u$  の値は、JSME S NC1の数値から内挿して求める。表2.14.2.2-6にSUS304のF値の計算に用いた  $S_y$  及び  $S_u$  の値を示す。

SUS304はオーステナイト系ステンレス鋼であるため、F値の計算式は以下のとおりである。ただし、 $S_y(RT)$  は40℃における設計降伏点を意味する。

$$F = \min(1.35S_y, 0.7S_u, S_y(RT))$$

結果として、レール取付ボルトの許容せん断応力  $f_s$  は118MPa となった。

表 2.14.2.2-6 SUS304 の F 値の計算に用いた  $S_y$  及び  $S_u$  の値

温度	40℃ (文献値)	75℃ (文献値)	60℃ (内挿値)
$S_y, S_u$			
$S_y$ (MPa)	205	183	192
$S_u$ (MPa)	520	466	489

v) 評価結果

評価結果を表2.14.2.2-7に示す。評価結果から、レール取付ボルトのせん断応力は許容応力を下回るため、耐震Sクラスの耐震性を有することを確認した。

表 2.14.2.2-7 レール取付ボルトの評価結果

評価設備	設計用震度	評価部位	評価項目	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
セル間遮へい 扉	Ss900 ( $C_H=1.26$ $C_H=1.26$ $C_V=0.90$ )	レール取付 ボルト	せん断	■	118

(4-2) レール架台取付ボルトに対する耐震計算

i) 記号の説明及び数値

記号	記載内容	値	単位
$F_{1V}$	レール架台取付ボルトに垂直な方向の鉛直地震力によって作用する引張力	/	N
$F_{1H}$	レール架台取付ボルトに垂直な方向の水平地震力によって作用する引張力	/	N
$F_{1G}$	レール架台取付ボルトに垂直な方向の自荷重によって作用する引張力	/	N
$F_2$	レール架台取付ボルトに平行な方向の水平地震力によって作用する引張力	/	N
$\sigma$	レール架台取付ボルトに作用する引張応力	/	MPa
$m$	遮へい体の質量	■	kg
$g$	重力加速度	9.80665	m/s <sup>2</sup>
$C_V$	鉛直方向の設計用震度	0.90	—
$h$	遮へい体の重心高さ	137	mm
$L_{1P}$	転倒支点から最も離れたレール架台取付ボルトまでの距離 (鉛直方向)	/	mm
$n_{f1j}$	転倒支点から $L_{1j}$ の距離にあるレール架台取付ボルトの本数	/	本
$L_{1j}$	転倒支点から $j$ 番目のレール架台取付ボルトまでの距離 (鉛直方向)	/	mm
$C_H$	水平方向の設計用震度	1.26	—
$L_{2K}$	転倒支点から最も離れたレール架台取付ボルトまでの距離 (水平方向)	/	mm
$n_{f2j}$	転倒支点から $L_{2j}$ の距離にあるレール架台取付ボルトの本数	/	本
$L_{2j}$	転倒支点から $j$ 番目のレール架台取付ボルトまでの距離 (水平方向)	/	mm

n	レール架台取付ボルトの全本数	24	本
$\tau$	レール架台取付ボルトにかかるせん断応力		MPa
Q	レール架台取付ボルトにかかるせん断力		N
A	レール架台取付ボルトの軸断面積	113.1	mm <sup>2</sup>
$f_t$	許容引張応力		MPa
$f_s$	許容せん断応力		MPa
F	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値		MPa

iii) レール架台取付ボルトにかかる引張応力の計算

レール架台取付ボルトに垂直な方向の鉛直地震力によって作用する引張力 $F_{1V}$ 、レール架台取付ボルトに垂直な方向の水平地震力によって作用する引張力 $F_{1H}$ 及びレール架台取付ボルトに垂直な方向の自荷重によって作用する引張力 $F_{1G}$ は、片側の列のボルトを支点とする転倒を考え、これを他方の列のボルトで受けるものとして計算する。一方、レール架台取付ボルトに平行な方向の地震力によって作用する引張力 $F_2$ は、すべてのボルトで均等に受けるものとして計算する。

レール架台取付ボルトに作用する引張力は、ボルトに垂直な方向の地震力によって作用する引張力及びレール架台取付ボルトに平行な方向の地震力によって作用する引張力を組合せるものとする。

レール架台取付ボルトの引張応力 $\sigma$ は、ボルトに垂直な方向の地震力によって発生する引張力をSRSS法により組み合わせ、JEAC4601等を参考に次式により求める。

$$F_{1V} = \frac{(m \cdot g \cdot C_V \cdot h) \cdot L_{1P}}{\sum_{j=1}^p n_{f1j} \cdot L_{1j}^2}$$

$$F_{1H} = \frac{(m \cdot g \cdot C_H \cdot h) \cdot L_{2K}}{\sum_{j=1}^k n_{f2j} \cdot L_{2j}^2}$$

$$F_{1G} = \frac{(m \cdot g \cdot h) \cdot L_{1P}}{\sum_{j=1}^p n_{f1j} \cdot L_{1j}^2}$$

$$F_2 = \frac{m \cdot g \cdot C_H}{n}$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{F_{1V}^2 + F_{1H}^2} + F_{1G} + F_2}{A}$$

結果として、レール架台取付ボルトに作用する引張力 $\sigma$ は■MPaとなった。

iii) レール架台取付ボルトにかかるせん断応力 $\tau$ の計算

レール架台取付ボルトについて、地震力によりレール架台取付ボルトに垂直な方向の力（水平1方向及び鉛直1方向）について、力のベクトル合成を考慮した際に生じる応力を求める。セ

ル間遮へい扉に作用するせん断荷重は、24本のレール架台取付ボルトに均等に荷重が作用するものとする。

レール架台取付ボルトのせん断応力  $\tau$  は、JEAC4601等を参考に次式により求める。

$$\tau = \frac{Q}{A \cdot n}$$

$$Q = m \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2}$$

結果として、レール架台取付ボルトのせん断応力  $\tau$  は■MPaとなった。

#### iv) 許容応力の計算

許容応力の計算は、JSME S NC1に示す計算方法により算出する。許容引張応力及び許容せん断応力の計算式を以下に示す。

$$f_t = \frac{1.5 \cdot F}{2}$$

$$f_s = \frac{1.5 \cdot F}{1.5\sqrt{3}}$$

また、引張力及びせん断力を同時に受ける場合の許容引張応力  $f_{ts}$  は次式で求める。

$$f_{ts} = \min(1.4 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau, f_t)$$

なお、F値についてはJSME S NC1の付録図表による設計降伏点  $S_y$  及び設計引張強さ  $S_u$  から求める。ボルトの最高使用温度である60°Cにおける  $S_y$  及び  $S_u$  の値は、JSME S NC1の数値から内挿して求める。表2.14.2.2-6にF値の計算に用いた  $S_y$  及び  $S_u$  の値を示す。

SUS304はオーステナイト系ステンレス鋼であるため、F値の計算式は以下のとおりである。ただし、 $S_y(RT)$  は40°Cにおける設計降伏点を意味する。

$$F = \min(1.35S_y, 0.7S_u, S_y(RT))$$

結果として、レール架台取付ボルトの許容引張応力  $f_t$  は153MPa、許容せん断応力  $f_s$  は118MPaとなった。

#### v) 評価結果

評価結果を表2.14.2.2-8に示す。評価結果から、レール架台取付ボルトのせん断応力は許容応力を下回るため、耐震Sクラスの耐震性を有することを確認した。

表 2.14.2.2-8 レール架台取付ボルトの評価結果

評価設備	設計用震度	評価部位	評価項目	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
セル間遮へい扉	$S_s900$ $C_H=1.26$ $C_H=1.26$ $C_V=0.90$	レール架台取付ボルト	引張	■	153
			せん断	■	118

### 3.2 シールドドア

#### (1) 評価項目

シールドドアに対して、表2.14.2.2-3に示す設計用地震力で耐震性評価を行う。

#### (2) 評価対象

シールドドアの構造は、厚さ■の遮へい体がベース板に固定されており、ベース板がコンクリートセルに取付ボルトで固定されている。キャスク取り付け時にシールドドアの遮へい体を昇降させることで、開閉する機構となっている。

シールドドアの外形図を図2.14.2.2-4に示す。評価対象はシールドドアの取付ボルトとし、仕様を表2.14.2.2-9に示す。また、ボルトに作用する力について図2.14.2.2-5に示す。

表 2.14.2.2-9 評価対象の仕様

評価設備	設備質量	評価部位	ボルト材料	ボルト呼び径
シールドドア	■	シールドドア取付ボルト	SS400	M20



図 2.14.2.2-4 シールドドアの外形図

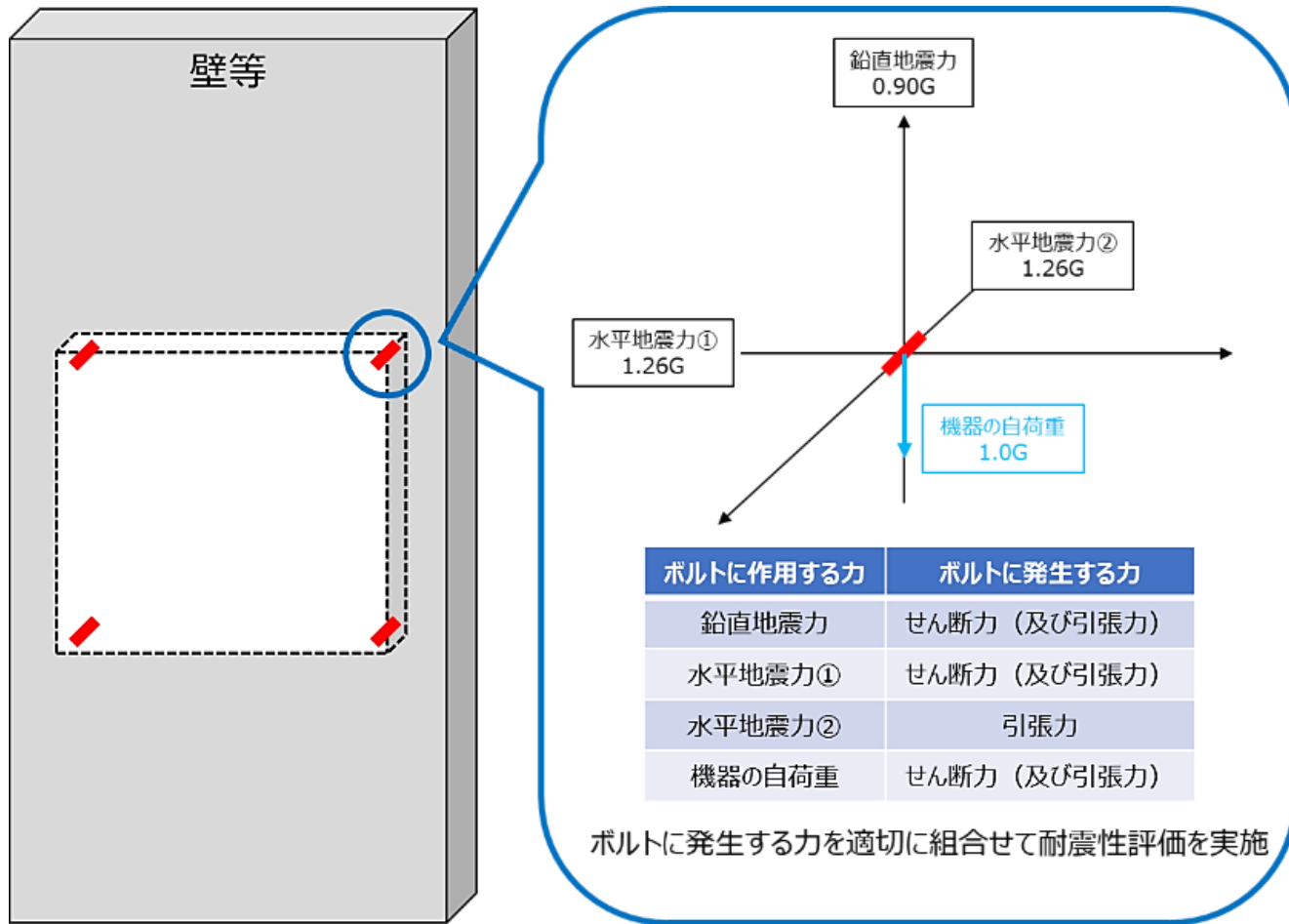


図 2.14.2.2-5 ボルトに作用する力

### (3) 固有周期の計算

シールドドアを上端自由，下端固定の1質点系振動モデルとしてモデル化し，固有周期を算出し，剛構造（固有周期が0.05秒以下）であることを確認する。以下の各パラメータについて計算し，固有周期を求める。結果として，固有周期は $2.4 \times 10^{-3}$ 秒となり0.05秒以下であるため剛構造であることを確認した。

- 有効せん断断面積 $A_e$

機械工学便覧のせん断応力分布より，せん断応力の最大値 $\tau_{\max}$ から有効せん断断面積 $A_e$ は以下の式で表される。

$$A_e = \frac{2}{3}bh$$

- せん断弾性係数 $G$

等方性体のせん断弾性係数 $G$ は，縦弾性係数 $E$ 及びポアソン比 $\nu$ の間に以下の関係式が成り立つ。

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

- 断面二次モーメント $I$

機械工学便覧より，断面二次モーメント $I$ は以下の式で表される。

$$I = \frac{1}{12}bh^3$$

- ばね定数 $K$

JEAC4601を参考にばね定数 $K$ は以下の式で表される。

$$K = \frac{1}{\frac{h^3}{3EI} + \frac{h}{GA_e}}$$

- 固有周期 $T$

JEAC4601を参考に固有周期 $T$ は以下の式で表される。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{10^3 K}}$$

なお，記号の説明及び数値を以下に示す。

記号	記載内容	値	単位
b	機器の幅	900	mm
h	機器の高さ	353	mm
W	機器の質量	2480	kg
E	縦弾性係数	9800	MPa
$\nu$	ポアソン比	0.5	-



(4) 耐震計算の条件

シールドドアは1階に設置されているため、1階におけるSs900の設計用震度を採用する。Ss900の階別設計用震度を表2.14.2.2-5に示す。また、供用状態はC<sub>s</sub>とし、最高使用温度は60℃の条件で計算を行う。

なお、シールドドアの固有値解析を行い固有周期が0.05秒以下であるため、剛構造であることを確認している。

(4-1) 耐震計算

i) 記号の説明及び数値

記号	記載内容	値	単位
F <sub>IV</sub>	シールドドア取付ボルトに垂直な方向の鉛直地震力によって作用する引張力	/	N
F <sub>IH</sub>	シールドドア取付ボルトに垂直な方向の水平地震力によって作用する引張力	/	N
F <sub>IG</sub>	レール架台取付ボルトに垂直な方向の自荷重によって作用する引張力	/	N
F <sub>2</sub>	シールドドア取付ボルトに平行な方向の水平地震力によって作用する引張応力	/	N
σ	シールドドア取付ボルトに作用する引張応力	/	MPa
m	シールドドアの質量	■	kg
g	重力加速度	9.80665	m/s <sup>2</sup>
C <sub>v</sub>	鉛直方向の設計用震度	0.90	—
h	シールドドアの重心高さ	176.5	mm
L <sub>1P</sub>	転倒支点から最も離れたシールドドア取付ボルトまでの距離 (鉛直方向)	/	mm
n <sub>f1j</sub>	転倒支点から L <sub>1j</sub> の距離にあるシールドドア取付ボルトの本数	/	本
L <sub>1j</sub>	転倒支点から j 番目のシールドドア取付ボルトまでの距離 (鉛直方向)	/	mm
C <sub>h</sub>	水平方向の設計用震度	1.26	—
L <sub>2K</sub>	転倒支点から最も離れたシールドドア取付ボルトまでの距離 (水平方向)	/	mm
n <sub>f2j</sub>	転倒支点から L <sub>2j</sub> の距離にあるシールドドア取付ボルトの本数	/	本
L <sub>2j</sub>	転倒支点から j 番目のシールドドア取付ボルトまでの距離 (鉛直方向)	/	mm

n	シールドドア取付ボルトの全本数	4	本
$\tau$	シールドドア取付ボルトにかかるせん断応力		MPa
Q	シールドドア取付ボルトにかかるせん断力		N
A	シールドドア取付ボルトの軸断面積	314.2	mm <sup>2</sup>
$f_t$	許容引張応力		MPa
$f_s$	許容せん断応力		MPa
F	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値		MPa

iii) シールドドア取付ボルトにかかる引張応力  $\sigma$  の計算

シールドドア取付ボルトに垂直な方向の鉛直地震力によって作用する引張力 $F_{1V}$ 、シールドドア取付ボルトに垂直な方向の水平地震力によって作用する引張力 $F_{1H}$ 及びレール架台取付ボルトに垂直な方向の自荷重によって作用する引張力 $F_{1G}$ は、片側の列のボルトを支点とする転倒を考え、これを他方の列のボルトで受けるものとして計算する。一方、シールドドア取付ボルトに平行な方向の地震力によって作用する引張力 $F_2$ は、すべてのボルトで均等に受けるものとして計算する。

シールドドア取付ボルトに作用する引張力は、シールドドア取付ボルトに垂直な方向の地震力によって作用する引張応力及びシールドドア取付ボルトに平行な方向の地震力によって作用する引張応力を組合せるものとする。

シールドドア取付ボルトの引張応力  $\sigma$  は、ボルトに垂直な方向の地震力によって発生する引張力をSRSS法により組み合わせ、JEAC4601等を参考に次式により求める。

$$F_{1V} = \frac{(m \cdot g \cdot C_V \cdot h) \cdot L_{1P}}{\sum_{j=1}^p n_{f1j} \cdot L_{1j}^2}$$

$$F_{1H} = \frac{(m \cdot g \cdot C_H \cdot h) \cdot L_{2K}}{\sum_{j=1}^k n_{f2j} \cdot L_{2j}^2}$$

$$F_{1G} = \frac{(m \cdot g \cdot h) \cdot L_{1P}}{\sum_{j=1}^p n_{f1j} \cdot L_{1j}^2}$$

$$F_2 = \frac{m \cdot g \cdot C_H}{n}$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{F_{1V}^2 + F_{1H}^2} + F_{1G} + F_2}{A}$$

結果として、シールドドア取付ボルトに作用する引張応力  $\sigma$  は  $\blacksquare$ MPa となった。

iii) シールドドア取付ボルトにかかるせん断応力  $\tau$  の計算

シールドドア取付ボルトについて、地震力によりシールドドア取付ボルトに垂直な方向の力（水平1方向及び鉛直1方向）について、力のベクトル合成を考慮した際に生じる応力をめ

る。シールドドアに作用するせん断荷重は、4本のボルトに均等に荷重が作用するものとする。

シールドドア取付ボルトのせん断応力  $\tau$  は、JEAC4601等を参考に次式により求める。

$$\tau = \frac{Q}{A \cdot n}$$

$$Q = m \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2}$$

結果として、シールドドア取付ボルトのせん断応力  $\tau$  は  $\blacksquare$ MPaとなった。

#### iv) 許容応力の計算

許容応力の計算は、JSME S NC1に示す計算方法により算出する。許容引張応力及び許容せん断応力の計算式を以下に示す。

$$f_t = \frac{1.5 \cdot F}{2}$$

$$f_s = \frac{1.5 \cdot F}{1.5\sqrt{3}}$$

また、引張力及びせん断力を同時に受ける場合の許容引張応力  $f_{ts}$  は次式で求める。

$$f_{ts} = \min(1.4 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau, f_t)$$

なお、F値についてはJSME S NC1の付録図表による設計降伏点  $S_y$  及び設計引張強さ  $S_u$  から求める。ボルトの最高使用温度である60°Cにおける  $S_y$  及び  $S_u$  の値は、JSME S NC1の数値から内挿して求める。表2.14.2.2-10にSS400のF値の計算に用いた  $S_y$  及び  $S_u$  の値を示す。

SS400はオーステナイト系ステンレス鋼又は高ニッケル合金ではないため、F値の計算式は以下のとおりである。

$$F = \min(S_y, 0.7S_u)$$

結果として、レール架台取付ボルトの許容引張応力  $f_t$  は146MPa、許容せん断応力  $f_s$  は120MPaとなった。

表 2.14.2.2-10 SS400 の F 値の計算に用いた  $S_y$  及び  $S_u$  の値

温度	40°C (文献値)	75°C (文献値)	60°C (内挿値)
$S_y, S_u$			
$S_y$ (MPa)	215	203	208
$S_u$ (MPa)	400	381	389

#### v) 評価結果

評価結果を表2.14.2.2-11に示す。評価結果から、シールドドア取付ボルトの引張応力及びせん断応力は許容応力を下回るため、耐震Sクラスの耐震性を有することを確認した。

表 2.14.2.2-11 シールドドア取付ボルトの評価結果

評価対象	設計用震度	評価部位	評価項目	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
シールドドア	$S_s900$ $C_H=1.26$ $C_H=1.26$ $C_V=0.90$	シールドドア取付ボルト	引張	■	146
			せん断	■	120

### 3.3 天井ポート

#### (1) 評価項目

天井ポートに対して、表2.14.2.2-3に示す設計用地震力で耐震性評価を行う。

#### (2) 評価対象

天井ポートの構造は、コンクリートセルの天井部に厚さ■の遮へい体をスライドさせるレールが取り付けられており、遮へい体がレール上を移動することで開閉する機構となっている。

天井ポートの外形図を図2.14.2.2-6に示す。評価対象は天井ポートのレール取付ボルト及びレール架台取付ボルトとし、仕様を表2.14.2.2-12に示す。また、ボルトに作用する力について図2.14.2.2-7に示す。

表 2.14.2.2-12 評価対象の仕様

評価設備	設備質量	評価部位	材料	呼び径
天井ポート	■	レール取付ボルト	SUS304	M8
		レール架台取付ボルト	SS400	

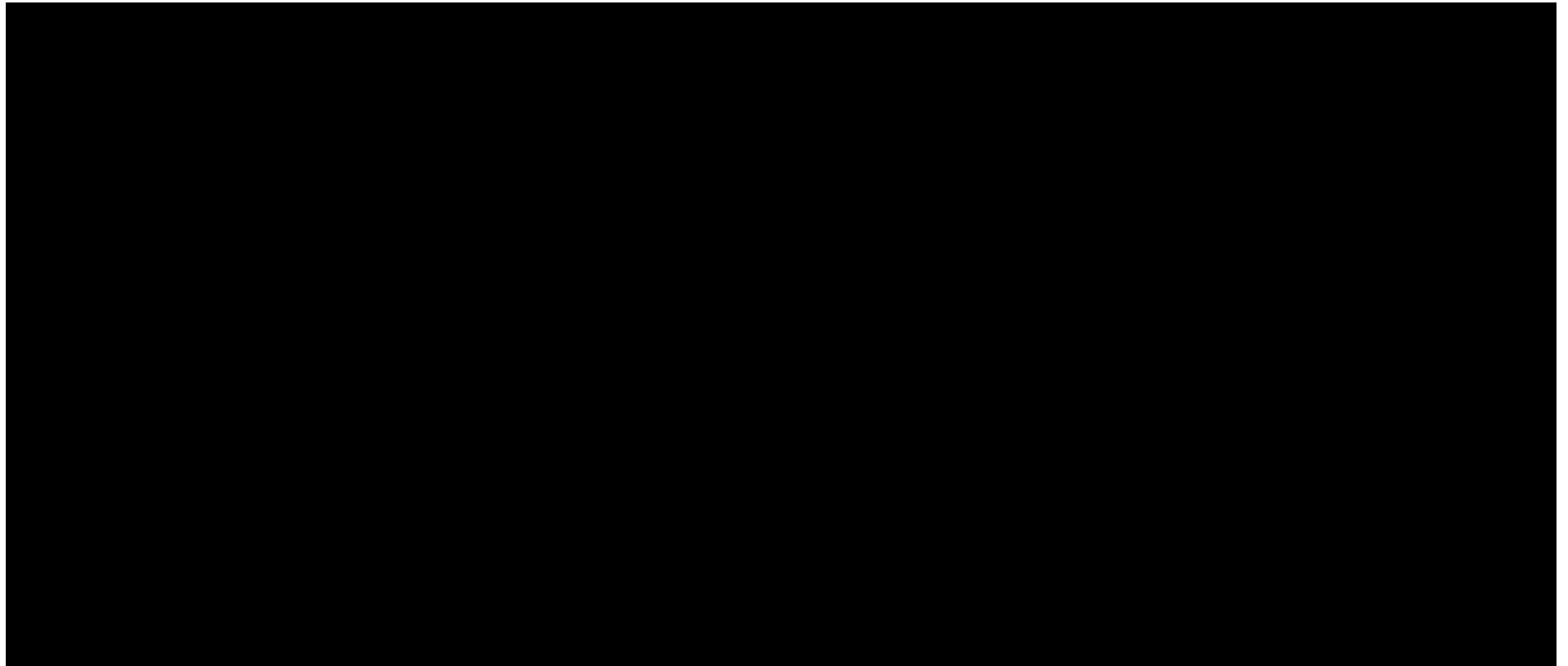


図 2. 14. 2. 2-6 天井ポートの外形図

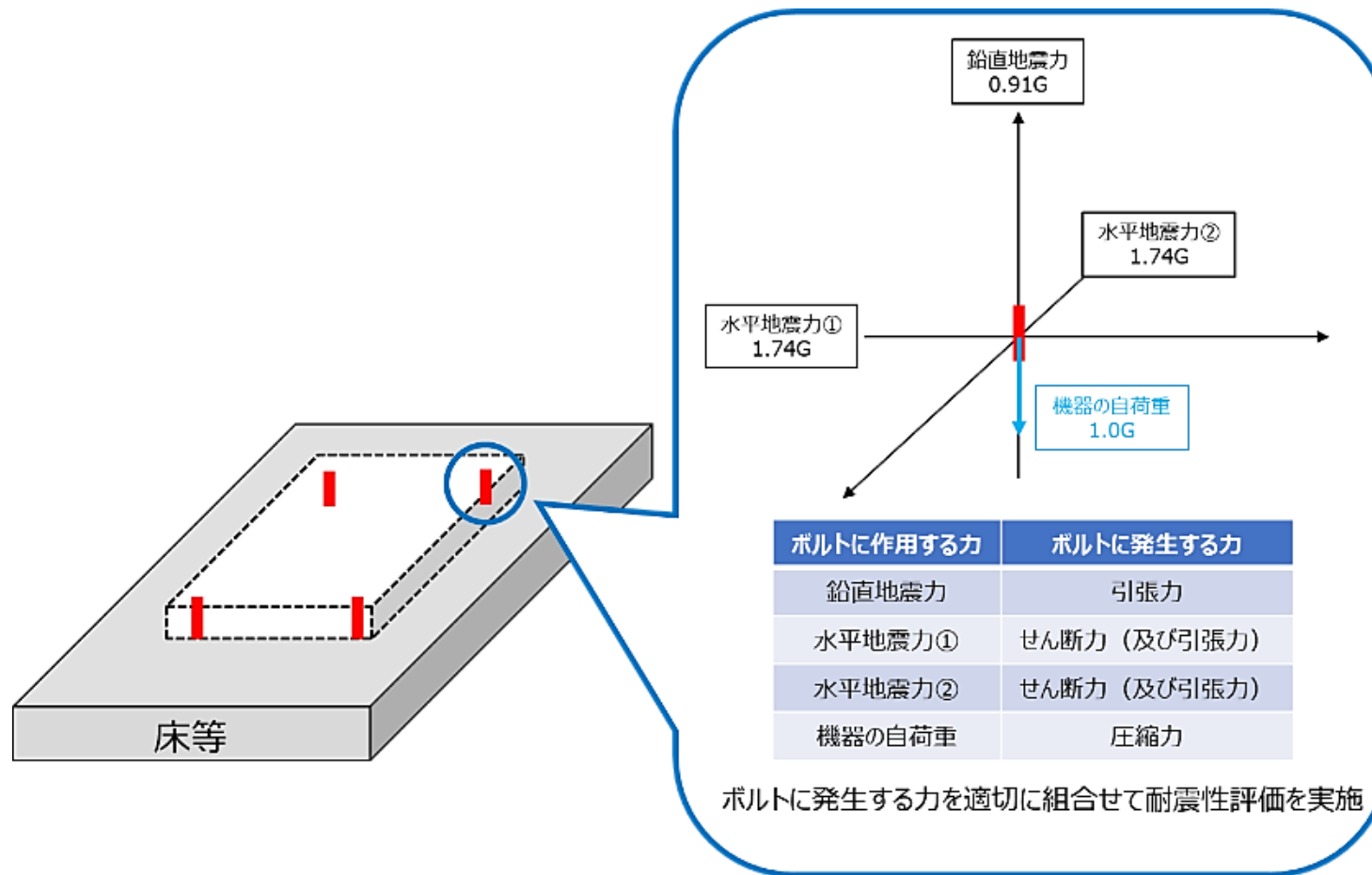


図 2. 14. 2. 2-7 ボルトに作用する力

### (3) 固有周期の計算

天井ポートを上端自由，下端固定の1質点系振動モデルとしてモデル化し，固有周期を算出し，剛構造（固有周期が0.05秒以下）であることを確認する。以下の各パラメータについて計算し，固有周期を求める。結果として，固有周期は $3.4 \times 10^{-4}$ 秒となり0.05秒以下であるため剛構造であることを確認した。

- 有効せん断断面積 $A_e$

機械工学便覧のせん断応力分布より，せん断応力の最大値 $\tau_{\max}$ から有効せん断断面積 $A_e$ は以下の式で表される。

$$A_e = \frac{2}{3}bh$$

- せん断弾性係数 $G$

等方性体のせん断弾性係数 $G$ は，縦弾性係数 $E$ 及びポアソン比 $\nu$ の間に以下の関係式が成り立つ。

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

- 断面二次モーメント $I$

機械工学便覧より，断面二次モーメント $I$ は以下の式で表される。

$$I = \frac{1}{12}bh^3$$

- ばね定数 $K$

JEAC4601を参考にばね定数 $K$ は以下の式で表される。

$$K = \frac{1}{\frac{h^3}{3EI} + \frac{h}{GA_e}}$$

- 固有周期 $T$

JEAC4601を参考に固有周期 $T$ は以下の式で表される。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{10^3 K}}$$

なお，記号の説明及び数値を以下に示す。

記号	記載内容	値	単位
b	機器の幅	980	mm
h	機器の高さ	575	mm
W	機器の質量	2161	kg
E	縦弾性係数	200600	MPa
$\nu$	ポアソン比	0.3	-

(4) 耐震計算の条件

天井ポートは2階の床部に設置されるため、2階におけるSs900の設計用震度で評価する。Ss900の階別設計用震度を表2.14.2.2-5に示す。また、供用状態はC<sub>s</sub>とし、最高使用温度は60℃の条件で計算を行う。

なお、天井ポートの固有値解析を行い固有周期が0.05秒以下であるため、剛構造であることを確認している。

(4-1) レール取付ボルトに対する耐震計算

i) 記号の説明及び数値

記号	記載内容	値	単位
F <sub>1H1</sub>	レール取付ボルトに垂直な方向の水平地震力によって作用する引張力	/	N
F <sub>1H2</sub>	レール取付ボルトに垂直な方向の水平地震力によって作用する引張力	/	N
F <sub>2</sub>	レール取付ボルトに平行な方向の地震力によって作用する引張力	/	N
σ	レール取付ボルトに作用する引張応力	/	MPa
m	遮へい体の質量	■	kg
g	重力加速度	9.80665	m/s <sup>2</sup>
C <sub>v</sub>	鉛直方向の設計用震度	0.91	—
h	遮へい体の重心高さ	231.5	mm
L <sub>1P</sub>	転倒支点から最も離れたレール取付ボルトまでの距離（水平方向1）	/	mm
n <sub>f1j</sub>	転倒支点から L <sub>1j</sub> の距離にあるレール取付ボルトの本数	/	本
L <sub>1j</sub>	転倒支点から j 番目のレール取付ボルトまでの距離（水平方向1）	/	mm
C <sub>H</sub>	水平方向の設計用震度	1.74	—
L <sub>2K</sub>	転倒支点から最も離れたレール取付ボルトまでの距離（水平方向2）	/	mm
n <sub>f2j</sub>	転倒支点から L <sub>2j</sub> の距離にあるレール取付ボルトの本数	/	本
L <sub>2j</sub>	転倒支点から j 番目のレール取付ボルトまでの距離（水平方向2）	/	mm
n	レール取付ボルトの全本数	40	本
τ	レール取付ボルトにかかるせん断応力	/	MPa



Q	レール取付ボルトにかかるせん断力		N
A	レール取付ボルトの軸断面積	50.3	mm <sup>2</sup>
f <sub>t</sub>	許容引張応力		MPa
f <sub>s</sub>	許容せん断応力		MPa
F	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値		MPa

iii) レール取付ボルトにかかる引張応力  $\sigma$  の計算

レール取付ボルトに垂直な方向の水平地震力によって作用する引張力 $F_{1H1}$ 及び $F_{1H2}$ は、片側の列のボルトを支点とする転倒を考え、これを他方の列のボルトで受けるものとして計算する。

一方、レール取付ボルトに平行な方向の地震力によって作用する引張力 $F_2$ は、すべてのボルトで均等に受けるものとして計算する。

レール取付ボルトに作用する引張力 $F_2$ は、レール取付ボルトに垂直な方向の地震力によって作用する引張力及びレール取付ボルトに平行な方向の地震力によって作用する引張力を組合せるものとする。

レール取付ボルトの引張応力  $\sigma$  は、**ボルトに垂直な方向の地震力によって発生する引張力をSRSS法により組み合わせ**、JEAC4601等を参考に次式により求める。

$$F_{1H1} = \frac{\{m \cdot g \cdot C_H \cdot h\} \cdot L_{1P}}{\sum_{j=1}^p n_{f1j} \cdot L_{1j}^2}$$

$$F_{1H2} = \frac{\{m \cdot g \cdot C_H \cdot h\} \cdot L_{2K}}{\sum_{j=1}^k n_{f2j} \cdot L_{2j}^2}$$

$$F_2 = \frac{m \cdot g \cdot (1 - C_V)}{n}$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{F_{1H1}^2 + F_{1H2}^2} + F_2}{A}$$

結果として、レール取付ボルトに作用する引張力  $\sigma$  は ■MPa となった。

iii) レール取付ボルトにかかるせん断応力  $\tau$  の計算

レール取付ボルトについて、地震力によりレール取付ボルトに垂直な方向の力（水平2方向）**について、力のベクトル合成を考慮**した際に生じる応力を求める。レール取付ボルトに作用するせん断荷重は、40本のレール取付ボルトに均等に荷重が作用するものとする。

レール取付ボルトのせん断応力  $\tau$  は、JEAC4601等を参考に次式により求める。

$$Q = m \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + C_H^2}$$

$$\tau = \frac{Q}{A \cdot n}$$

結果として、レール取付ボルトのせん断応力  $\tau$  は  $\blacksquare$ MPa となった。

iv) 許容応力の計算

許容応力の計算は、JSME S NC1に示す計算方法により算出する。許容引張応力及び許容せん断応力の計算式を以下に示す。

$$f_t = \frac{1.5 \cdot F}{2}$$

$$f_s = \frac{1.5 \cdot F}{1.5\sqrt{3}}$$

また、引張力及びせん断力を同時に受ける場合の許容引張応力  $f_{ts}$  は次式で求める。

$$f_{ts} = \min(1.4 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau, f_t)$$

なお、F値についてはJSME S NC1の付録図表による設計降伏点  $S_y$  及び設計引張強さ  $S_u$  から求める。ボルトの最高使用温度である60°Cにおける  $S_y$  及び  $S_u$  の値は、JSME S NC1の数値から内挿して求める。表2.14.2.2-10にSS400のF値の計算に用いた  $S_y$  及び  $S_u$  の値を示す。

SUS304はオーステナイト系ステンレス鋼であるため、F値の計算式は以下のとおりである。ただし、 $S_y(RT)$  は40°Cにおける設計降伏点を意味する。

$$F = \min(1.35S_y, 0.7S_u, S_y(RT))$$

結果として、レール架台取付ボルトの許容引張応力  $f_t$  は153MPa、許容せん断応力  $f_s$  は118MPa となった。

v) 評価結果

評価結果を表2.14.2.2-13に示す。評価結果から、レール取付ボルトのせん断応力は許容応力を下回るため、耐震クラスの耐震性を有することを確認した。

表 2.14.2.2-13 レール取付ボルトの評価結果

評価設備	設計用震度	評価部位	評価項目	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
天井ポート	$\left( \begin{array}{l} S_s900 \\ C_H=1.74 \\ C_H=1.74 \\ C_V=0.91 \end{array} \right)$	レール取付 ボルト	引張	$\blacksquare$	153
			せん断	$\blacksquare$	118

(4-2) レール架台取付ボルトに対する耐震計算

i) 記号の説明及び数値

記号	記載内容	値	単位
$F_{1H1}$	レール架台取付ボルトに垂直な方向の水平地震力によって作用する引張力	/	N
$F_{1H2}$	レール架台取付ボルトに垂直な方向の水平地震力によって作用する引張力	/	N
$F_2$	レール架台取付ボルトに平行な方向の地震力によって作用する引張力	/	N
$\sigma$	レール架台取付ボルトに作用する引張応力	/	MPa
$m$	遮へい体の質量	■	kg
$g$	重力加速度	9.80665	m/s <sup>2</sup>
$C_v$	鉛直方向の設計用震度	0.91	—
$h$	遮へい体の重心高さ	231.5	mm
$L_{1P}$	転倒支点から最も離れたレール架台取付ボルトまでの距離（水平方向1）	/	mm
$n_{f1j}$	転倒支点から $L_{1j}$ の距離にあるレール架台取付ボルトの本数	/	本
$L_{1j}$	転倒支点から $j$ 番目のレール架台取付ボルトまでの距離（水平方向1）	/	mm
$C_H$	水平方向の設計用震度	1.74	—
$L_{2K}$	転倒支点から最も離れたレール架台取付ボルトまでの距離（水平方向2）	/	mm
$n_{f2j}$	転倒支点から $L_{2j}$ の距離にあるレール架台取付ボルトの本数	/	本
$L_{2j}$	転倒支点から $j$ 番目のレール架台取付ボルトまでの距離（水平方向2）	/	mm
$n$	レール架台取付ボルトの全本数	40	本
$\tau$	レール架台取付ボルトにかかるせん断応力	/	MPa
$Q$	レール架台取付ボルトにかかるせん断力	/	N
$A$	レール架台取付ボルトの軸断面積	50.3	mm <sup>2</sup>
$f_t$	許容引張応力	/	MPa
$f_s$	許容せん断応力	/	MPa
$F$	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	/	MPa

iii) レール架台取付ボルトにかかる引張応力  $\sigma$  の計算

レール架台取付ボルトに垂直な方向の水平地震力によって作用する引張力  $F_{1H1}$  及び  $F_{1H2}$  は、片側の列のボルトを支点とする転倒を考え、これを他方の列のボルトで受けるものとして計算する。一方、レール架台取付ボルトに平行な方向の地震力によって作用する引張力  $F_2$  は、すべてのボルトで均等に受けるものとして計算する。

レール架台取付ボルトに作用する引張力は、レール架台取付ボルトに垂直な方向の地震力によって作用する引張力及びレール架台取付ボルトに平行な方向の地震力によって作用する引張力を組合せるものとする。

レール架台取付ボルトの引張応力  $\sigma$  は、ボルトに垂直な方向の地震力によって発生する引張力をSRSS法により組み合わせ、JEAC4601等を参考に次式により求める。

$$F_{1H1} = \frac{\{m \cdot g \cdot C_H \cdot h\} \cdot L_{1P}}{\sum_{j=1}^p n_{f1j} \cdot L_{1j}^2}$$
$$F_{1H2} = \frac{\{m \cdot g \cdot C_H \cdot h\} \cdot L_{2K}}{\sum_{j=1}^k n_{f2j} \cdot L_{2j}^2}$$
$$F_2 = \frac{m \cdot g \cdot (1 - C_V)}{n}$$
$$\sigma = \frac{\sqrt{F_{1H1}^2 + F_{1H2}^2 + F_2^2}}{A}$$

結果として、レール架台取付ボルトに作用する引張力  $\sigma$  は  $\blacksquare$ MPa となった。

iii) レール架台取付ボルトにかかるせん断応力  $\tau$  の計算

レール架台取付ボルトについて、地震力によりレール架台取付ボルトに垂直な方向の力（水平2方向）について、力のベクトル合成を考慮した際に生じる応力を求める。レール架台取付ボルトに作用するせん断荷重は、40本のレール架台取付ボルトに均等に荷重が作用するものとする。

レール架台取付ボルトのせん断応力  $\tau$  は、JEAC4601等を参考に次式により求める。

$$Q = m \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + C_H^2}$$
$$\tau = \frac{Q}{A \cdot n}$$

結果として、レール架台取付ボルトのせん断応力  $\tau$  は  $\blacksquare$ MPa となった。

iv) 許容応力の計算

許容応力の計算は、JSME S NC1に示す計算方法により算出する。許容引張応力及び許容せん断応力の計算式を以下に示す。

$$f_t = \frac{1.5 \cdot F}{2}$$

$$f_s = \frac{1.5 \cdot F}{1.5\sqrt{3}}$$

また、引張力及びせん断力を同時に受ける場合の許容引張応力 $f_{ts}$ は次式で求める。

$$f_{ts} = \min(1.4 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau, f_t)$$

なお、F値についてはJSME S NC1の付録図表による設計降伏点 $S_y$ 及び設計引張強さ $S_u$ から求める。ボルトの最高使用温度である60°Cにおける $S_y$ 及び $S_u$ の値は、JSME S NC1の記載の数値から内挿して求める。表2.14.2.2-10にSS400のF値の計算に用いた $S_y$ 及び $S_u$ の値を示す。

SS400はオーステナイト系ステンレス鋼又は高ニッケル合金ではないため、F値の計算式は以下のとおりである。

$$F = \min(S_y, 0.7S_u)$$

結果として、レール架台取付ボルトの許容引張応力 $f_t$ は156MPa、許容せん断応力 $f_s$ は120MPaとなった。

#### v) 評価結果

評価結果を表2.14.2.2-14に示す。評価結果から、レール架台取付ボルトのせん断応力は許容応力を下回るため、耐震Sクラスの耐震性を有することを確認した。

表 2.14.2.2-14 レール架台取付ボルトの評価結果

評価設備	設計用震度	評価部位	評価項目	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
天井ポート	Ss900 $\left( \begin{array}{l} C_H=1.74 \\ C_H=1.74 \\ C_V=0.91 \end{array} \right)$	レール架台 取付 ボルト	引張	■	156
			せん断	■	120

#### 4. アンカー部評価

JEAG4601に基づき、セル間遮へい扉、シールドドア及び天井ポートの取付ボルトに対して、アンカー部評価を行った結果を表2.14.2.2-15に示す。結果として、コンクリートに固定される取付ボルトに対してコンクリートのコーン状破壊が発生しないことを確認した。

表 2.14.2.2-15 アンカー部評価結果

評価設備	評価部位	基礎ボルト 1本あたりの 引張荷重 p(N)	基礎ボルト 1本あたりの 許容引張 荷重 p <sub>a</sub> (N)	基礎ボルト 1本あたりの せん断荷 重 q(N)	基礎ボルト 1本あたり の許容せん 断荷重 q <sub>a</sub> (N)	引張荷重と せん断荷重 の組合せ※3
セル間 遮へい 扉	レール取 付ボルト	基礎ボルトはコンクリートに固定されないため評価なし				
	レール架 台取付ボ ルト	2075	8848	1957	21175	0.1
シールド ドア	シールド ドア取付 ボルト	14466	22172	13862	62013	0.5
天井 ポート	レール取 付ボルト	基礎ボルトはコンクリートに固定されないため評価なし				
	レール架 台取付ボ ルト	635	2480	1304	21175	0.1

※3  $(p/p_a)^2 + (q/q_a)^2$ で計算され、1以下であればコーン状破壊は発生しない。

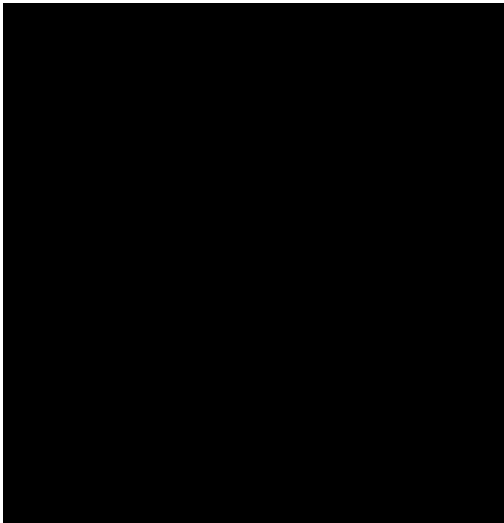
#### 5. コンクリートセル付帯設備の耐震性

以上のことから、コンクリートセル付帯設備についてSクラスに対する耐震性を有することを確認した。

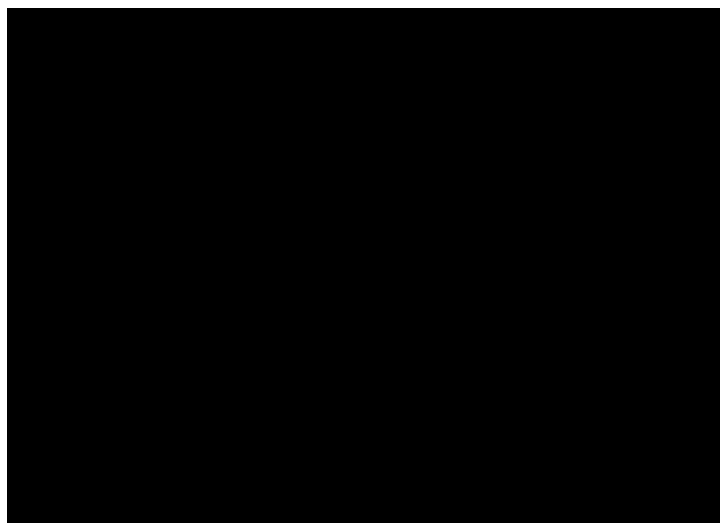
各付帯設備の概略構造図について

各付帯設備の概略構造図を以下に示す。

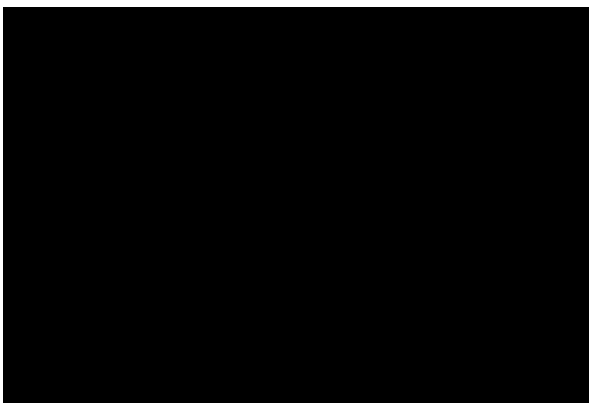
埋-1 遮へい窓



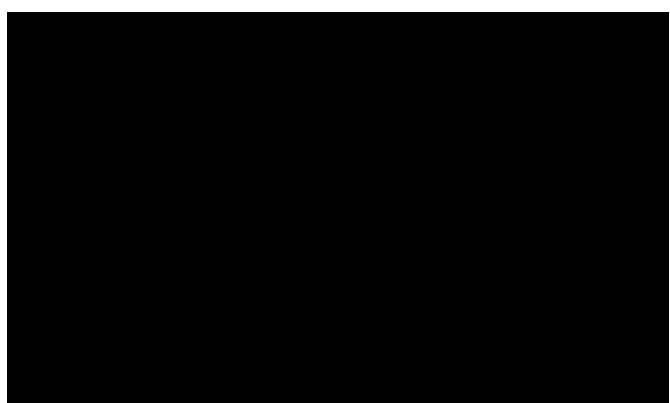
埋-2 背面遮へい扉



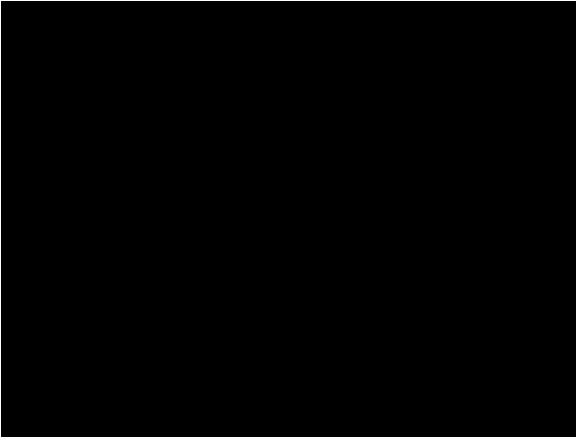
埋-3 電線管 (コンジット管)



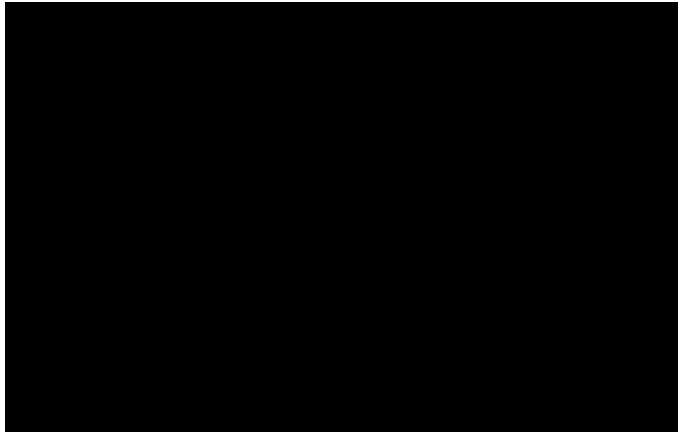
埋-4 インセルモニタ



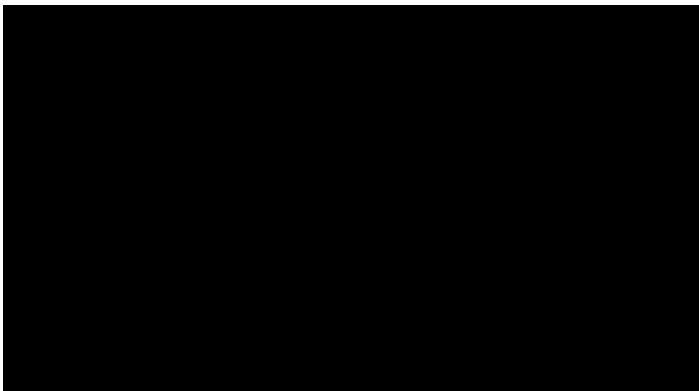
埋-5 セル差圧計用導圧管



埋-6 マニプレータ（スルーウォールチューブ）



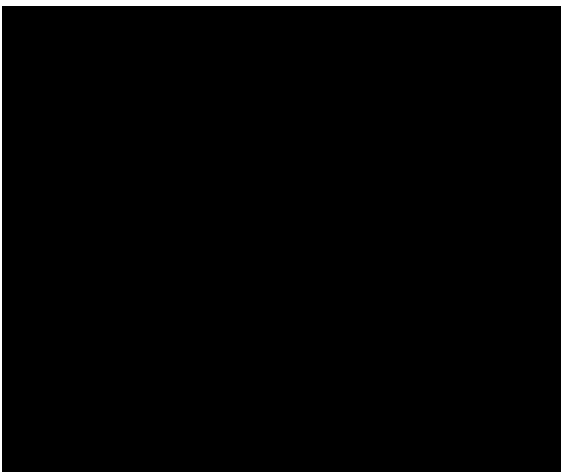
埋-7 ITVカメラ



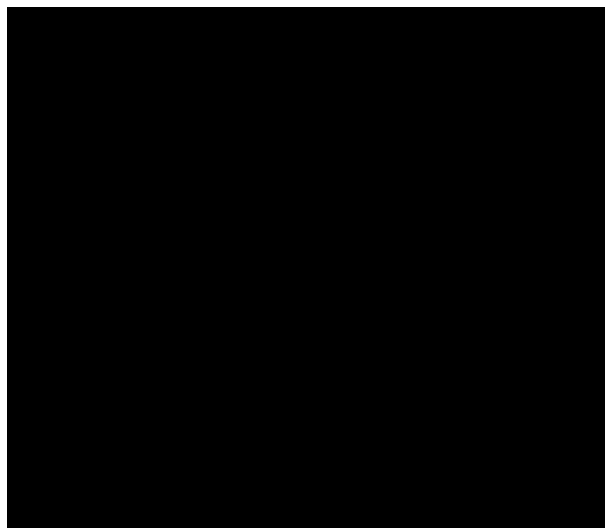
埋-8 遮へいプラグ（予備的措置）



埋-9  $\gamma$ 線モニタ（コンジット管）

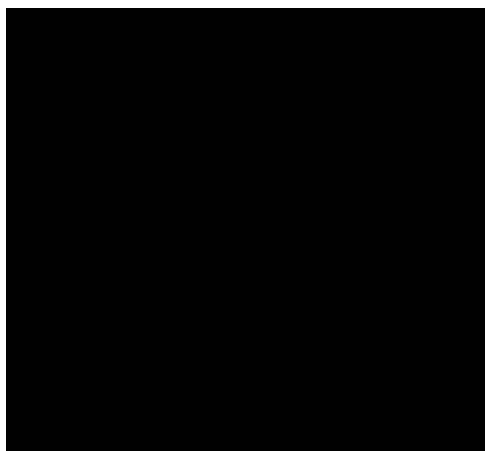


埋-10 ライニング

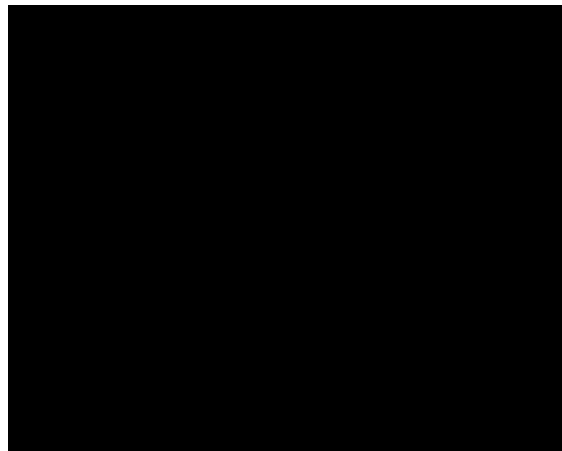




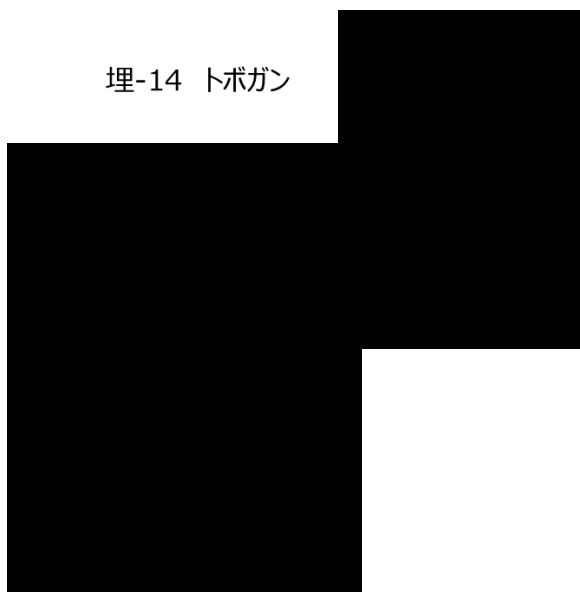
埋-11 予備ポート（予備的措置）



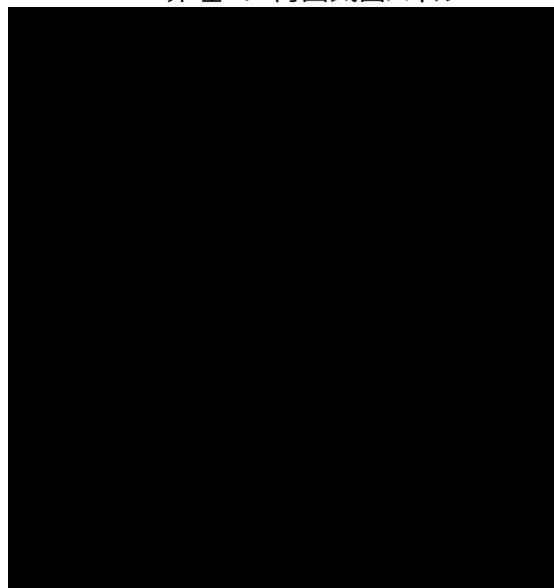
埋-12 消火配管（逆止弁まで）,  
埋-13 ユーティリティ配管



埋-14 トボガン



非埋-4 背面気密パネル



## コンクリートセル給排気弁の耐震性評価について

## 1. 概要

コンクリートセルの給排気弁は、コンクリートセルの静的閉じ込めを担保するために耐震Sクラスとして設計している。コンクリートセルの給排気弁の耐震性の確認は、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」（以下「JEAG4601」という。）に基づき、機能維持確認済加速度とSs900の設計用加速度との比較で行ったため、その詳細を示す。

## 2. 給排気弁の主仕様

給排気弁の主な仕様を表2.14.2.3-1に示す。

表 2.14.2.3-1 給排気弁の主な仕様

名称	安全機能			配管呼び径	主要材質	用途
	閉込	遮へい	臨界			
給排気弁	○	—	—	125A 150A 250A	ステンレス	負圧維持機能喪失時にFC（フェールクローズ）になり、セル内を静的閉じ込めするものである。

## 3. 耐震性評価

## (1) 評価対象

コンクリートセルの閉じ込め機能を担保するため、コンクリートセルの給排気弁（ともにバタフライ弁）を耐震Sクラスとするため、当該弁の耐震性評価を行う。

なお、コンクリートセルの給排気管は振動数基準定ピッチスパン法で剛構造となるよう設計する。

## (2) 動的機能維持評価

JEAG4601に基づき、耐震性の評価方法として1800A以下のバタフライ弁は機能維持確認済加速度との比較評価を行うと記載されており、コンクリートセルの給排気弁は1800A以下であるため、給排気弁が設置される位置におけるSs900の設計用加速度（表2.14.2.3-2の2階における設計用加速度）と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の動的機能維持を評価する。配管系の固有値が剛となる場合は、JEAG4601によると「床応答スペクトルのZPA（ゼロ周期加速度）を弁駆動部応答加速度と見なして評価を行う」とあ

るが、本評価では一定の余裕を考慮し1.2倍した値（1.2ZPA）を用いて弁駆動部の応答加速度を算出し、機能維持評価を行う。

なお、JEAG4601に基づき、Ss900の設計用加速度が機能維持確認済加速度を超過する場合は、構造強度評価を実施する。

表2.14.2.3-2 Ss900の階別設計用加速度

( $\times 9.80665\text{m/s}^2$ )

階層	水平設計用加速度 <sup>※1</sup>		鉛直設計用加速度 <sup>※1</sup>
	EW 方向	NS 方向	UD 方向
	$C_H$	$C_H$	$C_V$
2 階 (T.P. +47.8m)	1.74	1.74	0.91
1 階 (T.P. +40.8m)	1.26	1.26	0.90
地下 1 階 (T.P. +33.3m)	0.84	0.84	0.89

※1 Ss900に対する建屋の床応答加速度の1.2倍を考慮している。

i) JEAG4601に基づく弁（バタフライ弁）の機能維持確認済加速度

JEAG4601に基づき弁（バタフライ弁）の機能維持確認済加速度を表2.14.2.3-3に示す。

表 2.14.2.3-3 弁（バタフライ弁）の機能維持確認済加速度

( $\times 9.80665\text{m/s}^2$ )

設備名称	形式	方向	機能維持確認済加速度
給排気弁	バタフライ弁	水平	6.0
		鉛直	6.0

ii) 評価結果

Ss900の設計用加速度と機能維持確認済加速度との比較結果を表2.14.2.3-4に示す。評価結果より、評価対象のバタフライ弁についてSs900の設計用加速度が機能維持確認済加速度を下回るため、耐震Sクラスの耐震性を有することを確認した。

なお、Ss900の設計用加速度が機能維持確認済加速度を下回るため、JEAG4601に基づき構造強度は担保されている。

表 2.14.2.3-4 Ss900 の設計用加速度と機能維持確認済加速度との比較結果

設備名称	Ss900の設計用加速度 ( $\times 9.80665\text{m/s}^2$ )		機能維持確認済加速度 ( $\times 9.80665\text{m/s}^2$ )	
	水平	鉛直	水平	鉛直
給排気弁	1.74	0.91	6.0	6.0
	水平2方向の組合せ <sup>※1</sup>			
	2.47			

※1 水平方向のベクトル合成を考慮

## 第2棟における安全上重要な施設に対する波及的影響

構築物、系統及び機器の安全機能喪失による公衆被ばく影響を評価し、発生事故当たり 5mSv を超えるもの及び設計評価事故の評価において、公衆の被ばく線量が 5mSv を超えないよう影響を緩和する機能を有する設備としたものは、安全上重要な施設として選定している。安全上重要な施設の機能維持のために安全上重要な施設に対する波及的影響を確認する。

## 1. 第2棟における安全上重要な施設

補足説明資料「2.14.8 信頼性に対する設計上の考慮」の別紙-2に記載のとおり、第2棟における安全上重要な施設はコンクリートセル及び試料ピットであるため、コンクリートセル及び試料ピットに対する波及的影響を評価する。

## 2. 第2棟のコンクリートセル及び試料ピットに波及的影響を及ぼす設備の洗い出し

コンクリートセル及び試料ピットに対する波及的影響を及ぼす可能性がある設備を第2棟の燃料デブリ等の受入、分析及び払出フローと機器配置から洗い出す。

図 2.14.2.4-1 第2棟の燃料デブリ等の受入、分析及び払出フロー及び図 2.14.2.4-2 第2棟機器配置(地下1階)、図 2.14.2.4-3 第2棟機器配置(1階)、図 2.14.2.4-4 第2棟機器配置(2階)を用いて、コンクリートセル及び試料ピットに対する波及的影響を及ぼす可能性がある設備を整理した。

また、安全上重要な施設であるコンクリートセルの給排気弁の位置を図 2.14.2.4-5 及び図 2.14.2.4-6 に示す。

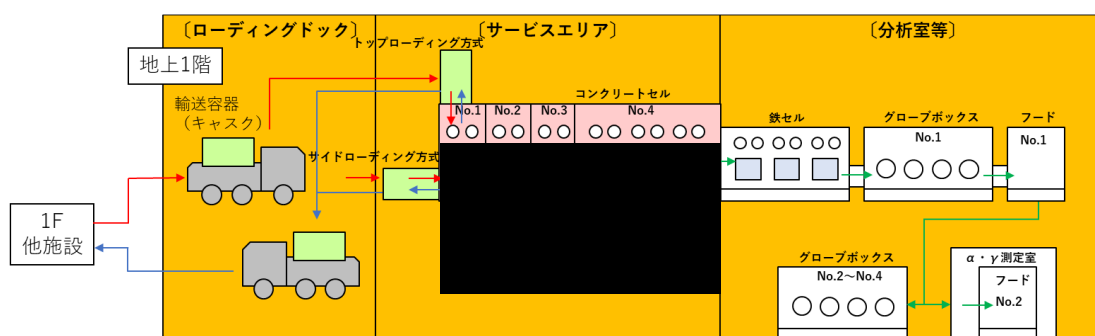


図 2.14.2.4-1 第2棟の燃料デブリ等の受入、分析及び払出フロー

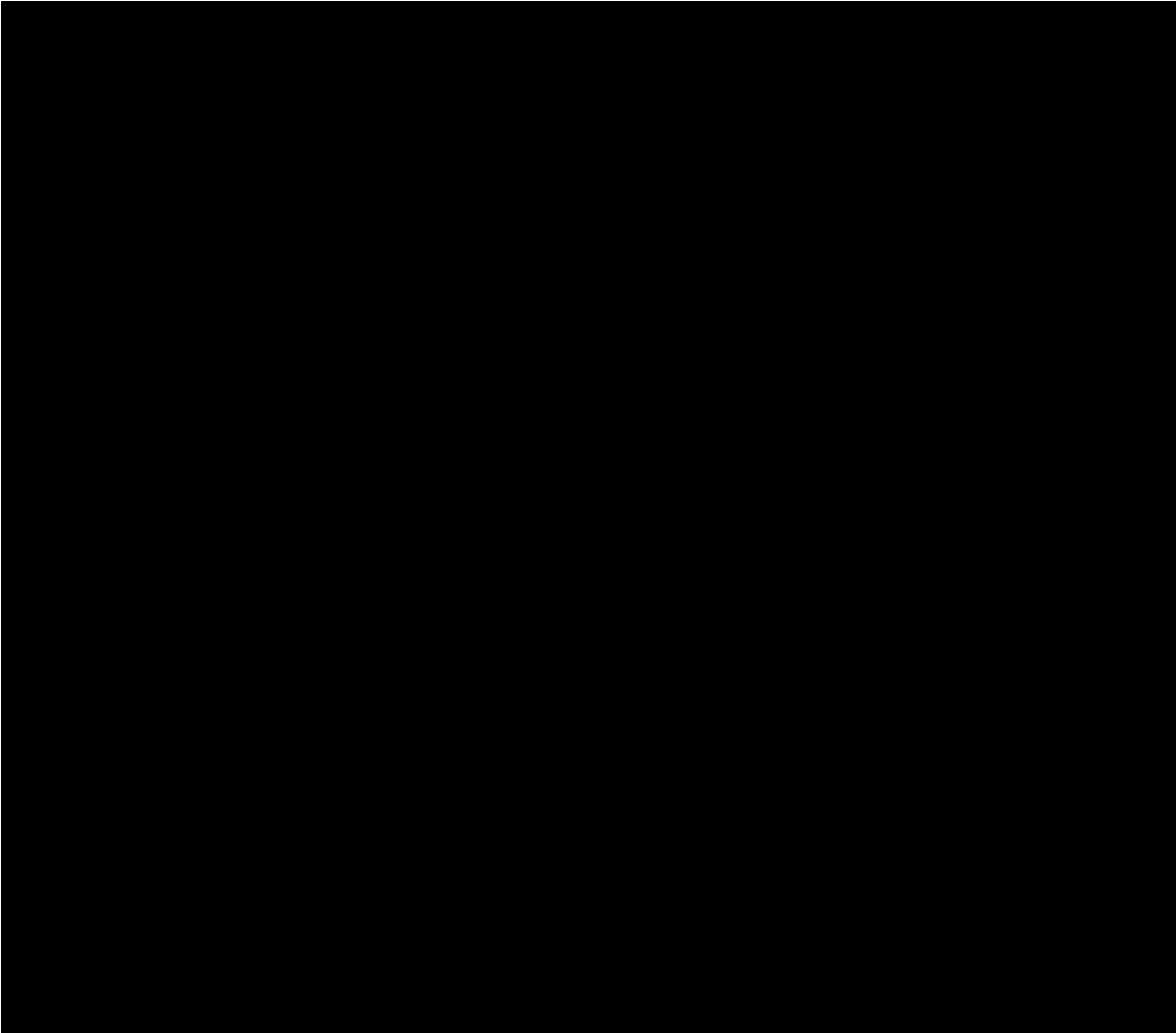


図 2.14.2.4-2 第2棟機器配置(地下1階)

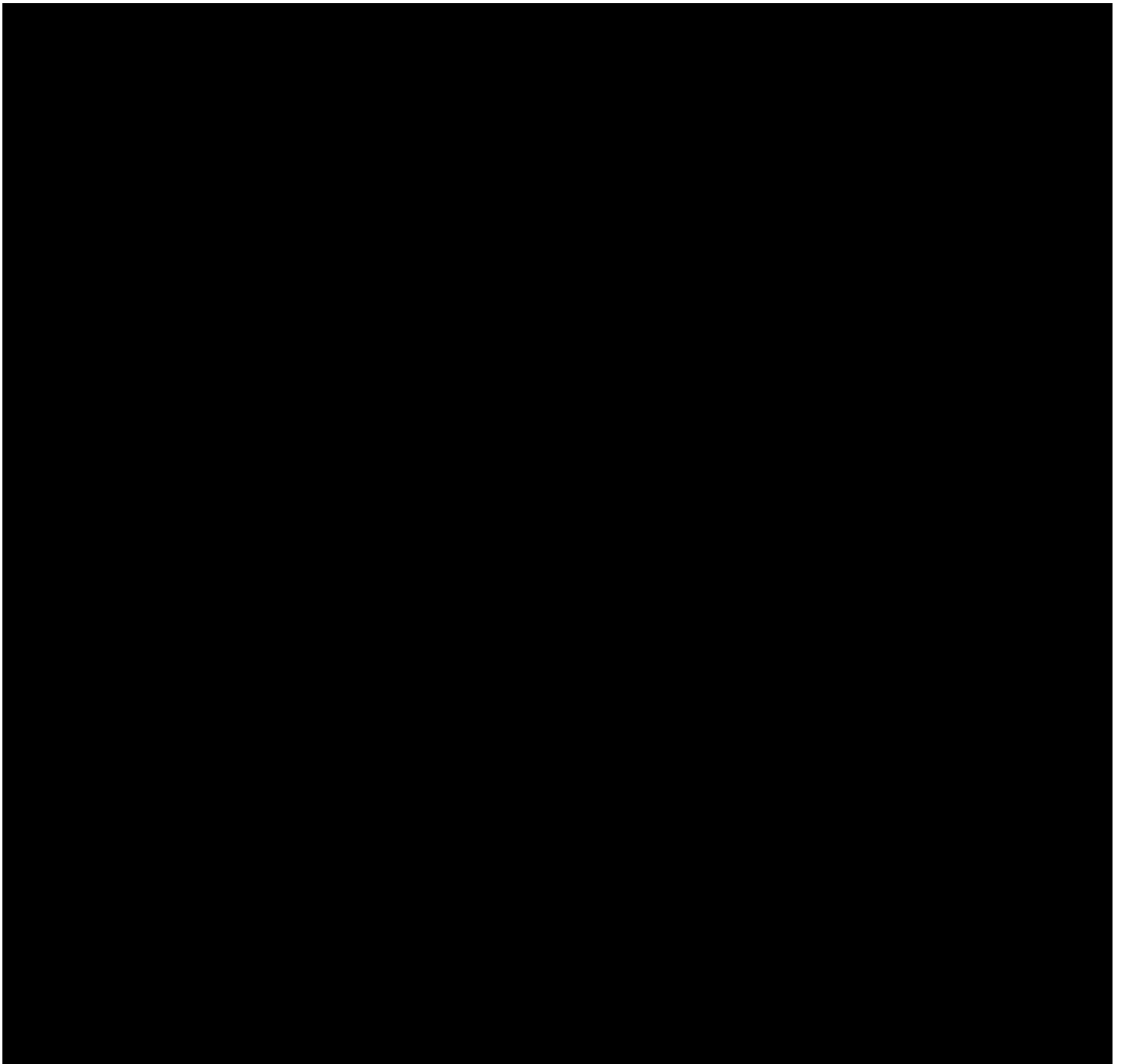


図 2. 14. 2. 4-3 第 2 棟機器配置(1 階)

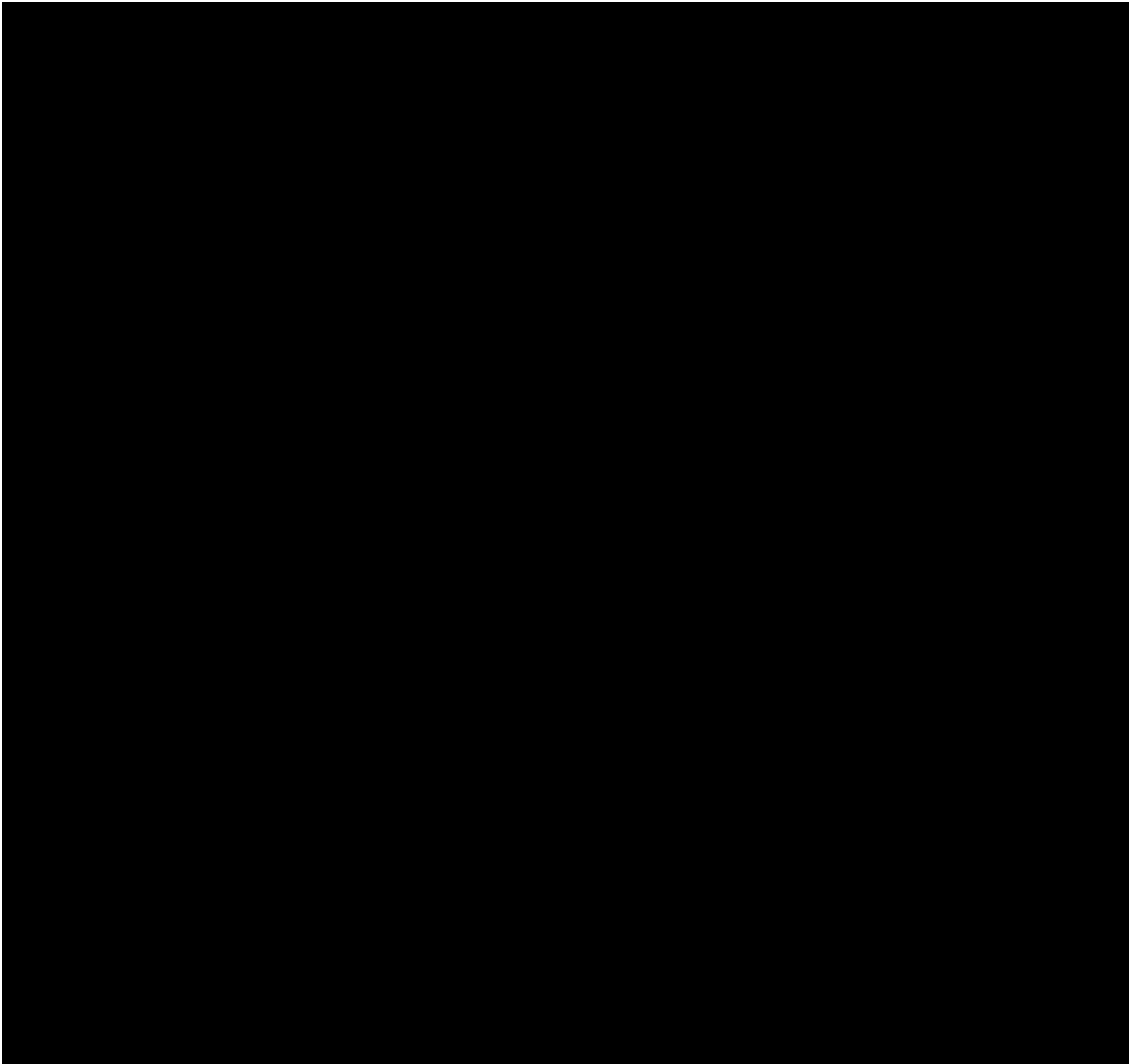


図 2. 14. 2. 4-4 第 2 棟機器配置(2 階)



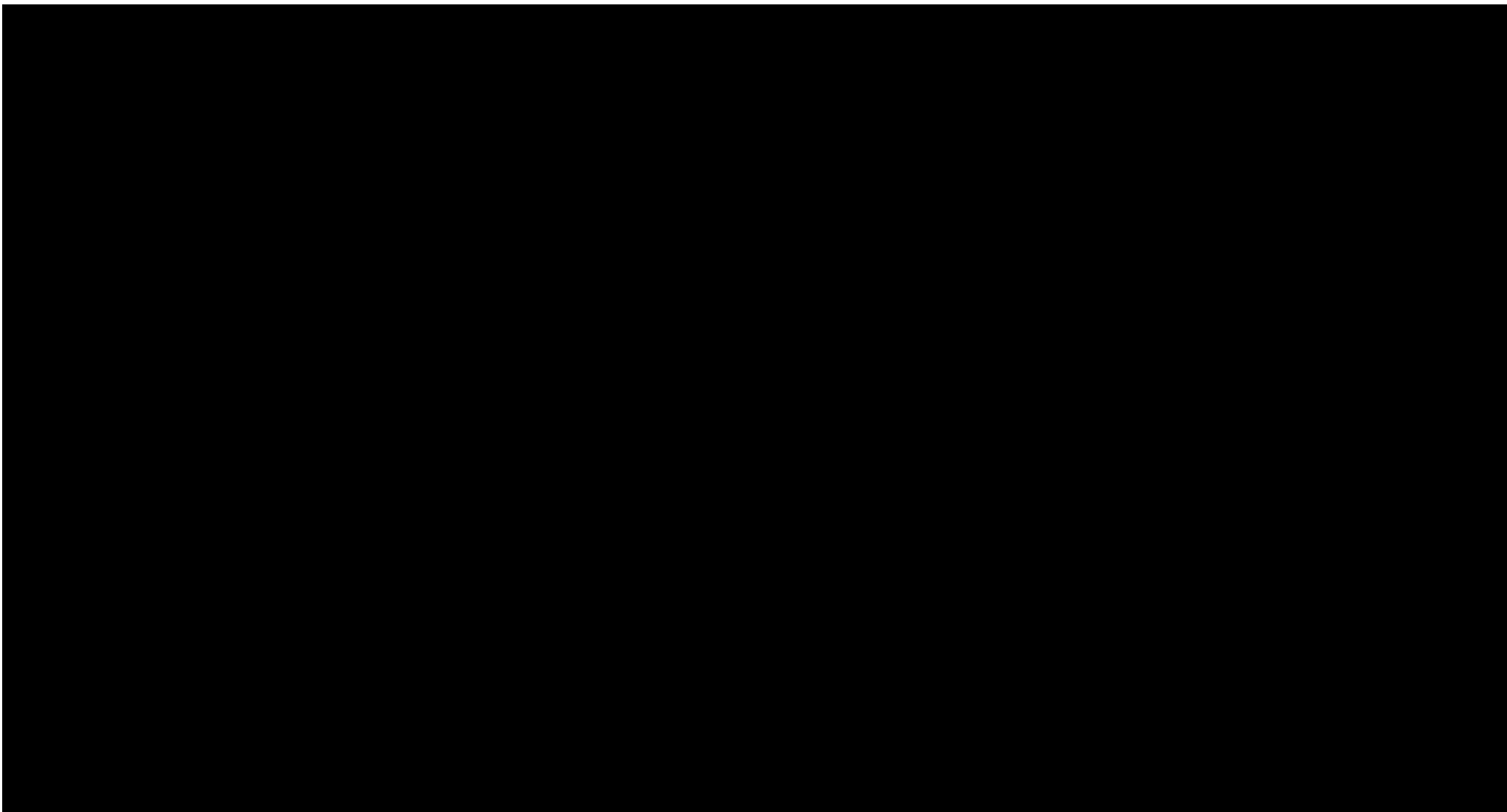


図 2. 14. 2. 4-5 地下 1 階に設置されるコンクリートセル排気弁の設置位置

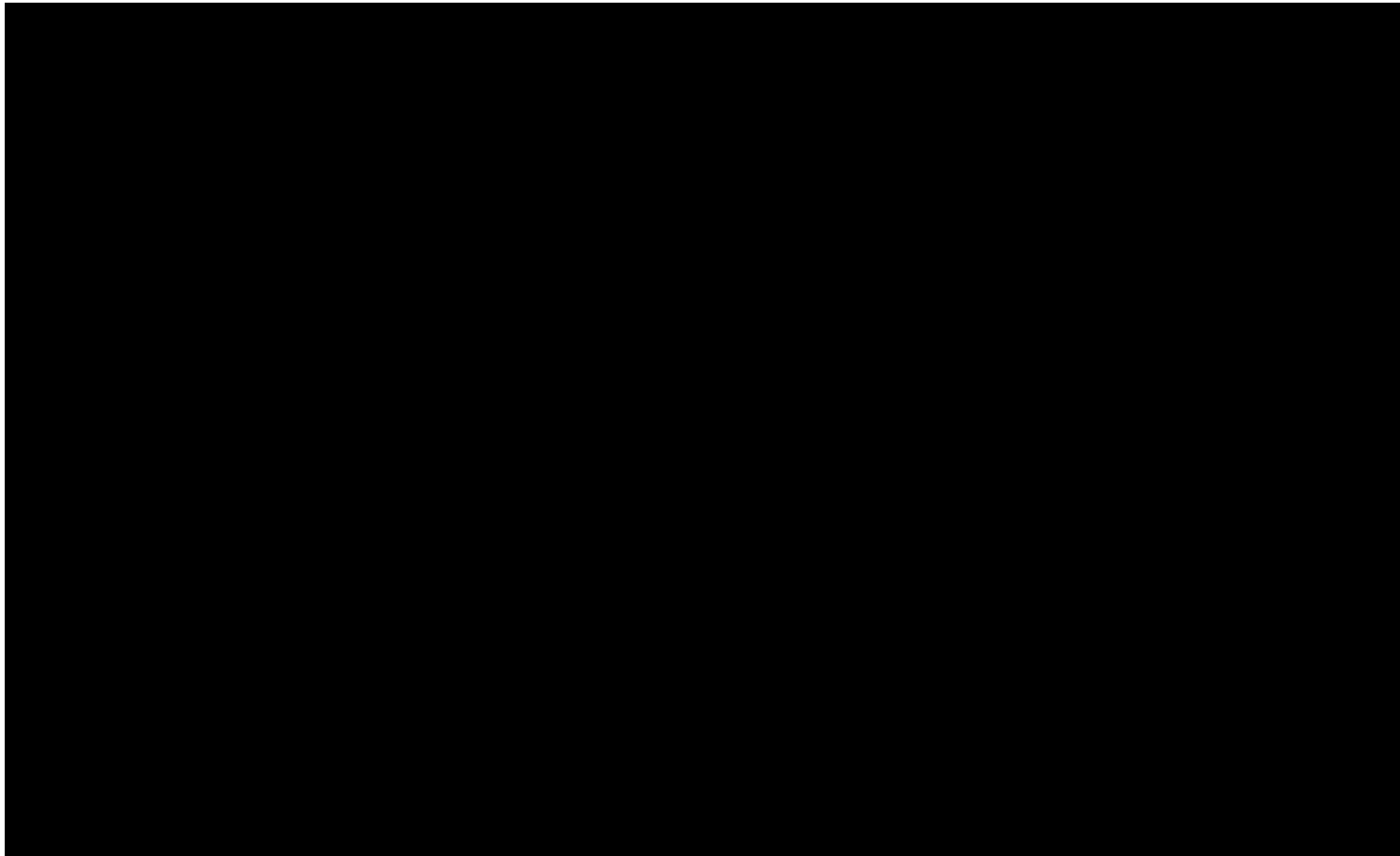


図 2. 14. 2. 4-6 地上 2 階に設置されるコンクリートセル給気弁の設置位置

### 3. 第2棟におけるコンクリートセル周辺設備の波及的影響

上位クラス設備に対する波及的影響として、コンクリートセル周辺に設置される設備がコンクリートセルに対して波及的影響を及ぼす可能性について、第2棟の燃料デブリ等の受入及び払出フロー及びコンクリートセルへの波及的影響の整理表を用いて整理する。第2棟の燃料デブリ等の受入及び払出詳細を図2.14.2.4-7に示す。

コンクリートセルに対して波及的影響を及ぼす可能性があるコンクリートセル周辺設備として、コンクリートセルに隣接して設置される鉄セル遮蔽体、コンクリートセル上部に設置される天井クレーン、燃料デブリ等の受入及び払出時にコンクリートセルに接続する輸送容器を洗い出した。グローブボックス、フードについてはコンクリートセルの設置場所から離れた分析室に設置されるため、コンクリートセルに対して波及的影響を及ぼさない。コンクリートセル周辺設備のコンクリートセルへの波及的影響の整理表を表2.14.2.4-1に示す。

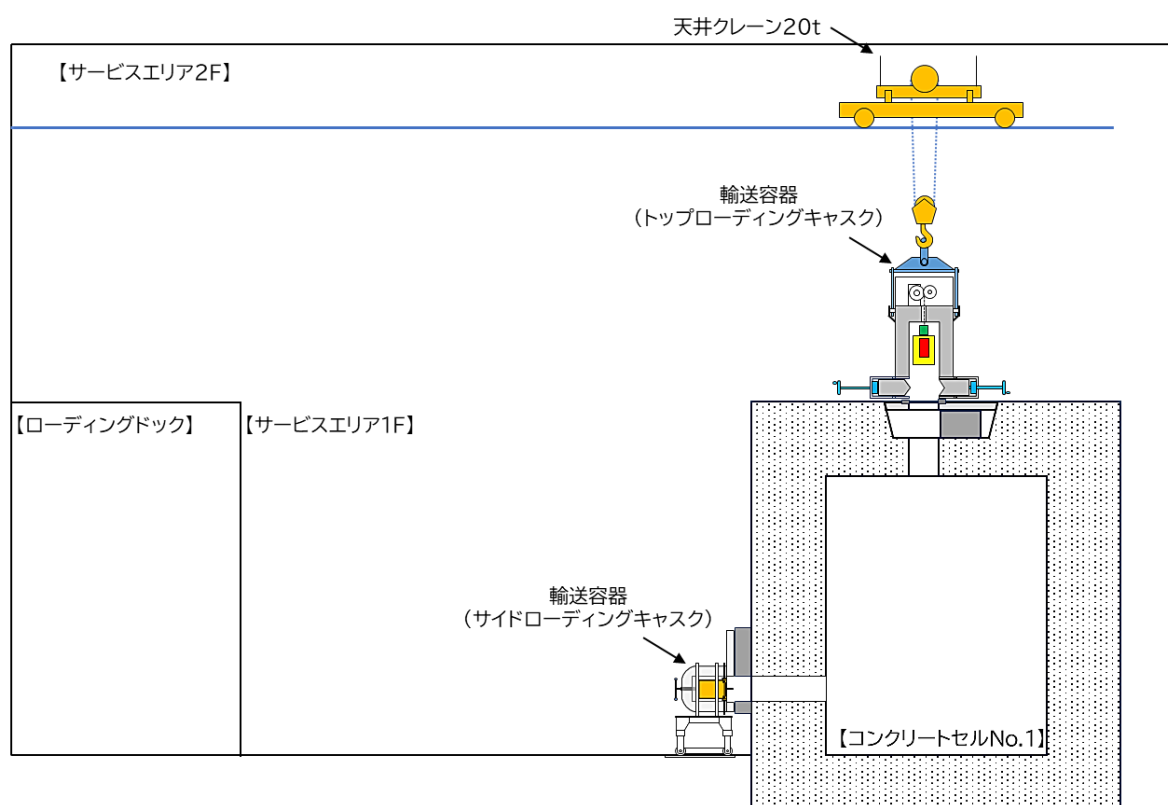


図 2.14.2.4-7 第2棟の燃料デブリ等の受入及び払出詳細

表 2. 14. 2. 4-1 コンクリートセル周辺設備の波及的影響の整理表

設備	理由	波及的影響に関する評価
天井クレーン	天井クレーンが落下し、コンクリートセル衝突する可能性がある。	別紙-5に記載のとおり、コンクリートセルへ波及的影響を及ぼさない。
輸送容器	輸送容器をコンクリートセルへ接続している際に、接続部が外れて、衝突する可能性がある。	参考資料 4-2 に記載のとおり、コンクリートセルへ波及的影響を及ぼさない。
鉄セル	鉄セルを固定しているボルトが外れて、鉄セルがコンクリートセルに衝突する可能性がある。	別紙-1に記載のとおり、コンクリートセルへ波及的影響を及ぼさない。

#### 4. 第2棟におけるコンクリートセル内設備の波及的影響

上位クラス設備に対する波及的影響として、コンクリートセル内設備に設置される設備がコンクリートセル及び試料ピットに対して波及的影響を及ぼす可能性について、コンクリートセル内機器配置図及びコンクリートセルへの波及的影響整理表を用いて整理する。第2棟 コンクリートセル内機器配置(平面図)を図 2. 14. 2. 4-8 及び第2棟 コンクリートセル内機器配置(断面図)を図 2. 14. 2. 4-9 に示す。

コンクリートセル及び試料ピットに対して波及的影響を及ぼす可能性があるコンクリートセル内設備として、コンクリートセル内に設置する各分析装置、セル内クレーンを洗い出した。コンクリートセル内設備のコンクリートセル及び試料ピットへの波及的影響の整理表を表 2. 14. 2. 4-2 に示す。なお、表 2. 14. 2. 4-2 に示した分析装置に関しては将来設置の分析装置も含めて、XRF が最も保守的な条件となる。

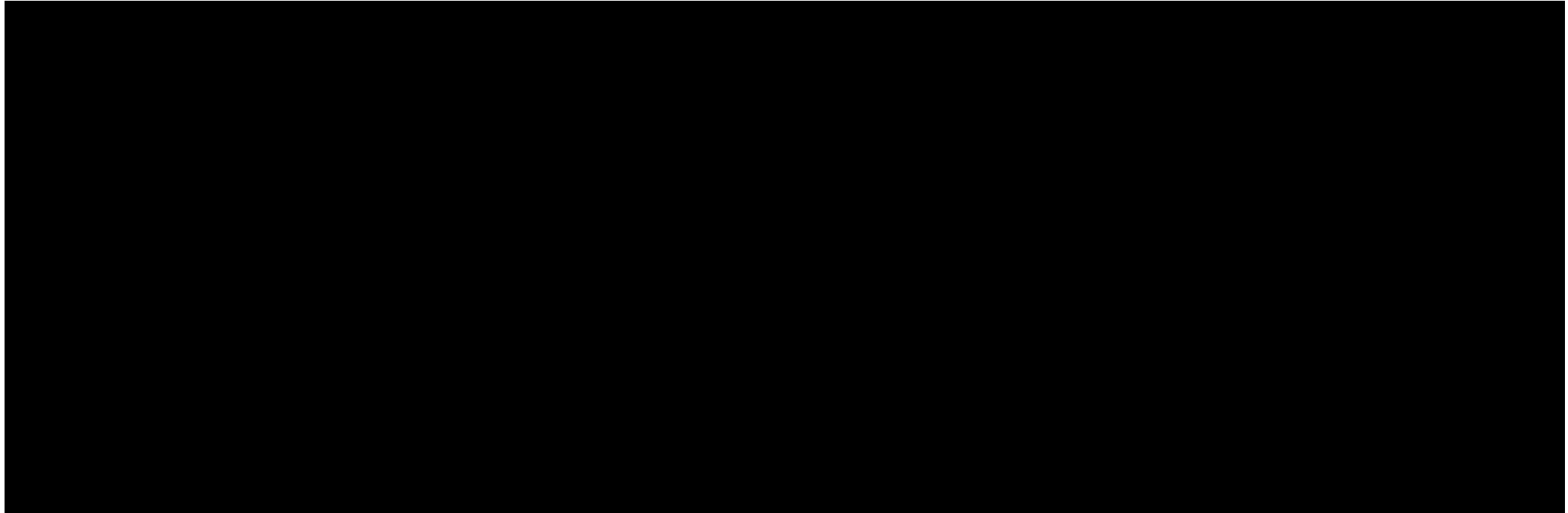


図 2.14.2.4-8 第2棟 コンクリートセル内機器配置図(平面図)

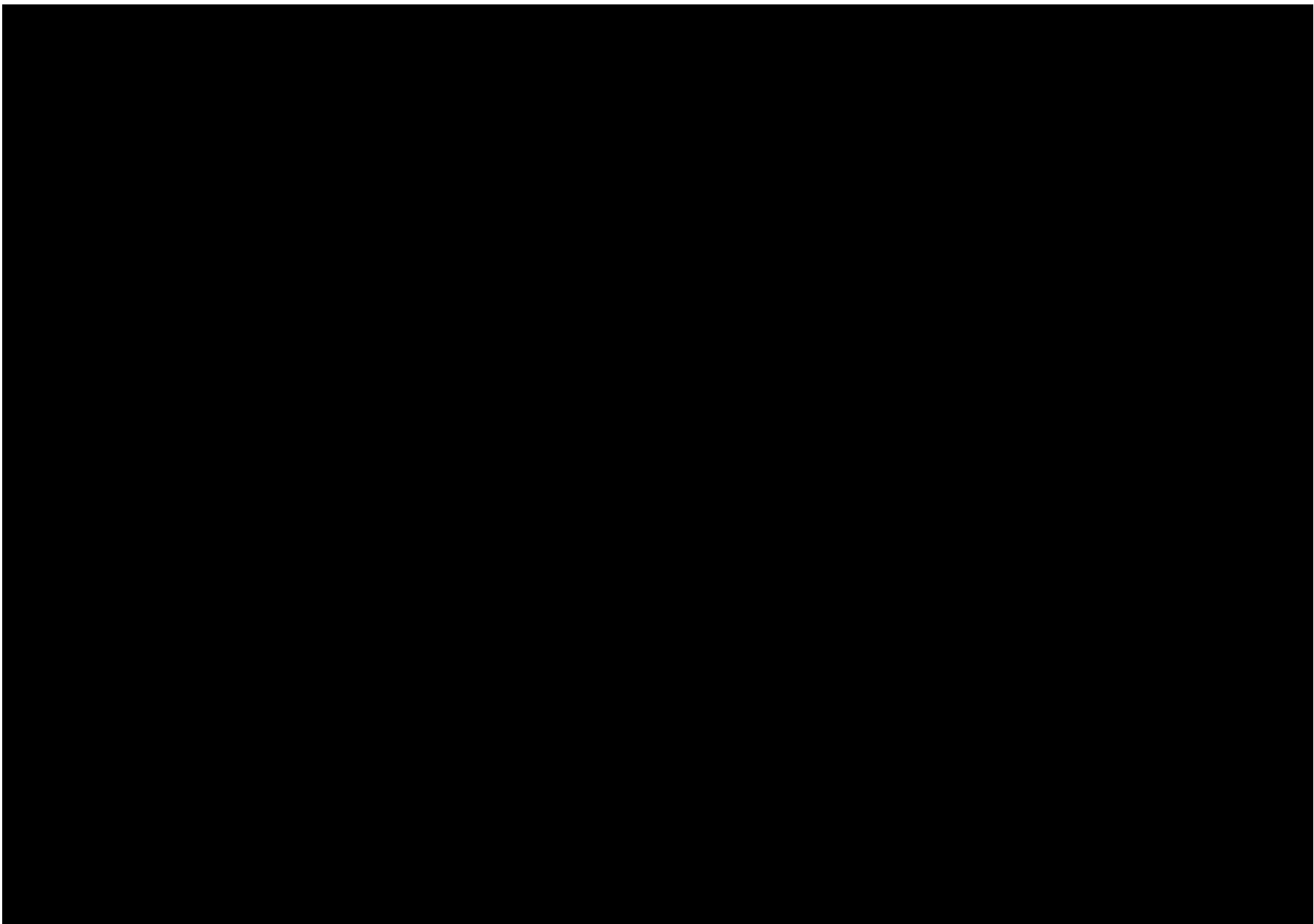


図 2. 14. 2. 4-9 第2棟 コンクリートセル内機器配置図(断面図) (1/2)

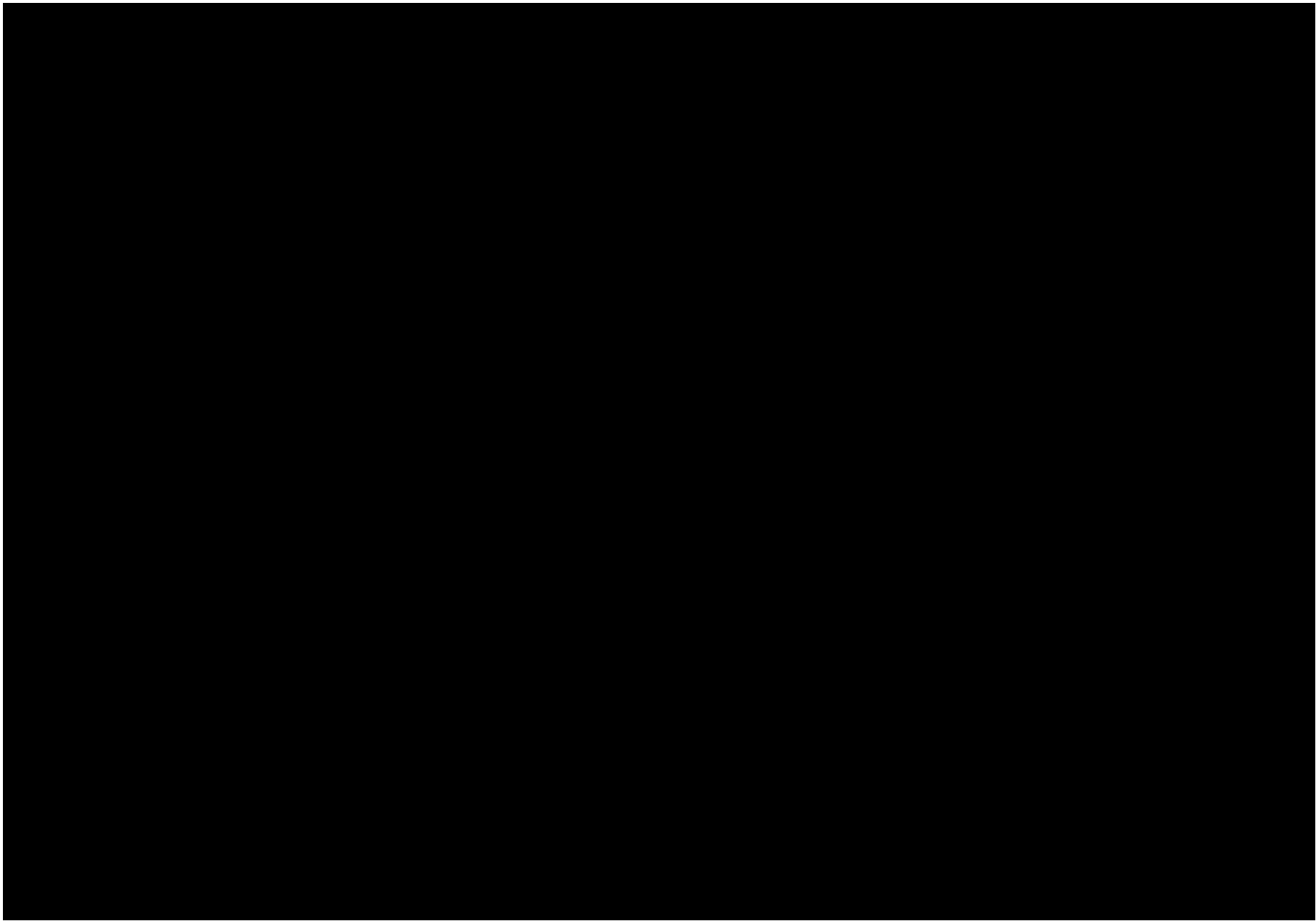


図 2. 14. 2. 4-9 第 2 棟 コンクリートセル内機器配置図(断面図) (2/2)

表 2. 14. 2. 4-2 コンクリートセル内設備の波及的影響の整理表

設備	理由	波及的影響に関する評価
XRF	XRF が転倒し、コンクリートセルライニングを破損させる可能性がある。	分析装置のうち、最も保守的な条件の XRF がコンクリートセルへ波及的影響を及ぼさないことを確認した。
電気炉	電気炉が転倒し、コンクリートセルライニングを破損させる可能性がある。	
ホットプレート	ホットプレートが転倒し、コンクリートセルライニングを破損させる可能性がある。	
ガスクロマトグラフ用前処理装置	ガスクロマトグラフ用前処理装置が転倒し、コンクリートセルライニングを破損させる可能性がある。	
重量測定装置	重量測定装置が転倒し、コンクリートセルライニングを破損させる可能性がある。	
粗切断機	粗切断機が転倒し、コンクリートセルライニングを破損させる可能性がある。	
精密切断機	精密切断機が転倒し、コンクリートセルライニングを破損させる可能性がある。	
粗研磨機	粗研磨機が転倒し、コンクリートセルライニングを破損させる可能性がある。	
精密研磨機	精密研磨機が転倒し、コンクリートセルライニングを破損させる可能性がある。	
放射線計測機	放射線計測機が転倒し、コンクリートセルライニングを破損させる可能性がある。	
デジタルマイクロスコープ	デジタルマイクロスコープが転倒し、コンクリートセルライニングを破損させる可能性がある。	
局所排気装置	局所排気装置が転倒し、コンクリートセルライニングを破損させる可能性がある。	
吸引ろ過装置	吸引ろ過装置が転倒し、コンクリートセルライニングを破損させる可能性がある。	
スタンプミル	スタンプミルが転倒し、コンクリートセルライニングを破損させる可能性がある。	
インセルクレーン (ジブクレーン含む)	インセルクレーンが落下し、コンクリートセルライニングを破損させる可能性がある。	参考資料 4-2 に記載のとおり、コンクリートセルへ波及的影響を及ぼさない。

#### 4. 波及的影響の評価結果

##### 4.1 第 2 棟におけるコンクリートセル周辺設備の波及的影響の評価結果

コンクリートセル周辺に設置される設備は表 2. 14. 2. 4-1 のとおり、Ss900 に対する耐震性を有することを確認したことから、コンクリートセル周辺に設置される設備が耐震 S クラスのコンクリートセルへ波及的影響を与えることはない。

##### 4.2 第 2 棟におけるコンクリートセル内設備の波及的影響の評価結果

コンクリートセル内設備は表 2. 14. 2-2 のとおり、機器の転倒、落下によりセルライニングの破損は生じないことを確認したことから、コンクリートセル内設備が耐震 S クラスのコンクリートセル及び試料ピットへ波及的影響を与えることはない。



## 地震時に機器が及ぼすセルライニングへの影響評価

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、インセルクレーン等)が転倒及び落下した場合のセルライニングの健全性評価を行った。

## 1.1 地震時に機器が転倒した場合のセルライニングの健全性確認

## (1) 評価方法

コンクリートセル内に設置される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<sup>※1</sup>

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

$$D_e = D_m$$

※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.

## 凡例

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

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<sup>※2</sup>( $D_m$ )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

(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 10kg 以上の主な機器を表 2.14.2.4-3 に示す。コンクリートセルで使用する機器で転倒時の影響が最も大きいものは XRF である。従って、転倒を想定する機器として重量が 700kg 以下、高さが 1.8m 以下、直径<sup>※2</sup>が 50mm 以上とし評価を行う。

表 2.14.2.4-3 コンクリートセルで使用を想定している機器

機器名称	重量(kg)	高さ(m)
蛍光 X 線分析装置(XRF)	700	1.8
燃焼装置	40	0.75
ふるい分け装置	30	0.35
研磨機	25	0.35
ホットプレート	25	0.16
重量測定装置(重量級天秤)	17	0.202
電気炉	15	0.33
局所排気装置	12.8	0.43
切断機	11	0.29
デジタルマイクロスコープ	10	0.378

(3) 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<sup>※2</sup>が 50mm である機器を仮想的に想定して評価したところ、表 2.14.2.4-4 に示す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ことを確認した。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。

表 2.14.2.4-4 仮想機器の位置エネルギーとライニングの破損限界エネルギー

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	1.24×10 <sup>4</sup>	<div style="background-color: black; width: 100px; height: 15px; margin: 0 auto;"></div> (セルライニング厚 <span style="background-color: black; width: 20px; height: 1em; display: inline-block;"></span> の場合)

1.2 地震時にインセルクレーン等が落下した場合のセルライニングの健全性確認

(1) 評価方法

評価方法は 1.1(1) と同様である。

※3 ホイストの重量+レール重量を合計した総重量

※4 ホイストの最小面積が衝突した時の円相当直径

(2) コンクリートセルで使用を想定しているクレーン

コンクリートセルで使用するクレーンを表 2.14.2.4-5 に示す。コンクリートセルで使用する各クレーンは、それぞれの重量<sup>※3</sup>が 583kg 以下、高さが 4.15m 以下、直径<sup>※4</sup>が 0.36m 以上とする。また、インセルクレーン及びジブクレーンの概略図を図 2.14.2.4-10 に示す。

表 2. 14. 2. 4-5 インセルクレーン等の重量及び設置高さ

機器名称	重量 <sup>※3</sup> (kg)	設置高さ(m)
インセルクレーン(コンクリートセル No. 2)	466	4. 15
インセルクレーン(コンクリートセル No. 4)	583	4. 15
ジブクレーン(コンクリートセル No. 1)	129	2. 5
ジブクレーン(コンクリートセル No. 2)	106	2. 5
ジブクレーン(コンクリートセル No. 3)	110	2. 5

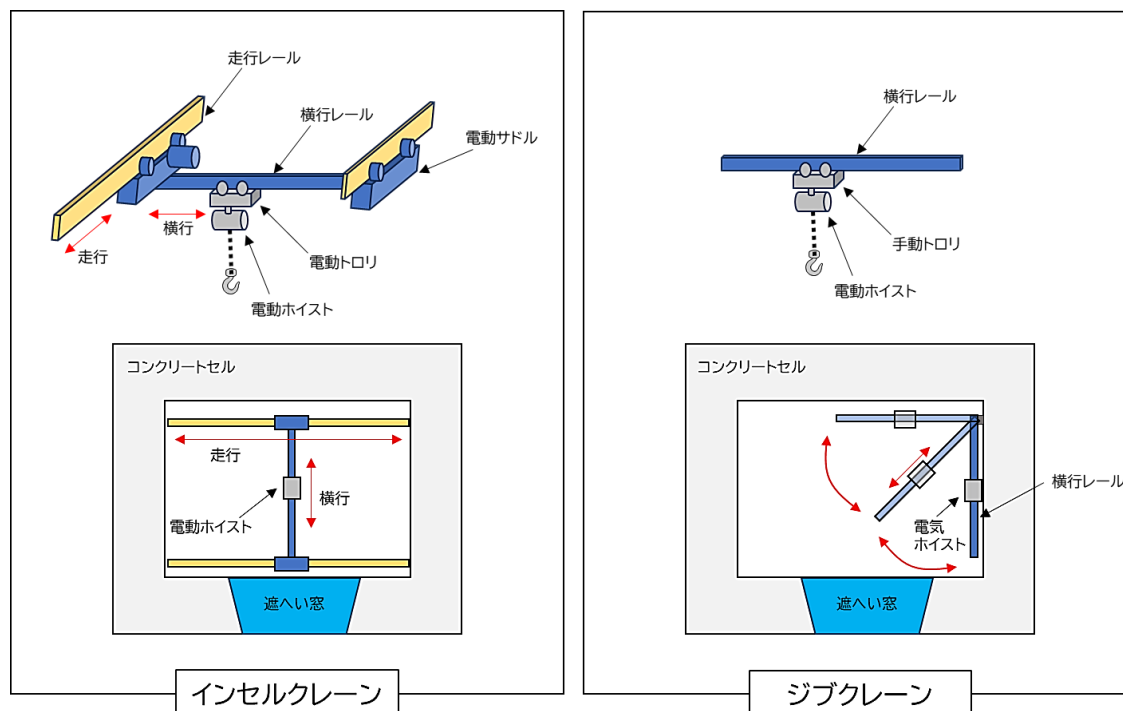


図 2. 14. 2. 4-10 インセルクレーン及びジブクレーンの概略図

(3) 評価結果

最も保守的な条件として、**コンクリートセルNo.4 に設置されるインセルクレーン(重量<sup>※3</sup>が 583kg、高さが 4. 15m 及び直径<sup>※4</sup>が 0. 36m)**が運転時に想定される最も重い吊荷である**燃料装置(40kg)**を吊り上げている状態で落下することを想定し評価したところ、**表 2. 14. 2. 4-6 に示す**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、機器の落下によりセルライニングの破損は生じない。

表 2. 14. 2. 4-6 位置エネルギーとライニングの破損限界エネルギーの比較

機器	機器の位置エネルギー(J)	破損限界エネルギー(J)
総量：583+40kg 高さ：4. 15m 相当直径：0. 36m	2. 54×10 <sup>4</sup>	<div style="background-color: black; width: 100px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> (セルライニング厚 <span style="background-color: black; width: 20px; height: 1em; display: inline-block;"></span> の場合)

## 2. 鉄セルの Ss900 に対する耐震性

### (1) 評価の概要について

耐震 B<sup>+</sup>クラスの鉄セルについて、コンクリートセルへの波及的影響評価のため、鉄セルの基礎ボルトの Ss900 に対する耐震性を有することを確認した。

結果としては、Ss900 に対する耐震性を有することを確認したことから、鉄セルが耐震 S クラスのコンクリートセルへ波及的影響を与えることはない。

### (2) 評価の方法について

鉄セルの Ss900 に対する耐震性を確認するため、**水平 2 方向及び鉛直 1 方向の組合せを考慮し**、3次元 FEM モデルを構築し、以下の項目・条件で評価を実施する。

#### (2)-1 評価項目

以下の①、②について評価を行う。

- ① 固有値解析
- ② 基礎ボルトに発生するせん断応力及び引張応力

#### (2)-2 設計用地震力

以下の設計用地震力で鉄セルを評価する。

表 2. 14. 2. 4-7 設計用地震力

動的地震力
Ss900 (鉄セルは剛構造であり <sup>※5</sup> 、建屋の Ss900 による解析で得られる最大床応答加速度(1 階)で FEM 解析を実施)

※5 固有値解析の結果は「**参考資料 4-1 2. (3)**」に示す。

#### (2)-3 供用状態

Ss900 で機能維持を確認することから供用状態 D<sub>s</sub><sup>※6</sup>とする。

※6 「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」に基づき、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」を参考とした。

#### (2)-4 評価モデル

以下の構造図を基に 3 次元 FEM モデルを構築した。拘束条件は、基礎ボルト部分をピン支持 (XYZ 拘束)とした。

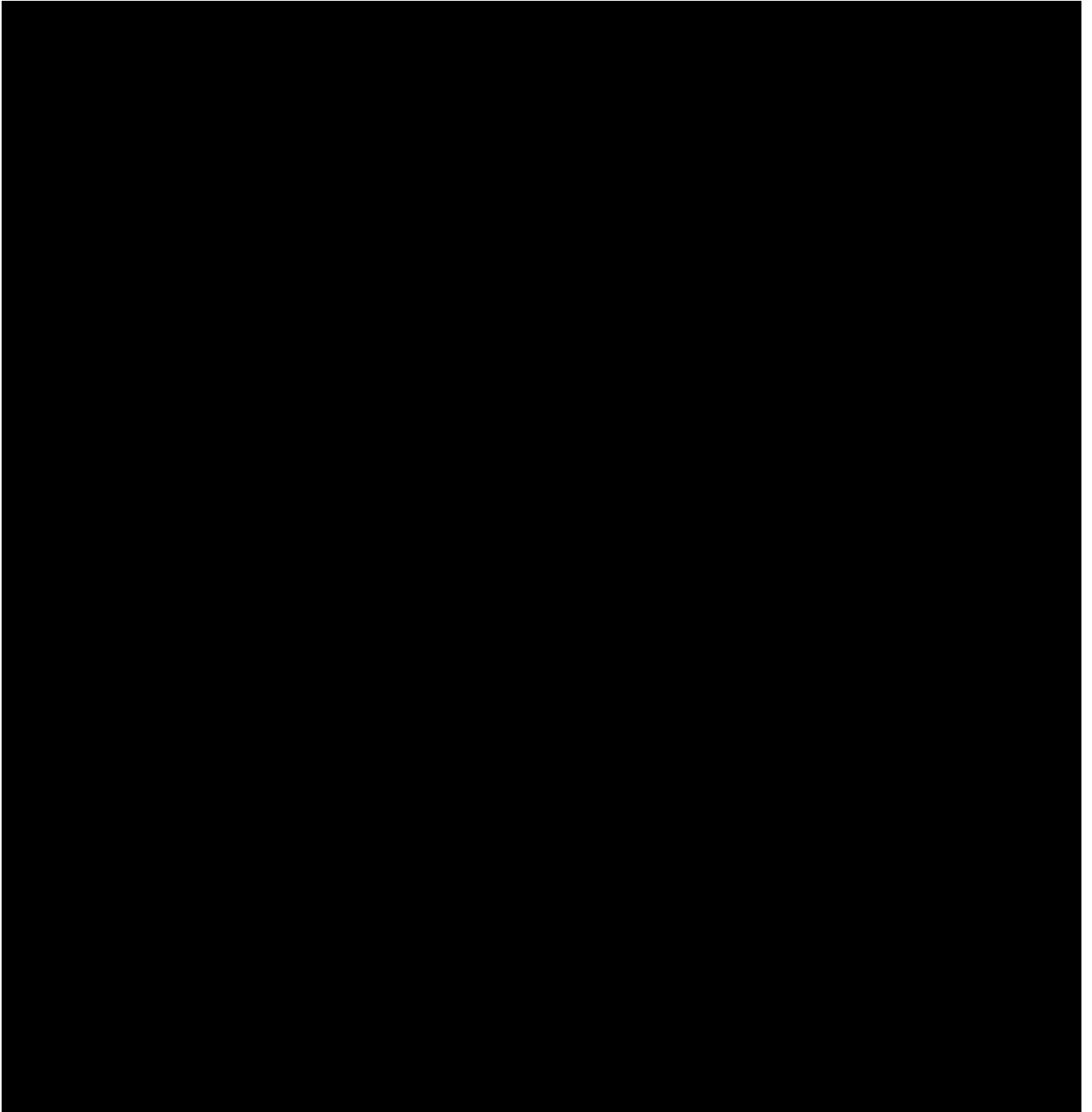


図 2. 14. 2. 4-11 鉄セル構造図

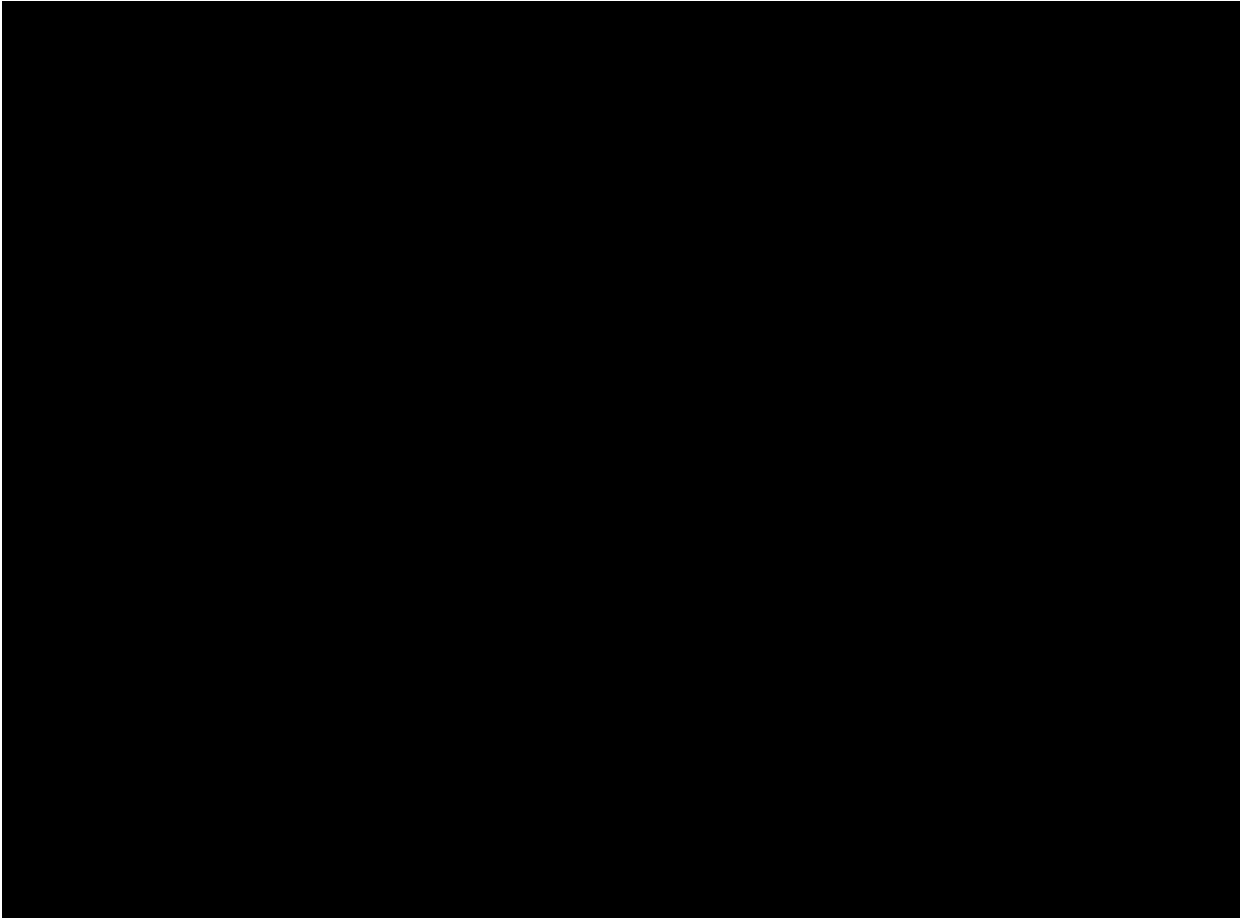


図 2. 14. 2. 4-12 3次元 FEM モデル

(3) 解析結果について

以下に示す固有値解析モデルで固有周期を解析した結果，固有周期は 1 次振動モードで 0.047 秒となった。固有周期は 0.05 秒以下であることから，鉄セルは剛構造であることを確認した。

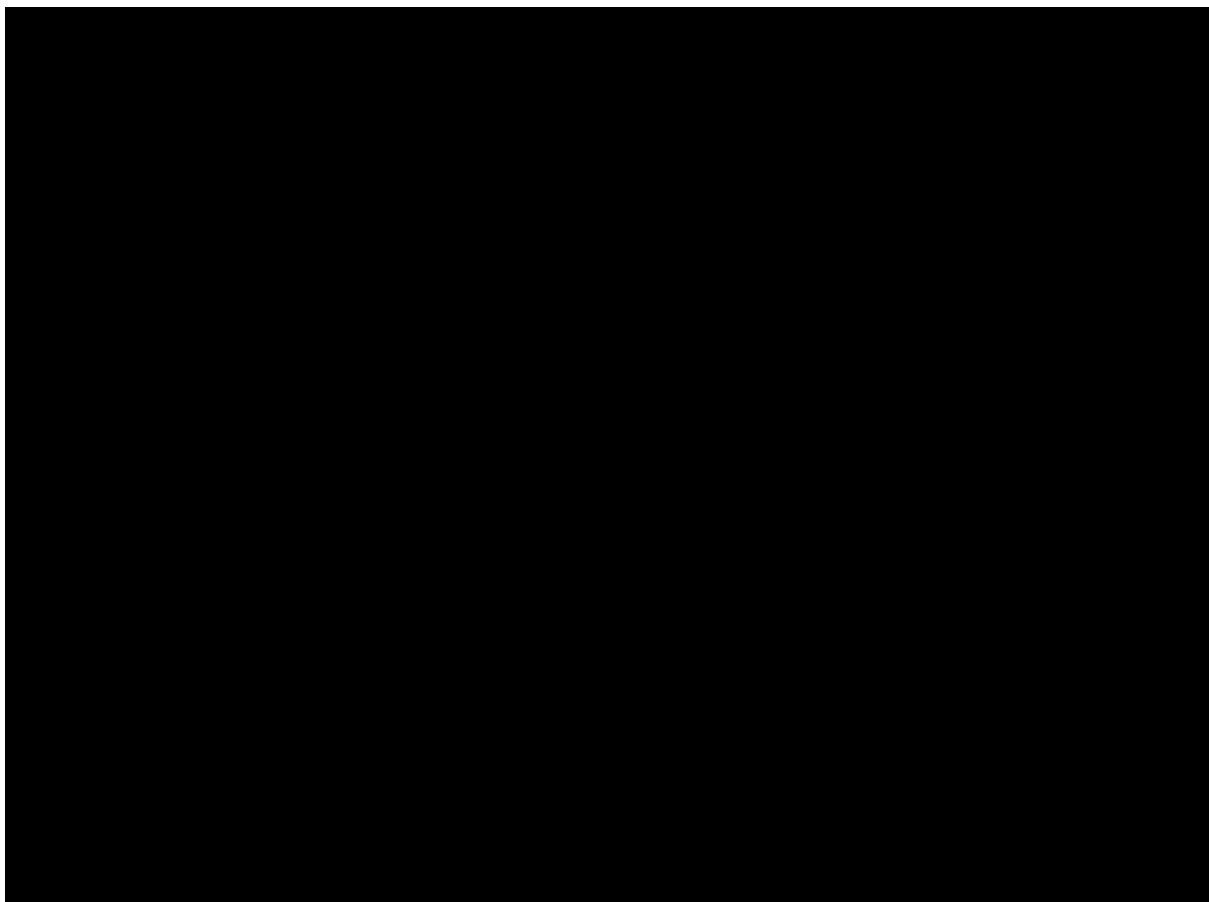


図 2.14.2.4-13 鉄セルの 1 次振動モード

(4) 地震力の設定について

(4)-1 設計用地震力の設定

固有値解析で、鉄セルは剛構造であることを確認したことから、静的な設計用地震力を以下のとおり設定する。

- ① 鉄セルが設置される1階における建屋の  $S_s900$  に対する地震応答解析結果を各方向に対して20%割り増しし、重力加速度で除することで震度は以下のとおりとなる。

表 2.14.2.4-8 震度の計算過程

方向	水平方向		鉛直方向
	EW 方向	NS 方向	UD 方向
1階における建屋の $S_s900$ に対する最大床応答加速度 [Gal]	982	1028	732
	↓	↓	↓
20%割り増しした加速度 [Gal]	1178.4	1233.6	878.4
	↓	↓	↓
震度 [-]	1.21	1.26	0.90

- ② 水平方向の設計震度について保守的に包絡させるため、最終的に設計用震度は以下のとおりとなる。

表 2.14.2.4-9 設計用震度

方向	水平方向		鉛直方向
	EW 方向	NS 方向	UD 方向
設計用震度 [-]	1.26	1.26	0.90



(5) 応力評価結果について

地震力の入力方向の組合せは8通り<sup>※7</sup>ある。各発生応力が最大となる入力方向の組合せにおける基礎ボルトの発生応力を以下に示す。

※7 X, Y, Z方向の3方向に対して、それぞれ正又は負方向の2通りが考えられるため、8(=2×2×2)通りとなる。

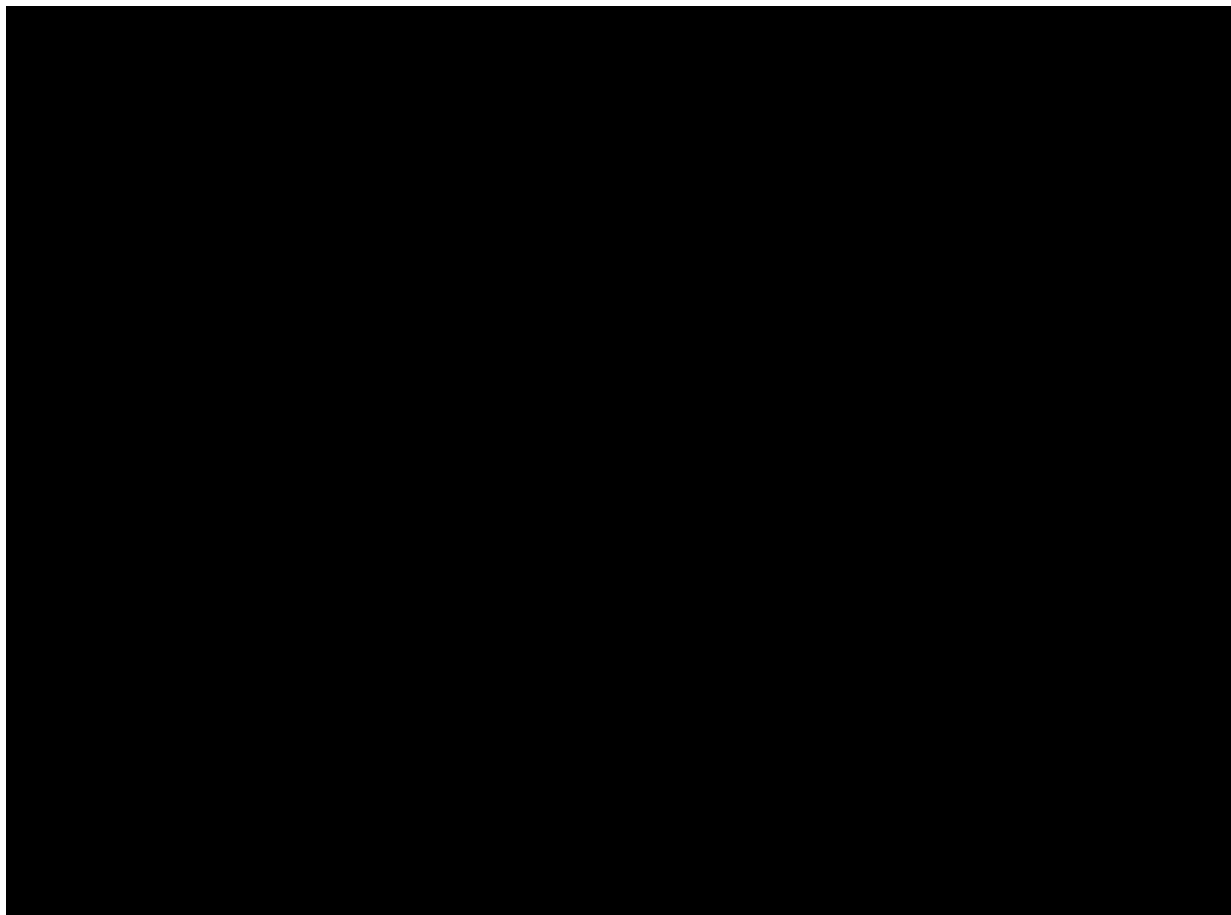


図 2. 14. 2. 4-14 各最大発生応力の発生箇所

下表のとおり、すべての応力について最大発生応力が許容応力を下回っているため、鉄セルはSs900に対して耐震性を有することを確認した。

表 2. 14. 2. 4-10 各評価応力の最大発生応力

評価応力	節点番号	最大発生応力 (MPa)	許容応力 <sup>※8</sup> (MPa)
引張応力	5878	276	487
せん断応力	23875	255	375
組合せ応力 <sup>※9</sup>	23875	209	273

※8 「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」及び発電用原子力設備規格 設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007)に基づく

※9 引張応力とせん断力の組合せ

### (5) アンカー部評価について

鉄セル遮蔽体のアンカー部の評価は、原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-1991 追補)に基づくとともに、原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)を参考に行う。基礎ボルトに発生する荷重をブラケット/埋込金物ごとに足し合わせることで、コーン状破壊の発生の有無を確認する。なお、供用状態はD<sub>s</sub>とする。

鉄セル遮蔽体の基礎ボルト及び埋込金物の配置を図 2. 14. 2. 4-15 に示す。

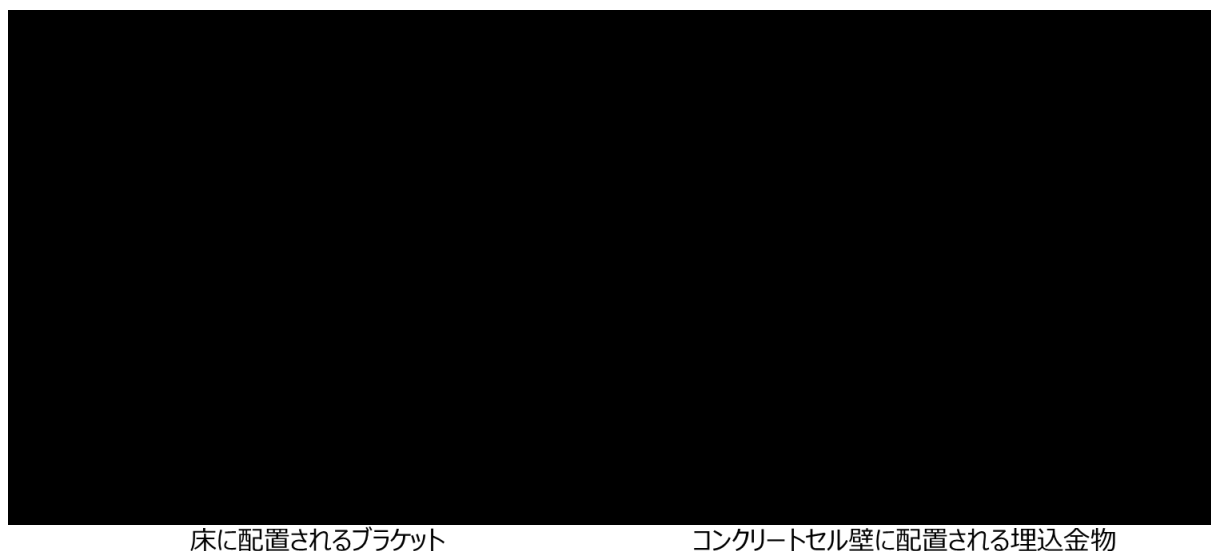


図 2. 14. 2. 4-15 鉄セル遮蔽体の基礎ボルト及び埋込金物の配置

#### (5)-1 評価式

##### ① 基礎ボルトが引張荷重を受ける場合のアンカー部評価

- ・ コンクリートにせん断補強筋が無い場合

荷重の算定で得られた基礎ボルトの引張荷重は、以下に示すコンクリート部の引張荷重に対する許容値以下となるようにする。

$$p \leq p_a = \min[p_{a1}, p_{a2}]$$

$$p_{a1} = 0.31K_1 A_c \sqrt{F_c}$$

$$p_{a2} = K_2 \alpha_c A_0 F_c$$

- $p$  : 基礎ボルト 1 本当たりの引張荷重 (N)  
 $p_a$  : 基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容引張荷重(N)  
 $p_{a1}$  : コンクリート躯体がコーン状破壊する場合の基礎ボルト 1 本当たりの許容引張荷重(N)  
 $p_{a2}$  : 基礎ボルト頭部に接するコンクリート部が支圧破壊する場合の基礎ボルト 1 本当たりの許容引張荷重(N)  
 $K_1$  : コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数  
 $K_2$  : 支圧破壊する場合の引張耐力の低減係数  
 $F_c$  : コンクリートの設計基準強度(N/mm<sup>2</sup>)  
 $A_c$  : コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積(mm<sup>2</sup>)  
 $\alpha_c$  : 支圧面積と有効投影面積から定まる係数,  $= \sqrt{A_c/A_0}$ かつ 10 以下  
 $A_0$  : 支圧面積(mm<sup>2</sup>)  
 $l_e$  : 基礎ボルトのコンクリート内への埋め込み長さ(mm)  
 $D$  : 基礎ボルト頭部の直径(mm)  
 $d$  : 基礎ボルトの呼び径(mm)

##### ② 基礎ボルトがせん断荷重を受ける場合のコンクリートの評価

$$q \leq q_a = \min[q_{a1}, q_{a2}]$$

$$q_{a1} = 0.5K_3 A_b \sqrt{E_c F_c}$$

$$q_{a2} = 0.31K_4A_{c1}\sqrt{F_c}$$

- $q$  : 基礎ボルト 1 本当たりのせん断荷重 (N)  
 $q_a$  : 基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重(N)  
 $q_{a1}$  : 基礎ボルトと基礎ボルト周辺のコンクリートが圧壊して破壊(複合破壊)する場合の基礎ボルト 1 本当たりの許容せん断荷重(N)  
 $q_{a2}$  : へり側コンクリートが破壊する場合の基礎ボルト 1 本当たりの許容せん断荷重(N)  
 $K_3$  : 複合破壊の場合のせん断耐力の低減係数  
 $K_4$  : へり側コンクリート破壊の場合のせん断耐力の低減係数  
 $A_b$  : 基礎ボルトの谷径断面積(スタッドの場合は軸部断面積) (mm<sup>2</sup>)  
 $E_c$  : コンクリートのヤング係数(N/mm<sup>2</sup>)  
 $F_c$  : コンクリートの設計基準強度(N/mm<sup>2</sup>)  
 $A_{c1}$  : コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積(mm<sup>2</sup>)

## (5)-2 評価結果

以下に①及び②に示す評価結果から鉄セル遮蔽体のアンカー部は Ss900 の地震時においてコーン状破壊が発生しないことを確認した。

### ① 床部の評価結果

床に配置されるブラケットごとのコーン状破壊の評価結果を表 2. 14. 2. 4-11 に示す。

表 2.14.2.4-11 床に配置されるブラケットごとのコーン状破壊の評価結果

ブラケット 番号	引張荷重 p (kN)	許容引張荷重 p <sub>a</sub> (kN)	せん断荷重 q (kN)	許容せん断荷重 q <sub>a</sub> (kN)	組合せ評価※ (-)
1	49	410	190	470	0.18
2	47	400	98	470	0.056
3	41	400	98	470	0.053
4	45	400	107	470	0.063
5	200	730	370	950	0.23
6	30	380	170	590	0.086
7	200	930	550	1100	0.26
8	57	380	140	470	0.12
9	48	410	110	470	0.070
10	51	320	140	470	0.11
11	32	330	140	470	0.10
12	30	260	130	470	0.086
13	25	320	110	470	0.062
14	36	410	78	470	0.035
15	9.2	260	54	230	0.053

※  $(p/p_a)^2 + (q/q_a)^2$  で計算され、許容値である 1 以下であればコーン状破壊は発生しない。

② コンクリートセル壁部の評価結果

コンクリートセル壁に配置されるブラケットごとのコーン状破壊の評価結果を表 2.14.2.4-12 に示す。

表 2.14.2.4-12 コンクリートセル壁部に配置されるブラケットごとのコーン状破壊の評価結果

埋込金物番号	引張荷重 p (kN)	許容引張荷重 p <sub>a</sub> (kN)	せん断荷重 q (kN)	許容せん断荷重 q <sub>a</sub> (kN)	組合せ評価※ (-)
1	46	250	190	1400	0.051
2	68	250	210	1400	0.093
3	82	250	230	1400	0.13
4	400	790	520	3200	0.29
5	110	250	190	1400	0.22
6	140	250	190	1400	0.33
7	200	250	240	1400	0.67
8	160	250	140	1400	0.44
9	4.5	250	11	1400	<0.01
10	5.3	250	13	1400	<0.01

※  $(p/p_a)^2 + (q/q_a)^2$  で計算され、許容値である 1 以下であればコーン状破壊は発生しない。

## 輸送容器接続によるコンクリートセルへの波及的影響

## 1. 概要

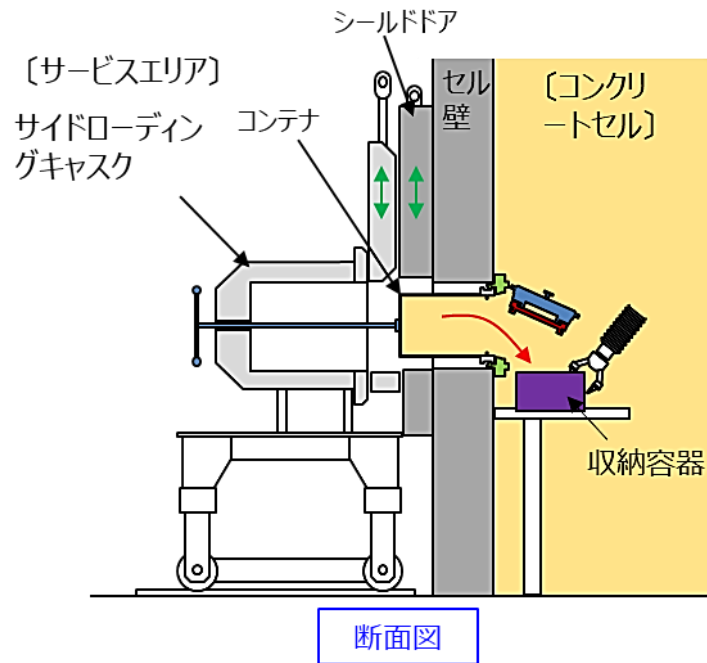
コンクリートセルへの輸送容器接続時におけるコンクリートセルへの波及的影響評価のため、輸送容器接続時のSs900に対する耐震性を有することを確認した。

結果としては、Ss900に対する耐震性を有することを確認したことから、輸送容器接続時に耐震Sクラスのコンクリートセルへ波及的影響を与えることはない。

## 2. 輸送容器について

コンクリートセルに接続する輸送容器、接続状態を図2. 14. 2. 4-16に示す。輸送容器にはサイドローディングキャスクとトップローディングキャスクの2種類がある。

## サイドローディングキャスク



## トップローディングキャスク

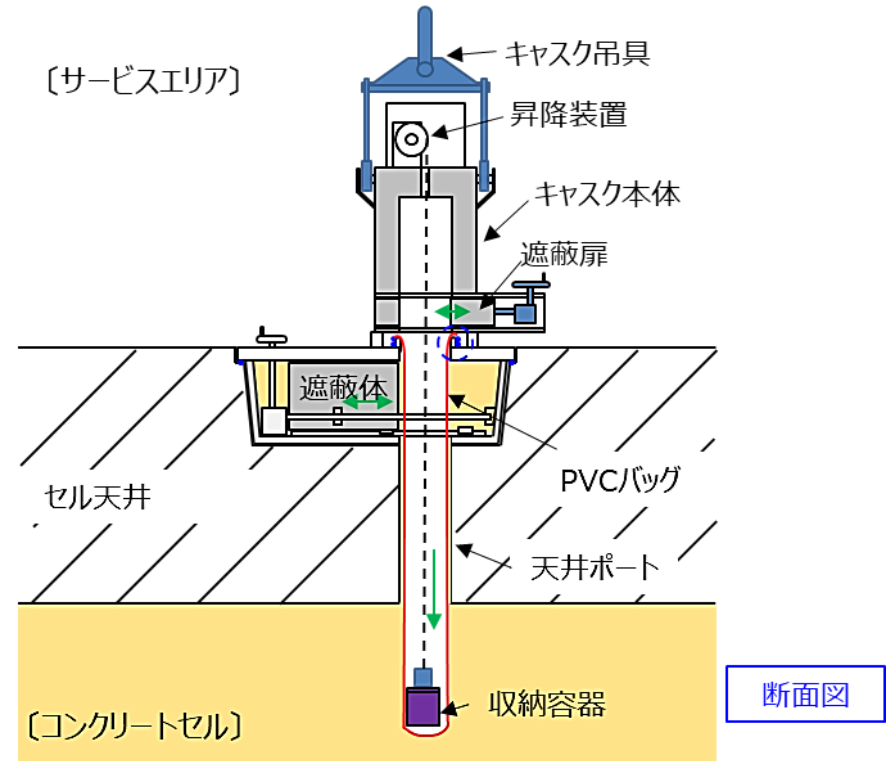


図2. 14. 2. 4-16 コンクリートセルに接続する輸送容器，接続状態

### 3. トップローディングキャスク接続時の評価

#### (1) 設計用地震力及び供用状態

トップローディングキャスクに対して、**波及的影響評価のため**表 2. 14. 2. 4-13 に示す設計用地震力及び供用状態で耐震性評価を行う。

表 2. 14. 2. 4-13 トップローディングキャスク接続時の設計用地震力

確認用地震動	供用状態
Ss900	Ds

#### (2) 固有周期の計算

トップローディングキャスクを上端自由、下端固定の1質点系振動モデルとしてモデル化し、固有周期を算出し、剛構造(固有周期が0.05秒以下)であることを確認する。以下の各パラメータについて計算し、固有周期を求める。結果として、固有周期は $9.0 \times 10^{-3}$ 秒となり0.05秒以下であるため剛構造であることを確認した。

- 有効せん断断面積 $A_e$

機械工学便覧のせん断応力分布より、せん断応力の最大値 $\tau_{max}$ から有効せん断断面積 $A_e$ は以下の式で表される。

$$A_e = \frac{2(h_2 b_2^3 - h_1 b_1^3)(h_2 - h_1)}{3(h_2 b_2^2 - h_1 b_1^2)}$$

- せん断弾性係数G

等方性体のせん断弾性係数Gは、縦弾性係数E及びポアソン比 $\nu$ の間に以下の関係式が成り立つ。

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

- 断面二次モーメントI

機械工学便覧より、断面二次モーメントIは以下の式で表される。

$$I = \frac{h_2 b_2^3 - h_1 b_1^3}{12}$$

- ばね定数K

JEAC4601を参考にばね定数Kは以下の式で表される。

$$K = \frac{1}{\frac{h^3}{3EI} + \frac{h}{GA_e}}$$

- 固有周期T

JEAC4601を参考に固有周期Tは以下の式で表される。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{10^3 K}}$$

なお、記号の説明及び数値を以下に示す。

記号	記載内容	値	単位
$b_1$	キャスクの内径	420	mm
$b_2$	キャスクの外形	1000	mm
$h_1$	キャスクの内容積の高さ	650	Mm
$h_2$	キャスクの高さ	1170	Mm
h	キャスクの重心高さ	850	mm
W	キャスクの質量	9000	kg
E	縦弾性係数	9800	MPa
$\nu$	ポアソン比	0.44	-

### (3) 固縛装置の評価

トップローディングキャスクをコンクリートセルに接続する際、Ss900に対する耐震性を持たせるため、固縛機器(レバブロック等)でキャスクを固定する。機械工学便覧に基づき、モーメントのつり合いの式からSs900時の固縛機器に発生する荷重を求め、発生荷重以上の耐荷重を有する固縛機器を選定することでSs900地震に対する耐震性を持たせる。

本評価方法は、他施設の許認可において固縛方法の評価に用いられた実績がある。

### (4) モーメントのつり合い計算

#### i) 記号の説明及び数値

記号	記載内容	値	単位
m	重量(キャスク)	9000	kg
g	重力加速度	9.80665	m/s <sup>2</sup>
$C_H$	水平震度	1.74	-
$C_V$	鉛直震度	0.91	-
T	張力		N
a	視点から重心までの距離	0.560	m
b	重心から張力作用点までの距離	0.560	m
$Z_1$	重心高さ	0.585	m
$Z_2$	張力作用点高さ	1.05	m
$\theta$	床と固縛機器のなす角	53	°

#### ii) 張力の計算

図2.14.2.4-17に示すとおり、トップローディングキャスクを4つの固縛機器で固縛する。その際にトップローディングキャスクに作用する力を図2.14.2.4-18に示す。

トップローディングキャスクが転倒しない場合のモーメントのつり合いの式は以下のとおりである。

$$mg\sqrt{2}C_H \cdot Z_1 + mgC_V \cdot a - mg \cdot a - T \sin \theta \cdot (a + b) - T \cos \theta \cdot Z_2 = 0$$

張力について着目して整理し直すと以下のとおりとなる。



$$T = \frac{mg(\sqrt{2}C_H Z_1 + C_V a - a)}{(a + b) \sin \theta + Z_2 \cos \theta}$$

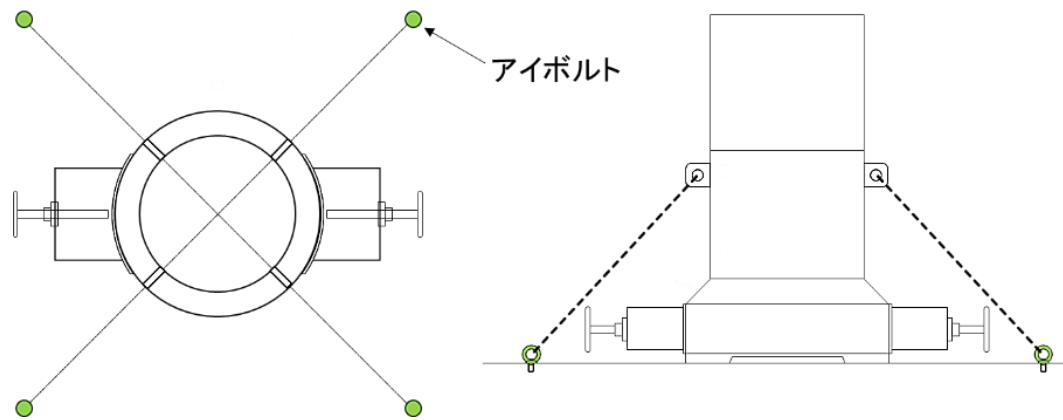


図2. 14. 2. 4-17 トップローディングキャスクの固縛方法

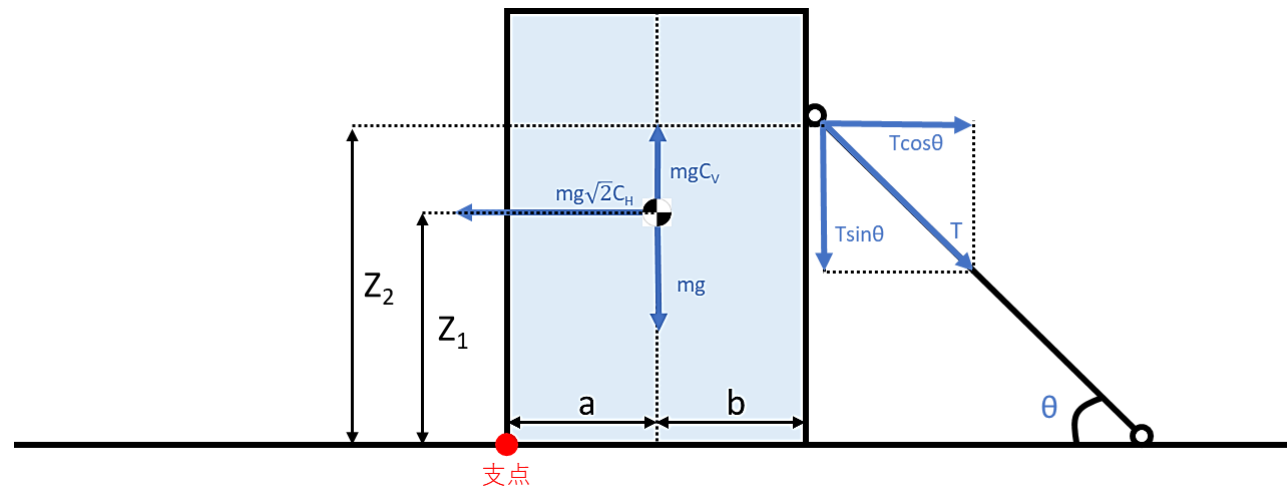


図2. 14. 2. 4-18 トップローディングキャスクに作用する力

iii) 評価結果

以上の式からSs900地震発生時の固縛機器に作用する荷重は、 $8.04 \times 10^4 \text{N}$  ( $8.20 \times 10^3 \text{kgf}$ ) となった。

固縛機器に作用する荷重以上の耐荷重を有する機器を選定することで、Ss900に対する耐震性を有することを確認した。

(5) アイボルトの応力評価

固縛機器をかけるため床面に設置されるアイボルトの応力評価を行う。(1)からアイボルトには引張応力 $T \sin \theta$ ，せん断応力 $T \cos \theta$ が作用する。アイボルトの材料はSCM435，呼び径をM24とし，供用状態Dsとして応力評価を行った結果を表2.14.2.4-14に示す。

許容応力の計算は，JSME S NC1に示す計算方法により算出する。なお，各材料物性値に関しては，JSME S NC1の付録図表による。

キャスク固定ボルトの許容引張応力 $f_t$ 及び許容せん断応力 $f_s$ の計算式を以下に示す。

$$f_t = \frac{1.5 \cdot F}{2}$$

$$f_s = \frac{1.5 \cdot F}{1.5\sqrt{3}}$$

また，引張力及びせん断力を同時に受ける場合の許容引張応力は次式で求める。

$$f_{ts} = \min(1.4 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau, f_t)$$

なお，F値についてはJSME S NC1の付録図表による設計降伏点 $S_y$ 及び設計引張強さ $S_u$ から求める。ボルトの最高使用温度である60°Cにおける $S_y$ 及び $S_u$ の値は，JSME S NC1の数値から内挿して求める。表2.14.2.2-15にSCM435のF値の計算に用いた $S_y$ 及び $S_u$ の値を示す。

SCM435はオーステナイト系ステンレス鋼又は高ニッケル合金ではないため，F値の計算式は以下のとおりである。

$$F = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$$

結果としてアイボルトはSs900地震時に作用する応力に対して健全であることを確認した。

表 2.14.2.4-14 アイボルトの評価結果

評価設備	設計用震度	評価部位	評価項目	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
トップローディングキャスク	Ss900 C <sub>H</sub> =1.76 C <sub>H</sub> =1.76 C <sub>V</sub> =0.91	アイボルト	引張	190	238
			せん断	255	356

表 2.14.2.2-15 SCM435 の F 値の計算に用いた  $S_y$  及び  $S_u$  の値

$S_y, S_u$	温度	40°C(文献値)	75°C(文献値)	60°C(内挿値)
	$S_y(\text{MPa})$		785	712
$S_u(\text{MPa})$		930	847	882

(6) アンカー部評価

トップローディングキャスクは床面に設置したアイボルト及び台車に固縛機器をかけて固定されるため、JEAG4601に基づき、床面に設置されるアイボルトに対して、アンカー部評価を行った結果を表2.14.2.4-16に示す。結果として、コンクリートに固定されるアイボルトに対してコンクリートのコーン状破壊が発生しないことを確認した。

表 2.14.2.4-16 アンカー部評価結果

評価設備	評価部位	基礎ボルト 1本あたりの 引張荷重 p(N)	基礎ボルト 1本あたりの 許容引張 荷重 $p_a$ (N)	基礎ボルト 1本あたりの せん断荷 重 q(N)	基礎ボルト 1本あたり の許容せん 断荷重 $q_a$ (N)	引張荷重と せん断荷重 の組合せ <sup>※2</sup>
トップ ローデ ィング キャス ク	アイボル ト	64150	99256	12086	119056	0.5

※2  $(p/p_a)^2 + (q/q_a)^2$ で計算され、1以下であればコーン状破壊は発生しない。

#### 4. サイドローディングキャスク接続時の評価

##### 4.1 各取付ボルトに対する評価

###### (1) 評価項目

サイドローディングキャスクに対して、表 2.14.2.4-10 に示す設計用地震力で耐震性評価を行う。**耐震性評価においては、水平 2 方向及び鉛直 1 方向の組合せを考慮する。**

###### (2) 評価対象

サイドローディングキャスクは、試料等の搬出入する際にコンクリートセルの壁に設置されるシールドドアに接続される。サイドローディングキャスクはキャスクを台座に固定するためのボルト(キャスク固定ボルト)及び台座を台車に固定するボルト(台座固定ボルト)で固定されている。

サイドローディングキャスクの外形図を図2.14.2.4-19に示す。評価対象はサイドローディングキャスクのキャスク固定ボルト及び台座固定ボルトとし、仕様を表2.14.2.4-17に示す。また、ボルトに作用する力について図2.14.2.4-20に示す。

表 2.14.2.4-17 評価対象の仕様

評価設備	設備質量	評価部位	材料	呼び径
サイドローディングキャスク	9000kg	キャスク固定ボルト	SCM435	M12
		台座固定ボルト	SCM435	M16

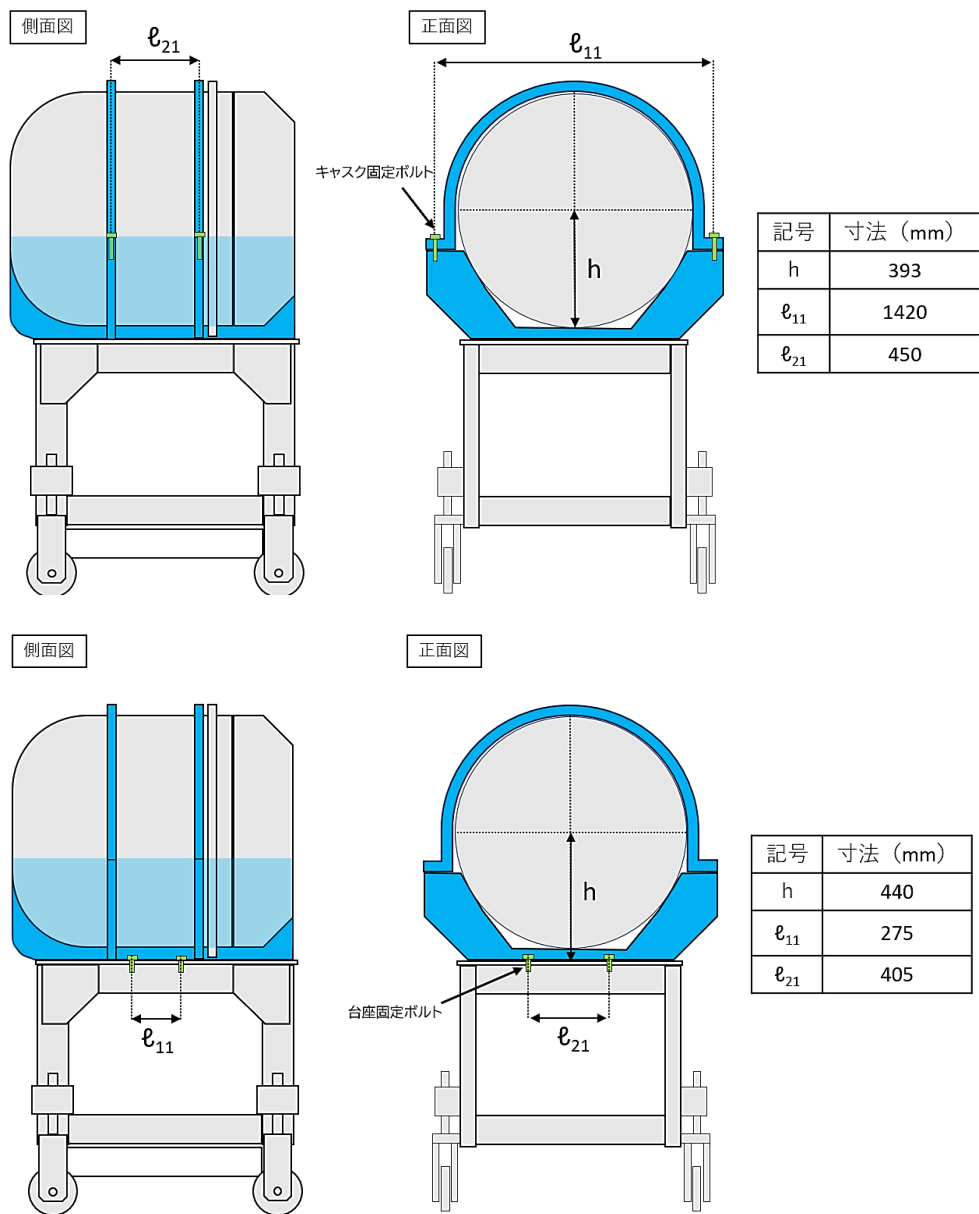


図 2.14.2.4-19 サイドローディングキャスクの外形図

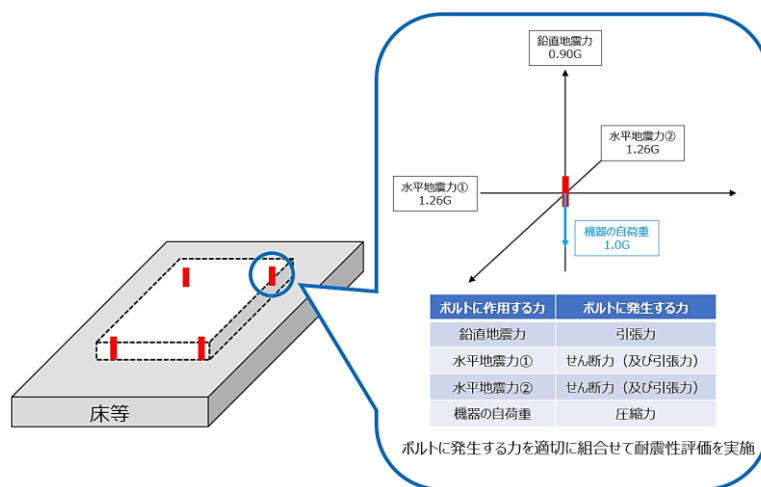


図 2.14.2.4-20 ボルトに作用する力

### (3) 固有周期の計算

サイドローディングキャスク(台座を含む。)を上端自由、下端固定の1質点系振動モデルとしてモデル化し、固有周期を算出し、剛構造(固有周期が0.05秒以下)であることを確認する。以下の各パラメータについて計算し、固有周期を求める。結果として、固有周期は $5.6 \times 10^{-3}$ 秒となり0.05秒以下であるため剛構造であることを確認した。

- 有効せん断断面積 $A_e$ 。

機械工学便覧のせん断応力分布より、せん断応力の最大値 $\tau_{max}$ から有効せん断断面積 $A_e$ は以下の式で表される。

$$A_e = \frac{2}{3}bh$$

- せん断弾性係数 $G$

等方性体のせん断弾性係数 $G$ 、は縦弾性係数 $E$ 及びポアソン比 $\nu$ の間に以下の関係式が成り立つ。

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

- 断面二次モーメント $I$

機械工学便覧より、断面二次モーメント $I$ は以下の式で表される。

$$I = \frac{1}{12}bh^3$$

- ばね定数 $K$

JEAC4601を参考にばね定数 $K$ は以下の式で表される。

$$K = \frac{1}{\frac{h^3}{3EI} + \frac{h}{GA_e}}$$

- 固有周期 $T$

JEAC4601を参考に固有周期 $T$ は以下の式で表される。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{10^3 K}}$$

なお、記号の説明及び数値を以下に示す。

記号	記載内容	値	単位
b	機器の幅	850	mm
h	機器の高さ	1693	mm
W	機器の質量	5000	kg
E	縦弾性係数	9800	MPa
$\nu$	ポアソン比	0.44	-

### (4) 計算条件

サイドローディングキャスクは1階の床部でコンクリートセルに接続されるため、1階におけるSs900の設計用震度で評価する。Ss900の階別設計用震度を表2.14.2.4-12に示す。また、供用

状態は $C_s$ とし、最高使用温度は $60^{\circ}\text{C}$ の条件で計算を行う。

なお、サイドローディングキャスクの固有値解析を行い固有周期が $0.05$ 秒以下であるため、剛構造であることを確認している。

#### (4-1) キャスク固定ボルトに対する耐震計算

##### i) 記号の説明及び数値

記号	記載内容	値	単位
$F_{1H1}$	キャスク固定ボルトに垂直な方向の鉛直地震力によって作用する引張力	/	N
$F_{1H2}$	キャスク固定ボルトに垂直な方向の水平地震力によって作用する引張力	/	N
$F_2$	キャスク固定ボルトに平行な方向の地震力によって作用する引張力	/	N
$\sigma$	キャスク固定ボルトに作用する引張応力	/	MPa
$m$	サイドローディングキャスクの質量	4350	kg
$g$	重力加速度	9.80665	$\text{m/s}^2$
$C_v$	鉛直方向の設計用震度	0.90	—
$h$	サイドローディングキャスクの重心高さ	393	mm
$L_{1P}$	転倒支点から最も離れたキャスク固定ボルトまでの距離(水平方向 1)	/	mm
$n_{f1j}$	転倒支点から $L_{1j}$ の距離にあるキャスク固定ボルトの本数	/	本
$L_{1j}$	転倒支点から $j$ 番目のキャスク固定ボルトまでの距離(水平方向 1)	/	mm
$C_H$	水平方向の設計用震度	1.26	—
$L_{2K}$	転倒支点から最も離れたキャスク固定ボルトまでの距離(水平方向 2)	/	mm
$n_{f2j}$	転倒支点から $L_{2j}$ の距離にあるキャスク固定ボルトの本数	/	本
$L_{2j}$	転倒支点から $j$ 番目のキャスク固定ボルトまでの距離(水平方向 2)	/	mm
$n$	キャスク固定ボルトの全本数	4	本
$\tau$	キャスク固定ボルトにかかるせん断応力	/	MPa
$Q$	キャスク固定ボルトにかかるせん断力	/	N
$A$	キャスク固定ボルトの軸断面積	113.1	$\text{mm}^2$
$f_t$	許容引張応力	/	MPa
$f_s$	許容せん断応力	/	MPa
$F$	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	/	MPa

##### ii) キャスク固定ボルトにかかる引張応力 $\sigma$ の計算

キャスク固定ボルトに垂直な方向の水平地震力によって作用する引張力 $F_{1H1}$ 及び $F_{1H2}$ は、片側の列のボルトを支点とする転倒を考え、これを他方の列のボルトで受けるものとして計算する。

一方、キャスク固定ボルトに平行な方向の地震力によって作用する引張力 $F_2$ は、すべてのボルトで均等に受けるものとして計算する。



キャスク固定ボルトに作用する引張力 $F_2$ は、キャスク固定ボルトに垂直な方向の地震力によって作用する引張力及びキャスク固定ボルトに平行な方向の地震力によって作用する引張力を組合せるものとする。

キャスク固定ボルトの引張応力 $\sigma$ は、ボルトに垂直な方向の地震力によって発生する引張力をSRSS法により組み合わせ、JEAC4601等を参考に次式により求める。

$$F_{1H1} = \frac{\{m \cdot g \cdot C_H \cdot h\} \cdot L_{1P}}{\sum_{j=1}^p n_{f1j} \cdot L_{1j}^2}$$

$$F_{1H2} = \frac{\{m \cdot g \cdot C_H \cdot h\} \cdot L_{2K}}{\sum_{j=1}^k n_{f2j} \cdot L_{2j}^2}$$

$$F_2 = \frac{m \cdot g \cdot (1 - C_V)}{n}$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{F_{1H1}^2 + F_{1H2}^2 + F_2}}{A}$$

結果として、キャスク固定ボルトに作用する引張力 $\sigma$ は209MPaとなった。

### iii) キャスク固定ボルトにかかるせん断応力 $\tau$ の計算

キャスク固定ボルトについて、地震力によりキャスク固定ボルトに垂直な方向の力(水平2方向)について、力のベクトル合成を考慮した際に生じる応力を求める。キャスク固定ボルトに作用するせん断荷重は、4本のキャスク固定ボルトに均等に荷重が作用するものとする。

キャスク固定ボルトのせん断応力 $\tau$ は、JEAC4601等を参考に次式により求める。

$$Q = m \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + C_H^2}$$

$$\tau = \frac{Q}{A \cdot n}$$

結果として、キャスク固定ボルトのせん断応力 $\tau$ は169MPaとなった。

### iv) 許容応力の計算

許容応力の計算は、JSME S NC1に示す計算方法により算出する。なお、各材料物性値に関しては、JSME S NC1の付録図表による。

キャスク固定ボルトの許容引張応力 $f_t$ 及び許容せん断応力 $f_s$ の計算式を以下に示す。

$$f_t = \frac{1.5 \cdot F}{2}$$

$$f_s = \frac{1.5 \cdot F}{1.5\sqrt{3}}$$

また、引張力及びせん断力を同時に受ける場合の許容引張応力は次式で求める。

$$f_{ts} = \min(1.4 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau, f_t)$$

なお、F値についてはJSME S NC1の付録図表による設計降伏点 $S_y$ 及び設計引張強さ $S_u$ から求める。ボルトの最高使用温度である60℃における $S_y$ 及び $S_u$ の値は、JSME S NC1の数値から内挿して求める。表2. 14. 2. 2-15にSCM435のF値の計算に用いた $S_y$ 及び $S_u$ の値を示す。

SCM435はオーステナイト系ステンレス鋼又は高ニッケル合金ではないため、F値の計算式は以下のとおりである。

$$F = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$$

結果として、キャスク固定ボルトの許容引張応力 $f_t$ は376MPa、許容せん断応力 $f_s$ は356MPaとなった。

#### v) 評価結果

評価結果を表2. 14. 2. 4-18に示す。評価結果から、キャスク固定ボルトのせん断応力は許容応力を下回るため、耐震Sクラスの耐震性を有することを確認した。

表 2. 14. 2. 4-18 キャスク固定ボルトの評価結果

評価設備	設計用震度	評価部位	評価項目	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
サイドローディングキャスク	$\left( \begin{array}{l} S_s900 \\ C_H=1.26 \\ C_H=1.26 \\ C_V=0.90 \end{array} \right)$	キャスク固定ボルト	引張	209	376
			せん断	169	356

#### (4-2) 台座固定ボルトに対する耐震計算

##### i) 記号の説明及び数値

記号	記載内容	値	単位
$F_{1H1}$	台座固定ボルトに垂直な方向の鉛直地震力によって作用する引張力	/	N
$F_{1H2}$	台座固定ボルトに垂直な方向の水平地震力によって作用する引張力	/	N
$F_2$	台座固定ボルトに平行な方向の地震力によって作用する引張力	/	N
$\sigma$	台座固定ボルトに作用する引張応力	/	MPa
$m$	サイドローディングキャスクの質量	4420	kg
$g$	重力加速度	9.80665	m/s <sup>2</sup>
$C_V$	鉛直方向の設計用震度	0.90	—
$h$	サイドローディングキャスクの重心高さ	440	mm
$L_{1P}$	転倒支点から最も離れた台座固定ボルトまでの距離(水平方向1)	/	mm
$n_{f1j}$	転倒支点から $L_{1j}$ の距離にある台座固定ボルトの本数	/	本
$L_{1j}$	転倒支点から $j$ 番目の台座固定ボルトまでの距離(水平方向1)	/	mm
$C_H$	水平方向の設計用震度	1.26	—
$L_{2K}$	転倒支点から最も離れた台座固定ボルトまでの距離(水平方向2)	/	mm
$n_{f2j}$	転倒支点から $L_{2j}$ の距離にある台座固定ボルトの本数	/	本

$L_{2j}$	転倒支点から j 番目の台座固定ボルトまでの距離(水平方向 2)		mm
n	台座固定ボルトの全本数	4	本
$\tau$	台座固定ボルトにかかるせん断応力		MPa
Q	台座固定ボルトにかかるせん断力		N
A	台座固定ボルトの軸断面積	201.1	mm <sup>2</sup>
$f_t$	許容引張応力		MPa
$f_s$	許容せん断応力		MPa
F	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値		MPa

ii) 台座固定ボルトにかかる引張応力  $\sigma$  の計算

台座固定ボルトに垂直な方向の水平地震力によって作用する引張力 $F_{1H1}$ 及び $F_{1H2}$ は、片側の列のボルトを支点とする転倒を考え、これを他方の列のボルトで受けるものとして計算する。

一方、台座固定ボルトに平行な方向の地震力によって作用する引張力 $F_2$ は、すべてのボルトで均等に受けるものとして計算する。

台座固定ボルトに作用する引張力 $F_2$ は、台座固定ボルトに垂直な方向の地震力によって作用する引張力及び台座固定ボルトに平行な方向の地震力によって作用する引張力を組合せるものとする。

台座固定ボルトの引張応力  $\sigma$  は、ボルトに垂直な方向の地震力によって発生する引張力をSRSS法により組み合わせ、JEAC4601等を参考に次式により求める。

$$F_{1H1} = \frac{\{m \cdot g \cdot C_H \cdot h\} \cdot L_{1P}}{\sum_{j=1}^p n_{f1j} \cdot L_{1j}^2}$$

$$F_{1H2} = \frac{\{m \cdot g \cdot C_H \cdot h\} \cdot L_{2K}}{\sum_{j=1}^k n_{f2j} \cdot L_{2j}^2}$$

$$F_2 = \frac{m \cdot g \cdot (1 - C_V)}{n}$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{F_{1H1}^2 + F_{1H2}^2 + F_2}}{A}$$

結果として、台座固定ボルトに作用する引張力  $\sigma$  は258MPaとなった。

iii) 台座固定ボルトにかかるせん断応力  $\tau$  の計算

台座固定ボルトについて、地震力により台座固定ボルトに垂直な方向の力(水平2方向)について、力のベクトル合成を考慮した応力を求める。台座固定ボルトに作用するせん断荷重は、4本の台座固定ボルトに均等に荷重が作用するものとする。

台座固定ボルトのせん断応力  $\tau$  は、JEAC4601等を参考に次式により求める。

$$Q = m \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + C_H^2}$$

$$\tau = \frac{Q}{A \cdot n}$$

結果として、台座固定ボルトのせん断応力  $\tau$  は97MPaとなった。

iv) 許容応力の計算

許容応力の計算は、JSME S NC1に示す計算方法により算出する。なお、各材料物性値に関しては、JSME S NC1の付録図表による。

台座固定ボルトの許容引張応力 $f_t$ 及び許容せん断応力 $f_s$ の計算式を以下に示す。

$$f_t = \frac{1.5 \cdot F}{2}$$

$$f_s = \frac{1.5 \cdot F}{1.5\sqrt{3}}$$

また、引張力及びせん断力を同時に受ける場合の許容引張応力は次式で求める。

$$f_{ts} = \min(1.4 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau, f_t)$$

なお、F値についてはJSME S NC1の付録図表による設計降伏点 $S_y$ 及び設計引張強さ $S_u$ から求める。ボルトの最高使用温度である60℃における $S_y$ 及び $S_u$ の値は、JSME S NC1の数値から内挿して求める。表2.14.2.2-15にSCM435のF値の計算に用いた $S_y$ 及び $S_u$ の値を示す。

SCM435はオーステナイト系ステンレス鋼又は高ニッケル合金ではないため、F値の計算式は以下のとおりである。

$$F = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$$

結果として、台座固定ボルトの許容引張応力 $f_t$ は462MPa、許容せん断応力 $f_s$ は356MPaとなった。

v) 評価結果

評価結果を表2.14.2.4-19に示す。評価結果から、台座固定ボルトのせん断応力は許容応力を下回るため、耐震Sクラスの耐震性を有することを確認した。

表 2. 14. 2. 4-19 台座固定ボルトの評価結果

評価設備	設計用震度	評価部位	評価項目	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
サイドローディングキャスク	$\left( \begin{array}{l} Ss900 \\ C_H=1.74 \\ C_H=1.74 \\ C_V=0.91 \end{array} \right)$	台座固定ボルト	引張	258	462
			せん断	97	356

#### 4.2 固縛装置の評価

サイドローディングキャスクをコンクリートセルに接続する際、Ss900に対する耐震性を持たせるため、固縛機器(レバーブロック等)で台車を固定する。機械工学便覧に基づき、モーメントのつり合いの式からSs900時の固縛機器に発生する荷重を求め、発生荷重以上の耐荷重を有する固縛機器を選定することでSs900地震に対する耐震性を持たせる。

##### (1) モーメントのつり合い計算

###### i) 記号の説明及び数値

記号	記載内容	値	単位
m	重量(キャスク+台座+台車)	5000	kg
g	重力加速度	9.80665	m/s <sup>2</sup>
C <sub>H</sub>	水平震度	1.26	-
C <sub>V</sub>	鉛直震度	0.90	-
T	張力		N
a	視点から重心までの距離	0.555	m
b	重心から張力作用点までの距離	0.430	m
Z <sub>1</sub>	重心高さ	1.17	m
Z <sub>2</sub>	張力作用点高さ	0.875	m
θ	床と固縛機器のなす角	52	°

###### ii) 張力の計算

図2. 14. 2. 4-21に示すとおり、サイドローディングキャスクの台座と1階床部を4つの固縛機器で固縛する。その際にサイドローディングキャスクに作用する力を図2. 14. 2. 4-22に示す。

サイドローディングキャスクが転倒しない場合のモーメントのつり合いの式は以下のとおりである。

$$mg\sqrt{2}C_H \cdot Z_1 + mgC_V \cdot a - mg \cdot a - T \sin \theta \cdot (a + b) - T \cos \theta \cdot Z_2 = 0$$

張力について着目して整理し直すと以下のとおりとなる。

$$T = \frac{mg(\sqrt{2}C_H Z_1 + C_V a - a)}{(a + b) \sin \theta + Z_2 \cos \theta}$$

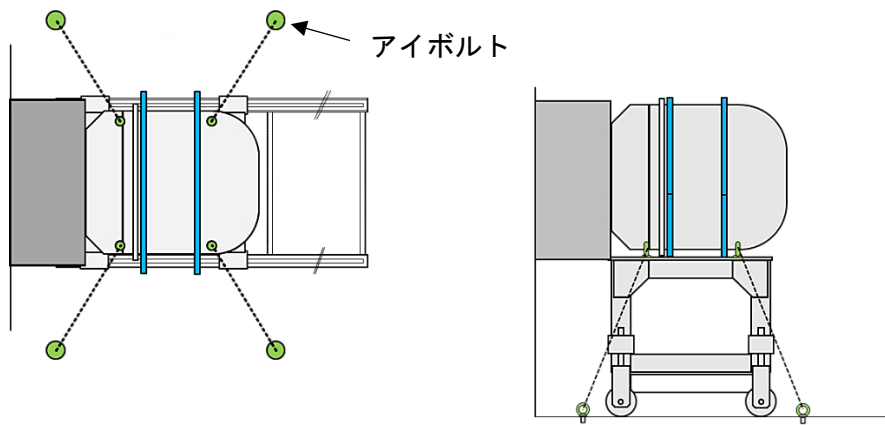


図2.14.2.4-21 サイドローディングキャスクの固縛方法

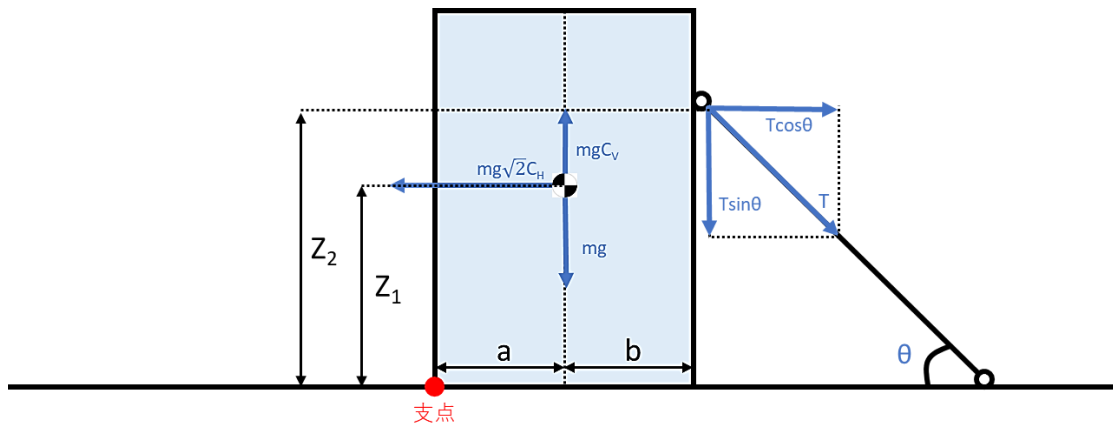


図2.14.2.4-22 サイドローディングキャスクに作用する力

ii) 評価結果

以上の式からSs900地震発生時の固縛機器に作用する荷重は、 $7.57 \times 10^4 \text{N}$  ( $7.72 \times 10^3 \text{kgf}$ ) となった。

固縛機器に作用する荷重以上の耐荷重を有する機器を選定することで、Ss900に対する耐震性を有することを確認した。

(2) アイボルトの応力評価

固縛機器をかけるため床面に設置されるアイボルトの応力評価を行う。(1)の評価結果からアイボルトには引張応力  $T \sin \theta$ 、せん断応力  $T \cos \theta$  が作用する。アイボルトの材料はSCM435、呼び径をM24とし、**供用状態Ds**として応力評価を行った結果を表2.14.2.4-20に示す。

結果としてアイボルトはSs900地震時に作用する応力に対して健全であることを確認した。

表 2.14.2.4-20 アイボルトの評価結果

評価設備	設計用震度	評価部位	評価項目	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
サイドローディングキャスク	Ss900 C <sub>H</sub> =1.26 C <sub>H</sub> =1.26 C <sub>V</sub> =0.90	アイボルト	引張	117	224
			せん断	264	356

(3) アンカー部評価

サイドローディングキャスクは床面に設置したアイボルト及び台車に固縛機器をかけて固定されるため、JEAG4601に基づき、床面に設置されるアイボルトに対して、アンカー部評価を行った結果を表2.14.2.4-21に示す。結果として、コンクリートに固定されるアイボルトに対してコンクリートのコーン状破壊が発生しないことを確認した。

表 2.14.2.4-21 アンカー部評価結果

評価設備	評価部位	基礎ボルト 1本あたりの 引張荷重 p(N)	基礎ボルト 1本あたりの 許容引張 荷重 p <sub>a</sub> (N)	基礎ボルト 1本あたりの せん断荷 重 q(N)	基礎ボルト 1本あたり の許容せん 断荷重 q <sub>a</sub> (N)	引張荷重と せん断荷重 の組合せ <sup>※2</sup>
サイドローディングキャスク	アイボルト	59634	75875	11648	119056	0.7

※2  $(p/p_a)^2 + (q/q_a)^2$ で計算され、1以下であればコーン状破壊は発生しない。

(中略)

## 落雷に対する設計上の考慮に係る準拠法令等について

第2棟は、避雷針の設置、機器接地により、落雷による損傷を防止する設計とする。避雷針の設置、機器接地を行うに当たり、JIS A 4201（建築物等の雷保護）及び建築基準法に基づき設計する。

JIS A 4201では、被保護施設の種類及び重要度等を考慮して保護レベル（雷保護システムの保護効率に応じた分類）を選定し、選定した保護レベルに対応した設計をするように規定している。表 2.14.2.7-1 に各保護レベルでの保護効率等を示す。

表 2.14.2.7-1 各保護レベルでの保護効率

保護レベル	保護効率	最小電撃電流 [kA]	電撃距離 [m]
I	0.98	2.9	20
II	0.95	5.4	30
III	0.90	10.1	45
IV	0.80	15.7	60

保護レベルは、「新 JIS に基づく外部雷保護システムの設計・施工実務」（日本電設工業協会）で示されている、表 2.14.2.7-2 保護レベル選定上、考慮する条件に基づき選定する。

第2棟は放射性物質を取り扱う施設であり、安全機能が損なわれた場合に公衆に対して過度な放射線被ばくを及ぼす恐れがあることから、保護レベル I として設計する。

表 2.14.2.7-2 保護レベル選定上、考慮する条件

立地条件	その地方の襲来頻度 地形（平地の一軒家，山または丘の頂上，がけの上）
建築物等の種類・重要度	建築物の高さ 多数の人が集まる建築物（学校，寺院，病院，デパート，劇場等） 重要業務を行う建築物等（官庁，電話局，銀行，商社） 科学的，文化的に貴重な建築物等（美術館，博物館，保護建築物等） 家畜を多数収容する牧舎 火薬，可燃性液体，可燃性ガス，毒物，放射性物質などを貯蔵または取り扱う建築物等 大量の電子機器を収容している建築物等



## 竜巻影響評価について

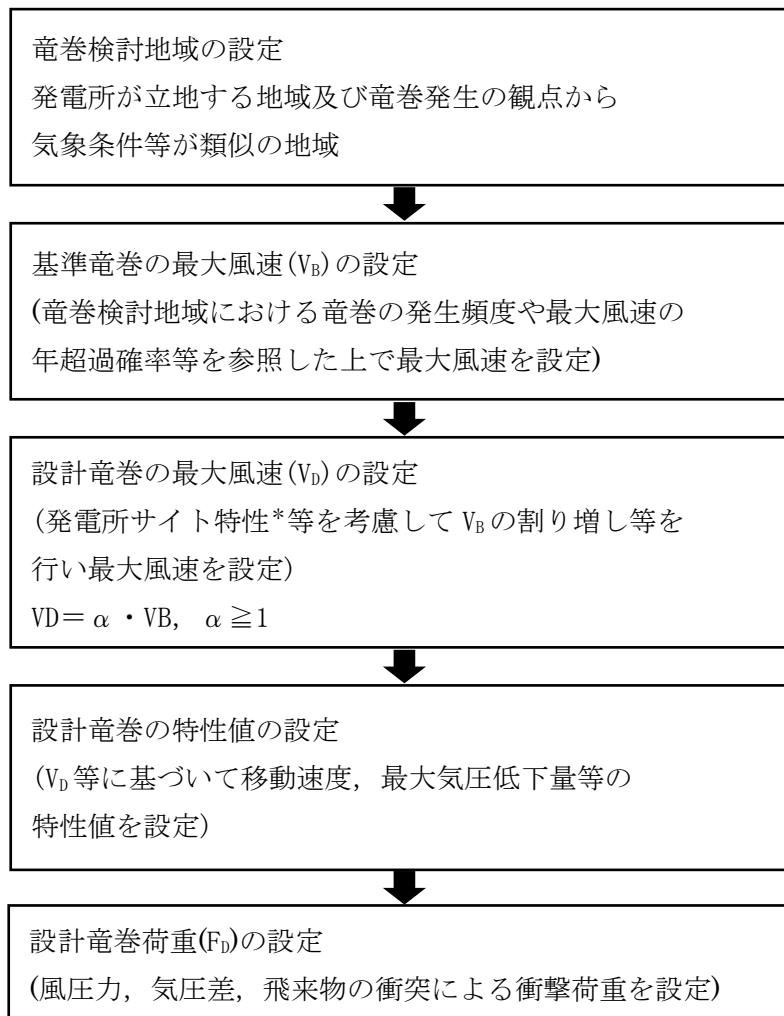
## 1. 竜巻防護に関する設計方針

第2棟の安全上重要な施設(コンクリートセル(給排気弁を含む)、試料ピット)に対し、竜巻及び竜巻随伴事象によって、第2棟の竜巻防護施設の安全機能が維持されることを「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」(平成25年6月19日 原規技発第13061911号原子力規制委員会決定)(以下「竜巻ガイド」という。)に基づき評価する。

なお、竜巻防護施設として、「安全性が損なわれた場合に公衆に対して過度な放射線被ばくを及ぼすおそれのある施設」を防護対象として考慮し、本評価では「コンクリートセル(給排気弁を含む)及び試料ピット」の安全性を確認する。

## 2. 設計竜巻の設定

第2棟における設計竜巻の風速は100m/sと設定する。設計竜巻の最大風速の設定については、竜巻ガイドで示されている図2.14.2.8-1の基本フローに沿って設定する。



\* : 地形効果による竜巻の増幅特性等

図 2.14.2.8-1 基準竜巻・設計竜巻の設定に係る基本フロー

### 2.1 竜巻検討地域の設定

第2棟に対する基準竜巻風速の設定を検討する竜巻検討地域(宮城県以西の太平洋側沿岸域)を図2.14.2.8-2に示す。検討地域の面積は88,682 km<sup>2</sup>であり、最大のFスケールはF3(風速70～92m/s)である。福島県から青森県にかけての太平洋側沿岸域における発生数は、茨城県以西の太平洋側沿岸域に比べて極めて少ないが、宮城県以西の太平洋側沿岸域は、大きなスーパーセル型竜巻の発生ポテンシャルが国内でも最大規模である地域を含んでおり、総観場分析によって竜巻検討地域として設定することは適切であると考えられる。

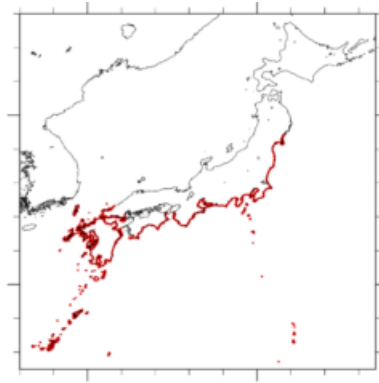


図 2.14.2.8-2 基準竜巻風速設定に用いる竜巻検討地域

## 2.2 基準竜巻の最大風速 $V_B$ の設定

基準竜巻の最大風速は、過去に発生した竜巻による最大風速( $V_{B1}$ )及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速( $V_{B2}$ )のうち、大きな風速を設定する。

### 2.2.1 過去に発生した竜巻による最大風速( $V_{B1}$ )の設定

過去発生した最大規模の竜巻は表2.14.2.8-1に示すとおり、藤田スケールのF3竜巻(風速70～92m/s)であることから、 $V_{B1}$ はF3の風速範囲の上限値92m/sとする。

表 2.14.2.8-1 過去発生した主な F3 竜巻(気象庁、竜巻等の突風データベースより)

F スケール	発生日	発生場所
F3	1971年7月7日	埼玉県浦和市
F3	1978年2月28日	神奈川県川崎市
F3	1990年12月11日	千葉県茂原市
F3	1999年9月24日	愛知県豊橋市
F3	2012年5月6日	茨城県常総市

### 2.2.2 竜巻風速のハザード曲線による最大風速 $V_{B2}$

竜巻風速のハザード曲線に基づく最大風速 $V_{B2}$ については、竜巻ガイドに基づき図2.14.2.8-3のフローに基づき評価する。

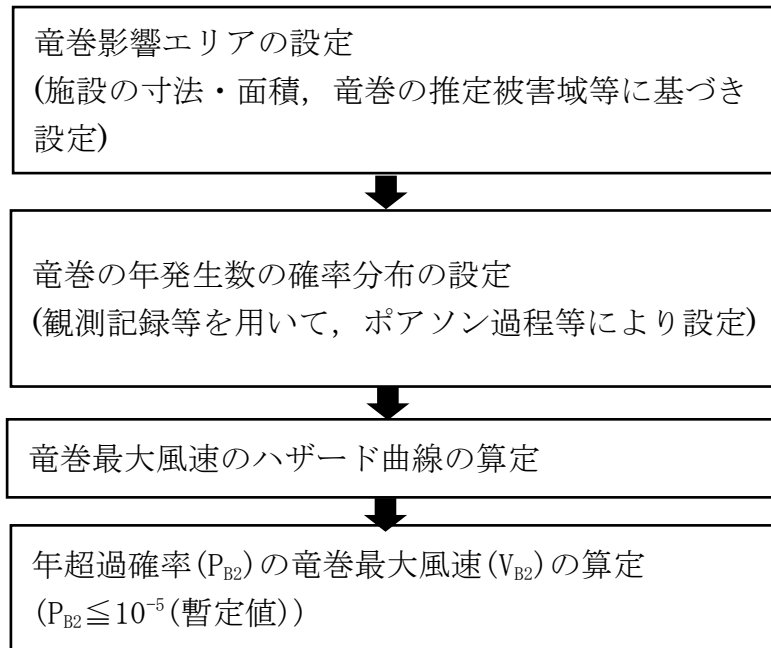


図 2.14.2.8-3 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速( $V_{B2}$ )の算定フロー

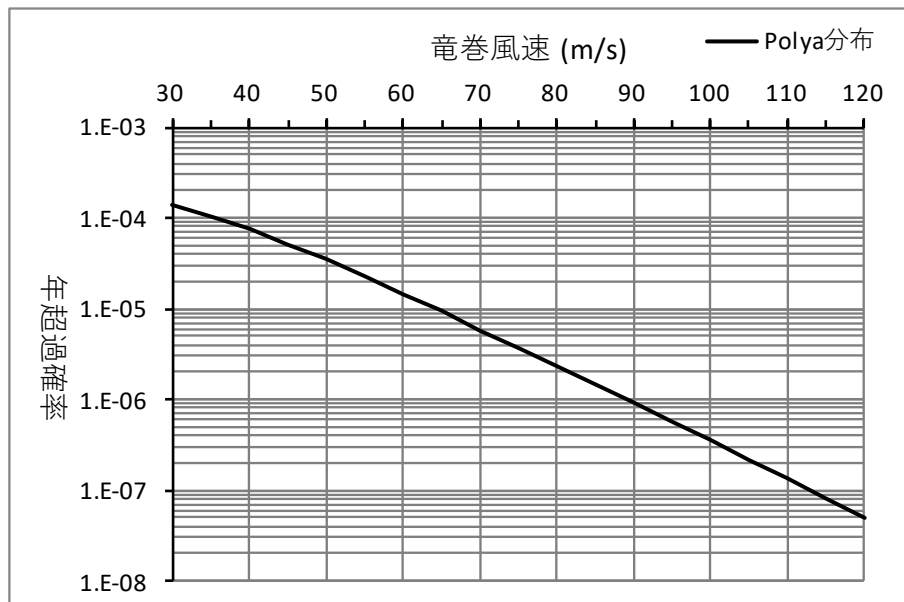


図 2.14.2.8-4 竜巻風速のハザード評価結果

評価の結果、竜巻風速のハザード評価は図 2.14.2.8-4 の通りになり、竜巻ガイドにて設定されている年超過確率  $10^{-5}$  に対する竜巻風速は 64.3 m/s となる。

表 2.14.2.8-2 竜巻風速のハザード評価結果の纏め

	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$
第2棟	35.8	64.3	89.0	113.1

### 2.2.3 基準竜巻の最大風速 $V_B$

過去に発生した竜巻による最大風速 $V_{B1}=92\text{m/s}$ 及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 $V_{B2}=64.3\text{m/s}$ のうち、大きい風速である $92\text{m/s}$ を基準竜巻の最大風速 $V_B$ とする。

表 2.14.2.8-3 竜巻最大風速の算定結果

項目	最大風速[m/s]
過去に発生した竜巻による最大風速 $V_{B1}$	92
竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 $V_{B2}$	64.3
基準竜巻の最大風速 $V_B$	92

### 2.3 設計竜巻の最大風速 $V_D$ の設定

福島第一原子力発電所周辺で発生する竜巻は、地形が平坦な海側から発電所敷地に進入する可能性が高く発電所敷地自体も平坦であるため竜巻が増幅することはないと考えられる。また、竜巻が海上から陸側に移動する際には、地表面粗度の小さい海上から粗度の大きい陸上に上陸するため、粗度により減衰するものと考えられる。

以上のことから、地形効果による竜巻の増幅を考慮せず、不確かさを考慮し安全側に切り上げて設計竜巻の最大風速 $V_D$ を $100\text{m/s}$ とする。

### 3. 設計竜巻の特性値

竜巻ガイドに基づき算出した設計竜巻の各特性値を以下に示す。

表2.14.2.8-4 設計竜巻の特性値

最大風速 $V_D$ [m/s]	移動速度 $V_T$ [m/s]	最大接線風速 $V_{Rm}$ [m/s]	最大接線風速半径 $R_m$ [m]	最大気圧低下量 $\Delta P_{\max}$ [hPa]	最大気圧低下率 $(dp/dt)_{\max}$ [hPa/s]
100	15	85	30	89	45

### 4. 設計飛来物の設定

竜巻ガイドに基づき、第2棟の設置環境を考慮し、設計飛来物を設定した。竜巻ガイドを基に設定した飛来物を表2.14.2.8-5に示す。また、第2棟の設置環境を考慮し設定した飛来物を表2.14.2.8-6に示す。

表 2.14.2.8-5 竜巻ガイドを基に設定した飛来物

	棒状物		板状物	塊状物	
飛来物の種類	鋼製パイプ	鋼製材	コンクリート板	コンテナ	トラック
サイズ[m]	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×奥行 2.4×2.6×6	長さ×幅×奥行 5×1.9×1.3
質量[kg]	8.4	135	540	2300	4750

表 2.14.2.8-6 第2棟の設置環境を考慮し設定した飛来物

	塊状物	
飛来物の種類	車両(大) <sup>※1</sup>	車両(小) <sup>※2</sup>
サイズ[m]	長さ×幅×奥行 4.90×1.88×1.87	長さ×幅×奥行 3.4×1.5×1.5
質量[kg]	2150	710

※1 TEPCO 柏崎刈羽原子力発電所の許認可実績から引用

※2 日本原燃の許認可実績から引用

#### 5. TONBOS による設計飛来物の飛散解析

他の原子力施設で許認可実績があるTONBOSを使用し、設計竜巻における飛来物の飛散高さ、速度等を評価した。結果を表2.14.2.8-7に示す。

TONBOSによる飛散解析の結果及び図2.14.2.8-5に示す第2棟の断面図から以下の項目のとおり整理する。

- ・ 鋼管パイプ及びコンクリート板は浮上しないため、以降の評価から除外する。
- ・ 鋼製材、**トラック及び車両(大)**は、最大飛散高さが7m以下であるため、1階のみに衝突すると想定する。
- ・ **車両(小)**は最大飛散高さが13m以下であるため、1階及び2階に衝突すると想定する。
- ・ **コンテナ**は最大飛散高さが17m以上であるため、1階、2階及び屋上階に衝突すると想定する。

表 2.14.2.8-7 TONBOS による飛散解析の結果

飛来物	浮上判定	最大飛散高さ[m]	最大水平速度[m/s]
鋼管パイプ	浮上しない		
鋼製材	浮上する	0.3	15.0
コンクリート板	浮上しない		
コンテナ	浮上する	17.3	54.4
トラック	浮上する	0.1	6.3
車両(大)	浮上する	4.6	45.2
車両(小)	浮上する	8.7	55.1

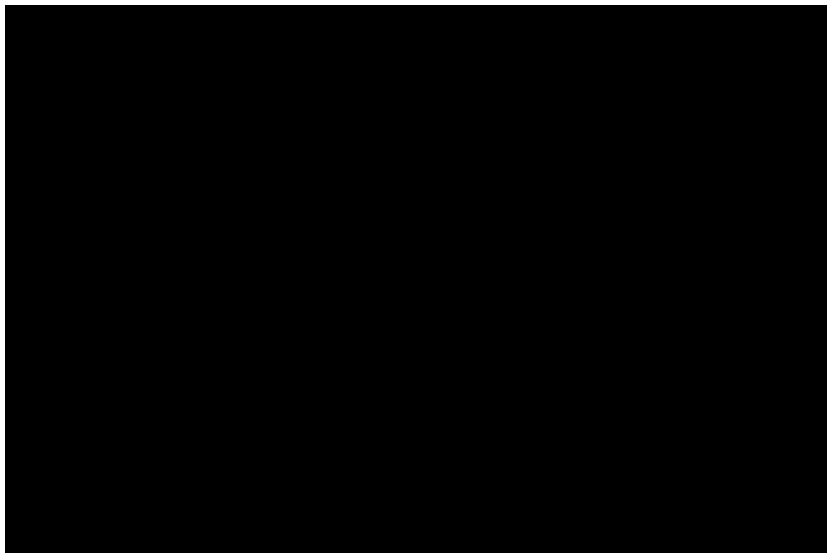


図 2.14.2.8-5 第2棟建屋の断面図

#### 6. 設計竜巻荷重に対する建屋の影響評価

竜巻ガイドを基に、設計竜巻荷重に対して第2棟建屋が健全であることを確認するため、設計竜巻による複合荷重( $W_{T1}$ 及び $W_{T2}$ )に対して、第2棟建屋の構造健全性が維持されることを確認するため、保有水平耐力以下であることを確認する<sup>※3</sup>。

複合荷重の計算式を以下に示す。

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>① <math>W_{T1} = W_p</math></li> <li>② <math>W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M</math></li> </ul> | <p><math>W_{T1}</math>、<math>W_{T2}</math> : 設計竜巻による複合荷重<br/> <math>W_w</math> : 設計竜巻の風圧力による荷重<br/> <math>W_p</math> : 設計竜巻による気圧差による荷重<br/> <math>W_M</math> : 設計飛来物による衝撃荷重</p> |
|--|---|

$W_p$  (気圧差による荷重) の計算式  
 $W_p = \Delta P_{max} \cdot A = 8.9 \times A$

$W_w$  (風圧力による荷重) の計算式  
 $W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A \quad (q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_0^2)$

$W_M$  (飛来物による衝撃荷重) の計算式  
 $W_M = mv^2/L_1$  (Rieraの式)

結果として、複合荷重 ( $W_{T1}$  及び  $W_{T2}$ ) が建屋の保有水平耐力以下であることを確認した。複合荷重と保有水平耐力との比較の詳細を表2.14.2.8-8及び表2.14.2.8-9に示す。

※3 建屋の構造健全性確認として、保有水平耐力を算定し建屋設計を実施する。設計竜巻荷重が、保有水平耐力を下回れば、竜巻による影響は保有水平耐力評価に内包されるため、竜巻による建屋への影響はないと評価する。

表 2.14.2.8-8 複合荷重  $W_{T1}$  と保有水平耐力の比較

階層	$W_{T1}$ [N]	保有水平耐力 [N]	判定
1 階	1.13E+06	1.90E+08	○
2 階	2.33E+06	1.08E+08	○
屋上階	1.81E+06	2.59E+07	○

表 2.14.2.8-9 複合荷重  $W_{T2}$  と保有水平耐力の比較

飛来物が衝突する階	飛来物※4	$W_{T2}$ [N]※5	保有水平耐力 [N]	判定
1 階	鋼製材	8.11E+07	1.90E+08	○
	コンテナ			
	トラック			
	車両(大)			
	車両(小)			
2 階	車両(小)	6.92E+06	1.08E+08	○
	コンテナ			
屋上階	コンテナ	5.16E+06	2.59E+07	○

※4 鋼管パイプ及びコンクリート板は浮上しない。

※5 各階に複数の飛来物が衝突する場合は、飛来物が同時に衝突することを想定する。

## 7. 設計飛来物の衝突に対する影響評価

### 7.1 建屋外壁(コンクリート)に設計飛来物が衝突した場合の影響評価

設計飛来物の寸法重量及びTONBOSによる解析で得られた飛来物の速度から、飛来物が建屋外壁(コンクリート)に衝突した場合における貫通及び裏面剥離の発生の有無を確認する。なお、貫通及び裏面剥離の発生の有無を評価する際に使用する評価式は、他の原子力施設で許認可実績がある以下の式を使用する。



○コンクリートに対する貫通評価及び裏面剥離評価

・貫通評価※1

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

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

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

・裏面剥離評価

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

※1 形状係数：1.14（鋭い）、低減係数：1.0（剛体）の条件で計算

凡例	
$t_p$ : 貫通限界厚さ(in)	$\alpha_c$ : 裏面剥離限界厚さ低減係数(-)
$\alpha_c$ : 貫入深さ飛来物低減係数(-)	M: 質量(lb/(ft/s <sup>2</sup> ))
$X_c$ : 貫入深さ(in)	T: 鋼板貫通限界厚さ(in)
N: 形状係数(-)	M: 飛来物質量(lb・s <sup>2</sup> /ft)
$F_c$ : コンクリート強度(psi)	K: 鋼板の材料に関する係数(=1)
$\alpha_p$ : 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> )	

設計飛来物の寸法重量及びTONBOSによる解析で得られた飛来物の速度から算出した貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さを表2. 14. 2. 8-10に示す。各限界厚さと建屋外壁の壁厚を比較することで、設計飛来物が衝突した場合の影響を評価し、以下の項目に示すとおり設計飛来物ごとに整理した。

- ・ 鋼管パイプ、コンクリート板  
浮上しないため、第2棟に衝突しない。
- ・ 鋼製材、トラック、車両(大)  
最大飛散高さが7m未満であるため、1階の外壁に衝突する。1階外壁の壁厚が、貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さよりも大きいため、貫通、裏面剥離は発生しない。
- ・ 車両(小)  
最大飛散高さが7m以上、13m未満であるため、1階及び2階の外壁に衝突する。1階及び2階の外壁の壁厚が、貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さよりも大きいため、貫通及び裏面剥離は発生しない。
- ・ コンテナ  
最大飛散高さが17m以上であるため、1階、2階及び屋上階の外壁に衝突する。1階外壁の壁厚が、貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さよりも大きいため、貫通及び裏面剥離は発生しない。2階外壁の一部の壁厚が、裏面剥離限界厚さよりも小さいため、裏面剥離が発生する。図2. 14. 2. 8-6の実線枠で示した外壁は壁厚■■■■であり、各限界厚さ以上の厚みであるため、貫通及び裏面剥離は発生しない。図2. 14. 2. 8-6の破線枠で示した外壁は壁厚■■■■であり、コンテナが衝突した場合は裏面剥離が発生する。ただし、発生した剥離物は、近傍(換気空調設備室、制御室、更衣室・汚染検査室及び放射線監視室)に落下するが、コンクリートセルに影響はない。屋上階にコンテナが衝突した場合、壁厚が裏面剥離限界厚さよりも小さいため裏面剥離を生じる。

表 2.14.2.8-10 建屋外壁に設計飛来物が衝突した場合の限界厚さ

飛来物	最大飛散 高さ[m]	コンクリートの貫 通限界厚さ[cm]	コンクリートの裏 面剥離限界厚さ [cm]	衝突する壁の厚さ
鋼管パイプ				
鋼製材	0.3	■	■	■ (1階:高さ0~7m)
コンクリート板				
コンテナ	17.3	■	■	■ (屋上階:高さ13~17m) ■ (2階:高さ7~13m) ■ (1階:高さ0~7m)
トラック	0.1	■	■	■ (1階:高さ0~7m)
車両(大)	4.6	■	■	■ (1階:高さ0~7m)
車両(小)	8.7	■	■	■ (2階:高さ7~13m) ■ (1階:高さ0~7m)

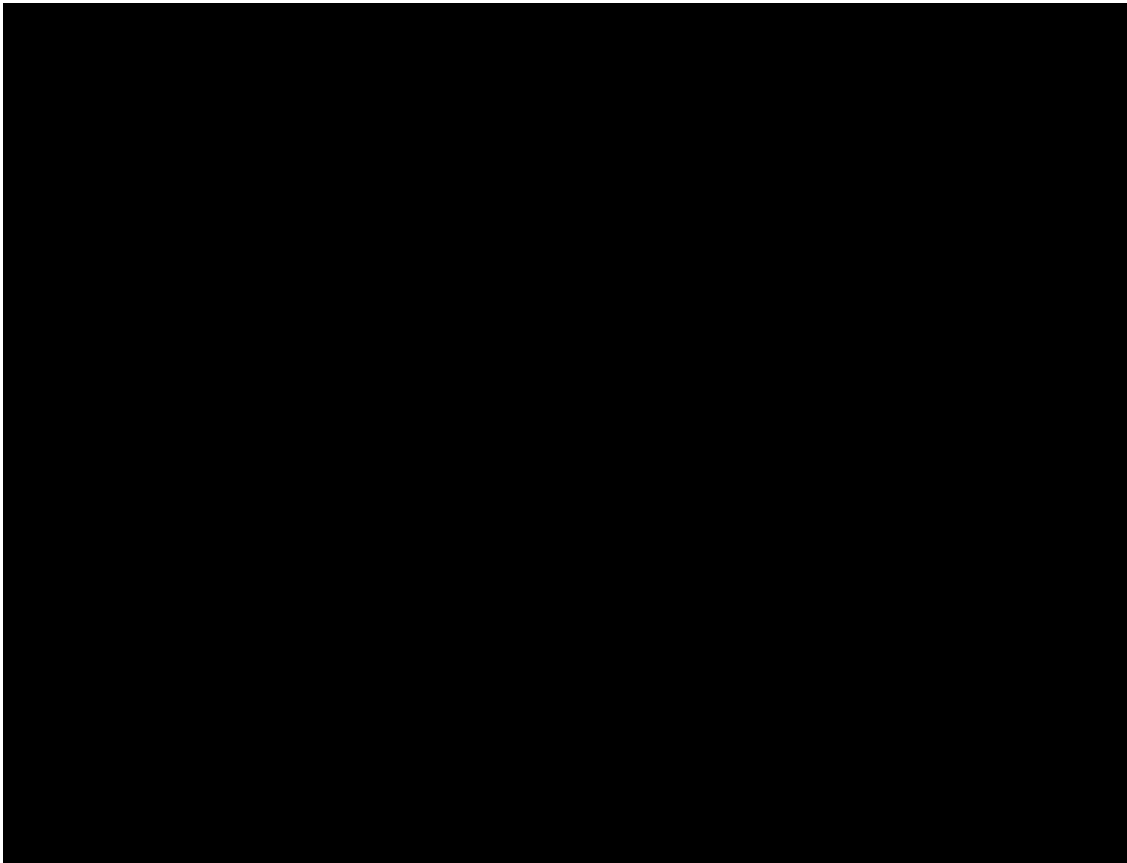


図 2. 14. 2. 8-6 2 階の壁厚(第 2 棟 2 階平面図)

## 7.2 扉(鋼板)に設計飛来物が衝突した場合の影響評価

設計飛来物の寸法重量及びTONBOSによる解析で得られた飛来物の速度から、飛来物が扉(鋼板)に衝突した場合における貫通の発生の有無を確認する。第2棟に設置される扉の仕様を表 2. 14. 2. 8-11に示す。なお、貫通の発生の有無を評価する際に使用する評価式は、他の原子力施設で許認可実績がある以下の式を使用する。

### ○鋼板に対する貫通評価

$$\text{BRL式} \quad T^{3/2} = \frac{0.5MV^2}{17400K^2D^{3/2}}$$

凡例

$t_p$ : 貫通限界厚さ(in)	$\alpha_c$ : 裏面剥離限界厚さ低減係数(-)
$\alpha_c$ : 貫入深さ飛来物低減係数(-)	M: 質量(lb/(ft·s <sup>2</sup> ))
$x_c$ : 貫入深さ(in)	T: 鋼板貫通限界厚さ(in)
N: 形状係数(-)	M: 飛来物質量(lb·s <sup>2</sup> /ft)
$F_c$ : コンクリート強度(psi)	K: 鋼板の材料に関する係数(=1)
$\alpha_p$ : 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> )	

設計飛来物の寸法重量及びTONBOSによる解析で得られた飛来物の速度から算出した貫通限界厚さを表 2. 14. 2. 8-12に示す。貫通限界厚さと扉の厚さを比較することで、設計飛来物が衝突した場合の影響を評価し、以下の項目に示すとおり扉の種類ごとに整理した。また、図 2. 14. 2. 8-7に第2棟における扉の配置図を示す

- ・ 扉No.1

鋼板厚さが■であるため、いずれの飛来物が衝突しても貫通することはない。

- ・ 扉No.2

鋼板厚さが■以上あるため、いずれの飛来物が衝突しても貫通することはない。

表 2. 14. 2. 8-11 第 2 棟に設置される扉の仕様

No.	設置階	材質	厚さ [mm]
1	1, 2	ステンレス鋼	■
2	1	ステンレス鋼／普通コンクリート／ステンレス鋼※6	■

※6 普通コンクリートがステンレス鋼で挟まれている構造

表 2. 14. 2. 8-12 鋼板の貫通限界厚さ

飛来物	最大飛散高さ [m]	鋼板の貫通限界厚さ [mm]
鋼管パイプ		
鋼製材	0.3	■
コンクリート板		
コンテナ	17.3	■
トラック	0.1	■
車両(大)	4.6	■
車両(小)	8.7	■

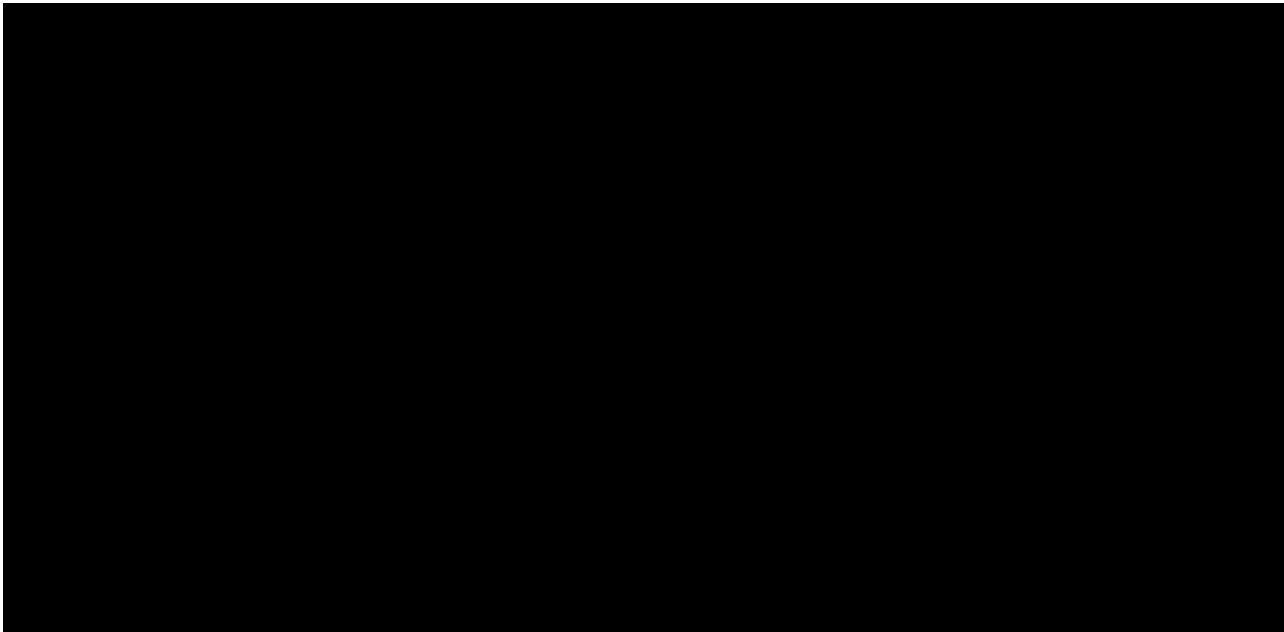


図 2. 14. 2. 8-7 第 2 棟の扉の配置

### 7.3 給気ガラリに設計飛来物が衝突した場合の影響評価

設計飛来物の寸法重量及びTONBOSによる解析で得られた飛来物の速度から、2階に衝突する可能性のあるコンテナが給気ガラリに衝突した場合における影響を確認する。給気ガラリにコンテナが衝突した場合、給気フィルタ室の壁(壁厚25cm)に衝突し、貫通することで換気空調設備室(給気)に侵入する。その後、サービスエリアとの境界壁(壁厚60cm)に衝突し、貫通はせず、裏面剥離が発生する。裏面剥離で発生した剥離物はコンクリートセルから2.8m離れたサービスエリア床に落下する。

コンテナが給気ガラリに衝突した場合の経路を図2. 14. 2. 8-8に示す。また、裏面剥離発生箇所の状況を図2. 14. 2. 8-9に示す。

結果として、コンテナが給気ガラリに衝突した場合は裏面剥離が発生するが、剥離物と防護対象施設は2.8m離れているため、影響はない。なお、コンテナ衝突時のコンクリートの各限界厚さは表2. 14. 2. 8-10を参照する。

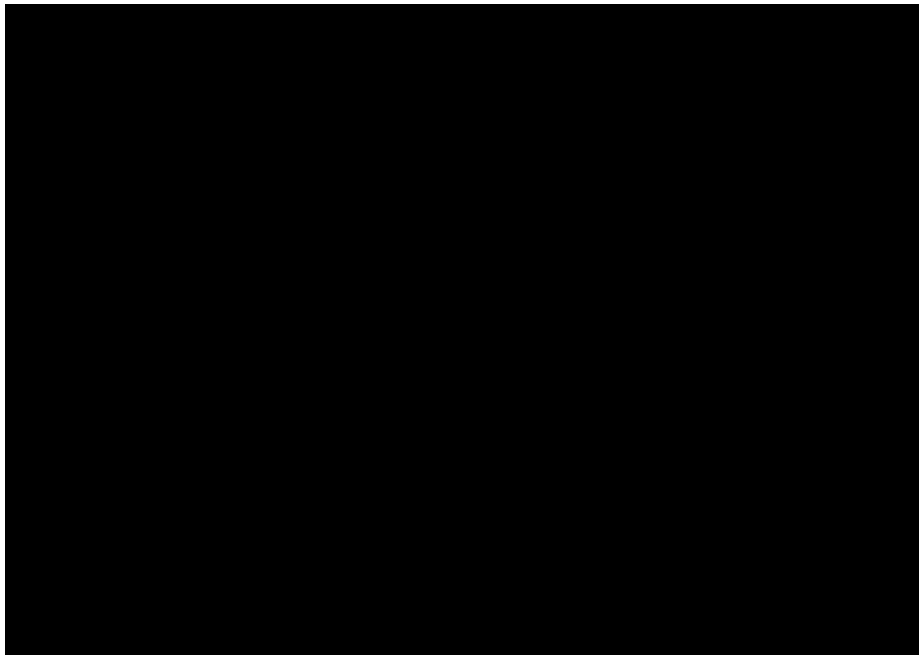


図 2.14.2.8-8 コンテナの経路

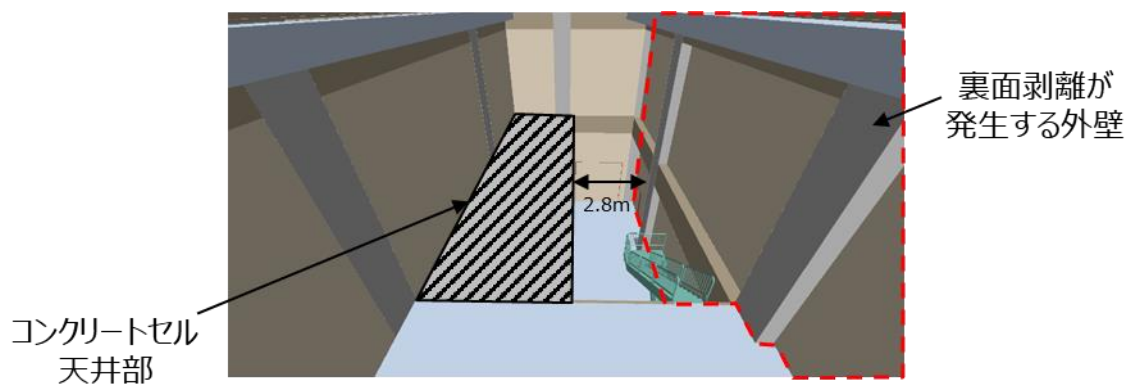


図 2.14.2.8-9 裏面剥離発生箇所の状況

## 8. 設計飛来物(コンテナ)の最適化

竜巻ガイドで例示されている飛来物の寸法は一般的な仕様を示したものである。第2棟で最適化された飛来物で影響評価を行う必要があるため、**コンテナについて**パラメータサーベイを行い、第2棟で想定され得る最大影響を考慮した評価を行う。

### 8.1 パラメータサーベイの結果

コンテナは、内容物の量によって竜巻影響評価に影響が生じる可能性がある。第2棟で想定されるコンテナの状況を網羅的に評価するため、重量に対してパラメータサーベイを行う。パラメータサーベイの範囲は、1000kgから5000kgの範囲を500kg刻み、5000kg以上の範囲を1000kg刻みで重量を増加させ、コンテナが浮上しなくなるまでの範囲を行う。

パラメータサーベイの結果を表2.14.2.8-13に示す。コンテナは、重量が11000kgを超えると浮上しなくなることを確認した。重量が1000kgから2500kgの場合、コンテナは13m以上浮上するため、1階、2階及び屋上階に衝突する。重量が3000kgから3500kgの場合、コンテナは7m以上、13m

未満の範囲で浮上するため、1階及び2階に衝突する。重量が4000kg以上の場合、コンテナは1階にのみ衝突することを確認した。

## 8.2 コンテナ衝突時の影響評価

1階にコンテナが衝突する場合は、いずれの重量においても各限界厚さが1階の壁厚を下回るため、貫通及び裏面剥離は発生しないことを確認した。2階にコンテナが衝突する場合は、貫通は発生しないが、コンテナ重量が3000kgから3500kgの場合は、2階の建屋外壁で裏面剥離が発生するが、影響評価は7.1と同様である。

屋上階にコンテナが衝突する場合、貫通は発生しないが、裏面剥離が発生する。屋上階で発生した剥離物は、図2.14.2.8-10の破線枠に示す範囲に落下することが想定される。剥離物の落下範囲には、施設の安全上重要なコンクリートセル(天井部)が存在するため、剥離物がコンクリートセル(天井部)に衝突した場合の影響評価を行う。

## 8.3 剥離物落下時の影響評価

### (1) コンクリートセル天井部に剥離物が落下した場合の影響評価

裏面剥離で発生する剥離物の寸法及び重量は、裏面剥離に対する報告例<sup>※7</sup>によると、剥離物は飛来物の種類に係らず、かぶり部程度の厚さで、1辺の大きさが鉄筋間隔の2倍程度となることが報告されている。屋上階で発生する剥離物についても同様の考え方を適用すると、屋上階の建屋外壁のかぶり厚が $\blacksquare$ 、鉄筋ピッチが $\blacksquare$ であるため、寸法は $\blacksquare$ となる。コンクリートの密度は $2.25\text{g}/\text{cm}^3$ であるため、剥離物の重量は $43.2\text{kg}$ である。剥離物の衝突評価では、剥離物の最小面積( $400\text{mm}\times 120\text{mm}$ )衝突することを想定する。また、衝突速度は屋上階天井部(高さ $17\text{m}$ )からコンクリートセル天井部(高さ $7\text{m}$ )までの距離 $10\text{m}$ を自由落下で加速された速度である $15.0\text{m}/\text{s}$ とする。

以上の条件で剥離物がコンクリートセル天井部に衝突した場合の評価結果を表2.14.2.8-14に示す。各限界厚さはコンクリートセル天井部の厚み( $\blacksquare$ )を下回るため、貫通及び裏面剥離は発生しない。

※7 伊藤千浩, 大沼博志, 白井孝治, ”飛来物の衝突に対するコンクリート構造物の耐衝撃設計手法”, 電力中央研究所総合報告U24, (1991).

### (2) コンクリートセル給気弁に剥離物が落下した場合の影響評価

裏面剥離で発生する剥離物の寸法及び重量は、(1)と同様である。コンクリートセルの給気弁はサービスエリア2階の壁に設置するため、剥離物が給気弁に衝突するおそれがある。給排気弁の上部には配管が接続されるため、剥離物が直接給気弁に衝突することはなく、配管に衝突することが想定される。従って、剥離物が落下し給気弁に接続される配管に衝突した場合の影響評価を行う。

給気弁に接続される配管は鋼鉄製で厚さ $4\text{mm}$ であり、剥離物の大きさと衝突することを想定すると破損限界エネルギーは $1.45\times 10^4\text{J}$ である。剥離物の位置エネルギーは落下高さを $10\text{m}$ とすると $4.24\times 10^3\text{J}$ である。剥離物の位置エネルギーが破損限界エネルギーを下回るため、配管は破損しないことから、給気弁についても破損しないことを確認した。

表 2.14.2.8-13 コンテナのパラメータサーベイの結果

コンテナ重量 [kg]	最大飛散高さ [m]	コンクリートの貫通限界厚さ [cm]	コンクリートの裏面剥離限界厚さ [cm]	衝突する壁の厚さ
1000	30.5	■	■	(屋上階：高さ13～17m) ■ (2階：高さ7～13m) ■ (1階：高さ0～7m)
1500	24.2	■	■	
2000	19.8	■	■	
2500	15.3	■	■	(2階：高さ7～13m) ■ (1階：高さ0～7m)
3000	12.0	■	■	
3500	8.1	■	■	(1階：高さ0～7m) ■ (1階：高さ0～7m)
4000	6.5	■	■	
4500	5.3	■	■	
5000	4.5	■	■	
6000	3.1	■	■	
7000	1.8	■	■	
8000	1.1	■	■	
9000	0.4	■	■	
10000	0.1	■	■	-
11000	0	-	-	

表 2.14.2.8-14 屋上階で発生した剥離物の各限界厚さ

衝突物	落下距離 [m]	コンクリートの貫通限界厚さ [cm]	コンクリートの裏面剥離限界厚さ [cm]	衝突する壁の厚さ [cm]
剥離物	10	■	■	■



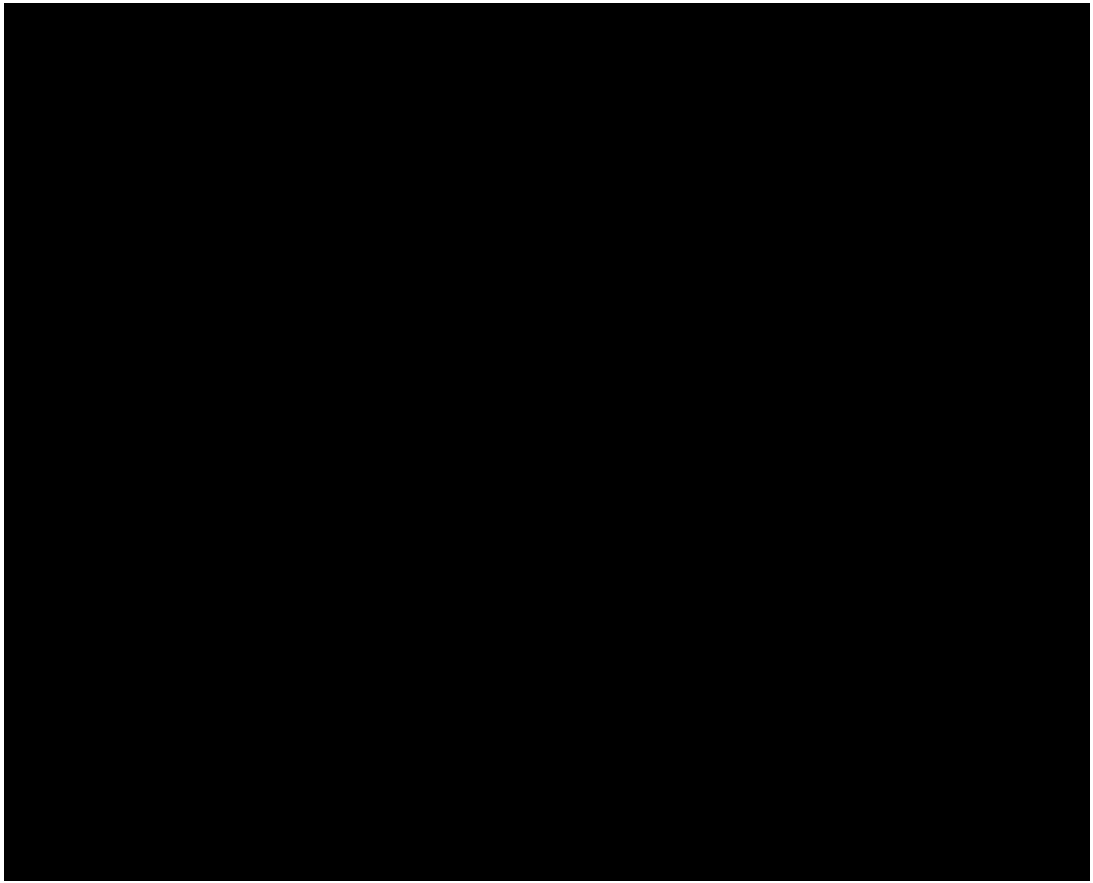


図 2.14.2.8-10 剥離物の落下範囲(2階平面図)

2.14.2.8-17

## 9. 竜巻随件事象

竜巻随件事象により、コンクリートセル(給排気弁含む)及び試料ピットの安全性が損なわれないことを確認する。

### 9.1 随件事象

竜巻随件事象として第2棟で想定される事象を以下に示し、その発生可能性及び影響を評価する。

#### 9.1.1 火災

(1) 燃料タンク及びその貯蔵施設等が倒壊して燃料が流出し発火する。

第2棟近傍には屋外燃料タンクがないため、燃料を起因とする火災は発生するおそれはない。

(2) 竜巻と同時に発生する落雷により、電気機器が過電流により発火する。

分電盤等には、雷によって発生する雷サージから電気機器を保護するため、分電盤等内に避雷器を設置し、電気機器を保護する設計とするため、落雷を起因とする火災は発生するおそれはない。

第2棟の主要構造部は可能な限り不燃性材料及び難燃性材料を使用し、火災の発生を防止する構造となっている。火災が発生しても第2棟各所には火災検知器及び消火設備(消火器及び消火栓等)を設置され、早期の検知及び消火を行える設計となっている。

#### 9.1.2 溢水

(1) 貯水タンク等が倒壊して流出した水及び豪雨が建屋内に浸水する。

第2棟近傍には貯水タンク等がなく、また竜巻荷重は建屋に影響を及ぼさず、飛来物が建屋を貫通することもないため、建屋内部に浸水するおそれはない。

溢水によりコンクリートセル及び試料ピットが被水及び水没しても、核燃料物質が臨界に達しないことを確認している。また、コンクリートセルの給排気弁も、フェイルクローズ弁を用いる設計のため、緊急時には自動的に給排気弁が閉止し、構造による閉じ込め機能は維持される。

#### 9.1.3 外部電源喪失

(1) 竜巻と同時に発生する落雷、雹、及びダウンバースト等により送電網等が損傷して、外部電源喪失が発生する。

第2棟は非常用電源設備を設置する設計となっており、外部電源が喪失した場合でも竜巻防護対象施設に給電できる設計となっている。万が一、非常用電源設備が稼働せず負圧維持機能が喪失しても、自動的にコンクリートセルの給排気弁が閉止し、構造による閉じ込め機能は維持される。

## 竜巻影響評価におけるフジタモデルの適用について

## 1. 竜巻影響評価の風速場モデルについて

竜巻ガイドを参照し竜巻影響評価を行う上で、設計飛来物の飛来速度を設定するための風速場モデルを選定する必要がある。これまでの竜巻飛来物評価において用いられている風速場モデルとして、米国 NRC の基準類に記載されている「ランキン渦モデル」及び原子力安全基盤機構の調査研究報告書に記載されている LES (Large-eddy simulation) の数値解析があるが、本竜巻影響評価においては、地面におかれた物体への影響をよく表現できている風速場モデルとしてフジタの竜巻工学モデル DBT-77 (DBT : Design Basis Tornado) を選定する。

## 2. フジタモデルの概要

フジタモデルは、米国 NRC の実際の竜巻風速場をモデル化したいという要望により、藤田博士が 1978 年に竜巻観測記録をもとに考案した工学モデルである。モデル作成に当たっては、1974 年 8 月に米国カンザス州 Ash Valley 等で発生した竜巻の記録ビデオ画像の写真図化分析を行い、竜巻の地上痕跡調査、被災状況調査結果と照合することで風速ベクトルを作成し、そのベクトル図をもとに作成した流線モデルから、竜巻風速場を代数式で表現している。

フジタモデルの特徴は、地表面付近における竜巻中心に向かう強い水平方向流れ、及び外部コアにおける上昇流といった、実際の竜巻風速場をよく表現している点にある。

## 3. ランキン渦モデルの概要

ランキン渦モデルは、米国 NRC ガイドでも採用されており、設計竜巻の特性値を設定する際に用いられている。しかし、米国で開発された飛来物速度用のランキン渦モデルは竜巻中心に向かう半径方向風速と上昇速度を特別に付加している。そのため、流れの連続の式(質量保存式)を満たしておらず、地面から吹き出しが生じるような流れとなっており、地上からの物体の浮上・飛散を現実的に模擬することができない。ランキン渦モデルを用いて飛散評価を行う場合、地上の物体であっても空中浮遊状態を仮定して評価することになる。

## 4. モデルの比較

それぞれの風速場モデルの特徴の比較を表 2.14.2.8-15 に示す。またフジタモデルとランキン渦モデルの風速場構造の比較を図 2.14.2.8-11 に示す。フジタモデルの風速場構造の流線は、地面付近を含め、より実際の竜巻風速場に即した形で表現されており、地上からの物体の浮上・飛散解析が可能となっていることがフジタモデルの大きなメリットとなっている。それに対し、ランキン渦モデルは上空での水平方向風速の観点からは比較的良好に表現できているものの、地上付近では実現象と乖離しており、地上からの飛散挙動は解析するに適切でない。フジタ

モデルは特に問題となる点もないことから、竜巻影響評価に用いる風速場モデルとしてフジタモデルを選定することは妥当であると考える。

表 2.14.2.8-15 フジタモデルとランキン渦モデルの特徴の比較

モデル	使用実績	特徴	問題点
フジタモデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 竜巻飛来物設計速度，飛散高さに関する米国 DOE 重要施設の設計基準作成に利用されている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実観測に基づいて考案されたモデルであり，実際に近い風速場構造を表現している。</li> <li>・ 比較的簡易な代数式により風速場を表現できる。</li> <li>・ 流体の連続式を満たす定式化。</li> <li>・ 地上に設置した状態から飛来物の挙動を解析できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 特になし。（ランキン渦モデルと比較すると，解析モデルが複雑になるが，計算能力の向上，および評価ツールの高度化により問題とならない）</li> </ul>
ランキン渦モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 米国 NRC Regulatory Guide 1.76 で採用されている。</li> <li>・ 竜巻ガイド(設計竜巻の特性値の設定)で例示されている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 簡易な式で上空での水平方向の風速場を表現できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 風速場に高度依存性がなく，上昇流が全領域に存在する。（地面からも吹き出しがある）ため，実現象から乖離。</li> <li>・ 地上からの飛散挙動を改正するには適切でない。</li> </ul>

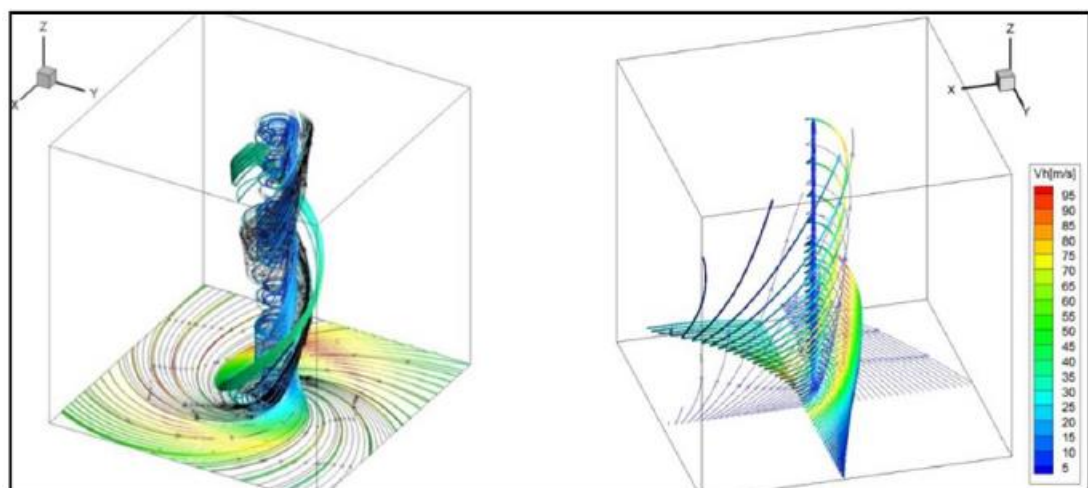


図 2.14.2.8-11 フジタモデル(左)とランキン渦モデル(右)の風速場構造  
(中略)

## 外部火災について

第2棟に対する外部火災影響については、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド(平成25年6月原子力規制委員会)(以下「ガイド」という。)」に基づき評価する。想定される外部火災に対し、第2棟への影響がないことを確認する。

## 1. 評価条件

## 1.1 評価方針

外部火災による影響については、以下を考慮する必要がある。

- ・ 火災の規模(輻射エネルギー、火災の強度・面積・形状、伝播速度)

第2棟の火災発生時に外壁コンクリートが受ける影響を評価する。

## 1.2 火災の種類

考慮すべき発電所敷地外の火災として以下を検討する。

## (1) 森林火災

発電所敷地外の10km以内を発火点とした森林火災が発電所に迫った場合でも、第2棟がその影響を受けないよう適切な防護措置が施されており、原子炉施設の安全性を損なうことのない設計とする。

## (2) 近隣の産業施設の火災・爆発

近隣の産業施設で発生した火災・爆発により、原子炉施設が、その影響を受けないよう適切な防護措置が施されており、原子炉施設の安全性を損なうことのない設計とする。なお、発電所敷地外の10km以内を発火点とし、森林等に延焼することによって発電所に迫る場合は(1)の森林火災として評価する。(ただし、発電所敷地内に存在する石油類やヒドラジンなどの危険物タンク火災については、(3)の航空機墜落と同様に原子炉施設への熱影響評価等を行う。)

## (3) 航空機墜落による火災

航空機の墜落に伴う火災により、原子炉施設が、その影響を受けないよう適切な防護措置が施されており、原子炉施設の安全性を損なうことのない設計とする。

## 2. 火災評価

想定する森林火災については、外部火災ガイドを参考として、初期条件(可燃物量(植生)、気象条件(湿度、温度、風速、風向)及び発火点)を、施設への影響が厳しい評価となるよう設定し、森林火災影響評価を行う。

## 2.1 評価条件について

森林火災影響評価の評価条件は、外部火災影響評価ガイドを参考に、以下のとおりとする。

### (1) 地形データ

敷地内及び敷地周辺の土地の標高及び地形のデータについては、国土交通省 国土地理院発行の「基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュデータ(2016年度)<sup>[1]</sup>」を基に、地形マップ(標高, 傾斜方向, 傾斜角)を作成する。

### (2) 植生データ

植生データについては、環境省 自然環境局生物多様性センターが実施した「自然環境保全基礎調査 植生調査<sup>[2]</sup>」の結果を用いる。

外部火災ガイドにおいて、「森林簿の情報を用いて、土地利用データにおける森林領域を、樹種・林齢によりさらに細分化する」ことが推奨されている。しかし、福島第一原子力発電所サイト構外においては森林簿が入手できなかったため、環境省の植生データを使用して、土地利用データ上で「森林」区分となっている領域を細分化する。

なお、福島第一原子力発電所近傍の植生については、現地植生調査結果を反映する。

### (3) 土地利用データ

土地利用データについては、国土交通省 国土政策局発行の「国土数値情報 土地利用細分メッシュ(2016年度調査版)<sup>[3]</sup>」を用いる。土地利用データのうち「森林」区分については、植生データによって細分化する。

福島第一原子力発電所周辺においては除染廃棄物の中間貯蔵施設の整備が進行中である<sup>[4]</sup>。中間貯蔵施設の整備により、広範囲にわたって土地が整地され、植生の無い領域が広がると考えられる。これを踏まえ、本解析評価においては、2019年8月時点における最新公開情報をベースに、整地が完了した領域を非植生領域として反映する。

### (4) 気象データ

森林火災の発生件数の多い3～5月の気象条件から設定する。3～5月の過去10年間の気象データ(気象庁が公開している気象統計情報<sup>[5]</sup>)を調査し、卓越風向, 最大風速, 最高気温, 及び最小湿度の条件を選定した(表 2.14.2.11-1 参照)。風向, 風速及び気温は福島第一原子力発電所付近の浪江町, 川内村, 及び広野町の地域気象観測システム(アメダス)の値を調査し, 3地点における3～5月の過去10年間における卓越風向, 最大風速および最高気温とした。湿度を観測している観測所は「福島」「小名浜」「若松」「白河」とある。しかし、「小名浜」以外の3地点は福島第一原子力発電所から距離が遠く, かつ内陸に位置することから, 「小名浜」の値を調査し, 3～5月の過去10年間における最小湿度を解析に使用した。

表2.14.2.11-1 3～5月の卓越風向・最大風速・最高気温・最小湿度

卓越風向[16方位]	最大風速 [m/s]	最高気温 [°C]	最小湿度 [%]
西北西/西	16.4	33.5	13

#### (5) 火災発生件数の分析

日本全国における森林火災の発生件数は消防庁発行「消防白書」<sup>[6]</sup>より、福島県における森林火災の発生件数は福島県農林企画課発行「福島県農林水産業の現状」<sup>[7]</sup>より、過去10年間(平成20年～29年)に発生した森林火災は、全国、福島県ともに3～5月に件数が多い。よって、福島第一原子力発電所森林火災の影響評価に用いる気象条件は、森林火災発生件数の多い3～5月の気象条件から設定することとした。

また、「消防白書」より、全国の森林火災の出火原因割合を調査した。平成15～24年度の林野火災の主な発生原因は、たき火約4500件、火入れ約2300件、放火(疑い含む)約1500件となっている。いずれの発生原因も、民家、田畑周辺あるいは道路沿いで発生する人為的行為となっている。

福島第一原子力発電所周辺は立ち入り制限区域であることから、人間が立ち入るのは常磐道ないし主要国道近辺に限られると想定され、常磐道沿いあるいは国道沿いを発火点と設定することが適切と考えられるため、以下の方針で設定する。

- ・ 福島第一原子力発電所からの直線距離10kmの間に設定する。
- ・ 陸側方向(福島第一原子力発電所の東側は海)の風上を選定する。
- ・ 風向は、卓越風向(西北西、西)とする。
- ・ 人為的行為を考え、交通量が多く火災の発生頻度が高いと想定される道路(常磐道、国道6号等)沿いを選定する。

### 2.2 森林火災影響評価について

2.1(5)で設定した発火点4か所に加えて解析の妥当性と、条件設定の保守性を確認することを目的に、JNES-RC-Report<sup>[8]</sup>で使用された気象条件を用いた解析を、2ケースを加えた6ケースで森林火災影響評価を実施する。

#### (ケース1)

福島第一原子力発電所近隣からの発火の方が福島第一原子力発電所周辺に火災が到達するまでの時間が短くなることから、福島第一原子力発電所敷地境界周辺の国道6号線沿いの発火を想定する。福島第一原子力発電所までの距離が短くなり、かつ最大風速記録時の風向である西北西方向の国道6号線沿いに発火点を選定する。

#### (ケース2)

福島第一原子力発電所遠方からの発火の方が火災の規模が大きくなる(火災前線が広がり、発電所構内を同時期に取り囲むような火災となる)ことから、福島第一原子力発電所

から距離が遠く、かつ人間活動が多い常磐道沿いの発火を想定する。発電所から見て最大風速記録時の風向である西北西方向の常磐道沿いに発火点を選定する。

(ケース3)

卓越風向として西方向からの風も一部存在することを考慮して、福島第一原子力発電所西側の発火を想定する。

(ケース4)

ケース3同様に福島第一原子力発電所西側の発火を想定する。また、ケース2同様に火災の規模拡大の観点から、発電所からの距離が遠い発火点を想定する。

(ケース5)

ケース3と同じ発火点、ならびに、JNES-RC-Reportにおいて比較的评价条件の厳しいケースの気象条件を用いて解析を行う。

(ケース6)

ケース4と同じ発火点、ならびに、JNES-RC-Reportにおいて比較的评价条件の厳しいケースの気象条件を用いて解析を行う。



ESRI ジャパン株式会社 ArcGIS

図2. 14. 2. 11-1 発火点位置と評価ケースについて

2. 14. 2. 11-4



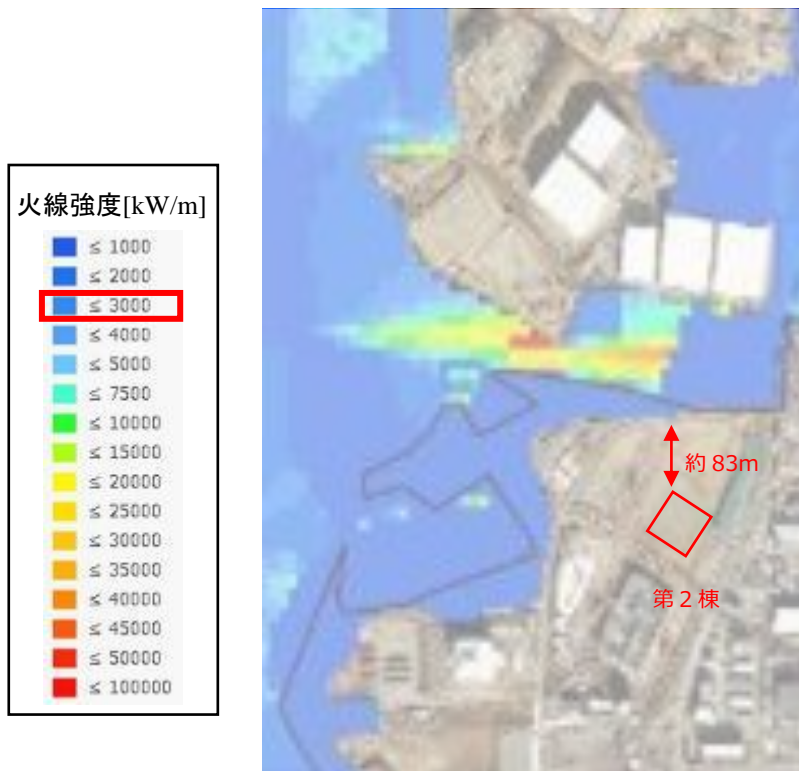
表2. 14. 2. 11-2 評価する気象条件について

No	風向[16 方位]	風速[km/h]	気温[°C]	湿度[%]	備考
1	西北西	59 <sup>*</sup>	34	13	過去 10 年間の気象データから設定された、3～5 月に福島第一原子力発電所周辺で起こり得る最も厳しい気象条件。
2	西北西	59 <sup>*</sup>	34	13	
3	西	59 <sup>*</sup>	34	13	
4	西	59 <sup>*</sup>	34	13	
5	西	52.2	30	5	JNES-RC-Report において比較的評価条件の厳しいケースの気象条件。
6	西	52.2	30	5	

※ 表2. 14. 2. 11-1で示した風速16.4 m/sをkm/h単位に換算した値。

### 3. 森林火災影響評価を踏まえた第2棟の対応について

FARSITE による火線強度評価の結果、福島第一原子力発電所への影響が厳しい評価結果はケース3で図2. 14. 2. 11-2のとおりとなり、第2棟近傍は3,000kW/m以下となる。外部火災ガイドを参考として、風上に樹木がある場合の火線強度と最小防火帯の関係から、第2棟では、必要とされる最小防火帯幅18.3mを上回る幅20m以上の離隔幅を確保することにより、設計対象施設への延焼を防止し、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。



Product (C) [2019] DigitalGlobe, Inc., a Maxar company

図2.14.2.11-2 FARSITEによる火線強度評価結果

表 2.14.2.11-3 風上に樹木が有る場合の火線強度と最小防火帯幅の関係  
(火炎の防火帯突破確率 1%)

火線強度 (kW/m)	3000	4000	5000	10000	15000	20000	25000
防火帯幅 (m)	18.3	19.3	20.2	24.9	29.7	34.4	39.1

外部火災影響評価ガイド p A-6抜粋(原子力規制委員会 平成25年6月)

FARSITE の解析結果を用いて、第2棟外壁に対する森林火災の影響を評価する。評価の手順としては、まず設備の外表面が火災の燃焼継続時間の間に一定強度の輻射を受けると仮定し、表面温度が許容限界温度に達する輻射強度を危険輻射強度として求める。次に、算出された危険輻射強度から逆算した離隔距離を、危険距離として求める。危険距離の評価後、一定の輻射強度で昇温されるものと仮定して、熱影響評価(温度評価)を実施する。第2棟外壁との離隔距離で火災が発生した場合に第2棟外壁が受ける熱量を算出し、コンクリートの制限温度を超えることが無いか評価する。

### 必要データの整備

熱影響評価にあたっては、附属書 A に従い火炎を図 2.14.2.11-3 に示すような円筒に近似し、防火帯外縁に円筒火炎モデルを 1 列に並べる想定とする(図 2.14.2.11-4 参照)。この円筒火炎の表面から発せられる輻射(火炎輻射発散度  $R_f$  [kW/m<sup>2</sup>])を用いて、設備の受ける輻射を評価する。

まず、図 2.14.2.11-3 の円筒火炎(火炎到達幅  $W$  [m]・奥行き  $D$  [m]・火炎長  $H$  [m])を仮定すれば、火線強度  $I_B$  [kW/m]が「火炎最前線での単位幅あたりの発熱速度(単位時間当たり発熱量)」と定義される。このとき、火災で発生する発熱量に輻射熱割合  $\chi$  (輻射熱に寄与する割合)を考慮し、輻射熱は円筒火炎の側面及び上面から放射されると仮定すると、発熱量の保存から下式(1)が成立する。

$$\begin{aligned} & (\text{円筒火炎 1 個の側面積} + \text{上面積} [\text{m}^2]) \times \text{円筒火炎個数} [-] \times \text{火炎輻射発散度} [\text{kW}/\text{m}^2] \\ & = \text{火線強度} [\text{kW}/\text{m}] \times \text{火炎到達幅} [\text{m}] \times \text{輻射熱割合} [-] \\ & \therefore (2\pi RH + \pi R^2) \times F \times R_f = I_B \times W \times \chi \cdots (1) \end{aligned}$$

式(1)において、附属書 A に従い火炎半径  $R$  [m] =  $H/3$ 、円筒火炎の個数  $F = W/2R$  とすると、下式(2)が成立する。

$$R_f = \frac{6\chi I_B}{7\pi H} \cdots (2)$$

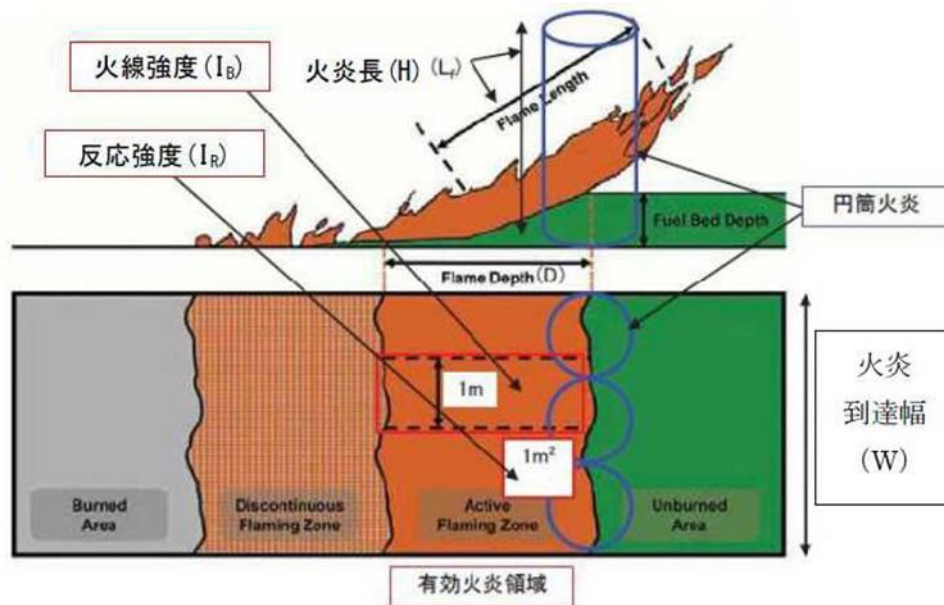
輻射熱割合は、柏崎刈羽原子力発電所(以下「K サイト」という。)評価<sup>[9]</sup>の設定を踏襲し、下記 3 種類の値のうち最も大きい値である 0.377 を使用した。

- ・ 草地 : 0.35 (米国国立標準技術研究所 (NIST) の使用値)
- ・ 針葉樹 : 0.377 (米国防火技術者協会 (SFPE) 発行ハンドブック\*より算出)
- ・ 落葉広葉樹 : 0.371 (米国防火技術者協会 (SFPE) 発行ハンドブック\*より算出)

\* : THE SFPE HANDBOOK of Fire Protection Engineering FOURTH EDITION)

上式を用いて算出した火炎輻射発散度  $R_f$  [kW/m<sup>2</sup>]を表 2.14.2.11-4 に示す。北側、南側ともに最大火線強度が観測されたケース 3(北側 : 発火時刻 7 : 00, 南側 : 発火時刻 10 : 30)の解析結果を使用している。

なお、福島第一原子力発電所西側には新事務本館や協力企業棟等の建造物が多いことから、北側防火帯近傍に南側からの輻射は届きにくいことが考えられる。これを踏まえ、火炎輻射発散度は北側、南側それぞれにおいて別々に算出した。



(出典 : Andrews, P.L., et. al. (2011): How to Generate and Interpret Fire Characteristics Charts for Surface and Crown Fire Behavior. USDA Forest Service General Technical Report RMRS-GTR-253.)

図 2. 14. 2. 11-3 円筒火炎モデルと火線強度の概念

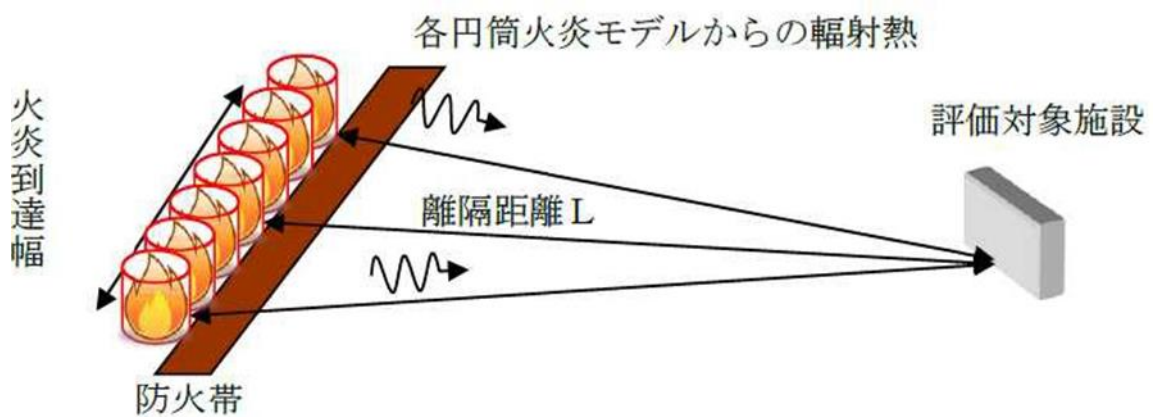


図 2. 14. 2. 11-4 熱影響評価の評価体系(円筒火炎モデルの並べ方)

表 2.14.2.11-4 熱影響評価に使用するパラメーター一覧

データ区分	可燃物モデル		備考
	北側	南側	
火線強度 $I_B$ [kW/m]	17986	36965	FARSITE解析結果(ケース3 <sup>1)</sup> ) 防火帯近傍100m範囲内の最大値
火炎長 $H$ [m]	7.02	9.78	FARSITE解析結果(ケース3 <sup>1)</sup> ) 最大火線強度観測メッシュにおける値
火炎到達幅 $W$ [m]	1220	1560	北側・南側の防火帯長さ
燃焼継続時間[分]	11	8	ケース3 <sup>1)</sup> において、火炎からの輻射で評価対象設備が熱せられる時間の長さ <sup>2)</sup>
熱輻射割合 $\chi$ [-]	0.377	0.377	Kサイト評価(参考文献[6])同様、草地・針葉樹・落葉広葉樹のうち最大のもの(針葉樹の値)を一律で使用
燃焼半径 $R$ [m]	2.34	3.26	$R=H/3$
円筒火炎モデル数 $F$ [-]	261	239	$F=W/2R$ 、整数値に切り上げ
火炎輻射発散度 $R_f$ [kW/m <sup>2</sup> ]	263.5	388.8	式(2)より算出

1) FARSITE 解析結果のうち、火線強度が最大となったケース 3 を選択。最大火線強度の値を採用するため、北側においては発火時刻 7 : 00、南側においては発火時刻 10 : 30 の値を使用。

2) K サイト評価(参考文献[6])同様、100m÷防火帯近傍 100m 範囲内における延焼速度平均値で算出。

北側は  $100\text{m} \div 9.60\text{m/分} \div 11$  分、南側は  $100\text{m} \div 14.05\text{m/分} \div 8$  分。

#### 危険距離の評価

K サイト評価(参考文献[6])で使用されていた建屋温度評価体系(図 2.14.2.11-5 参照)を用いて、第 2 棟における危険輻射強度を算出し評価を行う。輻射強度  $E$  [kW/m<sup>2</sup>] を一定とし、下式(3)の一次元非定常熱伝導方程式を用いて、建屋外表面温度がコンクリートの許容限界温度 200℃に達する  $E$  を危険輻射強度  $E_{\text{max}}$  [kW/m<sup>2</sup>] とする。本解析評価においては、有限差分法を使用して式(3)の数値解を求めている。

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2} \cdots (3)$$

ここに、 $T$  は温度[°C]、 $t$  は時刻[s]、 $x$  は建屋壁内における外面からの距離[m]である。 $\alpha$  は熱拡散率[m<sup>2</sup>/s]であり、コンクリートの熱伝導率  $k$ [W/m・K]、密度  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>]、比熱  $c$ [J/kg・K]から下式(4)で算出される。上述の設備の評価に使用するパラメータ(内外表面熱伝達率、熱伝導率、密度、比熱、熱拡散率、吸収率、外気温度)を表 2. 14. 2. 11-5 に示す。

$$\alpha = \frac{\kappa}{\rho c} \cdot \cdot \cdot (4)$$

次に、危険輻射強度から危険距離を算出する。火炎輻射発散度  $R_f$  [kW/m<sup>2</sup>]の円筒火炎から離隔距離  $L_t$  [m]だけ離れた受熱点が受ける輻射強度  $E$  [kW/m<sup>2</sup>]は下式(5)で表される。

$$E = R_f \times \phi \cdot \cdot \cdot (5)$$

ここに、 $\phi$  は形態係数(無次元)である。森林火災影響評価の場合、火炎到達幅  $W$  [m]の分だけ円筒火炎モデルが横一列に  $F$  個 ( $F=W/2R$ ) だけ並ぶものと仮定して評価を行う(図 2. 14. 2. 11-4 参照)。そのため式(5)の形態係数  $\Phi$  は、下式(6)に示すように円筒火炎  $F$  個分の形態係数の総和となる(図 2. 14. 2. 11-6 参照)。

$$\phi = \phi_1 + 2 \times \sum_{i=2}^{(F-1)/2} \phi_i \cdot \cdot \cdot (6)$$

なお、受熱点から離隔距離  $L_i$  [m]の位置にある任意の円筒火炎 1 個の形態係数  $\phi_i$  は火炎長  $H$  [m]と離隔距離  $L_i$  の関数として下式(7)で算出される。

$$\phi = \frac{1}{\pi n} \operatorname{tAn}^{-1} \left( \frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \operatorname{tAn}^{-1} \left[ \sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \operatorname{tAn}^{-1} \left[ \sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\}$$

ただし、

$$m = \frac{H}{R} \cong 3, n = \frac{L}{R}, A = (1 + n)^2 + m^2, B = (1 - n)^2 + m^2 \cdot \cdot \cdot (7)$$

円筒火炎の火炎輻射発散度  $R_f$  の値が表 2. 14. 2. 11-4 に示した値(北側で 263. 5kW/m<sup>2</sup>)で一定のとき、前頁で算出した危険輻射強度  $E_{max}$  [kW/m<sup>2</sup>]とすると、下式(8)が成立する。式(8)を用いて、 $\phi > \phi_t$  となる最大の距離  $L_t$  を危険距離として算出する。

$$E_{max} = R_f \times \phi_t \cdot \cdot \cdot (8)$$

第 2 棟の危険距離評価結果を表 2. 14. 2. 11-6 に示す。想定される森林火災において、評価上必要とされる危険距離(約 75m)に対し、福島第一原子力発電所防火帯の外縁(火炎側)から第 2 棟までの間の離隔距離が危険距離以上であることを確認した。

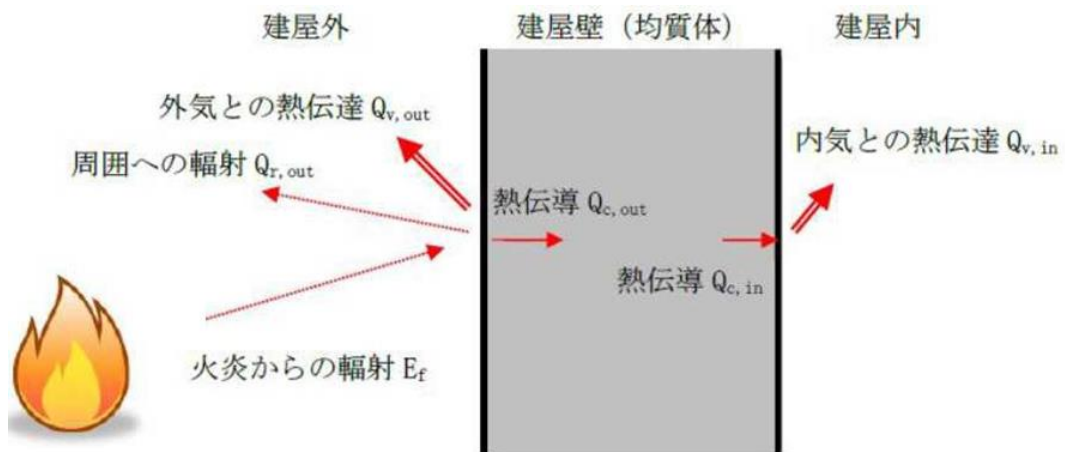


図 2. 14. 2. 11-5 第 2 棟外壁(コンクリート)温度評価体系図

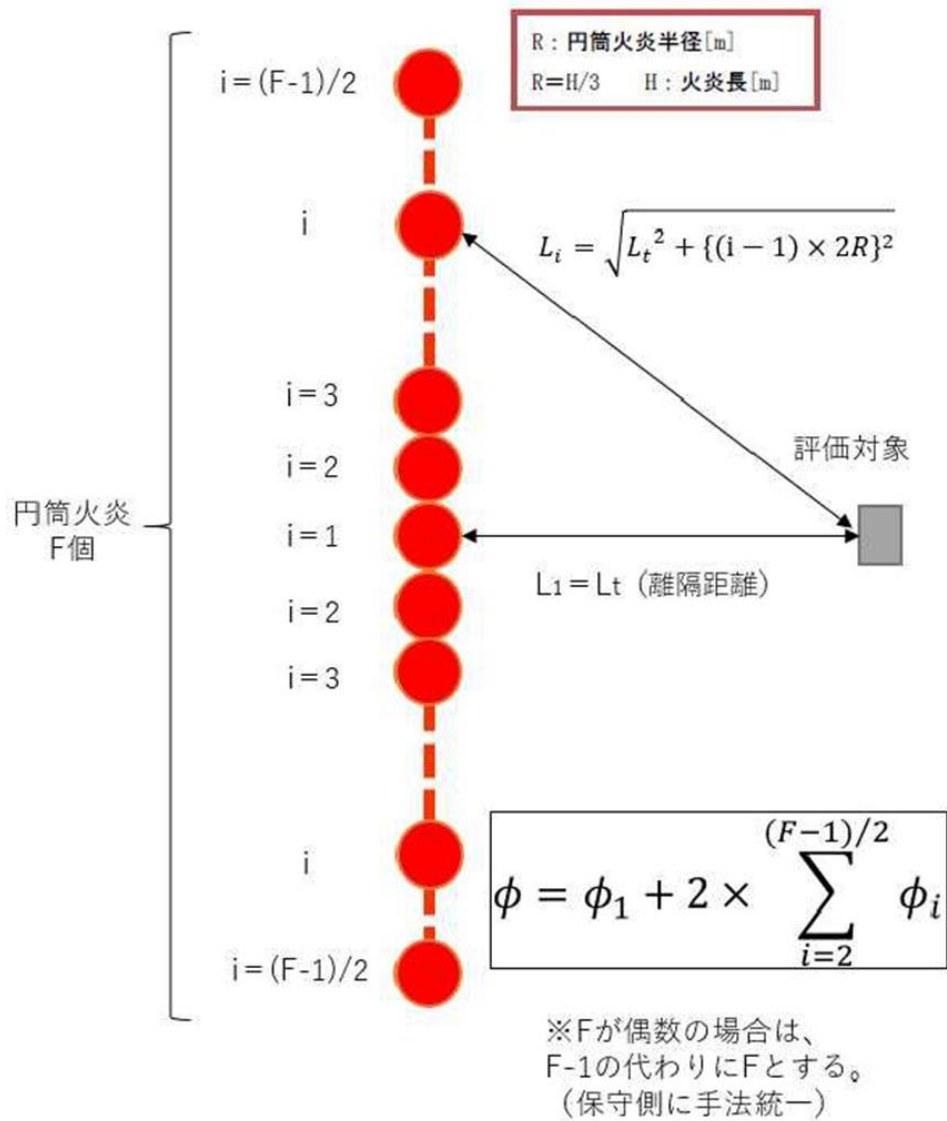


図 2. 14. 2. 11-6 形態係数の算出イメージ



表 2. 14. 2. 11-5 熱影響評価の評価用パラメータ

パラメータ	値	設定方法
外表面熱伝達率 $h_{out}$ [W/m <sup>2</sup> ・K]	63.813	Kサイト評価 <sup>[9]</sup> 同様, Jurgesの式より算出。 ( $h_{out}=7.2 \times U^{0.78}$ , 風速 $U=16.4$ m/s)
熱伝導率 $k$ [W/m・K]	1.2	一般的な石灰岩質コンクリートの値を使用 (伝熱工学資料(第5版) <sup>[11]</sup> より)
密度 $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	2400	
比熱 $c$ [J/kg・K]	900	
外面放射率(吸収率) $\varepsilon$ [-]	0.94	
熱拡散率 $\alpha$ [m <sup>2</sup> /s]	$5.56 \times 10^{-7}$	式(4)を用いて, 熱伝導率, 密度及び比熱から算出。
外気温度 $T_{out}$ [°C]	50	Kサイト評価 <sup>[9]</sup> 同様, 外壁面の相当外気温(約41°C)を切り上げた値 <sup>1)</sup>

- 1) 空気調和ハンドブック<sup>[10]</sup>より, 相当外気温は下式で算出可能。相当外気温 = (吸収率 / 外表面熱伝達率) × 日射量 + 外気温度  
 吸収率及び外表面熱伝達率は表 2. 14. 2. 11-5 記載の値, 外気温度は FARSITE 解析に使用した気温 34°Cとした。日射量は, 空気調和ハンドブック<sup>[10]</sup>より, 東京の7月23日10時~14時における垂直外壁面の日射量の最大値約 500W/m<sup>2</sup>を使用した。

表 2. 14. 2. 11-6 第2棟外壁の評価結果

パラメータ	値
危険輻射強度 [kW/m <sup>2</sup> ]	17.01 <sup>1)</sup>
形態係数 $\phi$ [-]	0.0646 <sup>1)</sup>
危険距離 $L_t$ [m]	75 <sup>1)</sup>
離隔距離 $L$ [m]	83 <sup>2)</sup>

- 1) 火炎到達幅 381m, 火炎輻射発散度 263.5kW/m<sup>2</sup>, 燃焼継続時間 11分(表 2. 14. 2. 11-4 中の北側防火帯の値)を使用して算出。  
 2) 本評価で設定した森林から第2棟までの離隔距離。図 2. 14. 2. 11-7 参照。

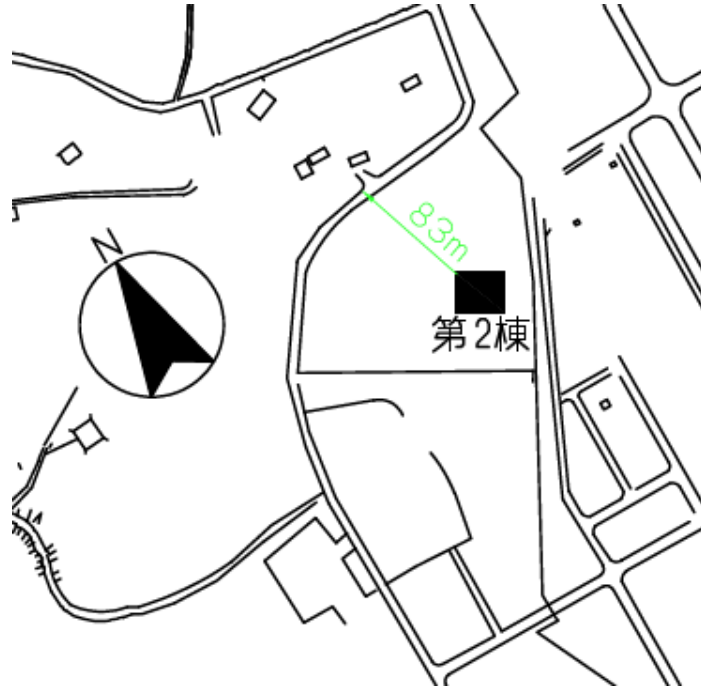


図 2. 14. 2. 11-7 森林と第 2 棟との離隔距離

#### 熱影響の評価

前項にて危険距離に対し十分な離隔距離があることから、第 2 棟が生気温度の 200℃に達することは無いことを確認した。ここで、森林火災が発生した場合に第 2 棟が何℃まで温度上昇するかを評価する。

一定の輻射強度で昇温されるものと仮定して、熱影響評価結果(温度評価)を実施する。第 2 棟は北側防火帯近傍に位置することから、北側防火帯近傍の火炎輻射発散度を使用する。図 2. 14. 2. 11-5 に示した建屋温度評価体系を用いて、下式(8)の 1 次元の非定常熱伝導方程式により温度評価を行う。

$$\frac{dT}{dx} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2} \cdot \cdot \cdot (8)$$

評価の結果、第 2 棟は制限温度の 200℃に到達することはないことを確認した。第 2 棟の評価結果を表 2. 14. 2. 11-7 に、燃焼継続時間 11 分後の外壁面温度の変化を図 2. 14. 2. 11-8 に示す。

表 2. 14. 2. 11-7 の通り、森林火災発生時の第 2 棟表面温度は 181℃であり、第 2 棟表面の温度が 200℃に到達することはないといえることから、第 2 棟に対する森林火災の熱影響は無い。

表 2. 14. 2. 11-7 第 2 棟の熱影響評価結果

パラメータ	値	設定方法
外表面熱伝達率 $h_{out}$ [W/m <sup>2</sup> ・K]	63.813	表2. 14. 2. 11-5参照
熱伝導率 $k$ [W/m・K]	1.2	
密度 $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	2400	
比熱 $c$ [J/kg・K]	900	
外面放射率(吸収率) $\epsilon$ [-]	0.94	
熱拡散率 $\alpha$ [m <sup>2</sup> /s]	$5.56 \times 10^{-7}$	
外気温度 $T_{out}$ [°C]	50	
火炎放射発散度 $R_f$ [kW/m <sup>2</sup> ]	263.5	表2. 14. 2. 11-4参照 <sup>1)</sup>
燃焼継続時間 $t$ [分]	11	
離隔距離 $L_t$ [m]	84	表2. 14. 2. 11-6参照
形態係数 $\phi$ [-]	0.0646	式(6), (7)を用いて算出
輻射強度 $E_f$ [W/m <sup>2</sup> ]	17011	式(5)を用いて算出
外表面温度 [°C]	181	T = 11分後の値(図2. 14. 2. 11-8参照)

1) 北側防火帯近傍で最大火線強度を観測した, ケース 3 発火時刻 7 : 00) の値。

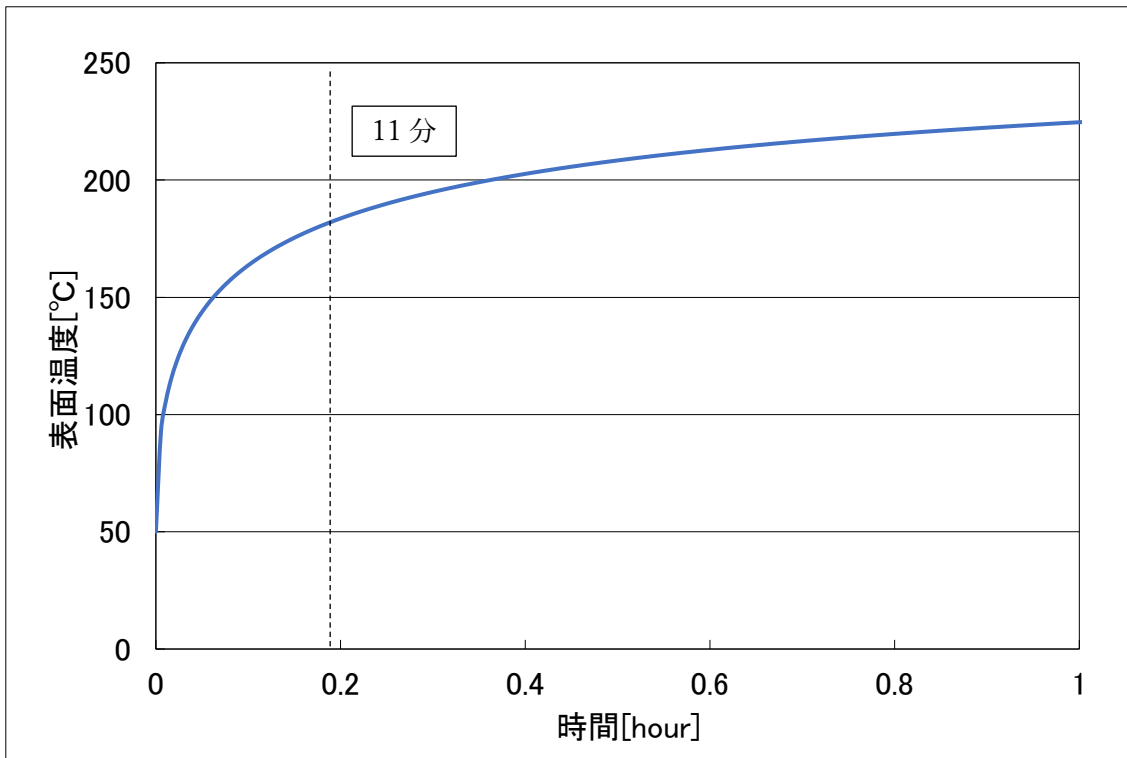


図 2. 14. 2. 11-8 第 2 棟外壁の表面温度時間変化

## 2. 近隣の産業施設の火災・爆発

近隣の産業施設の火災・爆発で評価する内容はガイドの附属書B「石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について(以下「附属書B」という。)」に基づく。附属書Bでは発電所敷地外の産業施設を石油コンビナート等としているが、石油コンビナート以外にもガソリンスタンドのような危険物貯蔵施設、工場用ガスタンクのような高圧ガス貯蔵施設が存在することから、以下の通り評価を分けることとする。

- ・ 石油コンビナートの火災・ガス爆発影響評価
- ・ 危険物貯蔵施設の火災影響評価
- ・ 高圧ガス貯蔵施設の火災・ガス爆発影響評価

### 2.2.1 石油コンビナートの火災・ガス爆発影響評価

産業施設のうち、石油コンビナートは危険物の貯蔵量が特に多く、火災・ガス爆発が発生した場合の影響が大きいため個別に評価を実施する。

#### (1) 評価対象施設

評価対象は発電所敷地外の半径10km圏内に存在する、石油コンビナート等災害防止法で規制される特別防災区域内の特定事業所とする。

福島県内の特別防災区域は「広野地区」「いわき地区」の二か所であり、これらはそれぞれ福島第一原子力発電所から約21km及び約60kmの場所にあり、いずれも福島第一原子力発電所から10km以遠である(図2.14.2.11-9)。以上より、評価対象範囲内に石油コンビナート及び特定事業所は存在せず、第2棟に影響を及ぼすことはない。



注) 図の位置はおおよその場所を表している

図 2.14.2.11-9 福島県内と石油コンビナート等特別防災区域の位置と福島第一原子力発電所までの距離

### 2.2.2 危険物貯蔵施設の火災影響評価

福島第一原子力発電所から 10km 圏内における危険物貯蔵施設を抽出して火災影響を評価する。ここで、危険物貯蔵施設の抽出に先立ち評価に要するパラメータを仮設定し、10km 圏内にどのような危険物貯蔵施設がある場合に第 2 棟に影響があるのかを評価する。

2.14.2.11-18

(1) 評価条件

具体的な評価指標を表 2.14.2.11-8 に示す。

表 2.14.2.11-8 評価指標及び評価の観点

評価指標	内容
輻射強度[W/m <sup>2</sup> ]	火災の炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度
形態係数[-]	火災と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	防油堤規模より求めた燃焼半径
危険距離[m]	延焼防止に必要な距離

上記の評価指標は、受熱面が輻射帯の底部と同一平面上にあると仮定して評価する(図 2.14.2.11-10 参照)。油の液面火災では、火炎面積の半径が 3m を超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが、本評価では保守的な判断を行うために、火災規模による輻射熱発散度の低減が無いものとする。

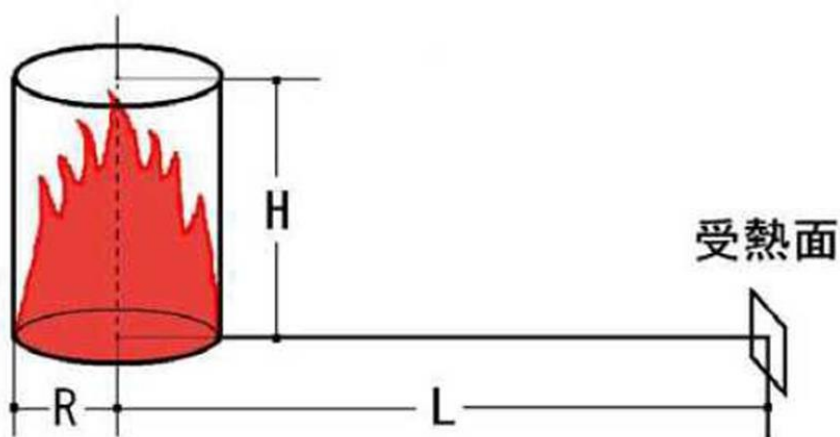


図 2.14.2.11-10 火災発生時の評価モデル仮定

評価に必要なデータを表 2.14.2.11-9 に示す。

表 2.14.2.11-9 評価に必要なデータ

データ種類	整備要領
輻射発散度[W/m <sup>2</sup> ]	燃焼する可燃物によって決まる定数
防油堤規模	防油堤の縦及び横の大きさ 火災が発生する面積であるため燃焼面積[m <sup>2</sup> ]と読み替える
危険輻射強度[W/m <sup>2</sup> ]	原子炉施設の外壁、天井スラブ等の輻射熱に対する耐熱性を輻射強度で示したもの

2.14.2.11-19

本評価では燃焼半径及び危険距離を複数設定し、燃焼半径に対する危険距離毎の輻射強度を算出し、第2棟の危険輻射強度を下回る条件を評価する。燃焼半径を燃焼面積、危険距離を離隔距離に置き換え、表2.14.2.11-10の通り危険物、燃焼面積及び離隔距離を設定する。危険物の種類は外部火災影響評価ガイドに記載されているもののうち最も輻射発散度の大きいn-ヘキサンを設定する。第2棟の危険輻射強度は2.1.2.5項で算出した値を用いる。

表 2.14.2.11-10 危険物火災の評価条件

危険物の種類	n-ヘキサン
輻射発散度[kW/m <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>	85
燃焼面積[m <sup>2</sup> ]	1,000・10,000・50,000・100,000
離隔距離[m]	100・200・300・400・500・600・700・800・900・1,000・1,500・2,000
危険輻射強度[W/m <sup>2</sup> ]	19760

1) 附属書Bより

### (2) 燃焼半径の算出

燃焼半径は防油堤規模より算出する。防油堤面積に等しい円筒火災を生ずるものと想定し、燃焼半径R[m]を算出する。

$$R = (S/\pi)^{0.5}$$

S：防油堤面積(火炎円筒の底面積) = [m<sup>2</sup>] Rは設定する燃焼面積毎に異なる値となる。

### (3) 輻射強度の算出

火災の火炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。

$$E = R_f \times \phi$$

E：危険輻射強度[W/m<sup>2</sup>]

R<sub>f</sub>：輻射発散度[W/m<sup>2</sup>]

φ：形態係数

形態係数は以下の式で求められる。

$$\phi = \frac{1}{\pi n} \operatorname{tAn}^{-1} \left( \frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \operatorname{tAn}^{-1} \left[ \sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \operatorname{tAn}^{-1} \left[ \sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\}$$

ただし、

2.14.2.11-20



$$m = \frac{H}{R} \cong 3, n = \frac{L}{R}, A = (1+n)^2 + m^2, B = (1-n)^2 + m^2$$

$\phi$  : 形態係数

L : 危険距離[m]

H : 火炎高さ[m]

R : 燃焼半径[m]

通常の評価では評価対象の危険輻射強度、火災の輻射強度から形態係数を算出し、上記の式を用いて危険距離を算出する。本評価では火災の輻射強度を固定し、表 2.14.2.11-10 の燃焼面積と離隔距離を入力することで条件ごとの形態係数及び危険輻射強度を算出する。

#### (4) 危険距離評価結果

各燃焼面積において n-ヘキサシアンによる火災が発生した場合の、離隔距離ごとの輻射強度は表 2.14.2.11-11、図 2.14.2.11-11 の通り。

燃焼面積が 100,000m<sup>2</sup> の場合、400m の離隔距離があれば火災による輻射強度が第 2 棟の許容輻射入熱流束を下回る。同様に、燃焼面積 50,000m<sup>2</sup> の場合離隔距離 300m、燃焼面積 10,000m<sup>2</sup> の場合離隔距離 200m、燃焼面積 1,000m<sup>2</sup> の場合離隔距離 100m があれば火災による熱影響は無いといえる。福島第一原子力発電所敷地外の周囲 10km 圏内の危険物貯蔵施設の設置状況については、**現在調査中である。**

#### (5) 熱影響評価結果

一定の輻射強度で昇温されるものと仮定して、熱影響評価結果(温度評価)を実施する。2.1.2.5 項と同様に北側防火帯近傍の火炎輻射発散度を使用する。図 2.14.2.11-5 に示した建屋温度評価体系を用いて、下式(1)の 1 次元の非定常熱伝導方程式により温度評価を行う。

$$\frac{dT}{dx} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2} \quad \dots (1)$$

敷地外火災においては燃焼継続時間を改めて設定する必要があるため、敷地外の危険物貯蔵施設の設置状況調査完了後に評価を行う。第 2 棟に対する熱影響についても同様。

表 2. 14. 2. 11-11 輻射強度(W/m<sup>2</sup>) 対比表

燃焼面積 (m <sup>2</sup> )	隔離距離 (m)											
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000
100,000	- <sup>1)</sup>	37909.08	25081.63	<b>18322.65<sup>2)</sup></b>	13996.06	10967.01	8755.38	7102.27	5845.28	4874.98	2309.40	1319.87
50,000	- <sup>1)</sup>	26668.69	<b>17111.37<sup>2)</sup></b>	11896.76	8621.78	6450.52	4961.92	3911.32	3149.65	2583.64	1175.06	662.81
10,000	23726.56	<b>10174.88<sup>2)</sup></b>	5342.43	3186.27	2087.2	1463.9	1080.08	828.25	654.62	530.06	234.62	131.48
1,000	<b>4874.98<sup>2)</sup></b>	1319.87	589.10	330.61	211.02	146.19	107.20	81.94	64.66	52.31	23.17	13.01

1) 燃焼半径が100mを超え  
2) 各燃焼面積に対し、輻射強度が18322.65 W/m<sup>2</sup>以下となる距離を求め、この距離を隔離距離として、熱流束を下回り、かつ隔離距離が最も小さい値である。

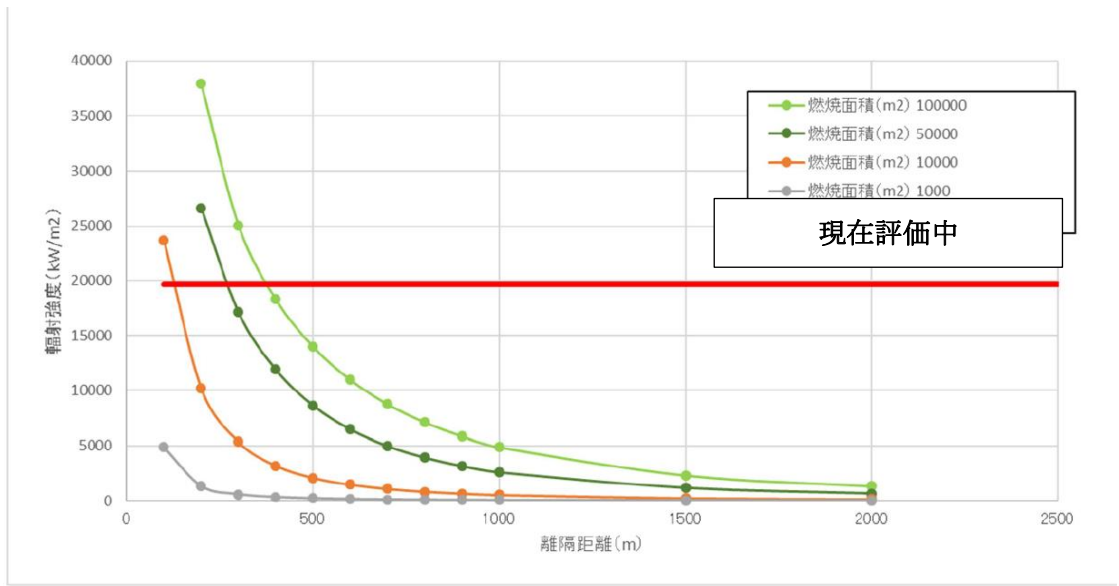


図 2. 14. 2. 11-11 輻射強度対比グラフ

2. 2. 3 高圧ガス貯蔵施設の火災・ガス爆発影響評価

福島第一原子力発電所から10km圏内における高圧ガス貯蔵施設を抽出して火災・ガス爆発影響を評価する。2. 2. 2 項と同様に、高圧ガス貯蔵施設の抽出に先立ち評価に要するパラメータを仮設定し、10km圏内にどのような高圧ガス貯蔵施設がある場合に第2棟に影響があるのかを評価する。

(1) 評価条件

火災影響評価における具体的な評価指標及び評価に必要なデータは2. 2. 2 項と同様である。ガス爆発影響評価における具体的な評価指標を表2. 14. 2. 11-12に、評価に必要なデータを表2. 14. 2. 11-13に示す。

表 2.14.2.11-12 評価指標及び評価の観点

評価指標	内容
危険限界距離[m]	ガス爆発の爆風圧が0.01MPa以下になる距離 (人体に対して影響を与えない爆風圧)

表 2.14.2.11-13 評価指標及び評価の観点

評価指標	内容
石油類のK値	コンビナート等保安規定第5条別表第二に掲げる数値 危険物毎に設定される定数である
貯蔵設備又は 処理設備のW値	コンビナート等保安規定第5条貯蔵設備又は処理設備の区分に応じて次に掲げる数値 貯蔵設備：液化ガスの貯蔵設備にあつては貯蔵能力(単位トン)の数値の平方根の数値(貯蔵能力が一トン未満のものにあつては、貯蔵能力(単位トン)の数値) 圧縮ガスの貯蔵設備にあつては貯蔵能力(単位立方メートル)を当該ガスの常用の温度及び圧力におけるガスの質量(単位トン)に換算して得られた数値の平方根の数値(換算して得られた数値が一未満のものにあつては、当該換算して得られた数値) 処理設備：処理設備内にあるガスの質量(単位トン)の数値

(2) 火災熱影響評価

2.2.2項と同様、燃焼半径及び危険距離を複数設定し、燃焼半径に対する危険距離毎の輻射強度を算出し、第2棟の危険輻射強度を下回る条件を評価する。表2.14.2.11-14の通りガス、燃焼面積及び離隔距離を設定する。ガスの種類は外部火災影響評価ガイドに記載されているもののうち最も輻射発散度の高いエチレンを設定する。第2棟の危険輻射強度は2.1.2.5項で算出した値を用いる。

表 2.14.2.11-14 ガス火災の評価条件

ガスの種類	エチレン
輻射発散度[kW/m <sup>2</sup> ] <sup>1)</sup>	134
燃焼面積[m <sup>2</sup> ]	1,000・10,000・50,000・100,000
離隔距離[m]	100・200・300・400・500・600・700・800・900・1,000・1,500・2,000
危険輻射強度[W/m <sup>2</sup> ]	19760

1) 附属書Bより燃焼半径、輻射強度の算出については2.2.2項と同様である。

各燃焼面積においてエチレンによる火災が発生した場合の、離隔距離ごとの輻射強度は表 2. 14. 2. 11-15, 図 2. 14. 2. 11-12 の通り。

燃焼面積が 100,000m<sup>2</sup> の場合, 2,000m の離隔距離があれば火災による輻射強度が第 2 棟の許容輻射入熱流束を下回る。同様に, 燃焼面積 50,000m<sup>2</sup> の場合離隔距離 300m, 燃焼面積 10,000m<sup>2</sup> の場合離隔距離 200m, 燃焼面積 1,000m<sup>2</sup> の場合離隔距離 100m があれば火災による熱影響は無いといえる。福島第一原子力発電所敷地外の周囲 10km 圏内の危険物貯蔵施設の設置状況については, **現在調査中である。**

### (3) 熱影響評価結果

2. 2. 2 項と同様に熱影響評価結果(温度評価)を実施する。算出方法も同様で, 燃焼継続時間を改めて設定する必要があるため, 敷地外の高圧ガス貯蔵施設の設置状況調査完了後に評価を行う。第 2 棟に対する熱影響についても同様。

表 2. 14. 2. 11-15 輻射強度対比表

燃焼面積 (m <sup>2</sup> )	離隔距離 (m)											
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000
100,000	— <sup>1)</sup>	59762.55	39540.45	28885.11	22064.37	<b>17289.17<sup>2)</sup></b>	13802.60	11196.51	9214.90	7685.25	3640.69	2080.74
50,000	— <sup>1)</sup>	42042.4	26975.56	<b>18754.89<sup>2)</sup></b>	13591.97	10169.05	7822.32	6166.08	4965.33	4073.04	1852.44	1044.90
10,000	37404.22	<b>16040.40<sup>2)</sup></b>	8422.18	5023.05	3290.41	2307.79	1702.71	1305.71	1031.99	835.63	369.87	207.28
1,000	<b>7685.25<sup>2)</sup></b>	2080.74	928.69	521.20	332.66	230.47	168.99	129.17	101.93	82.47	36.52	20.50

1) 燃焼半径が 100m を超

2) 各燃焼面積に対し

**現在評価中**

輻射入熱流束を下回り, かつ離隔距離が最も小さい値である。

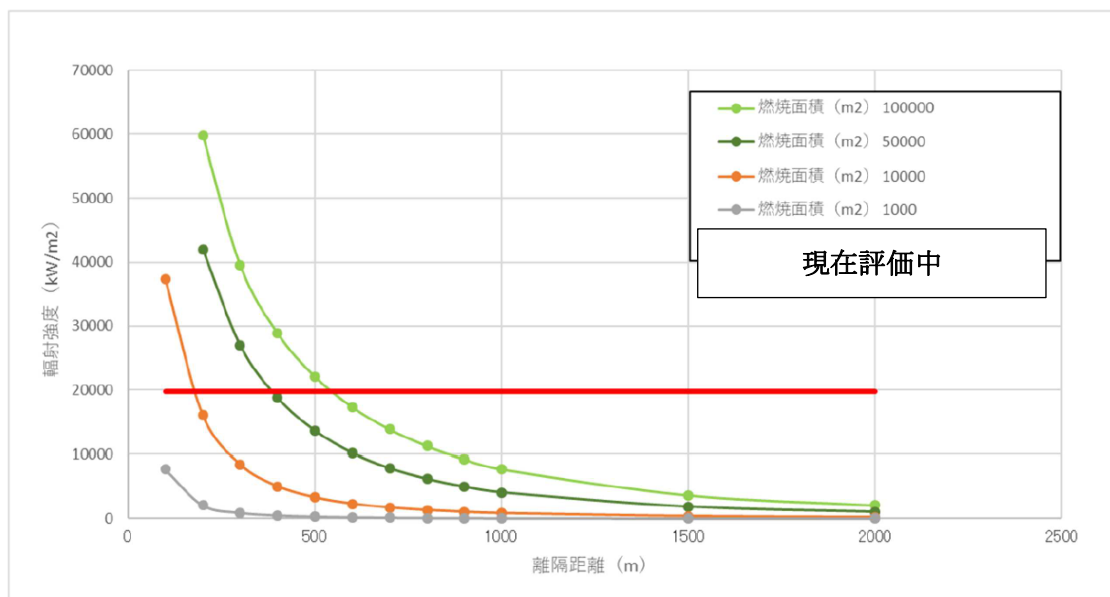


図 2.14.2.11-12 輻射強度対比グラフ

(4) ガス爆発影響評価

ガス爆発が発生した場合の危険限界距離を求め、第 2 棟から高圧ガス貯蔵施設への離隔距離が危険限界距離以上であることを確認する。本評価においては、福島第一原子力発電所から約 11 km の地点に規模の大きい高圧ガス貯蔵施設があることが調査により判明しているため、この施設を参考に評価を行う。

表 2.14.2.11-16 の通り評価条件を設定する。火災と同様にエチレンが貯蔵されていると仮定する。貯蔵量は上記の高圧ガス貯蔵施設を参考に 33t とする。

表 2.14.2.11-16 高圧ガス爆発の評価条件

ガスの種類	エチレン
K値 <sup>1)</sup>	1,130,000
貯蔵量[t]	33
W値 <sup>2)</sup>	5.745

- 1) 附属書 B より
- 2) 貯蔵設備におけるガス貯蔵能力の数値の平方根の数値

危険限界距離は以下の式より算出する。

$$X = 0.04\lambda \cdot \sqrt[3]{K \times W}$$

X : 危険限界距離[m]

λ : 換算距離 14.4[m・kg<sup>-1/3</sup>]

2.14.2.11-25

K：石油類の定数

W：設備定数

X=107.45

表 2.14.2.11-16 の条件において、危険限界距離は 107.45m となる。エチレン貯蔵量 33t 規模のガス貯蔵設備のガス爆発の場合で 200m の離隔距離があれば、爆風圧は第 2 棟に影響を与えない。福島第一原子力発電所敷地外の周囲 10km 圏内の高圧ガス貯蔵施設の設置状況については、**現在調査中である。**

### 3. 航空機墜落による火災について

航空機墜落に伴う火災で評価する内容は、ガイドの付属書C「原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について」に基づき、評価を実施する。

#### 3.3.1 航空機墜落の火災影響評価

航空機落下確率評価では、評価手法及び対象航空機の大きさの違いを考慮して落下確率を求めている。火災の影響は対象航空機の燃料積載量に大きく依存することから、参考資料11-1に示すとおり、大型航空機と小型航空機に分類し、また、民間航空機と自衛隊航空機又は米軍航空機(以下「軍用航空機」という。)に分類し以下のカテゴリごとに火災影響評価を実施する。

表 2.14.2.11-17 航空機の分類

落下事故カテゴリ		分類
(1) 計器飛行方式民間航空機	1) 飛行場での離着陸時	—注1
	2) 航空路を巡航中	(1) 大型民間航空機 (2) 小型民間航空機
(2) 有視界飛行方式民間航空機		
(3) 自衛隊機又は米軍機	1) 訓練空域外を飛行中	大型軍用航空機 小型軍用航空機
	2) 基地—訓練空域間往復時	—注2

注1：福島第一原子力発電所は、福島空港からの最大離着陸地点以遠に位置するため対象外(参考資料11-2)

注2：福島第一原子力発電所は、基地—訓練空域間の往復の想定範囲内に入らないため対象外

#### (1) 航空機墜落の火災の想定

航空機は、福島第一原子力発電所における航空機落下評価の対象航空機のうち燃料積載量が最大の機種とする。

航空機は燃料を満載した状態を想定する。

航空機の落下は**発電所**敷地内であって落下確率が  $10^{-7}$  [回/炉・年] 以上になる範囲のうち第2棟への影響が最も厳しくなる地点で起こることを想定する。

航空機の落下によって燃料に着火し火災が起こることを想定する。気象条件は無風状態とする。

火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。

2.14.2.11-27

表 2. 14. 2. 11-18 燃料積載量が最大の機種

分類	航空機	選定理由
大型民間航空機 (固定翼, 回転翼)	A380	民間の大型航空機の中で燃料積載量が最大規模のものを選定
小型民間航空機 (固定翼, 回転翼)	Do228-200	民間の小型航空機の中で燃料積載量が最大規模のものを選定
大型軍用航空機 (固定翼, 回転翼)	KC-767 (空中給油機)	主要自衛隊航空機(参考資料11-3)の大型航空機の中で燃料積載量が最大規模のものを選定
小型軍用航空機 (固定翼, 回転翼)	UH-2	主要自衛隊航空機(参考資料11-3)の小型航空機の中で燃料積載量が最大規模のものを選定

(2) 評価手法の概要

本評価は、福島第一原子力発電所に対する航空機墜落の火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

表 2. 14. 2. 11-19 評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度[W/m <sup>2</sup> ]	火災の炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度
形態係数[-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	航空機燃料タンクの投影面積より求めた燃焼半径
燃焼継続時間[s]	火災が終了するまでの時間
離隔距離[m]	第2棟を中心にして落下確率が10 <sup>-7</sup> [回/炉・年]以上になる地点とその地点から第2棟までの直線距離
許容温度[°C]	想定火災に対し第2棟外壁が熱影響のない温度

上記の評価指標は、受熱面が輻射帯の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。油の液面火災では、火炎面積の半径が3mを超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが、本評価では保守的な判断を行うために、火災規模による輻射発散度の低減がないものとする。

航空機落下による火災の輻射熱に対する第2棟外壁の表面温度が許容温度を超えないことを評価する。



(3) 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所敷地内であって落下確率が  $10^{-7}$  [回/炉・年] 以上になる範囲のうち第 2 棟への影響が最も厳しくなる区域とすることから、福島第一原子力発電所における航空機落下確率評価の対象航空機を、大型民間航空機、小型民間航空機、大型軍用航空機、小型軍用航空機に分類し、それぞれの機種の落下確率の合計が  $10^{-7}$  [回/炉・年] となる標的面積を算出し、その結果から第 2 棟からの離隔距離を以下のとおり算出する。

(4) 標的面積の算出

A. 大型民間航空機及び小型民間航空機の標的面積の算出

(A) 計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航中の落下事故

$$P_c = f_c \cdot N_c \cdot A / W$$

$P_c$  : 対象施設への巡航中の航空機落下確率[回/年]

$N_c$  : 評価対象とする航空路等の年間飛行回数[飛行回/年]

$A$  : 第 2 棟の標的面積[km<sup>2</sup>]

$W$  : 航空路幅[km]

$f_c = G_c / H_c$  : 単位飛行距離当たりの巡航中の落下事故率[回/飛行回・km]

$G_c$  : 巡航中事故件数[回]

$H_c$  : 延べ飛行距離[飛行回・km]

表 2. 14. 2. 11-20 標的面積の算出結果

設備名称 パラメータ	福島第一原子力発電所第2棟		
	広域航法経路 (Y30)	直行経路 MIYAKO (MQE) - IWAKI (IXE)	直行経路 SENDAI (SDE) - IWAKI (IXE)
対象航空路注 <sup>1</sup>			
$N_c$ 注 <sup>2</sup>	9490	182.5	365
$A$ 注 <sup>3</sup>	0.001	0.001	0.001
$W$ 注 <sup>4</sup>	18.52	14.816	14.816
$f_c$ 注 <sup>5</sup>	$0.5 / 11,759,413,566 = 4.25 \times 10^{-11}$		
$P_c$	$2.18^{-11}$	$5.24^{-13}$	$1.05^{-12}$
$P_c$ (合計)	$2.34^{-11}$		

注 1: 福島第一原子力発電所周辺の航空図(AIP エンルートチャート)による。(参考資料 11-4)

注 2: 国土交通省航空局への問合せ結果(ピークデイの値)を 365 倍した値。ただし、令和 4 年のピークデイにおける飛行回数が 0 回の場合は、保守的に 0.5 回とみなし、年間 182.5 回とする。(参考資料 11-5)

注3：第2棟の水平面積の合計値は0.01km<sup>2</sup>以下であるので標的面積は0.001km<sup>2</sup>とする。(参考資料11-6)

注4：「飛行方式設定基準」による。

注5：巡航中事故件数は，平成13年～令和2年の間で0件のため，保守的に0.5件とする。延べ飛行距離は，平成13年～令和2年の「航空輸送統計年報，第1表 総括表，1. 輸送実績」における運航キロメートルの国内の値を合計した値。(参考資料11-7)

B. 有視界飛行方式民間航空機の落下事故

$$P_v = (f_v/S_v) \cdot A \cdot \alpha$$

P<sub>v</sub>：対象施設への航空機落下確率[回/年]

f<sub>v</sub>：単位年当たりの落下事故率[回/年]

S<sub>v</sub>：全国土面積[km<sup>2</sup>]

A：第2棟の標的面積[km<sup>2</sup>]

α：対象航空機の種類による係数

表 2.14.2.11-21 落下確率の算出結果

パラメータ	大型固定翼機	大型回転翼機	小型固定翼機	小型回転翼機
f <sub>v</sub> 注	0.5/20=0.025	1/20=0.05	22/20=1.1	17/20=0.85
S <sub>v</sub> 注	372,000			
α注	1.0	1.0	0.1	0.1
A	0.001	0.001	0.001	0.001
P <sub>v</sub>	6.72×10 <sup>-11</sup>	1.34×10 <sup>-10</sup>	2.96×10 <sup>-10</sup>	2.28×10 <sup>-10</sup>
P <sub>v</sub> (合計)	7.26×10 <sup>-10</sup>			

注：「NTEN-2023-2001NRA 技術ノート航空機落下事故に関するデータ(平成13～令和2年)」(令和5年3月原子力規制庁長官官房技術基盤グループ)による。

以上より，大型民間航空機の落下確率(P<sub>c</sub>(計器飛行方式)+P<sub>v</sub>(大型固定翼機)+P<sub>v</sub>(大型回転翼機))が10<sup>-7</sup>[回/炉・年]となる標的面積A1[km<sup>2</sup>]を計算すると以下のとおりとなる。

$$A1 = 10^{-7} \div (2.34 \times 10^{-11} + 6.72 \times 10^{-11} + 1.34 \times 10^{-10}) \times 0.001 = 0.445 \text{ [km}^2\text{]}$$

小型民間航空機の落下確率( $P_v$ (小型固定翼機) +  $P_v$ (小型回転翼機))が  $10^{-7}$ [回/炉・年]となる標的面積  $A_2$ [ $\text{km}^2$ ]を計算すると以下のとおりとなる。

$$A_2 = 10^{-7} \div (2.96 \times 10^{-10} + 2.28 \times 10^{-10}) \times 0.001 = 0.191 [\text{km}^2]$$

C. 大型軍用航空機及び小型軍用航空機の標的面積の算出

福島第二原子力発電所の上空には訓練空域がないため、軍用航空機の落下確率  $P_{so}$ を求める式は、以下のとおりとなる。

$$P_{so} = (f_{so}/S_o) \cdot A$$

$P_{so}$  : 訓練空域外での対象施設への航空機落下確率[回/年]

$f_{so}$  : 単位年当たりの訓練空域外落下事故率[回/年]

$S_o$  : 全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積 [ $\text{km}^2$ ]

$A$  : 第2棟の標的面積 [ $\text{km}^2$ ]

表 2. 14. 2. 11-22 落下確率の算出結果

パラメータ	大型自衛隊機	大型米軍機	小型自衛隊機	小型米軍機
$f_{so}$ 注	4/20=0.2	3/20=0.15	11/20=0.55	1/20=0.05
$S_o$ 注	294,000	371,500	294,000	371,500
$A$	0.001	0.001	0.001	0.001
$P_{so}$	$6.80 \times 10^{-10}$	$4.04 \times 10^{-10}$	$1.87 \times 10^{-9}$	$1.35 \times 10^{-10}$
$P_{so}$ (合計)	$3.09 \times 10^{-9}$			

注：「NTEN-2023-2001NRA 技術ノート航空機落下事故に関するデータ(平成13～令和2年)」(令和5年3月原子力規制庁長官官房技術基盤グループ)による。

以上より、大型軍用航空機の落下確率( $P_{so}$ (大型自衛隊機) +  $P_{so}$ (大型米軍機))が  $10^{-7}$ [回/炉・年]となる標的面積  $A_3$ [ $\text{km}^2$ ]を計算すると以下のとおりとなる。

$$A_3 = 10^{-7} \div (6.80 \times 10^{-10} + 4.04 \times 10^{-10}) \times 0.001 = 0.092 [\text{km}^2]$$

小型軍用航空機の落下確率( $P_{so}$ (小型自衛隊機) +  $P_{so}$ (小型米軍機))が  $10^{-7}$ [回/炉・年]となる標的面積  $A_4$ [ $\text{km}^2$ ]を計算すると以下のとおりとなる。

$$A_4 = 10^{-7} \div (1.87 \times 10^{-9} + 1.35 \times 10^{-10}) \times 0.001 = 0.050 [\text{km}^2]$$

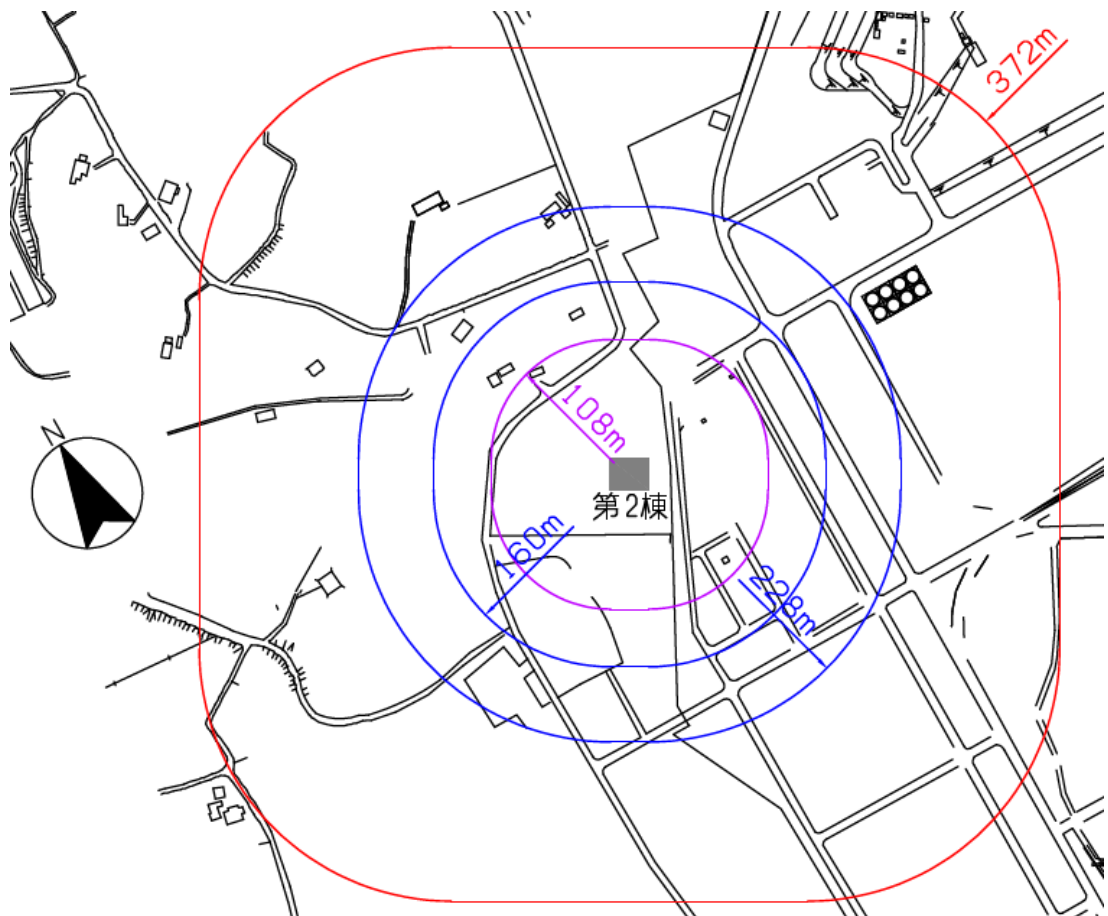
(5) 第2棟からの離隔距離の算出

(4)で求めた面積が、評価対象となる第2棟外壁面から等距離の離隔をとった場合の標的  
面積と等しくなる距離を離隔距離 L[m]とし、離隔距離 L を算出した結果を以下に示す。ま  
た、各航空機の離隔距離を図 2.14.2.11-13 に示す。

表 2.14.2.11-23 第2棟からの離隔距離の算出結果

項目	大型民間航空機	小型民間航空機	大型軍用航空機	小型軍用航空機
対象航空機	A380	Do228-200	KC-767	UH-2
第2棟外壁までの 離隔距離[m]	372	228	160	108

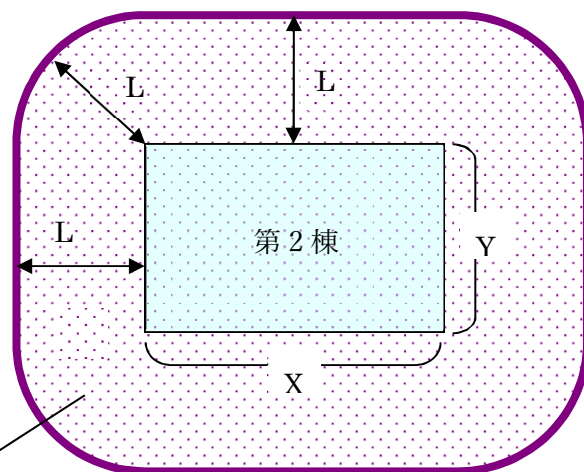
航空機墜落による危険物貯蔵施設の重畳火災も考慮し、第2棟から最も近い屋外  
危険物取扱設備の離隔距離(360m)位置に危険物屋外貯蔵所があると仮定し、重  
畳評価を実施する。



大型民間航空機墜落位置 L=372m	小型民間航空機墜落位置 L=228m	小型軍用航空機墜落位置 L=108m
	大型軍用航空機墜落位置 L=160m	

図 2. 14. 2. 11-13 各航空機の墜落位置

$10^{-7}$ [回/炉・年]となる標的面積の考え方は、以下のとおり。



$10^{-7}$ [回/炉・年]となる標的面積=S

図 2. 14. 2. 11-14 標的面積の考え方

2. 14. 2. 11-33

第2棟外壁面から等距離の離隔をとり、 $10^{-7}$ [回/炉・年]となる標的面積をSとした場合、以下の式が成り立つ。

$$S = XY + 2LX + 2LY + \pi L^2 / 4 \times 4$$

$$\pi L^2 + 2(X + Y)L + XY - S = 0$$

二次方程式の解の公式より、以下の式となる。

$$L = \frac{-(X + Y) + \sqrt{(X + Y)^2 - \pi(XY - S)}}{\pi}$$

#### (6) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。下表に示すとおり、小型民間航空機は大型軍用航空機と比べ放射発散度が小さく、燃料タンク面積も小さく、離隔距離も離れていることから大型軍用航空機の評価に包絡される。

表 2.14.2.11-24 航空機火災影響評価に必要なデータ

項目	大型民間航空機	小型民間航空機	大型軍用航空機	小型軍用航空機
想定する航空機	A380	Do228-200	KC-767	UH-2
燃料の種類	JetA-1	JetA-1	JP-4	JP-4
燃料量[m <sup>3</sup> ]	323	2.39	145.03	1.87
放射発散度[kW/m <sup>2</sup> ]	50	50	58	58
燃焼速度[m/s]	$6.666 \times 10^{-5}$	$6.666 \times 10^{-5}$	$6.710 \times 10^{-5}$	$6.710 \times 10^{-5}$
燃料タンク面積[m <sup>2</sup> ]	871	27	295	17
第2棟外壁面までの 離隔距離[m]	372	228	160	108

※出典については、参考資料 11-8 参照

#### (7) 燃焼半径の算出

航空機墜落による火災においては墜落の状況によって、様々な燃焼範囲の形態が想定されるが、円筒火炎モデルとして評価を実施するため、燃焼半径は対象とした航空機燃料タンクの投影面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出する。

$$R = (S/\pi)^{0.5}$$

R：燃焼半径[m]

2.14.2.11-34

S : 燃料タンク投影面積(火炎円筒の底面積)

表 2. 14. 2. 11-25 燃焼半径の算出結果

項目	大型民間航空機	大型軍用航空機	小型軍用航空機
想定する航空機	A380	KC-767	UH-2
燃料タンク面積[m <sup>2</sup> ]	871	295	17
燃焼半径[m]	16.7	9.69	2.33

(8) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出する。

$$\phi = \frac{1}{\pi n} \operatorname{tAn}^{-1} \left( \frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \operatorname{tAn}^{-1} \left[ \sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \operatorname{tAn}^{-1} \left[ \sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\}$$

ただし,

$$m = \frac{H}{R} \cong 3, n = \frac{L}{R}, A = (1+n)^2 + m^2, B = (1-n)^2 + m^2$$

φ : 形態係数

L : 離隔距離[m]

H : 火炎高さ[m]

R : 燃焼半径[m]

表 2. 14. 2. 11-26 形態係数の算出結果

項目	大型民間航空機	大型軍用航空機	小型軍用航空機	
燃焼半径[m]	16.7	9.69	2.33	
第2棟外壁面	離隔距離[m]	372	160	108
	形態係数	0.003903	0.07126	0.000893

(9) 輻射強度の算出

火災の火炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度は、輻射発散度に形態係数をかけた値となる。次式から輻射強度を算出する。

$$E = R_f \times \phi$$

E : 輻射強度

2. 14. 2. 11-35

Rf : 輻射発散度

$\phi$  : 形態係数

表 2. 14. 2. 11-27 輻射強度の算出結果

項目		大型民間航空機	大型軍用航空機	小型軍用航空機
輻射発散度[kW/m <sup>2</sup> ]		50	58	58
第2棟	形態係数	0. 003903	0. 07126	0. 000893
外壁面	輻射強度[W/m <sup>2</sup> ]	195. 17	413. 33	51. 82

(10) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}, v = \frac{M}{\rho} \text{より}, t = \frac{V \times \rho}{\pi R^2 \times M}$$

t : 燃焼継続時間[s]

V : 燃料積載量[m<sup>3</sup>]

R : 燃焼半径[m]

v : 燃焼速度[m/s]

M : 質量低下速度[kg/m<sup>2</sup>・s]

$\rho$  : 密度[kg/m<sup>3</sup>]

表 2. 14. 2. 11-28 燃焼継続時間の算出結果

項目	大型民間航空機	大型軍用航空機	小型軍用航空機
燃料量[m <sup>3</sup> ]	323	145. 03	1. 87
燃料面積 $\pi R^2$ [m <sup>2</sup> ]	871	295	17
質量低下速度[kg/m <sup>2</sup> ・s]	0. 054	0. 051	0. 051
燃料密度[kg/m <sup>3</sup> ]	810	760	760
燃焼速度[m/s]	$6. 666 \times 10^{-5}$	$6. 710 \times 10^{-5}$	$6. 710 \times 10^{-5}$
燃焼継続時間[hour]	1. 55	2. 04	0. 46

※出典については、参考資料 11-8 参照

(11) 評価結果

A. 第 2 棟外壁の耐火性能評価

(A) 許容温度



本評価で用いる許容温度については、一般的にコンクリートの強度に影響がないとされる 200℃\*とする。

※原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，財団法人日本建築センター

(B) 耐火性能の評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で第 2 棟外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式の解の式より、コンクリートの表面の温度上昇を求め、コンクリートの表面温度が許容温度以下であるか評価を実施する。

$$T_s = T_0 + \frac{I}{\left( \frac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h\sqrt{t}} + 1 \right) \frac{h}{\epsilon E}}$$

出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター

T：初期温度 [50℃]

E：輻射強度 [W/m<sup>2</sup>]

ε：コンクリート表面の放射率(0.95)

h：コンクリート表面熱伝達率 [34.9W/m<sup>2</sup>・K]

k：コンクリート熱伝導率 [1.6W/mK]

ρ：コンクリート密度 [2400kg/m<sup>3</sup>]

c：コンクリート比熱 [879J/kgK]

t：燃焼継続時間 [s]

表 2.14.2.11-29 第 2 棟外壁面の温度評価結果

項目	大型民間航空機	大型軍用航空機	小型軍用航空機
輻射強度[W/m <sup>2</sup> ]	195.17	413.33	51.82
燃焼継続時間[hour]	1.55	2.04	0.46
表面温度[℃]	56	62	51

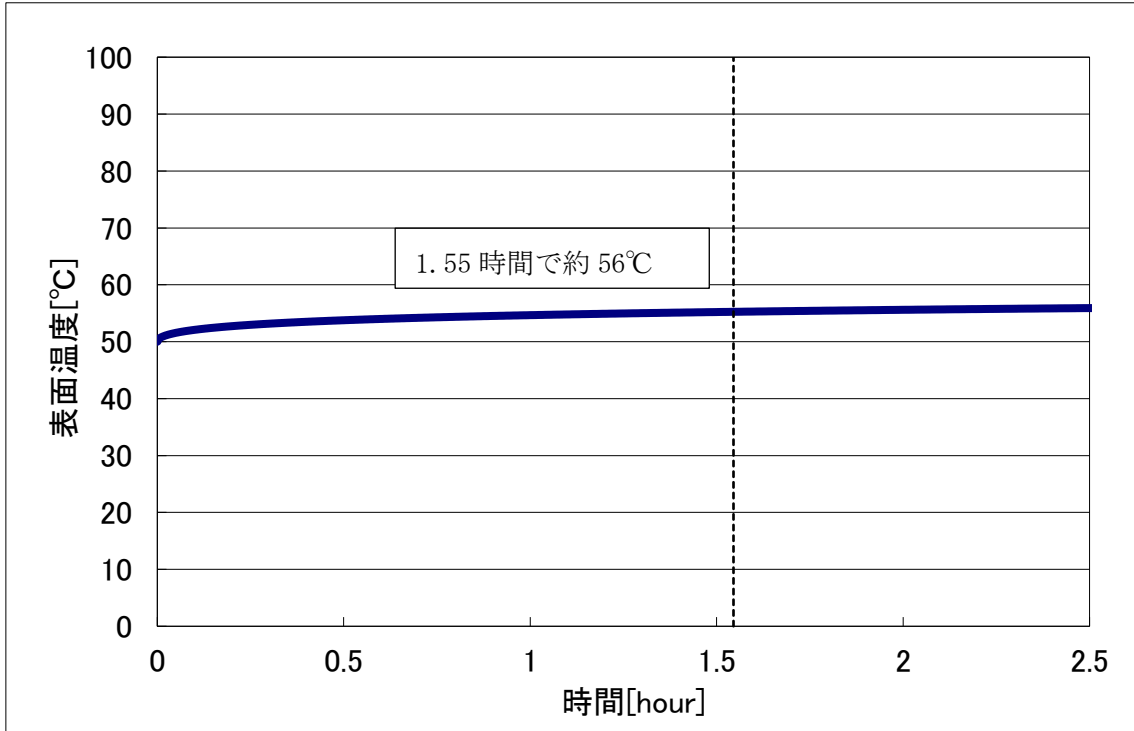


図2.14.2.11-15 外壁面温度推移(大型民間航空機)

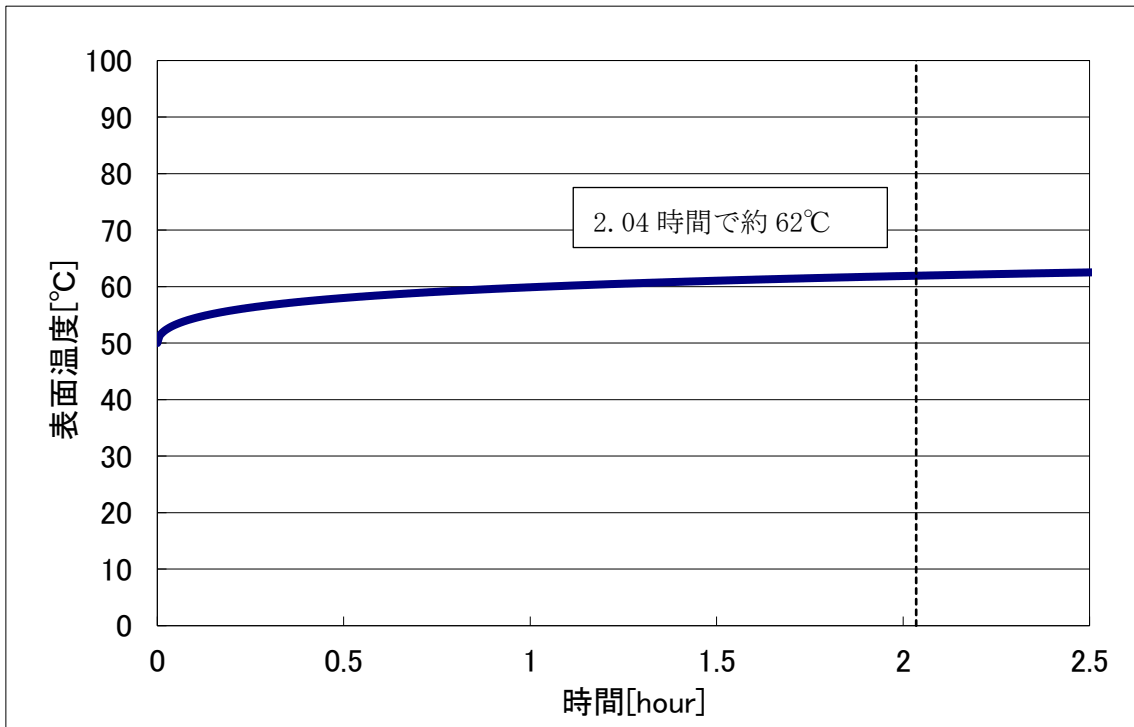


図 2.14.2.11-16 外壁面温度推移(大型軍用航空機)

2.14.2.11-38

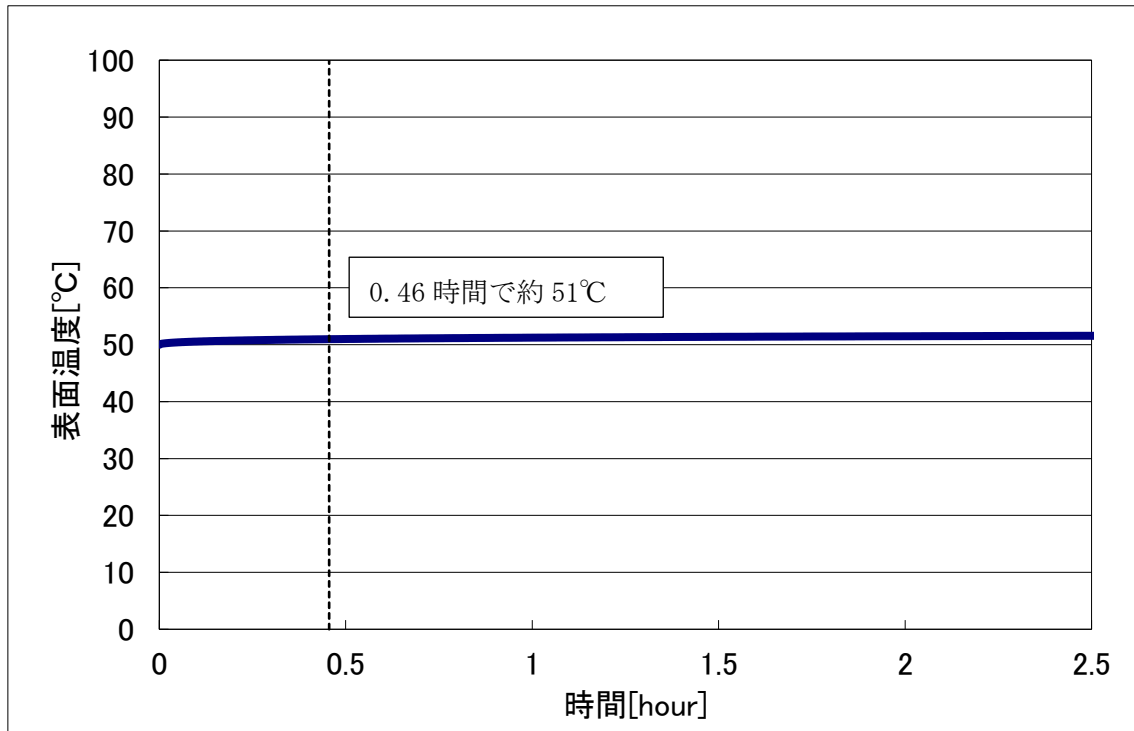


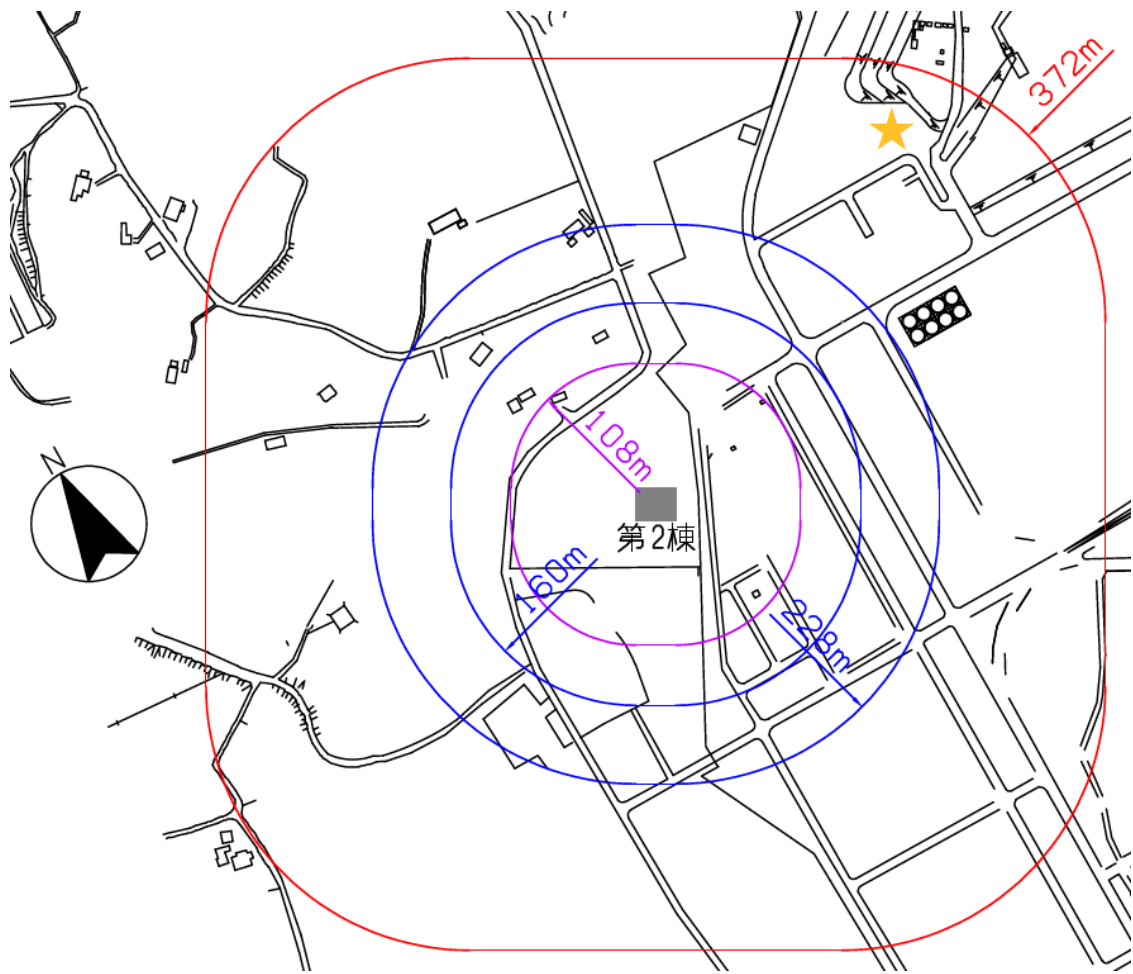
図2.14.2.11-17 外壁面温度推移(小型軍用航空機)

## (12) 航空機墜落火災と危険物貯蔵設備の重畳

### A. 重畳する危険物貯蔵設備の選定

航空機火災が発生した場合に重畳を考慮する危険物貯蔵設備を検討する。航空機落下確率が  $10^{-7}$  [回/炉・年] となる航空機墜落位置とその周辺の危険物施設位置を図 2.14.2.11-18 に示す。廃止措置作業に伴う敷地内のレイアウト変更も加味し、第 2 棟から最も近い No. 1 危険物屋外貯蔵所 B(360m) に、福島第一発電所構内で現実的に大容量保管され、かつ、放射発散度が大きいガソリンが、最も危険物を内包する設備 (No. 2 危険物屋外貯蔵所)、かつ、最も広い床面積 (No. 1~No. 10 気絶縁油タンクの堰の総面積) で設置されたとして、評価を実施する。

第 2 棟から 360m 範囲で航空機落下が想定される機種は小型軍用航空機、大型軍用航空機であり、第 2 棟への熱影響は大型軍用航空機の方が大きい。よって大型軍用航空機 (KC-767) が落下した際に、ガソリン火災が重畳すると仮定し熱影響評価を実施する。なお、航空機落下位置は、航空機落下火災による影響が最も厳しくなるよう落下確率が  $10^{-7}$  [回/炉・年] となる位置とする。



★：火災の想定(No. 1 危険物屋外貯蔵所 B+大型軍用航空機(KC-767))

大型民間航空機墜落位置 L=372m	小型民間航空機墜落位置 L=228m	小型軍用航空機墜落位置 L=108m
	大型軍用航空機墜落位置 L=160m	

図 2. 14. 2. 11-18 航空機墜落位置と危険物タンクの重畳を考慮する位置

B. 第 2 棟に対する影響評価(ガソリンタンクとの重畳)

(A) 第 2 棟の受熱量評価評価に必要なデータは以下のとおり

表 2. 14. 2. 11-30 ガソリントank火災影響評価に必要なデータ

項目	ガソリントank	大型軍用航空機(KC-767)
燃料の種類	ガソリン	JP-4
燃料量[m <sup>3</sup> ]	1488	145. 03
輻射発散度[kW/m <sup>2</sup> ]	58	58
燃焼速度[m/s]	6. 711×10 <sup>-5</sup>	6. 711×10 <sup>-5</sup>
燃焼面積[m <sup>2</sup> ]	676	295
燃焼半径[m]	14. 67	9. 69
第2棟までの距離[m]	181	119
燃焼継続時間[hour]	9. 11	2. 04

次の式から形態係数を算出する。

$$\phi = \frac{1}{\pi n} \text{tAn}^{-1} \left( \frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \text{tAn}^{-1} \left[ \sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \text{tAn}^{-1} \left[ \sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\}$$

ただし,

$$m = \frac{H}{R} \cong 3, n = \frac{L}{R}, A = (1 + n)^2 + m^2, B = (1 - n)^2 + m^2$$

φ：形態係数

L：離隔距離[m]

H：火炎高さ[m]

R：燃焼半径[m]

表 2. 14. 2. 11-31 形態係数の算出結果

項目	ガソリントank	大型軍用航空機(KC767)
第2棟までの距離[m]	360	228
燃焼半径R[m]	21. 34	9. 69
形態係数	0. 006888	0. 003246

火災の火炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度は、輻射発散度に形態係数をかけた値となる。次式から輻射強度を算出する。

2. 14. 2. 11-41

$$E = R_f \times \phi$$

E : 輻射強度

Rf : 輻射発散度

$\phi$  : 形態係数

表 2. 14. 2. 11-32 輻射強度の算出結果

項目	ガソリントank	大型軍用航空機(KC-767)
輻射発散度[kW/m <sup>2</sup> ]	58	58
形態係数	0. 006888	0. 003246
輻射強度[W/m <sup>2</sup> ]	399. 51	188. 28

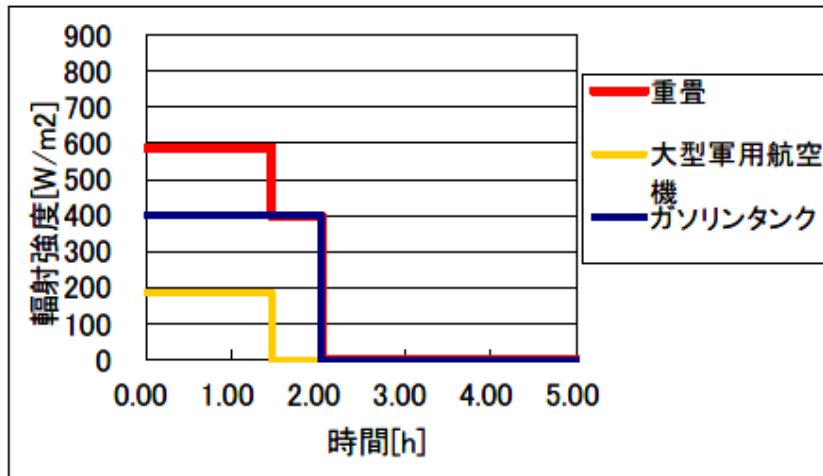
ここで重畳を考慮した場合、航空機墜落による火災と同時にガソリントankが延焼する場合は輻射強度が大きくなり、航空機が落下後時間においてガソリントankが発火する場合は燃焼継続時間が大きくなることから、それらを包絡するように、評価を実施する(図 2. 14. 2. 11-19)

航空機とガソリントankが同時に延焼する場合の輻射強度 E は、以下のとおり。

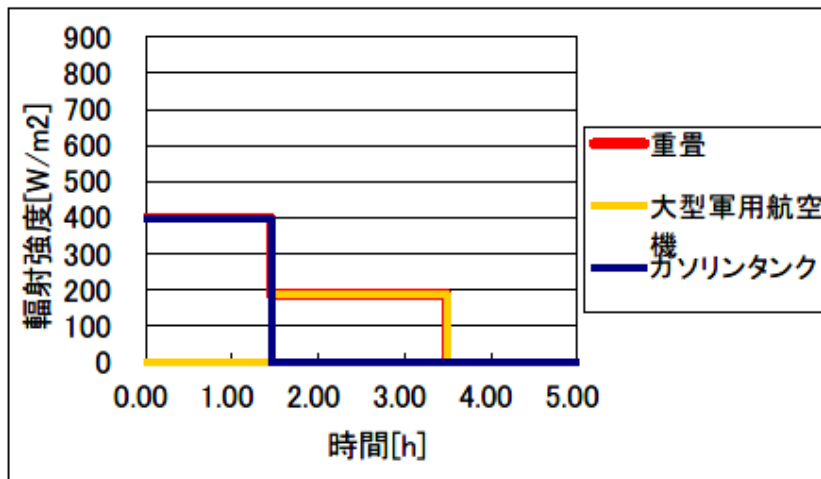
$$E=399. 51(\text{ガソリントank})+188. 28(\text{大型軍用航空機}) \\ =527. 79$$

航空機が墜落後時間においてガソリントankが発火する場合の最大の燃焼継続時間 t は、以下のとおり。

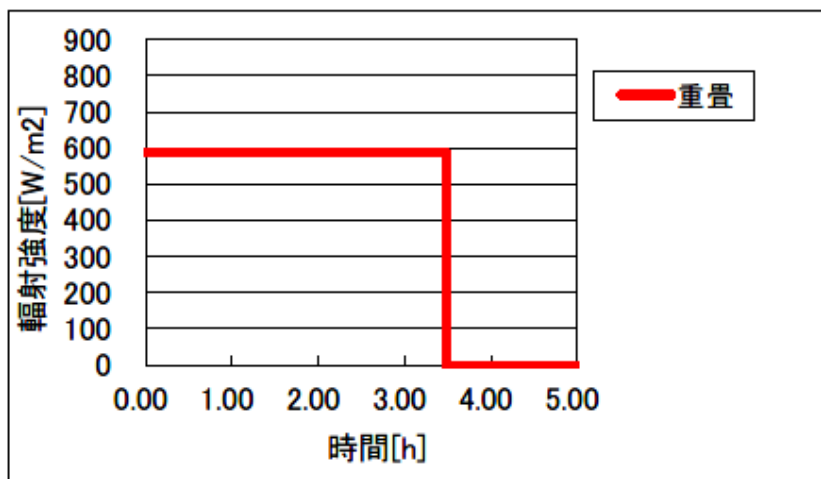
$$t=1. 46(\text{ガソリントank})+2. 04(\text{大型軍用航空機})t=3. 5[\text{時間}]$$



輻射強度が最大となる場合



燃料継続時間が最大となる場合



輻射強度最大で燃料継続時間最大として温度評価を実施

図 2. 14. 2. 11-19 重畳を考慮した場合の輻射強度及び燃料継続時間の関係

(B) 耐火性能の評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で第 2 棟外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式の解の式より、コンクリートの表面の温度上昇を求め、コンクリートの表面温度が許容限界温度以下であるか評価を実施する。

$$T_s = T_0 + \frac{I}{\left( \frac{\sqrt{\kappa\rho c}}{1.18h\sqrt{t}} + 1 \right) \frac{h}{\varepsilon E}}$$

出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター

T：初期温度 [50℃]

E：輻射強度 [W/m<sup>2</sup>]

ε：コンクリート表面の放射率(0.95)

h：コンクリート表面熱伝達率 [34.9W/m<sup>2</sup>・K]

k：コンクリート熱伝導率 [1.6W/mK]

ρ：コンクリート密度 [2400kg/m<sup>3</sup>]

c：コンクリート比熱 [879J/kgK]

t：燃焼継続時間 [s]

表 2.14.2.11-33 第 2 棟外壁面の温度評価結果

項目	ガソリタンクと航空機の重畳
輻射強度[W/m <sup>2</sup> ]	587.79 (=399.51+188.28)
燃焼継続時間[hour]	3.5(=1.46+2.04)
表面温度[℃]	70



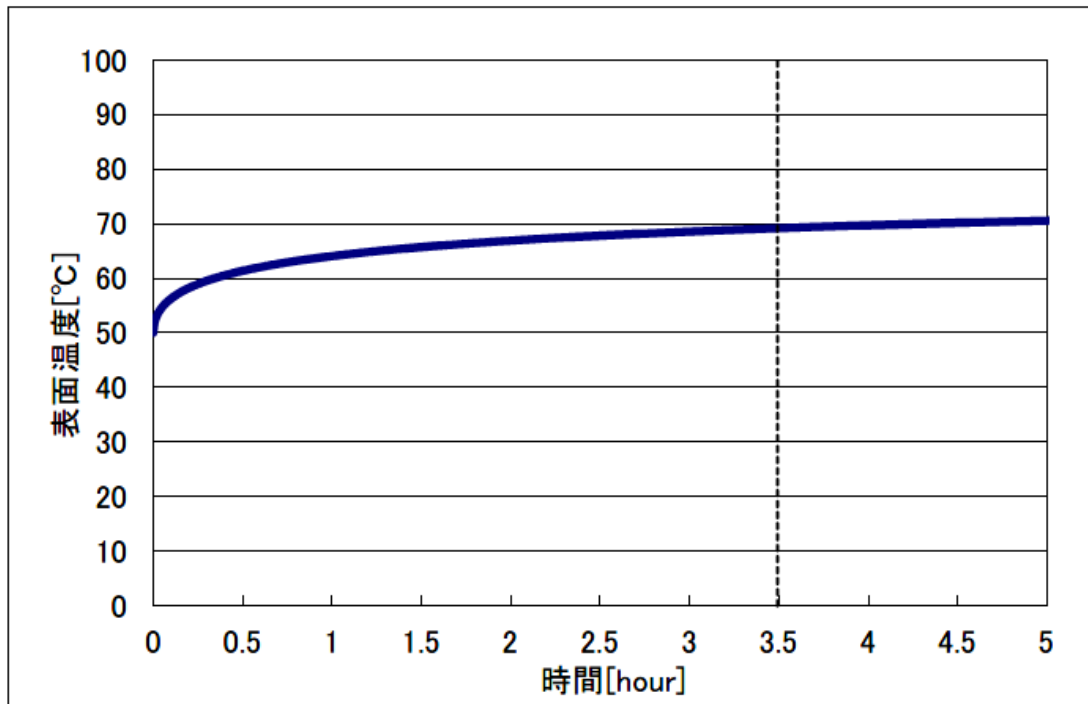


図 2.14.2.11-20 外壁面温度推移(ガソリタンクと航空機の重畳)

(13) 評価結果

以上の結果から、航空機墜落による火災が発生した場合を想定したとしても、第2棟外壁面の温度が許容温度を超えないことから、第2棟に熱影響をおよぼすことはないと評価する。

航空機墜落による第2棟外壁の表面温度は約70°Cであり、2.1.2.5の森林火災の熱影響の評価に包絡されることから、第2棟表面の温度が200°Cに到達することはなく、第2棟への熱影響はない。

表 2.14.2.11-34 評価対象航空機の種類

		民間航空機		自衛隊機、在日米軍機
		計器飛行方式	有視界飛行方式	
固定翼 (ジェット旅客機等)	大型機	定期便：評価対象 (例) 大型旅客機 (B747、 B777 等)	定期便：該当なし	評価対象  自衛隊機 (F-4EJ 改、 F-15 等) 在日米軍機 (F-16、 F/A-18 等)
		不定期便：評価対象外 (注1)	不定期便：評価対象 (例) 海上保安庁のパトロール 機 (ビッチクラフト 90 型等) 民間の社有機 (三菱式 MU-300 型等) 等	
	小型機	定期便：評価対象外(注2)	定期便：評価対象外(注2)	評価対象  自衛隊機 (T-1 等)
		不定期便：評価対象(注3)	不定期便：評価対象 (例) 本土-離島間コミュータ 機 (DHC-6、BN-2 等) 軽飛行機 (セスナ 172 等)	
回転翼 (ヘリコプター)	大型機	定期便：評価対象外(注2)	定期便：評価対象外(注2)	評価対象  自衛隊機 (MH-53 等) 在日米軍機 (CH-53 等)
		不定期便：評価対象(注3)	不定期便：評価対象 (例) 資材輸送 (ヘール 214B、 AS332 等) 等	
	小型機	定期便：評価対象外(注2)	定期便：評価対象外(注2)	評価対象  自衛隊機 (OH-6 等)  在日米軍機 (UH-1 等)
		不定期便：評価対象(注3)	不定期便：評価対象 (例) 離島間コミュータ 機 (SA365 等) 資材輸送、緊急医療、報 道用等 (アエロスハ <sup>®</sup> シアル AS350、川崎 BK117)	

(注1) 計器飛行方式で飛行する大型固定翼機の不定期便は、定期便と比べて運航回数が極めて少ないことから、評価対象外とする。

(注2) 小型固定翼機及び回転翼機の定期便については、定期航空運送事業者の登録機数の割合から、運航頻度が大型機の定期便の数%であると判断できることから評価対象外とする。

(注3) 小型固定翼機及び回転翼機では、リクエストベースで計器飛行方式による飛行が可能となっているが、原則としては、有視界飛行方式による飛行形態を取っていることから、本基準では、全て有視界飛行方式として評価することとする。

※：実用発電原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について(内規)より抜粋

- 大型民間航空機(固定翼, 回転翼)
- 小型民間航空機(固定翼, 回転翼)
- 大型軍用航空機(固定翼, 回転翼)
- 小型軍用航空機(固定翼, 回転翼)

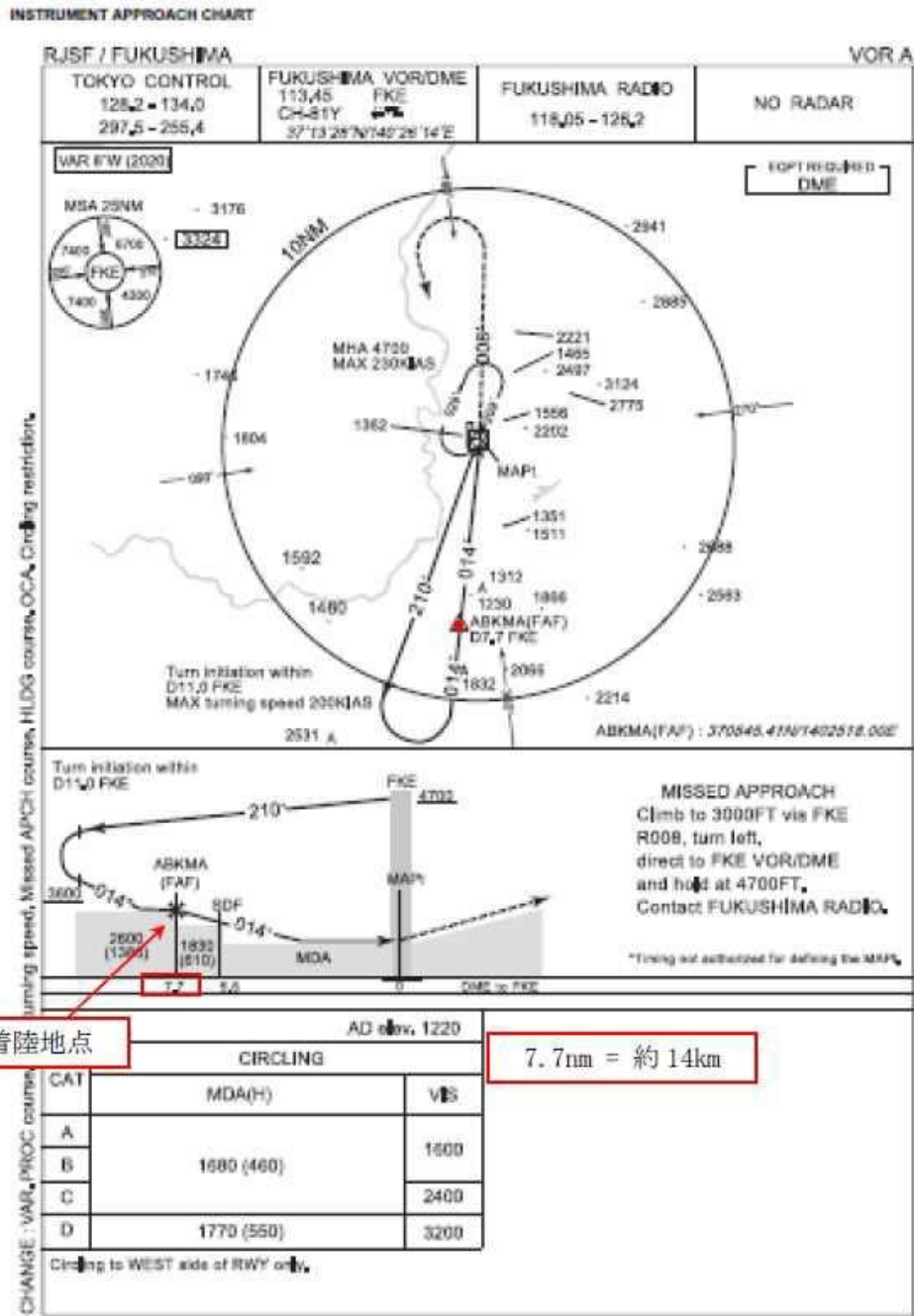


図 2. 14. 2. 11-21 福島空港のアプローチチャート  
 (出典: AIP-JAPAN, 国土交通省航空局, 令和 5 年 4 月)

表 2. 14. 2. 11-35 主要自衛隊航空機の仕様

所属	形式	機種	保有数[機]	全長[m]	全幅[m]	燃料積載量[L]
陸上自衛隊	大型固定翼	LR-2	8	14	18	2040
	小型回転翼	AH-1S	48	14	3	980
	小型回転翼	OH-1	37	12	3	953
	小型回転翼	UH-1J	115	13	3	833
	小型回転翼	UH-2	1	13	3	1870 <sup>※1</sup>
	大型回転翼	CH-47J/JA	50	16	4/5 <sup>※2</sup>	3899
	大型回転翼	UH-60JA	40	16	3	2722
	大型回転翼	AH-64D	12	15	6	1421
	ティールローター機	V-22	9	17	15	4449
海上自衛隊	大型固定翼	P-1	4	38	35	- <sup>※3</sup>
	大型固定翼	P-3C	75	36	30	34820
	大型固定翼	US-2	6	33	33	- <sup>※3</sup>
	大型回転翼	SH-60J	46	15	5	1361
	大型回転翼	SH-60K	39	16	5	1361
	大型回転翼	MCH-101	5	20	5	5250
航空自衛隊	大型固定翼	F-15J/DJ	201	19	13	11932kg
	大型固定翼	F-2A/B	92	16	11	4675 <sup>※3</sup>
	大型固定翼	F-35A	27	16	11	10220
	大型固定翼	C-1	7	29	31	15709
	大型固定翼	C-2	14	44	44	- <sup>※3</sup>
	大型固定翼	C-130H	13	30	40	26344
	大型固定翼	KC-767	4	49	48	145033 <sup>※1</sup>
	大型固定翼	KC-130H	3	30	40	26344
	大型固定翼	E-2C	10	18	25	7002
	大型固定翼	E-2D	3	18	25	7002
	大型固定翼	E-767	4	49	48	- <sup>※3</sup>
	大型回転翼	CH-47J	15	16	5	3899
	大型回転翼	UH-60J	140	16	5	2722

令和5年版防衛白書より作成。燃料積載量は日本航空機全集 2013(風文書林) 世界航空機年鑑 2012-2013(耐燈社)より。なお、灰色で網かけした航空機は小型航空機。

※1：小型・大型航空機の燃料が最大のものになる

※2：UH-1H, UH-1J の全長がそれぞれ 12,13m, CH-47J, CH-47JA の全幅がそれぞれ 4,5m を意味する

※3：P-1(哨戒) E-767(早期警戒管制)の燃料積載量は不明だが、機体サイズ及び用途を考えると、KC-767(空中給油)より燃料補給機は少ないと推定する

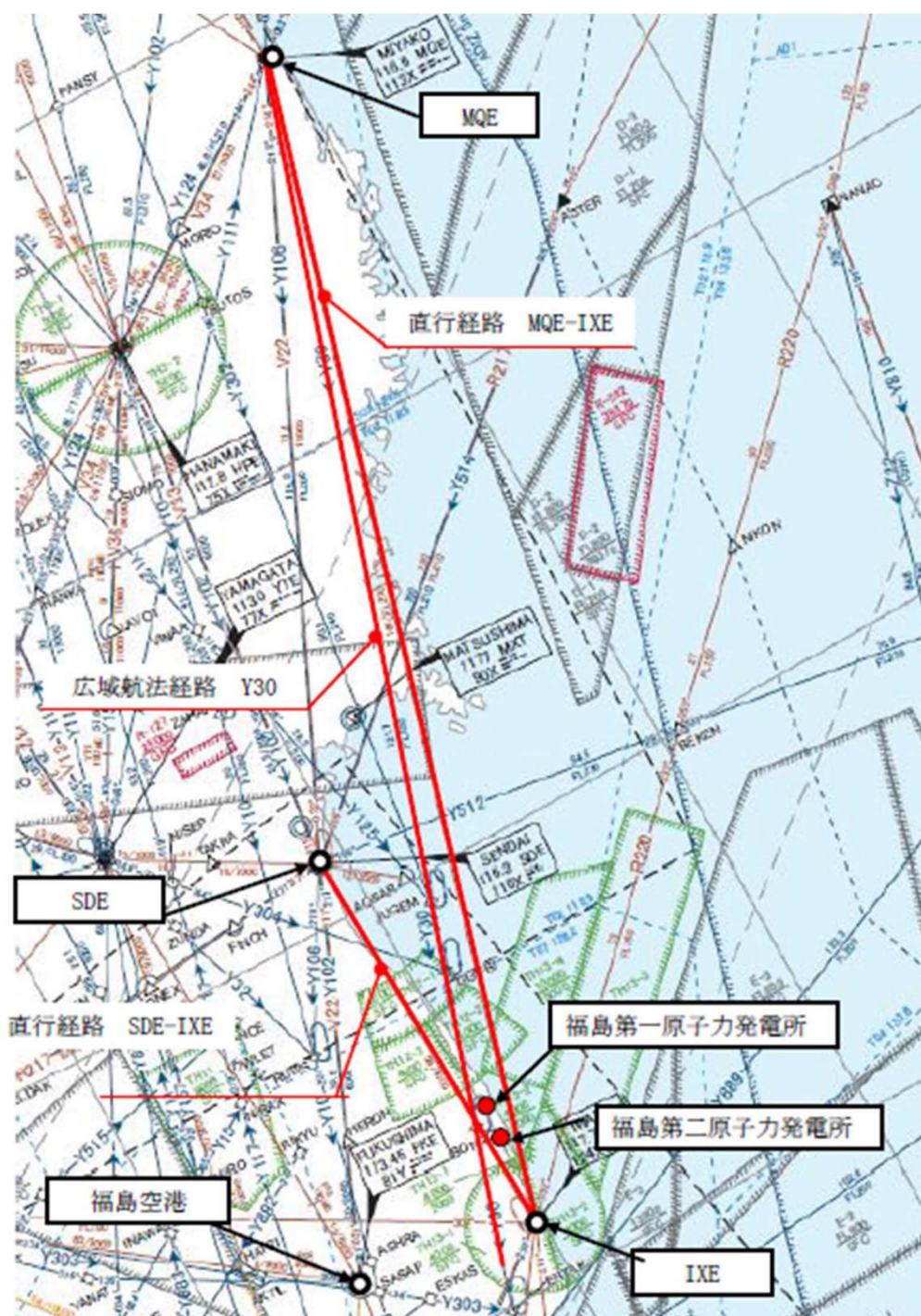


図2.14.2.11-22 福島第一原子力発電所周辺の航空図  
(出典：AIP-JAPAN, 国土交通省航空局, 令和5年4月)

2.14.2.11-49

表2. 14. 2. 11-36 飛行回数 福島第一原子力発電所

各航空交通管制部 ピークデイ <sup>注1</sup>		広域航法経路 (Y30)	直行経路 MIYAKO (MQE) - IWAKI (IXE)	直行経路 SENDAI (SDE) - IWAKI (IXE)
札幌管制	2022 年上半期 (2022. 6. 7) 交通量	16	0	0
	2022 年下半期 (2022. 8. 29) 交通量	25	0	0
東京管制部	2022 年上半期 (2022. 6. 23) 交通量	18	0	1
	2022 年下半期 (2022. 12. 21) 交通量	18	0	0
神戸管制部	2022 年上半期 (2022. 1. 7) 交通量	26	0	1
	2022 年下半期 (2022. 12. 20) 交通量	17	0	0
評価に用いる数値		26×365 日 =9490 便/年間	0.5×365 日 =182.5 便/ 年間 <sup>注2</sup>	1×365 日 =365 便/ 年間

注1：国土交通省航空局に問い合わせ入手したデータ。ここでピークデイとは、各航空交通管制部が全体として取り扱った交通量が半年間で最も多かった日のことであり、当該経路における交通量が半年間で最も多かった日とは必ずしも一致しない。

注2：実際の便数は 0 であるが、保守的に 0.5 とする。

表2. 14. 2. 11-37 標的面積

単位：km<sup>2</sup>

発電所	対象	合計	標的面積
福島第一原子力発電所	第2棟	0.00098	0.001

機器配置図寸法から面積を算出した。

## 延べ飛行距離について

延べ飛行距離は、平成13年～令和2年の「航空輸送統計年報，第1表 総括表，1. 輸送実績」における運航キロメートルの国内便のみの合計値とする。

なお、国際便については、日本国内での運行距離ではないため考慮していない。また、日本に乗り入れている外国機は運行距離の実績の公開記録がないため考慮していない。

ただし、国際便及び外国機が日本国内で墜落した場合は事故件数としてカウントし、事故率が保守的となるようにしている。

表2.14.2.11-38 運航距離

	日本国機の運行距離 (飛行回・k m)
平成 13 年	489,803,107
平成 14 年	498,685,881
平成 15 年	519,701,117
平成 16 年	517,485,172
平成 17 年	527,370,038
平成 18 年	555,543,154
平成 19 年	559,797,874
平成 20 年	554,681,669
平成 21 年	544,824,157
平成 22 年	548,585,258
平成 23 年	555,144,327
平成 24 年	608,215,704
平成 25 年	657,480,703
平成 26 年	680,472,532
平成 27 年	684,055,797
平成 28 年	685,451,299
平成 29 年	691,345,014
平成 30 年	692,529,394
令和元年	705,489,833
令和 2 年	482,751,536
合計	11,759,413,566



## 航空機墜落による火災の影響評価に用いたデータについて

## 1. 航空機の仕様について

表2. 14. 2. 11-39 航空機の仕様

項目	大型	小型	大型	小型
	民間航空機	民間航空機	軍用航空機	軍用航空機
想定する航空機	A380	Do228-200	KC-767	UH-2
燃料の種類	Jet A-1	Jet A-1	JP-4	JP-4
燃料量[m <sup>3</sup> ]	320.00 <sup>1)</sup>	2.38 <sup>2)</sup>	145.03 <sup>3)</sup>	1.8 <sup>7)</sup>
燃料タンク面積[m <sup>2</sup> ]	871 <sup>4)</sup>	26 <sup>5)</sup>	280 <sup>6)</sup>	12 <sup>7)</sup>

- 1) Dimension & key data, Airbus 社ホームページ
- 2) 日本航空機全集2013,(鳳文書林出版販売(株)発行)記載値
- 3) 世界航空機年鑑 2012-2013 に記載の燃料重量及び燃料密度(NUREG-1806)から算出した値
- 4) Airbus 社ホームページ資料「A380 AIRCRAFT CHARACTERISTICS AIRPORT AND MAINTENANCE PLANNING」の機体図面より,主翼,主翼と交差する胴体部及び尾翼の面積からフラップ等の面積を除いた面積が燃料タンク面積と同等と想定し算出した値(図 2. 14. 2. 11-23)
- 5) 日本航空機全集 2013 に記載の図面から,主翼及び主翼と交差する胴体部の面積からフラップ等の面積を除いた面積が燃料タンク面積と同等と想定し算出した値(図 2. 14. 2. 11-24)
- 6) ボーイング社ホームページ資料「767 Airplane Characteristics for Airport Planning」の機体図面より, KC-767 のベースとなっている航空機 B767-200ER の主翼,主翼と交差する胴体部及び補助燃料タンクが搭載される床下貨物室の面積からフラップ等の面積を除いた面積を燃料タンク面積として算出した値(図 2. 14. 2. 11-25)
- 7) Bell Flight 社ホームページ資料「SUBARU BELL 412EPX SPECIFICATIONS」の機体図面より, UH-2 のベースとなっているヘリコプター「SUBARU BELL 412EPX」の機体の投影面積を燃料タンク投影面積と同等と想定した値(図 2. 14. 2. 11-26)

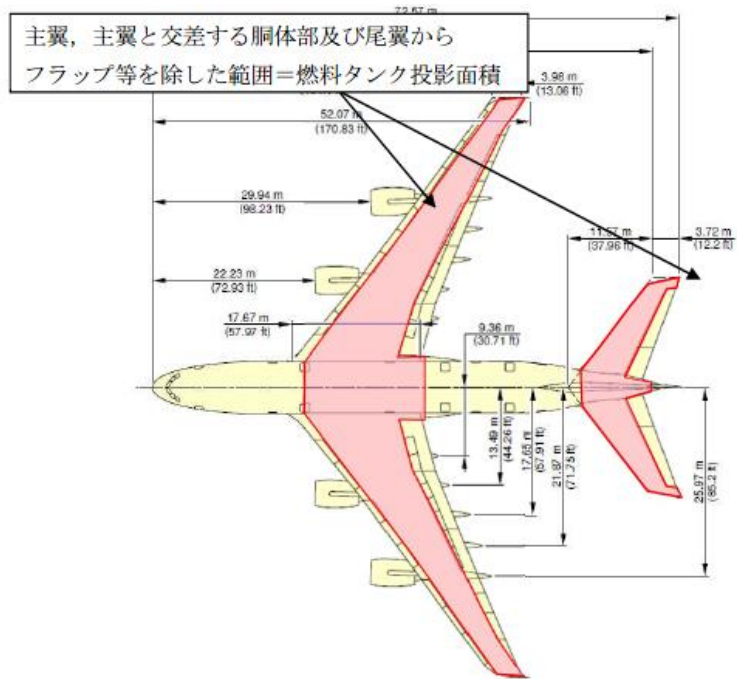


図2. 14. 2. 11-23 燃料タンク投影面積 (B747-400)

(出典 : A380 AIRCRAFT CHARACTERISTICS AIRPORT AND MAINTENANCE PLANNING)

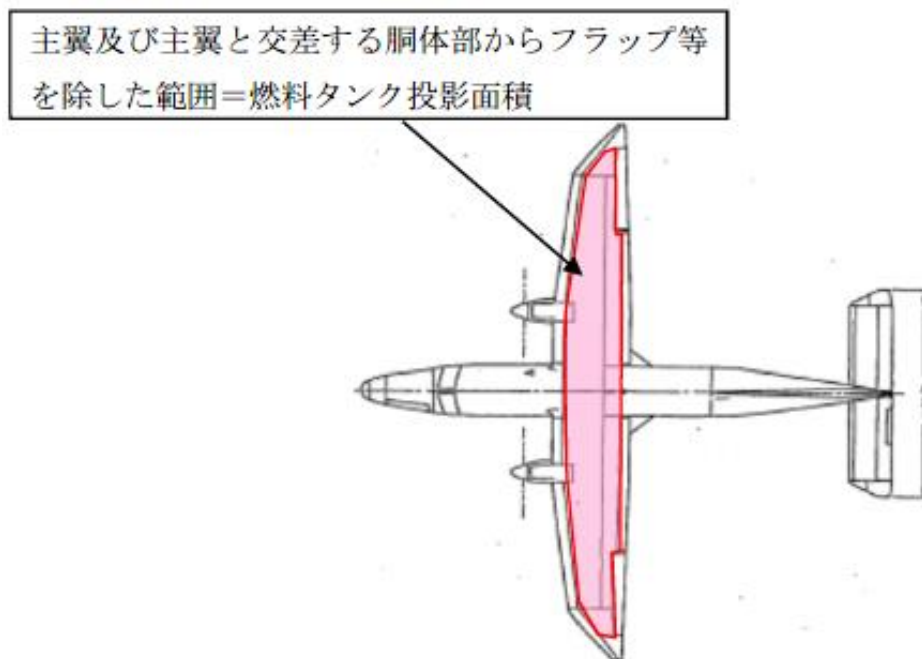


図2. 14. 2. 11-24 燃料タンク投影面積 (Do228-200)

(出典 : 日本航空機全集 2013)

2. 14. 2. 11-54

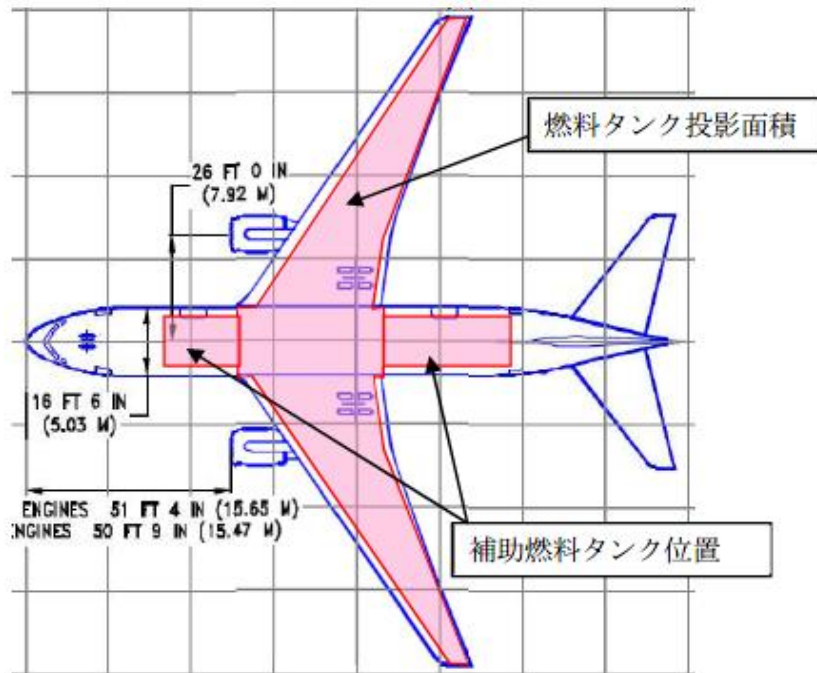


図2.14.2.11-25 燃料タンク投影面積(KC-767)

(出典：767 Airplane Characteristics for Airport Planning)

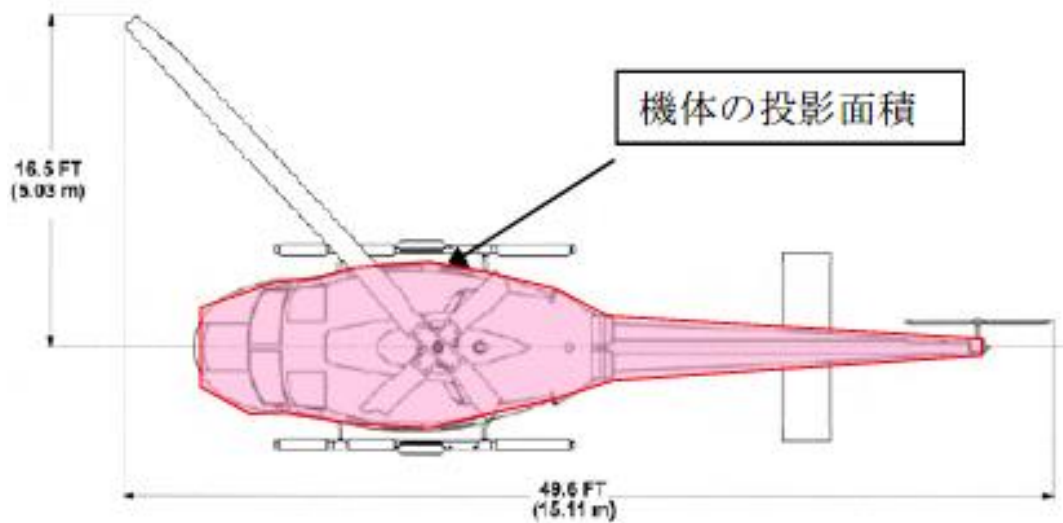


図2.14.2.11-26 燃料タンク投影面積(UH-2)

(出典：SUBARU BELL 412EPX SPECIFICATIONS)

## 2. 燃料物性値について

ジェット燃料は、JIS規格では1号の灯油型(低析出点) 2号灯油型及び 3号広範囲沸点型(ガソリン型)の3種類があり、ASTM規格のJet A-1, Jet A, Jet B に相当する。また、MIL規格では、JP-4(ガソリン型)、JP-5(灯油型)やJP-8(灯油型)があり、日本の民間航空機では安全性の高い1号(灯油型)が使用されており※<sup>1</sup>、軍用航空機ではJP-4が使われている※<sup>2</sup>。よって、民間航空機の燃料の種類はJet A-1(灯油型) 軍用航空機はJP-4とする。

火災影響評価において使用する燃料物性値のうち、輻射発散度及び質量低下速度については、Jet A-1 燃料に関する明確な知見がない。このため、Jet A-1 は灯油型であることから、輻射発散度は灯油の値を採用する。

また、Jet A-1 の質量低下速度、密度については、NUREG-1805 において、JP-4、JP-5 の質量低下速度、密度が与えられていることから、同じ灯油型であるJP-5 の値を採用する。なお、JP-5 の方がJP-4 より燃焼速度が遅く、燃焼継続時間が長くなるので保守的である。

軍用航空機の燃料(JP-4)は、ガソリン系の燃料であることから、輻射発散度はガソリン・ナフサの値を採用し、質量低下速度、密度は、NUREG-1805 のJP-4 の値を採用する。

※<sup>1</sup>：公益社団法人 石油学会 HP

※<sup>2</sup>：石油便覧 JX日鉱日石エネルギーHP

表2. 14. 2. 11-40 評価対象航空機の燃料物性値

項目	大型	小型	大型	小型
	民間航空機	民間航空機	軍用航空機	軍用航空機
想定する航空機	A380	Do228-200	KC-767	AH-1S
燃料の種類	Jet A-1	Jet A-1	JP-4	JP-4
輻射発散度[kW/m <sup>2</sup> ]	50.0 <sup>1)</sup>	50.0 <sup>1)</sup>	58.0 <sup>2)</sup>	58.0 <sup>2)</sup>
質量低下速度[kg/m <sup>2</sup> ・s]	0.054 <sup>3)</sup>	0.054 <sup>3)</sup>	0.051 <sup>4)</sup>	0.051 <sup>4)</sup>
燃料密度[kg/m <sup>3</sup> ]	810 <sup>3)</sup>	810 <sup>3)</sup>	760 <sup>4)</sup>	760 <sup>4)</sup>
燃焼速度[m/s]	6.666×10 <sup>-5</sup>	6.666×10 <sup>-5</sup>	6.710×10 <sup>-5</sup>	6.710×10 <sup>-5</sup>

1) 評価ガイド 附属書Bにおける灯油の値

2) 評価ガイド 附属書Bにおけるガソリン・ナフサの値

3) NUREG-1805, Fire Dynamics Tools (FDTs): Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program に記載のJP-5(灯油型)の値

4) NUREG-1805, Fire Dynamics Tools (FDTs): Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program 5 に記載のJP-4(ガソリン型)の値  
NUREG-1805 より抜粋。

FARSITE

FARSITE(Fire Area Simulator)は、世界で最も高機能かつ広く用いられている森林火災シミュレーションモデルの一つであり、米国農務省 USDA Forest Service で開発され、米国内の森林火災において実践的に利用されている。

- ◆ ホイヘンスの原理に基づく火災の拡大に加え、樹冠火、加速、飛び火等に関する追加的なモデルによる統合的な解析が可能
- ◆ 空間的な環境条件の変化に従い火災の拡大・強度に関するパターンを地理情報により空間的に提示することが可能

ホイヘンスの原理に基づく火災拡大のモデルには多くの事例がある(Coleman And Sullivan 1996; Finney 1994; Finney And Ryan 1995; Knight And Coleman 1993; Richards And Bryce1995)が、FARSITE ではRichards(1990, 1995)によって開発された火災拡大モデルを用いている。また、FARSITE では、地表を伝播する火災、樹冠を伝播する火災、伝播の加速、飛び火の4つの挙動を別々に取り扱うことができる。具体的には、以下のモデルを採用している。

表2. 14. 2. 11-41 使用モデル

挙動タイプ	使用モデル
地表を伝播する火災	Rothermel の拡大方程式 (Albini 1976;Rothermel1972)に基づく。
樹冠を伝播する火災	Van Wagner (1977, 1993) に基づく。CanadianForest Fire Behavior Prediction System ( Forestry Canada Fire Danger Group 1992)と同様。
伝播の加速	Cheney(1981) Cheney and Gould(1997)に基づく。発火燃料の追加、燃料の乾燥化、風速の増加に起因する。
飛び火	Albini の方程式(1979)に基づく。

1. 延焼速度

$$R = \frac{60I_R\xi(1 + \phi_w + \phi_s)}{\rho_B \varepsilon Q_{ig}}$$

R : 延焼速度 (m/min)

$I_R$  : 放射熱 (反応強度) (kW/m<sup>2</sup>)

$\xi$  : 反応強度のうち隣接可燃物の加熱に使われる割合  $\phi_w$  : 風速係数

$\phi_s$  : 傾斜角係数

$\rho_B$  : 可燃物の堆積密度 (kg/m<sup>3</sup>)

$\varepsilon$  : 着火温度まで加熱される可燃物の割合

$Q_{ig}$  : 可燃物が着火するのに必要な熱量 (kJ/kg)

$Q_{ig} = 581 + 2594M_f$  ( $M_f$  : 可燃物の含水比)

2. 火線強度

$$I_B = I_R \frac{12.6R}{\sigma}$$

$I_B$  : 火線強度 (kW/m)

$\sigma$  : 可燃物の表面積/体積比 (cm<sup>-1</sup>)

3. 火炎長

$$L_f = 0.0775I_B^{0.46}$$

$L_f$  : 火炎長 (m)

4. 単位面積当り熱量

$$H_A = I_B \frac{60}{R}$$

$H_A$  : 単位面積当り熱量 (kJ/m<sup>2</sup>)

5. 火炎輻射強度

$$I_R = \frac{1}{60} \Gamma' w_n / \eta_M \eta_s$$

$I_R$  : 火炎輻射強度 (kW/m<sup>2</sup>)

$\Gamma'$  : 理想熱分解速度 (1/min)

$W_n$  : 可燃物単位面積当りの乾燥重量(kg/m<sup>2</sup>)

$h$  : 発熱量(kJ/kg)

$\eta_M$  : 可燃物中の水分による熱分解速度減少係数(-)

$\eta_S$  : 可燃物中の無機物による熱分解速度減少係数(-)

一方、FARSITE を利用する上での留意事項としては、以下が挙げられる。

- ◆ 煙の発生について考慮されていない
- ◆ 生体燃料の水分量の多様性については考慮されていない
- ◆ 気象・風の条件については一地点のデータのみの入力となる
- ◆ 空間的な環境条件の影響は使用データの空間解像度に依存することから、目的に応じた適切なデータを選定する必要がある
- ◆ 市街地等の非植生域については評価を行えないため、非植生域は一種の防火帯として作用する。

具体的な評価指標と観点を以下に示す。

表2. 14. 2. 11-42 評価指標と観点

評価指標	評価の観点
1. 延焼速度[km/h]	火災発生後、どの位の時間で施設に到達するのか消火活動が可能な時間はどの程度か
2. 火線強度[kW/m]	施設に到達し得る火災の規模はどの程度か必要となる消火活動の能力や防火帯の規模はどの程度か
3. 火炎長[m]	
4. 単位面積当り熱量[kJ/m <sup>2</sup> ]	
5. 火炎輻射強度(kW/m <sup>2</sup> )	

上記の評価指標は、現地の土地利用(森林、農地、居住地等の分布)地形(標高、傾斜角度等)気象条件(風向・風速、気温、湿度等)に大きく依存することから、これらを可能な限り考慮した評価を行う必要がある。

FARSITE の計算実行に最低限必要な入力ファイルを示す。

表2.14.2.11-43 入力ファイル

入力ファイル名	内容
6. ラスタ入力ファイル	標高データ (Elevation) 傾斜角データ (Slope) 傾斜方向データ (Aspect) 可燃物データ (Fuel Model) 樹冠率データ (Canopy Cover)
7. その他入力ファイル	火災伝播速度の制御 (Adjustment) Fuel 水分初期値 (Fuel Moisture) 気象要素 (Weather) 風速 (Wind)

FARSITE において採用しているホイヘンスの原理に基づく火災の拡大モデルを図2.14.2.11-27に示す。

図2.14.2.11-27 A は可燃物の燃焼特性、風速及び風向が一樣である場合の火災の拡大を示しており、図2.14.2.11-27の B は可燃物の燃焼特性、風速及び風向が場所によって異なる場合の火災の拡大を示している。

可燃物の燃焼特性、風速及び風向が一樣の場合は、各素元波(素元波とは波面上の各点から出る球面波のことである。)の包絡線は楕円形を維持する。可燃物の燃焼特性、風速及び風向が場所によって異なる場合は、燃焼特性及び風速によって素元波の成長速度が増減し、風向によって素元波の成長方向が決定される。

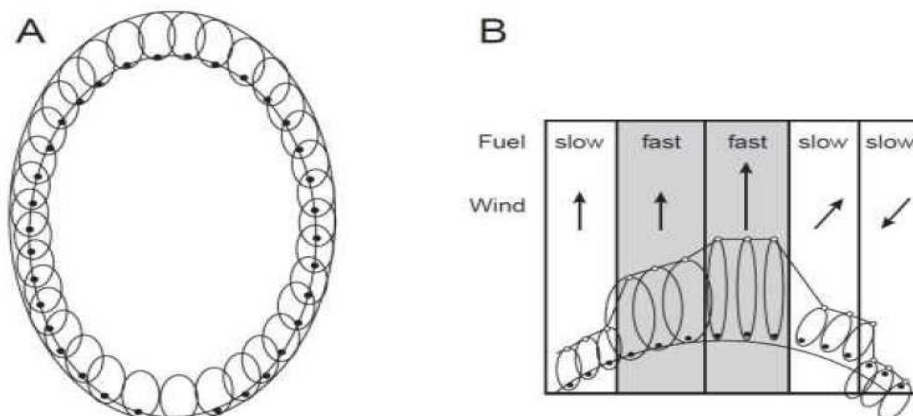


図2.14.2.11-27 福島第一原子力発電所ARSITEの火災拡大モデル  
(Mark A. Finney, 2004, “FARSITE: Fire Area Simulator-Model Development And Evaluation”, p.3 より引用)

2.14.2.11-60



#### 4. 参考文献

- [1] 国土交通省国土地理院(2016) 基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュデータ
- [2] 環境省自然環境局(1979～1998)自然環境保全基礎調査 植生調査データ(1/50, 000 縮尺)  
第2～5回植生調査
- [3] 国土交通省(2016) 国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ
- [4] 環境省 中間貯蔵施設環境安全委員会第15回会合  
資料1「中間貯蔵施設事業の状況について(2019年8月)」
- [5] 気象庁 各種データ資料 <http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>
- [6] 消防庁 消防白書(2010年度版～2019年度版)
- [7] 福島県 農林企画課 福島県農林水産業の現状(令和元年7月版)
- [8] (独)原子力安全基盤機構「福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価」
- [9] 東京電力ホールディングス 柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉 外部火災影響評価について. 6条別添4(外火)-1.
- [10] 井上宇市(2018) 空気調和ハンドブック改訂5版, 丸善出版
- [11] 日本機械学会 伝熱工学資料(第5版)

## 内部火災について

## 1. 火災防護の基本事項

## 1.1 火災防護を行う機器の設定

放射性物質に対して安全機能を有する構築物、系統及び機器であり、火災防護を行う必要がある機器等としてコンクリートセル及び試料ピットを選定する。

## 1.2 火災区域及び火災区画の設定

1.1 で設定した火災防護を行う機器等の配置、系統分離の状況及び壁の設置状況を考慮して火災区域及び火災区画を設定する。

## 2. 火災発生防止

## 2.1 火災の発生を防止するための火災防護対策

## 2.1.1 発火性又は引火性物質に対する火災発生防止対策

発火性又は引火性物質に対する火災の発生防止対策は、発火性又は引火性物質を内包する設備及びこれらの設備を設置する火災区域に対して、漏えいの防止及び拡大の防止、配置上の考慮、換気、防爆、貯蔵のそれぞれを考慮した火災の発生防止対策を講じる。

発火性又は引火性物質は、火災区域又は火災区画にある消防法で危険物として定められる潤滑油及び燃料油更に危険物でもある引火性高圧ガスとして定められる水素及びPR ガス(アルゴン+メタン混合ガス)を選定する。

## 2.1.2 可燃性の蒸気又は可燃性の微粉の対策

第2棟の火災区域は、可燃性蒸気又は微粉が発生するおそれがないよう管理をおこなうため、可燃性の蒸気又は微粉を高所に排出するための設備、電気及び計装品の防爆型の採用並びに静電気を除去する装置の設置、可燃性の蒸気又は微粉の対策は不要である。

## 2.1.3 発火源への対策

第2棟の火災区域で、火花が発生する設備や高温の設備等には、火災の発生防止対策品で行う設計とする。

## 2.1.4 水素漏えい対策

火災区域内の分析作業に用いる水素ボンベ及びPR ガスボンベはガスキャビネットに保管する設計とする。

#### 2.1.5 放射線分解等による水素の蓄積防止対策

第2棟は、放射線分解及び蓄電池の充電時に発生する水素の蓄積防止対策を行う設計とする。

#### 2.1.6 過電流による加熱防止対策

第2棟の電気系統は、送電線への落雷による影響や、地絡、短絡に起因する過電流による加熱や焼損を防止するために、保護継電器、遮断器により、故障回路を早期に遮断する設計とする。

### 2.2 安全機能を有する構築物、系統及び機器の不燃性材料又は難燃性材料の適用

#### 2.2.1 機器、配管、ダクト、トレイ、電線管、盤筐体及び支持構造物の主要な構造材

機器、配管、ダクト、トレイ、ケーブルラック、電線管、盤筐体及び支持構造物のうち、主要な構造材は、火災の発生防止及び当該設備の構造強度の確保を考慮し、不燃性材料を使用する設計とする。

#### 2.2.2 建屋内変圧器及び遮断器の仕様

第2棟に設置する変圧器及び遮断器は、可燃性物質である絶縁油を内包していない変圧器及び遮断器を使用する設計とする。

#### 2.2.3 ケーブル

第2棟で使用するケーブルは、燃焼試験により自己消火性及び延焼性を確認した難燃ケーブルを使用する設計とする。

#### 2.2.4 換気設備のフィルタ

第2棟の火災区域又は火災区画に設置される換気設備のフィルタは、不燃性材料及び難燃性材料で組み立てられたフィルタを使用する設計とする。

#### 2.2.5 保温材

火災区域又は火災区画に設置される保温材は、不燃性材料を使用する設計とする。

#### 2.2.6 建屋内装材

火災区域又は火災区画に設置される建屋の内装材は、不燃、準不燃、難燃、防火材料を使用する設計とする。

### 2.3 落雷、地震等の自然現象による火災防護対策

第2棟は、放射性物質と取り扱う施設であることから、落雷による火災発生を防止するた

めに「JIS A4210 建築物等の避雷設備(避雷針)」に基づき、避雷設備を設置する設計とする。  
第2棟は、十分な支持性能をもつ地盤に設置するとともに、耐震クラスに応じた耐震設計とする。

### 3. 火災の感知・消火

#### 3.1 火災感知設備及び消火設備の早期対応

第2棟に設置する火災感知設備は、火災区域又は火災区画に設置した感知器毎に火災の発生場所を特定できるもので、平常時の状況を監視し、火災現象を把握することができるアナログ式の感知器を配置する設計とする。また、コンクリートセル、鉄セル、グローブボックス内は、温度計を設置し火災現象を把握できる設計とする。

消火設備は、屋内消火栓及び消火器を法定距離以内で設置する設計とする。放射線の影響により消火活動が困難なところには、手動操作による不活性ガス消火設備を設置する設計とする。

#### 3.2 火災感知設備及び消火設備の自然現象(地震等を含む)に対する機能、性能維持

第2棟で地震が発生し外部電源が喪失しても、火災感知設備の蓄電池により電源が確保されていることから、火災監視は継続される。屋内消火栓の配管についても、変位対策としてフレキシブルホースを設置することで、機能、性能は維持される。

また、凍結のおそれがある屋内消火栓の一部に凍結防止対策のヒータを配管に巻き付ける設計とする。

#### 3.3 消火設備の破損、誤動作及び誤操作で生じた溢水による安全機能への影響

第2棟で消火設備用給水配管が破損した場合でも、安全機能を有する構築物、系統及び機器への溢水はない設計とする。

## 4. 火災の影響軽減

### 4.1 安全機能を有する構築物、系統及び機器の重要度に応じた火災影響軽減対策

第2棟のサービスエリア(1)、(2)、ローディングドック、オペレーションエリア、分析室で火災が生じた場合においても、コンクリートセル又は試料ピットには1時間以上の耐火能力を有するコンクリート壁(厚さ100mm以上)により他の火災区域から分離する設計とする。

### 4.2 火災発生した場合における設備の機能喪失防止

第2棟のコンクリートセルで、給排気第1弁の単一故障を考慮し各々の弁を二重化する設計とする。コンクリートセルの給排気弁は、金属製で構成されており火災による熱影響を受けても給排気弁の機能喪失には至らない。また、試料ピットに可燃物は無いため安全機能

の喪失には至らない。

## 2.8 放射性固体廃棄物の処理・保管・管理

措置を講ずべき事項

## II. 設計, 設備について措置を講ずべき事項

### 8. 放射性固体廃棄物の処理・保管・管理

○施設内で発生する瓦礫等の放射性固体廃棄物の処理・貯蔵にあたっては, その廃棄物の性状に応じて, 適切に処理し, 十分な保管容量を確保し, 遮へい等の適切な管理を行うことにより, 敷地周辺の線量を達成できる限り低減すること。

#### 2.8.1 措置を講ずべき事項への適合方針

##### (1) 東京電力福島第一原子力発電所における放射性固体廃棄物の処理・保管・管理

###### ○ 廃棄物の性状に応じた適切な処理

放射性固体廃棄物や事故後に発生した瓦礫等の放射性固体廃棄物等については, 必要に応じて減容等を行い, その性状により保管形態を分類して, 管理施設外へ漏えいすることのないよう一時保管または貯蔵保管する。

###### ○ 十分な保管容量の確保

放射性固体廃棄物や事故後に発生した瓦礫等については, これまでの発生実績や今後の作業工程から発生量を想定し, 既設の保管場所内での取り回しや追加の保管場所を設置することにより保管容量を確保する。

###### ○ 遮へい等の適切な管理

作業員への被ばく低減や敷地境界線量を低減するために, 保管場所の設置位置を考慮し, 遮へい, 飛散抑制対策, 巡視等の保管管理を実施する。

###### ○ 敷地周辺の線量を達成できる限り低減

上記を実施し, 継続的に改善することにより, 放射性固体廃棄物や事故後に発生した瓦礫等からの敷地周辺の線量を達成できる限り低減する。

(実施計画: II-1-8-1)

##### (2) 第2棟における放射性固体廃棄物の保管・管理

第2棟で発生する放射性的の固体廃棄物(以下「第2棟固体廃棄物」という。)については, 低線量の第2棟固体廃棄物は, 可燃物, 難燃物及び不燃物に分別し, 固体廃棄物払出準備室にて一時的に保管する。また, 高線量の第2棟固体廃棄物は, 第2棟内のコンクリートセル又は試料ピットにて一時的に保管する。

(実施計画: II-2-48-2)

### (3) 使用許可基準規則における関連条文に対する方針

(閉じ込めの機能)

第二条 使用施設等は、放射性物質を限定された区域に適切に閉じ込めることができるものでなければならない。

第2棟固体廃棄物を保管・管理するための施設は、放射性物質を限定された区域に適切に閉じ込めることができる設計とする。

(遮蔽)

第三条 使用施設等は、放射性物質からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものでなければならない。

第2棟固体廃棄物を保管・管理するための施設は、放射線に対して適切な遮へい能力を有する設計とする。

(廃棄施設)

第二十四条 (略)

2 廃棄施設には、放射性廃棄物を保管廃棄する場合は、次に掲げるところにより、保管廃棄施設を設けなければならない。

一 放射性廃棄物を保管廃棄するために必要な容量を有するものであること。

二 外部と区画されたものであること。

三 放射性廃棄物を冷却する必要がある場合には、冷却するために必要な設備を設けるものであること。

四 放射性廃棄物を搬出入する場合その他特に必要がある場合を除き、施錠又は立入制限の措置を講じたものであること。

3 放射性廃棄物を廃棄するための施設又は設備には、標識を設けなければならない。

第2項第1号について

第2棟は、第2棟固体廃棄物を一時的に保管する場所について必要な容量を有する設計とする。

第2項第2号について

第2棟は、第2棟固体廃棄物を一時的に保管する場所について外部と区画された設計とする。

第2項第3号について

第2棟は、冷却を必要とする第2棟固体廃棄物が発生しないことから該当しない。

第2項第4号について

第2棟は、第2棟固体廃棄物を搬出入する場合その他特に必要がある場合を除き、施錠又は柵その他の人がみだりに立ち入らないようにするための措置をとることにより、立入制限の措置を講じる。

第3項について

第2棟は、第2棟固体廃棄物を一時的に保管し、東京電力福島第一原子力発電所内の放射性の固体廃棄物等の管理施設等に払い出すことから、保管廃棄施設に該当しない。



## 2.8.2 対応方針

### (1) 第2棟における設計方針

第2棟固体廃棄物の貯蔵にあたっては、その廃棄物の性状に応じて、十分な保管容量を確保し、遮へい等の適切な管理を行うことにより、敷地周辺の線量を達成できる限り低減するとともに、以下の各項を踏まえて設計する。

#### ① 遮へい

第2棟固体廃棄物を保管・管理するための施設は、放射線に対して適切な遮へい能力を有する設計とする。

#### ② その他

第2棟固体廃棄物を保管・管理するための施設は、保管・管理するために必要な容量を有し、第2棟建屋内に設置することにより外部と区画するとともに、第2棟固体廃棄物を搬出入する場合その他特に必要がある場合を除き、施錠又は柵その他の人がみだりに立ち入らないようにするための措置をとることにより、立入制限の措置を講じる設計とする。また、第2棟固体廃棄物は、線量率等により分類して適切に管理することとし、低線量の第2棟固体廃棄物は可燃物、難燃物及び不燃物に分別して固体廃棄物払出準備室に、高線量の第2棟固体廃棄物はコンクリートセル又は試料ピットにて一時保管し、**固体廃棄物貯蔵庫（増設分を含む）へ移送する計画である。具体的な施設は、第2棟の運用までに決定する。**

### (2) 構造及び設備

#### ① 構造（別紙-1 参照）

第2棟固体廃棄物を保管・管理するための施設は、第2棟地下1階に設置する固体廃棄物払出準備室並びにコンクリートセル及び試料ピットの一時保管エリア（以下「一時保管エリア」という。）で構成する。また、固体廃棄物払出準備室には、固体廃棄物払出準備設備を設置する。

第2棟固体廃棄物は分別を行った後、所定の容器に封入し、低線量の第2棟固体廃棄物は固体廃棄物払出準備室、高線量の第2棟固体廃棄物は一時保管エリアにおいて一時的に保管し、**固体廃棄物貯蔵庫（増設分を含む）へ移送する計画である。また、試料ピットに一時的に保管する場合は、燃料デブリと保管する保管容器を分ける等の管理を行うことによりその他に試料ピットに保管している燃料デブリ等と混在しないよう管理する。高線量の第2棟固体廃棄物には除染資材やイオン交換樹脂等が含まれているため、これらを保管する際には、ビニール袋等に収納し保管容器が腐食するのを防ぐこととする。**

表 2.8-1 に主要な設備及び機器の種類を示す。（別紙-1 参照。）

表 2.8-1 主要な設備及び機器の種類

建物	設置場所	主要な設備及び機器の種類
第2棟	固体廃棄物払出準備室	固体廃棄物払出準備設備

		重量計 線量計（表面線量） 線量計（表面密度） 手動式ハンドリフト 低線量固体廃棄物収納容器
--	--	--

② 第2棟固体廃棄物の保管能力

第2棟固体廃棄物の発生量（見込み）に対して、固体廃棄物払出準備室及び一時保管エリアで一時保管できる容量は表2.8-2に示す。容量を確保できるように固体廃棄物貯蔵庫（増設分を含む）へ移送する計画である。

また、搬出先施設では、第2棟の運用に支障が生じない保管容量を確保する計画である。

表2.8-2 第2棟固体廃棄物の発生量、保管容量及び搬出頻度

第2棟固体廃棄物		発生量（見込み）	一時保管最大容量	搬出頻度
高線量の第2棟固体廃棄物		3.3m <sup>3</sup> /年未満 <sup>※1</sup>	1.2m <sup>3</sup>	3回/1か月程度
低線量の第2棟固体廃棄物	可燃物	約8.7m <sup>3</sup> /年	17m <sup>3</sup>	1回/1か月程度
	難燃物	約1.4m <sup>3</sup> /年		1回/1か月程度
	不燃物	約10m <sup>3</sup> /年		1回/1か月程度

※1：液体廃棄物を固化処理する分1.2m<sup>3</sup>/年を含む。

(3) 分類（別紙-2参照。）

第2棟で発生する固体廃棄物は、可燃性、難燃性及び不燃性の雑固体であり、その中には線量率の高いものや核燃料物質が付着したものも含まれることから、以下のとおり分類して管理する。

なお、第2棟固体廃棄物の分類の仕方については、第2棟運用開始後の燃料デブリ等の分析を進めていく中で、第2棟固体廃棄物の構成核種等を考慮した管理方法について検討を進め、管理方法を変更する場合には必要に応じて実施計画変更の要否等も含めて検討する。現在検討している第2棟固体廃棄物の構成核種等を考慮した管理方法としては、燃料デブリが搬入された後、燃料デブリ及び当該エリアの表面密度から主要核種の組成比を求め、廃棄物の表面線量より放射能量を求めるものであるが、燃料デブリの分析結果によって見直す。

α核種が含まれる廃棄物の取扱いについては、第2棟の運用までに決定する。

① 高線量の第2棟固体廃棄物

コンクリートセル、鉄セル及びグローブボックスで発生する固体状の放射性廃棄物で、線量率が1mSv/h以上のものとする。第2棟固体廃棄物に核燃料物質が含まれている場合は、線量率の高低に関わらず高線量の第2棟固体廃棄物として管理するが、臨界管理（及び計量管理）の観点から核燃料物質として質量管理を行う。第2棟へ受け入れた燃料デブリ等の重

量と第2棟から搬出する燃料デブリ等の重量を測定し、その差分が「核燃料物質を含む第2棟固体廃棄物」の中に存在するものとして管理する。

高線量の第2棟固体廃棄物を分類する手順としては別紙-6のとおりとする。具体的な手順については、運用開始前までにマニュアルを整備する。

## ② 低線量の第2棟固体廃棄物

線量率が1mSv/h未満のものとする。低線量の第2棟固体廃棄物は、可燃物3種類（紙・ウエス類、プラスチック・ポリ・ビニール類（塩ビ除く）、その他）、難燃物2種類（ゴム類、その他）、不燃物3種類（金属ガラ、塩化ビニール類（PVCバッグ等）、その他）の8種類に分類する。

低線量の第2棟固体廃棄物を分類する手順としては別紙-6のとおりとする。具体的な手順については、運用開始前までにマニュアルを整備する。

## (4) 保管・管理（別紙-2及び別紙-3参照。）

### ① 高線量の第2棟固体廃棄物

高線量の第2棟固体廃棄物は、耐火性の金属製収納容器（専用容器）に入れた後、第2棟内のコンクリートセルNo.4の区画した一時保管場所又は試料ピットに一時的に保管し、固体廃棄物貯蔵庫（増設分を含む）へ移送する計画である。耐火性の金属製収納容器（専用容器）は、制動放射が発生しない材質のものを使用する。

#### i) 核燃料物質が含まれる高線量の第2棟固体廃棄物の一時的な保管

高線量の第2棟固体廃棄物は、耐火性の金属製収納容器（専用容器）に封入し、コンクリートセルNo.4内の一時保管エリア又は試料ピットの一時保管エリアに一時的に保管する。1ヵ月に3回程度の頻度で固体廃棄物貯蔵庫（増設分を含む）へ移送する計画である。

#### ii) 高線量の第2棟固体廃棄物の搬出

高線量の第2棟固体廃棄物を搬出する際は、コンクリートセルNo.1まで移動し、インセルモニタ等を用いて線量測定及び汚染確認を行い、必要に応じて除染等をした上で輸送容器に収納し、ローディングドッグから搬出する。これらの具体的な手順については、運用開始前までにマニュアルを整備する。

### ② 低線量の第2棟固体廃棄物の保管・管理（別紙-3参照）

#### i) 低線量の第2棟固体廃棄物の一時的な保管

低線量の第2棟固体廃棄物は、可燃物、難燃物及び不燃物に分類して収納容器に入れた後、固体廃棄物払出準備室に設置するそれぞれの耐火性の金属性専用容器（以下「角型容器」という。）に封入し、一時的に保管する。1か月に1回程度の頻度で計画的に固体廃棄物貯蔵庫（増設分を含む）へ移送する計画である。角型容器は、制動放射が発生しない材質のものを使用する。

ii) 低線量の第2棟固体廃棄物の搬出

低線量の第2棟固体廃棄物は、コンクリートセルやグローブボックスから取り出す際にはPVCバッグで梱包、またフードから取り出す際にはビニール袋等に収納した上で収納容器に詰めるとともに、固体廃棄物払出準備室において収納容器を梱包する際に線量測定及び汚染確認を行った上で角型容器に収納する。角型容器を払い出す際は、固体廃棄物払出準備室において線量測定及び汚染確認を行い、必要に応じて除染等をした上でローディングドッグから搬出する。これらの具体的な手順については、運用開始前までにマニュアルを整備する。

(5) 閉じ込め

第2棟固体廃棄物を保管・管理するための設備は、放射性物質を限定された区域に適切に閉じ込めることにより漏えいを防止する設計とする。万一、放射性物質が漏えいした場合には、その漏えいを検知する機能を設けるとともに、その拡大を防止する。第2棟固体廃棄物による保管容器に対する腐食を考慮して、保管容器に収納する際はビニール袋に入れてから収納する。また、空気を汚染するおそれのある核燃料物質は、コンクリートセル、鉄セル及びグローブボックス内で取扱い、搬出する際は気密容器又はPVCバッグを用いる。第2棟固体廃棄物が万一漏えいする場合とは、サイドローディングキャスクに第2棟固体廃棄物を収納中に地震等が発生し、サイドローディングキャスクとコンクリートセルの接続部が外れた場合やトップローディングキャスクに第2棟固体廃棄物を収納中にPVCバッグが破損した場合を想定している。

ただし、第2棟固体廃棄物を収納中にPVCバッグが破損したとしてもセル内は負圧を維持しているため放射性物質が漏えいすることはない。

サイドローディングキャスクとコンクリートセルの接続部において、閉じ込め機能が維持されるようSs900に対する耐震性を確認している。

(6) 遮へい（別紙-4参照。）

固体廃棄物払出準備室と隣接する部屋間の壁は、線量率区分に基づき適切な遮へいとなるよう壁厚を確保する。コンクリートセル及び試料ピットについても、同様に線量率に応じた適切な遮へいとなる壁厚を確保する。

(7) 放射線管理に関する事項

汚染管理、漏えい検知等を行うために、第2棟固体廃棄物を取り扱う固体廃棄物払出準備室等に放射線を監視する設備を設置する。主要な設備及び機器の種類を表2.8-3に示す。配置場所については別紙-5に示す。

表 2.8-3 固体廃棄物に係る放射線を監視する設備

名称	検出器種別	測定範囲	取付箇所
γ線エリアモニタ	半導体検出器	10 <sup>-1</sup> ～10 <sup>4</sup>	固体廃棄物払出準備室、分析室、

		$\mu\text{Sv/h}$	オペレーションエリア, サービスエリア(1), (2)
中性子線エリアモニタ	$^3\text{He}$ 計数管検出器	$10^{-2}\sim 10^3$ $\mu\text{Sv/h}$	オペレーションエリア, サービスエリア(1)
室内 $\alpha/\beta$ 線ダストモニタ	ZnS シンチレーション/ プラスチックシンチレーション検出器	$10^{-1}\sim 10^4$ $\text{s}^{-1}$	固体廃棄物払出準備室, 分析室, サービスエリア(1)

(8) その他の管理に関する事項

第2棟固体廃棄物を一時的に保管する固体廃棄物払出準備室は、外部と区画し、人がみだりに立ち入らないよう壁、柵その他の区画物を設けることにより立入制限の措置を講ずる。

## 固体廃棄物払出準備室及び固体廃棄物払出準備設備について

固体廃棄物払出準備設備は、低線量の第2棟固体廃棄物を福島第一原子力発電所内の払出先施設に払い出すまで、第2棟内に一時的に保管できるように設置する。

固体廃棄物払出準備設備の概要を図2.8.1-1に示す。

## 【固体廃棄物払出準備設備】

- 重量計 : ひょう量1500kg
- 線量計(表面線量) : 電離箱式サーベイメータ(表面線量)
- 線量計(表面密度) : GM式サーベイメータ( $\beta$ 、 $\gamma$ )、シンチレーションサーベイメータ( $\alpha$ )
- 手動式ハンドリフト : 最大荷重800kg
- 低線量固体廃棄物収納容器 : 鋼板製1m<sup>3</sup>の角型容器(約600kg/個を想定、合計17個)
  - ・ 8個(材質ごとに分類し一時的に保管)
  - ・ 9個(固体廃棄物貯蔵庫(増設分を含む)<sup>※1</sup>へ移送する前の状態)
- 固体廃棄物払出準備室 : 測定機器室、MSM保守/保管室、換気空調設備室(2)との壁及びローディングドックの床に対して遮へいを考慮

※1:具体的な施設は、第2棟の運用までに決定する。

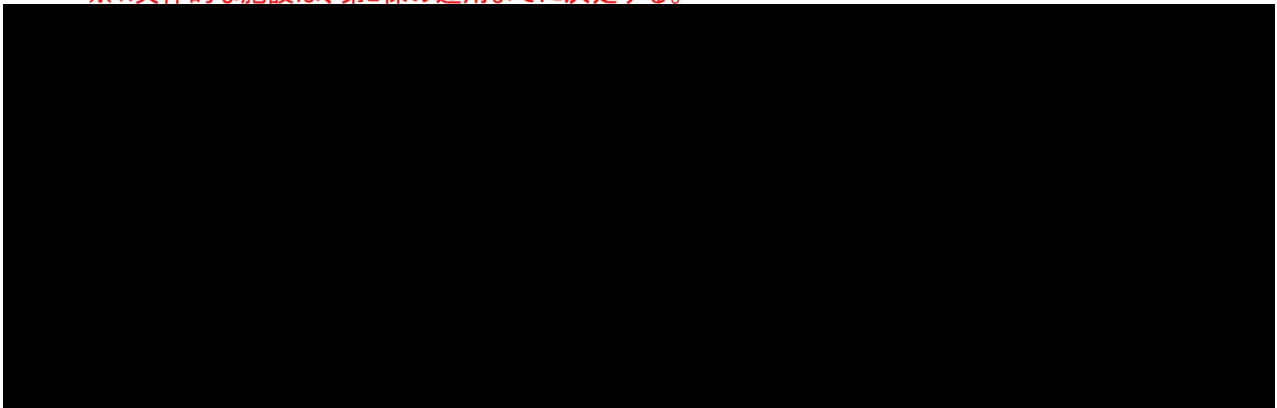


図2.8.1-1 固体廃棄物払出準備設備に係る主要設備、仕様

第2棟固体廃棄物について

第2棟固体廃棄物は、コンクリートセル、鉄セル、グローブボックス、フードで行う燃料デブリ等の前処理、分析及び管理区域における作業により発生する。その主な発生場所及び廃棄物の種類並びに発生量を図2.8.2-1及び図2.8.2-2のフローに示す。

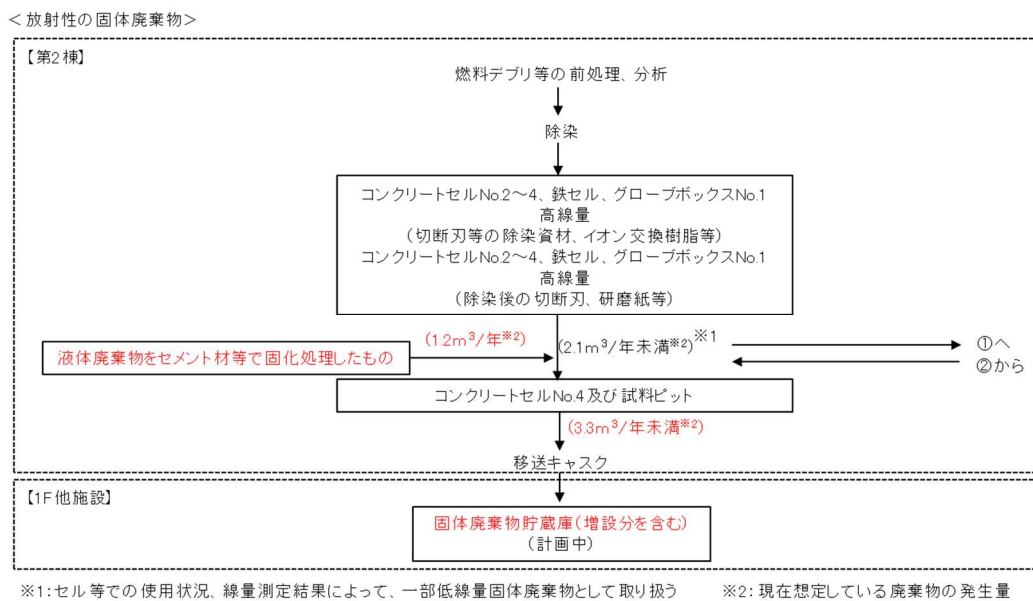


図2.8.2-1 第2棟固体廃棄物に係る概略フロー (1/2)

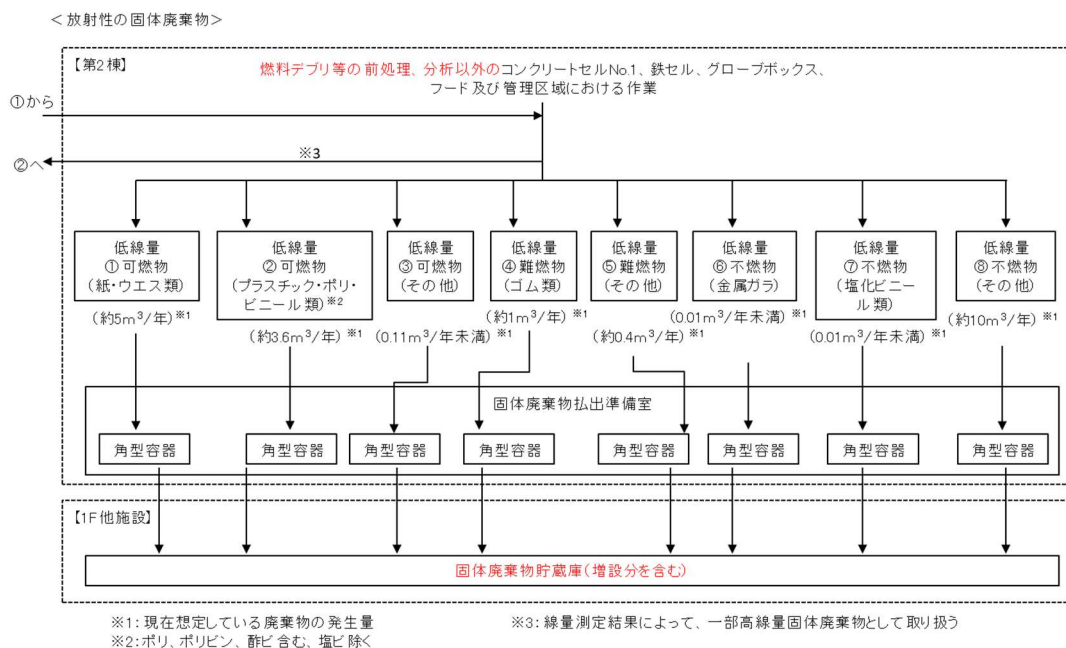


図2.8.2-2 第2棟固体廃棄物に係る概略フロー (2/2)

## 第2棟固体廃棄物の取扱いについて

第2棟固体廃棄物の取扱いについて、発生エリアからの主な搬出方法、移動手段及び一時保管並びに福島第一原子力発電所内の払出先施設への払い出し方法の概要を以下に示す。

## (1) 高線量の第2棟固体廃棄物

## ① 高線量の第2棟固体廃棄物（コンクリートセル～グローブボックスNo.1）の取扱い

コンクリートセル～グローブボックスNo.1では、分析前処理で使用する消耗品、ふき取り除染にて使用した除染資材等、イオン交換樹脂及び分析廃液等をセメント材等で固化したものが高線量の第2棟固体廃棄物として発生する。

高線量の第2棟固体廃棄物は、**固体廃棄物貯蔵庫（増設分を含む）**に払い出すまで、第2棟内のコンクリートセルNo.4又は試料ピットの一時保管エリアにて**耐火性の金属製収納容器（専用容器）**に収納した上で一時的に保管する。

## ② 高線量の第2棟固体廃棄物（コンクリートセルからの搬出）の取扱い

コンクリートセルから高線量の第2棟固体廃棄物を搬出する際は、**耐火性の金属製収納容器（専用容器）**から移送缶に高線量の第2棟固体廃棄物を移し替え、移送缶に収納した状態でコンクリートセルNo.1に移送する。移送後、移送缶ごと輸送用の金属製の収納容器に収納し、移送用キャスクに収納する。

高線量の第2棟固体廃棄物（コンクリートセル～グローブボックスNo.1）の主な取扱いフローを図2.8.3-1に示す。



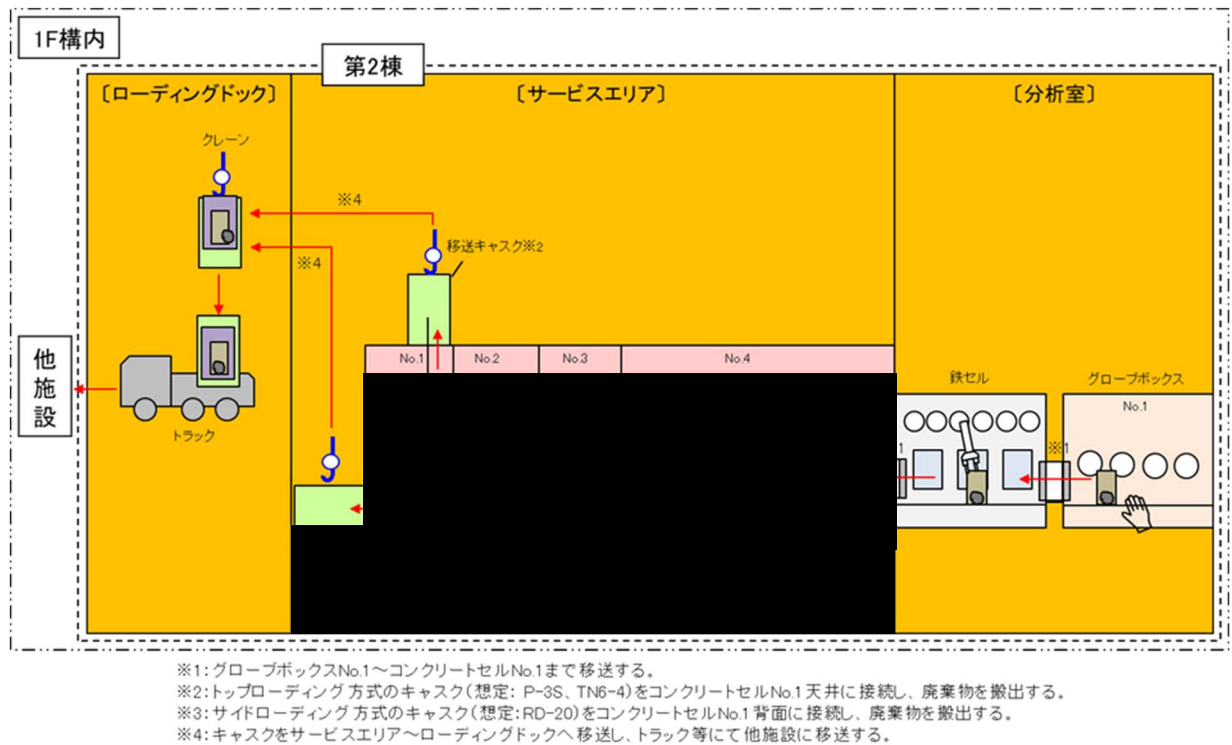


図 2. 8. 3-1 高線量の第 2 棟固体廃棄物（コンクリートセル～グローブボックスNo.1）の  
 主な取扱いフロー

(2) 低線量の第 2 棟固体廃棄物

① 低線量の第 2 棟固体廃棄物（管理区域内）の取扱い

管理区域内では、主に定常的な汚染検査等で使用するゴム手袋、スミヤろ紙等が低線量の第 2 棟固体廃棄物として発生する。

各作業エリアで発生した低線量の第 2 棟固体廃棄物は、分類ごとに耐火性の金属製容器内の収納容器に詰め、一杯になった後、収納容器を梱包し、線量測定及び汚染確認を行った上で、手押台車等を用いて固体廃棄物払出準備室に運搬して角型容器（金属製）に一時的に保管する。低線量の第 2 棟固体廃棄物（管理区域内）の主な取扱いフローを図 2. 8. 3-2 に示す。

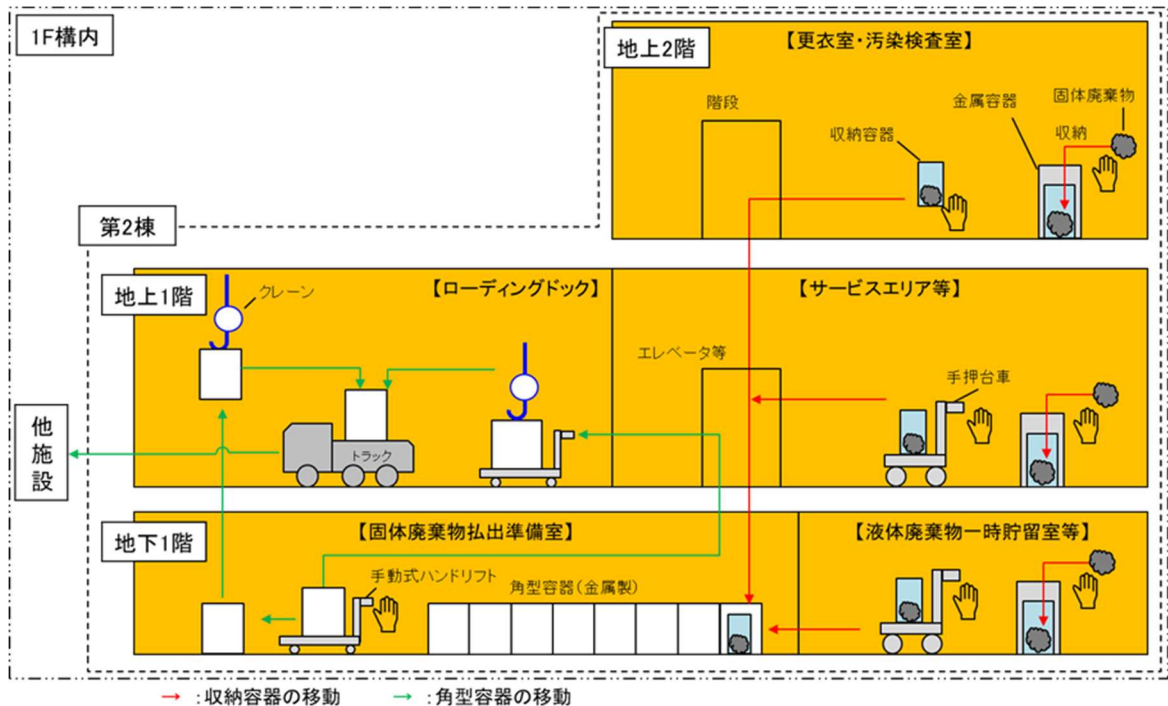


図 2.8.3-2 低線量の第2棟固体廃棄物（管理区域室内）の主な取扱いフロー

② 低線量の第2棟固体廃棄物（コンクリートセル）の取扱い

コンクリートセルでは、セル内のメンテナンス作業で使用する養生シート等が低線量の第2棟固体廃棄物として発生する。

コンクリートセル内で発生した低線量の第2棟固体廃棄物は、セル背面遮へい扉を開放した後、気密パネルに設けられたPVCポートを介して搬出する。搬出した低線量の第2棟固体廃棄物を収納容器に詰めた後、線量測定及び汚染確認を行った上で、手押台車等を用いて固体廃棄物払出準備室に運搬し、角型容器（金属製）に一時的に保管する。低線量の第2棟固体廃棄物（コンクリートセル）の主な取扱いフローを図2.8.3-3に示す。

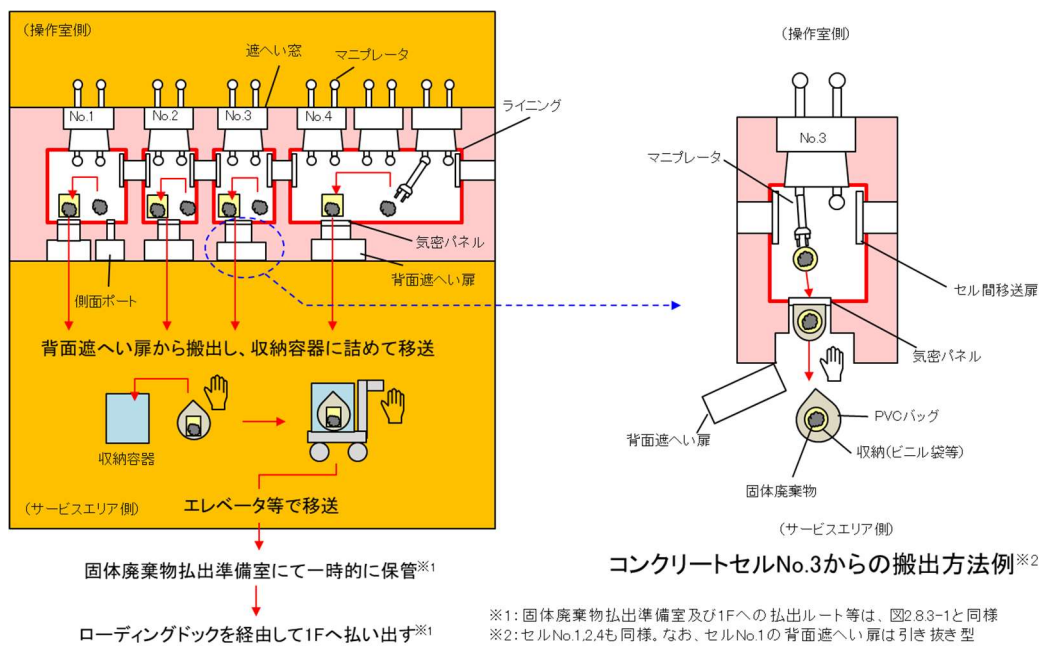


図 2. 8. 3-3 低線量の第 2 棟固体廃棄物（コンクリートセル）の主な取扱いフロー

(3) 低線量の第 2 棟固体廃棄物（鉄セル～フードNo.1）の取扱い

鉄セル及びグローブボックスNo.1では、メンテナンス作業に使用する養生シート等が、フードNo.1では、試料の搬出入作業を行うために使用する養生シート、ゴム手袋等が、それぞれ低線量の第 2 棟固体廃棄物として発生する。

鉄セル及びグローブボックス No. 1 で発生した低線量の第 2 棟固体廃棄物は**ビニール袋等に収納をした上で**フード No. 1 を経由して搬出する。搬出した低線量の第 2 棟固体廃棄物の取扱いは前項(1)，(2)と同様とする。低線量の第 2 棟固体廃棄物（鉄セル～フードNo.1）の主な取扱いフローを図 2. 8. 3-4 に示す。

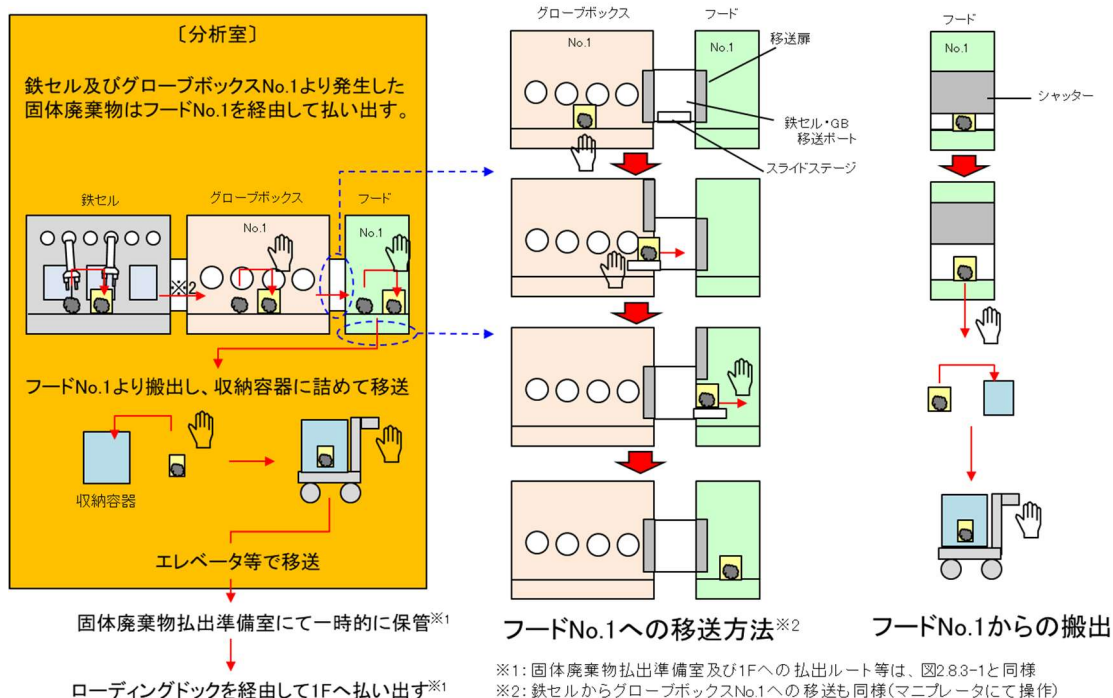


図 2. 8. 3-4 低線量の第 2 棟固体廃棄物（鉄セル～フードNo.1）の主な取扱いフロー

④ 低線量の第 2 棟固体廃棄物（グローブボックスNo.2～No.4，フードNo.2）の取扱い

グローブボックスNo.2～No.4 では，分析で使用する消耗品，メンテナンス作業で使用する養生シート等が，フードNo.2 では，分析前処理で使用する消耗品，養生シート，ゴム手袋等が，それぞれ低線量の第 2 棟固体廃棄物として発生する。

グローブボックスNo.2～No.4 内で発生した低線量の第 2 棟固体廃棄物は，グローブボックスの PVC ポートを通じて搬出する。搬出した低線量の第 2 棟固体廃棄物の取扱いは前項(1)，(2)と同様とする。また，フードNo.2 から搬出する低線量の第 2 棟固体廃棄物も(3)と同様とする。低線量の第 2 棟固体廃棄物（グローブボックスNo.2～No.4，フードNo.2）の主な取扱いフローを図 2. 8. 3-5 に示す。

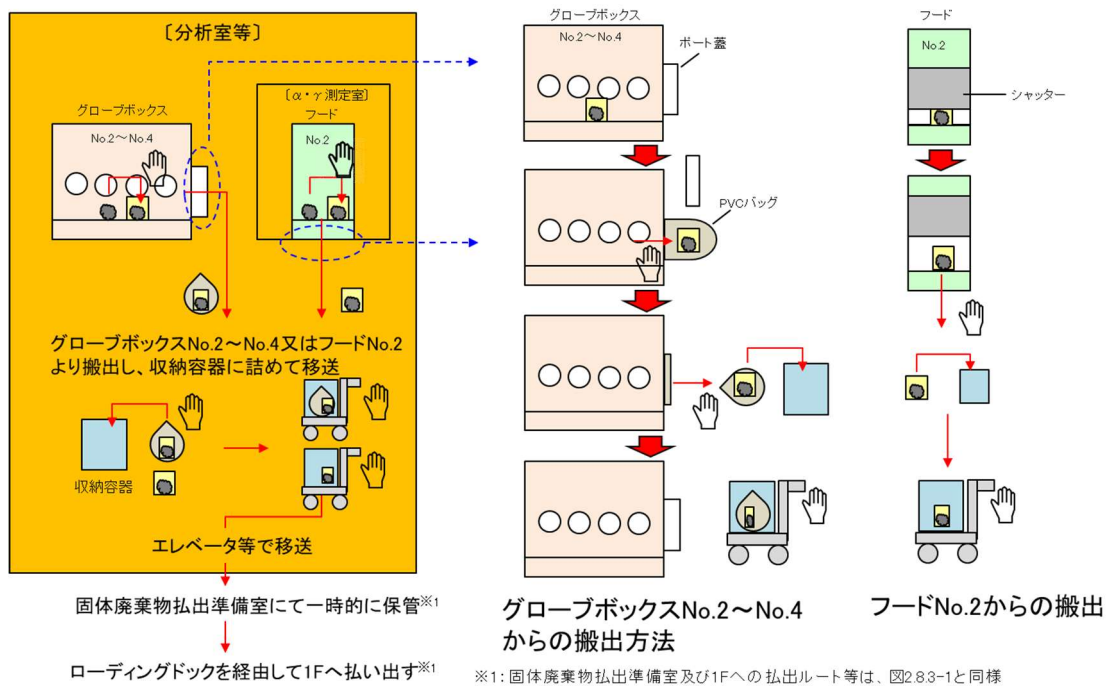


図 2.8.3-5 低線量の第2棟固体廃棄物（グローブボックスNo.2~No.4，フードNo.2）の主な取扱いフロー

⑤ 低線量の第2棟固体廃棄物（固体廃棄物払出準備室からの搬出）の取扱い

固体廃棄物払出準備室から低線量の第2棟固体廃棄物を搬出する際は、低線量の第2棟固体廃棄物を一時保管している角型容器（金属製）ごと重量測定、表面線量率測定及び表面汚染検査を行い、角型容器ごと固体廃棄物払出準備室から搬出する。

第2棟固体廃棄物に対する遮へいの概要

固体廃棄物払出準備室と隣接する部屋間の壁は、線量率区分に基づき適切な遮へいとなるよう壁厚を確保する。コンクリートセル及び試料ピットについても、同様に線量率に応じた適切な遮へいとなる壁厚を確保する。燃料デブリ等の取扱い及び遮へいを考慮する部分について図 2.8.4-1 に示す。第2棟における外部放射線に係る設計基準線量率について、図 2.8.4-2 に示す。遮へい体として設定する壁及び床について、図 2.8.4-3～図 2.8.4-4 に示す。

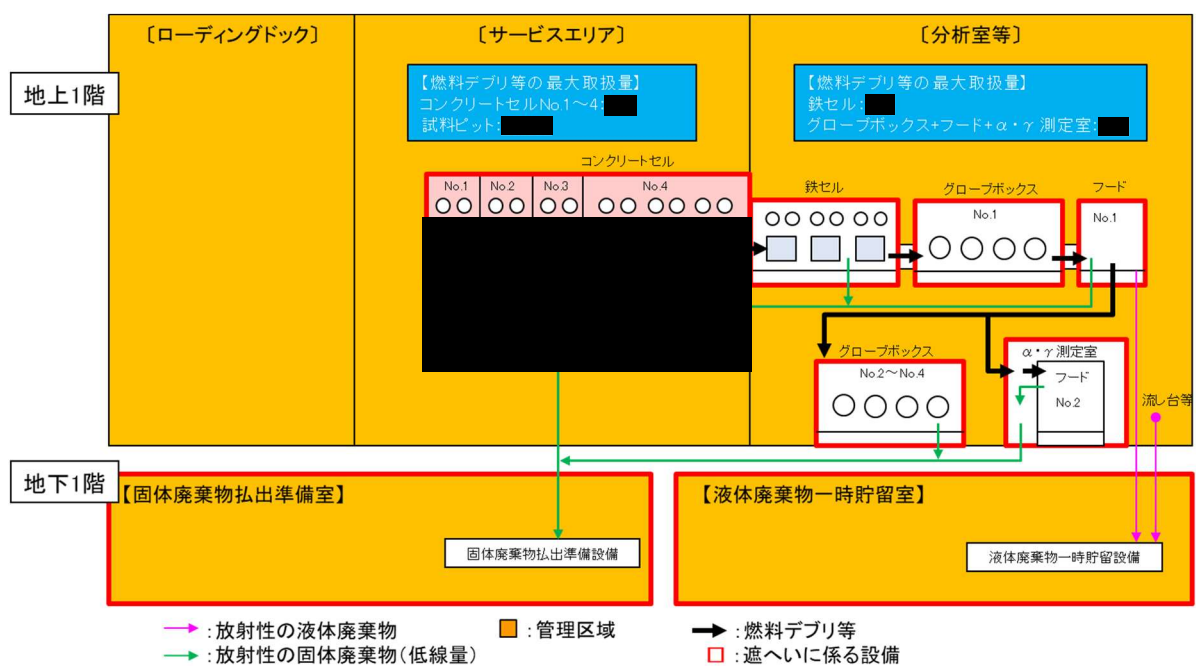
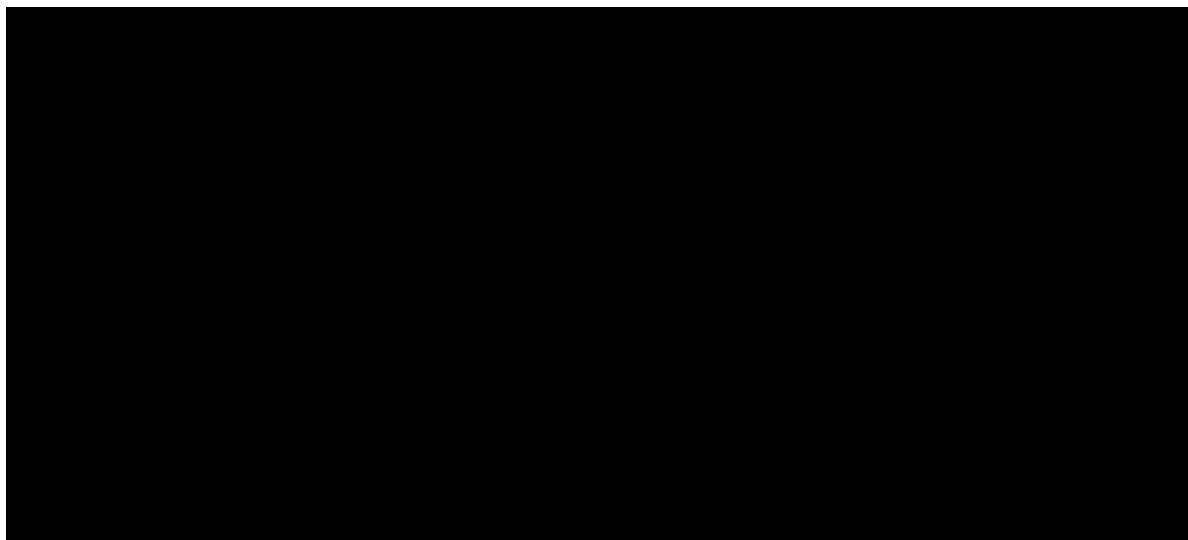


図2.8.4-1 燃料デブリ等の取扱い及び遮へいを考慮する部分

第2棟における外部放射線に係る設計基準線量率は、JEAC4615(原子力発電所放射線遮へい設計規程)に基づき設定する。なお、管理区域内の各エリアにおける線量率区分については、作業内容に応じて割当てた。

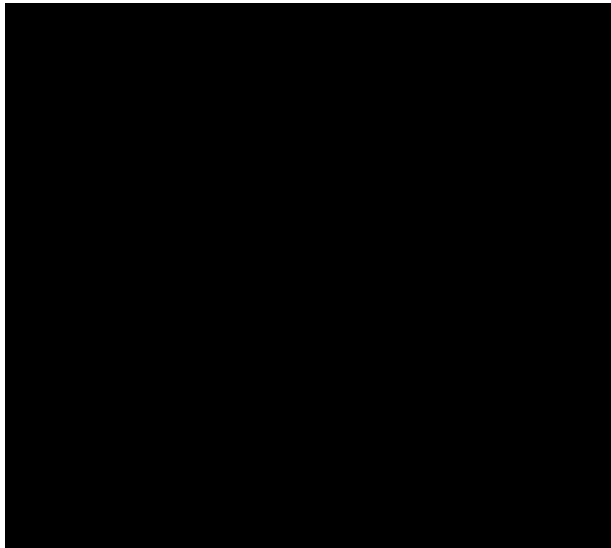
	区分	外部放射線に係る設計基準線量率	第2棟での線量率区分の考え方
管理区域外	A	0.0026mSv/h以下	—
管理区域	B	0.01mSv/h未満	人が常時作業を行うエリア。
	C	0.05mSv/h未満	人の立入頻度が比較的少ないエリア。 ただし、分析室等のグローブボックス、フードを設置する室については、作業頻度が比較的多いが、グローブボックス及びフード表面での線量率が高くなるため、区分Cとする(作業者の放射線防護装備、時間管理等により被ばく線量を管理する)。
	D	0.25mSv/h未満	設備の点検・保守等の特定の業務でのみ立ち入るエリア(人の立入頻度、立入時間が短い。)
	E	1mSv/h未満	—
	F	1mSv/h以上	燃料デブリ等を取り扱うため線量率が高いが、マニプレータ等を用いて遠隔で取り扱うため、原則として人が立ち入らないエリア。

図2.8.4-2 第2棟における外部放射線に係る設計基準線量率



■ : 管理区域    ■ : 遮へい(壁)    □ : 遮へい(床)

図2.8.4-3 遮へい体として設定する壁及び床(地下階及び1階)



区分		外部放射線に係る設計基準線量率
管理区域外	A	0.0026mSv/h以下
	B	0.01mSv/h未満
	C	0.05mSv/h未満
管理区域	D	0.25mSv/h未満
	E	1mSv/h未満
	F	1mSv/h以上

: 管理区域
  : 遮へい(壁)
  : 遮へい(床)

図2.8.4-4 遮へい体として設定する壁及び床 (2階)



第2棟の放射線を監視する設備の配置図

第2棟に設置する放射線を監視する設備の配置を図2.8.5-1～図2.8.5-3に示す。

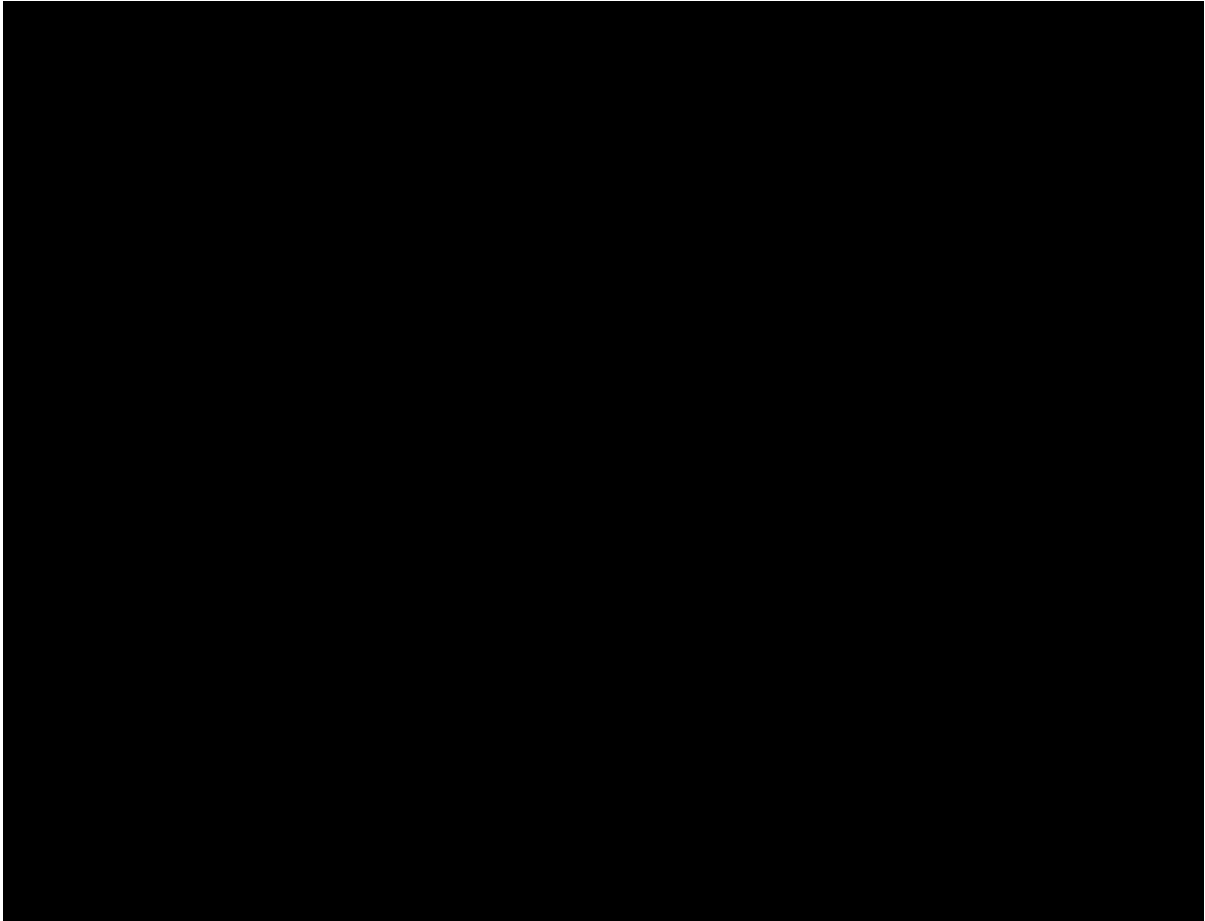


図2.8.5-1 第2棟の放射線を監視する設備の配置図（地下1階）

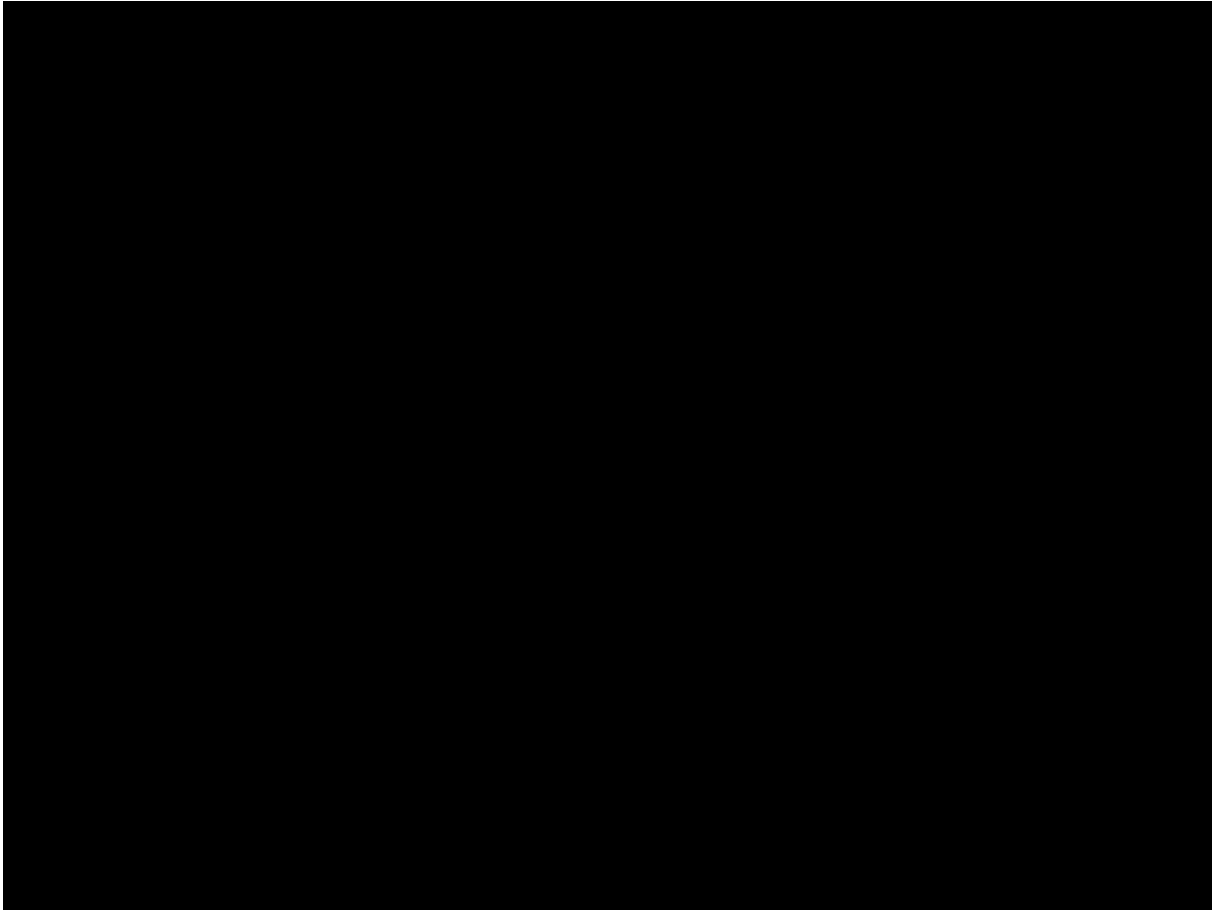


図2.8.5-2 第2棟の放射線を監視する設備の配置図（1階）

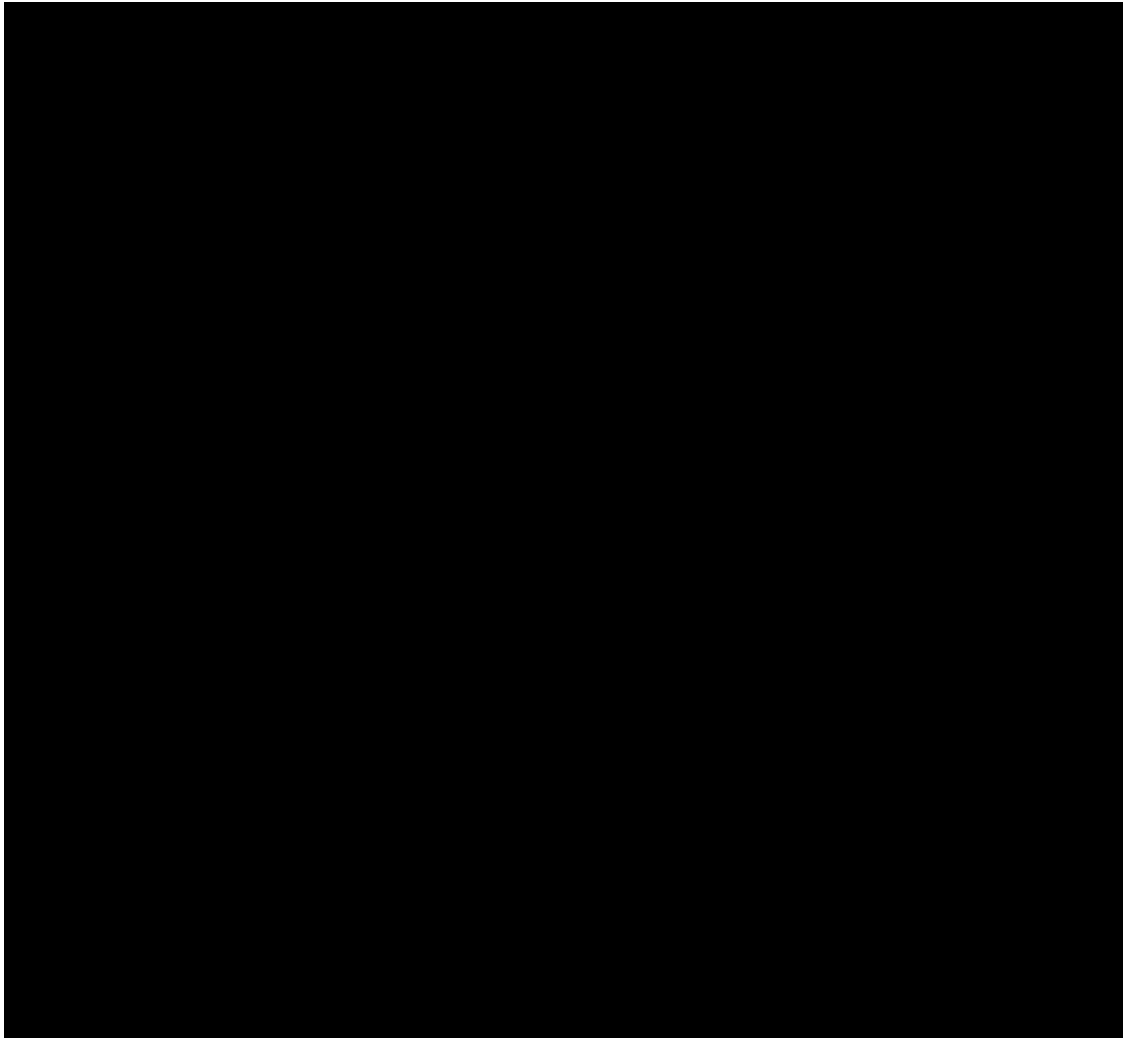


図2.8.5-3 第2棟の放射線を監視する設備の配置図（2階）

## 第2棟固体廃棄物の分類手順

## (1) コンクリートセル

コンクリートセル内で発生する第2棟固体廃棄物は、作業内容及び使用用途等に応じて、作業中又は作業終了後に高線量又は低線量に分類する。低線量の第2棟固体廃棄物に分類した後は、廃棄物の材質に応じて分類する。

## (2) 鉄セル

鉄セル内で発生する第2棟固体廃棄物は、作業内容及び使用用途等に応じて、作業中又は作業終了後に高線量又は低線量に分類する。低線量の第2棟固体廃棄物に分類した後は、廃棄物の材質に応じて分類する。

## (3) グローブボックス

グローブボックス内で発生する第2棟固体廃棄物は、作業内容及び使用用途等に応じて、作業中又は作業終了後に高線量又は低線量に分類する。低線量の第2棟固体廃棄物に分類した後は、廃棄物の材質に応じて分類する。

## (4) フード

フード内で発生する第2棟固体廃棄物は、作業中又は作業終了後に低線量の第2棟固体廃棄物として廃棄物の材質に応じて分類する。

## (5) 管理区域内

(1)～(4)の場所以外で発生する第2棟固体廃棄物は、作業中又は作業終了後に低線量の第2棟固体廃棄物として廃棄物の材質に応じて分類する。

## 2.9 放射性液体廃棄物の処理・保管・管理

## 措置を講ずべき事項

### II. 設計, 設備について措置を講ずべき事項

#### 9. 放射性液体廃棄物の処理・保管・管理

- 施設内で発生する汚染水等の放射性液体廃棄物の処理・貯蔵にあたっては、その廃棄物の性状に応じて、当該廃棄物の発生量を抑制し、放射性物質濃度低減のための適切な処理、十分な保管容量確保、遮へいや漏えい防止・汚染拡大防止等を行うことにより、敷地周辺の線量を達成できる限り低減すること。また、処理・貯蔵施設は、十分な遮へい能力を有し、漏えい及び汚染拡大し難い構造物により地下水や漏水等によって放射性物質が環境中に放出しないようにすること。

#### 2.9.1 措置を講ずべき事項への適合方針

##### (1) 東京電力福島第一原子力発電所における放射性液体廃棄物の処理・保管・管理

###### <1~4号機>

- 廃棄物の発生量の抑制及び放射性物質濃度低減のための適切な処理

放射性液体廃棄物処理施設で処理した放射性液体廃棄物については、処理済水の貯蔵を行う。

また、施設内で発生する汚染水等については、汚染水処理設備により、吸着等の浄化処理を行い、放射性物質を低減する。浄化処理に伴い発生する処理済水は貯蔵を行い、淡水化した処理済水については原子炉の冷却用水等へ再利用し、新たな汚染水等の発生量を抑制する。

- 十分な保管容量確保

タンクの増設や処理済水の低減により、保管容量を確保する。

- 遮へいや漏えい防止・汚染拡大防止

機器等には設置環境や内部流体の性状等に応じた適切な材料を使用し、遮へいや漏えい防止を行う。また、機器等は独立した区画内に設けるかあるいは周辺に堰等を設け、汚染拡大防止の対策を講じる。

- 敷地周辺の線量を達成できる限り低減

上記3項目を実施し、継続的に改善することにより、放射性液体廃棄物等の処理・貯蔵に伴う敷地周辺の線量を達成できる限り低減する。

- 十分な遮へい能力を有し、漏えい及び汚染拡大し難い構造物（処理・貯蔵施設）

汚染水等を扱う処理・貯蔵施設に対して、人が近づく可能性のある箇所を対象に作業員の線量低減の観点で遮へいを設置する等の対策を講じる。また、当該施設は独立した区画内に設けるかあるいは周辺に堰等を設け、漏えいの拡大の対策を講じることにより、万が一漏えいしても漏えい水が排水路等を通じて所外へ流出しないようにする。

- 放射性液体廃棄物等の管理

放射性液体廃棄物処理施設で処理した放射性液体廃棄物のうち、トリチウムを除く放射性核種の告示濃度比総和1未満を満足したALPS処理水を排水する際は、敷地境界における実効

線量を達成出来る限り低減するために、多量の海水による希釈により、排水中の放射性物質の濃度を低減する。

(実施計画：II-1-9-1)

## (2) 第2棟における放射性液体廃棄物の保管・管理

第2棟では、放射性の液体廃棄物（以下「第2棟液体廃棄物」という。）として、分析廃液、設備管理廃液、塩酸含有廃液及び有機廃液が発生する。第2棟で発生する第2棟液体廃棄物については、性状に応じて適切に処理し、受槽及び保管ラックにて一時的に保管ができるようにする。第2棟液体廃棄物を一時的に保管するための設備については、次の各項を考慮した設計とする。

- ① 機器、配管等には環境や内部流体の性状に応じた適切な材料を使用するとともに、受槽には液位計を設置する。
- ② 液体廃棄物一時貯留設備は、万一、液体状の放射性物質が漏えいした場合の拡大を防止するため、堰を設置する。堰は、堰内に設置する受槽及び保管ラックの漏えい廃液を全量保持できる容量とする。また、堰内は液体が浸透しにくく、腐食しにくいエポキシ樹脂にて塗装する。第2棟液体廃棄物が堰内に漏えいした場合は、堰内に設置した漏えい検知器により検知する。
- ③ 液位計、漏えい検知等の警報は、制御室で発報し、運転員に確実に伝え適切な措置をとれるようにする。
- ④ 液体廃棄物一時貯留設備は、敷地周辺の線量を達成できる限り低減するため、地下1階に設置する。

なお、コンクリートセル、鉄セル及びグローブボックス（以下「セル等」という。）にて発生した放射能濃度の高い第2棟液体廃棄物は、コンクリートセル及びグローブボックスにて固化処理後に第2棟固体廃棄物として払い出す。

(実施計画：II-2-48-2)

### (3) 使用許可基準規則における関連条文に対する方針

#### (閉じ込めの機能)

第二条 使用施設等は、放射性物質を限定された区域に適切に閉じ込めることができるものでなければならない。

第2棟液体廃棄物を保管・管理するための施設は、放射性物質を限定された区画に適切に閉じ込めることができる設計とする。

#### (廃棄施設)

第二十四条 廃棄施設には、次に掲げるところにより、放射性廃棄物を処理するための施設又は設備を設けなければならない。

一 (略)

二 周辺監視区域の境界における水中の放射性物質の濃度を低減できるよう、使用施設等において発生する放射性廃棄物を処理する能力を有するものであること。

2 廃棄施設には、放射性廃棄物を保管廃棄する場合は、次に掲げるところにより、保管廃棄施設を設けなければならない。

一 (略)

二 (略)

三 (略)

四 (略)

3 放射性廃棄物を廃棄するための施設又は設備には、標識を設けなければならない。

#### 第1項第2号について

第2棟では液体状の放射性廃棄物を一時的に保管し、発電所内の他施設へと払い出すことから、該当しない。

### 2.9.2 対応方針

#### (1) 第2棟における設計方針

第2棟液体廃棄物の一時的な保管にあたっては、その廃棄物の性状に応じて、当該廃棄物の発生量を抑制し、放射性物質濃度低減のための適切な処理、十分な保管容量確保、遮へいや漏えい防止・拡大防止等を行うことにより、敷地周辺の線量を達成できる限り低減する。また、第2棟は、十分な遮へい能力を有し、漏えい及び汚染拡大し難い構造物により地下水や漏水等によって放射性物質が環境中に放出しないように設計するとともに、以下の各項を踏まえて設計する。

##### ① 閉じ込めの機能

第2棟は、第2棟液体廃棄物の放射性物質を限定された区画に適切に閉じ込めることができる設計とする。

##### ② 遮へい

第2棟は、放射線に対して適切な遮へい能力を有する設計とする。



### ③ 廃棄施設

第2棟は、周辺監視区域の境界における水中の放射性物質の濃度を低減できるよう、当該施設において発生する放射性廃棄物を一時的に保管廃棄するために必要な容量を有し、第2棟建屋内に設置することにより外部と区画するとともに、第2棟液体廃棄物を搬出入する場合その他特に必要がある場合を除き施錠又は立入制限の措置を講じ、また施設又は設備には標識を設ける設計とする。

### ④ 監視設備

第2棟は、必要に応じて、通常時及び事故時において当該施設及びその境界付近における放射性物質の濃度及び線量を監視し、及び測定し、並びに事故時における迅速な対応のために必要な情報を適切な場所に表示できる設備を設ける設計とする。

また、第2棟では、分析廃液、設備管理廃液、塩酸含有廃液及び有機廃液が発生する。これらの第2棟液体廃棄物については、性状に応じて適切に処理し、受槽及び保管ラックにて一時的に保管ができるようにする。第2棟液体廃棄物を一時的に保管するための設備については、次の各項を考慮した設計とする。

- i) 機器、配管等には環境や内部流体の性状に応じた適切な材料を使用するとともに、受槽には液位計を設置する。
- ii) 液体廃棄物一時貯留設備は、万一、液体状の放射性物質が漏えいした場合の拡大を防止するため、堰を設置する。堰は、堰内に設置する受槽及び保管ラックの漏えい廃液を全量保持できる容量とする。また、堰内は液体が浸透しにくく、腐食しにくいエポキシ樹脂にて塗装する。第2棟液体廃棄物が堰内に漏えいした場合は、堰内に設置した漏えい検知器により検知する。
- iii) 液位計、漏えい検知等の警報は、制御室等で発報し、運転員に確実に伝え適切な措置をとれるようにする。
- iv) 液体廃棄物一時貯留設備は、敷地周辺の線量を達成できる限り低減するため、地下1階に設置する。

なお、セル等にて発生した放射能濃度の高い第2棟液体廃棄物は、コンクリートセル及びグローブボックスにて固化処理後に第2棟固体廃棄物として払い出す。

## (2) 第2棟液体廃棄物を一時的に保管するための施設の構造及び設備

### ① 構造（別紙-1、別紙-2及び別紙-3参照）

第2棟液体廃棄物を一時的に保管するための施設は、第2棟地下1階に設置する液体廃棄物一時貯留室で構成される。また、液体廃棄物一時貯留室には、以下の液体廃棄物一時貯留設備を設置する。（図2.9.1-1参照）

分析作業やその後の洗浄作業によって発生する廃液、管理区域内の設備から発生する廃液等は、必要に応じて中和、希釈による安定化処理等を行い、それぞれ1Fの他施設（具体的な施設は第2棟の運用までに決定）へ搬出するまで、液体廃棄物一時貯留設備である廃液受槽又は保管ラックにて一時的に保管する。

第2棟液体廃棄物は、上記のとおり計画的に1Fの他施設へ搬出して管理することから、第2棟から直接廃棄することはない、そのための設備も設置しない。

表2.9-5-1に主要な設備及び機器の種類を示す。(別紙-3参照。)

表2.9-5-1 主要な設備及び機器の種類

建物	設置場所	主要な設備及び機器の種類
第2棟	液体廃棄物一時貯留室	液体廃棄物一時貯留設備 分析廃液受槽 分析廃液移送ポンプ 分析廃液回収ポンプ 設備管理廃液受槽 設備管理廃液移送ポンプ 設備管理廃液回収ポンプ 主要配管 漏えいの拡大を防止するための堰その他設備 漏えい検知装置及び警報装置 液位計 塩酸含有廃液保管ラック 有機廃液保管ラック

② 第2棟液体廃棄物の処理能力

第2棟液体廃棄物の発生量(見込み)に対して、液体廃棄物一時貯留設備で一時保管できる容量を表2.9-5-2に示す。容量を確保できるように1Fの他施設へ計画的に搬出することにより容量を確保する。

表2.9-5-2 第2棟液体廃棄物の発生量、保管容量及び搬出頻度

第2棟液体廃棄物	発生量(見込み)	一時貯留最大容量	払出
分析廃液	約2.1m <sup>3</sup> /年	6 m <sup>3</sup> (3 m <sup>3</sup> 受槽2基)	1回/月程度
塩酸含有廃液	約0.1 m <sup>3</sup> /年	0.07 m <sup>3</sup> (70ℓラック1基)	1回/月程度
有機廃液	約0.01 m <sup>3</sup> /年	0.03 m <sup>3</sup> (30ℓラック1基)	1回/月程度
設備管理廃液	約68 m <sup>3</sup> /年	14 m <sup>3</sup> (7 m <sup>3</sup> 受槽2基)	1回/月程度

この他、第2棟液体廃棄物(分析廃液、塩酸含有廃液及び有機廃液)を固化して処理する分として約1.2m<sup>3</sup>/年の発生を想定しており、第2棟固体廃棄物として管理する。

(3) 第2棟液体廃棄物の分類(別紙-4及び別紙-5参照)

第2棟液体廃棄物は、発生元や廃液に含まれる試薬等も様々であり、またその中に含まれる放射性物質の濃度等も異なることから、以下のとおり分類して管理する。

① 分析廃液

分析作業において硝酸、アルカリ等による溶解、分離等の作業に伴い発生する廃液及び洗浄等によって発生する廃液

② 塩酸含有廃液

分析作業において塩酸による溶解、分離等の作業に伴い発生する廃液

③ 有機廃液

液体シンチレーションカウンタ等を使用する分析作業で発生する廃液

④ 設備管理廃液

汚染検査室の手洗い及びシャワー設備、ローディングドック床ドレン並びに換気空調設備室の排気口釜場等から発生する廃液

上記の第2棟液体廃棄物のうち分析廃液、塩酸含有廃液及び有機廃液は、運用実績のある JAEA 内既存施設における廃液の濃度区分（ $\beta$   $\gamma$  核種）<sup>※1</sup>を参考にして設定した放射能濃度基準によって以下の2つに分類する。ただし本分類については、今後の払出先施設の運用状況等に応じて見直す。

i) 放射能濃度が  $\beta$   $\gamma$  核種：37Bq/cm<sup>3</sup> 以上のもの

ii) 放射能濃度が  $\beta$   $\gamma$  核種：37Bq/cm<sup>3</sup> 未満のもの

※1：廃液の濃度区分の参考にした放射能濃度 37Bq/cm<sup>3</sup> を線源として分析廃液受槽表面の線量率を評価したところ 2.12  $\mu$  Sv/h となった。この評価結果から、廃液受槽周辺での作業員の被ばくを考慮しても安全上問題ないと判断したため、第2棟液体廃棄物の上限の  $\beta$   $\gamma$  濃度（固化処理する基準の濃度）として採用することとした。

(4) 第2棟液体廃棄物の保管・管理（別紙-5～別紙-7 参照）

① 分析廃液の保管・管理

分析廃液は、第2棟1階に設置する分析室内のフード No. 1 及び流し台並びに試薬調整室のドラフトチャンバ及び流し台から配管を通して地下1階に設置する耐火性の分析廃液受槽まで移送して一時的に貯留する。なお、1階の各設備から分析廃液受槽までは重力流により移送することから、分析廃液が逆流する恐れはない。また、廃液中に硝酸等が含まれる場合があることから、分析廃液受槽、主要配管、ポンプのシャフト等については、主に硝酸に対する耐食性に優れた SUS316L を使用する。コンクリートセル、鉄セル及びグローブボックス内の硝酸の使用量は少ないためステンレス製バット等、耐食性を考慮した材料の容器等の上で使用する。

分析廃液の搬出にあたっては、分析廃液を分析廃液受槽から分析廃液移送ポンプによりローディングドック内に設置する接続ボックスまで移送し、当該接続ボックスからタンクローリーに積込み 1F の他施設まで移送する。

② 塩酸含有廃液の保管・管理

塩酸含有廃液は、第2棟1階に設置するグローブボックス No. 1 及び試薬調整室のドラフトチャンバから、容器に入れて SUS304 製の塩酸含有廃液保管ラックまで移送して一時的に貯留する。塩酸含有廃液の搬出にあたっては、容器等で 1F の他施設に運搬することを検討しており、運用までに確定させる。容器は、塩酸に対する耐食性を考慮してポリ容器等を使用する。

### ③ 有機廃液の保管・管理

有機廃液は、フード No.2 及び  $\alpha$ ・ $\gamma$  測定室内の液体シンチレーションカウンタから容器に入れて SUS304 製の有機廃液保管ラックまで移送して一時的に貯留する。有機廃液の搬出にあたっては、容器等で 1F の他施設に運搬することを検討しており、運用までに確定させる。容器は、有機廃液に対する耐食性を考慮してポリ容器等を使用する。

### ④ 設備管理廃液の保管・管理

設備管理廃液は、第 2 棟 2 階の汚染検査室の手洗い及びシャワー設備、1 階のローディングドックの床ドレン並びに地下 1 階の換気空調設備室の排気口釜場から配管を通して地下 1 階に設置する耐火性の設備管理廃液受槽まで移送して一時的に貯留する。なお、2 階及び 1 階の各設備から設備管理廃液受槽までは重力流により移送、地下 1 階の換気空調設備室の排気口釜場から設備管理廃液受槽まではポンプにより移送することから、設備管理廃液が逆流するおそれはない。

設備管理廃液の搬出にあたっては、設備管理廃液を設備管理廃液受槽から設備管理廃液移送ポンプによりローディングドック内に設置する接続ボックスまで移送し、当該接続ボックスからタンクローリーに積込み 1F の他施設まで移送する。

### (5) 第 2 棟液体廃棄物の固化（別紙-9 参照）

放射能濃度が  $\beta$   $\gamma$  核種：37Bq/cm<sup>3</sup> 以上または  $\alpha$  核種を含む第 2 棟液体廃棄物は、必要に応じてコンクリートセル及びグローブボックスにて固化処理後に高線量の第 2 棟固体廃棄物として一時的に保管・管理後に 1F 他施設に払い出す。

固化処理は、コンクリートセル及びグローブボックス内に設置したステンレス製のバット等の中で、当該液体廃棄物が入った容器（ポリ容器等）に固化剤（セメント材又は石膏材）を加え、攪拌棒等で混練し数日静置する。固化処理は、ステンレス製のバット等の中で実施することにより、第 2 棟液体廃棄物が設備内に漏れ又はこぼれにくくするとともに、硝酸等による腐食がしにくい材料を用いた設計とする。また、混練時には液体と固化剤との水和熱が発生するため、適宜温度を温度計で確認しながら作業を行う。また、固化剤は酸性の液体と反応し、ガスを発生させる恐れがあるため、当該液体廃棄物の液性が中性であることを確認した後、固化処理を行う。

### (6) 第 2 棟液体廃棄物の閉じ込め（別紙-10 参照）

第 2 棟液体廃棄物を保管・管理するための設備は、放射性物質を限定された区画に適切に閉じ込めることにより漏えいを防止するとともに、万一、放射性物質が漏えいした場合には、その漏えいを検知する機能を設けるとともに、その拡大を防止する。

#### ① 受槽の液位監視及び漏えい検知

受槽水位については、分析廃液受槽、設備管理廃液受槽に設置した液位計により検知し、漏えいについては、液体廃棄物一時貯留室内の漏えい防止堰に設置した漏えい検知器により検知する。

受槽水位、漏えい検知等の警報については、上記の液位計及び漏えい検知器が異常を検知し

た際に、異常の発生を確実に運転員に伝え適切な措置をとれるようにする。このため、制御室においては、第2棟液体廃棄物を一時的に保管するための設備の運転状態を監視できるようにする。

② 漏えいの拡大防止

液体廃棄物一時貯留設備において、第2棟液体廃棄物を一時的に保管する分析廃液受槽及び設備管理廃液受槽並びに塩酸含有廃液保管ラック及び有機廃液保管ラックは、漏えい拡大防止のための堰内に設置する。堰は、堰内に設置するそれぞれの受槽及び保管ラックの漏えい廃液を全量保持できる容量とする。また、床面及び堰の高さ以上までの壁面はエポキシ樹脂を使用して塗装することにより耐水性を確保する。

また、塩酸含有廃液保管ラック及び有機廃液保管ラックには、それぞれのラック内に受け皿を設置し、その上にポリ容器等を収納して保管することとし、塩酸含有廃液及び有機廃液がラック外へ漏えいすることを防止する。

③ 第2棟液体廃棄物の漏えい時の回収・処理等

第2棟液体廃棄物が万が一漏えいした場合には、上記①の警報により漏えいを検知し、紙ウエス等による回収作業により速やかに回収・処理等を行う。また、地震等により大量の廃液が混在した場合は、廃液回収ポンプ等にて回収・処理等を行う。

(7) 第2棟液体廃棄物に対する遮へい（別紙-11 参照）

液体廃棄物一時貯留室と隣接する部屋間の壁は、線量率区分に基づき適切な遮へいとなるよう壁厚を確保する。

(8) 第2棟液体廃棄物の監視及び測定

第2棟内の汚染管理、漏えい検知等を行うために、液体廃棄物一時貯留室等に放射線等を監視及び測定する設備を設置する。表 2.9-9-1 に主要な設備及び機器の種類を示す。

表 2.9-9-1 第2棟液体廃棄物に係る放射線等を監視及び測定する設備

名称	検出器	測定範囲	取付箇所
γ線エリアモニタ	半導体検出器	10 <sup>-1</sup> ~10 <sup>4</sup> μSv/h	液体廃棄物一時貯留室, 分析室
中性子線エリアモニタ	<sup>3</sup> He 計数管検出器	10 <sup>-2</sup> ~10 <sup>3</sup> μSv/h	オペレーションエリア, サービスエリア(1)
室内α/β線ダストモニタ	ZnS シンチレーション/プラスチックシンチレーション検出器	10 <sup>-1</sup> ~10 <sup>4</sup> s <sup>-1</sup>	分析室, サービスエリア(1)
室内β線ダストモニタ	半導体検出器	10 <sup>-1</sup> ~10 <sup>4</sup> s <sup>-1</sup>	液体廃棄物一時貯留室

漏えい検知器	—	—	液体廃棄物一時貯留室
--------	---	---	------------

第2棟では、第2棟液体廃棄物を直接廃棄することではなく、第2棟液体廃棄物に含まれる放射性物質濃度及び線量の監視、測定等を行い計画的に1F他施設へ搬出する。そのため、周辺監視区域周辺については、東京電力福島第一原子力発電所全体として「発電用軽水炉型原子炉施設における放出放射性物質の測定に関する指針」、「発電用軽水型原子炉施設における事故時の放射線計測に関する審査指針」等を参考にしつつ、環境試料の監視、測定等を行っている。

(9) 第2棟液体廃棄物のその他の管理に関する事項

固化処理した第2棟液体廃棄物を一時的に保管する[黒塗り]は、外部と区画し、人がみだりに立ち入らないよう壁、柵その他の区画物を設けることにより立入制限の措置を講ずる。

(10) 第2棟液体廃棄物発生量及び放射性物質濃度の低減

第2棟では、分析・試験に使用する試薬をセル等外で調整し、必要最小限の液体のみをセル等内に搬入して使用する。

セル等の除染作業においては、濡れウエス等をセル等外で準備して搬入し、使用済みのウエス等は第2棟固体廃棄物とすることで、可能な限り第2棟液体廃棄物を発生させない対策を講ずる。

液体廃棄物一時貯留室及び液体廃棄物一時貯留設備の概要

液体廃棄物一時貯留室及び液体廃棄物一時貯留設備の概要を図 2.9.1-1 に示す。

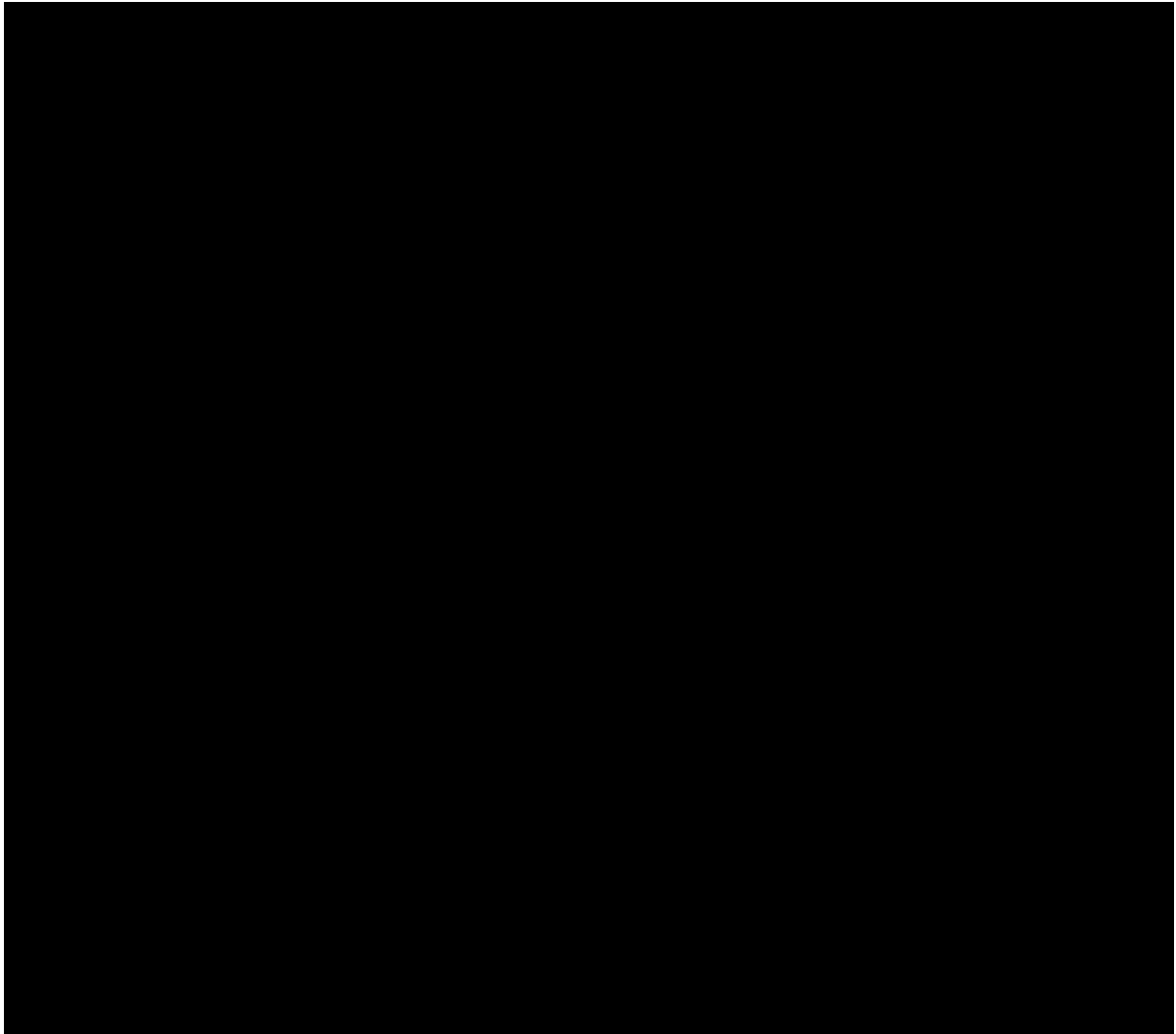


図 2.9.1-1 液体廃棄物一時貯留室及び液体廃棄物一時貯留設備の概要

液体廃棄物一時貯留設備の主要設備及び仕様

液体廃棄物一時貯留設備の主要設備及び仕様を図 2.9.2-1 に示す。

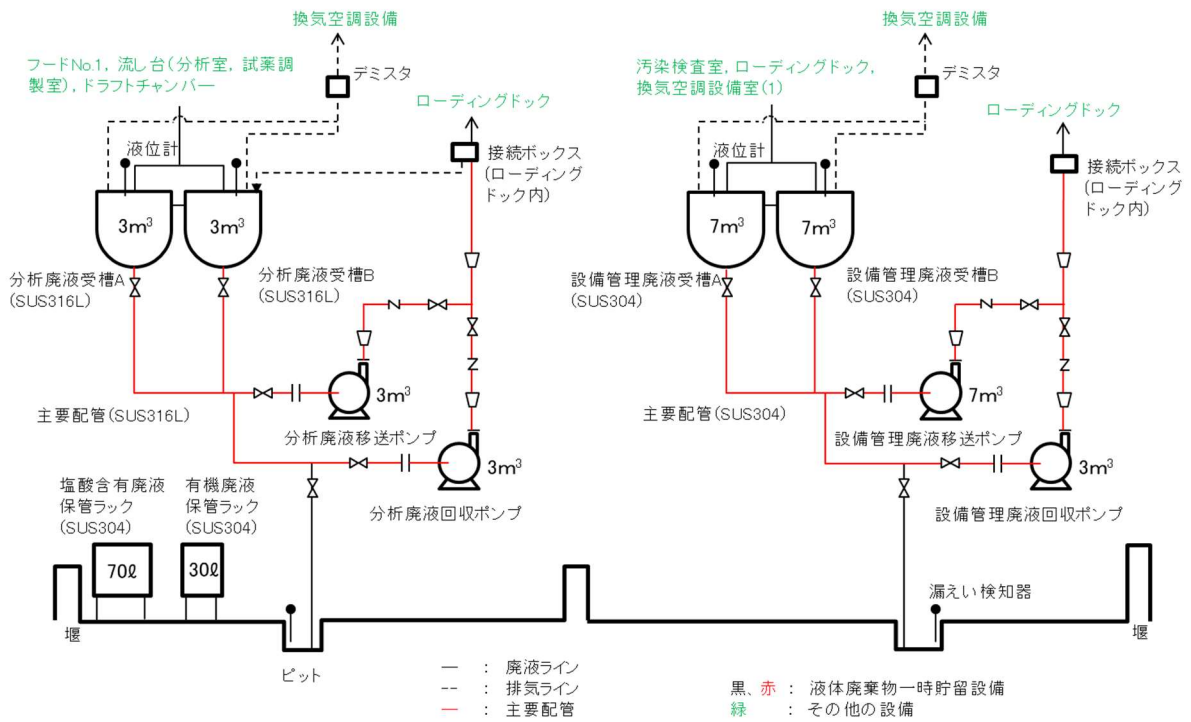


図 2.9.2-1 液体廃棄物一時貯留設備主要設備及び仕様



## 液体廃棄物一時貯留設備一覧及び主要仕様

## ①分析廃液受槽

名称		分析廃液受槽 A, B	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	°C	60	
主要寸法	高さ (外寸)	mm	2330
	胴径 (内寸)	mm	1500
	厚さ	mm	6
材料	-	SUS316L	
容量	m <sup>3</sup>	3	
基数	基	2	

## ②分析廃液移送ポンプ

容量： 3 m<sup>3</sup>/h/基

基数： 1 基

## ③分析廃液回収ポンプ

容量： 3 m<sup>3</sup>/h/基

基数： 1 基

## ④設備管理廃液受槽

名称		設備管理廃液受槽 A, B	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	°C	60	
主要寸法	高さ (外寸)	mm	2960
	胴径 (内寸)	mm	2000
	厚さ	mm	6
材料	-	SUS304	
容量	m <sup>3</sup>	7	
基数	基	2	

⑤設備管理廃液移送ポンプ

容量： 7 m<sup>3</sup>/h/基

基数： 1 基

⑥設備管理廃液回収ポンプ

容量： 3 m<sup>3</sup>/h/基

基数： 1 基

⑦主要配管

名称	仕様	
分析廃液受槽出口から分析廃液移送ポンプ入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材料 最高使用圧力 最高使用温度	40A/Sch20S SUS316L 0.4MPa 60°C
分析廃液移送ポンプ出口から分析廃液払出口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材料 最高使用圧力 最高使用温度	25A/Sch20S 40A/Sch20S 50A/Sch20S SUS316L 0.4MPa 60°C
分析廃液受槽出口から分析廃液回収ポンプ入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材料 最高使用圧力 最高使用温度	40A/Sch20S SUS316L 0.4MPa 60°C
分析廃液回収ポンプ出口から分析廃液払出口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材料 最高使用圧力 最高使用温度	25A/Sch20S 40A/Sch20S 50A/Sch20S SUS316L 0.4MPa 60°C
設備管理廃液受槽出口から設備管理廃液移送ポンプ入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材料 最高使用圧力 最高使用温度	40A/Sch20S 50A/Sch20S SUS304 0.5MPa 60°C
設備管理廃液移送ポンプ出口から設備管	呼び径/厚さ	25A/Sch20S 50A/Sch20S

理廃液払出口まで（鋼管）	材料 最高使用圧力 最高使用温度	SUS304 0.5MPa 60℃
設備管理廃液受槽出口から設備管理廃液回収ポンプ入口まで（鋼管）	呼び径/厚さ 材料 最高使用圧力 最高使用温度	40A/Sch20S 50A/Sch20S SUS304 0.5MPa 60℃
設備管理廃液回収ポンプ出口から設備管理廃液払出口まで（鋼管）	呼び径/厚さ 材料 最高使用圧力 最高使用温度	25A/Sch20S 40A/Sch20S 50A/Sch20S SUS304 0.5MPa 60℃

⑧漏えいの拡大を防止するための堰その他の設備

名称		液体廃棄物一時貯留室 漏えい防止堰
主要寸法	堰高さ	(1) 分析廃液受槽側：40cm 以上 (2) 設備管理廃液受槽側：60cm 以上
	床・壁の塗装	床面及び床面から堰高さ以上までの壁面
材料	堰	鉄筋コンクリート
	床・壁の塗装	エポキシ樹脂

⑨漏えい検出装置及び警報装置

名称	漏えい検出器	警報装置
検出器の種類	電極式	—
取付箇所	液体廃棄物一時貯留室	液体廃棄物一時貯留設備電気品室

⑩その他

・液位計

検出器の種類：電波式

・塩酸含有廃液保管ラック

容量：70ℓ

材質：SUS304

基数：1基

その他：ラック内には漏えい防止のため受け皿（SUS304製、容量10ℓ）を設置

・有機廃液保管ラック

容量 : 30ℓ

材質 : SUS304

基数 : 1 基

その他 : ラック内には漏えい防止のため受け皿 (SUS304 製, 容量 10ℓ) を設置

## 第2 棟液体廃棄物濃度区分

第2 棟液体廃棄物は、その放射能濃度高さによって、以下の3つに分類する。

- i) 放射能濃度が $\beta$   $\gamma$ 核種：37Bq/cm<sup>3</sup>以上のもの
- ii) 放射能濃度が $\beta$   $\gamma$ 核種：37Bq/cm<sup>3</sup>未満のもの
- iii) 放射能濃度が $\beta$   $\gamma$ 核種：0.37Bq/cm<sup>3</sup>未満のもの

これらの分類の基準として、運用実績のある JAEA 内既存施設における廃液の濃度区分を参考にした。

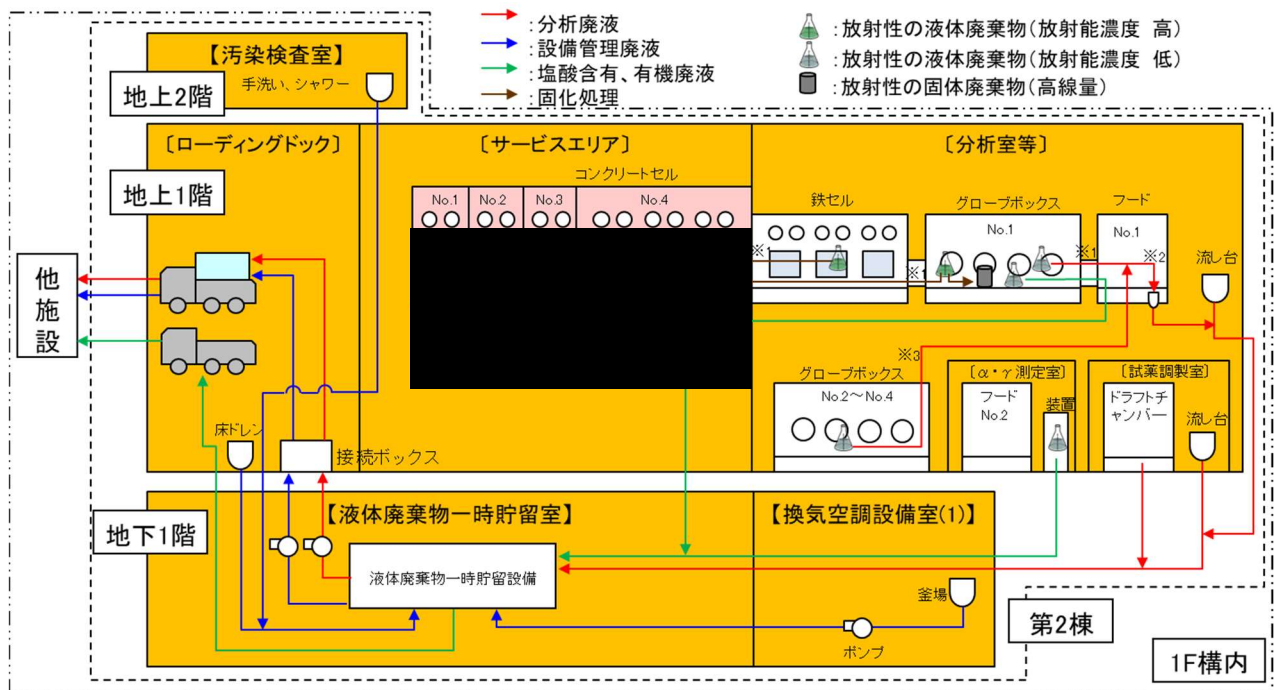
なお、JAEA 内既存施設における廃液の濃度区分は表 2.9.4-1 に示す。

表 2.9.4-1 JAEA 内既存施設における廃液の濃度区分

廃液区分	基準
極低レベル	0.37Bq/cm <sup>3</sup> 未満
低レベル	0.37Bq/cm <sup>3</sup> 以上, 37Bq/cm <sup>3</sup> 未満

第2棟液体廃棄物に係る概略フロー

第2棟液体廃棄物は、1F 他施設に払い出すまで第2棟内にて一時的に保管できるように、液体廃棄物一時貯留設備を設置する。第2棟液体廃棄物の移送について全体フローを図 2.9.5-1 に示す。



※1：グローブボックス No.1～コンクリートセル No.4 まで移送する。

※2：受槽への排出前に、放射能（ $\beta$   $\gamma$  : 0.37Bq/cm<sup>3</sup>以上, 37Bq/cm<sup>3</sup>未満）を評価

ただし本分類については、今後の払出先施設の運用状況に応じて見直す。

※3：グローブボックス No.2～No.4 からの搬出は、遮へい及び漏えいを考慮した容器を用いて移送する。

※4：JAEA 既存施設における液体廃棄物の分類を参考にした、第2棟液体廃棄物の濃度基準

図 2.9.5-1 第2棟液体廃棄物の移送フロー

第2棟液体廃棄物移送の全体フローの内、燃料デブリ等の前処理（抽出、溶解）時に発生する分析廃液、塩酸含有廃液、有機廃液について詳細フローを図 2.9.5-2 及び図 2.9.5-3 に示す。

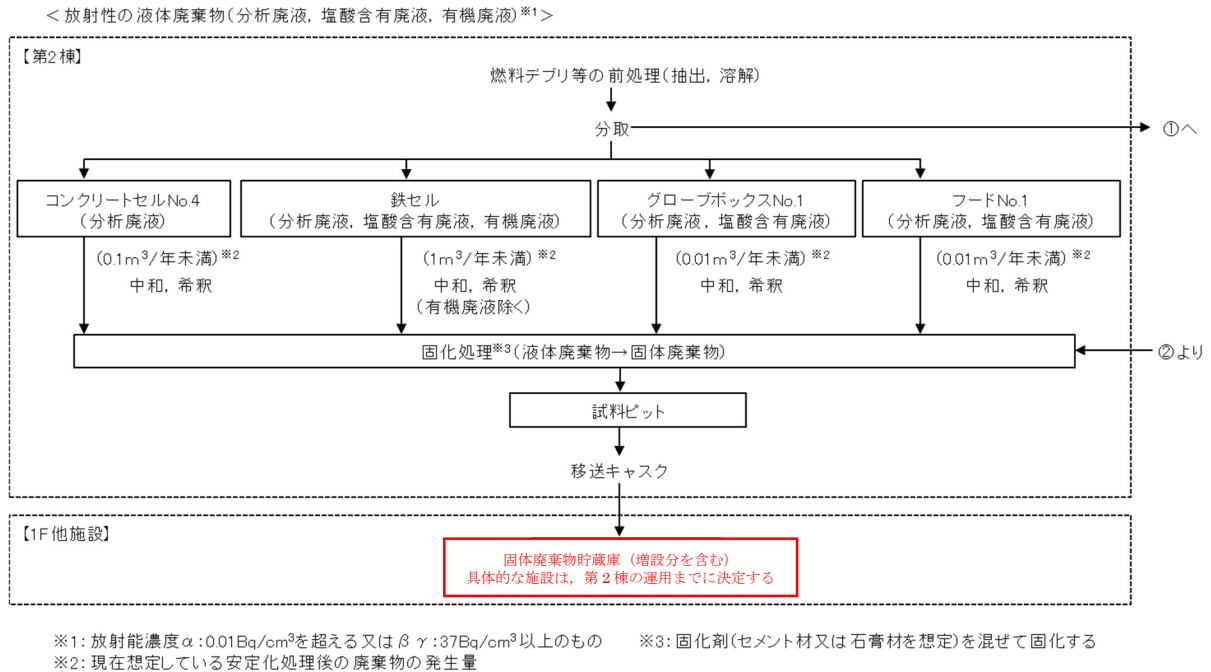


図 2.9.5-2 燃料デブリ等の前処理廃液の詳細フロー(1/2)

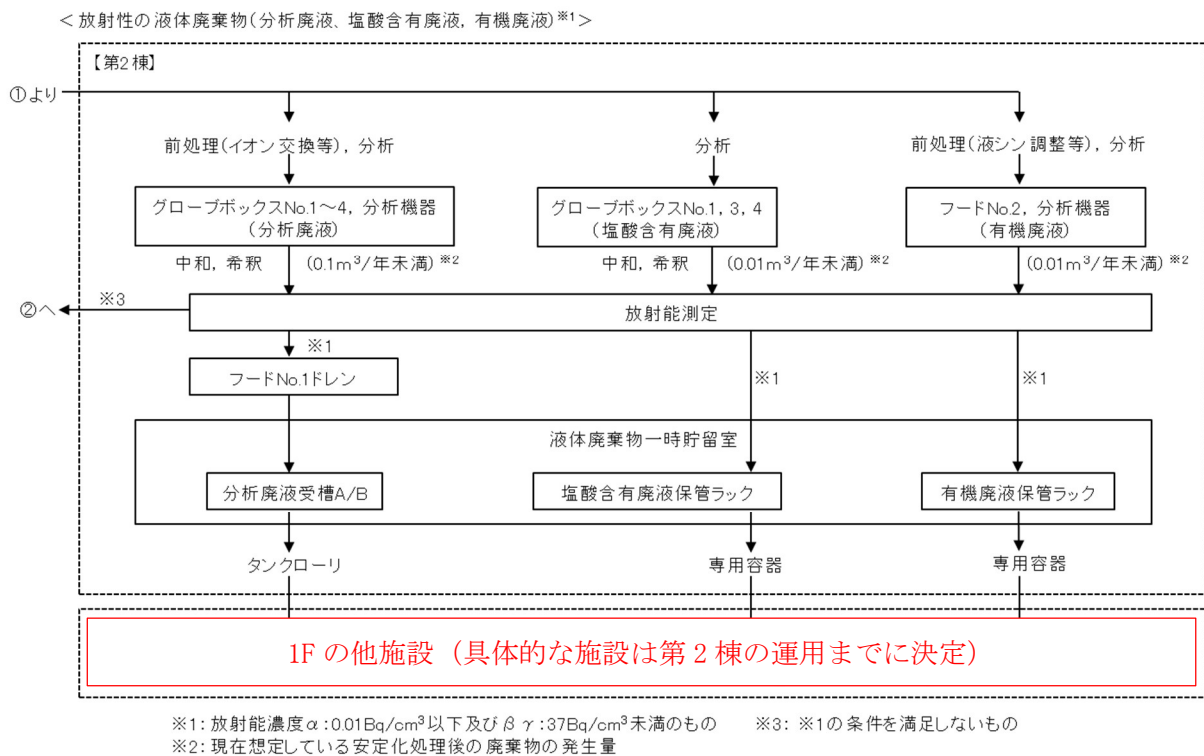
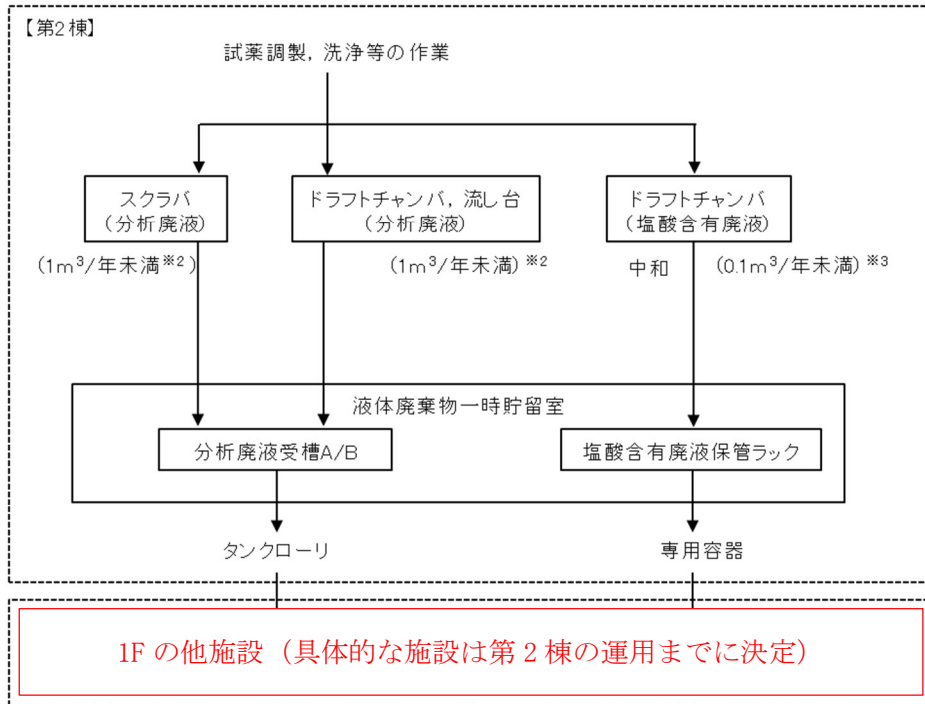


図 2.9.5-3 燃料デブリ等の前処理廃液の詳細フロー(2/2)

第2棟液体廃棄物移送の全体フローの内、試薬調整、洗浄等の作業時に発生する分析廃液、塩酸含有廃液について詳細フローを図2.9.5-4に示す。

<放射性の液体廃棄物(分析廃液, 塩酸含有廃液)<sup>※1</sup>>



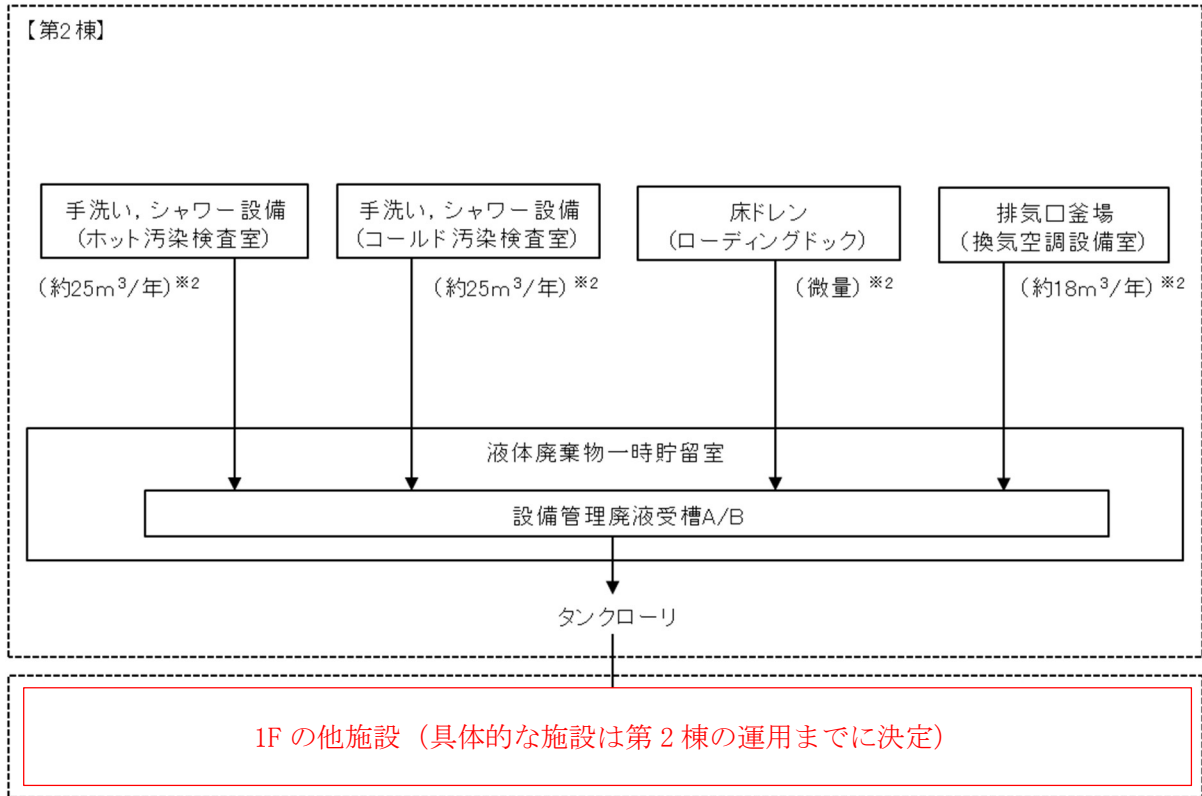
※1: 放射能濃度 $\alpha$ :0.01Bq/cm<sup>3</sup>以下及び $\beta$   $\gamma$ :37Bq/cm<sup>3</sup>未満のもの      ※3: 現在想定している安定化処理後の廃棄物の発生量  
 ※2: 現在想定している廃棄物の発生量

図 2.9.5-4 試薬調整、洗浄等の作業廃液の詳細フロー



第2棟液体廃棄物移送の全体フローの内、第2棟運用時に発生する設備管理廃液について詳細フローを図2.9.5-5に示す。

< 放射性的の液体廃棄物(設備管理廃液※1) >



※1: 放射能濃度  $\alpha$ : 0.01Bq/cm<sup>3</sup> 以下及び  $\beta$   $\gamma$ : 0.37Bq/cm<sup>3</sup> 未満のもの

※2: 現在想定している廃棄物の発生量

図 2.9.5-5 設備管理廃液の詳細フロー

## 第2棟液体廃棄物の取扱について

第2棟液体廃棄物は、それぞれ次のように保管・管理する。

## (1) 分析廃液の保管・管理

分析廃液については、分析廃液受槽等まで移送する前に、放射能濃度評価を行い、放射能濃度により分類して仕分けする。

放射能濃度が $\beta$   $\gamma$  核種：37Bq/cm<sup>3</sup>以上または $\alpha$ 核種を含む分析廃液は、必要に応じてコンクリートセル及びグローブボックスに移送して安定化処理のため固化処理し、高線量の第2棟固体廃棄物として試料ピットに一時保管した後、計画的に1Fの他施設へ搬出する。固化処理はコンクリートセル及びグローブボックス内に設置したステンレス製のバット等の中で、当該液体廃棄物が入った容器（ポリ容器等）に固化剤（セメント材又は石膏材）を加え、攪拌棒等で混錬し数日静置する。この時固まらないといった不具合が生じた場合には、固化剤の量を調製する等の対応をとり、適切に固化するまで処理を行う。したがって、放射能濃度の高い分析廃液は、常時負圧に保たれているコンクリートセル、鉄セル及びグローブボックス外に移送して取り扱うことはない。

また、混錬時には液体と固化剤との水和熱が発生するため、適宜温度を温度計で確認しながら作業を行う。さらに、固化剤は酸性の液体と反応し、ガスを発生させる恐れがあるため、当該液体廃棄物の液性が中性であることを確認した後、固化処理を行う。（別紙-9 参照）

放射能濃度が $\beta$   $\gamma$  核種：37Bq/cm<sup>3</sup>未満の液体廃棄物については、グローブボックス、フード等において中和、希釈により安定化処理を行い、分析廃液受槽へ移送する。搬出は1か月に1回程度の頻度で計画的に1Fの他施設に搬出し、搬出するまでの間は、一時的に貯留する。

分析廃液の搬出にあたっては、搬出前に分析廃液受槽内のサンプリングを行い、放射能濃度を評価のうえ、異常がないことを確認してからタンクローリーに移送する。

## (2) 塩酸含有廃液の保管・管理

塩酸含有廃液は、グローブボックス、フードからポリ容器等に入れる前に放射能濃度により分類して仕分けする。

$\beta$   $\gamma$  核種：37Bq/cm<sup>3</sup>以上または $\alpha$ 核種を含む液体廃棄物は必要に応じて固化処理し、高線量の第2棟固体廃棄物として試料ピットに一時保管した後、計画的に1Fの他施設へ搬出する。

それ以外の塩酸含有廃液についてはそれぞれ中和、希釈により安定化処理した後、ポリ容器等に封入し、塩酸含有廃液保管ラックへ移送して、1か月に1回程度の頻度で計画的に1Fの他施設に搬出する。搬出するまでの間、一時的に貯留する。塩酸含有廃液の搬出にあたっては、搬出前に塩酸含有廃液保管ラック内のポリ容器等内のサンプリングを行い、放射能濃度を評価のうえ、異常がないことを確認してから移送する。

### (3) 有機廃液の保管・管理

有機廃液は、グローブボックス、フードからポリ容器等に入れる前に放射能濃度により分類して仕分けする。

$\beta$   $\gamma$  核種：37Bq/cm<sup>3</sup> 以上または $\alpha$ 核種を含む液体廃棄物は必要に応じて固化処理し、高線量の第2棟固体廃棄物として試料ピットに一時保管した後、計画的に1Fの他施設へ搬出する。

それ以外の有機廃液についてはそれぞれ中和、希釈により安定化処理した後、ポリ容器等に封入し、有機廃液保管ラックへ移送して、1か月に1回程度の頻度で計画的に1Fの他施設に搬出する。搬出するまでの間は、一時的に貯留する。有機廃液の搬出にあたっては、搬出前に有機廃液保管ラック内のポリ容器等内のサンプリングを行い、放射能濃度を評価のうえ、異常がないことを確認してから移送する。

### (4) 設備管理廃液の保管・管理

設備管理廃液は汚染検査室の手洗い及びシャワー設備、ローディングドックの床ドレン並びに換気空調設備室の排気口釜場から配管を通して設備管理廃液受槽まで移送して、1か月に1回程度の頻度で計画的に水処理設備に搬出する。搬出するまでの間は、一時的に貯留する。設備管理廃液の搬出にあたっては、搬出前に設備管理廃液受槽内のサンプリングを行い、放射能濃度を評価のうえ、異常がないことを確認してからタンクローリーに移送する。

分析・試験設備に使用する材料

セル等では、分析作業において硝酸、アルカリ等による溶解、分離等に伴い第2棟液体廃棄物が発生する。分析作業1回当たりに発生する第2棟液体廃棄物は各エリアにおいて少量であることから、ステンレス製バットの使用等、耐食性を考慮した材料の容器等を使用する。分析・試験設備における第2棟液体廃棄物の発生量の予測値を図2.9.7-1に示す。

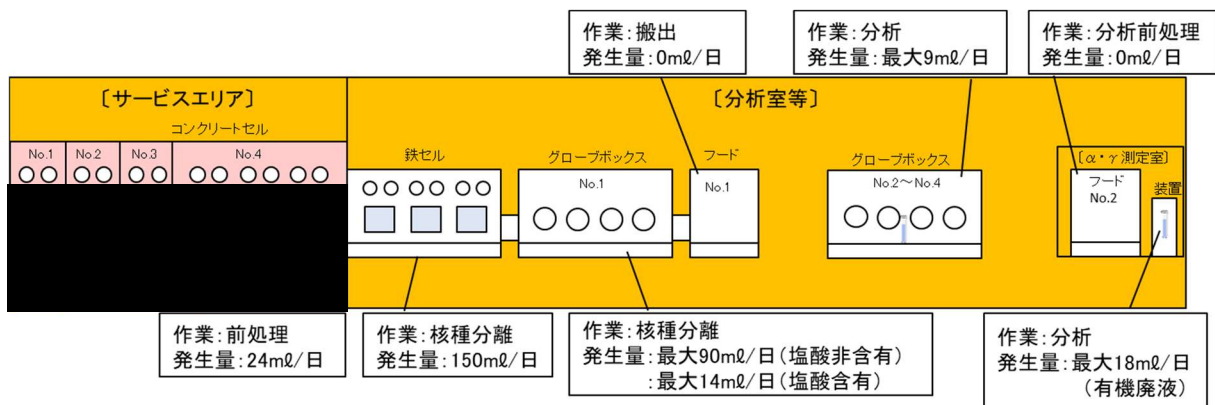


図 2.9.7-1 分析・試験設備における放射性的液体廃棄物の発生量 (予測値)

分析廃液は、その廃液中に分析作業に使用する硝酸等が含まれることから、フードNo.1ドレン、流し台等から受槽までの配管、分析廃液受槽、主要配管、ポンプのシャフト等については、主に硝酸に対する耐食性に優れたSUS316Lを使用する。

なお、硝酸を含まない設備管理廃液を一時的に保管する設備管理廃液受槽、主要配管等については、SUS304を使用する。

(実施計画: II-2-48-添9-1)

## 液体廃棄物一時貯留設備に使用する材料

分析廃液受槽にて一時的に保管する第 2 棟液体廃棄物は、分析作業において硝酸、アルカリ等による溶解、分離等に伴い発生する廃液や試薬調製に係る洗浄等によって発生する分析廃液である。そのため、分析廃液受槽及び主要配管等については、主に硝酸に対する耐食性を考慮する必要があることから、硝酸に対する耐食性に優れ、かつ構造強度を考慮して SUS316L を使用する。また、フード No.1 ドレン、流し台等から受槽までの配管は SUS316L を使用する。

設備管理廃液受槽にて一時的に保管する第 2 棟液体廃棄物は、結露水等の分析廃液以外の管理区域から発生する設備管理廃液であることから、構造強度を考慮して SUS304 を使用する。液体廃棄物一時貯留設備の主な材料を図 2.9.8-1 に示す。

また、塩酸含有廃液及び有機廃液についても、耐食性に優れたポリエチレン製容器等を使用して移送、貯留する。

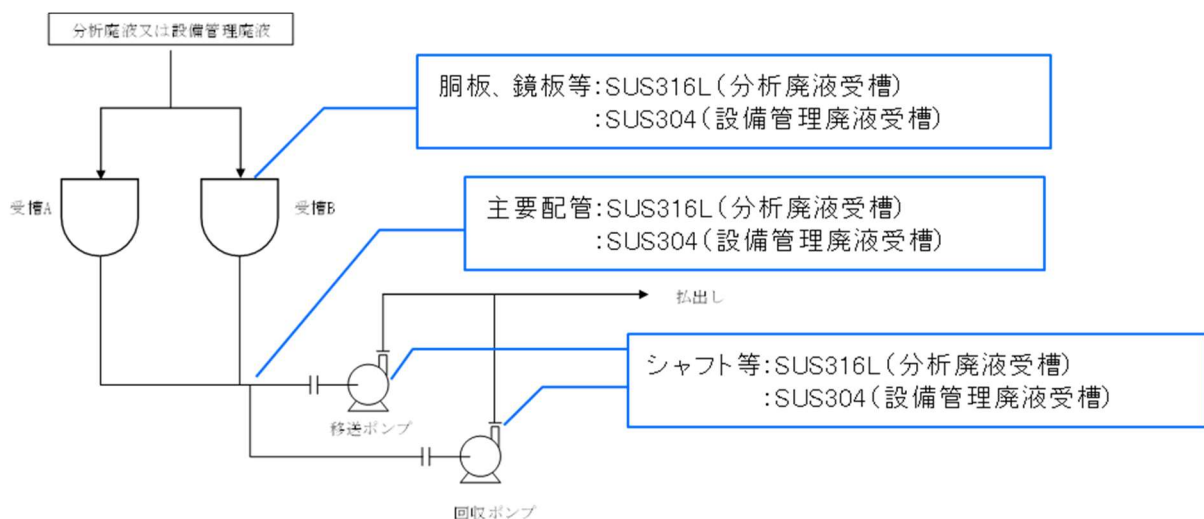


図 2.9.8-1 液体廃棄物一時貯留設備の主な材料

## 固化処理の概要

放射能濃度が $\beta$   $\gamma$  : 37Bq/cm<sup>3</sup>以上または $\alpha$ 核種を含む第2棟液体廃棄物に対し、第2棟では、必要に応じて固化処理を実施する。

固化処理は、コンクリートセル及びグローブボックスにて実施され、固化処理後に高線量の第2棟固体廃棄物として、福島第一原子力発電所内の1Fの他施設へ払い出す。

なお、固化処理については、当該液体廃棄物が入った容器（ポリ容器等）に固化剤（セメント材又は石膏材）を加え、攪拌棒等で混練し数日静置後、第2棟固体廃棄物としての管理を行う。また、混練時には液体と固化剤との水和熱が発生するため、適宜温度を温度計で確認しながら作業を行う。さらに、固化剤は酸性の液体と反応し、ガスを発生させる恐れがあるため、当該液体廃棄物の液性が中性であることを確認した後、固化処理を行う。

なお、機構では一部の液体廃棄物に対して、上記同様の処理方法を採用している。

液位計及び漏えい防止堰の概要

(1) 液位計

分析廃液受槽及び設備管理廃液受槽には、漏えい等を考慮して液位計を設置する。液位計の設置位置を以下に示す。

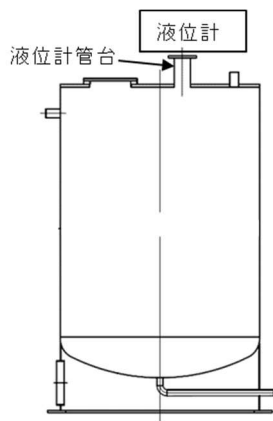


図 2.9.10-1 液位計の設置位置

(2) 漏えい防止堰

i) 漏えい防止堰の性能

第 2 棟液体廃棄物を一時的に保管する分析廃液受槽及び設備管理廃液受槽，塩酸含有廃液保管ラック及び有機廃液保管ラックは，漏えい拡大防止のための堰内に設置する。堰は，堰内に設置するそれぞれの受槽及び保管ラックの漏えい廃液を全量保持できる容量とする。また，堰の床，壁はエポキシ樹脂 を使用して塗装することにより耐水性を確保する。

表 2.9.10-1 漏えい防止能力の評価

堰 <sup>*1</sup>	名称	容量 [m <sup>3</sup> ]	想定する最大の 漏えい量[m <sup>3</sup> ]	堰の床面積[m <sup>2</sup> ]	見込み高さ <sup>*2</sup> [cm]	必要な堰の高さ [cm]	堰の高さ[cm]	評価
			A	B	C	D=A/B×100+C	E	
(1)	分析廃液受槽 A	3	6.1	37	13	29	40 以上	堰の高さは 想定する最 大量の漏え い廃液を保 持するのに 必要な高さ を満足して おり，施設 外への漏え いを防止で きる。
	分析廃液受槽 B	3						
	塩酸含有廃液保管ラック	0.07						
	有機廃液保管ラック	0.03						
(2)	設備管理廃液受槽 A	7	14	39	14	50	60 以上	
	設備管理廃液受槽 B	7						

\*1 図 2.9.10-2 の番号に対応

\*2 基礎体積による高さ増加分 (基礎体積÷受槽及び保管ラックを設置する堰の床面積)

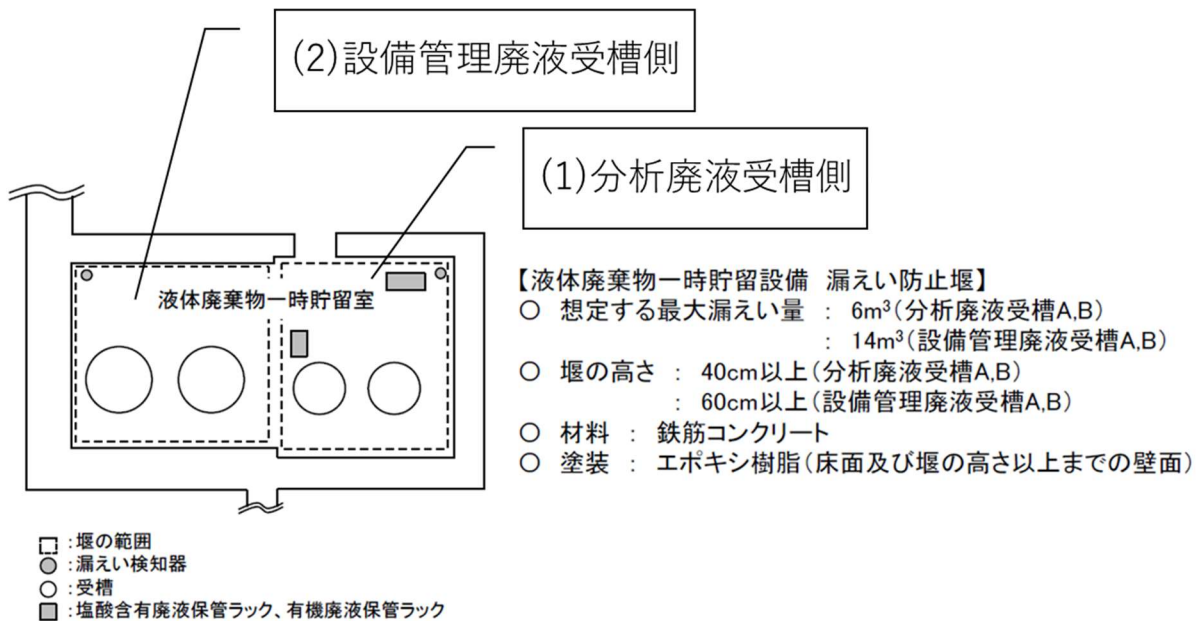


図 2.9.10-2 受槽の位置

ii) 堰の床及び壁の塗装

塗装の範囲は、第 2 棟液体廃棄物を内包するそれぞれの受槽及び保管ラックの漏えい廃液を全量保持できるように設計した堰内の床及び床面から堰の高さ以上までの壁とする。堰の塗装範囲を図 2.9.10-2 に示す。

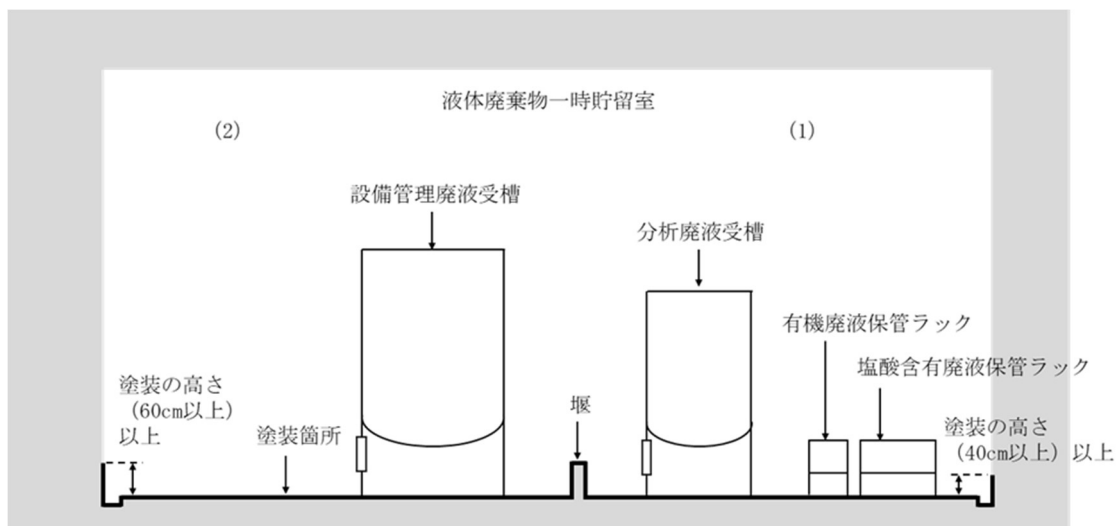


図 2.9.10-3 堰の塗装範囲

ii) 堰内の配管及び電気配線並びに排気管及び空調ダクトの貫通部

① 配管

図 2.9.10-2 及び図 2.9.10-3 の堰内の範囲の貫通部は原則として、壁については堰の高さ以上に設け、床については堰の高さ以上までスリーブを立ち上げる。



② 電気配線（ケーブルトレイ及び電線管）

図 2.9.10-2 及び図 2.9.10-3 の堰内の範囲の配管貫通部は原則として、壁については堰の高さ以上に設け、床については貫通部を設けない。

③ 排気管及び空調ダクト

図 2.9.10-2 及び図 2.9.10-3 の堰内の範囲の配管貫通部は原則として、壁については堰の高さ以上に設け、床については貫通部を設けない。

*(実施計画：II-2-48-添付 8-1～4)*

第2棟固体廃棄物に対する遮へいの概要

第2棟固体廃棄物に対する遮へいの概要を図2.9.11-1～図2.9.11-3に示す。

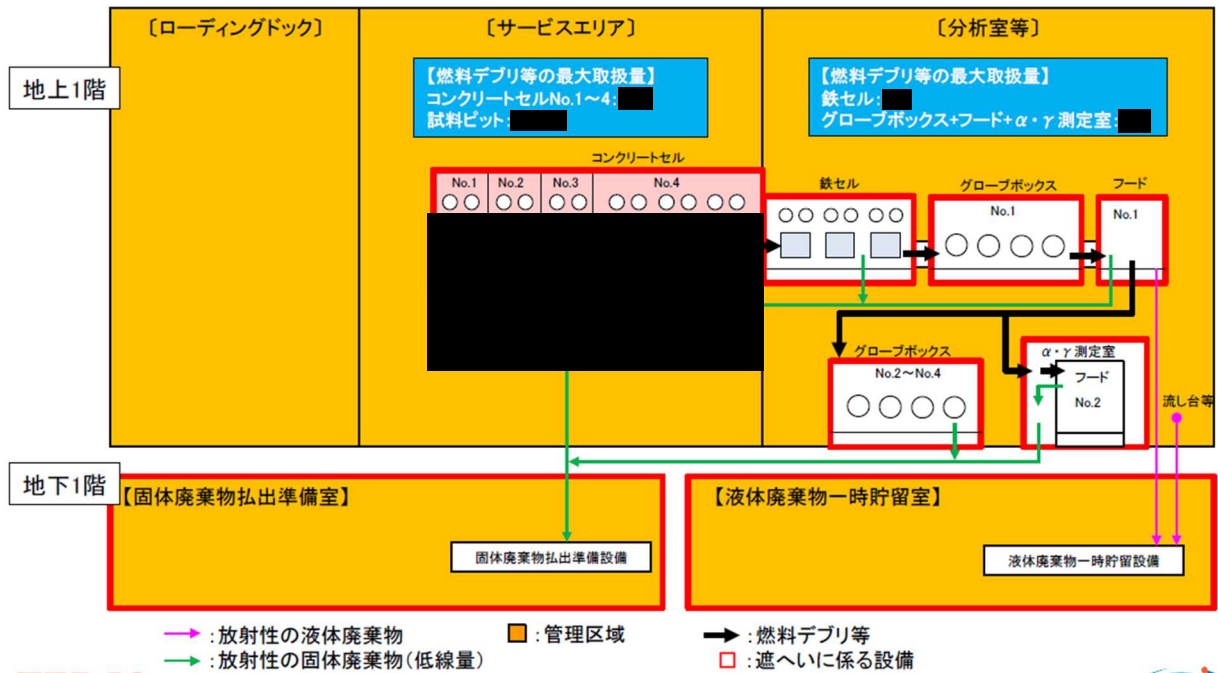
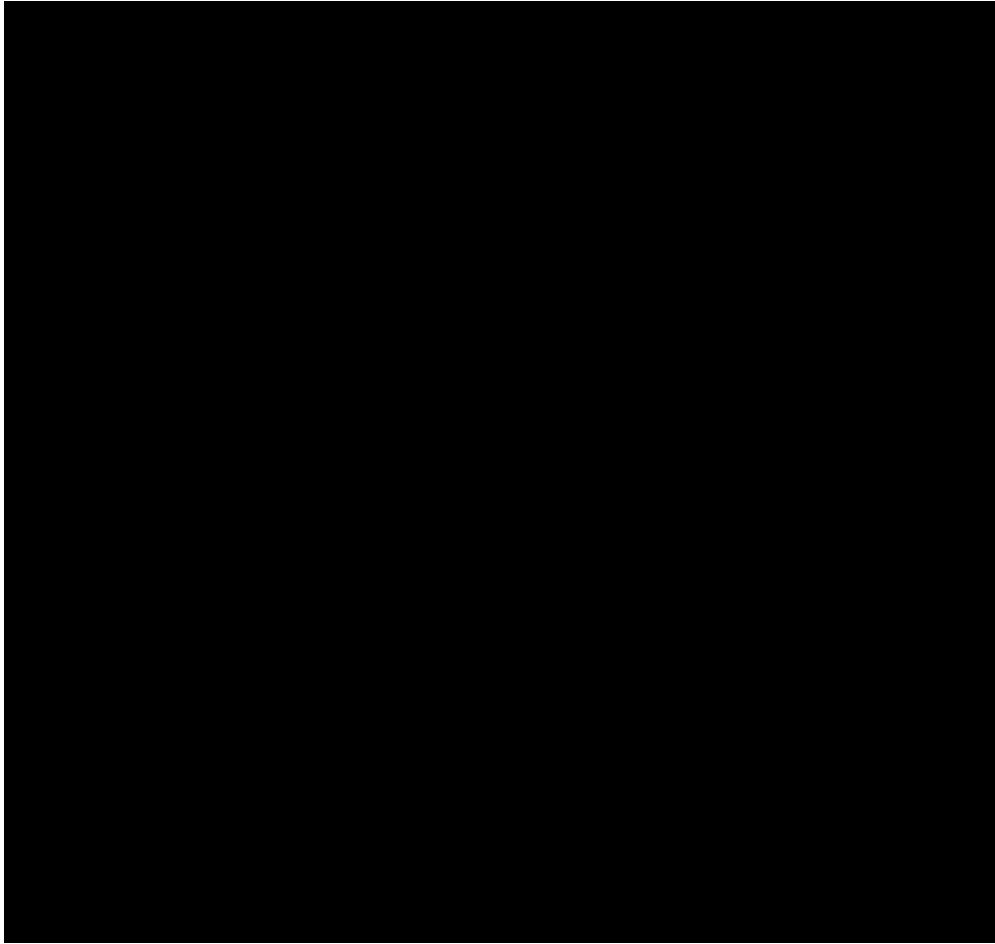


図2.9.11-1 第2棟固体廃棄物に対する遮へいの概要①

第2棟における外部放射線に係る設計基準線量率は、JEAC4615(原子力発電所放射線遮へい設計規程)に基づき設定する。なお、管理区域内の各エリアにおける線量率区分については、作業内容に応じて割当てた。

	区分	外部放射線に係る設計基準線量率	第2棟での線量率区分の考え方
管理区域外	A	0.0026mSv/h以下	—
管理区域	B	0.01mSv/h未満	人が常時作業を行うエリア。
	C	0.05mSv/h未満	人の立入頻度が比較的小さいエリア。 ただし、分析室等のグローブボックス、フードを設置する室については、作業頻度が比較的多いが、グローブボックス及びフード表面での線量率が高くなるため、区分Cとする(作業者の放射線防護装備、時間管理等により被ばく線量を管理する)。
	D	0.25mSv/h未満	設備の点検・保守等の特定の業務でのみ立ち入るエリア(人の立入頻度、立入時間が短い)。
	E	1mSv/h未満	—
	F	1mSv/h以上	燃料デブリ等を取り扱うため線量率が高いが、マンフレータ等を用いて遠隔で取り扱うため、原則として人が立ち入らないエリア。

図2.9.11-2 第2棟固体廃棄物に対する遮へいの概要②



■ : 管理区域 ■ : 遮へい(壁)

図 2.9.11-3 第2棟固体廃棄物に対する遮へいの概要③

液体廃棄物関係の漏えい検知に係る検出器等の取付箇所

第2棟液体廃棄物の漏えい検知に係る検出器等の取付箇所を図2.9.12-1～図2.9.12-2に示す。

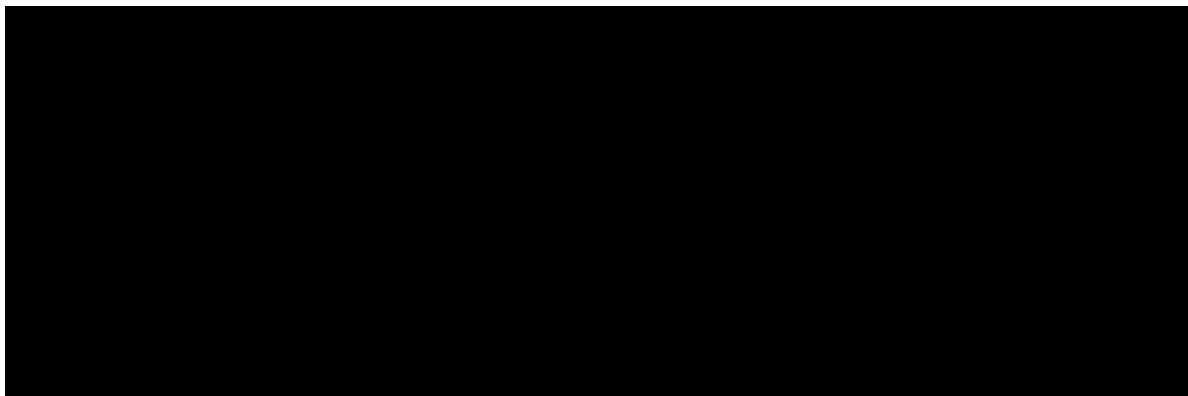


図2.9.12-1 液体廃棄物関係の漏えい検知に係る検出器等の取付箇所①

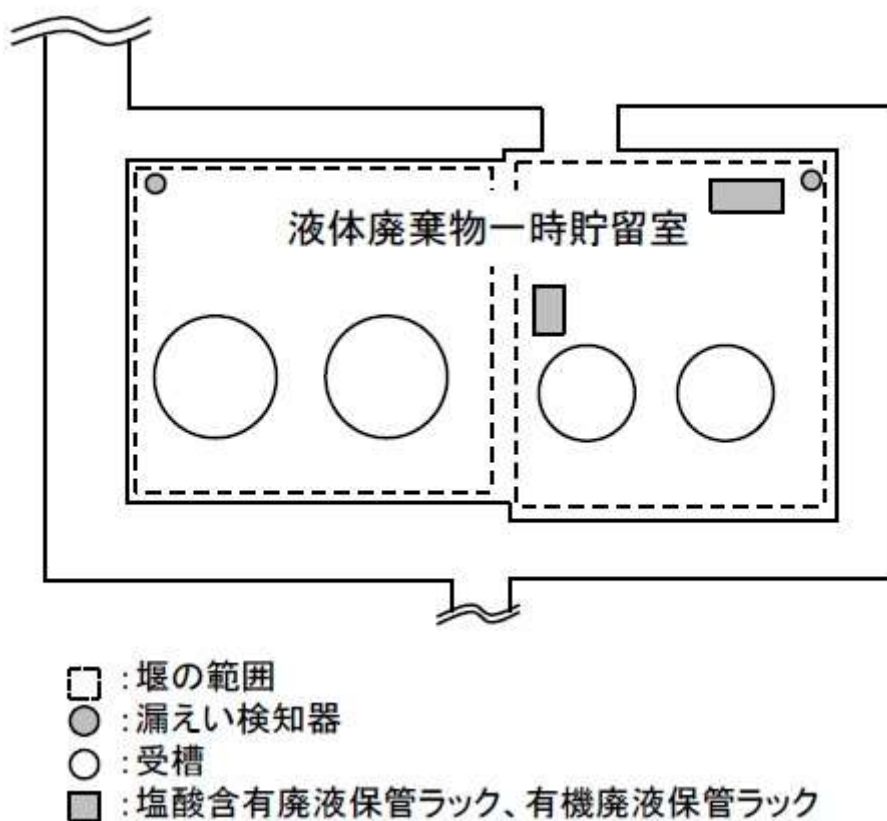


図2.9.12-2 液体廃棄物関係の漏えい検知に係る検出器等の取付箇所②