

東海再処理施設の安全対策に係る廃止措置計画認可変更申請対応について

令和2年6月18日
再処理廃止措置技術開発センター

○ 令和2年6月18日 面談の論点

- 【資料1】TVF 受入槽(G11V10)及び回収液槽(G11V20)据付ボルトのせん断強度試験について
- 【資料2】TVF 受入貯槽(G11V10)及び回収液槽(G11V20)の据付ボルトのせん断強度と安全裕度の向上に関する検討について
- 【資料3】TV 建家の機器・配管系の耐震性計算書(代表例)について
- 【資料4】HAW 及び TVF の竜巻対策に関する基本的考え方及び評価について
- 【資料5】HAW 及び TVF の火山事象対策に関する基本的考え方及び評価について
- 【資料6】HAW 及び TVF の外部火災対策に関する基本的考え方及び評価について
- 【資料7】事故対処に係る基本方針及び HAW における事故対処の有効性評価について
- その他

以上

ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟
受入槽（G11V10）及び回収液槽（G11V20）
据付ボルトのせん断強度試験について

1. 試験の概略

高放射性廃液を高放射性廃液貯蔵場（HAW）から受け入れる受入槽（G11V10）及び回収液槽（G11V20）（以下、「受入槽等」と言う。）は槽の4方向側面に取り付けられたラグと据付ボルトを介して架台に固定し、支持する構造となっている。

地震力が作用する場合において、これらのボルトは主として受入槽等の水平方向の慣性力を受け止めて支持する役割を担う。その際、ボルトにはせん断応力が生じることとなる。したがって、地震時に受入槽等の支持構造の健全性を保つには、地震力によって生じるせん断応力に対してボルトの許容応力が十分余裕を持つことが必要である。

以上のことから、当該ボルトのせん断強度を現物に即して把握することは受入槽等の耐震性を判断する上で重要であるため、実物を模擬した荷重試験を実施しデータを取得した。

荷重試験は“日本機械学会規格 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2008年版）〈第I編 軽水炉規格〉”（設計規格）^[1]の“SSB-3000 クラス1 支持構造物の設計”における“SSB-3210 許容荷重”に定める内容に準拠したものとした（表1）。

表 1 荷重試験の条件と実機の荷重状態の同一性

SSB-3210 要求項目		実機の支持構造	荷重試験条件
同一の材質	同一規格材	JIS G 4303 ステンレス鋼棒材の SUS316	JIS G 4303 ステンレス鋼棒材の SUS316
	同一製造法	1050℃での固溶化処理	1080℃での固溶化処理
同一の品質管理基準		JISに定める化学成分、機械的特性を材料検査証明書で確認。	JISに定める化学成分、機械的特性を材料検査証明書で確認。
同一の形状		—	実機設計図に基づき製作し、実機の使用前検査と同じ検査項目を確認。当該支持構造物が地震時に受ける荷重状態（せん断）に合致するような形状で試験を実施。
供試体の個数（3個）		—	3個
許容荷重の計算に用いる値（得られた値のうち最小の値）		—	得られた値のうち最小の値

荷重試験の結果と、その結果を用いて“SSB-3240 供用状態 D での許容荷重”に規定されている方法を用いて算出した許容荷重を表 2 に示す。“日本機械学会規格 発電用原子力設備規格 材料規格（2012年版）”（材料規格）^[2]に記載されている JIS G 4303 ステンレス鋼棒 SUS316 の設計降伏点・設計引張強さから設計規格^[1]の“SSB-3133 供用状態 D での許容応力”に規定さ

れている方法を用いて算出した許容せん断応力は 142 MPa (45℃) であることから、実機の支持構造を模擬した荷重試験から得られた許容応力には十分な裕度があることが確認できた。

表 2 荷重試験から得た値に基づき計算した許容荷重および許容応力

観測値 最小値 T_L	120.4 kN/本
試験温度	室温
最高使用温度	45 °C
S_{yt} (JIS G 4303 SUS316)	205 MPa (室温) ※ 材料規格 Part 3 第 1 章 表 6 の常温最小降伏点。
S_{yd} (JIS G 4303 SUS316)	201.8 MPa (45℃) ※ 材料規格 Part 3 第 1 章 表 6 の 65℃ の値 (189 MPa) と 40℃ の値 (205 MPa) を線形補間して求めた 45℃ の値。
許容荷重 $A_L = \frac{0.6T_L S_{yd}}{S_{yt}}$	71 kN/本 (45℃)
供試体断面積 C	314 mm ² ※ M20 ボルト呼び径 (20mm) より $3.14 \times 10^2 \cong 314$
許容応力 $f_s = \frac{A_L}{C}$	226 MPa (45℃)

2. 受入槽等の支持構造

ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の受入槽（G11V10，容量 11 m³）及び回収液槽（G11V20，容量 11 m³）は同形状の縦型円筒槽であり，固化セル（地下 2 階）の床面，北側壁及び東側壁に固定された共通の架台上に設置されている（図 1）。

架台は断面寸法が 200 mm×200 mm（肉厚 12 mm）及び 150 mm×150 mm（肉厚 9 mm）の角型鋼管（SUS304 材）を溶接して組み上げた頑強な架構構造物で，脚部の床面 7 か所，北側壁面 4 か所，東側壁面 6 か所で建家躯体に埋め込まれている支持金物に溶接で取り付けられている。

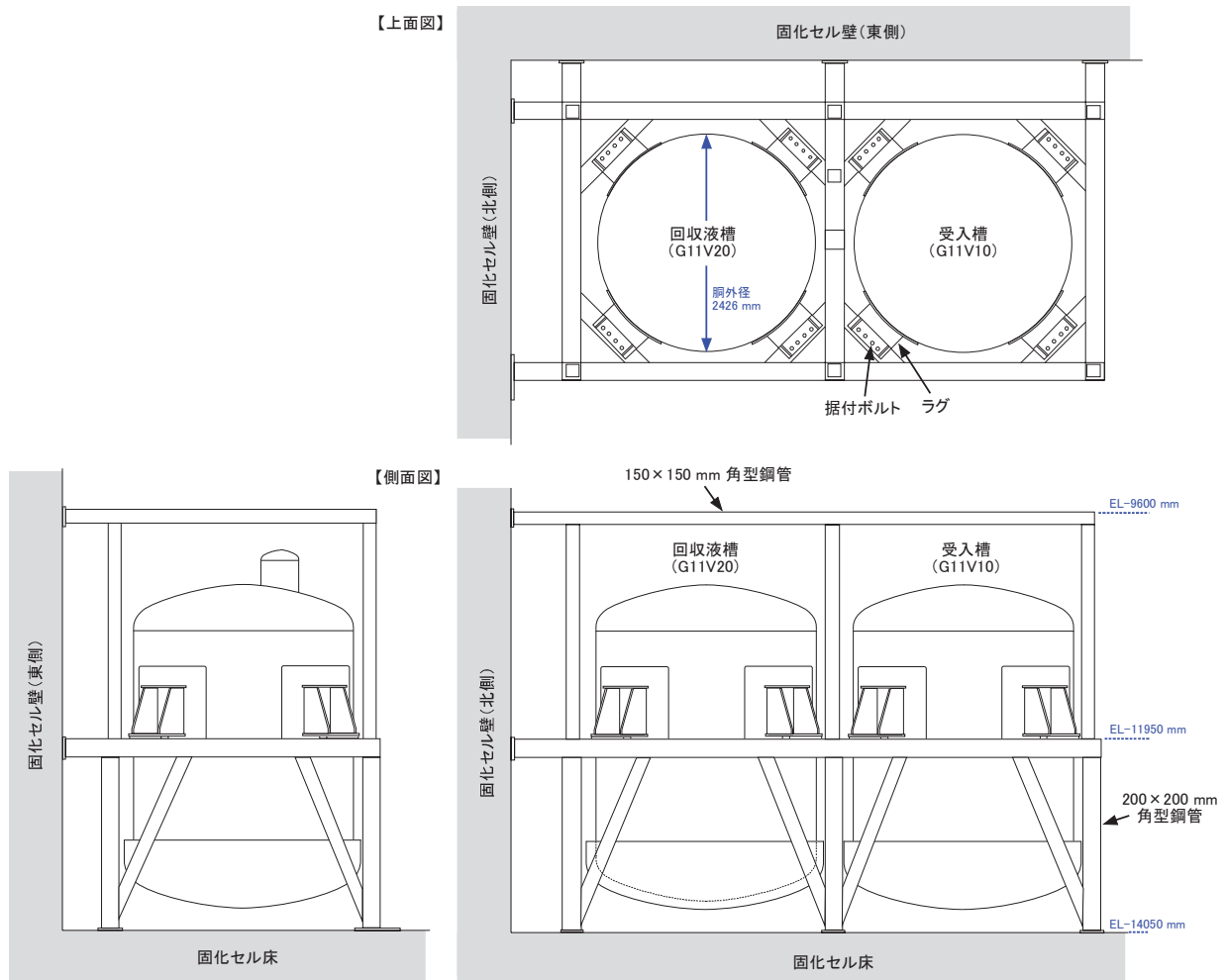


図 1 受入槽・回収液槽

受入槽等には側面 4 方向 1 か所ずつにラグが設けられている。ラグを，架台の 200 mm×200 mm（肉厚 12 mm）角型鋼管上に溶接したライナー（厚さ 30 mm の SUS304 材の板）にねじ込まれた 4 本の据付ボルト（M20 サイズ）に差し込み，二重ナットを用いて締結している（図 2，図 3）。全体として，貯槽は 16 本の据付ボルトを用いて固定されている。

地震力が作用した場合，これらのボルトには主として水平方向の加振力が働くことでせん断応力が生じる。まず，建家が地震力によって水平動を生じ，建家からの水平力は床面及び 2 方向の壁面から架台に伝達し，架台上の据付ボルトを通して受入槽等を水平方向に

押す力として働く。その際には、ラグと架台に溶接されたライナーの境界位置の据付ボルト断面にせん断力が作用する。

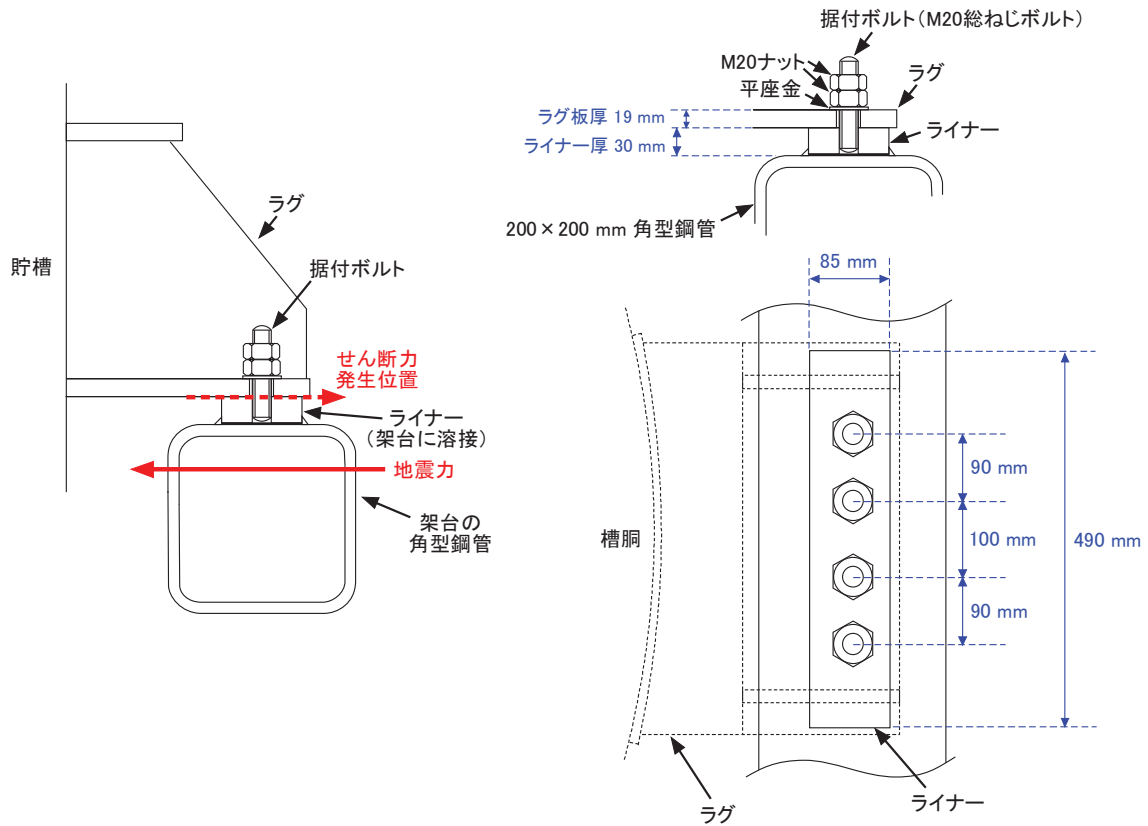


図2 受入槽・回収液槽の直接支持構造

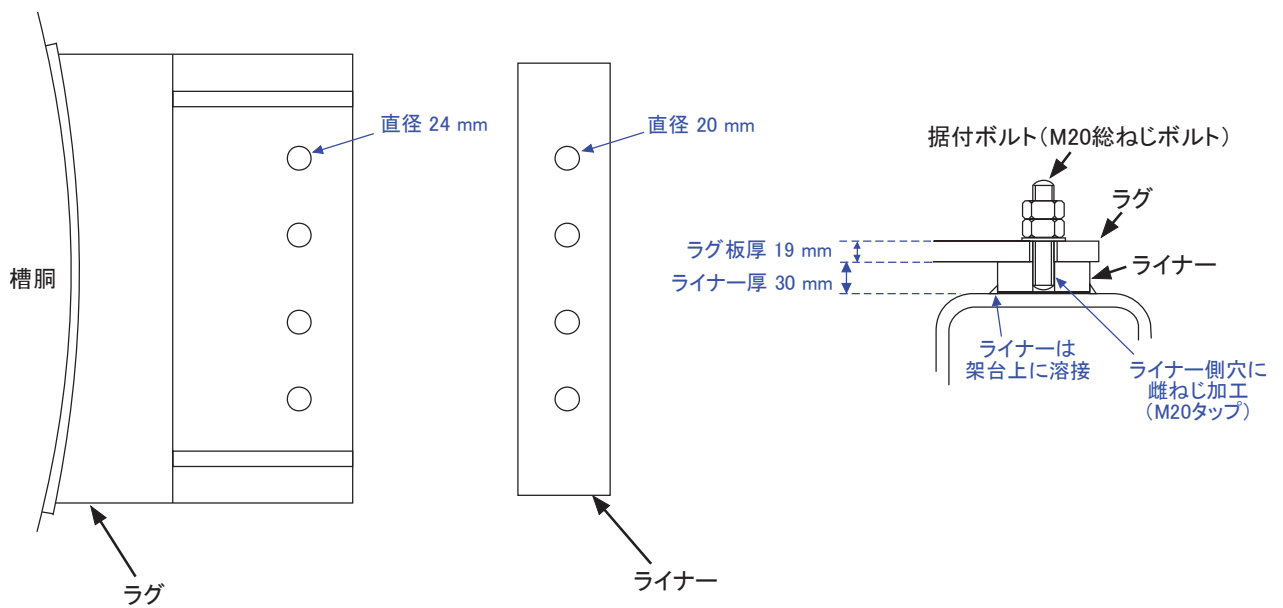


図3 受入槽・回収槽のラグの固定状態

3. せん断強度試験

3.1. 試験の対象

実機で使用された材料および支持構造に基づき、受入槽等を支持している据付ボルトが実際の設置状態で耐えうる最大のせん断力（据付ボルトが破断する恐れのある荷重）を取得する。また、取得した荷重データから許容荷重及び許容応力を評価する。

3.2. 準拠する規格

前項の目的に適した試験を実施するために、設計規格^[1]における“SSB-3210 許容荷重”に定める内容に準拠した荷重試験を実施する。その要件は以下の通りである。

SSB-3210 許容荷重

材料の許容荷重に関する次の SSB-3220 から SSB-3240 を満足する場合は、SSB-3100 の材料の許容応力の規定に変えることができる。SSB-3210 から SSB-3240 において、計算に用いる材料の設計降伏点は、当該支持構造物に使用する材料のうち最高使用温度における材料規格 Part3 第 1 章 表 6 に定める値と試験温度における材料規格 Part3 第 1 章 表 6 に定める値との比が最小となる材料の値としなければならない。

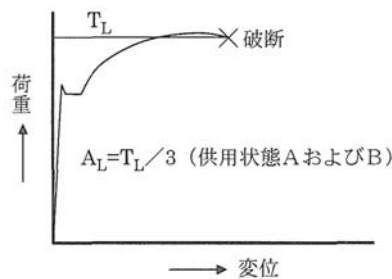
荷重試験における供試体の個数は、同一の材質および形状を有する支持構造物ごとに 3 個とし、供試体によって得られた値のうち最小の値を用いて許容荷重を計算する。ただし、計算で求めた許容荷重の 0.9 倍の値を許容荷重とする場合は、同一の材質及び形状を有する支持構造物ごとに 1 個の供試体により得られた値を用いることができる。

解説 SSB-3210 許容荷重

SSB-3200 は、荷重試験によって支持構造物の許容荷重をあらかじめ求めておき、実際の荷重がその許容荷重以内であることを確認することにより支持構造物の強度上の評価を行う場合について定めたものである。荷重試験の具体例を次に示す。

(1) 荷重試験の具体例

支持構造物の荷重試験は、それが使用される荷重状態（引張またはせん断等）に合致させた方法で行わなければならない。例えば、配管のハンガロッドに対して荷重試験によって許容荷重を求める場合は、引張試験を行えばよい。この時に得られる T_L は解説図 SSB-3210-1 のようになる。



解説図 SSB-3210-1 荷重-変位曲線

したがって、供用状態 A および B における許容荷重 A_L は、最高使用温度が室温の場合において $A_L = \frac{T_L}{3}$ となる。

SSB-3210 で規定した許容荷重と SSB-3110 の許容応力との関係は、次に掲げるとおりである。

供用状態 A および B における許容荷重は、

$$A_L = \frac{1}{3} \times T_L \times \frac{S_{yd}}{S_{yt}} \quad (\text{解説 SSB-32})$$

T_L は、試験時に最も弱い部分が S_u に達した時の値と考えられるため、引張応力で考えれば、

$$\sigma_L = \frac{1}{3} \times S_u \times \frac{S_{yd}}{S_{yt}} \quad (\text{解説 SSB-33})$$

となる。

SSB-3121 の許容応力では、引張に対して、

$$f_t = \text{MIN} \left[\frac{0.7}{1.5} S_u, \frac{1}{1.5} S_y \right] \quad (\text{解説 SSB-34})$$

としており、 $\frac{S_{yd}}{S_{yt}}$ は許容荷重の温度補正を表すため、最高使用温度における S_u ベースで考えると、

$$\frac{A_L}{f_t} = \frac{\frac{1}{3} S_u}{\frac{0.7}{1.5} S_u} = \frac{2.14}{3} = 0.713 \quad (\text{解説 SSB-35})$$

S_y ベースで考えると、通常材料では、 $S_y \geq \frac{1}{2} S_u$ であるため $S_y = \frac{1}{2} S_u$ と仮定して計算すると、

$$\frac{A_L}{f_t} = \frac{\frac{2}{3} S_y}{\frac{1}{1.5} S_y} = 1 \quad (\text{解説 SSB-36})$$

となり、許容応力に対して等価または安全側となる。

またステンレス鋼材 (SUS304 または SUS316) のように S_y が $\frac{1}{2} S_u$ を下回る材料においては、 $f_t = \frac{1.35}{1.5} S_y$ としているため、上記の考え方を採っても $S_y \geq \frac{1}{2.7} S_u$ の範囲の材料までカバーされることとなる。

なお、供用状態 A および B に対する割増し係数は、許容応力における S_y ベースの係数と等価である。

- (2) 本規定の「同一の材質および形状を有する支持構造物」とは、同一寸法で同一規格材を使用し、同一の製造法で製造され、同一の品質管理規準に合格したものであること。供試体の個数が 1 個の場合、 T_L の 90% を用いることにしたのは、ASME B&PV Code Section III NF-3281 (2001) による。3 個の場合、最低の T_L を用いるのは平均値より安全側であるためである。

3.3. 使用材料と規格への適合性

受入槽等実際に使用されている据付ボルトは JIS G 4303 で規格化されている SUS316 材で製作された M20 ボルト (並目ねじ) である。JIS の規格値と実際に使用されている据付ボルト、今回の荷重試験で用いた供試体の材料特性を表 3 に示す (なお、これらのエビデンスとなる材料試験成績書を添付-1 及び 2 に示す)。成分においては Si, S, Mn でやや差違が目立つが、いずれも JIS 規格の定める範囲内のバラツキである。

これより、本試験で用いる供試体は SSB-3210 の要求するところの〈同一の材質〉、すなわち「同一規格材 (=JIS G 4303 に基づく SUS316 ステンレス鋼棒材) を使用し、同一の製造法 (=同一熱処理温度で固溶化処理を実施) で製造され、同一の品質管理規準 (=当該 JIS に定められた項目について材料検査証明による確認) に合格したものに適合している」と考える。

表 3 受入槽等の据付けボルトと供試体の材料特性

対象 (SUS316)	寸法 (mm)	化学成分							
		C (%×100)	Si (%×100)	Mn (%×100)	P (%×1000)	S (%×100)	Ni (%×100)	Cr (%×100)	Mo (%×100)
規格範囲※1	—	max 8	max 100	max 200	max 45	max 30	1000 ~ 1400	1600 ~1800	200 ~300
実物		6	50	117	31	22	1001	1611	206
供試体		5	33	132	38	30	1000	1689	201

対象 (SUS316)	機械的特性							熱処理温度 (°C)
	試験温度 (°C)	試験片	0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	硬さ試験 (HBW)	
規格範囲※1	—	—	min 205	min 520	min 40	min 60	max 187	1010~1150 急冷
実物	20	4号試験片※2	274 (28 kgf/mm ²)	598 (61 kgf/mm ²)	64	75	134	1050
供試体	RT	10号試験片※3	265	600	61	72	156	1080

※1 JIS G 4303 SUS316

※2 JIS Z 2201 に定める径 14.0×焦点距離 50 mm の試験片サイズ。

※3 JIS Z 2201 に定める径 12.5×焦点距離 50 mm の試験片サイズ。

3.4 試験方法と規格への適合性

荷重試験の方法は実物の支持構造を模擬できるように検討を行った。実機の支持構造は「2. 受入槽等の支持構造」で述べたとおり、ラグの底板に設けられたボルト孔に据付ボルトを差し込み、二重ナットで締結したものである。据付ボルトはラグの底板と据付ボルトが埋め込まれたライナー（架台上に溶接で固定されている）によって拘束されるため地震動による水平力によってせん断力を負担する。

このような実機の固定状態における地震時せん断力を模擬するための試験治具を製作した。試験治具の概念を図 4 に示す。先に示した SUS316 の棒材を実機の設計図及び施工記録に基づきメートル並目ねじの規格（JIS B 0205）で加工した供試体（M20 ボルト相当、図 5）の一端を試験治具のライナー模擬体にはめ込んでラグ模擬体を挟み二重ナットで結合した。その際のナットの締め付けトルクは実機据付工事の時と同じ（98.07 N-m（1000 kg-cm））とした。ラグ模擬体及びライナー模擬体は実機ラグと同じ SUS304 で製作したものである（図 6、図 7）。なお、試験治具への取付けを考慮したためライナー模擬体の厚さ（50 mm）は実機ライナーの厚さ（30 mm）と異なっているが、据付ボルトのねじ込み深さ（30 mm、図 3 及び図 4 参照）は同じとすることで支持構造を同等としている。

荷重試験はラグ模擬体を油圧式一軸試験装置（引張・圧縮能力 1000 kN、図 8）のクロスヘッドに固定し、固定架台を設置した油圧式一軸試験装置のテーブルを上方へ一定の荷重速度で移動させていくことで、ラグ模擬体と固定架台（ライナー模擬体）に押さえられたボルト供試体に発生するせん断力を漸増させていき、その時の荷重と変位を測定する。荷重の増加はボルトが破断するまで継続した。これらの試験は株式会社 神戸工業試験場 茨城事業所（IS017025 認証試験所）にて実施した。

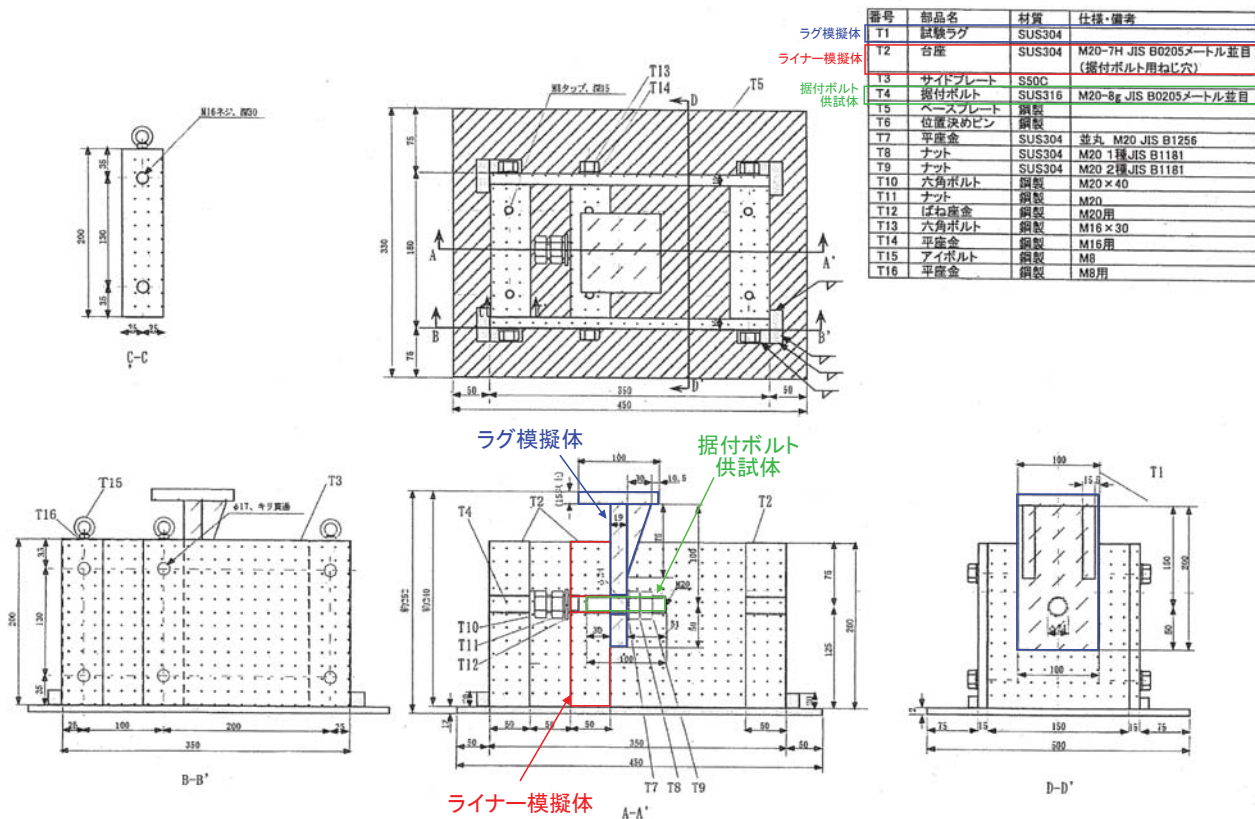


図4 せん断荷重試験の試験治具

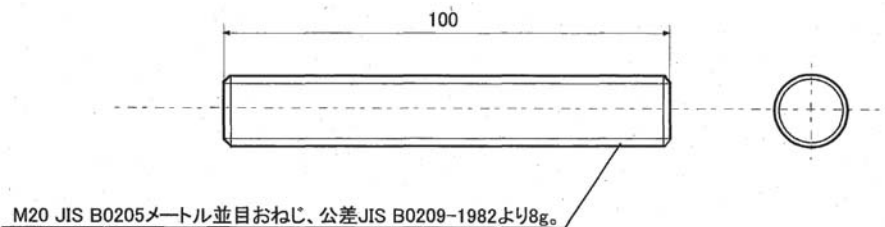


図5 据付ボルト供試体

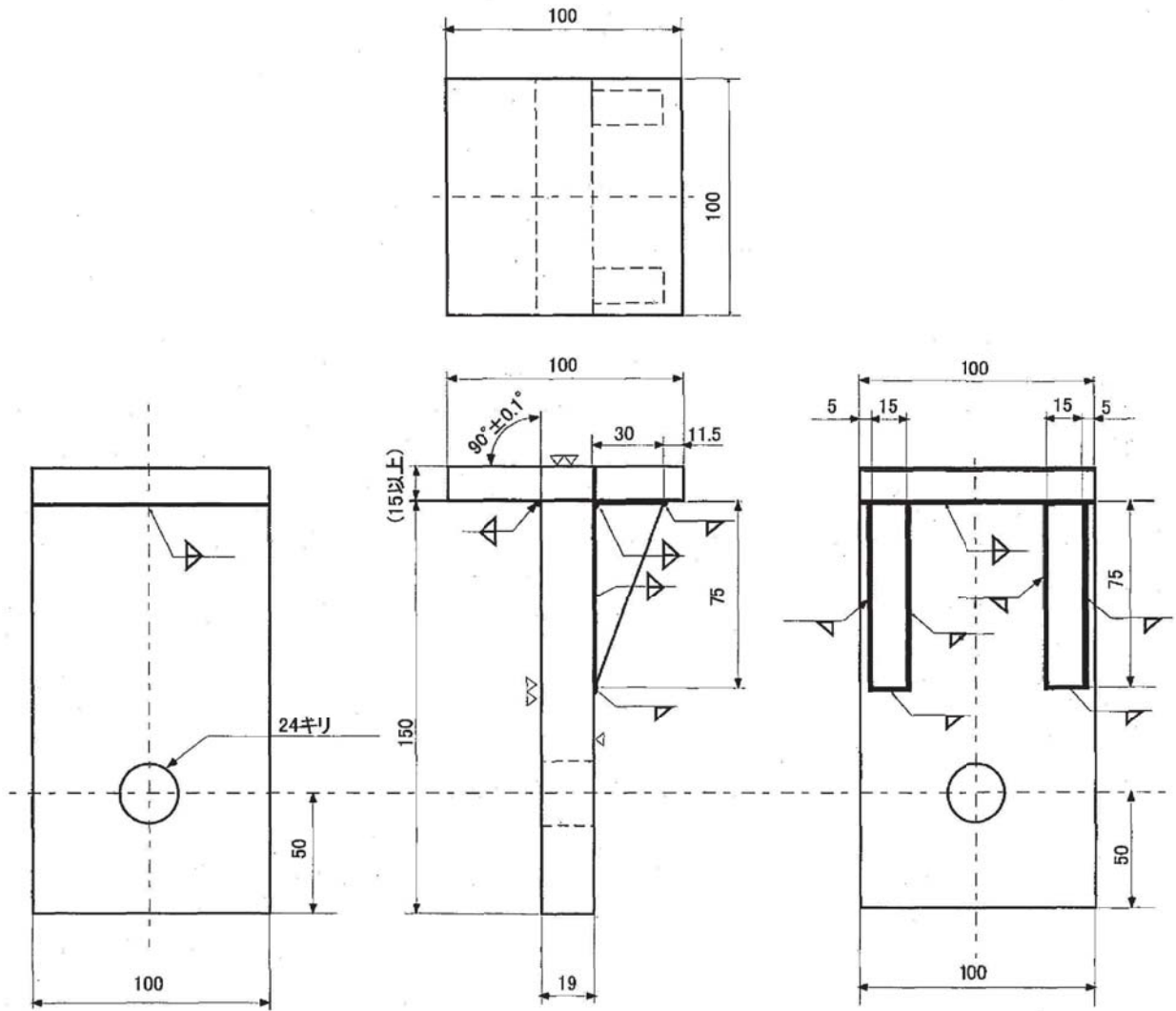


図 6 ラグ模擬体

*1 M20タップ貫通はJIS B0205メートル並目めねじとし、公差はJIS B0209-1982より7Hとする。

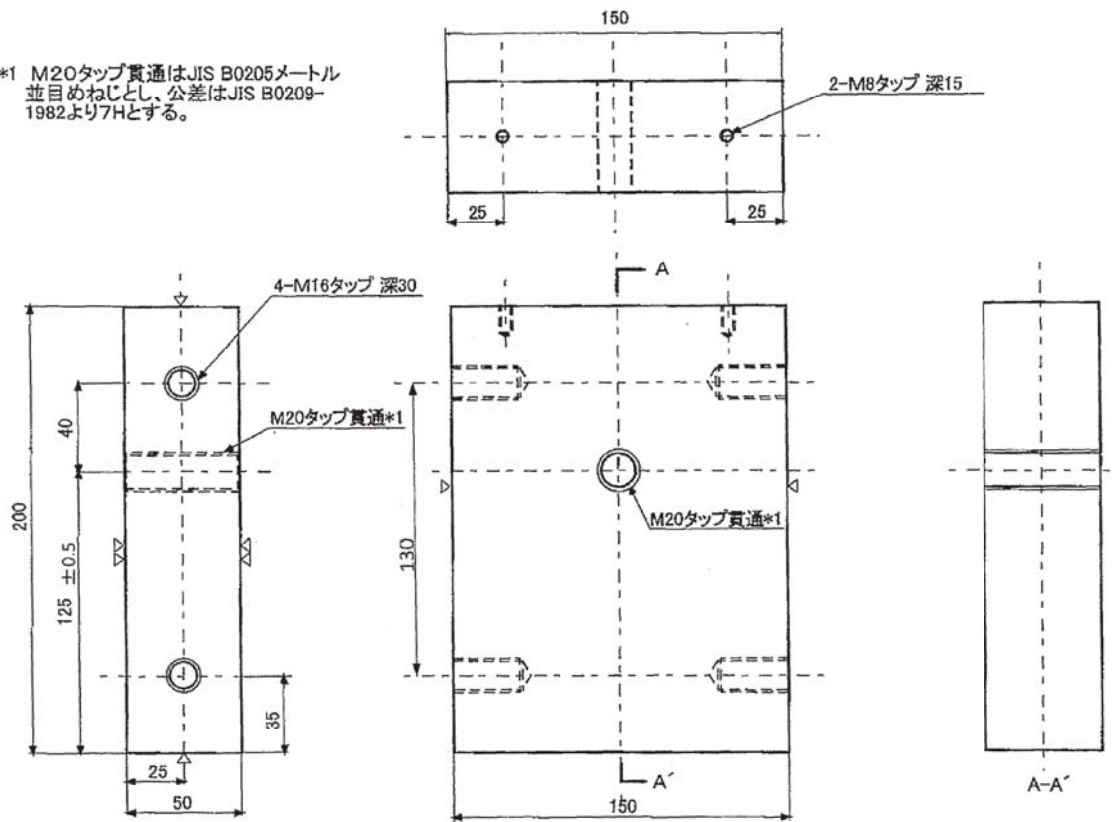


図7 ライナー模擬体

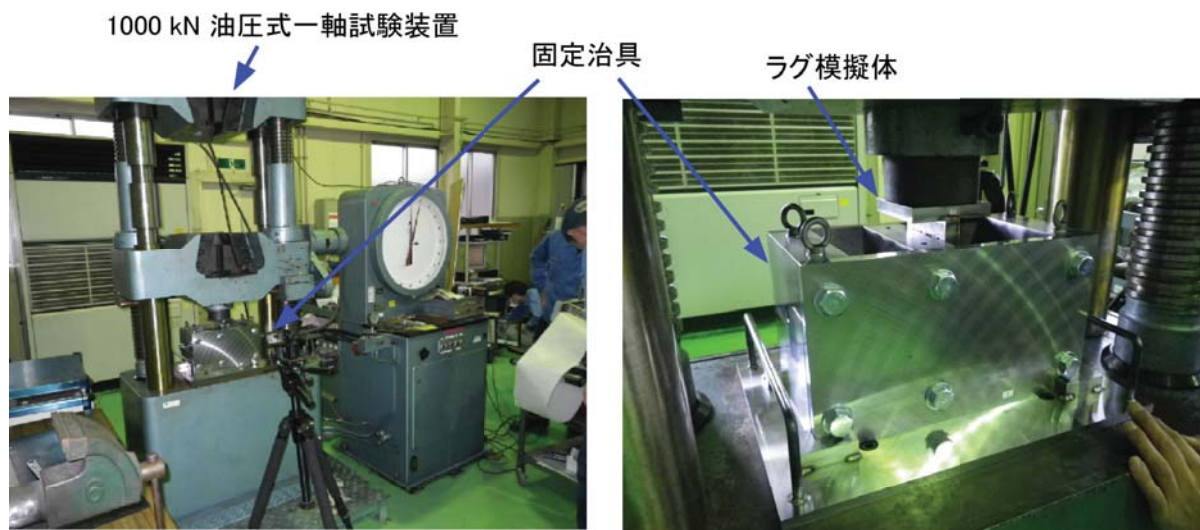


図 8 荷重試験装置外観

変位の測定は油圧式一軸試験装置に取り付けたデジタルハイトゲージにより測定した。また、荷重は試験機に内蔵された荷重計により測定した。試験回数は SSB-3210 の規定に基づき 3 回実施した。

以上より、本試験内容は SSB-3210 の要求するところの<同一の材質および形状を有する支持構造物ごとに 3 個>に適合したものとなっている。

また、実機における使用前検査項目・自主検査項目である材料確認検査、ボルト締付力確認、ボルト据付位置確認を行うことにより、同一の品質管理基準を満足するものとした。

4. 試験結果

荷重試験から得られた変位と荷重の関係を図 9 に示す。得られた最大荷重は 120.4~123.4 kN の範囲になり、最大荷重に至るまでの変位-荷重関係も概ね再現性のある結果となっている。

試験後の供試体の状態を図 10 に示す。せん断破壊はボルトを固定しているライナー模擬体とラグ模擬体の境界面で生じている。ラグ模擬体のボルト穴直径が 24 mm であることから、ボルトに若干の傾きが見受けられるものの、曲げ変形が影響するほどの傾きではないと考えられる。

1回目		2回目		3回目	
変位量 [mm]	荷重 [kN]	変位量 [mm]	荷重 [kN]	変位量 [mm]	荷重 [kN]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	5.6	0.5	6.0	0.5	6.6
1.0	25.0	1.0	25.8	1.0	29.2
1.5	43.8	1.5	43.0	1.5	44.6
2.0	54.0	2.0	52.4	2.0	54.1
2.5	62.1	2.5	59.7	2.5	62.2
3.0	69.1	3.0	68.0	3.0	70.4
3.5	76.1	3.5	75.5	3.5	77.6
4.0	82.3	4.0	81.7	4.0	84.1
4.5	88.2	4.5	87.6	4.5	89.8
5.0	94.2	5.0	93.0	5.0	95.1
5.5	100.2	5.5	98.2	5.5	100.4
6.0	105.7	6.0	103.0	6.0	105.2
6.5	110.5	6.5	107.5	6.5	109.8
7.0	114.8	7.0	110.9	7.0	113.8
7.5	118.4	7.5	114.1	7.5	117.0
8.0	120.5	8.0	116.7	8.0	120.0
8.5	119.1	8.5	119.0	8.5	122.2
9.0	110.3	9.0	120.1	9.0	123.3
9.5	97.0	9.5	120.4	9.5	123.4
10.0	74.9	10.0	117.6	10.0	121.2
10.5	37.5	10.5	111.0	10.5	100.6
11.0	10.0	11.0	99.7	11.0	36.4
11.5	4.1	11.5	46.8	11.3	0.0
12.0	1.4	11.9	16.4		
12.5	1.5				
13.0	1.5				
13.5	2.2				
14.0	1.7				
14.5	1.4				
15.0	1.2				
15.8	0.0				

最大値	8.0	120.5	9.5	120.4	9.5	123.4
-----	-----	-------	-----	-------	-----	-------

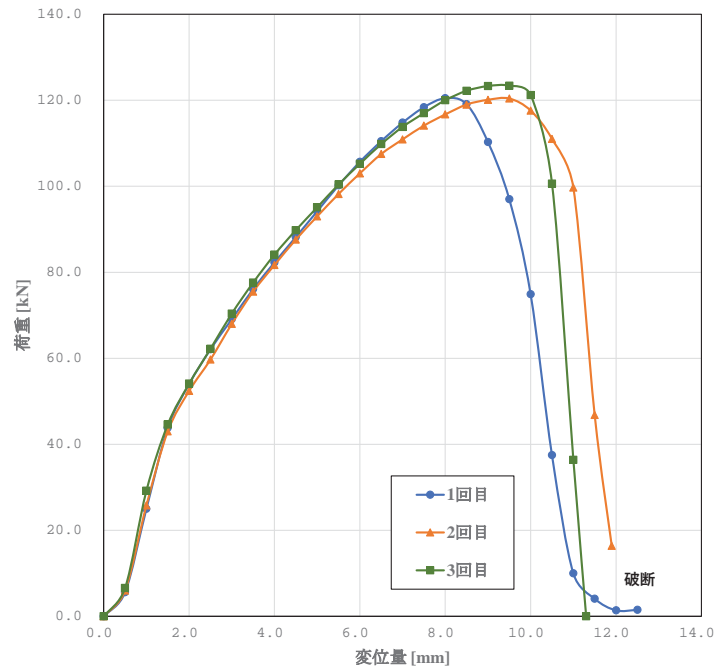


図9 荷重試験結果

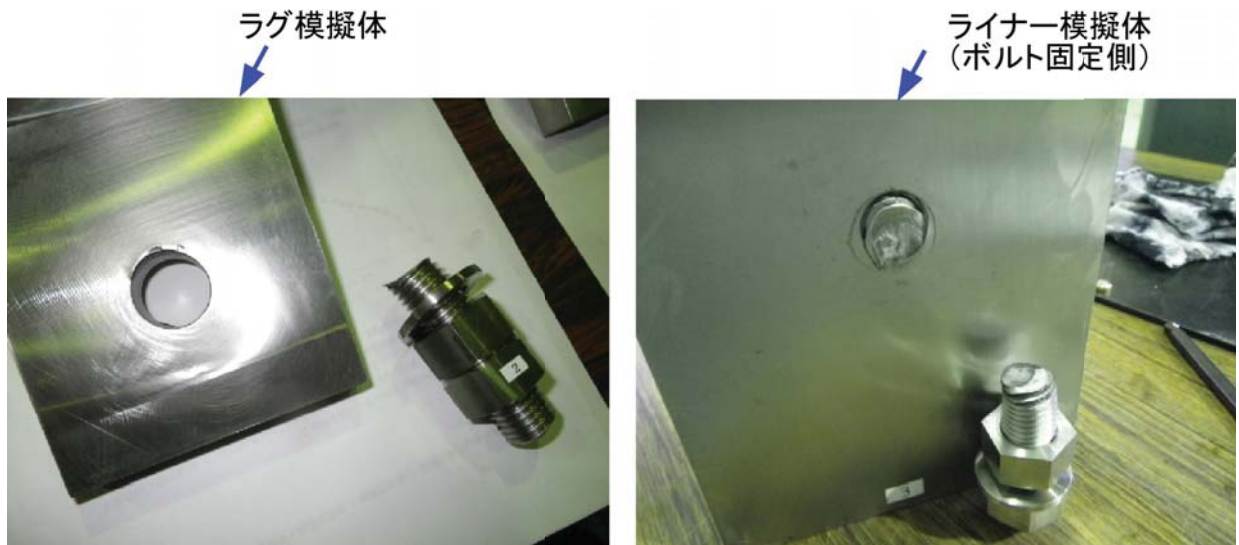


図10 試験後の供試体等の状況

5. 試験結果に基づく許容応力の評価

3回の荷重試験を行った結果、最大の荷重は表4に示す通りであった。

表4 荷重試験における最大荷重値

試験	最大荷重 (kN/本)
1回目	120.5
2回目	120.4
3回目	123.4
観測値最小値	120.4

これより JSME S NC1-2008 の SSB-3240 に基づき許容荷重を計算する。その際に用いる荷重試験から得られた値としては、SSB-3210 に定められているように同一条件について3個の供試体から得られた値のうちの最小の値 (120.4 kN/本) を T_L 値として用いる。

SSB-3240 供用状態 D での許容荷重

供用状態 D における荷重については、次の計算式により計算した値を超えないこと。この場合において、当該支持構造物と同一の材質および形状を有する支持構造物がある場合は、その支持構造物で求めた値を使用することができる。

$$A_L = \frac{0.6T_L S_{yd}}{S_{yt}}$$

A_L : 許容荷重 (N)

T_L : SSB-3210 に定める荷重試験により支持構造物が破損するおそれのある荷重 (N)

S_{yd} : 最高使用温度における材料規格 Part 3 第 1 章 表 6 に定める値 (MPa)

S_{yt} : 試験温度における材料規格 Part 3 第 1 章 表 6 に定める値 (MPa)

上記に基づき計算した許容荷重および据付ボルト ($\phi 20$ mm) の断面積を考慮した場合の許容応力は表5の通りとなる。このように算出した許容荷重は図11に示すように試験データの最大荷重 T_L (3回試験中の最小値) に対しても十分な裕度を持っている。

参考として図11には材料規格^[2]に記載されている JIS G 4303 ステンレス鋼棒 SUS316 の設計降伏点・設計引張強さから設計規格^[1]の“SSB-3133 供用状態 D での許容応力”に規定されている方法を用いて算出した許容せん断応力 (142 MPa) にボルト断面積 (保守性の観点から計算される許容荷重が少なくなる有効断面積 245 mm² を用いた) をかけて許容荷重を求めた結果 (34 kN) を併記している (表6)。荷重試験から得られた値をもとに算出した許容荷重を実力値とみなすと、実力値は規格値に対して約 2.1 倍の余裕があるとみなせる。

表 5 荷重試験から得た値に基づき計算した許容荷重および許容応力

試験条件	受入槽据付ボルト (M20)
観測値 最小値 T_L	120.4 kN/本
試験温度	室温
最高使用温度	45 °C
S_{yt} (JIS G 4303 SUS316)	205 MPa (室温) ※ 材料規格 Part 3 第 1 章 表 6 の常温最小降伏点。
S_{yd} (JIS G 4303 SUS316)	201.8 MPa (45°C) ※ 材料規格 Part 3 第 1 章 表 6 の 65°C の値 (189 MPa) と 40°C の値 (205 MPa) を線形補間して求めた 45°C の値。
許容荷重 A_L	71 kN/本 (45°C)
供試体断面積	314 mm ² ※ M20 ボルト呼び径 (20mm) より $3.14 \times 10^2 \cong 314$
許容応力 f_s	226 MPa (45°C)

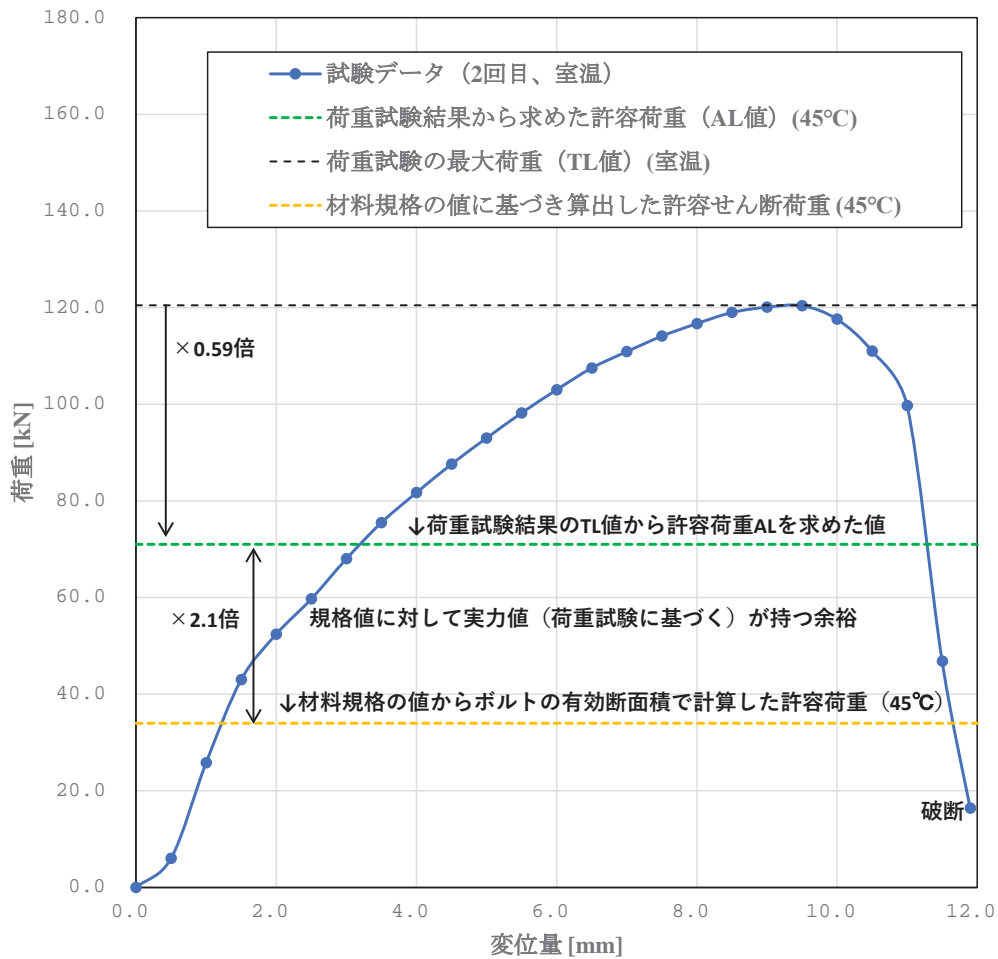


図 11 試験データと許容荷重 A_L の比較

表 6 材料規格値に基づく許容せん断応力と許容荷重

① 設計降伏点 S_y 値ベース			供用状態 D_s (運転状態 $IV_A S$)			M20ボルトの有効断面積 (mm^2) [※]	M20ボルトの許容せん断荷重 ($kN/本$)
温度 ($^{\circ}C$)	S_y	1.35 S_y	F値 (MPa)	許容引張応力 f_t (MPa)	許容せん断応力 f_s (MPa)		
45	201.8	272	min(①, ②, ③)	1.5×F/1.5	1.5×F/(1.5√3)	245	34
② 設計引張強さ S_u ベース							
温度 ($^{\circ}C$)	S_u	0.7 S_u					
45	515.6	360	246	246	142	245	34
③ 室温の設計降伏点 S_y ベース							
温度 ($^{\circ}C$)	S_y	1.2 S_y (RT)					
40	205	246					

※ JIS B 0205(メートル並目ねじ)に基づく。

材料の規格		常温最小引張強さ (MPa)	常温最小降伏点 (MPa)	温度 ($^{\circ}C$)				
				-30~40	65	75	100	
JIS G 4303(2005) ステンレス鋼棒	SUS316	設計降伏点 S_y 値 ^{※1} (MPa)	520	205	205	189	—	176
		設計引張強さ S_u 値 ^{※2} (MPa)	520	205	520	—	489	476

※1 材料規格 JSME S NJ1-2012 Part3 第1章 表6

※2 材料規格 JSME S NJ1-2012 Part3 第1章 表7

材料の規格		温度 ($^{\circ}C$)	
		45	
JIS G 4303(2005) ステンレス鋼棒	SUS316	設計降伏点 S_y 値 ^{※3} (MPa)	201.8
		設計引張強さ S_u 値 ^{※4} (MPa)	515.6

※1 材料規格 JSME S NJ1-2012 Part3 第1章 表6 の近傍温度における値を元に線形補間によって求めた値。

※2 材料規格 JSME S NJ1-2012 Part3 第1章 表7 の近傍温度における値を元に線形補間によって求めた値。

7. まとめ

ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟に、高放射性廃液貯蔵場（HAW）から高放射性廃液を受け入れて一時的に貯蔵する受入槽（G11V10）及び回収槽（G11V20）を直接支持している据付ボルトについて、地震時に作用する水平方向せん断力に対する強度を明らかにするために、実機の支持構造を模擬して荷重試験を実施した。荷重試験の方法は“日本機械学会規格 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2008年版）〈第I編 軽水炉規格〉”（JSME S NC1-2008）^[1]の“SSB-3000 クラス1支持構造物の設計”における“SSB-3210 許容荷重”に基づくものとした。また、支持構造に基づき二種類のラグ模擬体を使用した。

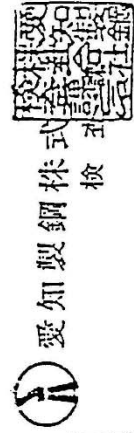
試験の結果、測定された最大許容値のうちの最小値（120.4 kN/本）を用いてSSB-3240に基づく許容荷重の評価を行い、その値として71 kN/本を得た。また、ボルトの呼び径で計算した断面積で除して得た許容応力は226 MPaであった。

参考文献

1. “日本機械学会規格 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2008年版）〈第I編 軽水炉規格〉”，JSME S NC1-2008，日本機械学会（2008）
2. “日本機械学会規格 発電用原子力設備規格 材料規格（2012年版）”，JSME S NJ1-2012，日本機械学会（2012）
3. 上坂 充，鬼沢邦雄，笠原直人，鈴木一彦，“原子力教科書 原子炉構造工学”，株式会社オーム社，ISBN978-4-274-20690-0（2009）
3. “日本工業規格 JIS G 4303 ステンレス鋼棒”，日本工業規格
4. “日本工業規格 JIS Z 2201 金属材料引張試験片”，日本工業規格
5. “電気技術指針 原子力編 原子力発電所耐震設計技術指針”，JEAG4601-1991 追補版，日本電気協会 電気技術基準調査委員会（1991）
6. “電気技術指針 原子力編 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編”，JEAG4601・補-1984，日本電気協会 電気技術基準調査委員会（1984）

添付資料

- (1) 材料試験成績書（実機アンカーボルト材）
- (2) 材料検査証明書（本試験において用いた供試体）
- (3) ボルトせん断試験結果報告書



材料試験成績書 TEST CERTIFICATE

愛知製鋼株式会社 検査部

Chief, Inspection Department
Aichi Steel Works, Ltd.

項目		化学成分 (%)									
項目	Items	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	
規格	Spec.	MAX 0.15	MAX 100	MAX 200	MAX 45	MAX 30	MAX	1000-1400	1600-1800	200-300	
実測	Results	6	50	117	31	22		1001	1611	206	

項目		機械試験									
項目	Items	熱処理温度	Heat Treatment Temperature (°C)	引張試験	Tension Test	硬さ試験	Hardness Test	曲げ試験	Bending Test		
規格	Spec.	D	1010-1150	引張強さ	Tensile Str. Min. 21	伸び	Elong. Min. 40	硬さ	HR	MAX 187	
実測	Results	D	1050	23	61	64	75	134			

項目		硬化性試験 (End Hardening Process)									
項目	Items	焼入性試験	Hardening Test	備考	Remarks						
規格	Spec.	D	16		JIS G4303 (1981) 1050°CX10MIN. W.Q. TYPE OF T.P.; JIS 4						
実測	Results	D	16								

項目		地さず試験 Macro-Streak-Flaw Test									
項目	Items	地さず試験	Macro-Streak-Flaw Test	結果	Results						
規格	Spec.	I	II	III							
実測	Results	I	II	III							

90 11675

386

61: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
62: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
63: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
64: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
65: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
66: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
67: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
68: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
69: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
70: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
71: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
72: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
73: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
74: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
75: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
76: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
77: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
78: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
79: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
80: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
81: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
82: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
83: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
84: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
85: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
86: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
87: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
88: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
89: ステンレス鋼用 (JIS G4303)
90: ステンレス鋼用 (JIS G4303)

購買家NO. CUSTOMER'S REF. NO.

契約番号 OUR REF. NO.
CH19P015 06

INSPECTION

CERTIFICATE

検査証明書

三井物産スチール株式会社

株式会社 U E X

御中
御中
御中

御中

Elements		Chemical Composition 化学成分										Remarks 記事				
成分	規格	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	%		%	%	%	%
Specification	MAX	% X1.00	% X1.00	MAX	MAX	% X1.000	% X1.000	% X1.00	1600	2.00	%	%	%	%	%	%
Results	8	1.00	2.00	45	30			1000	1600	2.00						
Specification	MIN	% X1.00	MAX	MAX	MAX	% X1.000	% X1.000	% X1.00	1600	2.00	%	%	%	%	%	%
Results	5	3.3	1.32	38	30			1000	1689	2.01						
Items		Mechanical Properties 機械的性質										Remarks 記事				
項目	規格	Tension Test 引張試験		Impact Test 衝撃試験		Bending Test 曲げ試験		Heat Treatment 熱処理								
Specification	JIS10	Yield Strength 0.2% 降伏点	MIN 205	Elongation 伸び	MIN 40	Hardness 硬度	HBW	Reduction of Area 絞り	MIN 60	Impact Test Section 試験片	None	Heat Treatment 熱処理	BODY	1080°C WQ		
Results		265	61	72	156											
Specification	Grain Size 結晶粒度	Decarburization 脱炭		Streak Flaw 地		Body Hardness 製品かたさ		Non Metallic Inclusion 非金属夹杂物								
Results						HBW										

確認
F&E
23.12.19

Date 発行日	Certificate No. 証明番号	Type of Steel 鋼種	Size & Shape 寸法・形状	Condition 納入状態	Heat No. 熔解番号
11-10-21	XM0257	JISG4303-05-SUS316	25D	ST, PM	7682D
(9M0034)	(9BK361)				

It is hereby certified that the above results are true and correct in every detail
上記の成績は要求事項を満足していることを証明します。

材料に"05"を打刻 2011年11月29日
刀02部に"05"を再打刻 2011年12月19日

Quality Assurance Section, Hoshizaki Plant
大同特殊鋼株式会社
 星崎工場品質保証グループ
 〒457-8545 名古屋南区大洞町
 TELダイヤルン (052) 611-
 E&E管理番号 2341-05

様式2

ボルトせん断試験結果報告書 (1/3)		
試験年月日	平成23年12月22日	
件名	ボルトせん断試験	
試験実施場所	(株) 神戸工業試験場 茨城事業所	
試料名	据付ボルト	
製造者	(株) E&Eテクノサービス	
特記事項	試験は「日本機械学会(ISEM) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格2008年版 SSB-3200」による	
供試体番号 : 2		
変位量 (mm)	荷重 (kN)	備考
0.0	0.0	
0.5	5.6	
1.0	25.0	
1.5	43.8	
2.0	54.0	
2.5	62.1	
3.0	69.1	
3.5	76.1	
4.0	82.3	
4.5	88.2	
5.0	94.2	
5.5	100.2	
6.0	105.7	
6.5	110.5	
7.0	114.8	
7.5	118.4	
8.0	120.5	
8.5	119.1	
9.0	110.3	
9.5	97.0	
10.0	74.9	
10.5	37.5	
11.0	10.0	
11.5	4.1	
12.0	1.4	
12.5	1.5	
13.0	1.5	
13.5	2.2	
14.0	1.7	
14.5	1.4	
15.0	1.2	
15.8	0.0	破断
最大荷重時	荷重 : 120.9 kN	変位量 : 8.2 mm
破断時	荷重 : 0.0 kN	変位量 : 15.8 mm
備考 試験室温度 : 23.6°C		

荷重-変位量曲線

試験者

(株)神戸工業試験場

様式2

ボルトせん断試験結果報告書 (3/3)																																																																																																																													
試験年月日	平成23年12月22日																																																																																																																												
件名	ボルトせん断試験																																																																																																																												
試験実施場所	(株) 神戸工業試験場 茨城事業所																																																																																																																												
試料名	据付ボルト																																																																																																																												
製造者	(株) E&Eテクノサービス																																																																																																																												
特記事項	試験は「日本機械学会 (ISEM) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格2008年版 SSB-3200」による																																																																																																																												
供試体番号	: 4																																																																																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 8px;"> <thead> <tr> <th>変位量 (mm)</th> <th>荷重 (kN)</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.0</td><td>0.0</td><td></td></tr> <tr><td>0.5</td><td>6.6</td><td></td></tr> <tr><td>1.0</td><td>29.2</td><td></td></tr> <tr><td>1.5</td><td>44.6</td><td></td></tr> <tr><td>2.0</td><td>54.1</td><td></td></tr> <tr><td>2.5</td><td>62.2</td><td></td></tr> <tr><td>3.0</td><td>70.4</td><td></td></tr> <tr><td>3.5</td><td>77.6</td><td></td></tr> <tr><td>4.0</td><td>84.1</td><td></td></tr> <tr><td>4.5</td><td>89.8</td><td></td></tr> <tr><td>5.0</td><td>95.1</td><td></td></tr> <tr><td>5.5</td><td>100.4</td><td></td></tr> <tr><td>6.0</td><td>105.2</td><td></td></tr> <tr><td>6.5</td><td>109.8</td><td></td></tr> <tr><td>7.0</td><td>113.8</td><td></td></tr> <tr><td>7.5</td><td>117.0</td><td></td></tr> <tr><td>8.0</td><td>120.0</td><td></td></tr> <tr><td>8.5</td><td>122.2</td><td></td></tr> <tr><td>9.0</td><td>123.3</td><td></td></tr> <tr><td>9.5</td><td>123.4</td><td></td></tr> <tr><td>10.0</td><td>121.2</td><td></td></tr> <tr><td>10.5</td><td>100.6</td><td></td></tr> <tr><td>11.0</td><td>36.4</td><td></td></tr> <tr><td>11.3</td><td>0.0</td><td>破断</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	変位量 (mm)	荷重 (kN)	備考	0.0	0.0		0.5	6.6		1.0	29.2		1.5	44.6		2.0	54.1		2.5	62.2		3.0	70.4		3.5	77.6		4.0	84.1		4.5	89.8		5.0	95.1		5.5	100.4		6.0	105.2		6.5	109.8		7.0	113.8		7.5	117.0		8.0	120.0		8.5	122.2		9.0	123.3		9.5	123.4		10.0	121.2		10.5	100.6		11.0	36.4		11.3	0.0	破断																																																	<div style="text-align: center;">荷重-変位量曲線</div>	
変位量 (mm)	荷重 (kN)	備考																																																																																																																											
0.0	0.0																																																																																																																												
0.5	6.6																																																																																																																												
1.0	29.2																																																																																																																												
1.5	44.6																																																																																																																												
2.0	54.1																																																																																																																												
2.5	62.2																																																																																																																												
3.0	70.4																																																																																																																												
3.5	77.6																																																																																																																												
4.0	84.1																																																																																																																												
4.5	89.8																																																																																																																												
5.0	95.1																																																																																																																												
5.5	100.4																																																																																																																												
6.0	105.2																																																																																																																												
6.5	109.8																																																																																																																												
7.0	113.8																																																																																																																												
7.5	117.0																																																																																																																												
8.0	120.0																																																																																																																												
8.5	122.2																																																																																																																												
9.0	123.3																																																																																																																												
9.5	123.4																																																																																																																												
10.0	121.2																																																																																																																												
10.5	100.6																																																																																																																												
11.0	36.4																																																																																																																												
11.3	0.0	破断																																																																																																																											
最大荷重時	荷重 : 123.6 kN	変位量 : 9.3 mm																																																																																																																											
破断時	荷重 : 0.0 kN	変位量 : 11.3 mm																																																																																																																											
備考	試験室温度 : 23.2℃																																																																																																																												

試験者

(株)神戸工業試験場

ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟
受入槽（G11V10）及び回収液槽（G11V20）の
据付ボルトのせん断強度と安全裕度の向上に関する検討状況について

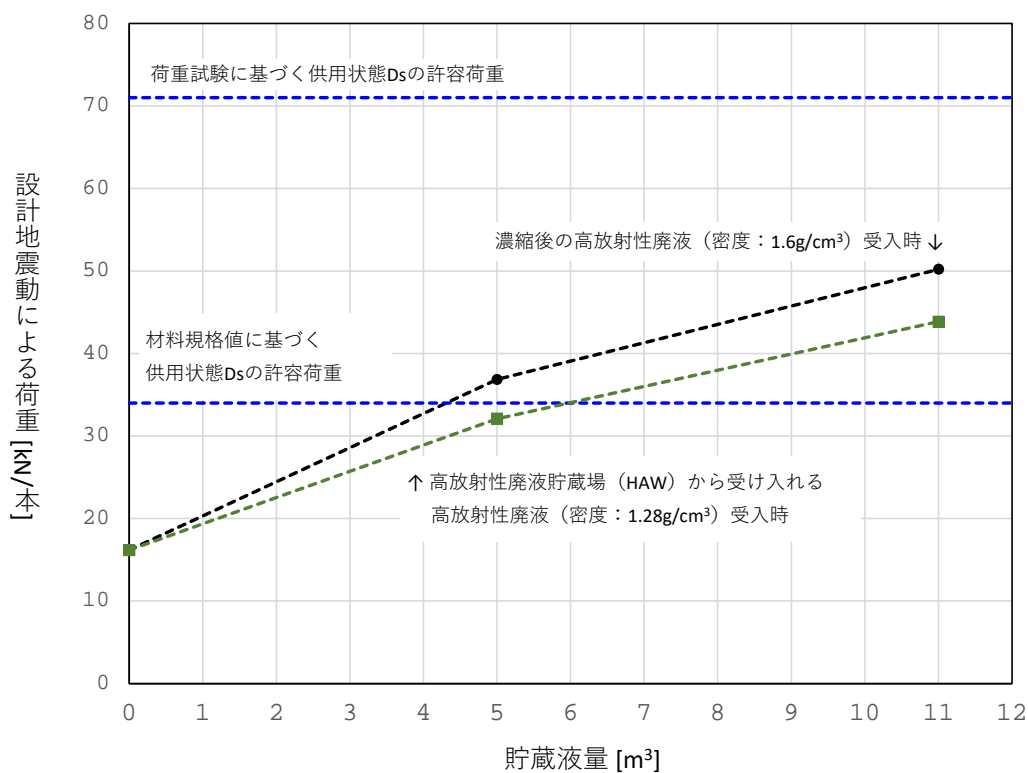
ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の受入槽及び回収液槽の据付ボルトについて、廃止措置計画用設計地震動が作用した際のせん断荷重の評価結果（最大 50 kN/本（ボルト有効断面積に対するせん断応力は 205MPa）、45℃条件）は、実機を模擬して実施した荷重試験の結果から算定された許容荷重（供用状態 D_s : 71 kN/本、45℃条件）を満足する結果が得られている（付表）。しかしながら荷重試験に基づく許容荷重は実機の実力値に近くその裕度は大きくない。そこで、リスクの大きい高放射性廃液を取り扱うという観点からさらなる耐震裕度を確保する方策として、貯槽の液量を制限した場合に地震時に据付ボルトに作用する荷重がどの程度低減可能かについての評価を行った。受入槽の機器設計では工程後段にある濃縮器で濃縮した高放射性廃液（設計上想定する密度 1.6 g/cm³）を貯槽の荷重条件としているが、高放射性廃液貯蔵場（HAW）から受け入れる高放射性廃液の密度は 1.28g/cm³ 以下であることから、この2つの条件に基づき評価を実施した（付図）。

実際の運転（直近の 16-1, 17-1, 19-1 キャンペーン）における濃縮後の高放射性廃液の密度は最大でも 1.315 g/cm³ 程度である。また、通常運転では濃縮後の高放射性廃液を受入槽・回収液槽で扱うことはない。濃縮後の高放射性廃液を受入槽・回収液槽で扱う場合というのは、機器故障等で固化処理運転を中断せざるを得なくなった際に、工程内に残留した濃縮後の高放射性廃液を高放射性廃液貯蔵場（HAW）へ返送するために一時的に受け入れるときである。

したがって、このようなガラス固化処理の運転状態及び運用の特徴に基づき、今後進めていくガラス固化処理においても、適切な耐震上の保守性を確保できるよう液量管理の方法について検討を進める。

付表 廃止措置計画用設計地震動に対する受入槽・回収液槽据付ボルトの発生荷重と各許容荷重

高放射性廃液 密度	設計地震動において据 付ボルトに加わる最大 せん断荷重 (満水 11 m ³ 時)	荷重試験に基づく 許容せん断荷重 (供用状態 Ds)	材料規格値に基づく 許容せん断荷重 (供用状態 Ds)
1.6 g/cm ³	50 kN/本	71 kN/本	34 kN/本
1.28 g/cm ³	44 kN/本		



付図 受入槽・回収液槽の貯蔵液量と地震時の据付ボルトに発生するせん断応力の関係

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の

機器・配管系の耐震性計算書

【概要】

○ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の機器・配管系の耐震計算書として、以下に示す特徴的な機器の耐震計算書を示す。

- ・ 受入槽(G11V10)及び回収液槽(G11V20)
- ・ 濃縮器(G12E10)
- ・ 濃縮液槽(G12V12)
- ・ 熔融炉(G21ME10)
- ・ 1次系冷却ポンプ(G83P32,P42)
- ・ ルテニウム吸着塔(G41T35)
- ・ 濃縮器ラック(G12RK10)

令和2年6月18日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20)
の耐震性についての計算書

【目 次】

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用規格・基準等	1
2.3 記号の説明	1
3. 評価部位	2
4. 構造強度評価	2
4.1 荷重の組合せ	2
4.2 許容応力	3
4.3 減衰定数	3
4.4 設計用地震力	4
4.5 計算方法	6
4.6 計算条件	6
4.7 固有周期	8
5. 評価結果	12

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能を構成する受入槽(G11V10)及び回収液槽(G11V20)について、「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ、廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

受入槽(G11V10)及び回収液槽(G11V20)の構造強度の評価は、有限要素法(FEM)解析により行い、当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し、構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 (日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008 (日本電気協会)
- (3) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 2012 (日本機械学会)
- (4) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1 2012 (日本機械学会)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_L	JSME S NC1-2012 SSB-3200 に定める許容荷重	N
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
S_u	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa
S_{yd}	JSME S NC1-2012 SSB-3200 に定める最高使用温度における材料の設計降伏点	MPa
S_{yt}	JSME S NC1-2012 SSB-3200 に定める試験温度における材料の設計降伏点	MPa
T_L	JSME S NC1-2012 SSB-3210 に定める荷重試験により支持構造物が破損するおそれのある荷重	N

3. 評価部位

受入槽(G11V10)及び回収液槽(G11V20)の構造強度の評価部位は、評価上厳しくなる胴、ラグ及び据付ボルトとする。受入槽(G11V10)及び回収液槽(G11V20)の概要図を図3-1に示す。

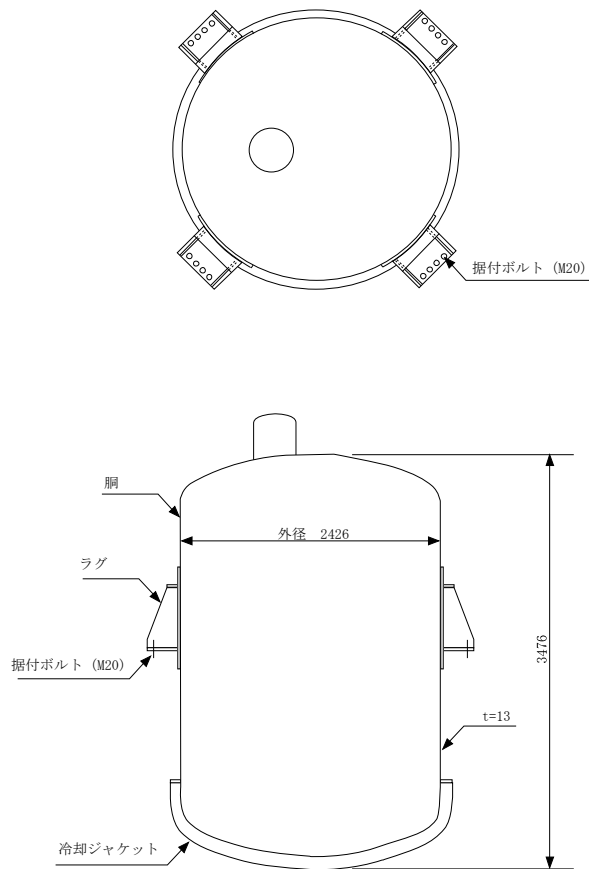


図 3-1 受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) の概要図

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出については、自重、圧力及び地震による応力を組み合わせた。地震による応力については、水平方向応力と鉛直方向応力を、二乗和平方根 (SRSS) 法により組み合わせた。

4.2 許容応力

設備の構造強度の許容応力は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012」に準拠又は実験値等で妥当性が確認されているものを用いた。評価に当たっては供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については、温度は設計温度、圧力については設計圧力、自重については液量を満杯

とし、それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。

据付ボルトのせん断応力の許容応力について、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012 SSB-3200」では、当該支持構造物と同一の材質及び形状を有する支持構造物がある場合は、その支持構造物で求めた値を使用することができるとしていることから、当該規格に基づき、せん断試験を実施し、その試験から得られた値を用いた。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 Su)
ラグ	一次応力	F
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	A_L (許容荷重)=0.6 $T_L S_{yd}/S_{yt}$

4.3 減衰定数

減衰定数は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に規定された値を用いた。使用した減衰定数を表 4-2 に示す。

表 4-2 使用した減衰定数

評価対象設備	減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向
受入槽(G11V10)及び回収液槽(G11V20)	1.0	1.0

4.4 設計用地震力

「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に基づき，廃止措置計画用設計地震動による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答加速度をもとに，各階の床応答スペクトル（ S_s-D ， S_s-1 ， S_s-2 の 3 波包絡，周期軸方向に $\pm 10\%$ 拡張したもの）を作成し，これを評価に用いた。

受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) の解析用の床応答スペクトルは，機器据付階（地下 1 階）のものを用いた。使用した解析用の床応答スペクトルを表 4-3，図 4-1 及び図 4-2 に示す。

表 4-3 使用した解析用の床応答スペクトル

評価対象設備	水平方向	鉛直方向
受入槽 (G11V10) 及び 回収液槽 (G11V20)	解析用の床応答スペクトル (地下 1 階，減衰定数 1.0 %)	解析用の床応答スペクトル (地下 1 階，減衰定数 1.0 %)

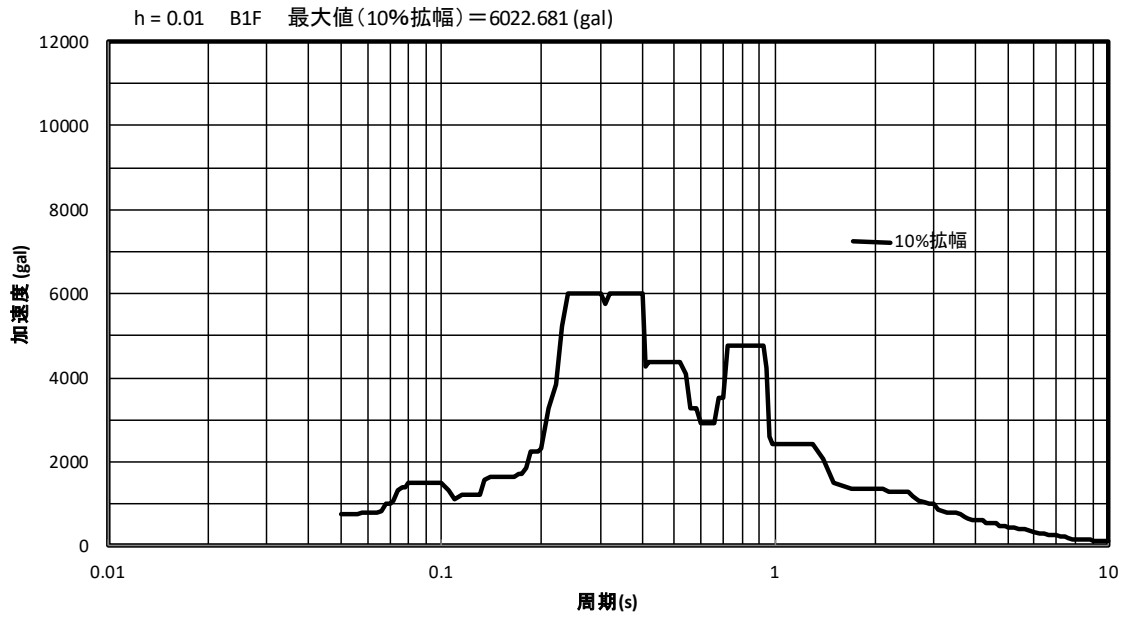


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，地下 1 階，減衰定数 1.0 %）

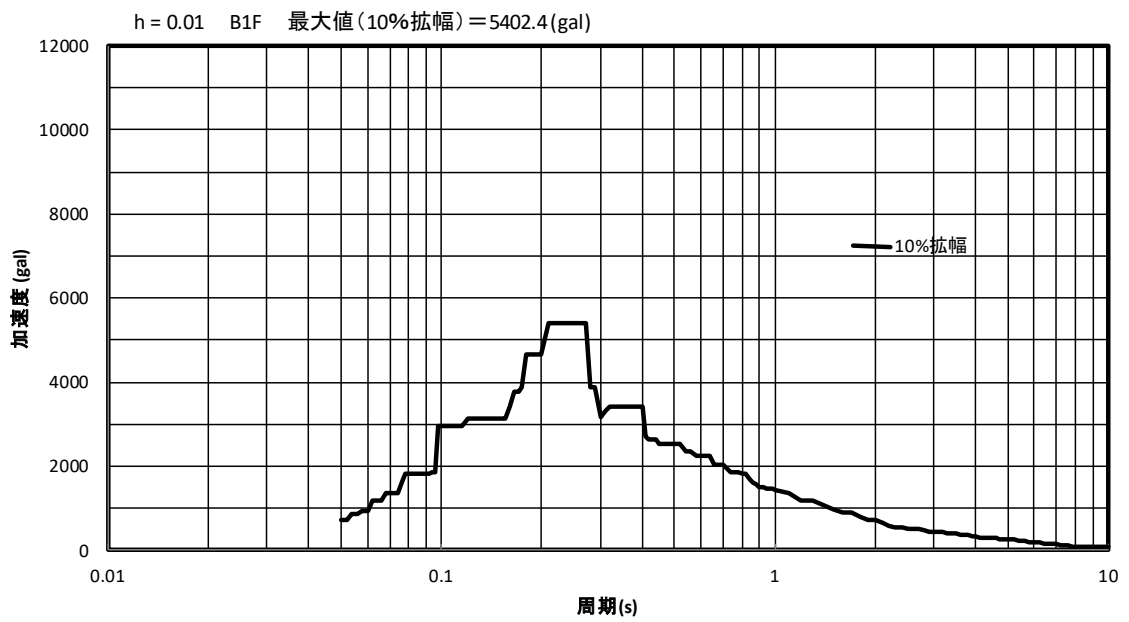


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，地下 1 階，減衰定数 1.0 %）

4.5 計算方法

受入槽(G11V10)及び回収液槽(G11V20)の発生応力の計算方法はFEM解析(スペクトルモーダル法)を用いた。解析コードはFINAS^{※1}を用いた。構造強度評価は、算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

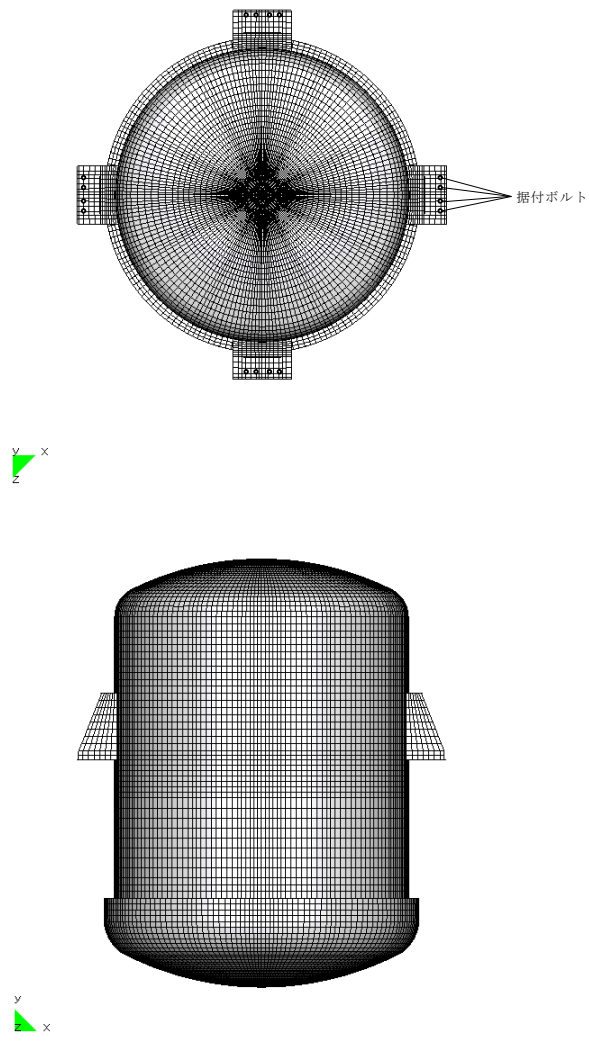
※1 日本原子力研究開発機構, 伊藤忠テクノソリューション株式会社, “FINAS 汎用非線形構造解析システム Version 21.0” .

4.6 計算条件

4.6.1 解析モデル

受入槽(G11V10)及び回収液槽(G11V20)の解析モデルを図4-3に示す。FEM解析のモデルは、その振動特性に応じ、代表的な振動モードが適切に表現でき、地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。

モデル化にあたって、空質量には槽内構造物等の質量が含まれているが、それらの質量は胴板全体に付加した。また、高放射性廃液の質量については、接液部分の胴板に付加した。胴板への質量の付加においては、解析モデルの総質量が約27.07 tとなるように、液位より下部の胴板の密度に付加した。



拘束条件 ○：固定、－：フリー

部位	並進方向			回転方向		
	x	y	z	θ_x	θ_y	θ_z
据付ボルト	○	○	○	－	－	－

図 4-3 受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) の解析モデル

4.6.2 諸元

受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) の主要寸法・仕様を表 4-4 に示す。空質量には、貯槽本体胴 (ジャケット含む。), ラグ, 内部配管及び内部配管の支持部材を含む。

表 4-4 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	値
受入槽 (G11V10) 及び 回収液槽 (G11V20)	安全上の機能	閉じ込め機能 崩壊熱除去機能
	機器区分	クラス 3
	圧力 (設計圧力)	0.049 (MPa)
	胴外径	2426 (mm)
	胴板厚さ	13 (mm)
	胴高さ (外側)	3476 (mm)
	胴材質	R-SUS304ULC
	胴温度 (設計温度)	95 (°C)
	据付ボルト呼び径	M20
	据付ボルト有効断面積*	245 (mm ²)
	据付ボルト材質	SUS316
	据付ボルト温度	45 (°C)
	液量 (満杯)	11 (m ³)
	液密度	1.6 (g/cm ³)
	空質量	約 9.47 (t)
総質量 (設計質量)	約 27.07 (t)	

※ JIS B 0205 に基づく。

4.7 固有周期

受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) の固有周期を表 4-5 に示す。

表 4-5 固有周期

評価対象設備	固有周期
受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20)	0.062 (秒)

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。胴部の最大応力発生点（応力強さ）を図 5-1，図 5-2 に，ラグ部の最大応力発生点を図 5-3 に，ボルトの最大せん断応力発生点を図 5-4 に示す。ボルトの発生応力は，計算から得られるボルト 1 本あたりの最大せん断荷重をボルトの有効断面積で割って算出した。

ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) の各評価部位の発生応力は，いずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1 構造強度評価結果

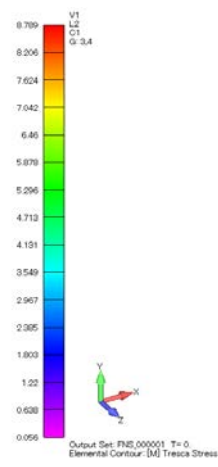
評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ^{※1}
受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20)	胴 (冷却ジャケットを含む。)	一次一般膜	103	247	0.42
		一次	152	371	0.41
	ラグ	一次	176	246	0.72
	据付ボルト	引張	139	246	0.57
		せん断	205	226 ^{※2}	0.91

※1 応力比は，発生応力／許容応力を示す。

※2 JSME S NC1-2012 SSB-3200 に基づき実施したせん断試験から得られた A_L をボルトの断面積で除して算出した許容応力（詳細は「別紙 6-1-2-5-2-1 参考 1 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) 据付ボルトのせん断強度試験について」）。



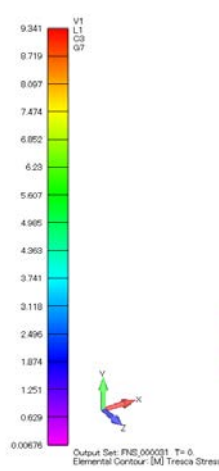
(1) 自重による応力



(2) 圧力による応力

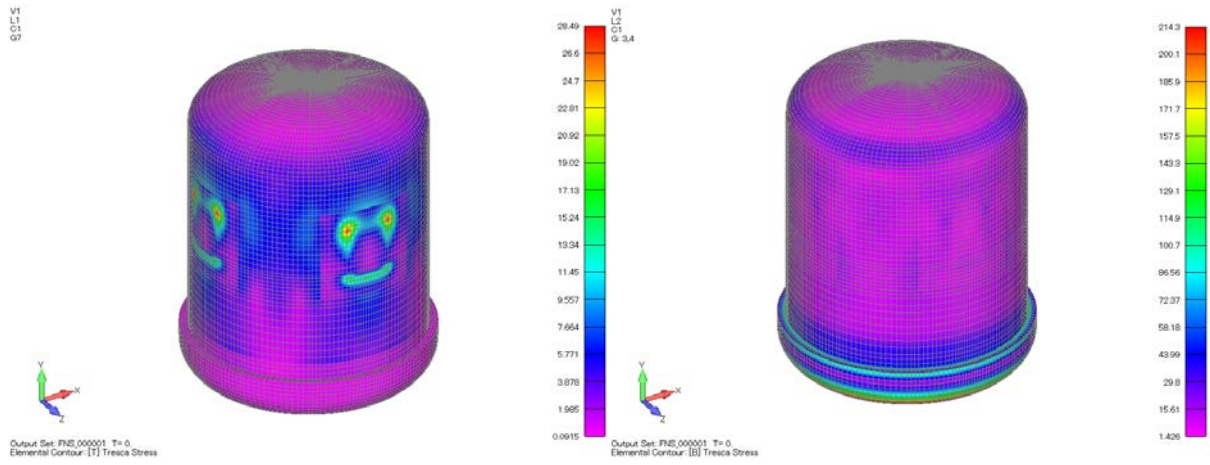


(3) 水平 X 方向地震力による応力



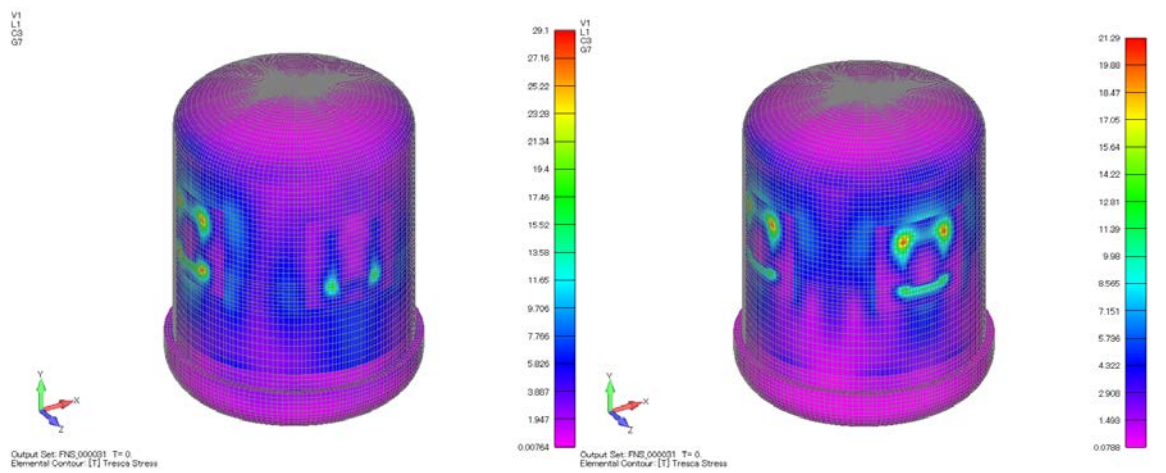
(4) 鉛直方向地震力による応力

図 5-1 胴部の構造強度評価結果 (一次一般膜応力)



(1) 自重による応力

(2) 圧力による応力



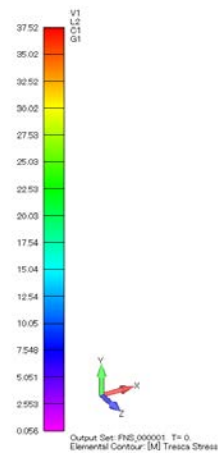
(3) 水平 X 方向地震力による応力

(4) 鉛直方向地震力による応力

図 5-2 胴部の構造強度評価結果（一次応力）



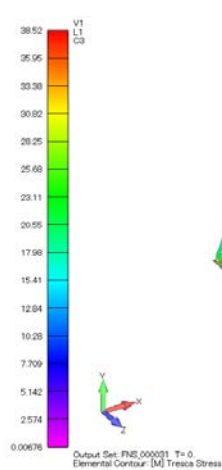
(1) 自重による応力



(2) 圧力による応力



(3) 水平 X 方向地震力による応力



(4) 鉛直方向地震力による応力

図 5-3 ラグ部の構造強度評価結果（一次応力）

V1
C1

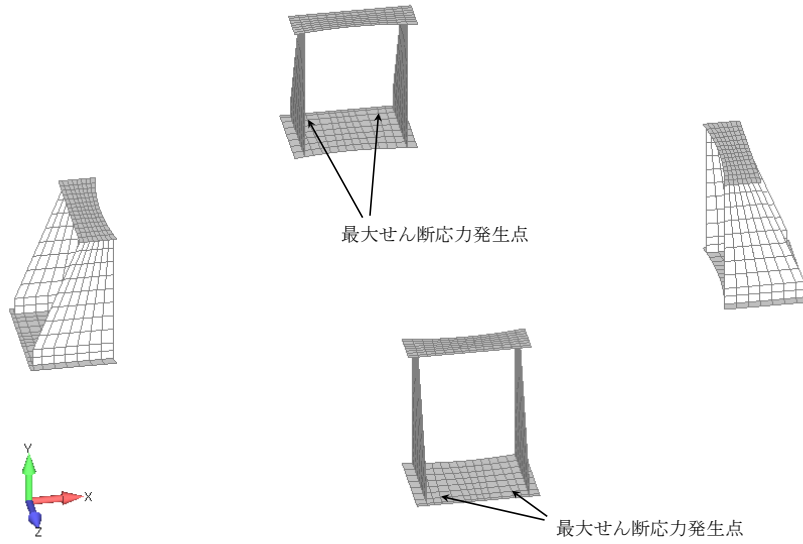


図 5-4 据付ボルトの最大せん断応力発生点（荷重条件：水平 X 方向地震力）

濃縮器(G12E10)の耐震性についての計算書

【目 次】

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用規格・基準等	1
2.3 記号の説明	1
3. 評価部位	1
4. 構造強度評価	2
4.1 荷重の組合せ	2
4.2 許容応力	3
4.3 設計用地震力	3
4.4 計算方法	4
4.5 計算条件	4
4.6 固有周期	6
5. 評価結果	8

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する濃縮器(G12E10)について、「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ、廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

評価対象の濃縮器(G12E10)の構造強度の評価は、有限要素法(FEM)解析により行い、当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し、構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

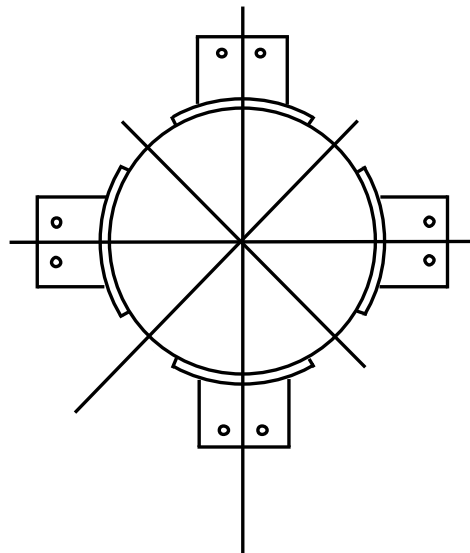
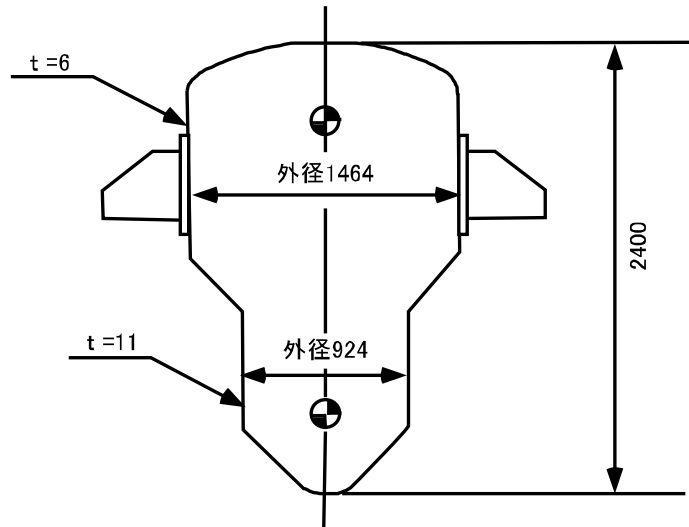
- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 (日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008 (日本電気協会)
- (3) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 2012 (日本機械学会)
- (4) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1 2012 (日本機械学会)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa

3. 評価部位

濃縮器(G12E10)の構造強度の評価部位は、評価上厳しくなる胴及び据付ボルトとする。濃縮器(G12E10)の概要図を図 3-1 に示す。



(単位; mm)

図 3-1 濃縮器 (G12E10) の概要図

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出については、自重、圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については、水平方向応力と鉛直方向応力を、二乗和平方根 (SRSS) 法により組み合わせた。

4.2 許容応力

設備の構造強度の許容応力は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 2012」に準拠し、供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds について、温度は設計温度、圧力については設計圧力、自重については液量を満杯とし、それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 Su)
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3 設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動によるガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。濃縮器(G12E10)は、固化セル(R001)内の濃縮器ラック(G12RK10)に搭載している機器であるため、図 4-1 に示す通り、濃縮器(G12E10)の静的解析用震度は、濃縮器ラックの地震応答解析結果(別紙 6-1-2-5-2-115)から得られる機器搭載位置での静的解析用震度(水平方向：1.63、鉛直方向：1.18)を用いた。

表 4-2 静的解析用震度

階	静的解析用震度 (床応答最大加速度×1.2)	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.28	0.79
3F	1.12	0.79
2F	1.03	0.79
2F	0.97	0.78
B1F	0.90	0.78
B2F	0.86	0.77

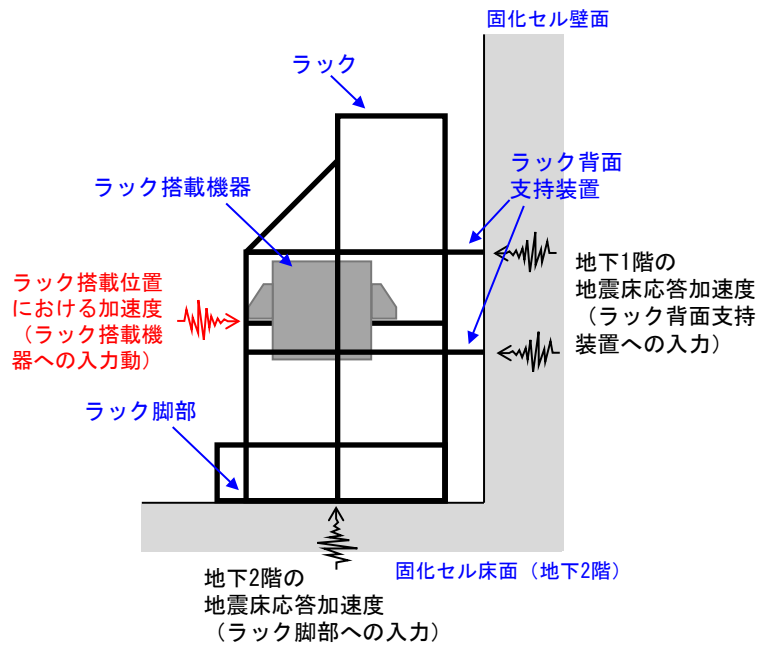


図 4-1 ラック搭載機器への地震動の入力方法

4.4 計算方法

濃縮器(G12E10)の発生応力の計算方法は FEM 解析（静的解析）を用いた。解析コードは MSC.Nastran^{※1}を用いた。構造強度評価は、算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

※1 MSC Software Corporation, “MSC.Nastran Version 2005r2” .

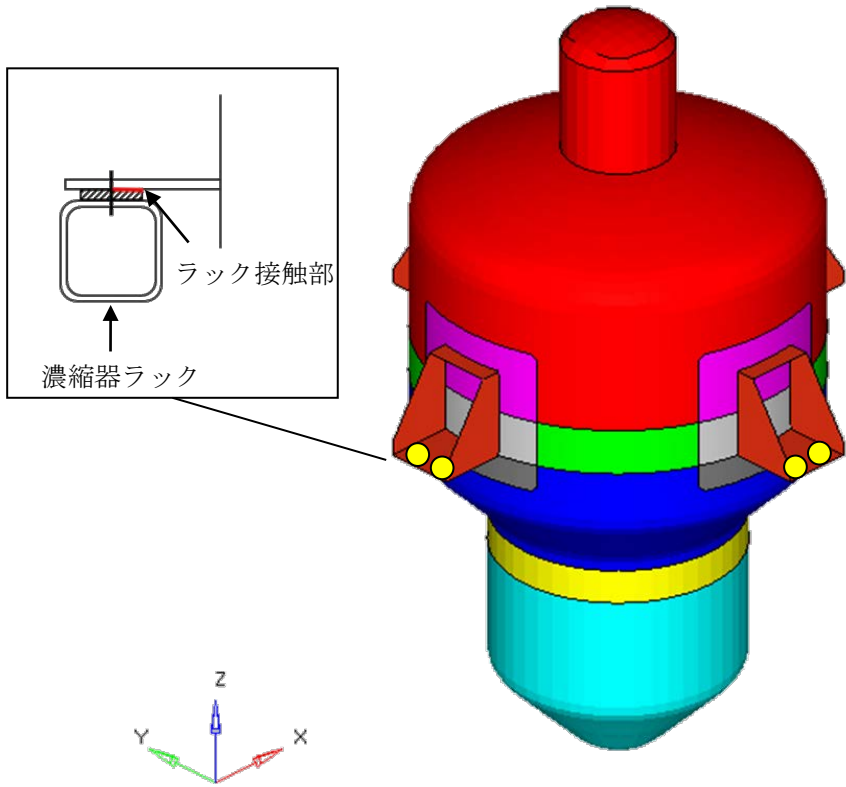
4.5 計算条件

4.5.1 解析モデル

濃縮器(G12E10)の解析モデルを図 4-2 に示す。FEM 解析のモデルは、その振動特性に応じ、代表的な振動モードが適切に表現でき、地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。

モデル化にあたって、空質量には槽内構造物等の質量が含まれているが、それらの質量は胴板全体に付加した。また、高放射性廃液の質量については、接液部分の胴板に付加した。胴板への質量の付加においては、解析モデルの総質量が約 3180 kg となるように、液位より下部の胴板の密度に付加した。

●…拘束点



拘束条件 ○：固定、－：フリー

部位	並進方向			回転方向		
	x	y	z	θ_x	θ_y	θ_z
据付ボルト	○	○	○	○	○	－
ラック接触部	－	－	○	－	－	－

図 4-2 濃縮器(G12E10)の解析モデル

4.5.2 諸元

濃縮器(G12E10)の主要寸法・仕様を表4-3に示す。空質量(設計質量)には、貯槽本体胴、ラグ、内部配管及び内部配管の支持部材を含む。

表4-3 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	値
濃縮器(G12E10)	安全上の機能	閉じ込め機能
	機器区分	クラス3
	胴外径(大径部)	1464 (mm)
	胴外径(小径部)	924 (mm)
	胴厚さ(大径部)	6 (mm)
	胴厚さ(小径部)	11 (mm)
	胴高さ	2400 (mm)
	胴材質	TP35H
	胴温度	130 (°C)
	据付ボルト呼び径	M20
	据付ボルト有効断面積 [※]	245 (mm ²)
	据付ボルト材質	SUS316
	据付ボルト温度	45 (°C)
	液量(満杯)	1.4 (m ³)
	液密度	1.6 (g/cm ³)
	空質量(設計質量)	820 (kg)
総質量(設計質量)	3180 (kg)	

※ JIS B 0205に基づく。

4.6 固有周期

濃縮器(G12E10)の固有周期及び固有モードを図4-3に示す。

1次モード図

固有周期：0.037（秒）

SUBCASE 1 : Mode#1, Frequency= 2.319e+001Hz

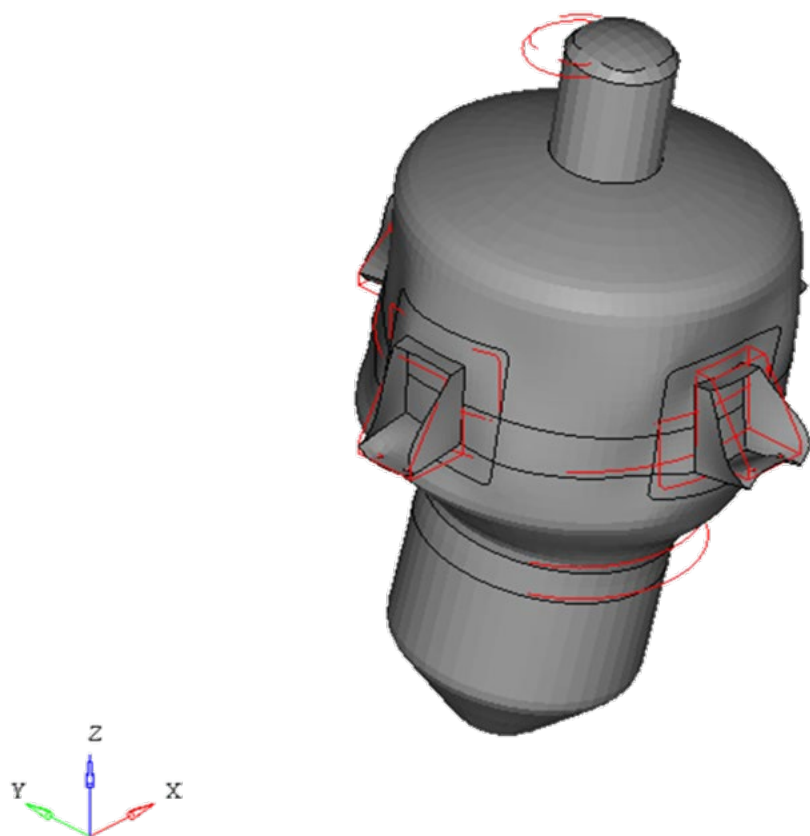


図 4-3 濃縮器(G12E10) 固有モード図

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の濃縮器(G12E10)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1 構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ^{※1}
濃縮器(G12E10)	胴	一次一般膜	7	146	0.05
		一次	48	219	0.22
	脚	一次	171	233	0.74
	据付ボルト	引張	18	246	0.08
		せん断	132	142	0.93

※1 応力比は、発生応力／許容応力を示す。

濃縮液槽 (G12V12) の耐震性についての計算書

【目次】

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用規格・基準等	1
2.3 記号の説明	2
3. 評価部位	3
4. 構造強度評価	3
4.1 荷重の組合せ	3
4.2 許容応力	3
4.3 設計用地震力	4
4.4 計算方法	5
4.5 計算条件	5
4.6 固有周期	7
5. 評価結果	7

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する濃縮液槽(G12V12)について、「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ、廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

濃縮液槽(G12V12)の構造強度の評価は、鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」のラグ支持たて置円筒形容器の構造強度評価に準拠する。

当該設備に、廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し、構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1)原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 (日本電気協会)
- (2)原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008 (日本電気協会)
- (3)発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 2012 (日本機械学会)
- (4)発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1 2012 (日本機械学会)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
D_o	胴外径	mm
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
h	胴高さ	mm
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa
t	胴板厚さ	mm
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{0\phi}$	胴の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_{0x}	胴の軸方向一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}$	内圧又は静水頭による胴の周方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に作用する鉛直方向地震力による胴の周方向応力	MPa
σ_{x1}	内圧又は静水頭による胴の軸方向応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
σ_{x11}	鉛直方向地震力による胴断面に生じる引張応力	MPa
σ_{x4}	水平方向地震力が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_{11} ～ σ_{16}	水平方向地震力 (Z 方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{17} ～ σ_{110}	水平方向地震力 (X 方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_b	ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{b1} ～ σ_{b3}	水平方向地震力 (Z 方向) 及び鉛直方向地震力によりボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b4} ～ σ_{b5}	水平方向地震力 (X 方向) 及び鉛直方向地震力によりボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b2}	水平方向地震力 (Z 方向) 及び鉛直方向地震力によりボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b4} ～ τ_{b5}	水平方向地震力 (X 方向) 及び鉛直方向地震力によりボルトに生じるせん断応力	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
ω_H	水平方向振動系の角速度	rad/s

3. 評価部位

濃縮液槽 (G12V12) の構造強度の評価部位は、評価上厳しくなる胴及び据付ボルトとする。
濃縮液槽 (G12V12) の概要図を図 3-1 に示す。

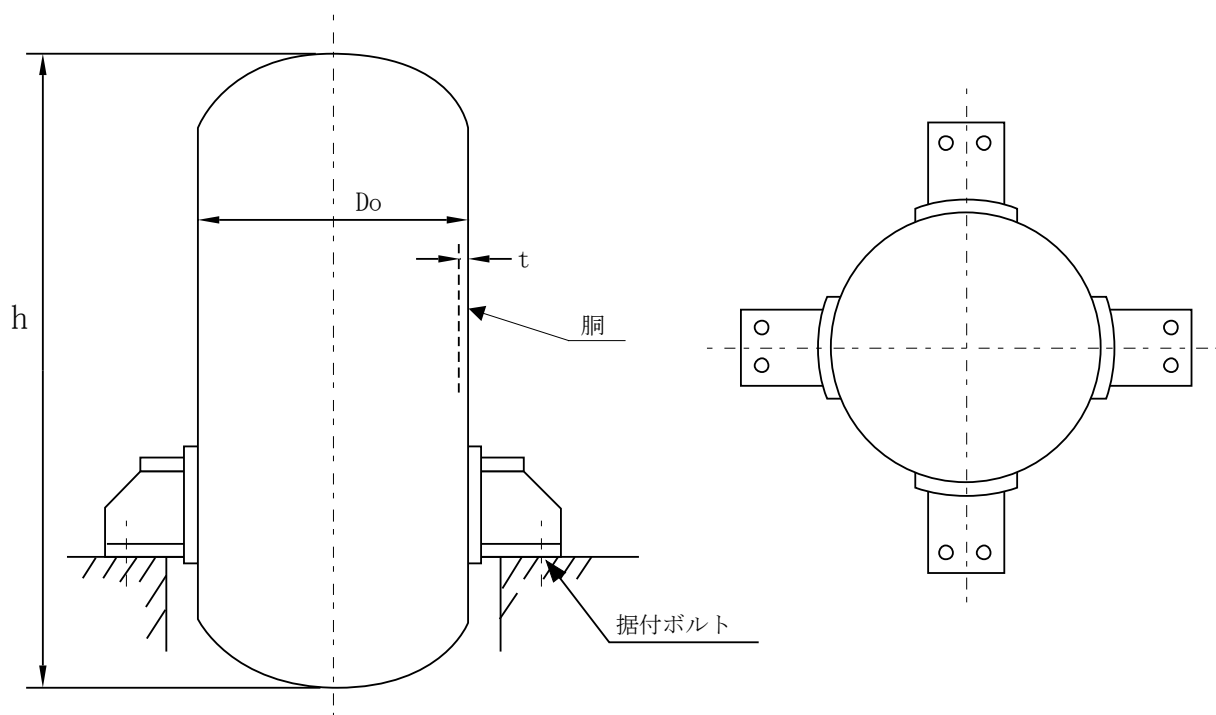


図 3-1 濃縮液槽 (G12V12) の概要図

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出については、自重、圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については、水平方向応力と鉛直方向応力を、二乗和平方根 (SRSS) 法により組み合わせた。

4.2 許容応力

設備の構造強度の許容応力は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 2012」に準拠し、供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については、温度は設計温度、圧力については設計圧力、自

重については設計時の質量とし、それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 Su)
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3 設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動によるガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。濃縮液槽(G12V12)は、固化セル(R001)内の濃縮器ラック(G12RK10)に搭載している機器であるため、図 4-1 に示す通り、濃縮器(G12E10)の静的解析用震度は、濃縮器ラックの地震応答解析結果(別紙 6-1-2-5-2-115)から得られる機器搭載位置での静的解析用震度(水平方向:1.82,鉛直方向:0.97)を用いた。

表 4-2 静的解析用震度

階	静的解析用震度(床応答最大加速度×1.2)	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.28	0.79
3F	1.12	0.79
2F	1.03	0.79
1F	0.97	0.78
B1F	0.90	0.78
B2F	0.86	0.77

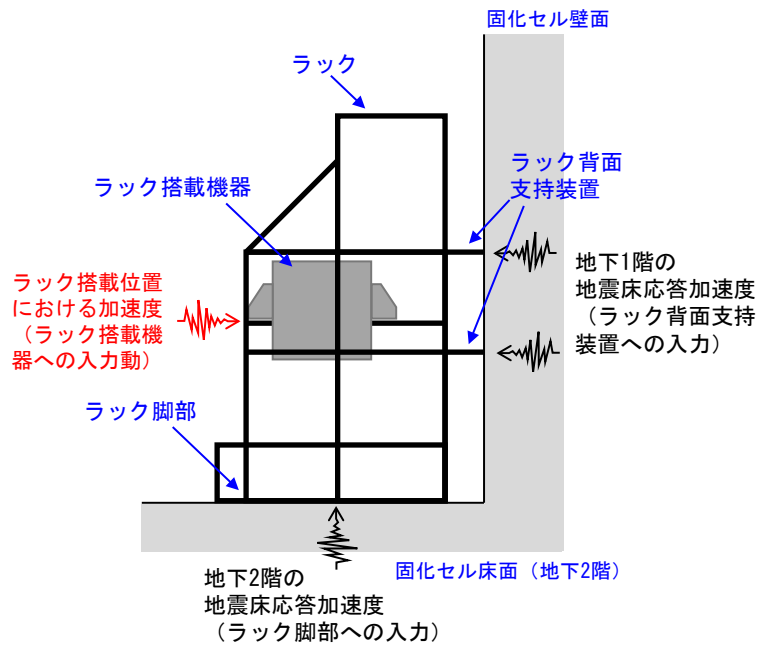


図 4-1 ラック搭載機器への地震動の入力方法

4.4 計算方法

濃縮液槽 (G12V12) の計算方法は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」のラグ支持たて置円筒形容器の構造強度評価の計算式を適用した。構造強度評価は、算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

胴の一次一般膜応力：

$$\sigma_0 = \max[\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}]$$

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2}$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x11}^2 + \sigma_{x4}^2}$$

胴の一次応力：

$$\sigma_1 = \max[\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15}, \sigma_{16}, \sigma_{17}, \sigma_{18}, \sigma_{19}, \sigma_{110}]$$

据付ボルトの引張応力：

$$\sigma_b = \max[\sigma_{b1}, \sigma_{b2}, \sigma_{b3}, \sigma_{b4}, \sigma_{b5}]$$

据付ボルトのせん断応力：

$$\tau_b = \max[\tau_{b2}, \tau_{b4}, \tau_{b5}]$$

4.5 計算条件

4.5.1 解析モデル

濃縮液槽 (G12V12) の解析モデルを図 4-2 に示す。

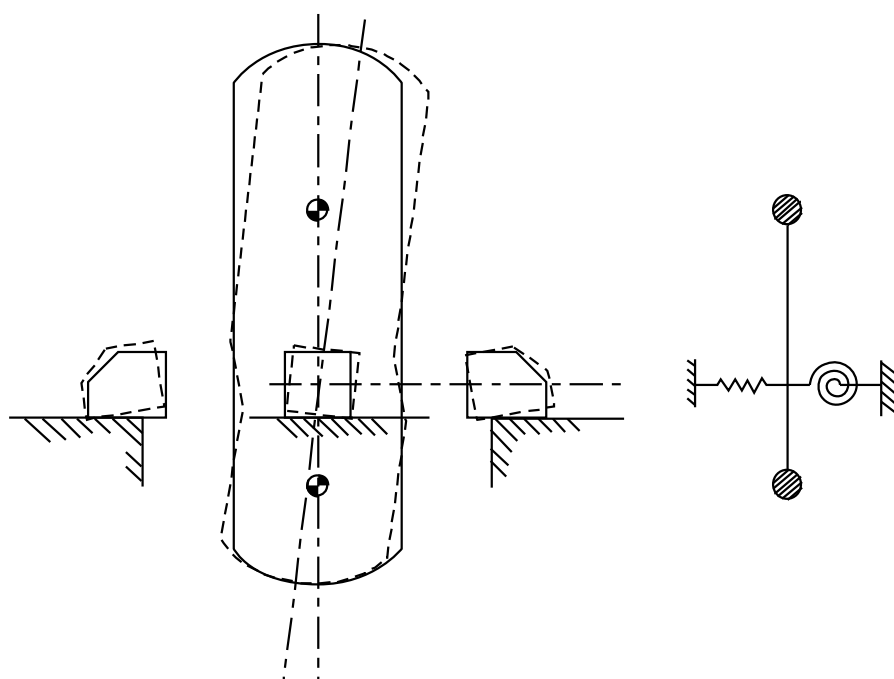


図 4-2 濃縮液槽 (G12V12) の解析モデル

4.5.2 諸元

濃縮液槽 (G12V12) の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	記号	値
濃縮液槽 (G12V12)	安全上の機能	—	閉じ込め機能
	機器区分	—	クラス 3
	圧力 (設計圧力)	—	0.59 (MPa)
	胴外径	Do	1346 (mm)
	胴板厚さ	t	7 (mm)
	胴高さ	h	2100 (mm)
	胴材質	—	R-SUS304ULC
	胴温度 (設計温度)	—	95 (°C)
	据付ボルト呼び径	—	M20
	据付ボルト材質	—	SUS316
	据付ボルト温度	—	45 (°C)
	総質量	—	4690 (kg)

4.6 固有周期

濃縮液槽 (G12V12) の固有周期は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」のラグ支持たて置円筒形容器の以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = \frac{2\pi}{\omega_H}$$

濃縮液槽 (G12V12) の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4 固有周期

評価対象設備	固有周期
濃縮液槽 (G12V12)	0.039 (秒)

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の濃縮液槽 (G12V12) の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1 構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ^{※1}
濃縮液槽 (G12V12)	胴	一次一般膜	60	247	0.25
		一次	70	371	0.19
	据付ボルト	引張	77	237	0.33
		せん断	67	142	0.47

※1 応力比は、発生応力／許容応力を示す。

溶融炉 (G21ME10) の耐震性についての計算書

【目 次】

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用規格・基準等	1
2.3 記号の説明	1
3. 評価部位	1
4. 構造強度評価	2
4.1 荷重の組合せ	2
4.2 許容応力	2
4.3 減衰定数	3
4.4 設計用地震力	4
4.5 計算方法	6
4.6 計算条件	6
4.7 固有周期	8
5. 評価結果	12

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する溶融炉(G21ME10)について、「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ、廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

溶融炉(G21ME10)の構造強度の評価は、有限要素法(FEM)解析により行い、当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し、構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 (日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008 (日本電気協会)
- (3) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 2012 (日本機械学会)
- (4) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1 2012 (日本機械学会)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa

3. 評価部位

溶融炉(G21ME10)の構造強度の評価部位は、評価上厳しくなるケーシング、架台、据付ボルト及び基礎ボルトとする。溶融炉(G21ME10)の概要図を図 3-1 に示す。

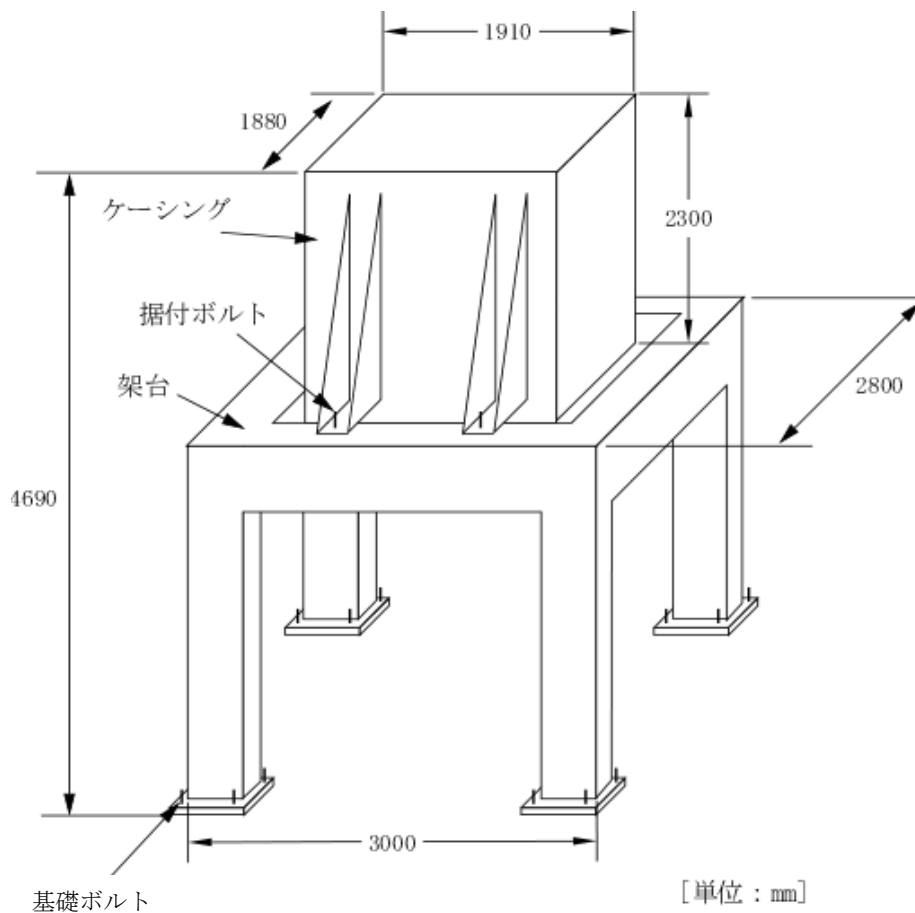


図 3-1 溶融炉 (G21ME10) の概要図

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出については、自重、圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については、水平方向応力と鉛直方向応力を、二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2 許容応力

設備の構造強度の許容応力は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 2012」に準拠し、供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については、温度は設計温度、圧力については設計圧力、自重については設計時の質量とし、それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
ケーシング	一次応力	$1.5 \times (F/1.5)$
ケーシング	一次+二次応力	$3 \times (F/1.5)$
架台	一次応力	F
ケーシング 据付ボルト	引張応力	$1.5 \times (F/1.5)$
ケーシング 据付ボルト	せん断応力	$1.5 \times (F/(1.5\sqrt{3}))$
架台 据付ボルト	引張応力	$1.5 \times (F/1.5)$
架台 据付ボルト	せん断応力	$1.5 \times (F/(1.5\sqrt{3}))$

4.3 減衰定数

減衰定数は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に規定された値を用いた。使用した減衰定数を表 4-2 に示す。

表 4-2 使用した減衰定数

評価対象設備	減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向
熔融炉 (G21ME10)	1.0	1.0

4.4 設計用地震力

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAC4601-2008」に基づき、廃止措置計画用設計地震動による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答加速度をもとに、各階の床応答スペクトル (S_s-D , S_s-1 , S_s-2 の 3 波包絡, 周期軸方向に ± 10 % 拡幅したもの) を作成し、これを評価に用いた。

熔融炉 (G21ME10) の解析用の床応答スペクトルは、機器据付階 (地下 2 階) のものを用いた。使用した解析用の床応答スペクトルを表 4-3, 図 4-1 及び図 4-2 に示す。

表 4-3 使用した解析用の床応答スペクトル

評価対象設備	水平方向	鉛直方向
熔融炉 (G21ME10)	解析用の床応答スペクトル (地下 2 階, 減衰定数 1.0 %)	解析用の床応答スペクトル (地下 2 階, 減衰定数 1.0 %)

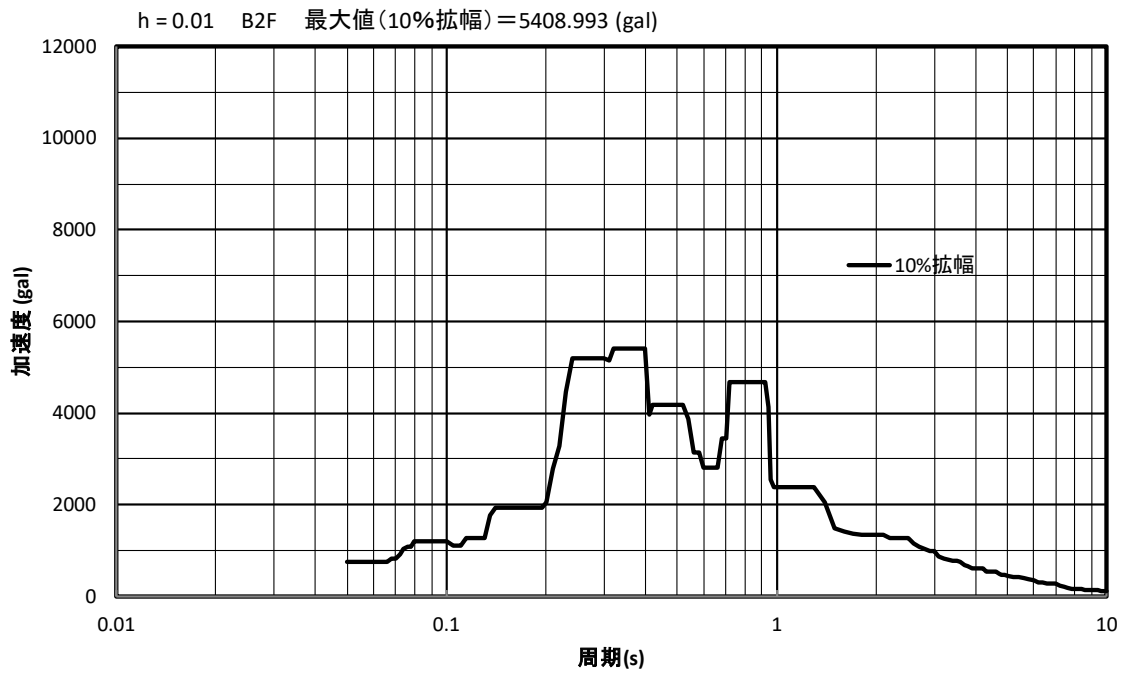


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，地下 2 階，減衰定数 1.0%）

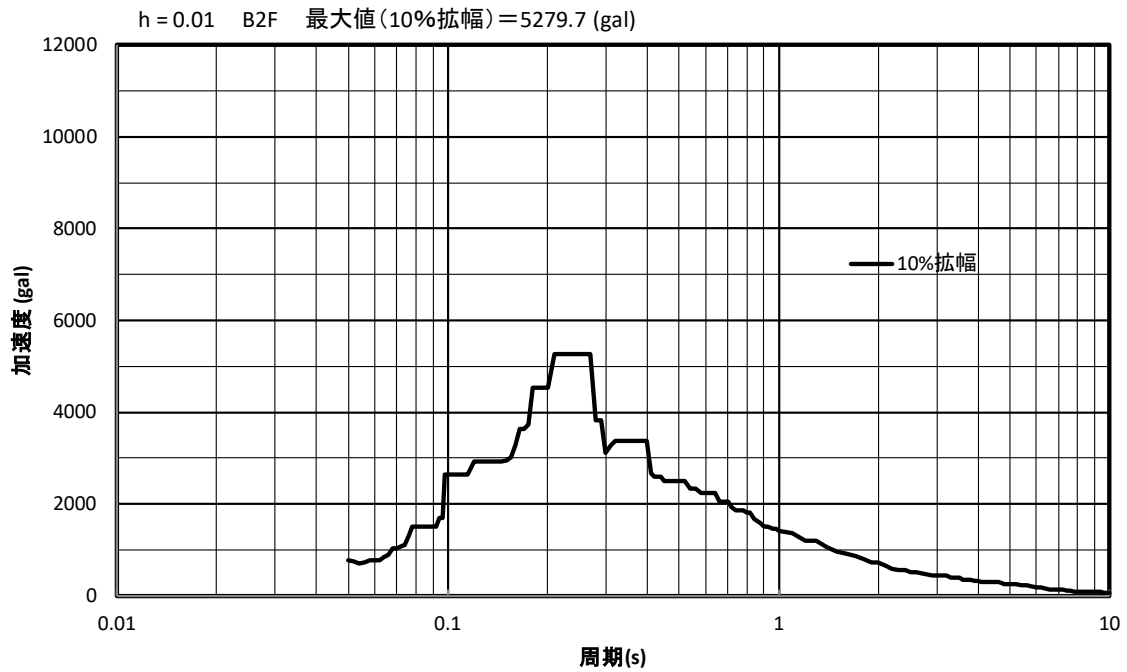


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，地下 2 階，減衰定数 1.0%）

4.5 計算方法

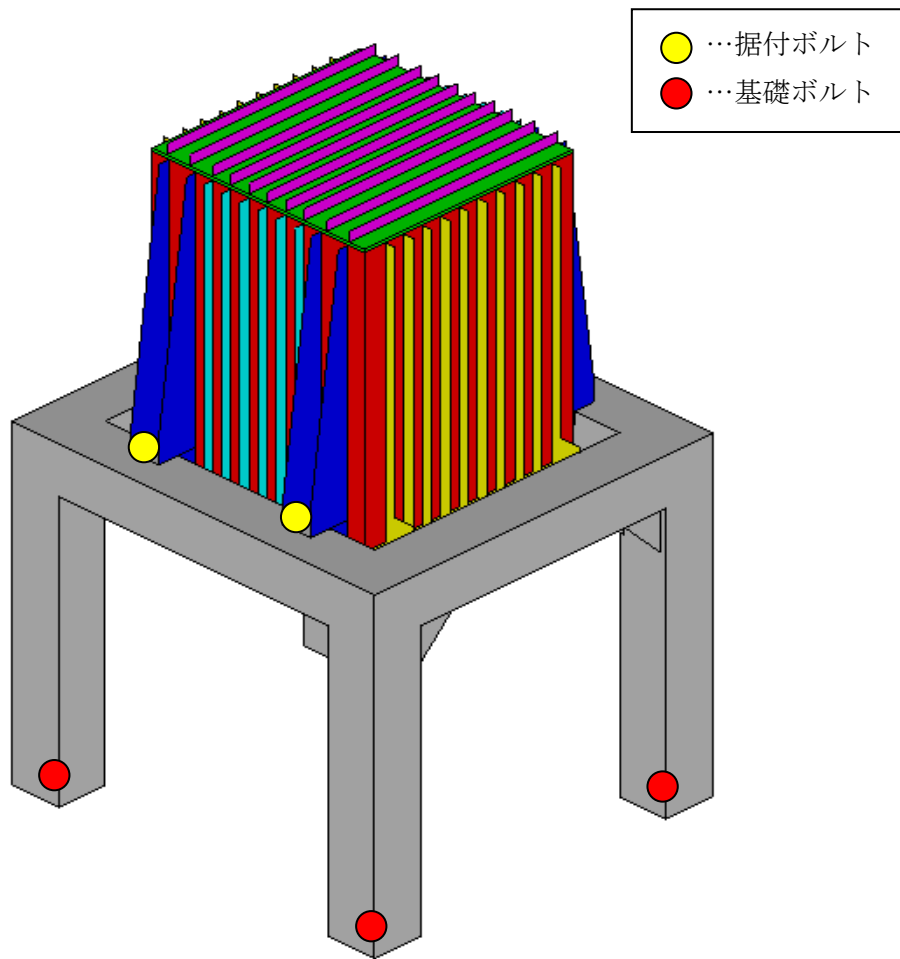
溶融炉(G21ME10)の発生応力の計算方法はFEM解析(スペクトルモーダル法)を用いた。解析コードはMSC.Nastran^{※1}を用いた。構造強度評価は、算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

※1 MSC Software Corporation, “MSC.Nastran Version 2005r2” .

4.6 計算条件

4.6.1 解析モデル

溶融炉(G21ME10)の解析モデルを図4-3に示す。FEM解析のモデルは、その振動特性に応じ、代表的な振動モードが適切に表現でき、地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。



拘束条件 ○：固定、－：フリー

部位	並進方向			回転方向		
	x	y	z	θ_x	θ_y	θ_z
据付ボルト	○	○	○	-	-	-
基礎ボルト	○	○	○	○	○	○

図 4-3 溶融炉 (G21ME10) の解析モデル

4.6.2 諸元

溶融炉 (G21ME10) の主要寸法・仕様を表 4-4 に示す。

表 4-4 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	値
溶融炉 (G21ME10)	安全上の機能	閉じ込め機能
	機器区分	クラス 3
	全長	4690 (mm)
	ケーシング厚さ	12 (mm)
	ケーシング材質	SUS304
	ケーシング設計温度	200 (°C)
	据付ボルト呼び径	M42
	据付ボルト有効断面積※	1120 (mm ²)
	据付ボルト材質	SUS304
	架台厚さ	16 (mm)
	架台材質	SUS304
	架台設計温度	45 (°C)
	基礎ボルト呼び径	M42
	基礎ボルト材質	SUS304
	総質量 (設計質量)	23 (ton)

※ JIS B 0205 に基づく。

4.7 固有周期

溶融炉 (G21ME10) の固有周期及び固有モードを図 4-4 に示す。

1次モード図

固有周期：0.072（秒）

SUBCASE 1: Mode#1, Frequency= 1.383e+001Hz

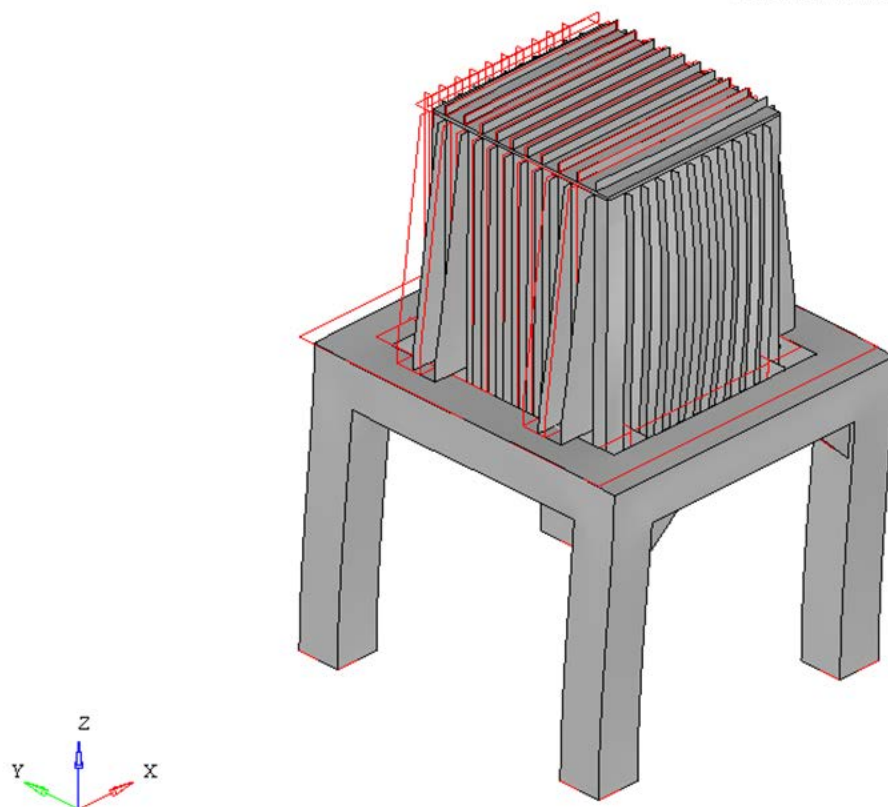


図 4-4 熔融炉(G21ME10) 固有モード図 (1/3)

6-1-2-5-2-8-8

2次モード図

固有周期 : 0.069 (秒)

SUBCASE 1 : Mode#2, Frequency= 1.443e+001Hz

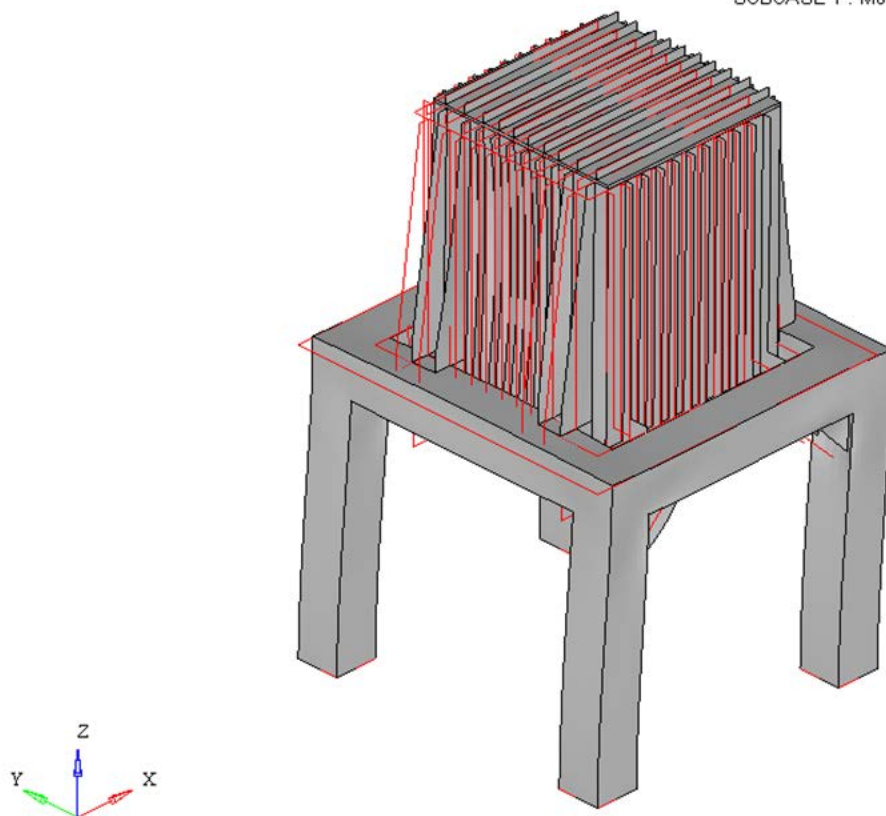


図 4-4 溶融炉 (G21ME10) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期：0.042（秒）

SUBCASE 1: Mode#3, Frequency= 2.384e+001Hz

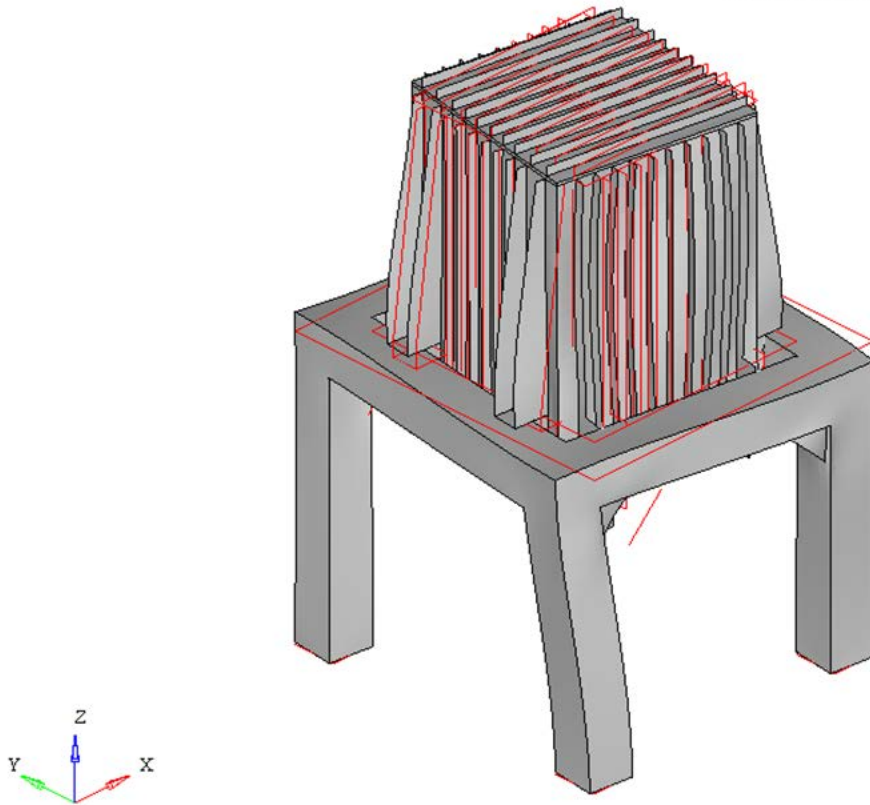


図 4-4 熔融炉(G21ME10) 固有モード図 (3/3)

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。ボルトの発生応力は、計算から得られるボルト 1 本あたりの最大せん断荷重をボルトの有効断面積で割って算出した。

ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の溶融炉 (G21ME10) の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1 構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ^{※1}
溶融炉 (G21ME10)	ケーシング	一次	74	194	0.39
		一次+二次	339	388	0.88
	架台	一次	102	246	0.42
	据付ボルト	引張	13	246	0.06
		せん断	41	142	0.29
	基礎ボルト	引張	81	246	0.33
せん断		13	142	0.10	

※1 応力比は、発生応力/許容応力を示す。

ポンプ (G83P32, P42)
の耐震性についての計算書

【目 次】

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用規格・基準等	1
2.3 記号の説明	2
3. 評価部位	2
4. 構造強度評価	2
4.1 荷重の組合せ	2
4.2 許容応力	3
4.3 設計用地震力	3
4.4 計算方法	4
4.5 計算条件	5
4.6 固有周期	6
5. 機能維持評価	7
5.1 動的機能維持評価方法	7
6. 評価結果	8

1. 概要

高放射性廃液の崩壊熱除去機能を構成するポンプ(G83P32, P42)について、「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ、廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

ポンプ(G83P32, P42)の構造強度の評価は、鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」のポンプ・ファン類の構造強度評価に準拠し、当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し、構造上の許容限界を超えないことを確認する。

また、当該設備の地震時及び地震後の動的機能の評価は、廃止措置計画用設計地震動により当該設備に作用する加速度が機能確認済加速度以下となることを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1)原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 (日本電気協会)
- (2)原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008 (日本電気協会)
- (3)発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 2012 (日本機械学会)
- (4)発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1 2012 (日本機械学会)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	据付ボルトの軸断面積	mm ²
A_S	最小有効せん断断面積	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
F_b	据付ボルトに生じる引張力	N
G_I	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度	mm/s ²
h	据付面から重心までの距離	mm
I	断面2次モーメント	mm ⁴
l_1, l_2	重心と据付ボルト間の水平方向距離 ($l_1 \leq l_2$)	mm
L	据付ボルト間隔	mm
m	総質量	kg
M_P	ポンプ回転により働くモーメント	N・mm
n	据付ボルトの本数	—
n_f	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	—
Q_b	据付ボルトに生じるせん断力	N
σ_b	据付ボルトに生じる引張応力	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
τ_b	据付ボルトに生じるせん断応力	MPa

3. 評価部位

ポンプ(G83P32, P42)の構造強度の評価部位は、評価上厳しくなる据付ボルトとする。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出においては、自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については、水平方向応力と鉛直方向応力を、二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2 許容応力

設備の構造強度の許容応力は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 2012」に準拠し、供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については、温度は設計温度、自重については設計時の質量とし、それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。据付ボルトの応力分類ごとの許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1 据付ボルトの応力分類ごとの許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
据付ボルト	引張応力	$1.5 \times (F/1.5)$
据付ボルト	せん断応力	$1.5 \times (F/(1.5\sqrt{3}))$

4.3 設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動によるガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。ポンプ(G83P32, P42)の静的解析用震度は、機器据付階のもの(B1F, 水平方向: 0.90, 鉛直方向: 0.78)を用いた。

表 4-2 静的解析用震度

階	静的解析用震度 (床応答最大加速度×1.2)	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.28	0.79
3F	1.12	0.79
2F	1.03	0.79
1F	0.97	0.78
B1F	0.90	0.78
B2F	0.86	0.77

4.4 計算方法

冷却ポンプ (G83P32, P42) の発生応力の計算方法は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」の横形ポンプの構造強度評価の計算式を適用した。構造強度評価は、算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

引張力 (F_b) :

$$F_b = \frac{1}{L} \left\{ mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mgC_P(h + l_1) + M_P - mgl_1 \right\}$$

引張応力 (σ_b) :

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

せん断力 (Q_b) :

$$Q_b = mg(C_H + C_P)$$

せん断応力 (τ_b) :

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n A_b}$$

4.5 計算条件

4.5.1 解析モデル

ポンプ(G83P32, P42)の解析モデルを図4-1に示す。評価は据付ボルト間隔が短く転倒に対して厳しい軸直角方向に対して行う。

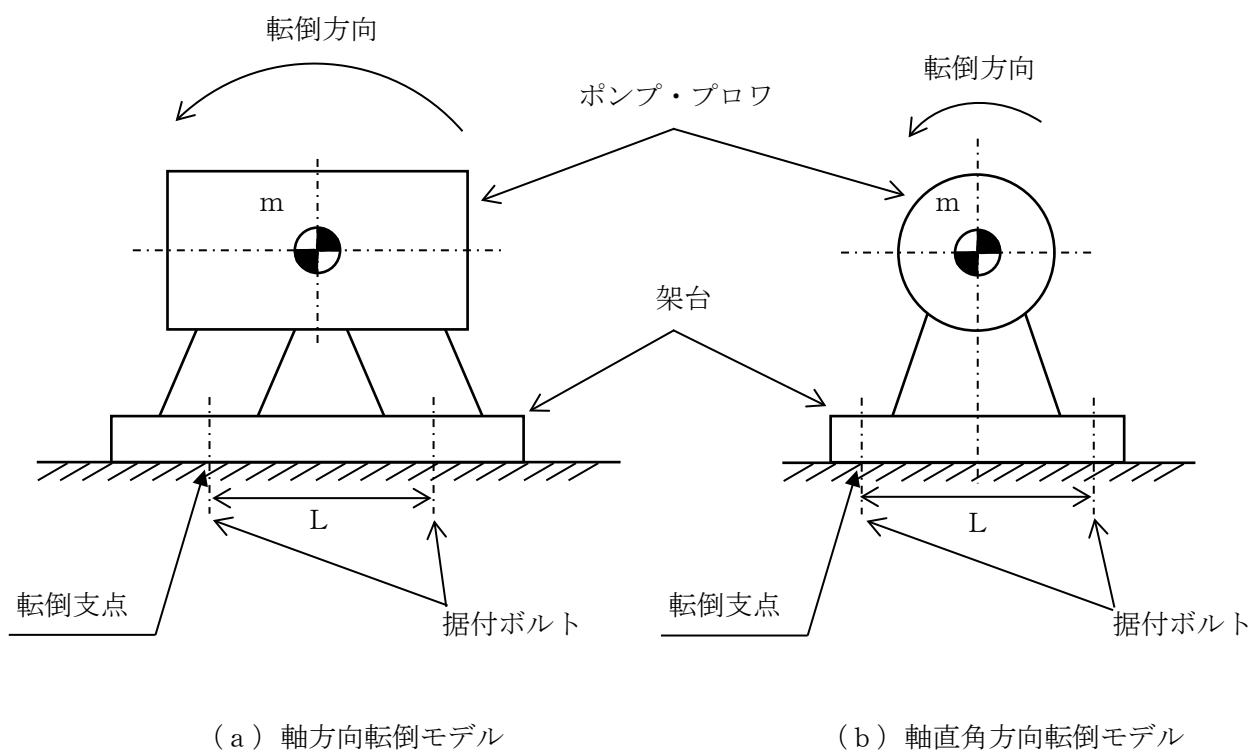


図4-1 解析モデル

4.5.2 諸元

ポンプ(G83P32, P42)の主要寸法・仕様を表4-3に示す。

表 4-3 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	記号	値
ポンプ (G83P32, P42)	安全上の機能	—	崩壊熱除去機能
	機器区分	—	クラス 3
	据付ボルト間隔	L	120 (mm)
	据付ボルト呼び径	—	M12
	据付ボルト材質	—	SS400
	据付ボルト温度	—	55 (°C)
	据付ボルトの本数	n	4
	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	n_f	2
	据付面から重心までの距離	h	190 (mm)
	ポンプ振動による震度	C_p	0.17
	ポンプ回転により働くモーメント	M_p	0 (N・mm)
	総質量	m	140 (kg)

4.6 固有周期

ポンプ (G83P32, P42) の固有周期は、1 質点系振動モデルとして考え、以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = 2\pi \sqrt{\frac{m}{1000} \left(\frac{h^3}{3EI} + \frac{h}{A_S G_I} \right)}$$

ポンプ (G83P32, P42) の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4 固有周期

評価対象設備	固有周期
ポンプ (G83P32, P42)	0.05 (秒)以下

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

ポンプ (G83P32, P42) の地震時及び地震後の動的機能維持評価について、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」の横形ポンプの評価方法を準用し、廃止措置計画用設計地震動により当該設備に作用する加速度と機能確認済加速度を比較することにより評価を行った。機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度

評価対象設備	形式	方向	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
ポンプ (G83P32, P42)	横形単段遠心式	水平	1.4
		鉛直	1.0

6. 評価結果

構造強度評価結果を表 6-1 に示す。

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟のポンプ(G83P32, P42)の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

また、動的機能維持評価結果を表 6-2 に示す。廃止措置計画用設計地震動によりポンプ(G83P32, P42)に作用する加速度は機能確認済加速度以下であることを確認した。

表 6-1 構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ^{※1}
ポンプ(G83P32, P42)	据付ボルト	引張	11	274	0.05
		せん断	5	158	0.04

※1 応力比は、発生応力／許容応力を示す。

表 6-2 動的機能維持評価結果

評価対象設備	方向	廃止措置計画用設計地震動により設備に作用する加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
ポンプ(G83P32, P42)	水平	0.75	1.4
	鉛直	0.65	1.0

ルテニウム吸着塔 (G41T35) の耐震性についての計算書

【目次】

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用規格・基準等	1
2.3 記号の説明	2
3. 評価部位	3
4. 構造強度評価	3
4.1 荷重の組合せ	3
4.2 許容応力	3
4.3 設計用地震力	4
4.4 計算方法	5
4.5 計算条件	5
4.6 固有周期	7
5. 評価結果	7

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成するルテニウム吸着塔(G41T35)について、「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ、廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

ルテニウム吸着塔(G41T35)の構造強度の評価は、鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」のラグ支持たて置円筒形容器の構造強度評価に準拠する。

当該設備に、廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し、構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 (日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008 (日本電気協会)
- (3) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 2012 (日本機械学会)
- (4) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1 2012 (日本機械学会)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
D_o	胴外径	mm
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
h	胴高さ	mm
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa
t	胴板厚さ	mm
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{0\phi}$	胴の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_{0x}	胴の軸方向一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}$	内圧又は静水頭による胴の周方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に作用する鉛直方向地震力による胴の周方向応力	MPa
σ_{x1}	内圧又は静水頭による胴の軸方向応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
σ_{x11}	鉛直方向地震力による胴断面に生じる引張応力	MPa
σ_{x4}	水平方向地震力が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_{11} ～ σ_{16}	水平方向地震力 (Z 方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{17} ～ σ_{110}	水平方向地震力 (X 方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_b	ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{b1} ～ σ_{b3}	水平方向地震力 (Z 方向) 及び鉛直方向地震力によりボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b4} ～ σ_{b5}	水平方向地震力 (X 方向) 及び鉛直方向地震力によりボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b2}	水平方向地震力 (Z 方向) 及び鉛直方向地震力によりボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b4} ～ τ_{b5}	水平方向地震力 (X 方向) 及び鉛直方向地震力によりボルトに生じるせん断応力	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
ω_H	水平方向振動系の角速度	rad/s

3. 評価部位

ルテニウム吸着塔(G41T35)の構造強度の評価部位は、評価上厳しくなる胴及び据付ボルトとする。ルテニウム吸着塔(G41T35)の概要図を図3-1に示す。

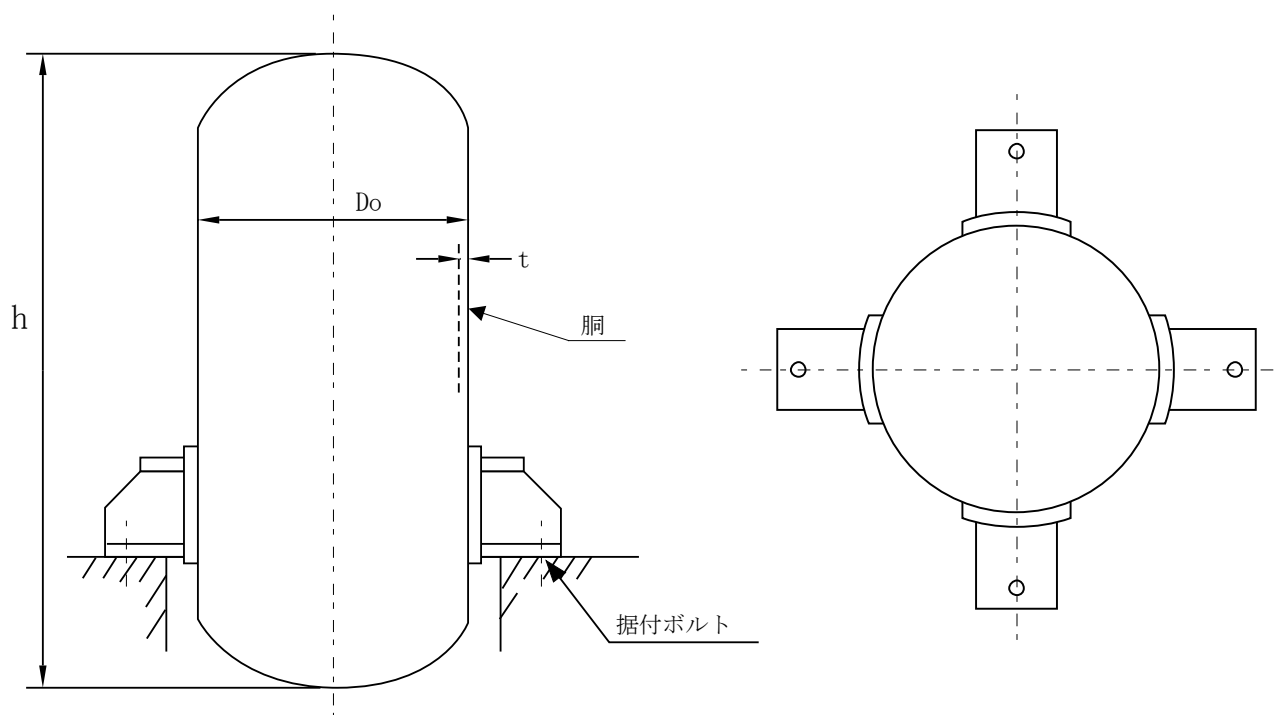


図3-1 ルテニウム吸着塔(G41T35)の概要図

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出については、自重、圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については、水平方向応力と鉛直方向応力を、二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2 許容応力

設備の構造強度の許容応力は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 2012」に準拠し、供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については、温度は設計温度、圧力については設計圧力、自

重については設計時の質量とし、それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 Su)
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3 設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動によるガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。ルテニウム吸着塔(G41T35)は、固化セル(R001)内の洗浄塔ラック(G41RK30)に搭載している機器であるため、ルテニウム吸着塔(G41T35)の静的解析用震度は、機器搭載位置での静的解析用震度(水平方向:1.60,鉛直方向:0.90)を用いた。

表 4-2 静的解析用震度

階	静的解析用震度 (床応答最大加速度×1.2)	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.28	0.79
3F	1.12	0.79
2F	1.03	0.79
1F	0.97	0.78
B1F	0.90	0.78
B2F	0.86	0.77

4.4 計算方法

ルテニウム吸着塔 (G41T35) の発生応力の計算方法は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」のラグ支持たて置円筒形容器の構造強度評価の計算式を適用した。構造強度評価は、算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

胴の一次一般膜応力：

$$\sigma_0 = \max[\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}]$$

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2}$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x11}^2 + \sigma_{x4}^2}$$

胴の一次応力：

$$\sigma_1 = \max[\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15}, \sigma_{16}, \sigma_{17}, \sigma_{18}, \sigma_{19}, \sigma_{110}]$$

据付ボルトの引張応力：

$$\sigma_b = \max[\sigma_{b1}, \sigma_{b2}, \sigma_{b3}, \sigma_{b4}, \sigma_{b5}]$$

据付ボルトのせん断応力：

$$\tau_b = \max[\tau_{b2}, \tau_{b4}, \tau_{b5}]$$

4.5 計算条件

4.5.1 解析モデル

ルテニウム吸着塔 (G41T35) の解析モデルを図 4-1 に示す。

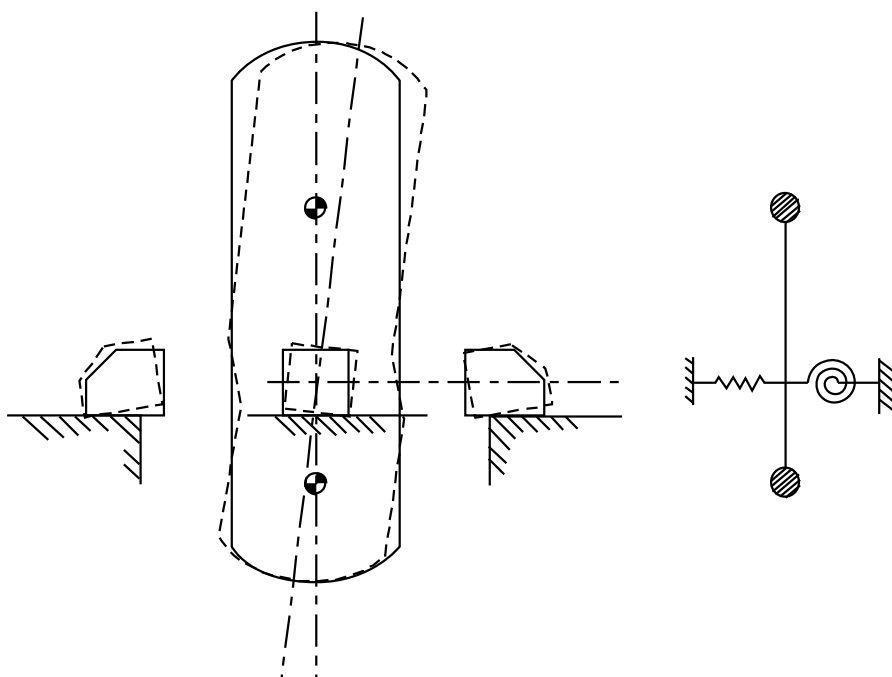


図 4-1 ルテニウム吸着塔(G41T35)の解析モデル

4.5.2 諸元

ルテニウム吸着塔(G41T35)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	記号	値
ルテニウム吸着塔 (G41T35)	安全上の機能	—	閉じ込め機能
	機器区分	—	クラス 3
	圧力 (設計圧力)	—	0.013 (MPa)
	胴外径	Do	866 (mm)
	胴板厚さ	t	8 (mm)
	胴高さ	h	2420 (mm)
	胴材質	—	SUS304L
	胴温度 (設計温度)	—	70 (°C)
	据付ボルト呼び径	—	M24
	据付ボルト材質	—	SUS316
	据付ボルト温度	—	70 (°C)
	総質量	—	1730 (kg)

4.6 固有周期

ルテニウム吸着塔 (G41T35) の固有周期は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」のラグ支持たて置円筒形容器の以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = \frac{2\pi}{\omega_H}$$

ルテニウム吸着塔 (G41T35) の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4 固有周期

評価対象設備	固有周期
ルテニウム吸着塔 (G41T35)	0.033 (秒)

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟のルテニウム吸着塔 (G41T35) の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1 構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ^{※1}
ルテニウム吸着塔 (G41T35)	胴	一次一般膜	4	250	0.02
		一次	17	375	0.05
	据付ボルト	引張	34	246	0.14
		せん断	31	142	0.22

※1 応力比は、発生応力／許容応力を示す。

濃縮器ラック (G12RK10) の耐震性についての計算書

【目 次】

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用規格・基準等	1
2.3 記号の説明	1
3. 評価部位	1
4. 構造強度評価	2
4.1 荷重の組合せ	2
4.2 許容応力	3
4.3 設計用地震力	3
4.4 計算方法	4
4.5 計算条件	4
4.6 固有周期	6
5. 評価結果	10
6. その他の考慮事項について	12
6.1 機器搭載位置での地震力について	12

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する機器等の支持構造物である濃縮器ラック (G12RK10) について、「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ、廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

濃縮器ラック (G12RK10) の構造強度の評価は、有限要素法 (FEM) 解析により行い、当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し、構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

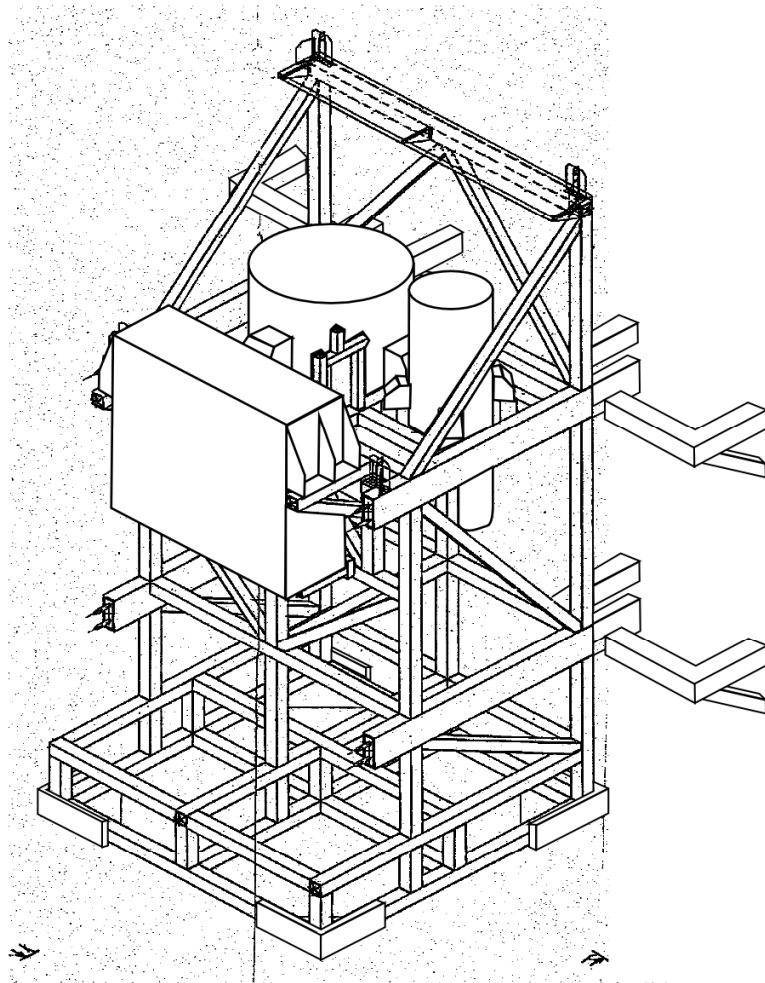
- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 (日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008 (日本電気協会)
- (3) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 2012 (日本機械学会)
- (4) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1 2012 (日本機械学会)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
f_t	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容引張応力	MPa
f_s	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容せん断応力	MPa
f_c	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容圧縮応力	MPa
f_b	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容曲げ応力	MPa

3. 評価部位

濃縮器ラック (G12RK10) の構造強度の評価部位は、評価上厳しくなるフレームとする。濃縮器ラック (G12RK10) の概要図を図 3-1 に示す。



(単位:mm)

図 3-1 濃縮器ラック (G12RK10) の概要図

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出については、自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については、水平方向応力と鉛直方向応力を、二乗和平方根 (SRSS) 法により組み合わせた。

4.2 許容応力

設備の構造強度の許容応力は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 2012」を準拠し、供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については、温度は設計温度、自重については設計時の質量とし、それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
フレーム	引張応力	$1.5 \times f_t$
フレーム	せん断応力	$1.5 \times f_s$
フレーム	圧縮応力	$1.5 \times f_c$
フレーム	曲げ応力	$1.5 \times f_b$

4.3 減衰定数

減衰定数は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に規定された値を用いた。使用した減衰定数を表 4-2 に示す。

表 4-2 使用した減衰定数

評価対象設備	減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向
濃縮器ラック (G12RK10)	1.0	1.0

4.4 設計用地震力

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAC4601-2008」に基づき、廃止措置計画用設計地震動による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答加速度をもとに、各階の床応答スペクトル (Ss-D, Ss-1, Ss-2 の 3 波包絡, 周期軸方向に ±10 % 拡幅したもの) を作成し、これを評価に用いた。

濃縮器ラック (G12RK10) の解析用の床応答スペクトルは、機器据付階 (地下 1 階) のものを用いた。使用した解析用の床応答スペクトルを表 4-3, 図 4-1 及び図 4-2 に示す。

表 4-3 使用した解析用の床応答スペクトル

評価対象設備	水平方向	鉛直方向
濃縮器ラック (G12RK10)	解析用の床応答スペクトル (地下 1 階, 減衰定数 1.0 %)	解析用の床応答スペクトル (地下 1 階, 減衰定数 1.0 %)

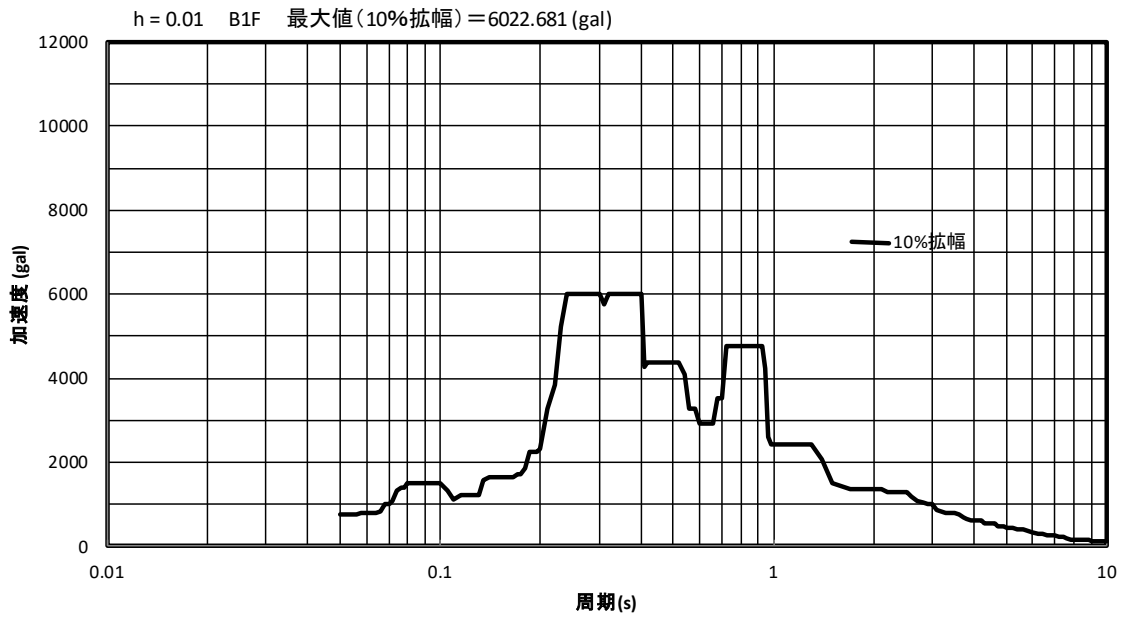


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

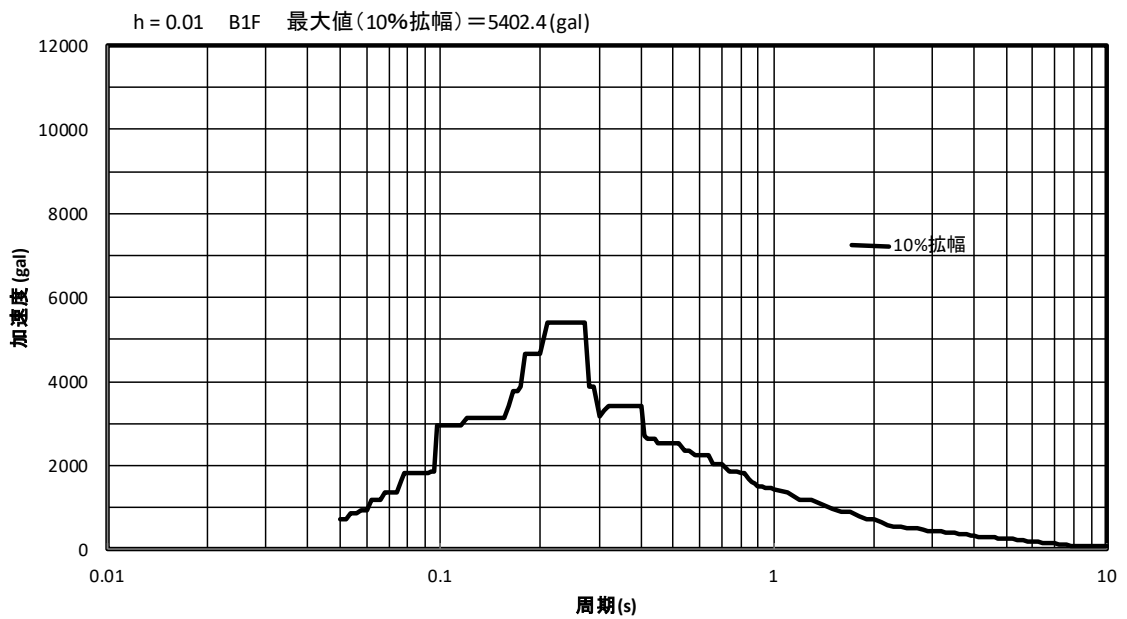


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，地下 1 階，減衰定数 1.0%）

4.5 計算方法

濃縮器ラック (G12RK10) の発生応力の計算方法は FEM 解析 (スペクトルモーダル法) を用いた。解析コードは MSC.Nastran^{※1} を用いた。構造強度評価は、算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

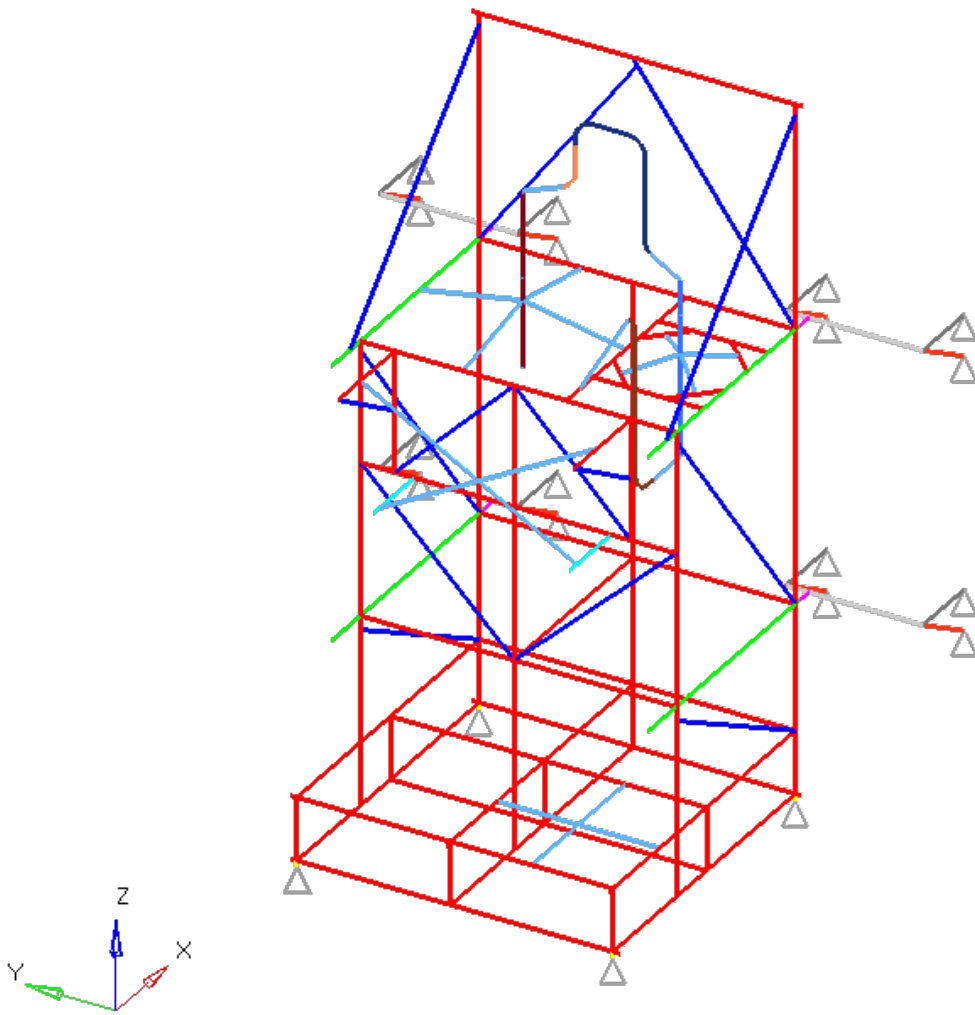
※1 MSC Software Corporation, “MSC.Nastran Version 2005r2” .

4.6 計算条件

4.6.1 解析モデル

濃縮器ラック (G12RK10) の解析モデルを図 4-3 に示す。FEM 解析のモデルは、その振動特性に応じ、代表的な振動モードが適切に表現でき、地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。

△…拘束点



拘束条件 ○：固定、－：フリー

部位	並進方向			回転方向		
	x	y	z	θ_x	θ_y	θ_z
脚部	○	○	○	○	○	○
背面支持装置	○	○	○	○	○	○

図 4-3 濃縮器ラック (G12RK10) の解析モデル

4.6.2 諸元

濃縮器ラック (G12RK10) の主要寸法・仕様を表 4-4 に示す。

表 4-4 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	値
濃縮器ラック (G12RK10)	安全上の機能	閉じ込め機能
	機器区分	クラス 3
	本体高さ	6500 (mm)
	本体幅	3000 (mm)
	本体奥行き	3000 (mm)
	本体材質	SUS304
	設計温度	45 (°C)
	総質量(設計質量)	12301 (kg)

4.7 固有周期

濃縮器ラック (G12RK10) の固有周期及び固有モードを図 4-4 に示す。

1次モード図

固有周期 : 0.084 (秒)

SUBCASE 1 : Mode#1, Frequency= 1.188e+001Hz

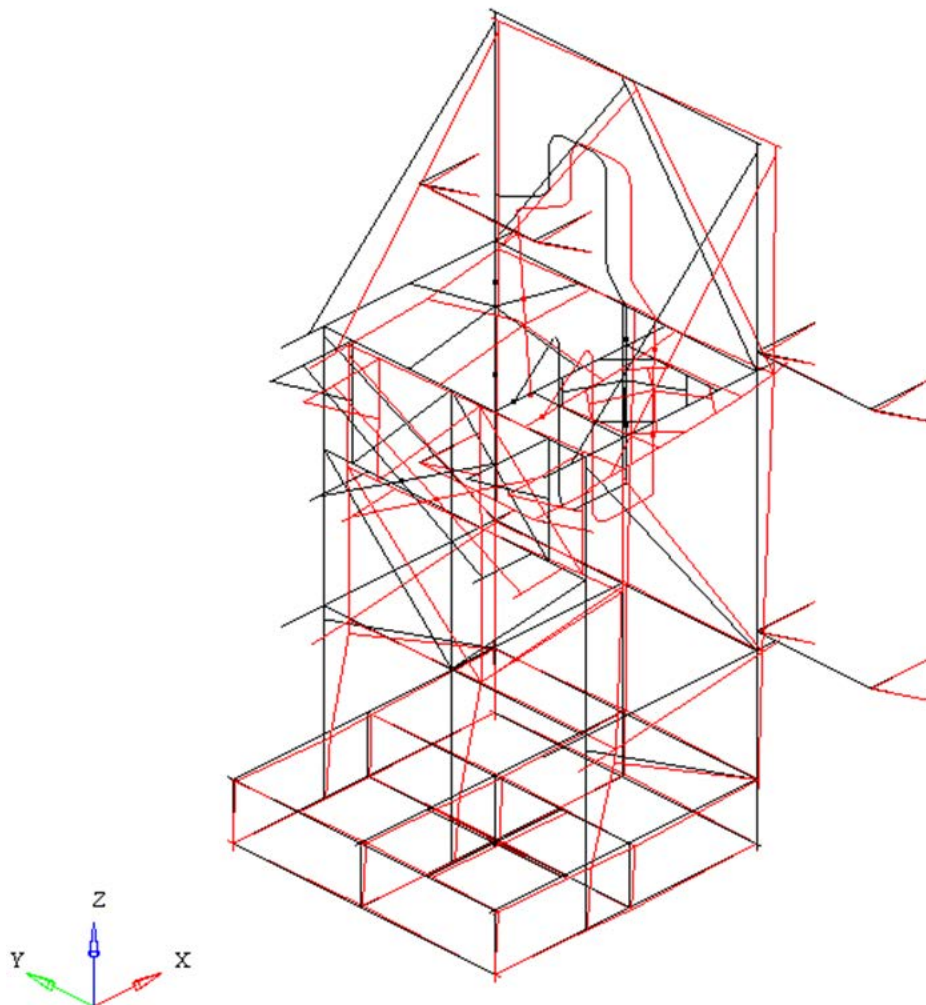


図 4-4 濃縮器ラック (G12RK10) 固有モード図(1/3)

2次モード図

固有周期 : 0.071 (秒)

SUBCASE 1 : Mode#2, Frequency= 1.405e+001Hz

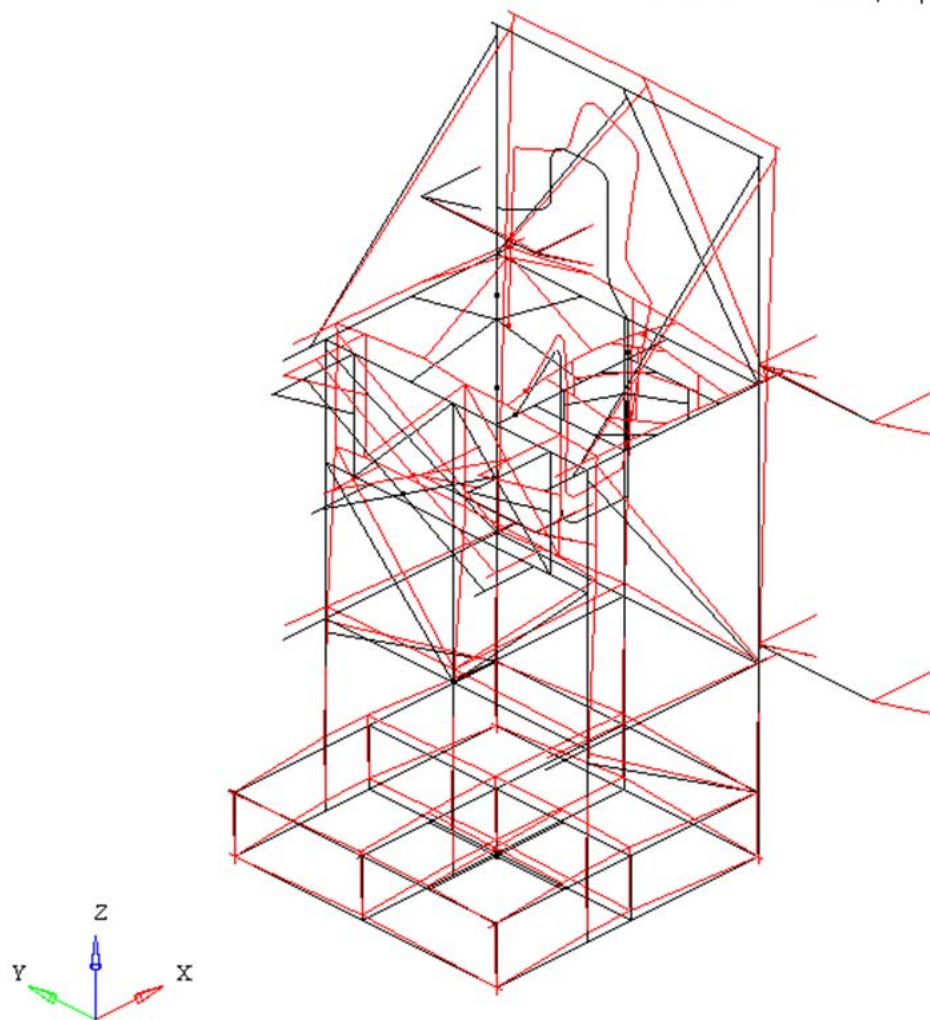


図 4-4 濃縮器ラック (G12RK10) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期 : 0.061 (秒)

SUBCASE 1 : Mode#3, Frequency= 1.645e+001Hz

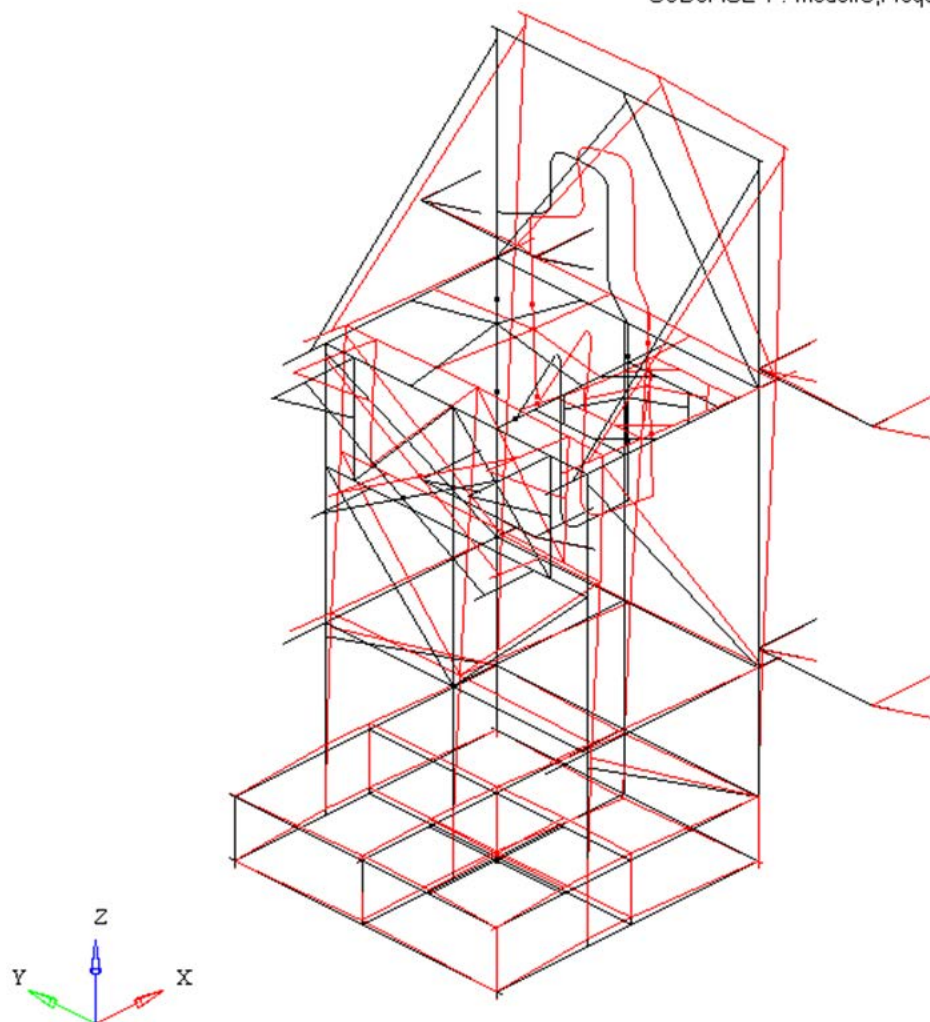


図 4-4 濃縮器ラック (G12RK10) 固有モード図 (3/3)

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の濃縮器ラック(G12RK10)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1 構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ^{※1}
濃縮器ラック (G12RK10)	フレーム	圧縮	20	131	0.16
		引張	17	246	0.07
		曲げ	141	246	0.58
		せん断	34	142	0.24

※1 応力比は、発生応力/許容応力を示す。

6. その他の考慮事項について

6.1 機器搭載位置での地震力について

濃縮器ラック (G12RK10) は、濃縮器 (G12E10)、凝縮器 (G12H11)、デミスタ (G12D1141)、凝縮液槽 (G12V20) 及びインセルクーラ (G43H11) を搭載しているため、FEM 解析 (時刻歴解析) により、それぞれ機器搭載位置での応答時刻歴波を算出した。

6.1.1 設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答時刻歴波を解析に用いた。濃縮器ラック (G12RK10) へ入力する床応答時刻歴波については、背面支持装置の位置での入力地震動は地下 1 階のもの、脚部の位置での入力地震動は地下 2 階のものを用いた。使用した床応答時刻歴波を表 6-1、図 6-1、図 6-2、図 6-3、図 6-4、図 6-5 及び図 6-6 に示す。

表 6-1 使用した床応答時刻歴波

評価対象設備	床応答時刻歴波 の入力位置	水平方向	鉛直方向
濃縮器ラック (G12RK10)	背面支持装置	廃止措置計画用設計地震動 S _s (S _s -D, S _s -1, S _s -2)による 床応答時刻歴波 (地下 1 階)	廃止措置計画用設計地震動 S _s (S _s -D, S _s -1, S _s -2) による床応答時刻歴波 (地下 1 階)
	脚部	廃止措置計画用設計地震動 S _s (S _s -D, S _s -1, S _s -2)による 床応答時刻歴波 (地下 2 階)	廃止措置計画用設計地震動 S _s (S _s -D, S _s -1, S _s -2) による床応答時刻歴波 (地下 2 階)

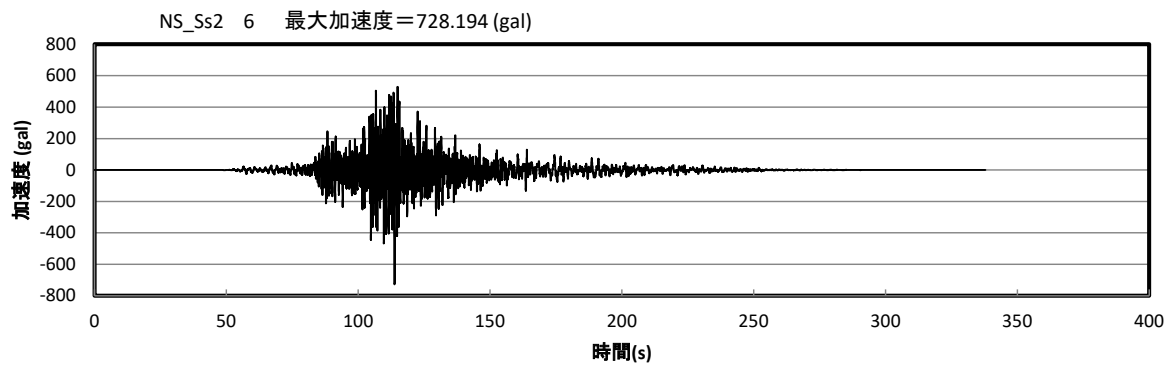
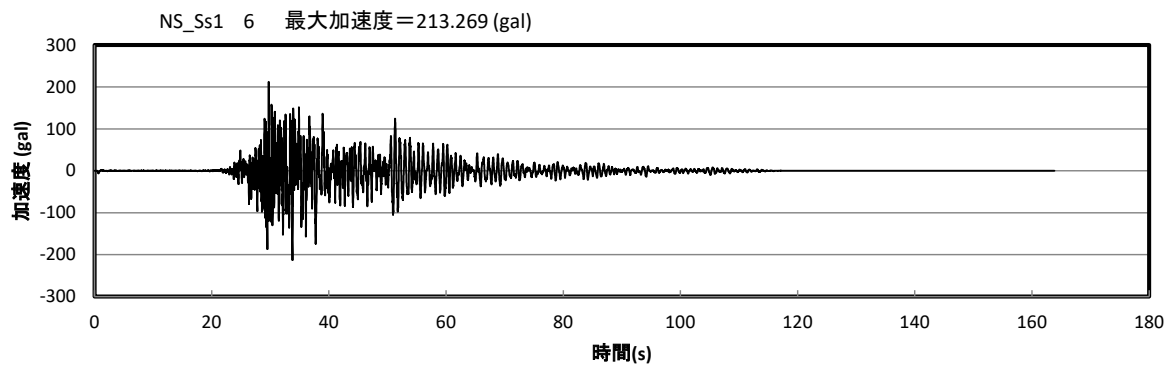
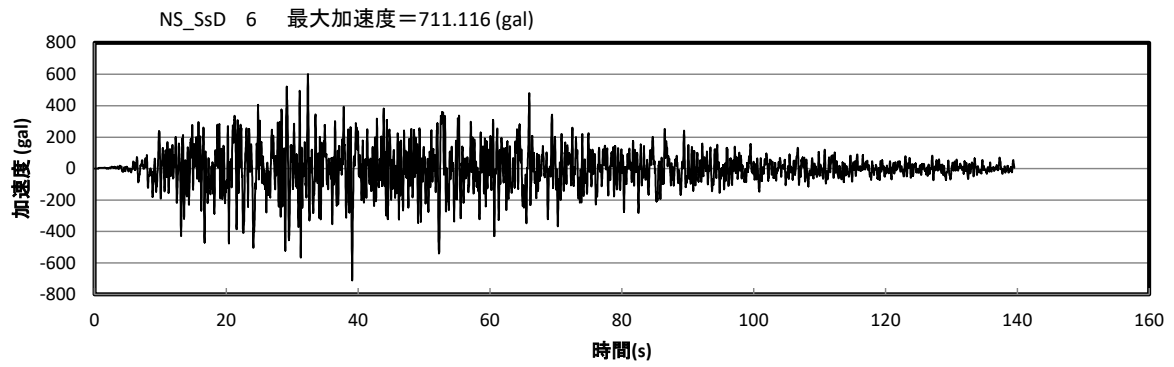


図 6-1 廃止措置計画用設計地震動 Ss (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 水平 NS 方向)

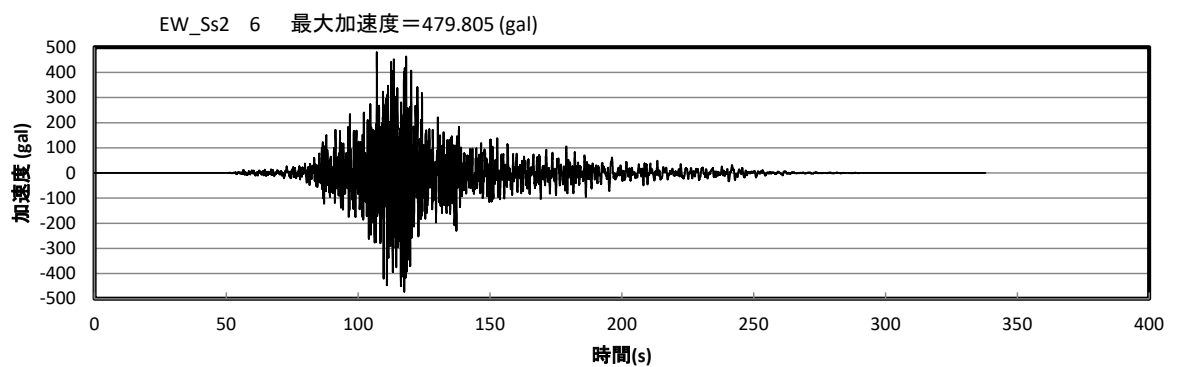
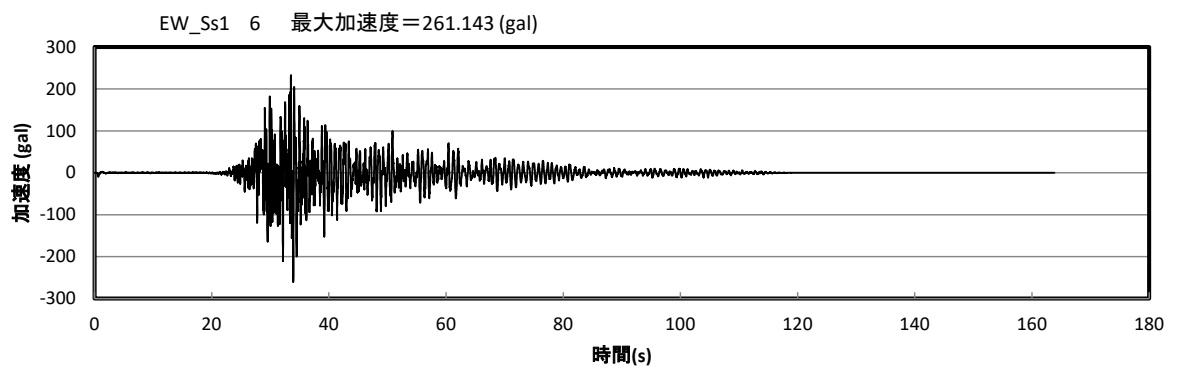
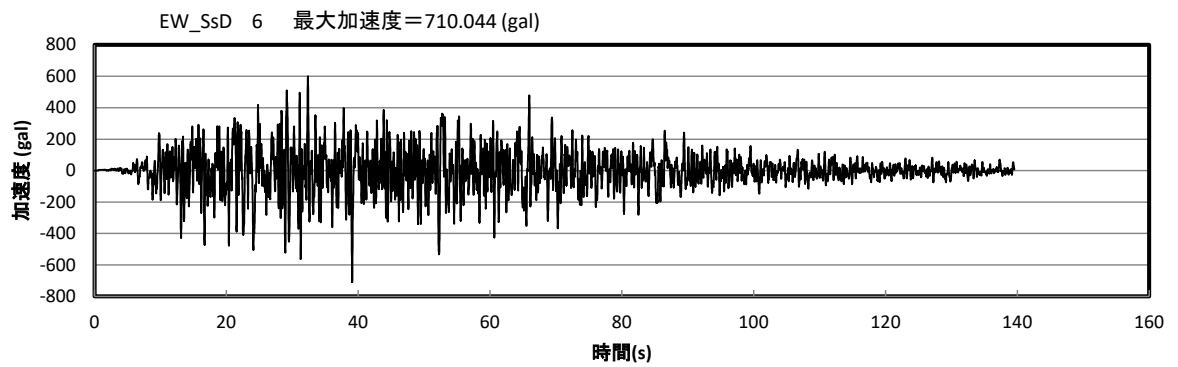


図 6-2 廃止措置計画用設計地震動 Ss (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 水平 EW 方向)

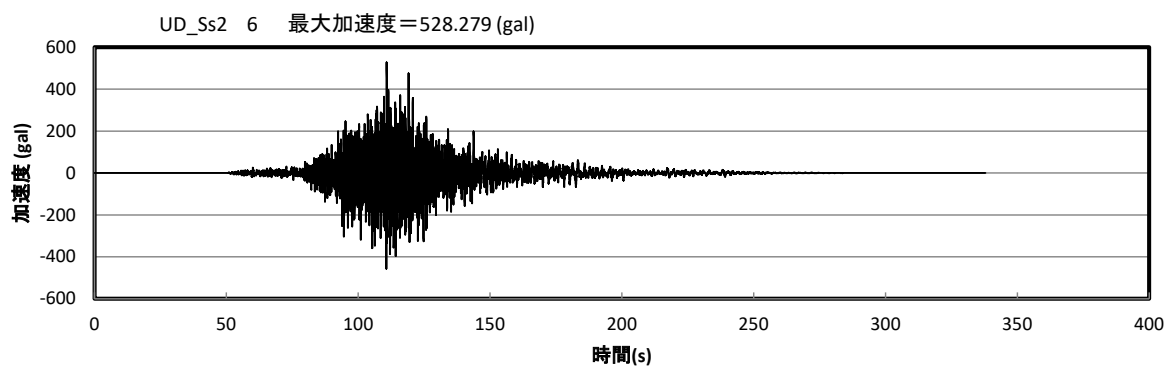
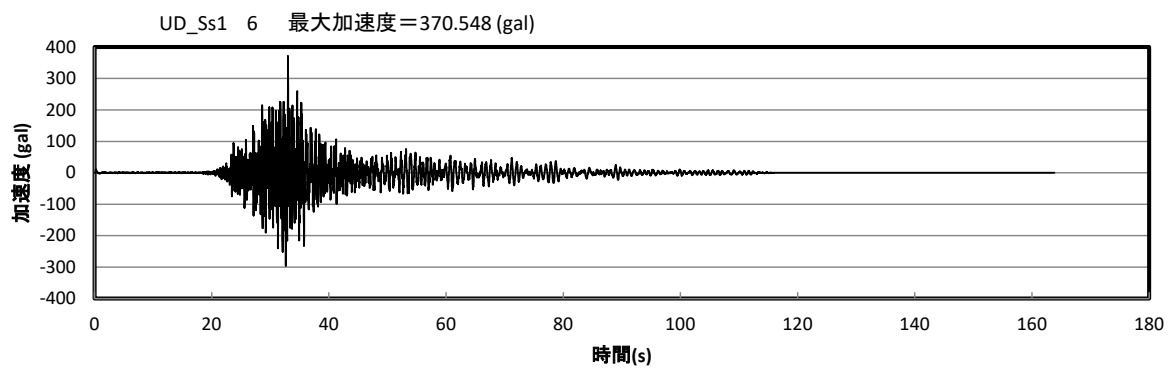
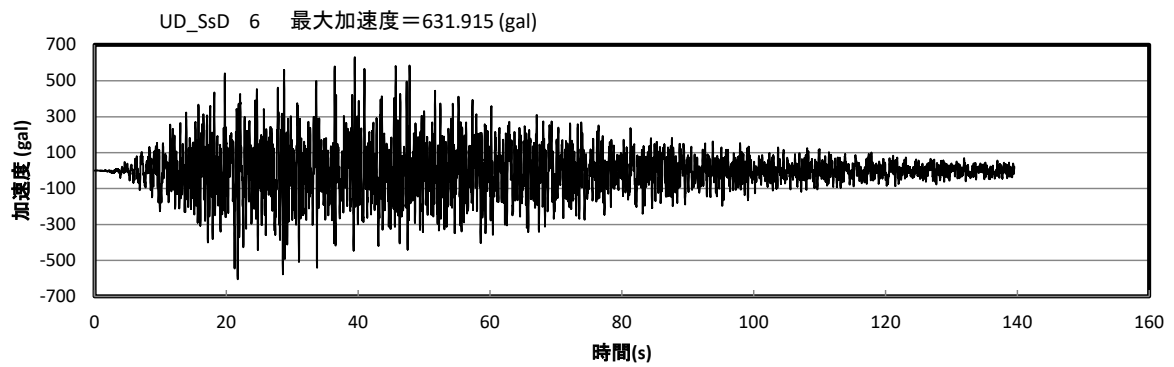


図 6-3 廃止措置計画用設計地震動 Ss (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 鉛直方向)

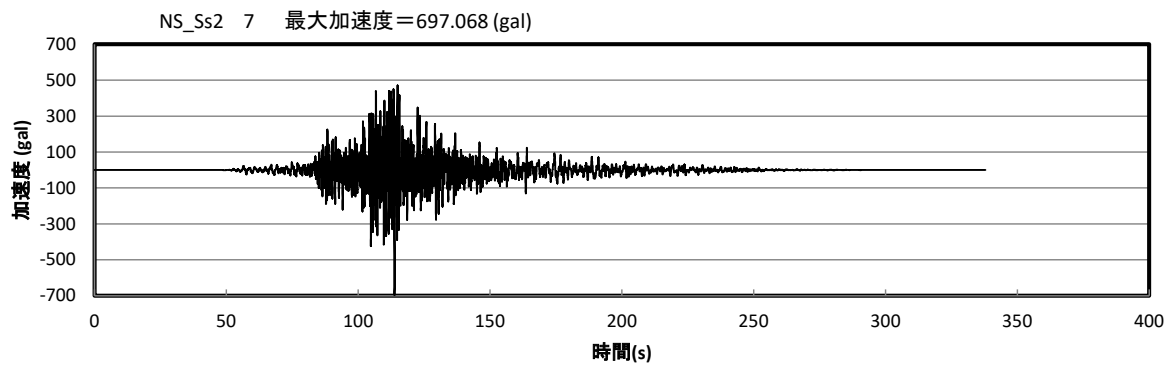
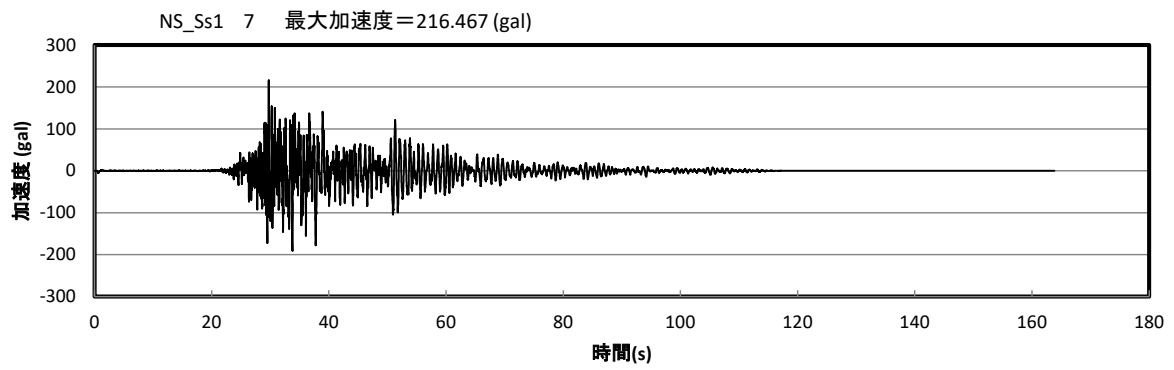
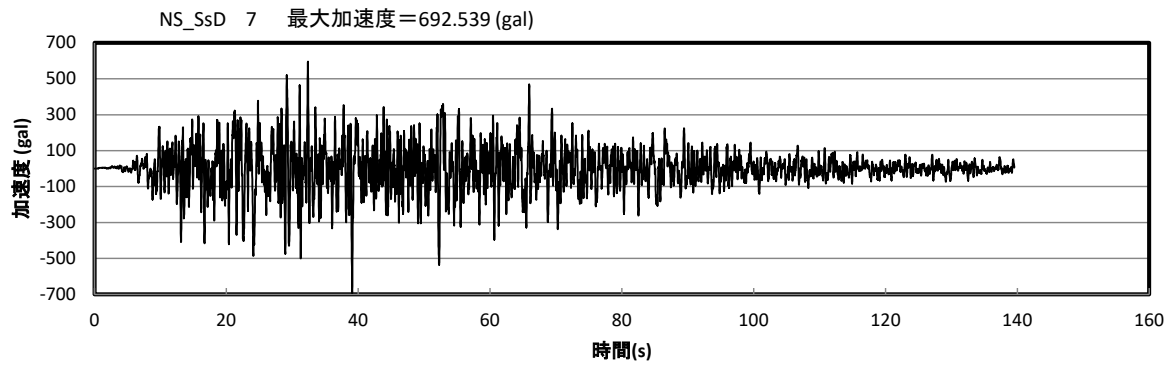


図 6-4 廃止措置計画用設計地震動 Ss (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 2 階, 水平 NS 方向)

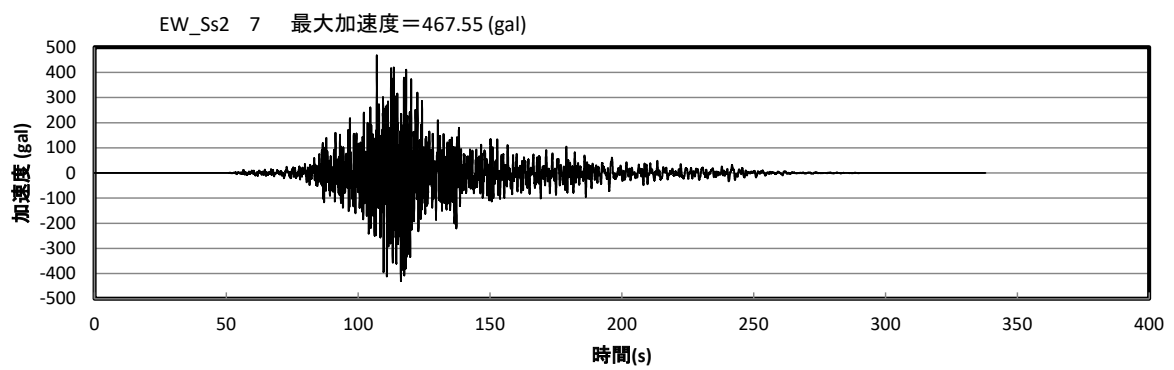
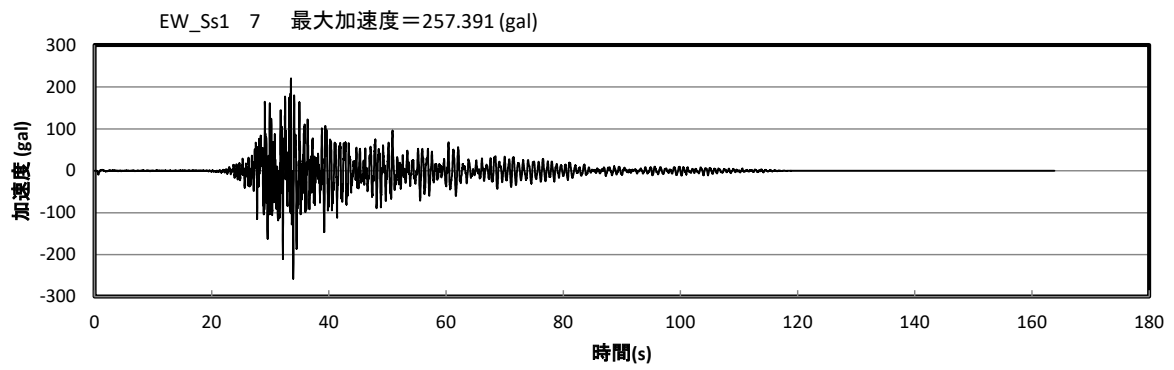
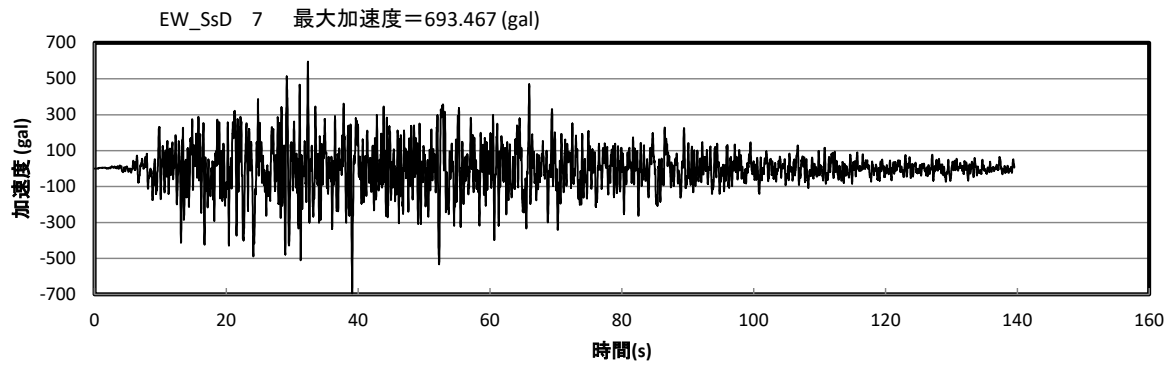


図 6-5 廃止措置計画用設計地震動 Ss (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 2 階, 水平 EW 方向)

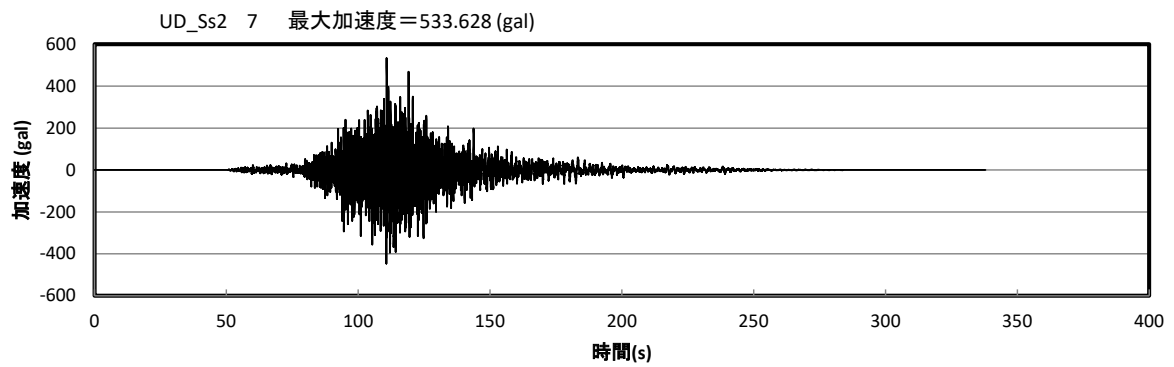
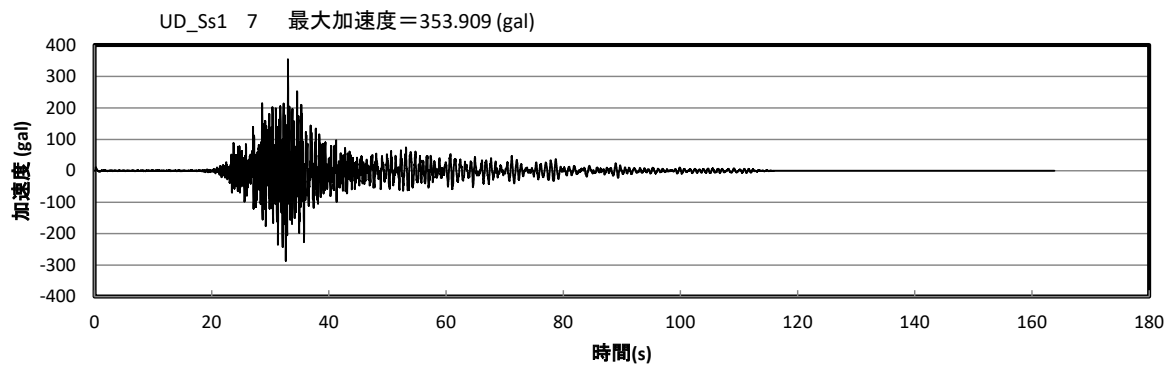
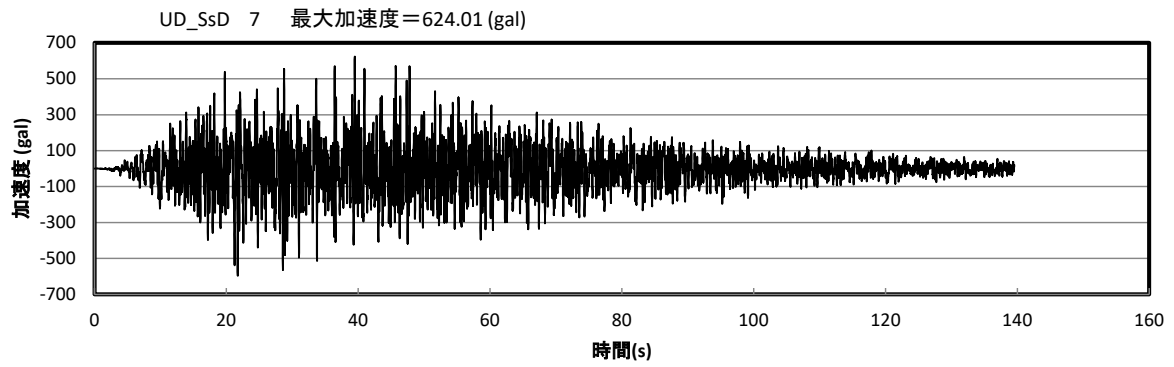


図 6-6 廃止措置計画用設計地震動 Ss (Ss-D, Ss-1, Ss-2) による床応答時刻歴波形
(地下 2 階, 鉛直方向)

6.1.2 計算方法

濃縮器ラック (G12RK10) に搭載する機器について、機器搭載位置での応答時刻歴波の計算方法は FEM 解析 (時刻歴応答解析) を用いた。解析コードは MSC.Nastran^{※1} を用いた。機器搭載位置での静的解析用震度について、算出した機器搭載位置での応答最大加速度を 1.2 倍したものとした。

※1 MSC Software Corporation, “MSC.Nastran Version 2005r2” .

6.1.3 機器搭載位置での地震力

各機器搭載位置での静的解析用震度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機器の搭載位置での静的解析用震度

評価対象機器	静的解析用震度 (応答最大加速度×1.2)	
	水平方向	鉛直方向
濃縮器 (G12E10)	1.63	1.18
凝縮器 (G12H11)	1.38	0.93
デミスタ (G12D1141)	1.51	0.91
凝縮液槽 (G12V20)	0.95	0.89
インセルクーラ (G43H11)	1.80	0.99

再処理施設の廃止措置を進めていく上での竜巻対策の基本的考え方

廃止措置段階にある核燃料サイクル工学研究所 再処理施設においては、リスクが特定の施設に集中しており、高放射性廃液に伴うリスクが集中する高放射性廃液貯蔵場（HAW）と、これに付随して廃止措置全体の長期間ではないものの分離精製工場等の工程洗浄や系統除染に伴う廃液処理も含めて一定期間使用するガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟については、その重要性を踏まえて安全対策を最優先で講じる必要がある。

このため、高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟については、地震対策や津波対策と同様、廃止措置計画用設計竜巻（以下「設計竜巻」という。）に対しても、重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が損なわれることのないよう以下の対策を講ずる。

- ・ 高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の建家並びに各建家に設置されている安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）を担う施設^{※1}は、設計竜巻の影響から防護する。
- ・ 設計竜巻の影響として、飛来物による衝撃荷重、風圧による荷重、建家の内外に生じる気圧差による荷重を考慮する。
- ・ 飛来物に対しては、施設周辺の現地調査等により飛来物となるおそれのあるものを抽出した上で、形状、剛性及び飛散時の運動エネルギーを考慮して設計上考慮すべき飛来物（以下、「設計飛来物」という。）を設定する。
- ・ 安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）を担う施設のうち建家内に設置されている設備に対しては、建家外壁を竜巻防護の外殻として建家構造体で防護することとし、建家外壁の既設開口部（窓、扉）に対しては設計飛来物が貫通しないような対策（鋼製板による閉止等）を講ずる。
- ・ 安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）を担う施設のうち建家内に設置されているものの、屋外と繋がっている換気系統は、気圧差による荷重に対して構造健全性を維持する。また、気圧差により竜巻通過中に一時的な差圧の逆転を生じたとしても、竜巻通過後において動的な閉じ込め機能を維持する。
- ・ 一方、安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）を担う施設のうち高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟建家の屋上（建家外）に設置されている既設設備（冷却塔、換気ダクト等）については、設計竜巻に耐えるようにすることが困難かつ合理的でない^{※2}ことから、設計竜巻によって損傷を受けた際には、代替策としての有効性を確認した上で事故対処設備^{※3}により閉じ込め及び崩壊熱

除去に必要な安全機能が維持できるようにする。

- ・ 竜巻による影響は地震・津波による影響とは異なり、敷地全体にわたる広範囲の被害をもたらすものでなく、局所的な被害をもたらすものであるという特徴に基づき、設計竜巻に対する安全機能の維持については、事故対処設備の分散配置・多系統化や、仮設設備の設置・応急的な補修等による迅速な処置も考慮する。また、現地調査等を踏まえ、設計飛来物を超える影響を与えうるものについては、固縛・撤去・離隔等の対策を講じるとともに、車両等については竜巻の接近が予測された場合に退避等を行う。

上記以外の施設については、今後とも安全かつ継続して施設を運用し計画的に廃止措置を進めることができるよう、それぞれのリスクに応じた対策を講じることとする。

※1 設計竜巻に対して安全機能を維持すべき対象施設は、別添 6-1-2-1「再処理施設の廃止措置を進めていく上での地震対策の基本的考え方」で示した崩壊熱除去機能および閉じ込め機能を担う設備とする。

※2 安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）を担う施設のうち冷却塔、換気ダクト等は飛来物の影響を直接受ける屋外に設置されている。これらの設備については、以下の状況から設計竜巻に耐えるようにすることは困難かつ合理的ではなく、事故対処設備による代替策で対応することを考えている。

- ・ 飛来物から防御するための竜巻防護ネットや防護鋼板、それらの設置に必要となる架台や支持構造物のためのスペースが当該建家の屋上に不足している。
- ・ 建家高所に竜巻防護のための設備といった重量物を新たに設置すると既存建家の耐震性に影響を及ぼす。また、設置するスラブの強度にも余裕が少ない。
- ・ 屋上にある既設設備を地上に移設もしくは新規建設する場合は、竜巻対防護に加えて耐震性及び津波防護（波圧等に耐えうる外壁強度や水没時の水密性、浮力が作用する場合の安定性等）への考慮も必要となり、その工事は数年にわたることが想定される。また、優先して進める地震対策、津波対策及び事故対処設備の整備のための工事との干渉を避けるため、それらが完了した後の着手となることから、ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の令和 20 年頃までの維持期間を踏まえると対策の完了に時間を要することになり、有効性の点で合理的でない。

※3 別添 6-1-2-1「再処理施設の廃止措置を進めていく上での地震対策の基本的考え方」に示した事故対処設備。

竜巻飛来物の設定に関する説明書

(DRAFT)

目次

1. 設計飛来物の設定方針
2. 核燃焼サイクル工学研究所内の物品調査
 - 2.1 調査範囲
 - 2.2 調査結果
3. 設計飛来物の設定
 - 3.1 一次スクリーニング
 - 3.1.1 過去の竜巻被害事例を踏まえた抽出
 - 3.1.2 強固に固定されているもの
 - 3.2 二次スクリーニング
 - 3.2.1 飛散距離の評価
 - 3.2.2 鋼製材による影響との比較評価
 - 3.3 飛来物発生防止対策の可否を踏まえたスクリーニング
4. 設計飛来物の設定結果

1. 設計飛来物の設定方針

核燃料サイクル工学研究所 再処理施設の竜巻影響評価に用いる設計飛来物を，図 1-1 に示すフローに基づき設定した。

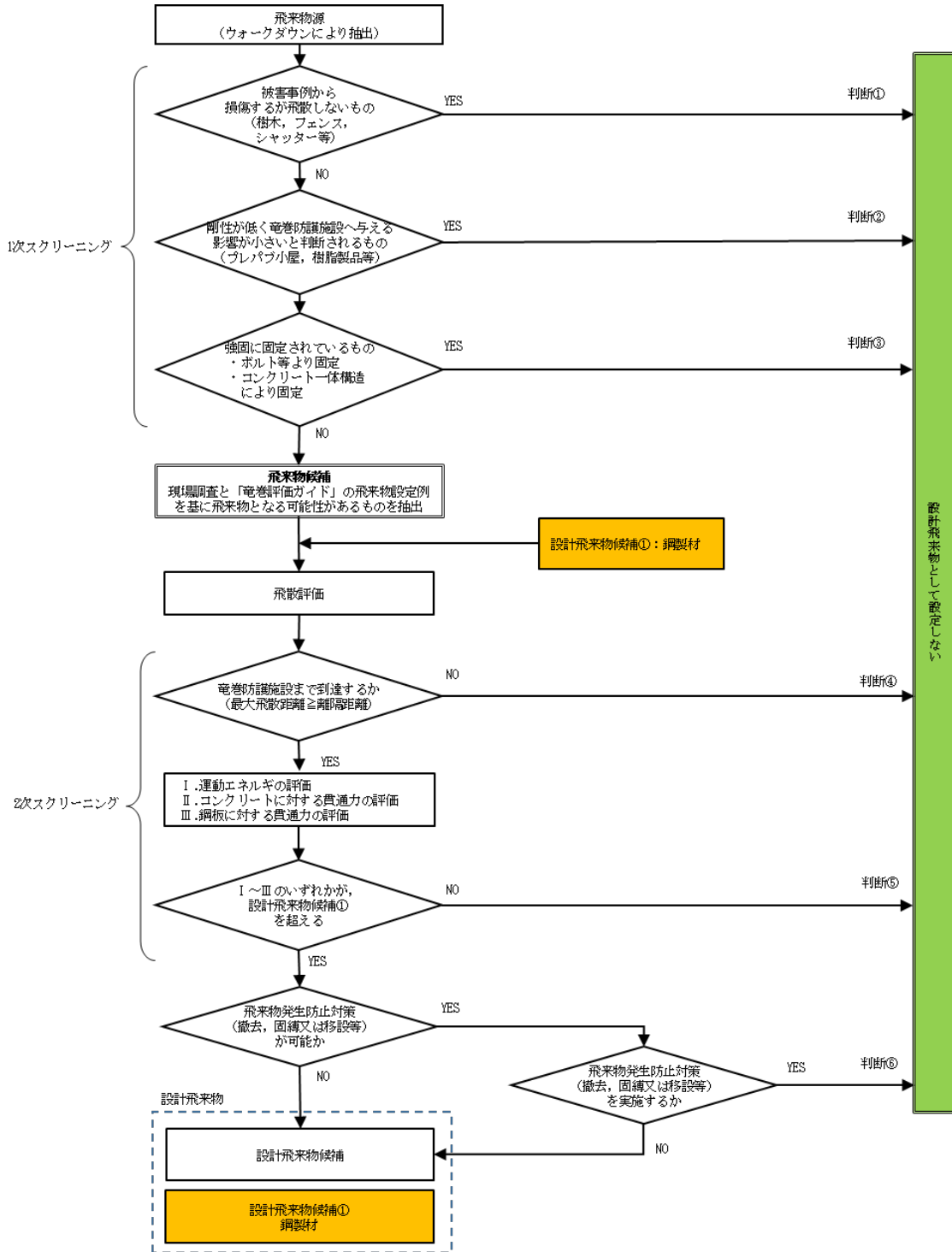


図 1-1 核燃料サイクル工学研究所再処理施設における設計飛来物の設定フロー

2. 核燃料サイクル工学研究所内の物品調査

2.1 調査範囲

設計飛来物の設定のための物品調査の範囲は、令和 2 年 2 月 10 日に認可（原規規発第 2002103 号）を受けた「核燃料サイクル工学研究所再処理施設の廃止措置計画の変更認可」で設定した竜巻影響エリアである再処理施設を包絡する直径 750 m を内包する核燃料サイクル工学研究所内とした。なお、再処理施設については、建家屋上についても調査対象とした。

物品調査エリアを図 2.1-1 に示す。

なお、後述の飛来物源の飛散評価の結果において、飛散距離は最大でも 320 m 程度であることから、調査範囲は十分である。

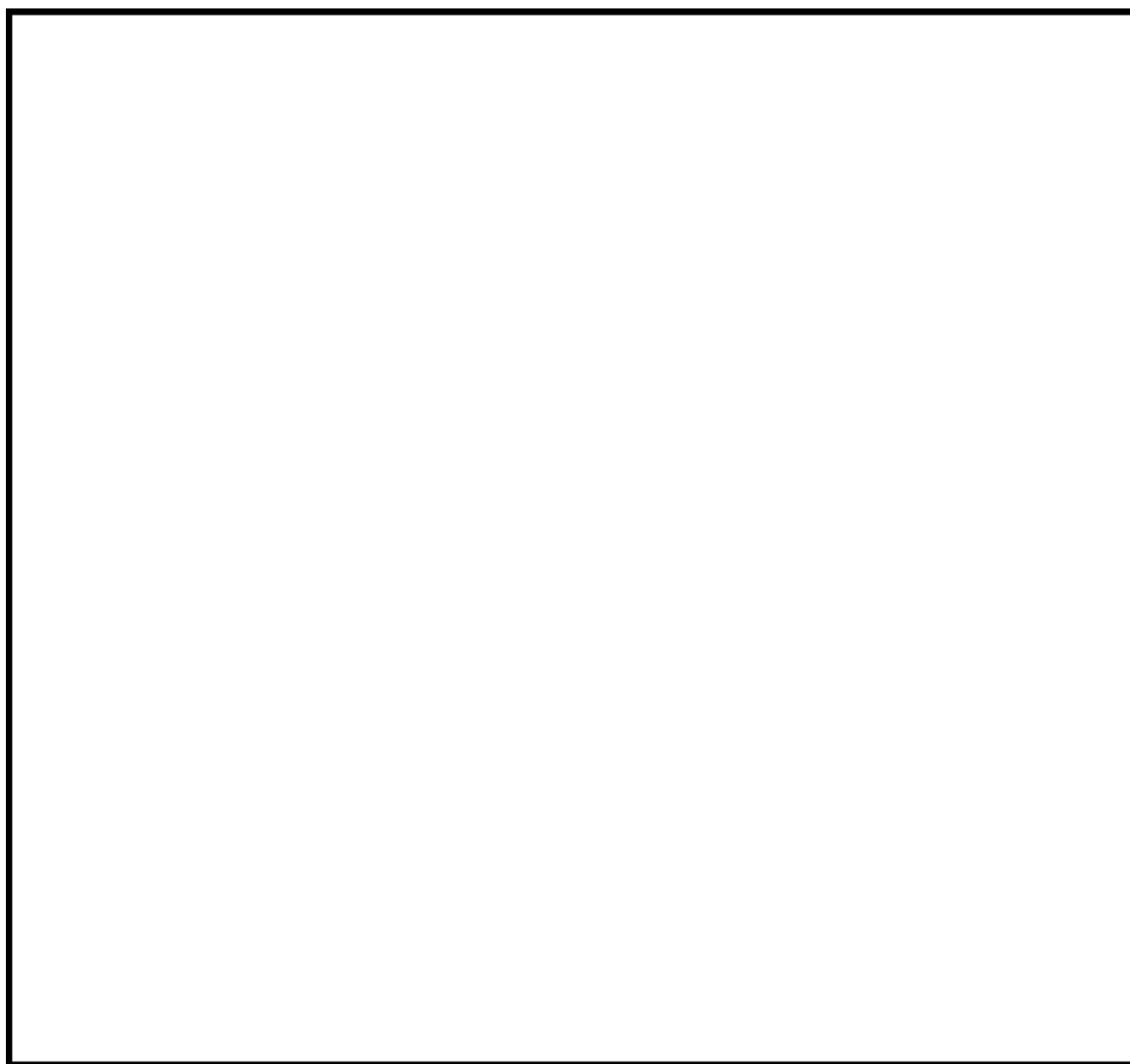


図 2.1-1 物品調査エリア

2.2 調査結果

物品調査の結果、飛来物源として表 2.1-1 に示す種類の物品を確認した。主な飛来物源を図 2.2-1 に示す。

核燃料サイクル工学研究所において、車両駐車規制範囲を定めており、当該範囲内の車両については、竜巻発生確度ナウキャスト等により車両移動等の対応を図ることが所規則により定められていることから、調査対象から除外した。

また、車両駐車規制範囲外に車両を駐車しているものの、これら車両については、高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 及びガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟に到達するおそれがないことを確認した上で当該場所に駐車しており、これらについても調査対象から除外した。

表 2.2-1 主な飛来物源の種類

棒状※	板状※	塊状※
パイプ H 鋼材 煙突 避雷針 等	パレット 足場板 蓋 止水板 グレーチング、 マンホール 鉄板、 チェッカープレート 等	設備 (排風機, ポンプ, 冷却塔等) タンク・貯槽, ボンベ置場, ボンベ, 電源盤等, 空調機室外機, 自動販売機 テントハウス, 簡易建物 (喫煙所・物置等) ドラム缶, 不定形容器, 輸送容器等 消火器・ホース格納箱等, 車両 (トラック, クレーン車, 台車, ホイール ローダ, バックフォー等) 資機材 (発電機, ポンプ等)

※ 各ジャンルにおける代表的な形状にて整理した表であり、ジャンル内の物品全てが同一の形状となる訳ではない。

3. 設計飛来物の設定

3.1 一次スクリーニング

3.1.1 過去の竜巻被害事例を踏まえたもの

過去の竜巻被害事例（別紙 6-1-4-1-3-1「損傷するが飛散しない物品考えられる物品について」）を参考とし、以下に示すものは、設計飛来物から除外する。

① 被害事例から損傷するが飛散しないと判断されるもの

倒壊等が見られるが、その場で倒壊しているものであり、竜巻により巻き上げられ、飛来物となることが考えにくいもの。

- ・フェンス、柵

② 剛性が低く竜巻防護施設へ与える影響が小さいと判断されるもの

樹脂等で製造されたものであり、剛性が低く、竜巻防護施設に与える影響が小さいと判断されるもの。また、過去事例から、強度が低く、形状を保ったままではなく、分解された状態で飛来するが、厚みが薄いことから形状が変形しており柔飛来物と見なせるもの。

- ・樹脂製品、木製製品
- ・固定されていないプレハブ等の簡易建物

3.1.2 強固に固定されているもの

ボルトで固定・定着されているもの、コンクリート一体構造により固定されている以下ものは、設計飛来物から除外する。

- ・電気盤 等
- ・貯槽、タンク排風機、冷却塔、冷凍機、ポンプ等の設備機器
- ・テントハウス及び保管庫等

テントハウス及びボンベ保管庫等は、コンクリート基礎に強固に固定されており、それ自体が竜巻により巻き上げられ飛来物となることが考えにくいものの、強度が弱い屋根材等が破損し、内部に保管する物品等が竜巻により巻き上げられ飛来物となる可能性が考えられることから、内部の物品の評価を行う。

3.2 二次スクリーニング

一次スクリーニングにより除外対象とならなかった飛来物源を飛来物候補として、定量評価によりスクリーニングを実施する。

2次スクリーニングの結果を、表 3.2-1～表 3.2-7 示す。

3.2.1 飛散距離の評価

飛来物候補のうち、廃止措置計画用設計竜巻の最大風速 100 m/s、風速場モデル

としてフジタモデルを適用した場合の飛来物候補の飛散評価を実施する。

飛来物源の飛散評価に用いる空力パラメータは、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」の参考文献⁽¹⁾及び米国 NRC の竜巻設計のための飛来物特性を与える NUREG-0800 (1996)⁽²⁾に引用されている文献⁽³⁾を参照し、以下の式により算出する。

$$\frac{C_D A}{m} = c \frac{(C_{D1} A_1 + C_{D2} A_2 + C_{D3} A_3)}{m}$$

ここで、

$\frac{C_D A}{m}$: 空力パラメータ (m²/kg)

m : 物品の質量 (kg)

c : 係数 (0.33)

C_{D1} , C_{D2} , C_{D3} : 直交 3 方向における物品の抗力係数 (図 3.2.1-1 参照)

A_1 , A_2 , A_3 : $C_{D1} \sim C_{D3}$ を定義した各方向に対する見付面積 (m²)

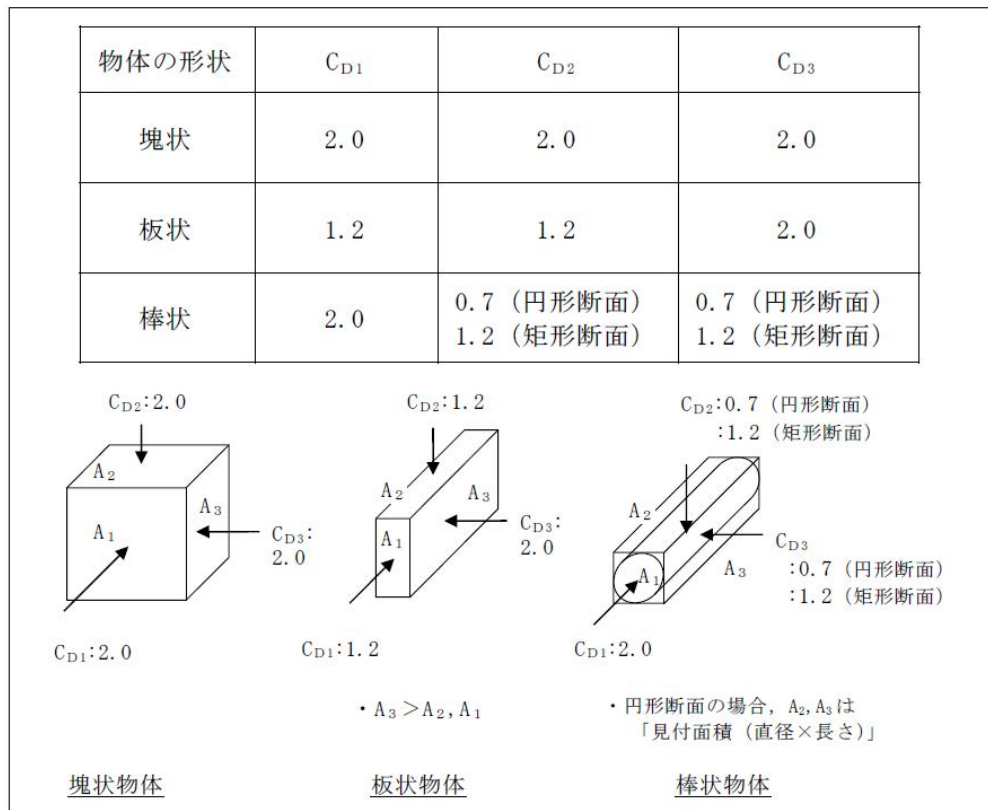


図 3.2.1-1 空力パラメータ算出のための抗力係数

空気パラメータが 0.0028 m²/kg を上回るものは浮上るものと判断し、空気パラ

メータが $0.0028 \text{ m}^2/\text{kg}$ を下回るものは、浮上らないものの横滑りにより移動する可能性を考慮する。

飛来物候補については、水平移動距離を算出し、竜巻防護施設と飛来物源との離隔距離が飛来物源の水平移動距離がより大きければ、設計飛来物として設定しない。

飛散評価は、再処理施設の地上部の標高 (T.P. +6 m) に対して、飛来物候補の設置場所の高さを考慮するものとする。

- ① 再処理施設の地上部に設置された飛来物候補の初期高さは 0 m とする (核燃料サイクル工学研究所内の同様の標高にある飛来物候補の初期高さ 0 m とする)。
- ② プルトニウム転換技術開発施設の駐車場に設置された飛来物候補の初期高さは 15 m として評価する。
- ③ プルトニウム燃料技術開発センターの地上に設置された飛来物候補の初期高さは 30 m とする。
- ④ 再処理施設内の建家屋上に設置された飛来物候補の初期高さは 40 m とする。

3.2.2 鋼製材による影響との比較評価

飛来物源の飛散評価の結果、設計飛来物候補の鋼製材と比べて、飛来物源の影響 (運動エネルギー、コンクリート又は鋼板に対する貫通力) を下回る飛来物候補は、設計飛来物として設定しないこととした。

(1) 運動エネルギー

飛来物源の運動エネルギー E は下式によって算出する。

$$E = \frac{1}{2} M \cdot V^2$$

ここに、

M : 飛来物の重量 (kg)

V : 飛来物の衝突速度 (m/s)

前項の飛散距離の評価で算出する最大水平速度

(2) コンクリートの貫通力

コンクリートに対する貫通力は、飛来物の衝突に対する評価として、NEI07-13 及び米国 NRC の基準類に算定式として記載されている修正 NDRC 式 (①式) を用いて貫入深さ x_c を求め、Degen 式 (②式) により貫通限界厚さ t_p を算定する。

$$\begin{array}{l}
\frac{x_c}{a_c d} \leq 2 \text{ の場合 } \quad \frac{x_c}{d} = 2 \left\{ \left(\frac{12145}{\sqrt{F_c}} \right) N d^{0.2} \frac{M}{d^3} \left(\frac{V}{1000} \right)^{1.8} \right\}^{0.5} \\
\frac{x_c}{a_c d} \geq 2 \text{ の場合 } \quad \frac{x_c}{d} = \left(\frac{12145}{\sqrt{F_c}} \right) N d^{0.2} \frac{M}{d^3} \left(\frac{V}{1000} \right)^{1.8} + 1 \\
\frac{x_c}{a_c d} \leq 1.52 \text{ の場合 } \quad t_p = \alpha_p d \left\{ 2.2 \left(\frac{x_c}{a_c d} \right) - 0.3 \left(\frac{x_c}{a_c d} \right)^2 \right\} \\
1.52 \leq \frac{x_c}{a_c d} \leq 13.42 \text{ の場合 } \quad t_p = \alpha_p d \left\{ 0.69 + 1.29 \left(\frac{x_c}{a_c d} \right) \right\}
\end{array}
\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \textcircled{1} \\ \\ \textcircled{2} \end{array}$$

ここに,

F_c : コンクリートの設計基準強度 210 kgf/cm²

高放射性廃液貯蔵場 (HAW) とガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟のコンクリートの設計基準強度のうち、小さい値。

d : 飛来物の直径 (cm)

飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径

M : 飛来物の重量 (kg)

V : 飛来物の衝突速度 (m/s)

前項の飛散距離の評価で算出する最大水平速度

N : 飛来物の先端形状係数 : 1.14

「構造工学シリーズ 6 構造物の衝撃挙動と設計法」(土木学会) を参考に設定。保守的な評価となる、非常に鋭い場合の数値を一律使用した。

α_c : 飛来物の低減係数 : 1.0

α_p : 飛来物の低減係数 : 1.0

保守的な評価となる、剛の場合の数値を一律使用した。

(3) 鋼板の貫通力

鋼板に対する貫通力は、「タービンミサイル評価について (昭和 52 年 7 月 20 日 原子炉安全専門審査会)」の中で、鋼板に対する貫通厚さの算出式に使用されている BRL 式 (③式) を用いて貫通限界厚さ T を算定する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5MV^2}{1.4396 \times 10^9 K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}} \dots \textcircled{3}$$

ここに,

T : 鋼板貫通限界厚さ (m)

M : 飛来物の重量 (kg)

- V : 飛来物の最大水平衝突速度 (m/s)
 前項の飛散距離の評価で算出する最大水平速度
- d : 飛来物の直径 (cm)
 (飛来物の衝突面の最小投影面積に等しい円の直径)
- K : 鋼板の材質に関する係数 (≈ 1)

3.3 飛来物発生防止対策の可否を踏まえたスクリーニング

2次スクリーニングの結果、高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 及びガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟に対して、鋼製材を超えて影響を及ぼし得る可能性のある飛来物候補については、撤去、固縛あるいは移設の飛来物発生防止対策の実施の可否を評価する。

飛来物発生防止対策を実施できない飛来物候補については、設計飛来物として選定することとした。

飛来物発生防止対策の可否を踏まえたスクリーニングの結果を、表 3.3-1 示す。

4. 設計飛来物の選定結果

2項及び3項より、核燃料サイクル工学研究所 再処理施設 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 及びガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟における設計飛来物は、表 4-1 のとおりとする。

表 4-1 核燃料サイクル工学研究所再処理施設における設計飛来物

名称	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	質量 (kg)
鋼製材	4.2	0.3	0.2	135

以上

参考文献

- (1) 東京工芸大学 (2011) : 平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究 (平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 独立行政法人原子力安全基盤機構
- (2) US-NRC: “3.5.1.4 MISSILE GENERATED BY NATURAL PHENOMENA,” Standard Review Plan, NUREG-0800, 1996.
- (3) E. Simiu, M. Cordes: “Tornado-Borne Missile Speeds,” NBSIR76-1050, National Bureau of Standards, Washington D.C., 1976.





















			
パイプ	H 鋼材	煙突	避雷針
			
パレット	足場板	蓋	止水板
			
グレーチング	マンホール	鉄板	チェッカープレート
			
設備 (排風機)	設備 (ポンプ)	設備 (冷却塔)	タンク, 貯槽
			
ポンベ置場	ポンベ	電源盤 等	空調機室外機

図 2.2-1 (2) 飛来物源の調査結果 (本図は代表例を示す。)

			
<p>自動販売機</p>	<p>テントハウス</p>	<p>簡易建物（喫煙所）</p>	<p>簡易建物（物置）</p>
			
<p>ドラム缶</p>	<p>不定形容器</p>	<p>輸送容器</p>	<p>消火器</p>
			
<p>ホース格納箱</p>	<p>車両（トラック）</p>	<p>車両（クレーン車）</p>	<p>車両（台車）</p>
			
<p>重機 (ホイールローダ)</p>	<p>重機 (バックホー)</p>	<p>資機材（ポンプ等）</p>	<p>資機材（発電機）</p>

図 2.2-1 (1) 飛来物源の調査結果（本図は代表例を示す。）

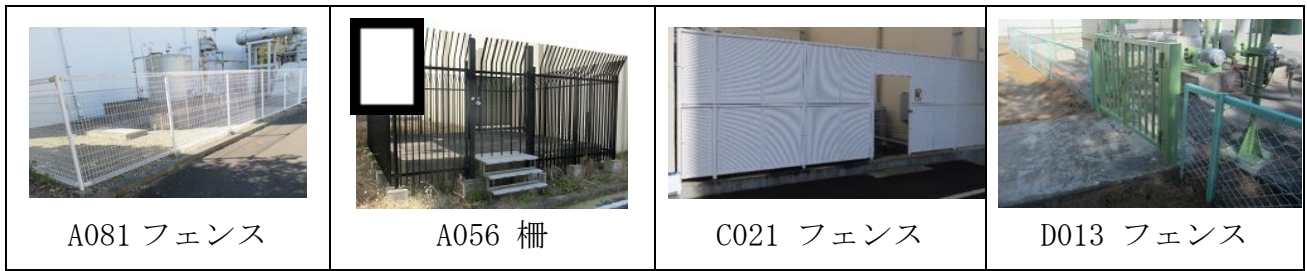


図 3. 1. 1-1 被害事例から損傷するが飛散しないと判断されるもの
(本図は代表例を示す。)

			
A006 パレット	A019 配管カバー	A020 ダイライト容器	A024 塩ビパイプ
			
A029 土壌サンプル (箱)	A050 踏台	A060 枕木	A082 立入禁止表示
			
A092 喫煙所等	B027 樹脂製タンク 等	B028 消火器収納箱 等	B030 物置 等
			
B047 自転車置き場 等	C0074 自転車	C104 塗装資材置き場	C199 温水循環ポンプ室
			
C215 パイプ椅子	C227 丸椅子	C247 消防ホース	C266 トイレ

図 3.1.1-2 剛性が低く竜巻防護施設へ与える影響が小さいと判断されるもの
(本図は代表例を示す。)

			
A001 焼却炉	A005 中継端子盤等	A007 テントハウス	A038 チラーユニット
			
A070 冷却塔	A084 排水タンク	A087 煙突	A088 排風機
			
B003 危険物タンク	B032 消火栓	B043 配電塔	C002 高圧ガス製造設備
			
C151 ポンプ保管庫	C264 タンク	C265 貯水槽	U001 冷凍機
			
U006 ポンプ	U013 膨張槽	U018 避雷針(自立型)	U111 ダクト閉止蓋
			
U340 サイレンサー	U363 空調用補給水槽		

図 3.2-1 強固に固定されているもの（本図は代表例を示す。）

表 3.2-1 飛来物候補の二次スクリーニング結果 (15/19)

No.	名称	寸法 (m)			離隔距離 (m)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m/s)	最大飛散距離 (m)	質量 (kg) <単品>	空力パラメータ Ca/m (m ² /kg)	飛散距離の評価 (飛散距離≧離隔距離)	【条件①】 運動エネルギー		【条件②】 コンクリート貫通限界厚さ		【条件③】 鉄板貫通限界厚さ		飛来物発生防止対策の検討 【①、②、③のいずれかが“○”】
		高さ 【板：厚さ】 【円：長さ】	幅 【円：直径】	奥行 【円：直径】								飛来物候補の運動エネルギー	鋼製材 (176 kJ) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (269 mm) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (8.9mm) を超える	
A003	止水板	0.40	7.00	0.10	285	0	67.1	165.1	50	0.0428	×	-	-	-	-	-	-	×
A004	バリケード	1.00	0.90	0.90	285	0	83.4	※1	16	0.1077	○	56	×	90.8	×	1.2	×	×
A008	ドラム缶	0.90	0.60	0.60	345	0	0.0	0.0	345	0.0028	×	-	-	-	-	-	-	×
A010	消火器	0.50	0.20	0.20	345	0	63.6	155.6	5	0.0317	×	-	-	-	-	-	-	×
A014	コンテナラック (中)	1.50	1.30	1.30	300	0	73.8	214.3	80	0.0461	×	-	-	-	-	-	-	×
A015	コンテナラック (小：空)	1.00	1.00	1.00	300	0	61.1	188.6	80	0.0248	×	-	-	-	-	-	-	×
A016	水中ポンプ	0.30																×
A018	ハンマー(大)	0.10																×
A021	棚	0.70														1.9	×	×
A022	標準ドラム (空)	1.00																×
A023	足場板	0.10	0.60	4.00	300	0	87.4	※1	5	0.3532	○	19	×	87.8	×	2.1	×	×
A025	一輪車	0.70	0.50	0.50	300	0	88.0	299.4	2	0.3135	×	-	-	-	-	-	-	×
A026	単管パイプ(4m)	4.00	0.05	0.05	300	0	8.7	3.7	11	0.0086	×	-	-	-	-	-	-	×
A027	単管パイプ(1m)	1.00	0.05	0.05	300	0	8.1	3.3	3	0.0083	×	-	-	-	-	-	-	×
A028	ベース、クランプ (箱)	0.30	0.70	0.70	300	0	51.0	153.0	20	0.0300	×	-	-	-	-	-	-	×
A030	H鋼材	2.00	0.20	0.20	300	0	55.0	177.2	30	0.0114	×	-	-	-	-	-	-	×
A031	消火器	0.50	0.20	0.20	300	0	63.6	155.6	5	0.0317	×	-	-	-	-	-	-	×
A032	雨水橋	0.50	0.50	0.50	240	0	23.7	20.1	50	0.0073	×	-	-	-	-	-	-	×
A033	止水板	0.40	7.00	0.10	210	0	67.1	165.1	50	0.0428	×	-	-	-	-	-	-	×
A034	バリケード	0.50	3.50	0.50	210	0	82.0	※1	25	0.0990	○	84	×	140.7	×	2.7	×	×
A035	雨水橋	0.50	0.50	0.50	260	0	31.1	25.9	50	0.0099	×	-	-	-	-	-	-	×
A041	コンテナラック (小)	1.00	1.00	1.00	165	0	0.0	0.0	3,080	0.0006	×	-	-	-	-	-	-	×

評価については精査中

表 3.2-1 飛来物候補の二次スクリーニング結果 (16/19)

No.	名称	寸法 (m)			離隔距離 (m)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m/s)	最大飛散距離 (m)	質量 (kg)	空力パラメータ Cl/m (m ² /kg)	飛散距離の評価 (飛散距離≧離隔距離)	【条件①】 運動エネルギー		【条件②】 コンクリート貫通限界厚さ		【条件③】 鉄板貫通限界厚さ		飛来物発生防止対策の検討 【①、②、③のいずれかが“○”】
		高さ 【板：厚さ】 【円：長さ】	幅 【円：直径】	奥行 【円：直径】								飛来物候補の エネルギー	鋼製材 (176 kJ) を超える	飛来物候補 の貫通厚さ	鋼製材 (319 mm) を超える	飛来物候補 の貫通厚さ	鋼製材 (8.3mm) を超える	
A042	コンテナラック (小：空)	1.00	1.00	1.00	165	0	64.1	182.6	80	0.0248	○	165	×	153.6	×	2.1	×	×
A043	ドラム缶	0.90	0.60	0.60	165	0	3.2	0.5	310	0.0031	×	-	-	-	-	-	-	×
A044	バレット	0.30	1.30	1.30	165	0	76.8	※1	20	0.0712	○	59	×	109.1	×	1.7	×	×
A045	不定形容器 (空)	1.70	1.30	1.30	165	0	0.0	0.0	1,700	0.0024	×	-	-	-	-	-	-	×
A046	水中ポンプ	0.20	0.20	0.20	165	0	45.4	152.0	3	0.0264	×	-	-	-	-	-	-	×
A053	消火器	0.50	0.20	0.20	165	0	63.6	155.6	5	0.0317	×	-	-	-	-	-	-	×
A054	合板	0.01	1.80	0.90	165	0	43.0	112.2	5	0.2160	×	-	-	-	-	-	-	×
A055	足場板	0.04	0.20	3.00	165	0	42.5	147.6	9	0.0496	×	-	-	-	-	-	-	×
A057	鉄板製蓋	0.16	2.20	1.20	135	0	10.8	5.6	290	0.0068	×	-	-	-	-	-	-	×
A058	クレーン荷重試験用ウエイト架台	0.54	5.00	2.84	150	0	0.0	0.0	10,000	0.0011	×	-	-	-	-	-	-	×
A059	輸送容器架台	3.00	3.00	6.00	125	0	6.9	2.6	13,000	0.0023	×	-	-	-	-	-	-	×
A062	排水モニター室室外機 (カバー含む)	1.30	1.50	0.80	195	0	62.1	194.2	137	0.0202	×	-	-	-	-	-	-	×
A063	消火器 BOX	0.60	0.25	0.20	265	0	18.2	14.4	40	0.0053	×	-	-	-	-	-	-	×
A067	室外機	0.50	0.80	0.30	300	0	32.5	26.8	50	0.0104	×	-	-	-	-	-	-	×
A069	室外機	1.00	0.90	0.20	310	0	39.3	49.3	100	0.0084	×	-	-	-	-	-	-	×
A072	室外機	0.50	0.70	0.20	300	0	39.6	78.5	30	0.0130	×	-	-	-	-	-	-	×
A073	室外機	1.00	0.60	0.30	300	0	34.2	39.1	100	0.0071	×	-	-	-	-	-	-	×
A078	室外機	0.90	1.20	0.25	250	0	61.0	158.9	50	0.0212	×	-	-	-	-	-	-	×
A094					230	0	54.8	190.7	1,200	0.0109	×	-	-	-	-	-	-	×
A095					250	0	54.8	190.7	1,200	0.0109	×	-	-	-	-	-	-	×
B008	資材庫室外機(3)	0.90	0.90	0.40	315	0	46.6	66.7	90	0.0112	×	-	-	-	-	-	-	×
B011	浄水貯槽用蓋	0.10	1.00	1.00	320	0	52.6	1556.6	11	0.0672	○	15	×	74.9	×	1.4	×	×

6-1-4-1-3-16

表 3.2-1 飛来物候補の二次スクリーニング結果 (17/19)

No.	名称	寸法 (m)			離隔距離 (m)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m/s)	最大飛散距離 (m)	質量 (kg) <単品>	空力パラメータ Cd/m ² (m ² /kg)	飛散距離の評価 (飛散距離≧離隔距離)	【条件①】 運動エネルギー		【条件②】 コンクリート貫通限界厚さ		【条件③】 鉄板貫通限界厚さ		飛来物発生防止対策の検討 【①、②、③のいずれかが“○”】
		高さ 【板:厚さ】 【円:長さ】	幅 【円:直径】	奥行 【円:直径】								飛来物候補の 運動エネルギー	鋼製材 (176 kJ) を超える	飛来物候補 の貫通厚さ	鋼製材 (319 mm) を超える	飛来物候補 の貫通厚さ	鋼製材 (8.3mm) を超える	
B012	がれき	1.10	1.00	0.30	265	0	0.0	0.0	759	0.0015	×	-	-	-	-	-	-	×
B015	トラック (ダイナ 18-38)	2.00	1.70	4.70	235	0	21.6	24.1	4,125	0.0033	×	-	-	-	-	-	-	×
B016	トラック (ダイナ 82-72)	2.00	1.70	4.70	235	0	21.6	24.1	4,125	0.0033	×	-	-	-	-	-	-	×
B017	トラック (ニッサン)	2.00	1.70	4.70	235	0	20.9	22.8	4,225	0.0032	×	-	-	-	-	-	-	×
B018	排水運搬車	2.00	1.70	4.60	235	0	17.2	16.2	4,500	0.0030	×	-	-	-	-	-	-	×
B019	クレーン車	3.30	2.50	12.00	235	0	5.1	1.4	23,590	0.0022	×	-	-	-	-	-	-	×
B020	トラクタ	3.00	2.90	6.20	235	0	0.0	0.0	17,655	0.0017	×	-	-	-	-	-	-	×
B021	フォークリフト (3t)	2.20	1.15	3.25	235	0	0.3	0.0	3,900	0.0023	×	-	-	-	-	-	-	×
B022	フォークリフト (2t)	2.22	1.20	3.22	235	0	10.2	5.8	3,500	0.0026	×	-	-	-	-	-	-	×
B023	運搬台車 (40t)	1.50	3.35	9.67	235	0	0.0	0.0	18,000	0.0019	×	-	-	-	-	-	-	×
B024	運搬台車 (20t)	1.20	8.70	2.00	235	0	0.0	0.0	14,000	0.0014	×	-	-	-	-	-	-	×
B025	運搬台車 (5t)	0.50	2.00	1.60	235	0	4.2	1.0	900	0.0037	×	-	-	-	-	-	-	×
B026	ステージ	0.60	1.20	1.40	235	0	42.4	92.2	160	0.0134	×	-	-	-	-	-	-	×
B033	ノッチタンク	1.80	3.60	1.80	265	0	46.1	96.2	1,492	0.0072	×	-	-	-	-	-	-	×
B040	第2中間開閉所室外機(3)	0.70	0.90	0.30	240	0	49.0	109.7	50	0.0147	×	-	-	-	-	-	-	×
B051	車両	2.00	1.50	3.40	265	0	52.5	166.1	1,000	0.0098	×	-	-	-	-	-	-	×
C004	単管パイプ	4.00	0.50	0.50	65	0	85.0	246.9	8	0.1296	○	30	×	88.5	×	1.6	×	×
C005	足場板	0.036	0.21	4.00	65	0	40.4	150.0	15	0.0410	○	12	×	143.9	×	4.2	×	×
C007	自転車	1.20	0.60	1.80	95	0	86.0	※1	20	0.1307	○	74	×	106.8	×	1.5	×	×
C011	スロープ	0.20	1.00	0.50	115	0	20.5	18.4	50	0.0090	×	-	-	-	-	-	-	×
C014	鉄板	0.02	3.10	1.60	150	0	0.0	0.0	774	0.0043	×	-	-	-	-	-	-	×
C019	自転車	1.20	0.60	1.80	175	0	86.0	※1	20	0.1307	○	74	×	106.8	×	1.5	×	×

6-1-4-1-3-17

表 3.2-1 飛来物候補の二次スクリーニング結果 (18/19)

No.	名称	寸法 (m)			離隔距離 (m)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m/s)	最大飛散距離 (m)	質量 (kg)	空力パラメータ Cd/m (m ² /kg)	飛散距離の評価 (飛散距離≧離隔距離)	【条件①】 運動エネルギー		【条件②】 コンクリート貫通限界厚さ		【条件③】 鉄板貫通限界厚さ		飛来物発生防止対策の検討 【①、②、③のいずれかが“○”】
		高さ 【板：厚さ】 【円：長さ】	幅 【円：直径】	奥行 【円：直径】								飛来物候補の運動エネルギー	鋼製材 (176 kJ) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (309 mm) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (8.9mm) を超える	
C032	クレーンゴイドパイプ (G51M100-23)	6.00	0.05	0.05	40	0	2.2	0.3	22	0.0064	×	-	-	-	-	-	-	×
C033	ガーナ吊具(G51M100-1)	3.20	3.00	2.40	40	0	50.2	168.1	2,150	0.0075	○	2,711	○	430.0	○	5.1	×	○
C034	走行車輪取替治具(G51M100-4)	2.40	0.90	0.50	40	0	53.3	177.8	255	0.0099	○	362	○	268.2	×	5.3	×	○
C035	横行給電装置給電ブランチ吊具(G51M100-6)	1.70	0.90	0.50	40	0	28.0	35.9	430	0.0043	×	-	-	-	-	-	-	×
C036	横行給電装置ユニット吊具(G51M100-5)	1.80	2.00	0.50	40	0	35.3	53.3	695	0.0052	○	432	○	268.1	×	4.2	×	○
C037	走行給電コネクタ切離し治具(G51M100-7)	4.40	0.20	0.20	40	0	8.1	3.3	80	0.0054	×	-	-	-	-	-	-	×
C038	走行給電装置取替治具(G51M100-13A)	1.70	1.70	2.40	40	0	0.0	0.0	9,900	0.0007	×	-	-	-	-	-	-	×
C039	ITV 吊具(G51M100-22)	1.30	0.50	0.30	40	0	33.8	43.8	130	0.0060	○	74	×	158.2	×	3.2	×	×
C040	トロリ支持台(G51M100-10)	2.80	3.10	2.50	40	0	58.8	217.9	1,080	0.0143	○	1,869	○	354.0	○	4.0	×	○
C041	トロリ支持台吊具(G51M100-9)	9.50	3.10	0.30	40	0	70.1	255.2	533	0.0411	○	1,310	○	428.2	○	8.7	×	○
C042	走行給電装置取替治具 B(G51M100-13B)	3.70	1.20	0.60	40	0	56.2	216.9	420	0.0116	○	664	○	328.9	○	6.3	×	○
C043	走行給電装置ユニット支持台(G51M100-14)	0.60	1.70	0.60	40	0	26.9	23.7	212	0.0075	×	-	-	-	-	-	-	×
C044	走行給電コネクタユニット吊具(G51M100-16)	2.40	1.10	0.60	40	0	52.7	172.8	330	0.0095	○	459	○	280.7	○	5.1	×	○
C045	ガーナ上板置治具(G51M100-19)	0.60	2.20	1.30	40	0	37.0	43.0	295	0.0111	○	202	○	188.1	×	2.7	×	○
C046	キャリッジ 吊具(G51M120-4)	2.20	3.10	1.60	40	0	49.2	147.4	1,300	0.0078	○	1,572	○	377.7	○	5.1	×	○
C047	キャリッジ 置台(G51M120-5)	2.70	3.20	2.90	40	0	53.9	188.2	1,700	0.0100	○	2,467	○	400.9	○	4.6	×	○
C048	車輪着脱治具(G51M120-9)	1.60	0.80	0.50	40	0	17.1	15.3	500	0.0033	×	-	-	-	-	-	-	×
C049	機上ケーブルユニット吊具(G51M120-10)	1.50	2.10	3.00	40	0	54.0	165.3	800	0.0115	○	1,164	○	330.1	○	4.4	×	○
C050	ラック中継箱吊具(G51M120-1)	2.50	2.80	1.60	40	0	61.1	220.9	600	0.0170	○	1,119	○	305.0	○	3.8	×	○
C051	コネクタケーブル吊具(G51M120-2)	1.40	0.60	2.60	40	0	0.0	0.0	2,500	0.0016	×	-	-	-	-	-	-	×
C052	ケーブルリール置台(G51M120-3)	1.60	3.00	1.50	40	0	32.2	43.9	1,500	0.0051	○	778	○	299.5	○	3.8	×	○
C053	キャリッジ 相互救援治具(G51M120-7)	0.50	2.20	0.80	40	0	16.5	12.2	400	0.0054	×	-	-	-	-	-	-	×

6-1-4-1-3-18

表 3.2-1 飛来物候補の二次スクリーニング結果 (19/19)

No.	名称	寸法 (m)			離隔距離 (m)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m/s)	最大飛散距離 (m)	質量 (kg) <単品>	空力パラメータ C _d /m (m ² /kg)	飛散距離の評価 (飛散距離 ≧ 離隔距離)	【条件①】 運動エネルギー		【条件②】 コンクリート貫通限界厚さ		【条件③】 鉄板貫通限界厚さ		飛来物発生防止対策の検討 【①、②、③のいずれかが“○”】
		高さ 【板：厚さ】 【円：長さ】	幅 【円：直径】	奥行 【円：直径】								飛来物候補の運動エネルギー	鋼製材 (176 kJ) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (309 mm) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (8.3mm) を超える	
C054	肩 I T V 用架台	1.60	1.20	0.70	40	0	55.9	173.8	200	0.0128	○	312	○	221.4	×	3.6	×	○
C055	溶融炉吊具(G21ME10-1)	0.90	2.10	1.30	40	0	24.4	23.8	710	0.0054	×	-	-	-	-	-	-	×
C056	給電ケーブル取扱器具(G21ME10-20)	1.70	0.60	1.50	40	0	0.0	0.0	1,300	0.0023	×	-	-	-	-	-	-	×
C057	溶融炉架台吊具(新型)(G21ME10-5)	4.30	0.40	0.20	40	0	59.1	236.9	118	0.0149	○	206	○	273.3	○	8.6	×	○
C058	BSM スレブ アーム保守用遮隔器具	1.30	2.20	0.40	40	0	31.4	38.8	500	0.0056	×	-	-	-	-	-	-	×
C059	ハットド ッパー (旧型) (G21ME10-15)	2.00	0.90	0.90	40	0	61.0	212.5	166	0.0175	○	309	○	219.2	×	3.6	×	○
C060	ハットド ッパー受台 (旧型) (G21ME10-16)	0.70	0.90	0.70	40	0	49.6	110.2	78	0.0148	○	96	×	138.4	×	2.1	×	×
C061	溶接機置台 (G22M30-101)	1.20	0.80	0.80	40	0	43.9	65.4	200	0.0084	○	192	○	188.0	×	3.0	×	○
C062	貫通プラグ引き抜き器具・A・B (B-1)	1.10	2.70	0.80	40	0	21.3	20.6	920	0.0043	×	-	-	-	-	-	-	×
C063	貫通プラグ吊上げ器具 (B-2)	3.20	1.70	0.70	40	0	0.0	0.0	12,050	0.0005	×	-	-	-	-	-	-	×
C064	気密キャップ吊具 (B-8)	1.30	2.20	0.40	40	0	0.0	0.0	1,100	0.0026	×	-	-	-	-	-	-	×
C065	エンクロージャ側面ハッチ取付台 (G76M101-1)	1.50	2.00	2.00	40	0	25.4	28.8	1,550	0.0043	×	-	-	-	-	-	-	×
C066	エンクロージャ側面ハッチ吊具 (G76M101-2)	1.40	2.00	0.40	40	0	52.7	154.6	250	0.0110	○	348	○	253.6	×	4.7	×	○
C067	パワーモニタレータ用キャリッジ置台 (G51M162-7)	1.30	3.00	1.50	40	0	45.7	76.3	800	0.0085	○	835	○	311.6	○	4.5	×	○
C068	パワーモニタレータ用キャリッジ置台 (G51M162-9)	3.50	4.40	3.00	40	0	50.0	172.8	3,500	0.0074	○	4,374	○	506.9	○	5.8	×	○
C069	パワーモニタレータ用キャリッジ吊具 (G51M162-8)	2.00	3.10	1.50	40	0	53.1	169.4	900	0.0102	○	1,269	○	348.3	○	4.8	×	○
C070	パワーモニタレータ用キャリッジ吊具 (G51M162-6)	1.30	2.10	1.30	40	0	48.5	92.3	500	0.0094	○	589	○	267.9	×	3.8	×	○
C071	パワーモニタレータ用キャリッジケーブル吊具 (G51M162-4)	1.00	1.50	0.50	40	0	50.6	133.6	150	0.0121	○	192	○	193.5	×	3.3	×	○
C072	パワーモニタレータ用補助ホスト吊具 (G51M162-5)	1.40	0.60	0.70	40	0	52.0	151.1	140	0.0106	○	189	○	198.5	×	3.6	×	○
C073	パワーモニタレータ用ケーブル搬入用ハレット (G51M162-14)	1.00	2.00	2.00	40	0	60.4	163.9	270	0.0196	○	493	○	232.4	×	3.1	×	○
C074	ガンタレット (A-4)	2.00	0.90	0.80	40	0	0.0	0.0	4,200	0.0006	×	-	-	-	-	-	-	×
C075	ラック吊具 (G71RK20-1)	2.80	2.90	2.50	40	0	54.3	194.0	1,420	0.0104	○	2,097	○	377.6	○	4.3	×	○

6-1-4-1-3-19

表 3.2-1 飛来物候補の二次スクリーニング結果 (20/19)

No.	名称	寸法 (m)			離隔距離 (m)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m/s)	最大飛散距離 (m)	質量 (kg) <単品>	空力パラメータ Cd/m ² (m ² /kg)	飛散距離の評価 (飛散距離≧離隔距離)	【条件①】 運動エネルギー		【条件②】 コンクリート貫通限界厚さ		【条件③】 鉄板貫通限界厚さ		飛来物発生防止対策の検討 【①、②、③のいずれかが“○”】
		高さ 【板：厚さ】 【円：長さ】	幅 【円：直径】	奥行 【円：直径】								飛来物候補の運動エネルギー	鋼製材 (176 kJ) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (309 mm) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (8.9mm) を超える	
C076	受入槽上部遮蔽体吊具 (A-12)	1.10	1.10	0.10	40	0	30.1	34.3	160	0.0059	×	-	-	-	-	-	-	×
C077	長尺治具置台 (A-31)	2.00	1.80	1.50	40	0	59.2	205.2	400	0.0153	○	700	○	261.9	×	3.4	×	○
C078	カバーガラス置台 (リフト-運搬用) (G51M170-1)	1.00	1.70	0.70	40	0	50.2	131.4	200	0.0118	○	252	○	208.3	×	3.4	×	○
C079	カバーガラス吊具 (クック-クック)	1.30	3.20	1.20	40	0	0.0	0.0	4,500	0.0014	×	-	-	-	-	-	-	×
C080	トコ吊具 (G51M155-1)	1.00	2.00	1.40	40	0	40.8	52.1	465	0.0088	○	387	○	229.6	×	3.2	×	○
C081	トコ吊具 (クック) (G51M155-2)	0.30	2.20	0.50	40	0	0.0	0.0	2,367	0.0005	×	-	-	-	-	-	-	×
C082	トコ支持台 (G51M155-7)	0.20	2.80	0.60	40	0	31.1	37.3	102	0.0153	×	-	-	-	-	-	-	×
C083	ITV 吊具 (G51M155-8)	1.80	1.40	0.40	40	0	19.6	19.6	760	0.0033	×	-	-	-	-	-	-	×
C084	気液分離器(G12D1442) 仮置台 (G12D1442-1)	1.70	0.50	0.50	40	0	78.3	※1	20	0.0644	○	61	×	121.1	×	2.2	×	×
C085	廃気配管搬入架台	1.30	0.90	0.90	40	0	64.5	204.1	87	0.0239	○	181	○	167.4	×	2.5	×	○
C086	ルック付帯計部品運搬容器	1.80	1.20	1.20	40	0	56.2	177.6	300	0.0127	○	474	○	245.1	×	3.6	×	○
C087	BSM コック中継箱遠隔取合部合せ治具ベース	0.10	3.90	0.50	40	0	18.1	13.1	135	0.0117	×	-	-	-	-	-	-	×
C088	BSM 補助材料吊治具	1.80	1.40	0.50	40	0	0.0	0.0	1,350	0.0020	×	-	-	-	-	-	-	×
C089	補助フック-1(A-1)置台	3.90	0.70	0.70	40	0	86.2	※1	30	0.1309	○	111	×	141.2	×	2.3	×	×
C090	補助フック用置台	0.70	0.70	0.70	40	0	72.4	219.6	20	0.0485	○	52	×	98.9	×	1.4	×	×
C091	結合装置搬送架台吊具 (G21M11-2)	1.40	1.20	1.70	40	0	67.8	213.6	132	0.0305	○	304	○	187.2	×	2.5	×	○
C092	走行給電装置取替治具 (組立治具)	1.70	1.80	1.40	40	0	54.6	170.9	450	0.0117	○	671	○	264.8	×	3.5	×	○
C093	ブリッジ連結治具 (G51M120-13)	0.90	0.10	0.10	40	0	0.0	0.0	30	0.0016	×	-	-	-	-	-	-	×
C094	主巻フック支持台(G51M100-25)	0.80	1.30	0.80	40	0	55.3	142.8	110	0.0163	○	168	×	171.7	×	2.7	×	×
C095	横行給電装置モット吊具クック(G51M100-5)	0.90	0.50	0.30	40	0	0.0	0.0	480	0.0012	×	-	-	-	-	-	-	×
C096	インバータ発電機	0.43	0.49	0.40	40	0	34.5	41.8	30	0.0125	○	18	×	77.1	×	1.2	×	×
C098	自動販売機	2.00	1.00	0.50	110	0	32.3	47.5	500	0.0046	×	-	-	-	-	-	-	×

6-1-4-1-3-20

表 3.2-1 飛来物候補の二次スクリーニング結果 (21/19)

No.	名称	寸法 (m)			離隔距離 (m)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m/s)	最大飛散距離 (m)	質量 (kg) <単品>	空力パラメータ Ca/m (m ² /kg)	飛散距離の評価 (飛散距離 ≧ 離隔距離)	【条件①】 運動エネルギー		【条件②】 コンクリート貫通限界厚さ		【条件③】 鉄板貫通限界厚さ		飛来物発生防止対策の検討 【①、②、③のいずれかが“○”】
		高さ 【板：厚さ】 【円：長さ】	幅 【円：直径】	奥行 【円：直径】								飛来物候補の運動エネルギー	鋼製材 (176 kJ) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (309 mm) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (8.9mm) を超える	
C100	Kr 施設室外機	0.65	0.80	0.30	65	0	45.6	99.9	45	0.0140	○	47	×	116.6	×	2.1	×	×
C106	自転車	1.20	0.60	1.80	115	0	86.0	※1	20	0.1307	○	74	×	106.8	×	1.5	×	×
C109	輸送容器 (架台を含む)	3.00	3.00	6.00	90	0	0.0	0.0	83,000	0.0004	×	-	-	-	-	-	-	×
C110	上部固縛装置	1.00	3.00	1.00	90	0	0.0	0.0	12,000	0.0004	×	-	-	-	-	-	-	×
C111	水平吊具	4.50	3.50	1.50	90	0	8.3	3.9	9,000	0.0020	×	-	-	-	-	-	-	×
C112	上部緩衝体	2.00	2.00	0.80	90	0	0.0	0.0	3,100	0.0015	×	-	-	-	-	-	-	×
C113	上部緩衝体容器	1.50	2.00	2.00	90	0	16.5	14.2	2,000	0.0033	×	-	-	-	-	-	-	×
C115	共同溝入口	0.10	2.10	2.40	50	0	21.3	16.5	232	0.0151	×	-	-	-	-	-	-	×
C119	三連梯子	3.30	0.40	0.13	105	0	88.9	※1	7	0.1698	○	28	×	107.7	×	2.8	×	×
C120	不定形容器	1.30	1.30	1.30	105	0	45.3	74.3	400	0.0084	×	-	-	-	-	-	-	×
C121	ハル缶	0.95	0.80	0.80	105	0	29.3	30.3	230	0.0062	×	-	-	-	-	-	-	×
C122	ふげん模擬燃料	4.40	0.12	0.12	105	0	0.0	0.0	230	0.0019	×	-	-	-	-	-	-	×
C123	P.3 S カスク仮置架台	1.50	1.35	2.10	105	0	17.8	16.0	1,550	0.0034	×	-	-	-	-	-	-	×
C124	循環ポンプ	0.50	0.70	0.40	105	0	0.0	0.0	250	0.0022	×	-	-	-	-	-	-	×
C125	ノンシールポンプ	0.60	1.10	0.60	105	0	0.0	0.0	400	0.0028	×	-	-	-	-	-	-	×
C126	キャスク (廃砂及び廃樹脂用)	4.00	1.50	1.50	105	0	0.0	0.0	10,000	0.0009	×	-	-	-	-	-	-	×
C127	廃砂・廃樹脂用タンク	4.00	1.40	1.40	105	0	64.0	242.8	400	0.0217	○	818	○	298.5	○	4.4	×	○
C128	足場パイプ	4.00	0.05	0.05	105	0	7.9	3.1	11	0.0082	×	-	-	-	-	-	-	×
C129	足場板 (4 m)	4.00	0.40	0.02	105	0	94.5	※1	3	0.3636	○	13	×	104.4	×	4.5	×	×
C130	足場板 (2 m)	2.00	0.40	0.02	105	0	91.6	※1	1	0.4558	○	5	×	66.1	×	2.4	×	×
C131	作業棚	1.20	0.60	0.90	105	0	89.2	294.5	5	0.3089	○	20	×	58.7	×	0.7	×	×
C132	ブレードホルダ	0.14	0.45	0.66	105	0	7.6	2.9	50	0.0060	×	-	-	-	-	-	-	×

6-1-4-1-3-21

表 3.2-1 飛来物候補の二次スクリーニング結果 (22/19)

No.	名称	寸法 (m)			離隔距離 (m)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m/s)	最大飛散距離 (m)	質量 (kg) <単品>	空力パラメータ Cd/m ² (m ² /kg)	飛散距離の評価 (飛散距離≧離隔距離)	【条件①】 運動エネルギー		【条件②】 コンクリート貫通限界厚さ		【条件③】 鉄板貫通限界厚さ		飛来物発生防止対策の検討 【①、②、③のいずれかが“○”】
		高さ 【板：厚さ】 【円：長さ】	幅 【円：直径】	奥行 【円：直径】								飛来物候補の運動エネルギー	鋼製材 (176 kJ) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (309 mm) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (8.9mm) を超える	
C133	5 t、1.6 t 給電コネクタ・ケーブル	0.85	1.00	0.90	105	0	29.2	28.9	250	0.0066	×	-	-	-	-	-	-	×
C134	ハル取出し台車車輪	0.10	0.80	0.80	105	0	16.6	11.8	50	0.0106	×	-	-	-	-	-	-	×
C135	渦巻きポンプ	0.50	1.00	0.40	105	0	0.0	0.0	250	0.0029	×	-	-	-	-	-	-	×
C136	水中台車用シリンダ	3.00	0.15	0.15	105	0	0.0	0.0	300	0.0020	×	-	-	-	-	-	-	×
C137	R131 セル内照明装置インサート	2.60	0.55	0.40	105	0	56.0	200.2	150	0.0118	○	235	○	246.5	×	5.7	×	○
C140	セル内5 t クレーンワイヤーロープ	0.55	0.55	0.55	105	0	0.0	0.0	300	0.0020	×	-	-	-	-	-	-	×
C141	5 t クレーンケーブルベア	2.70	0.47	0.30	105	0	53.4	186.0	150	0.0098	○	214	○	256.6	×	6.7	×	○
C142	溶解槽ガスケット試験装置	2.00	1.00	1.00	105	0	54.4	173.7	300	0.0110	○	444	○	254.8	×	4.1	×	○
C143	運搬台車	1.00	1.50	1.00	105	0	58.9	162.8	150	0.0176	○	260	○	194.1	×	2.9	×	○
C144	セル内5 t クレーン駆動部	1.20	0.12	1.80	105	0	43.2	63.1	200	0.0083	×	-	-	-	-	-	-	×
C145	P3Sカスケードポート座金用保管箱	0.60	1.50	1.50	105	0	42.4	92.2	200	0.0134	×	-	-	-	-	-	-	×
C146	1.6 t クレーン用ケーブルベアシリンダ	0.80	2.10	0.40	105	0	46.7	112.6	150	0.0125	○	164	×	196.3	×	3.7	×	×
C147	カスク自走台車	1.60	1.40	2.70	105	0	56.9	173.5	500	0.0136	○	809	○	292.5	○	4.1	×	○
C148	消火器	0.75	0.21	0.28	105	0	64.7	160.2	10	0.0281	○	21	×	95.7	×	2.3	×	×
C149	DN 室外機	1.40	0.90	0.40	85	0	49.8	141.8	150	0.0096	○	186	○	203.1	×	3.8	×	○
C150	共同換気フード	0.90	1.50	1.30	130	0	58.8	164.8	160	0.0184	○	277	○	194.5	×	2.8	×	○
C152	ボンベ運搬台車	1.45	0.40	0.55	135	0	87.7	※1	7	0.1506	○	27	×	81.5	×	1.4	×	×
C153	アルゴンガスボンベ	1.55	0.25	0.25	135	0	46.8	90.8	70	0.0079	×	-	-	-	-	-	-	×
C156	地下水移送ポンプ制御盤	0.20	0.50	0.50	100	0	30.6	35.9	20	0.0149	×	-	-	-	-	-	-	×
C158	地下水移送ポンプ	0.60	0.50	0.50	100	0	53.3	145.0	30	0.0187	○	43	×	105.2	×	1.8	×	×
C160	アルゴンガスボンベ	1.55	0.25	0.25	90	0	46.8	90.8	70	0.0079	○	77	×	182.5	×	5.1	×	×
C165	自転車	1.20	0.60	1.80	140	0	86.0	※1	20	0.1307	○	74	×	106.8	×	1.5	×	×

6-1-4-1-3-22

表 3.2-1 飛来物候補の二次スクリーニング結果 (23/19)

No.	名称	寸法 (m)			離隔距離 (m)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m/s)	最大飛散距離 (m)	質量 (kg) <単品>	空力パラメータ Ca/m (m ² /kg)	飛散距離の評価 (飛散距離 ≧ 離隔距離)	【条件①】運動エネルギー		【条件②】コンクリート貫通限界厚さ		【条件③】鉄板貫通限界厚さ		飛来物発生防止対策の検討【①、②、③のいずれかが“○”】
		高さ【板：厚さ】 【円：長さ】	幅【円：直径】	奥行【円：直径】								飛来物候補の運動エネルギー	鋼製材 (176 kJ) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (309 mm) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (8.9mm) を超える	
C173	スロープ	0.01	1.00	1.80	200	0	10.6	5.4	70	0.0171	×	-	-	-	-	-	-	×
C179	止水板	0.40	7.00	0.10	175	0	67.1	165.1	50	0.0428	×	-	-	-	-	-	-	×
C180	止水板	0.40	7.00	0.10	140	0	67.1	165.1	50	0.0428	○	113	×	225.3	×	8.0	×	×
C183	屋外タンク貯蔵所渡階段	0.56	1.10	0.50	215	0	64.9	159.2	30	0.0318	×	-	-	-	-	-	-	×
C186	消火器 (200 型)	1.10	0.40	0.40	215	0	0.3	0.0	250	0.0012	×	-	-	-	-	-	-	×
C187	消火器 (100 型)	0.90	0.30	0.30	215	0	17.4	13.8	100	0.0018	×	-	-	-	-	-	-	×
C188	消火器 (20 型)	0.40	0.20	0.20	215	0	37.4	64.7	10	0.0063	×	-	-	-	-	-	-	×
C191	浸水防止板	0.30	4.40	0.06	180	0	53.2	149.4	30	0.0328	×	-	-	-	-	-	-	×
C192	スロープ	0.08	0.90	0.50	180	0	24.4	25.1	20	0.0171	×	-	-	-	-	-	-	×
C193	グレーチング	0.05	1.00	0.40	180	0	10.6	5.4	30	0.0097	×	-	-	-	-	-	-	×
C196	TWa 樹蓋	0.00	0.52	0.94	200	0	0.0	0.0	10	0.0324	×	-	-	-	-	-	-	×
C197	グレーチング	0.05	1.00	0.40	165	0	10.6	5.4	30	0.0097	×	-	-	-	-	-	-	×
C205	SUS 板	0.01	2.40	1.50	175	0	10.5	5.4	140	0.0170	×	-	-	-	-	-	-	×
C207	消火器	0.60	0.13	0.13	100	15	50.2	215.4	10	0.0114	○	13	×	94.5	×	2.9	×	×
C208	ドラム缶	0.90	0.60	0.60	100	15	61.7	259.5	30	0.0317	○	57	×	111.1	×	1.8	×	×
C209	バール缶	0.25	0.45	0.35	100	15	59.0	255.9	10	0.0236	○	17	×	81.9	×	1.6	×	×
C211	消火器	0.60	0.13	0.13	125	15	50.2	215.4	10	0.0114	○	13	×	94.5	×	2.9	×	×
C212	机	0.75	1.20	0.75	125	15	79.3	313.5	10	0.1559	○	31	×	74.0	×	1.0	×	×
C213	棚	1.80	0.90	0.40	125	15	75.0	274.6	20	0.0891	○	56	×	108.0	×	1.7	×	×
C214	資材棚	1.15	0.90	0.45	125	15	69.6	265.7	20	0.0646	○	48	×	99.0	×	1.5	×	×
C215	パイプ椅子	0.80	0.45	0.45	125	15	85.3	363.3	2	0.3044	○	7	×	43.3	×	0.6	×	×
C216	可搬型発電機(WDG350VA)	0.60	0.70	0.50	85	15	39.8	117.3	170	0.0042	○	135	×	183.5	×	3.4	×	×

6-1-4-1-3-23

表 3.2-1 飛来物候補の二次スクリーニング結果 (24/19)

No.	名称	寸法 (m)			離隔距離 (m)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m/s)	最大飛散距離 (m)	質量 (kg) <単品>	空力パラメータ Cl/m (m ² /kg)	飛散距離の評価 (飛散距離 ≧ 離隔距離)	【条件①】 運動エネルギー		【条件②】 コンクリート貫通限界厚さ		【条件③】 鉄板貫通限界厚さ		飛来物発生防止対策の検討 【①、②、③のいずれかが“○”】
		高さ 【板：厚さ】 【円：長さ】	幅 【円：直径】	奥行 【円：直径】								飛来物候補の運動エネルギー	鋼製材 (176 kJ) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (309 mm) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (8.9mm) を超える	
C217	可搬型発電機 (TLG-7.5LSK)	0.70	1.30	0.60	85	15	42.5	140.3	260	0.0054	○	235	○	225.0	×	4.1	×	○
C218	電工ドラム	0.40	0.30	0.30	85	15	46.7	182.9	26	0.0084	○	28	×	105.3	×	2.2	×	×
C219	軽油携行缶	0.20	0.40	0.30	85	15	48.1	196.1	18	0.0095	○	21	×	97.0	×	2.2	×	×
C220	運搬車	0.80	0.90	0.60	85	15	64.2	259.1	28	0.0410	○	58	×	105.4	×	1.6	×	×
C221	工具箱	0.70	0.50	0.55	85	15	52.2	228.9	50	0.0133	○	68	×	130.0	×	2.3	×	×
C222	キャビネット	1.80	0.90	0.65	85	15	57.3	253.7	100	0.0223	○	164	×	172.3	×	2.8	×	×
C223	消火器	0.60	0.13	0.13	85	15	50.2	215.4	10	0.0114	○	13	×	94.5	×	2.9	×	×
C224	資材入れ	0.60	1.40	0.60	85	15	59.2	258.0	50	0.0269	○	88	×	137.9	×	2.3	×	×
C225	トラクタ用ウエイト架台	0.50	2.00	2.50	85	15	58.6	256.0	200	0.0239	○	343	○	222.9	×	3.5	×	○
C226	テーブル	0.70	1.80	0.60	85	15	80.8	322.7	10	0.1822	○	33	×	79.8	×	1.1	×	×
C227	丸椅子	0.45	0.40	0.40	85	15	80.3	320.2	2	0.1716	○	6	×	43.1	×	0.7	×	×
C228	ガスボンベ発電機	0.50	0.40	0.25	85	15	57.1	249.0	15	0.0187	○	24	×	93.9	×	1.9	×	×
C229	ドラム缶	0.90	0.60	0.60	85	15	61.7	259.5	30	0.0317	○	57	×	111.1	×	1.8	×	×
C230	トラクタ用ウエイト	0.75	0.60	1.10	85	15	32.9	72.0	500	0.0026	×	-	-	-	-	-	-	×
C231	脚立	1.80	0.80	0.80	85	15	91.1	※1	5	0.4646	○	21	×	58.1	×	0.7	×	×
C232	発電機 (YDG250VS)	1.70	0.90	0.70	85	15	53.8	235.3	150	0.0147	○	217	○	195.7	×	3.2	×	○
C233	発電機 (YDG350VA)	0.80	0.70	0.50	85	15	47.1	185.8	100	0.0086	○	111	×	159.3	×	2.8	×	×
C234	発電機 (iDE3100M)	0.75	0.75	0.60	85	15	44.1	157.1	150	0.0064	○	146	×	175.0	×	2.9	×	×
C235	発電機 (15LSX)	1.15	1.55	0.65	85	15	38.1	102.7	650	0.0036	○	472	○	287.0	○	4.9	×	○
C236	発電機 (7.5LS)	0.80	1.10	0.60	85	15	41.0	126.7	290	0.0046	○	243	○	224.2	×	3.9	×	○
C237	発電機 (25LS)	1.20	1.55	0.70	85	15	38.0	102.1	700	0.0036	○	507	○	291.7	○	4.8	×	○
C238	電源ケーブル	0.50	1.30	4.00	85	15	55.1	245.5	300	0.0173	○	455	○	279.6	○	5.1	×	○

6-1-4-1-3-24

表 3.2-1 飛来物候補の二次スクリーニング結果 (25/19)

No.	名称	寸法 (m)			離隔距離 (m)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m/s)	最大飛散距離 (m)	質量 (kg) <単品>	空力パラメータ Cd/m ² (m ² /kg)	飛散距離の評価 (飛散距離≧離隔距離)	【条件①】 運動エネルギー		【条件②】 コンクリート貫通限界厚さ		【条件③】 鉄板貫通限界厚さ		飛来物発生防止対策の検討 【①、②、③のいずれかが“○”】
		高さ 【板：厚さ】 【円：長さ】	幅 【円：直径】	奥行 【円：直径】								飛来物候補の運動エネルギー	鋼製材 (176 kJ) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (309 mm) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (8.9mm) を超える	
C239	ハンドリフター	1.20	1.40	0.70	85	15	71.6	270.3	30	0.0770	○	77	×	108.0	×	1.4	×	×
C240	ドラムポーター	0.10	0.70	0.60	85	15	62.7	259.6	10	0.0363	○	20	×	91.8	×	2.0	×	×
C241	ポンプ	0.70	0.70	0.50	85	15	42.3	138.4	150	0.0052	○	134	×	176.5	×	3.1	×	×
C242	電源ケーブルドラム (小)	0.40	0.60	0.60	85	15	42.8	143.6	100	0.0055	○	92	×	157.5	×	2.9	×	×
C243	電源ケーブルドラム (中)	0.60	0.95	0.95	85	15	45.5	171.7	180	0.0075	○	186	○	188.3	×	3.0	×	○
C244	電源ケーブルドラム (大)	0.70	1.30	1.30	85	15	33.5	74.7	880	0.0026	×	-	-	-	-	-	-	×
C245	組立式リヤカー	0.70	0.60	0.10	85	15	62.7	259.3	10	0.0363	○	20	×	91.8	×	2.0	×	×
C246	不整地運搬車	1.40	1.10	3.50	85	15	57.3	249.7	350	0.0194	○	575	○	265.4	×	3.9	×	○
C247	消防ホース	0.10	0.30	0.30	85	15	57.4	250.9	5	0.0198	○	8	×	68.4	×	1.6	×	×
C248	給油タンクユニット	2.50	1.60	1.60	85	15	60.5	254.4	300	0.0232	○	549	○	233.7	×	2.9	×	○
C249	可搬型ボイラユニット	3.00	3.50	3.50	85	15	65.0	257.7	500	0.0439	○	1,056	○	243.6	×	2.2	×	○
C251	トヨエース (ユニット車)	2.70	2.00	6.20	85	15	39.0	108.5	5,900	0.0039	○	4,487	○	598.1	○	8.1	×	○
C252	ホイールローダ	2.50	1.50	4.00	85	15	39.6	113.8	3,200	0.0041	○	2,512	○	480.4	○	6.6	×	○
C253	バックホー	2.50	1.50	4.50	85	15	40.9	124.7	3,140	0.0046	○	2,627	○	489.6	○	6.8	×	○
C254	資材棚	2.10	1.80	0.60	85	15	64.0	258.4	100	0.0404	○	205	○	168.7	×	2.3	×	○
C255	ブレーカ	0.30	1.30	0.30	85	15	38.9	109.8	150	0.0038	○	114	×	209.8	×	5.4	×	×
C256	爪	0.30	0.70	0.40	85	15	33.8	76.7	150	0.0027	×	-	-	-	-	-	-	×
C258	二輪車	0.70	0.70	1.40	85	15	79.7	316.3	10	0.1617	○	32	×	76.3	×	1.0	×	×
C260	グレーチング	0.03	0.45	0.45	45	0	11.5	6.3	12	0.0120	×	-	-	-	-	-	-	×
C261	グレーチング	0.10	0.55	1.10	45	0	49.5	223.1	8	0.0581	○	10	×	68.6	×	1.4	×	×
C262	グレーチング	0.03	0.36	0.36	85	0	11.2	6.1	8	0.0118	×	-	-	-	-	-	-	×
C267	接地蓋	0.05	0.38	0.38	100	0	40.5	143.0	3	0.0368	○	2	×	42.6	×	0.9	×	×

6-1-4-1-3-25

表 3.2-1 飛来物候補の二次スクリーニング結果 (26/19)

No.	名称	寸法 (m)			離隔距離 (m)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m/s)	最大飛散距離 (m)	質量 (kg) <単品>	空力パラメータ Ca/m (m ² /kg)	飛散距離の評価 (飛散距離 ≧ 離隔距離)	【条件①】 運動エネルギー		【条件②】 コンクリート貫通限界厚さ		【条件③】 鉄板貫通限界厚さ		飛来物発生防止対策の検討 【①、②、③のいずれかが“○”】
		高さ 【板：厚さ】 【円：長さ】	幅 【円：直径】	奥行 【円：直径】								飛来物候補の運動エネルギー	鋼製材 (176 kJ) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (309 mm) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (8.3mm) を超える	
C268	マンホール	0.05	0.67	0.67	100	0	7.5	2.8	40	0.0081	×	-	-	-	-	-	-	×
C269	グレーチング	0.02	1.00	0.20	75	0	0.0	0.0	20	0.0071	×	-	-	-	-	-	-	×
C271	マンホール	0.05	0.70	0.70	200	0	1.7	0.1	56	0.0063	×	-	-	-	-	-	-	×
C272	コンクリートブロック	0.15	0.50	0.20	200	0	0.0	0.0	35	0.0039	×	-	-	-	-	-	-	×
C273	共同溝蓋	0.05	2.00	0.70	200	0	0.0	0.0	290	0.0034	×	-	-	-	-	-	-	×
C274	排水枘蓋	0.06	0.50	0.40	200	0	0.0	0.0	28	0.0055	×	-	-	-	-	-	-	×
D002	自転車	1.20	0.60	1.80	275	0	86.0	※1	20	0.1307	○	74	×	106.8	×	1.4	×	×
D004	原動機付自転車	1.02	0.65	1.72	275	0	66.4	196.0	80	0.0292	×	-	-	-	-	-	-	×
D005					275	0	48.5	143.2	1,800	0.0072	×	-	-	-	-	-	-	×
D006					275	0	48.5	143.2	1,800	0.0072	×	-	-	-	-	-	-	×
D008					295	0	48.5	143.2	1,800	0.0072	×	-	-	-	-	-	-	×
D009					295	0	48.5	143.2	1,800	0.0072	×	-	-	-	-	-	-	×
D010	立制警備所 空調室外機	0.90	0.90	0.40	290	0	58.8	164.7	55	0.0184	×	-	-	-	-	-	-	×
D011	立制警備所 空調室外機	0.90	0.90	0.40	290	0	58.8	164.7	55	0.0184	×	-	-	-	-	-	-	×
D012	単管パイプ	1.70	5.00	1.40	330	0	96.1	※1	10	0.5151	○	46	×	43.5	×	0.2	×	×
D014	屋外ピット蓋	0.10	1.00	2.00	330	0	53.4	※1	20	0.0719	○	28	×	101.8	×	2.0	×	×
D025	空調室外機	1.30	0.90	0.30	280	0	55.8	166.4	90	0.0134	×	-	-	-	-	-	-	×
D026	空調室外機	1.30	0.90	0.30	280	0	55.8	166.4	90	0.0134	×	-	-	-	-	-	-	×
D030	倉庫	2.50	3.05	2.70	310	0	71.7	229.8	400	0.0373	×	-	-	-	-	-	-	×
D034	空調室外機	1.10	0.90	0.37	275	0	56.7	162.5	75	0.0152	×	-	-	-	-	-	-	×
D035	空調室外機	1.10	0.90	0.37	275	0	56.7	162.5	75	0.0152	×	-	-	-	-	-	-	×
D036	空調室外機	0.60	0.85	0.33	275	0	44.9	95.2	45	0.0145	×	-	-	-	-	-	-	×

6-1-4-1-3-26

表 3.2-1 飛来物候補の二次スクリーニング結果 (27/19)

No.	名称	寸法 (m)			離隔距離 (m)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m/s)	最大飛散距離 (m)	質量 (kg) (単品)	空力パラメータ Cd/m (m ² /kg)	飛散距離の評価 (飛散距離≧離隔距離)	【条件①】 運動エネルギー		【条件②】 コンクリート貫通限界厚さ		【条件③】 鉄板貫通限界厚さ		飛来物発生防止対策の検討 【①、②、③のいずれかが“○”】
		高さ 【板：厚さ】 【円：長さ】	幅 【円：直径】	奥行 【円：直径】								飛来物候補の運動エネルギー	鋼製材 (176 kJ) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (309 mm) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (8.9mm) を超える	
D037	空調室外機	0.60	0.85	0.33	275	0	48.8	132.5	40	0.0163	×	-	-	-	-	-	-	×
D038	空調室外機 東芝 RAS-2517AD	0.60	0.70	0.20	275	0	49.3	134.1	27	0.0166	×	-	-	-	-	-	-	×
D039	空調室外機 DAIKIN 2連装冷却塔	1.40	1.30	0.70	275	0	50.3	142.5	250	0.0098	×	-	-	-	-	-	-	×
D041	空調室外機 東芝 R0A-AP634HJZ	0.60	0.80	0.30	275	0	48.0	118.4	37	0.0161	×	-	-	-	-	-	-	×
D042	空調室外機	1.00	0.50	0.50	275	0	55.8	155.8	55	0.0150	×	-	-	-	-	-	-	×
D043	発電機	0.50	0.40	0.60	275	0	22.5	17.6	70	0.0070	×	-	-	-	-	-	-	×
D044	空調室外機 東芝 R0A-AP634HJZ	0.60	0.80	0.30	275	0	48.0	118.4	37	0.0161	×	-	-	-	-	-	-	×
D045	空調室外機	0.60	0.85	0.33	275	0	48.8	132.5	40	0.0163	×	-	-	-	-	-	-	×
D046	空調室外機 日立 RAS-NP56HVRJ	0.60	0.80	0.30	275	0	40.7	90.3	47	0.0126	×	-	-	-	-	-	-	×
D047	空調室外機 日立 RAS-AP160SH	0.80	0.95	0.40	275	0	46.1	111.8	79	0.0122	×	-	-	-	-	-	-	×
D049	空調室外機 DAIKIN RZYP 160 CBE	1.00	0.90	0.40	275	0	57.9	159.1	66	0.0166	×	-	-	-	-	-	-	×
D050	空調室外機 東芝 R0A-AP1403HSZ	1.30	0.90	0.40	275	0	57.9	169.8	88	0.0154	×	-	-	-	-	-	-	×
D051	空調室外機 東芝 R0A-AP1124H	0.80	0.90	0.30	275	0	49.9	117.7	60	0.0135	×	-	-	-	-	-	-	×
D052	空調室外機 東芝 R0A-AP1124H	0.80	0.90	0.30	275	0	49.9	117.7	60	0.0135	×	-	-	-	-	-	-	×
D053	空調室外機 東芝 R0A-AP634HZ	0.50	0.80	0.30	275	0	41.6	81.4	37	0.0141	×	-	-	-	-	-	-	×
D054	空調室外機 日立 RAS-GP140RSH1	1.10	0.95	0.40	275	0	55.9	158.7	85	0.0145	×	-	-	-	-	-	-	×
D057	空調室外機	1.17	0.90	0.36	230	0	54.8	158.1	90	0.0132	×	-	-	-	-	-	-	×
D069	空調室外機	0.80	0.90	0.35	270	0	58.5	161.3	45	0.0193	×	-	-	-	-	-	-	×
D070	空調室外機	0.60	0.85	0.33	270	0	48.8	132.5	40	0.0163	×	-	-	-	-	-	-	×
D071	空調室外機	0.60	0.85	0.33	270	0	48.8	132.5	40	0.0163	×	-	-	-	-	-	-	×
D072	空調室外機	0.60	0.85	0.33	270	0	48.8	132.5	40	0.0163	×	-	-	-	-	-	-	×
D074	空調室外機 東芝 R0A-AP1604HSZ	1.30	0.90	0.40	295	0	57.2	169.4	92	0.0147	×	-	-	-	-	-	-	×

6-1-4-1-3-27

表 3.2-1 飛来物候補の二次スクリーニング結果 (28/19)

No.	名称	寸法 (m)			離隔距離 (m)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m/s)	最大飛散距離 (m)	質量 (kg) <単品>	空力パラメータ Cd/m (m ² /kg)	飛散距離の評価 (飛散距離≧離隔距離)	【条件①】 運動エネルギー		【条件②】 コンクリート貫通限界厚さ		【条件③】 鉄板貫通限界厚さ		飛来物発生防止対策の検討 【①、②、③のいずれかが“○”】
		高さ 【板：厚さ】 【円：長さ】	幅 【円：直径】	奥行 【円：直径】								飛来物候補の エネルギー	鋼製材 (176 kJ) を超える	飛来物候補 の貫通厚さ	鋼製材 (309 mm) を超える	飛来物候補 の貫通厚さ	鋼製材 (8.9mm) を超える	
D075	空調室外機 日立 RAS-AP224SH	1.35	0.95	0.40	295	0	52.4	151.4	133	0.0109	×	-	-	-	-	-	-	×
D076	空調室外機 日立 RAS-AP80HVM	0.80	0.95	0.40	295	0	51.7	124.1	67	0.0144	×	-	-	-	-	-	-	×
E017	マンホール	0.1	0.5	0.5	300	0	0.0	0.0	40	0.0051	×	-	-	-	-	-	-	×
E019	ドラム缶積載用パレット	1.3	1.3	0.2	300	0	0.0	0.0	90	0.0162	×	-	-	-	-	-	-	×
E020	空調機室外機	0.8	0.3	0.7	300	0	0.0	0.0	60	0.0111	×	-	-	-	-	-	-	×
F001	チェッカープレート	0.005	0.9	1.22	220	30	55.6	247.3	41	0.0178	○	63	×	219.9	×	16.4	○	○
F002	マンホール蓋	0.06	0.65	0.65	220	30	43.8	154.0	50	0.0062	×	-	-	-	-	-	-	×
F003	マンホール蓋	0.06	0.82	0.82	220	30	41.5	131.8	100	0.0048	×	-	-	-	-	-	-	×
F004	マンホール蓋 (角)	0.07	0.65	1.1	220	30	36.8	94.2	160	0.0033	×	-	-	-	-	-	-	×
F005	鉄パイプ	1.5	0.05	0.05	220	30	43.1	146.6	6.3	0.0057	×	-	-	-	-	-	-	×
F007	標識(コックリ部で評価)	0.04	0.2	0.2	220	30	13.7	20.1	34	0.0010	×	-	-	-	-	-	-	×
F008	標識(コックリ部で評価)	0.3	0.3	1.55	220	30	54.4	239.2	34	0.0155	○	50	×	137.4	×	3.2	×	×
F009	チェッカープレート(肉厚5mm)	0.06	0.95	1.7	220	30	54.5	240.1	72	0.0157	○	107	×	213.4	×	6.6	×	×
F010	チェッカープレート(肉厚5mm)	0.06	0.83	1.55	220	30	54.3	238.8	59	0.0153	○	87	×	198.1	×	6.1	×	×
F011	グレーチング(鋳鉄)	0.035	0.6	0.6	220	30	33.6	75.9	59	0.0027	×	-	-	-	-	-	-	×
F012	庭石	1.8	1	0.35	220	30	15.7	23.2	1670	0.0011	×	-	-	-	-	-	-	×
F013	グレーチング	0.06	0.55	0.55	220	30	31.2	64.9	37	0.0023	×	-	-	-	-	-	-	×
F014	チェッカープレート	0.005	1.23	1.8	220	30	56.1	247.6	82	0.0179	○	129	×	281.2	○	22.5	○	○
F015	標識	0.04	0.3	1.8	220	30	62.4	259.8	11	0.0354	○	21	×	126.3	×	4.9	×	×
F016	自転車	0.5	1.5	1	220	30	71.2	※1	20	0.0743	×	-	-	-	-	-	-	×
F017	ホース格納箱(土台を含む)	0.85	0.28	1.2	220	30	41.6	131.9	216	0.0049	×	-	-	-	-	-	-	×
F018	蓋(肉厚2mm)	0.1	1.1	2.3	220	30	62.2	259.8	52	0.0347	○	100	×	182.9	×	4.5	×	×

6-1-4-1-3-28

表 3.2-1 飛来物候補の二次スクリーニング結果 (29/19)

No.	名称	寸法 (m)			離隔距離 (m)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m/s)	最大飛散距離 (m)	質量 (kg)	空力パラメータ Cd/m (m ² /kg)	飛散距離の評価 (飛散距離 ≧ 離隔距離)	【条件①】 運動エネルギー		【条件②】 コンクリート貫通限界厚さ		【条件③】 鉄板貫通限界厚さ		飛来物発生防止対策の検討 【①、②、③のいずれかが“○”】
		高さ 【板：厚さ】 【円：長さ】	幅 【円：直径】	奥行 【円：直径】								飛来物候補の運動エネルギー	鋼製材 (176 kJ) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (309 mm) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (8.9mm) を超える	
F019	空調機室外機	0.58	0.22	0.6	220	30	48.7	201.3	40	0.0100	×	-	-	-	-	-	-	×
F020	チェッカープレート	0.005	0.8	1.45	220	30	56.1	247.6	43	0.0179	○	68	×	223.5	×	18.4	○	○
F021	空調機室外機	1.1	0.43	1.65	220	30	57.2	249.3	104	0.0190	○	170	×	182.5	×	3.1	×	×
F022	ポンベ	1.45	0.23	0.23	220	30	45.5	171.6	63	0.0075	×	-	-	-	-	-	-	×
F023	スレート	0.03	2	0.7	220	30	64.9	259.2	22	0.0435	○	46	×	165.6	×	6.2	×	×
F024	エキスパンドメタル	0.01	0.92	1.86	220	30	38.3	104.8	54	0.0036	×	-	-	-	-	-	-	×
F025	グレーチング	0.04	0.3	1	220	30	46.0	177.7	12	0.0079	×	-	-	-	-	-	-	×
F027	鋼板 (敷鉄板)	0.01	0.62	1.5	220	30	47.0	184.9	73	0.0085	×	-	-	-	-	-	-	×
F028	チェッカープレート	0.005	0.92	0.8	220	30	56.6	248.1	27	0.0181	○	43	×	191.5	×	13.6	○	○
F029	消火器置場	0.56	0.53	1.2	220	30	55.2	243.9	63	0.0168	○	96	×	150.8	×	2.7	×	×
F030	チェッカープレート	0.04	0.9	2.2	220	30	56.9	249.1	73	0.0186	○	118	×	239.1	×	8.8	×	×
F031	台車 (エキスパンドメタルのみ評価)	0.01	0.95	1.5	220	30	38.3	105.1	45	0.0036	×	-	-	-	-	-	-	×
F032	チェッカープレート	0.1	0.5	1.22	220	30	57.3	251.9	23	0.0205	○	38	×	132.2	×	3.5	×	×
F035	チェッカープレート	0.005	0.91	1.1	220	30	56.3	247.8	37	0.0180	○	59	×	213.6	×	15.6	○	○
F038	グレーチング(板)(肉厚 2 mm)	0.03	0.23	1	220	30	54.2	237.5	4	0.0150	○	6	×	76.2	×	2.7	×	×
F039	梯子(SUS製)	2	0.35	0.03	220	30	65.6	258.3	11	0.0462	○	24	×	134.3	×	5.6	×	×
F040	グレーチング(鋳鉄)	0.03	0.5	0.5	220	30	44.6	162.8	26	0.0068	×	-	-	-	-	-	-	×
F041	マンホール蓋	0.04	0.6	0.6	220	30	40.5	123.8	58	0.0044	×	-	-	-	-	-	-	×
F042	鋼製階段	0.97	1.02	0.74	220	30	60.1	258.0	58	0.0280	○	105	×	131.7	×	1.8	×	×
F043	グレーチング(鋳鉄)	0.023	0.63	0.63	220	30	43.3	149.4	33	0.0059	×	-	-	-	-	-	-	×
F044	鋼製階段	1.02	1.3	0.9	220	30	62.7	259.1	62	0.0363	○	122	×	134.9	×	1.8	×	×
F048	ポンベキャリア	0.6	0.6	1.17	220	30	68.4	263.8	20	0.0582	○	47	×	99.8	×	1.5	×	×

6-1-4-1-3-29

表 3.2-1 飛来物候補の二次スクリーニング結果 (30/19)

No.	名称	寸法 (m)			離隔距離 (m)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m/s)	最大飛散距離 (m)	質量 (kg) <単品>	空力パラメータ C _d /m (m ² /kg)	飛散距離の評価 (飛散距離 ≧ 離隔距離)	【条件①】 運動エネルギー		【条件②】 コンクリート貫通限界厚さ		【条件③】 鉄板貫通限界厚さ		飛来物発生防止対策の検討 【①、②、③のいずれかが“○”】
		高さ【板：厚さ】 【円：長さ】	幅【円：直径】	奥行【円：直径】								飛来物候補の運動エネルギー	鋼製材 (176 kJ) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (319 mm) を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材 (8.3mm) を超える	
F049	グレーチング	0.06	0.4	1	220	30	32.8	71.9	34	0.0025	×	-	-	-	-	-	-	×
F050	鋼製ステップ	0.8	1.4	1.05	220	30	49.4	208.4	109	0.0108	×	-	-	-	-	-	-	×
F051	コンクリートブロック	0.05	0.6	0.4	220	30	44.0	156.5	28	0.0064	×	-	-	-	-	-	-	×
F052	鉄パイプ	3	0.05	0.05	220	30	42.6	142.1	13	0.0054	×	-	-	-	-	-	-	×
F053	ドラム缶	0.9	0.6	0.6	220	30	64.9	259.1	24	0.0396	○	51	×	104.1	×	1.6	×	×
F054	空調機室外機土台を含む4台あり	0.88	0.34	0.83	220	30	47.3	186.9	99	0.0087	×	-	-	-	-	-	-	×
F055	空調機室外機土台を含む	0.92	0.34	1.23	220	30	47.9	193.9	131	0.0094	×	-	-	-	-	-	-	×
F056	マンホール蓋(コンクリート製)	0.06	0.55	0.55	220	30	44.7	163.3	33	0.0068	×	-	-	-	-	-	-	×
F057	チェッカープレート	0.005	0.82	1	220	30	56.7	248.2	30	0.0182	○	48	×	199.1	×	14.4	○	○
F058	バレット	0.15	1.3	1.3	220	30	54.2	237.8	84	0.0151	○	123	×	184.7	×	3.9	×	×
F059	コンクリートブロック	0.7	0.3	0.1	220	30	40.1	119.7	48	0.0043	×	-	-	-	-	-	-	×
F060	標識(コックピット部で評価)	0.32	0.32	1.6	220	30	54.4	239.2	48	0.0155	○	71	×	158.7	×	3.7	×	×
F061	空調機室外機	1.2	0.75	1.52	220	30	48.7	200.4	255	0.0100	×	-	-	-	-	-	-	×
F062	保管容器蓋(SUS製)(肉厚 2mm)	0.18	0.84	1.67	220	30	62.5	259.6	31	0.0356	○	61	×	134.8	×	2.8	×	×
F063	鋼製ステップ	1	0.3	0.36	220	30	53.5	234.7	35	0.0145	○	50	×	132.7	×	2.9	×	×
F064	コンクリートブロック	0.1	0.2	1.16	220	30	39.1	111.2	53	0.0039	×	-	-	-	-	-	-	×
F065	鋼板	0.004	1	2	220	30	57.3	252.6	63	0.0209	○	104	×	252.7	×	24.4	○	○
F067	チェッカープレート(肉厚 5mm)	0.07	0.3	1.84	220	30	57.3	252.2	20	0.0207	○	34	×	144.1	×	5.0	×	×
F068	コンクリートブロック(蓋)	0.06	0.67	0.67	250	30	42.4	139.9	62	0.0053	×	-	-	-	-	-	-	×
F069	チェッカープレート(肉厚 5mm)	0.24	0.8	2.44	250	30	50.7	220.4	80	0.0120	×	-	-	-	-	-	-	×
F070	チェッカープレート(肉厚 5mm)	0.3	0.5	1.8	250	30	52.3	229.7	65	0.0134	×	-	-	-	-	-	-	×
F071	チェッカープレート(肉厚 5mm)	0.1	1.22	1.72	250	30	54.0	236.9	101	0.0149	×	-	-	-	-	-	-	×

6-1-4-1-3-30

表 3.2-1 飛来物候補の二次スクリーニング結果 (31/19)

No.	名称	寸法 (m)			離隔距離 (m)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m/s)	最大飛散距離 (m)	質量 (kg) <単品>	空力パラメータ Cd/m (m ² /kg)	飛散距離の評価 (飛散距離≧離隔距離)	【条件①】 運動エネルギー		【条件②】 コンクリート貫通限界厚さ		【条件③】 鉄板貫通限界厚さ		飛来物発生防止対策の検討 【①、②、③のいずれかが“○”】
		高さ 【板：厚さ】 【円：長さ】	幅 【円：直径】	奥行 【円：直径】								飛来物候補の 運動エネルギー	鋼製材 (176 kJ) を超える	飛来物候補 の貫通厚さ	鋼製材 (309 mm) を超える	飛来物候補 の貫通厚さ	鋼製材 (8.3mm) を超える	
F072	鋼製ステップ	1.15	1	0.45	250	30	50.8	220.6	76	0.0121	×	-	-	-	-	-	-	×
F073	チェッカープレート(肉厚 5mm)	0.2	1.1	1.2	250	30	56.8	248.3	58	0.0183	×	-	-	-	-	-	-	×
F074	チェッカープレート(肉厚 5mm)	0.04	0.92	1.73	250	30	55.0	242.4	67	0.0163	×	-	-	-	-	-	-	×
F075	鋼製蓋(肉厚 3mm)	0.12	0.66	2.35	250	30	57.4	251.1	59	0.0199	○	96	×	191.2	×	5.2	×	×
F076	グレーチング(鋳鉄)	0.03	0.3	0.6	250	30	36.4	92.0	20	0.0032	×	-	-	-	-	-	-	×
F077	グレーチング	0.05	0.5	0.6	250	30	32.9	72.3	32	0.0025	×	-	-	-	-	-	-	×
F078	コンクリートブロック	0.06	0.4	0.6	250	30	42.7	143.2	33	0.0055	×	-	-	-	-	-	-	×
F083	マンホール蓋(角)	0.07	0.63	0.7	250	30	36.6	93.3	102	0.0032	×	-	-	-	-	-	-	×
F084	グレーチング	0.06	0.54	1	250	30	40.9	126.6	44	0.0046	×	-	-	-	-	-	-	×
F085	鋼製の柵	0.05	0.1	2	250	30	49.0	204.9	17	0.0103	×	-	-	-	-	-	-	×
F087	チェッカープレート	0.07	2.42	2.1	250	30	56.9	249.0	188	0.0185	×	-	-	-	-	-	-	×
F088	コンクリートブロック	1.05	0.45	0.1	250	30	38.7	107.8	109	0.0038	×	-	-	-	-	-	-	×
F089	敷鉄板	0.008	0.6	0.92	250	30	49.3	208.3	35	0.0106	×	-	-	-	-	-	-	×
F091	鋼製蓋	0.27	3.5	4.5	250	30	42.6	142.0	2070	0.0054	×	-	-	-	-	-	-	×
F092	空調室外機	1.3	0.7	1.45	250	30	57.3	249.6	130	0.0193	×	-	-	-	-	-	-	×
F093	グレーチング(細)	0.015	0.74	1.64	250	30	54.3	238.8	27	0.0154	×	-	-	-	-	-	-	×
F094	鋼製ステップ	1.5	0.4	0.47	250	30	57.3	251.2	48	0.0206	○	79	×	148.2	×	2.9	×	×
F095	グレーチング	0.08	0.9	0.9	250	30	26.3	47.5	118	0.0018	×	-	-	-	-	-	-	×
F097	コンクリートブロック	0.6	0.56	0.07	250	30	42.0	136.0	54	0.0051	×	-	-	-	-	-	-	×
F098	鋼製蓋(肉厚 3mm)	0.055	0.64	0.84	250	30	59.0	253.9	18	0.0216	○	31	×	127.5	×	3.7	×	×
F100	石製品(0.14×0.14×0.4の穴有り)	0.47	0.4	0.42	250	30	27.4	50.5	188	0.0019	×	-	-	-	-	-	-	×
F102	マンホール蓋	0.05	0.55	0.55	250	30	43.2	148.4	38	0.0058	×	-	-	-	-	-	-	×

6-1-4-1-3-31

表 3.2-1 飛来物候補の二次スクリーニング結果 (32/19)

No.	名称	寸法 (m)			離隔距離 (m)	初期高さ (m)	最大水平速度 (m/s)	最大飛散距離 (m)	質量 (kg) <単品>	空力パラメータ C _d /m (m ² /kg)	飛散距離の評価 (飛散距離≧離隔距離)	【条件①】運動エネルギー		【条件②】コンクリート貫通限界厚さ		【条件③】鉄板貫通限界厚さ		飛来物発生防止対策の検討【①、②、③のいずれかが“○”】
		高さ【板：厚さ】 【円：長さ】	幅【円：直径】	奥行【円：直径】								飛来物候補の運動エネルギー	鋼製材(176 kJ)を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材(309 mm)を超える	飛来物候補の貫通厚さ	鋼製材(8.3mm)を超える	
F103	マンホール蓋(コンクリート製)	0.05	0.65	0.65	250	30	46.1	178.4	38	0.0080	×	-	-	-	-	-	-	×
F104	空調室外機	0.93	0.37	0.77	250	30	45.5	171.2	119	0.0075	×	-	-	-	-	-	-	×
F106	空調室外機	0.8	0.3	0.51	250	30	57.3	250.2	27	0.0196	○	44	×	116.6	×	2.2	×	×
F107	空調室外機	0.7	0.21	0.51	250	30	57.3	252.8	19	0.0212	○	31	×	104.8	×	2.1	×	×
F108	空調室外機 (3台有)	0.94	0.34	0.82	250	30	56.7	248.3	49	0.0184	×	-	-	-	-	-	-	×
F109	空調室外機	0.78	0.23	0.53	250	30	53.3	234.0	33	0.0143	×	-	-	-	-	-	-	×
F110	グレーチング(鋳鉄)	0.022	0.25	0.5	250	30	39.5	115.0	13	0.0040	×	-	-	-	-	-	-	×
F111	グレーチング	0.06	0.4	1	250	30	37.0	95.6	34	0.0033	×	-	-	-	-	-	-	×
F112	柵	1.55	0.65	1	250	30	50.6	218.5	36	0.0119	×	-	-	-	-	-	-	×
F114	灯浮標 (ブイ)	4.42	1.3	1.3	250	30	57.9	243.6	500	0.0174	×	-	-	-	-	-	-	×
F115	フォークリフト (TCM FD70)	4.88	2.01	2.5	250	30	26.4	45.7	9540	0.0019	×	-	-	-	-	-	-	×
F133	灯油設備点検治具	2.7	0.6	0.12	130	30	69.9	265.6	20	0.0665	○	49	×	137.6	×	3.5	×	×
F135	X型アングル	1.6	0.6	0.6	80	30	63.1	258.7	40	0.0376	○	80	×	130.8	×	2.1	×	×
F139	マンホール	0.04	0.65	0.65	130	30	32.6	70.9	120	0.0025	×	-	-	-	-	-	-	×
F140	コンクリート製敷板	0.1	0.5	1.05	130	30	37.4	98.3	120	0.0034	×	-	-	-	-	-	-	×
F141	消火器収納箱	0.7	0.22	1.02	130	30	41.4	130.9	150	0.0048	○	129	×	202.1	×	4.5	×	×
F151					100	0	34.5	57.8	1800	0.0043	×	-	-	-	-	-	-	×
F157	コンクリートブロック	0.7	0.7	0.7	80	30	13.8	20.2	1000	0.0010	×	-	-	-	-	-	-	×
F158	自転車	1.9	0.6	1.1	80	30	80.2	319.3	15	0.1712	○	48	×	88.8	×	1.1	×	×
U023	脚立	2.95	0.82	0.17	30	40	71.6	284.9	16	0.0766	○	42	×	112.7	×	2.2	×	×
U036	脚立	2.95	0.82	0.17	20	40	71.6	284.9	16	0.0766	○	42	×	112.7	×	2.2	×	×

※1 評価計算上、設定時間 (110 秒) では運動が終了しないため、数値なし。(運動エネルギー等の評価にて飛来物発生防止対策の要否判断可能)

3.3-1 飛来物候補に対する飛来物発生防止対策の検討

No.	物品	場所	発生防止対策の可否	発生防止対策の方針
C033	ガタ吊具 (G51M100-1)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C034	走行車輪取替治具 (G51M100-4)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C036	横行給電装置ユニット吊具 (G51M100-5)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C040	対策は検討中			
C041				
C042				
C044				
C044	走行給電コネクタユニット吊具 (G51M100-16)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C045	ガタ上仮置治具 (G51M100-19)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C046	キャリッジ吊具 (G51M120-4)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C047	キャリッジ置台 (G51M120-5)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C049	機上ケーブルユニット吊具 (G51M120-10)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C050	ラック中継箱吊具 (G51M120-1)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C052	ケーブルリール置台 (G51M120-3)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C054	肩 I T Vカメラ用架台	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C057	溶融炉架台吊具 (新型) (G21ME10-5)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C059	カレットホッパー (旧型) (G21ME10-15)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C061	溶接機置台 (G22M30-101)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C066	エンクロージャ側面ハッチ吊具 (G76M101-2)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C067	パワーマニプレータ用キャリッジ置台 (G51M162-7)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C068	パワーマニプレータ用グリッド置台 (G51M162-9)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C069	パワーマニプレータ用グリッド吊具 (G51M162-8)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C070	パワーマニプレータ用キャリッジ吊具 (G51M162-6)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C071	パワーマニプレータ用キャリッジケーブルルーフ吊具 (G51M162-4)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C072	パワーマニプレータ用補助ホイス吊具 (G51M162-5)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C073	パワーマニプレータ用ケーブル搬入用カレット (G51M162-14)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C075	ラック吊具 (G71RK20-1)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C077	長尺治具置台 (A-31)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C078	カバーガラス置台 (リテイナー運搬ボックス) (G51M170-1)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C080	トコ吊具 (G51M155-1)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C085	廃気配管搬入架台	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C086	マルチ付帯計装品運搬容器	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C091	結合装置搬送架台吊具 (G21M11-2)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C092	走行給電装置取替治具 (組立治具)	TVF 東側 (テントハウス (TVF 東側) 内)		
C127	廃砂・廃樹脂用タンク	DN 東側 (テントハウス (DN 東側) 内)		
C137	R131 セル内照明装置インサート	DN 東側 (テントハウス (DN 東側) 内)		

3.3-1 飛来物候補に対する飛来物発生防止対策の検討

No.	物品	場所	発生防止対策の可否	発生防止対策の方針
C141	5 t クレーンケーブルペア	DN 東側 (テントハウス (DN 東側) 内)		
C142	溶解槽ガスカート試験装置	DN 東側 (テントハウス (DN 東側) 内)		
C143	運搬台車	DN 東側 (テントハウス (DN 東側) 内)		
C147	カスク自走台車	DN 東側 (テントハウス (DN 東側) 内)		
C149	DN 室外機	DN 南側		
C150	共同溝換気フード	DS 北側		
C217	可搬型発電機 (TLG-7.5LSK)	PCDF 駐車場 (緊急時対応用資機材倉庫 内)		
C225	トラクタ用ウエイト架台	PCDF 駐車場 (緊急時対応用資機材倉庫 内)		
C232	発電機 (YDG250VS)	PCDF 駐車場 (緊急時対応用資機材倉庫 内)		
C235	発電機 (15LSX)	PCDF 駐車場 (緊急時対応用資機材倉庫 内)		
C236	発電機 (7.5LS)	PCDF 駐車場 (緊急時対応用資機材倉庫 内)		
C237	発電機 (25LS)	PCDF 駐車場 (緊急時対応用資機材倉庫 内)		
C238	電源ケーブル	PCDF 駐車場 (緊急時対応用資機材倉庫 内)		
C243	電源ケーブルドラム (中)	PCDF 駐車場 (緊急時対応用資機材倉庫 内)		
C246	不整地運搬車	PCDF 駐車場 (緊急時対応用資機材倉庫 内)		
C248	給油タンクユニット	PCDF 駐車場 (緊急時対応用資機材倉庫 内)		
C249	可搬型ボイラユニット	PCDF 駐車場 (緊急時対応用資機材倉庫 内)		
C251	トヨエース (ユニック車)	PCDF 駐車場 (緊急時対応用資機材倉庫 内)		
C252	ホイールローダ	PCDF 駐車場 (緊急時対応用資機材倉庫 内)		
C253	バックフォー	PCDF 駐車場 (緊急時対応用資機材倉庫 内)		
C254	資材棚	PCDF 駐車場 (緊急時対応用資機材倉庫 内)		
F001	チェッカープレート	Pu-3 管理棟西側		
F014	チェッカープレート	付属機械室南側		
F020	チェッカープレート	Pu-2 西側		
F028	チェッカープレート	燃料製造機器試験室北側		
F035	チェッカープレート	付属機械室 北側		
F057	チェッカープレート	Pu-1 西側		
F065	鋼板	工作室 西側		

TVF : ガラス固化技術開発施設, DN : ウラン脱硝施設, DS : 除染場, CB : 分析所, PCDF : プルトニウム転換技術開発施設

※1 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の周辺地盤改良工事, またはプルトニウム転換技術開発施設駐車場の地盤補強工事に伴い移設する必要がある。これらについては, 対象物品を移設または固縛対策を施す。

損傷するが飛散しない物品及び設計飛来物候補（鋼製材）に 包絡されると考えられる物品について

設計飛来物の抽出フローにおいて、「損傷するが飛散しない物品」は飛散しないことから、「分解され小型軽量となる物品」は設計飛来物のうち鋼製材に包絡されることから、またいずれも設計飛来物として選定しないとしている。

これは、過去の主な竜巻の被害概要の調査結果等より、このような物品の状況について確認した結果をもって判断した。

以下に、平成2年以降の主な竜巻による被害概要の調査結果等に基づく検討結果を示す。

1. 損傷するが飛散しない物品

1.1 シャッター

図 1.1-1～1.1-5 にシャッターの被害状況を示す。これらより、シャッターについては、F 1～F 3 及びE F 5 の竜巻において形状は変形しているが、固定部は外れていないことが確認できる。

なお、外れて飛来物となったとしても、衝突の際に与える衝撃荷重及び貫通力については、上記の屋外屋根と同様、設計飛来物である鋼製材の評価で包絡されると考えられる。

1.2 樹木

図 1.2-1～1.2-7 に樹木の被害状況を示す。これらより、樹木については、F 1～F 3 及びE F 5 の竜巻において幹の折損、根の引き抜き等が見られるが、折れた場合もしくは引き抜かれた場合のいずれにおいても、その場で倒壊しているのみであることが確認できる。

これは、竜巻の風荷重により樹木が損壊を受けた後では、竜巻が既に通り過ぎているためと考えられ、樹木が折損もしくは引き抜かれた後、さらに竜巻により巻き上げられ、飛来物となることは考え難い。

1.3 フェンス

図 1.3-1～1.3-3 にフェンスの被害状況を示す。これらより、フェンス類については、F 1～F 3 の竜巻において傾き、倒壊等が見られるが、樹木と同様にその場で倒壊しているのみであり、倒壊した後では、竜巻は既に通り過ぎていると考えられることから、竜巻により巻き上げられ、飛来物となることは考え難い。

2. 分解され小型軽量となる物品

2.1 屋外屋根

図 2.1-1～2.1-5 に屋外屋根の被害状況を示す。これらより、の屋外屋根については、F 0～F 3 の竜巻において、形を保ったままではなく、分解された状態で飛来していることが分かる。また、厚みが薄いことから形状が変形しており柔飛来物と見なせると考えられることから、衝突の際に与える衝撃荷重及び貫通力については、設計飛来物である鋼製材の評価に包絡されると考えられる。

2.2 ガラス窓

図 2.2-1～2.2-5 にガラス窓の被害状況を示す。これらより、ガラス窓については、F 0～F 3 及び E F 5 の竜巻において損壊し、分解されていることが確認できる。分解された状態では小型軽量となっており、その影響は設計飛来物である鋼製材もしくは砂利に包絡されると考えられる。



シャッターの外れ

図1.1-1 平成20年5月25日米国アイオワ州で発生した E F 5 竜巻によるシャッター被害状況
(1)



シャッターの変形

図1.1-2 平成21年10月8日茨城県土浦市で発生した F 1 竜巻によるシャッターの被害状況
(2)



シャッターの外れ

図1.1-3 平成21年7月27日群馬県館林市で発生したF1（F2）竜巻によるシャッターの被害状況⁽³⁾



シャッターの変形

図1.1-4 平成24年5月6日茨城県つくば市で発生したF3竜巻によるシャッターの被害状況⁽⁴⁾



シャッターの外れ

図1.1-5 平成25年9月2日埼玉県発生したF2竜巻によるシャッターの被害状況⁸⁾



倒木（南から見る）
倒れなかった樹木も点在している。



倒木（北西から見る）

図1.2-1 平成14年7月26日群馬県境町で発生したF 2 竜巻による樹木被害状況⁽⁶⁾



樹木の転倒



樹木の転倒

図1.2-2 平成18年9月17日宮崎県延岡市で発生したF 2 竜巻による樹木被害状況⁽⁷⁾



樹木の折損

図1.2-3 平成20年5月25日米国アイオワ州で発生したE F 5 竜巻による樹木被害状況⁽¹⁾



倒木

図1.2-4 平成21年7月19日岡山県美作市で発生したF 2 竜巻による樹木被害状況⁽⁸⁾



倒木

図1.2-5 平成21年10月8日茨城県土浦市で発生したF 1 竜巻による樹木被害状況⁽²⁾



樹木の折損



樹木の折損と鳥居の被害



樹木の倒木



倒木と社の被害

図1.2-6 平成24年5月6日茨城県つくば市で発生したF3竜巻による樹木被害状況⁽⁴⁾



樹木の被害



樹木の倒壊による小屋組の被害



樹木の被害



樹木の被害



樹木の被害



樹木の被害

図1.2-7 平成25年9月2日埼玉県で発生したF2竜巻による樹木被害状況⁽⁵⁾



フェンスの著しい変形



フェンスの変形

図1.3-1 平成21年7月27日群馬県館林市で発生したF1（F2）竜巻によるフェンスの被害状況⁽³⁾



フェンスの変形



道路標識の倒壊

図1.3-2 平成24年5月6日茨城県つくば市で発生したF3竜巻によるフェンス類の被害状況⁽⁴⁾



フェンスの倒壊



屋上フェンスの変形



フェンスの変形



フェンス支柱部の破損



フェンスの変形（工事中の建築物）



フェンスの倒壊



電柱の倒壊



看板の変形

図1.3-3 平成25年9月2日埼玉県で発生したF2竜巻によるフェンス類の被害状況⁽⁵⁾



図2.1-1 平成16年6月27日佐賀県で発生したF2竜巻による屋外屋根の被害状況⁽⁹⁾



屋外トイレ屋根の損傷

カーポート屋根の飛散及び骨組の損傷

カーポート屋根の損傷

図2.1-2 平成18年9月17日宮崎県延岡市で発生したF2竜巻による屋外屋根の被害状況⁽⁷⁾



折板の損傷



カーポートの被害

図2.1-3 平成21年10月8日茨城県土浦市で発生したF 1 竜巻による屋外屋根の被

害状況(2)



周囲の田に散乱した屋根ふき材

図2.1-4 平成24年2月1日島根県出雲市で発生したF 0 竜巻による屋外屋根の被

害状況(4)



電線等に引っ掛かった飛来物（鋼板製屋根材）



飛来物（鋼板製屋根材）の衝突

飛散した飛来物（鋼板製屋根材）



飛散した折板屋根の損傷状況



ガソリンスタンドの折板屋根の脱落

駐車場の折板屋根の著しい変形

図2.1-5 平成24年5月6日茨城県つくば市で発生したF3竜巻による屋外屋根の被

害状況(4)



エントランスの窓ガラスの損壊 破損した窓ガラス片の屋内壁面への突き刺さり

図2.2-1 平成18年9月17日宮崎県延岡市で発生したF2竜巻によるガラス窓の被害状況(7)



バスの窓ガラス損壊

図2.2-2 平成20年5月25日米国アイオワ州で発生したEF5竜巻によるガラス窓の被害状況(1)



窓ガラスの損壊



窓ガラスの飛来物衝突痕

図2.2-3 平成21年7月27日群馬県館林市でのF1(F2)竜巻によるガラス窓の被害状況(3)



倉庫の窓ガラスと屋根の被害状況



窓ガラスの損壊



出窓部の窓ガラスの損壊

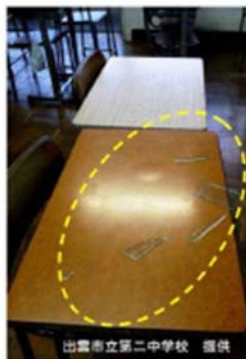


エントランスのガラス損壊

図2.2-4 平成21年10月8日茨城県土浦市で発生したF1竜巻によるガラス窓の被害状況⁽²⁾



体育館窓ガラスの損壊



教室



廊下



屋外に面した窓ガラス

図2.2-5 平成24年2月1日島根県出雲市で発生したF0竜巻によるガラス窓の被害状況⁽¹⁰⁾



店舗の窓ガラスの被害状況

店舗の窓ガラスの被害状況（飛来物衝突痕）



ガラスの被害状況（飛来物衝突痕）

ガラスの被害状況（飛来物衝突痕）

図2. 2-6 平成24年5月6日茨城県つくば市で発生したF 3 竜巻によるガラス窓の被害状況

(4)

<参考文献>

- (1) 「米国アイオワ州におけるトルネード被害調査報告」(平成 20 年 6 月 9 日)
- (2) 「平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市竜巻被害調査報告」(平成 21 年 10 月 13 日)
- (3) 「平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市竜巻被害調査報告」(平成 21 年 8 月 17 日一部修正)
- (4) 「平成 24 年(2012 年)5 月 6 日に茨城県つくば市で発生した建築物等の竜巻被害調査報告」
(ISSN 1346-7328 国総研資料第 703 号 ISSN 0286-4630 建築研究資料第 141 号 平成 25 年 1 月)
- (5) 「平成 25 年 9 月 2 日に発生した竜巻による埼玉県越谷市, 北葛飾郡松伏町及び千葉県野田市での建築物等被害(速報)」(国土交通省国土技術政策総合研究所独立行政法人建築研究所平成 25 年 9 月 10 日一部修正)
- (6) 「群馬県境町で発生した突風による建築物等の被害について」(平成 14 年 7 月 26 日独立行政法人建築研究所)
- (7) 「2006 年 台風 13 号被害調査報告 -延岡市の竜巻被害と飯塚市文化施設の屋根被害-」(平成 18 年 10 月 10 日)
- (8) 「平成 21 年 7 月 19 日岡山県美作市竜巻被害調査報告」(平成 21 年 8 月 4 日)
- (9) 「佐賀市・鳥栖市竜巻現地被害調査報告」(平成 16 年 7 月 13 日)
- (10) 「平成 24 年 2 月 1 日島根県出雲市で発生した突風被害調査報告」(平成 24 年 2 月 14 日)

計算プログラム（解析コード）TONBOSの概要等について

1. 概要

核燃料サイクル工学研究所 再処理施設の設計飛来物の設定に用いた解析コードであるTONBOSについて、検証等を行った結果を以下に示す。

2. コードの概要及び検証等

コード名	TONBOS
開発機関	一般財団法人 電力中央研究所
開発時期	2013 年
使用バージョン	Version. 3
使用目的	竜巻により発生する飛来物の飛散距離等の評価
コードの概要	<p>TONBOS（以下、「本解析コード」という。）は、一般財団法人電力中央研究所にて開発・保守されているプログラムである。空気中の物体が受ける抗力、揚力による運動を計算することで、竜巻による風速場の中での飛来物の飛散軌跡を評価することができる解析コードであり、物体の飛散距離等の算出が可能である。仮定する風速場は、地上付近で、竜巻の中心に向かう流れを考慮した3次元の風速場を持つフジタモデルDBT-77（DBT:Design BasisTornado）とする。</p>
検証及び 妥当性確認	<p>【検証】 本解析コードの検証の内容は次のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動車の飛散解析において、フジタスケールの各スケールに対応する被災状況とおおむね合致した結果を得ている。 ・パイプの飛散解析において、Grand Gulf 原子力発電所への竜巻襲来事例とおおむね合致した結果を得ている。 ・自動車及びトラックの飛散解析において、佐呂間竜巻での車両飛散事例とおおむね一致した結果を得ている。 <p>【妥当性確認】 TONBOSを竜巻により発生する飛来物の飛散距離等の評価に使用することは次のとおり妥当である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、竜巻により発生する飛来物の飛散距離等の評価を目的に開発されたコードであり、使用目的が合致している。 ・評価は妥当性を確認している範囲内で行うようにしている。

3. 検証方法

3.1 フジタスケールとの比較

フジタスケールは、竜巻等の突風により発生した建築物や車両等の被害状況から、当時の竜巻風速を推定するために考案された指標である。このフジタスケールで示されている自動車の被災状況を表 3.1.1 に示す。

ここで、TONBOS によって、各スケールに対応する最大風速(69 m/s, 92 m/s, 116 m/s)における、フジタモデルによる自動車の飛散解析を行った結果を表 3.1.2 に示す。

TONBOS による自動車の飛散解析結果は、各スケールに対応する自動車の被災状況とおおむね合致していると考えられる。

表 3.1.1 フジタスケールで示されている自動車の被災状況

フジタスケール	風速[m/s]	自動車の被災状況
F2	50～69	自動車が道路からそれる。
F3	70～92	自動車が地面から浮上する。
F4	93～116	自動車がある距離を飛ばされる、又はかなりの距離を転がる。

表 3.1.2 TONBOS による自動車の飛散解析結果 (CDA/m=0.0052 m²/kg) ⁽¹⁾

フジタスケール	最大水平風速[m/s]	竜巻接線風速[m/s]	竜巻移動速度[m/s]	計算結果		
				飛散速度[m/s]	飛散距離[m]	飛散高さ[m]
F2	69	59	10	1.0	1.4	0
F3	92	79	13	23	34	1.1
F4	116	99	17	42	59	3.1

3.2 米国 Grand Gulf 原子力発電所への竜巻来襲事例の再現確認

1978年4月17日に、米国のミシシッピ州にて建設中の Grand Gulf 原子力発電所に F3 の竜巻が来襲した。主な被害として、建設中の冷却塔内部に設置されていたコンクリート流し込み用のクレーンが倒壊し、冷却塔の一部が破損したことが挙げられる。また、竜巻によりトレーラーが台から剥がれ移動したことや、直径8～10インチの木が折れた事例等も確認されており、図 3.2.1 は、竜巻による物体の飛散状況が定量的に分かる事例として、資材置場のパイ

プの飛散状況を示したものである。なお、通過時の竜巻規模はF2であったと考えられている。このパイプはコンクリート・石綿製で、長さは8フィート、直径（内径）は8インチであった。

このパイプの飛散状況に対して、TONBOSを用いた再現解析を行った。その計算条件は過去の記録に基づき表3.2.1のとおりとする。



"Courtesy of HathiTrust"

図3.2.1 Grand Gulf原子力発電所の資材置場におけるパイプの散乱状況⁽²⁾

被害状況	<ul style="list-style-type: none"> パイプを収納した木箱（一部は二段重ね）は浮上せずに転倒し、パイプが周辺7 m～9 mに散乱
------	---

表3.2.1 Grand Gulf原子力発電所の竜巻によるパイプ飛散の再現解析の条件⁽¹⁾

竜巻条件	竜巻の最大風速	67 m/s
	最大接線風速	53.6 m/s
	移動速度	13.4 m/s
	コア半径	45.7 m/s
飛来物条件	直径（外径）	9 inch (0.2286 m)
	高さ	0.229 m
	密度	1700 kg/m ³
	飛行定数CDA/m	0.0080 m ² /kg
初期配置	<ul style="list-style-type: none"> 物体個数51×51 個，竜巻半径の4 倍を一辺とする正方形内（$x, y = [-2R_m, +2R_m]$）に等間隔配置 設置高さ1 m（パイプが収納されていた木箱が2 段重ねで配置されていた状況を想定。） 	

計算結果を表3.2.2に示す。TONBOSによるパイプの飛散解析の結果は、パイプがほとんど飛散せず、木箱が倒れた影響で散乱したと思われる状況とおおむね合致している。

表3.2.2 Grand Gulf原子力発電所のパイプの再現解析結果⁽¹⁾

風速場 モデル	初期物体高さ	計算結果（フジタモデル）		
		飛散距離	飛散高さ*1	最大水平速度
フジタ モデル	1 m	1.2 m	0.0 m	4.9 m/s

*1 初期物体高さからの飛散高さ。

3.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例の再現確認

2006年11月7日に北海道網走支庁佐呂間町に発生した竜巻（以下「佐呂間竜巻」という。）により、4tトラックが約40 m移動したことが報告されている⁽³⁾。被災状況を図3.3.1に示す。この事例では被災時に4tトラックに乗員2名が乗車しており、4tトラックの初期位置と移動位置が分かっている（図3.3.1 ②）。また、4tトラックの他に2 台の自動車（図3.3.1 ③と⑥）について、初期位置と被災後の移動位置が分かっている。このように竜巻被災前後で車両等の位置が明確になっている事例は極めてまれである。

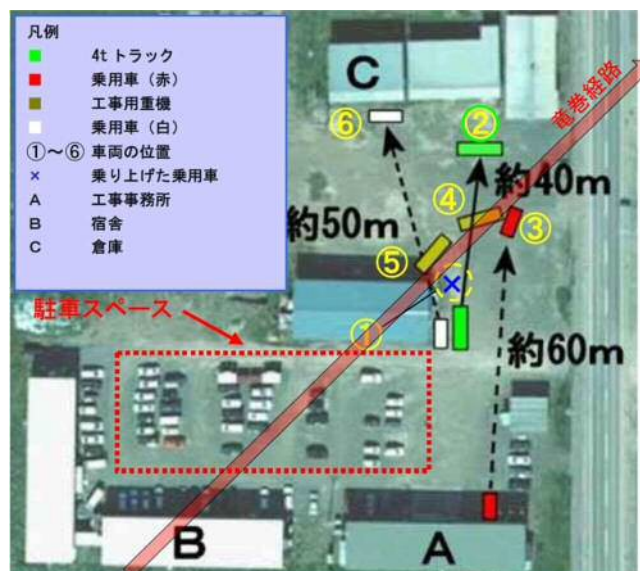


図3.3.1 佐呂間竜巻による被災状況（工事事務所敷地内の車両被災）
（文献⁽³⁾の写真に竜巻被害の方向を➡で加筆）

ここでは、TONBOS によるフジタモデルを風速場として用いた車両（4tトラック及び乗用車）の飛散の再現性解析を行い、実際の被害状況と比べて妥当な結果となるかどうかの確認を行う。

(a) 4tトラックの再現性解析

再現性解析の条件として、入手可能なデータ⁽³⁾⁽⁴⁾に基づき、合理的と考えられる竜巻特性条件と飛来物（4tトラック）の条件を表3.3.1のように設定する。初期配置の条件として、配置個数は1個とし、竜巻が遠方から近づく状況設定としている。また、風速60 m/s以下では浮上しない設定となっている。その上で、竜巻との距離を合理的な範囲で変化させ、佐呂間竜巻の再現性を確認する。

車両と竜巻中心との距離を18 m, 20 m, 22 mとした場合の解析結果を表3.3.2及び図3.2.2に示す。車両の軌跡は竜巻中心との相対位置関係に敏感であるが、各ケースとも飛散方向が実際の移動方向とおおむね合致しており、特に車両と竜巻中心との距離を20 mとしたケース2では飛散距離もほぼ正確に再現されている。このように、TONBOSによる4tトラックの飛散解析の結果で、物体が地上に設置された状況からの飛散挙動が再現できることが確認できる。

表3.3.1 佐呂間竜巻の4tトラックの再現解析の計算条件⁽¹⁾

竜巻条件	竜巻の最大風速		92 m/s
	最大接線風速		70 m/s
	移動速度		22 m/s
	コア半径		20 m
飛来物条件	車種不明のため、三菱ふそうPA-FK71Dの仕様を採用	車両長さ	8.1 m
		車両幅	2.24 m
		車両高さ	2.5 m
		車両質量	4000 kg
	飛行定数CDA/m		0.0056 m ² /kg
初期配置	<ul style="list-style-type: none"> ・物体個数：1台 ・竜巻は遠方から物体に近づくが、風速60 m/s以下では浮上しない ・設置高さ0 m 		

表3.3.2 佐呂間竜巻での4tトラックの再現解析結果⁽¹⁾

解析 ケース	車両と竜巻中心 との距離	計算結果（フジタモデル）		
		飛散距離	飛散高さ	最大水平速度
1	22 m	45.4 m	2.8 m	25.8 m/s
2	20 m	35.5 m	2.3 m	22.2 m/s
3	18 m	25.9 m	1.7 m	18.8 m/s

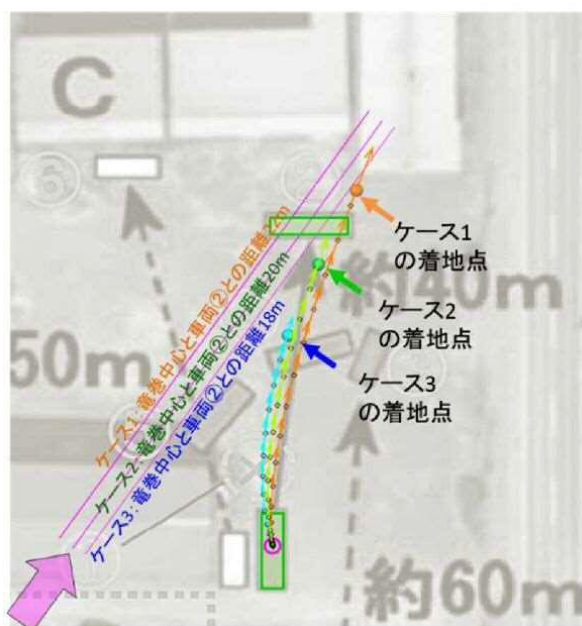


図3.3.2 TONBOSによるトラック飛散の再現解析結果⁽¹⁾

(b) 乗用車の再現性確認

乗用車（白）（図3.3.1の⑥）の被災事例を対象として、物体を1点初期配置した条件で最大水平速度等を計算する。

乗用車（白）の計算条件について、表3.3.3に示す。

表3.3.3 佐呂間竜巻の乗用車（白）の再現解析の計算条件

竜巻条件	表3.3.1と同様		
飛来物条件	乗用車（白） 〔トヨタ カローラを仮定〕	車両長さ	4.4 m
		車両幅	1.7 m
		車両高さ	1.5 m
	飛行定数CDA/m		0.0097 m ² /kg
初期配置	<ul style="list-style-type: none"> ・物体個数：1台 ・竜巻は遠方から物体に近づくが、風速60 m/s 以下では浮上しない ・設置高さ0 m 		

乗用車（白）と竜巻中心との距離を18 m, 20 m及び22 mとした場合の解析結果を表3.3.4 及び図3.3.3に示す。飛散距離についてはケース1 でおおむね合致している。

飛散方向については、飛び出し方向はおおむね合致しているものの、最終的な着地点には多少のずれが生じている。これは乗用車（白）が建物に近接して駐車していたため、この建物の倒壊の影響を受けて飛散方向のずれが生じたものと推定される。

なお、赤い乗用車（図3.3.1の③）について評価した場合は、竜巻中心との距離が大きいため飛散しない解析結果となる。ただし、実際には、赤い乗用車は全壊・飛散したプレハブ建物（軽量鉄骨造2階建て、図3.3.1のA）のすぐ下流側に駐車しており、そのがれきの影響を受けて一緒に移動したものと考えられる。

表3.3.4 佐呂間竜巻での乗用車（白）の再現解析結果

解析 ケース	乗用車（白）と 竜巻中心との距離	計算結果（フジタモデル）		
		飛散距離	飛散高さ	最大水平速度
1	22 m	51.9 m	3.6 m	28.9 m/s
2	20 m	43.5 m	3.4 m	24.7 m/s
3	18 m	34.7 m	2.9 m	21.1 m/s

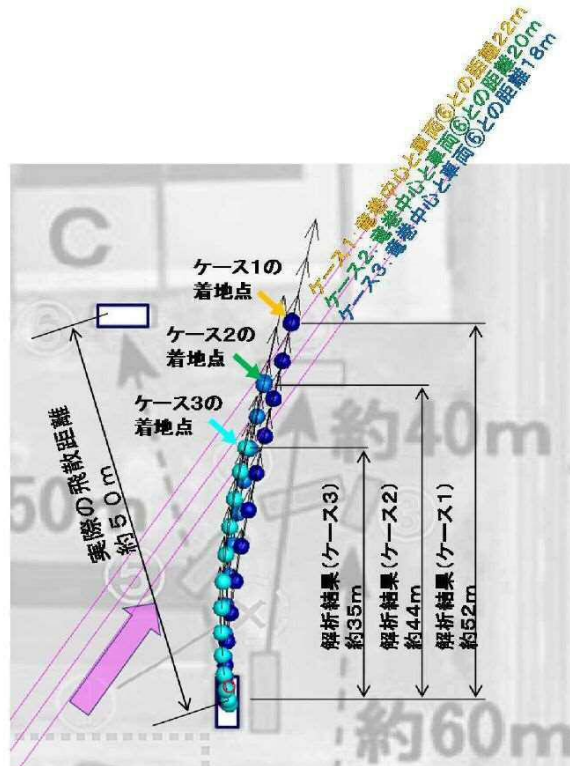


図3. 3. 3 TONBOSによる乗用車（白）飛散の再現解析結果

参考文献

- (1) 日本保全学会 原子力規制関連事項検討会, 2015: 軽水型原子力発電所の竜巻影響評価における設計竜巻風速および飛来物速度の設定に関するガイドライン (JSM-NRE-009)
- (2) Fujita, T. T., and J. R. McDonald, Tornado damage at the Grand Gulf, Mississippi nuclear power plant site: Aerial and ground surveys, U.S. Nuclear Regulatory Commission NUREG/CR-0383, 1978.
- (3) 札幌管区気象台: 平成18年11月7日から9日に北海道(佐呂間町他)で発生した竜巻等の突風. 災害時気象調査報告, 災害時自然現象報告書, 2006年第1号, 2006.
- (4) 奥田泰雄, 喜々津仁密, 村上知徳, 2006年佐呂間町竜巻被害調査報告. 建築研究所災害調査, 46, 2006.

再処理施設の廃止措置を進めていく上での火山事象対策の基本的考え方

廃止措置段階にある再処理施設においてはリスクが特定の施設に集中している。高放射性廃液に伴うリスクが集中する高放射性廃液貯蔵場（HAW）と、長期間ではないものの分離精製工場（MP）等の工程洗浄や系統除染に伴う廃液処理を含めて一定期間使用するガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟については、安全対策を最優先で講じる必要がある。

このため、高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟については、地震対策や津波対策と同様、廃止措置計画用火山事象に基づく降下火砕物による影響に対しても、設備と運用による対策を組み合わせ、重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が損なわれることのないようにする。

- ・ 閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能を担う設備^{※1}を降下火砕物から防護するために、それら設備を内包する高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の建家を降下火砕物の堆積荷重に耐えうるようにすることで安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）を損なわない設計とする。
- ・ 建家の防護設計では、想定する降下火砕物の荷重に加え、常時作用する荷重及び自然現象（積雪）の荷重を組み合わせる。
- ・ 気象庁の発表等による火山の噴火及び降灰予報情報に基づき、降下火砕物により高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟に影響が及ぶおそれがある場合には、屋上に堆積する降下火砕物の除去や換気系給気フィルタの交換等の必要な措置を行う。
- ・ 降下火砕物の影響による高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟に電力やユーティリティを供給する既設の恒設設備（外部電源及び非常用発電機、蒸気及び工業用水の供給施設）の機能喪失を想定し、代替策としての有効性を確認した上で事故対処設備として配備する設備^{※2}等が使用できるよう必要な対策を実施する。

上記以外の施設については、今後とも安全かつ継続して施設を運用し計画的に廃止措置を進めることができるよう、それぞれのリスクに応じた対策を講じることとする。

※1 廃止措置計画用火山事象に対して安全機能を維持すべき対象施設は、別添 6-1-2-1「再処理施設の廃止措置を進めていく上での地震対策の基本的考え方」で示

した崩壊熱除去機能および閉じ込め機能を担う設備とする。

※2 別添 6-1-2-1「再処理施設の廃止措置を進めていく上での地震対策の基本的考え方」に示した事故対処設備。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)及び
ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の
火山事象対策に関する説明書
(DRAFT)

1. 概要

本資料は、「再処理施設の性能に係る技術基準に関する規則」（以下「再処理技術基準規則」という。）の第八条一項に照らして、令和2年2月10日に認可（原規規発第2002103号）を受けた「核燃料サイクル工学研究所再処理施設の廃止措置計画の変更認可」における「廃止措置計画用火山事象」に基づき、高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の火山事象（火砕降下物）対策を説明するものである。

※ 原子力規制委員会から示された「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所(再処理施設)の廃止措置計画の認可の審査に関する考え方」（平成29年4月）においては「再処理施設の性能に係る技術基準に関する規則」（以下「再処理維持基準規則」という。）に照らして審査するものとされているが、改正第3条の施行の日（令和2年4月1日）から廃止措置計画の認可は再処理技術基準規則に従うこととされているため、本資料では従来までの再処理維持基準規則を再処理技術基準規則で読み替える。

2. 火山事象対策の基本的考え方

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構核燃料サイクル工学研究所（再処理施設）（以下、「東海再処理施設」という）の廃止措置計画において、高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の廃止措置計画用火山事象（以下、火山事象という。）に対する安全対策の検討は、「添付資料 6-1-4-2-1 再処理施設の廃止措置を進めていく上での火山事象対策の基本的考え方」に基づいて行う。また、影響評価については「原子力発電所の火山影響評価ガイド」（原子力規制委員会、平成25年6月19日、改正 令和元年12月18日）（以下、「ガイド」という。）を参考に実施する。

3. 建家への降下火砕物による積載荷重に対する健全性評価

3.1 降下火砕物による荷重の設定

令和2年2月10日に認可（原規規発第2002103号）を受けた「核燃料サイクル工学研究所再処理施設の廃止措置計画の変更認可」で設定した降下火砕物の条件に基づき、湿潤密度 1.5 g/cm^3 、層厚 50 cm の降下火砕物による堆積荷重として、 7350 N/m^2 を設定する。その他の荷重として、以下の従荷重及び除灰時の人員荷重を重畳させ、自重、積載荷重の他、建家鉛直方向に作用する荷重として合計 8540 N/m^2 を設定する。

(1) 降水

火山灰は一般に透水性が高く、降水が堰き止められて荷重が増加することは

考えにくいですが、湿潤状態の火山灰の密度として 1.5 g/cm^3 を考慮することで、乾燥状態の密度 0.3 g/cm^3 よりも 1.2 g/cm^3 大きい密度を考慮していることから、降水に伴う従荷重は考慮済みである。

(2) 積雪

再処理施設のある茨城県那珂郡東海村は、建築基準法での多雪区域に当たらないが、多雪区域と同等の重ね合わせを考慮する。建築基準法では、多雪区域において暴風あるいは地震時の荷重評価の際に積雪の重ね合わせを求めているが、その際従たる積雪荷重はまれに起こる積雪荷重ではなく、平均的な積雪荷重としており、平均的な積雪荷重は短期積雪荷重の 0.35 倍としている。茨城県建築基準法施行細則による東海村の垂直積雪量は 30 cm であり、この 0.35 倍として 10.5 cm の積雪を考慮する。建築基準法での積雪の単位荷重は積雪量 1 cm 当たり 20 N/m^2 であり、重畳する積雪荷重として 210 N/m^2 を考慮する。

(3) 風

施設は陸屋根であり、降下火砕物による堆積荷重は鉛直方向に作用する。一方、風荷重は水平方向に作用することから、各々独立に評価できる。

(4) 地震活動

基準地震動の震源と火山とは十分な距離があることから、各々独立した事象として扱い、重畳は考慮しない。

火山性地震については、火山と敷地が 90 km 以上離れていることから、重畳は考慮しない。

(5) 津波

基準津波を発生させる地震の震源と火山とは十分な距離があることから、各々独立した事象として扱い、重畳は考慮しない。

(6) 外部人為事象

火山事象と外部人為事象はそれぞれ独立した事象であり、外部人為事象による荷重は考慮しない。

(7) 除灰時の人員荷重

降下火砕物を除灰する際の人員の荷重については、建家健全性評価において「建築構造設計基準の試料」（国土交通省 平成 30 年版）に示される屋上の通常人が使用しない場合の床版計算用積載荷重 980 N/m^2 を考慮し、健全性確認を

行う。

なお、建家屋上除灰時は、スコップ、土嚢、集塵マスク、ゴーグル、箒等軽量の資材を使用し、重機等の大きな荷重を伴う資機材は使用せず、集積した降下火砕物は可能な限り均等に配置し、灰置場に運搬する。

3.2 評価方法

「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 2010（日本建築学会）」（RC 規準）に記載された計算式に基づき屋根スラブに作用する曲げモーメント評価を実施する。

等分布荷重を受ける長方形スラブの曲げモーメントは次式で表される。

短辺 x 方向の曲げモーメント（単位幅につき）

両端最大負曲げモーメント

$$M_{x1} = -\frac{1}{12}w_x l_x^2 \quad \dots (1)$$

中央部最大正曲げモーメント

$$M_{x2} = \frac{1}{18}w_x l_x^2 \quad \dots (2)$$

長辺 y 方向の曲げモーメント（単位幅につき）

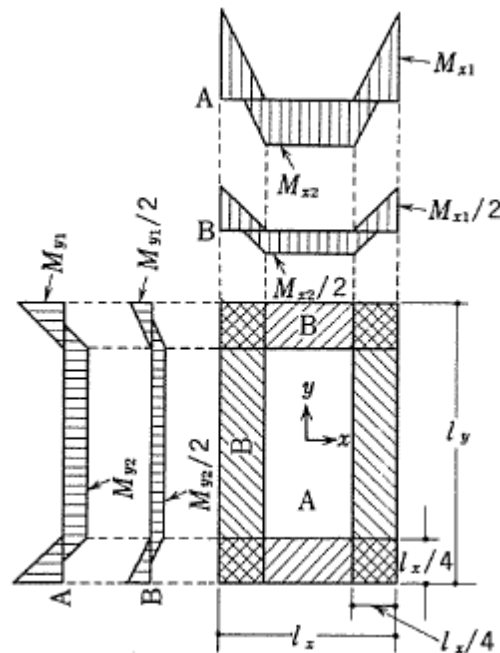
両端最大負曲げモーメント

$$M_{y1} = -\frac{1}{24}w l_x^2 \quad \dots (3)$$

中央部最大正曲げモーメント

$$M_{y2} = \frac{1}{36}w l_x^2 \quad \dots (4)$$

ここで、各曲げモーメントが作用する位置は長方形スラブに対して、



であり、

l_x : 短辺有効スパン

l_y : 長辺有効スパン

w : 単位面積についての全荷重

$$w_x = \frac{l_y^4}{l_x^4 + l_y^4} w \quad \dots (5)$$

である。ただし、有効スパンとは、支持部材間の内法寸法をいう。文献では、周辺より $l_x/4$ 幅の B 部分については、周辺に平行な方向の曲げモーメントを半減できるとしているが、ここではスラブに作用する最大曲げモーメントを考慮するので、A 部分について許容曲げモーメントと比較する。 w_x は長辺方向への荷重分担分を減じた荷重であり、 $l_x=l_y$ の場合に $w/2$ となり長辺方向の曲げモーメントと短辺方向の曲げモーメントは一致する。 $l_x/l_y < 1$ では、 $w_x/w > 1/2$ となり $M_{x1}/M_{y1} > 1$ となることから、本算定方式では A 部分に生じる短辺方向両端最大負曲げモーメントが絶対値として最大となる。

スラブの許容曲げモーメント M は、梁に対する算定式を用いることができ、引張鉄筋比が釣合鉄筋比以下のときは、次式で算出できる。

$$M = a_t f_t \frac{7}{8} d \quad \dots (6)$$

ここで、 a_t は引張鉄筋断面積（単位長当たりの下部鉄筋断面積）、 f_t は鉄筋の許容引張応力度、 d は有効せい（圧縮縁から引張鉄筋中心までの距離）である。引張鉄筋比 p_t 及び釣合鉄筋比 p_{tb} は次のとおり計算される。

$$p_t = \frac{a_t}{bd} \quad \dots (7)$$

$$p_{tb} = \frac{1}{2 \left(1 + \frac{f_t}{nf_c} \right) \left[\frac{f_t}{nf_c} \{ n + (n-1)\gamma d_{c1} \} - (n-1)\gamma (1 - d_{c1}) \right]} \quad \dots (8)$$

ここで、 b は梁幅でありスラブの場合は単位長となる。 f_c はコンクリートの許容圧縮応力度、 n はヤング係数比でコンクリートの設計基準強度に対して次のとおり与えられる。

コンクリートの設計基準強度 (N/mm ²)	ヤング係数比 : n
27以下	15
27を超え, 36以下	13
36を超え, 48以下	11
48を超え, 60以下	9

γ は複筋比 a_c/a_t であり、 a_c は圧縮鉄筋断面積で、上部配筋と下部配筋が同様であれば a_c と a_t は等しく、 γ は1となる。また、 d_{c1} は次式で定義され、

$$d_{c1} = \frac{d_c}{d} \quad \dots (9)$$

d_c は圧縮縁から圧縮鉄筋中心までの距離である。

建家のスラブの健全性は、スラブの許容曲げモーメント M が A 部分に生じる短辺方向両端最大負曲げモーメント M_{x1} の絶対値を上回ることによって評価する。

3.3 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の健全性評価

高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の屋上スラブは図 6-1-4-2-2-1 から図 6-1-4-2-2-3 に示すとおり設計、施工されている。



図 6-1-4-2-2-1 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 鳥瞰図 (加筆)



図 6-1-4-2-2-2 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) スラブ断面図

コンクリートの設計基準強度は 210 kg/cm^2 (SI 単位では 20.6 N/mm^2)，異形鉄筋の許容応力度は 3000 kg/cm^2 (SI 単位では 294 N/mm^2) である。降下火砕物は適宜除去作業を実施することから，コンクリートの許容圧縮応力度及び鉄筋の許容引張応力度に短期荷重に対するものを用い，それぞれ 13.7 N/mm^2 及び 294 N/mm^2 として釣合鉄筋比 (p_{tb}) を算出した場合，PR 階に対して 1.61×10^{-2} ，5 階に対して 1.86×10^{-2} となる。スラブの形状から算出される引張鉄筋比 (p_t) は PR 階スラブ及び 5 階スラブいずれも 3.67×10^{-3} であり，釣合鉄筋比を下回っている。

PR 階スラブについては，積載荷重はいずれの位置でも 800 kg/cm^2 (SI 単位では $7.84 \times 10^3 \text{ N/m}^2$) にて設計しており，5 階スラブについては，特殊荷重として図 6-1-4-2-2-3 に示す位置に対して 1300 kg/cm^2 (SI 単位では $1.275 \times 10^4 \text{ N/m}^2$) にて設計していることから，PR 階スラブは短辺が最も長い図中 A の位置のスラブを，5 階スラブは短辺スラブが最も長いスラブのうち，特殊荷重にて設計している図中 B の位置のスラブを評価対象とした。



図 6-1-4-2-2-3 スラブ伏図 (加筆)

建家鉛直方向に作用する負荷による曲げモーメントを，引張鉄筋の短期許容応力度より算出した許容曲げモーメントと比較した結果を次表に示す。これらから，PR 階及び 5 階スラブは降下火砕物等による静的荷重に耐えうる。

表 6-1-4-2-2-1 屋上スラブの健全性評価結果

	PR 階スラブ	5 階スラブ
短辺有効スパン (m)	3.7	2.8
長辺有効スパン (m)	7.7	7.9
自重 (N/m ²)	7120	9470
積載荷重 (N/m ²)	7845	12750
降下火砕物等による荷重 (N/m ²)	8540	8540
W _x (N/m ²)	2.23×10^4	3.03×10^4
M _{x1} (N)	2.65×10^4	3.57×10^4
引張鉄筋断面積 (m ²)	6.34×10^{-4}	9.93×10^{-4}
有効せい (m)	1.73×10^{-1}	2.71×10^{-1}
M (N)	2.83×10^4	6.94×10^4
M _{x1} /M	0.93	0.51

3.3 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の健全性評価

ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の屋上スラブは PR 階と R 階のスラブがあり、それぞれ複数種類がある。

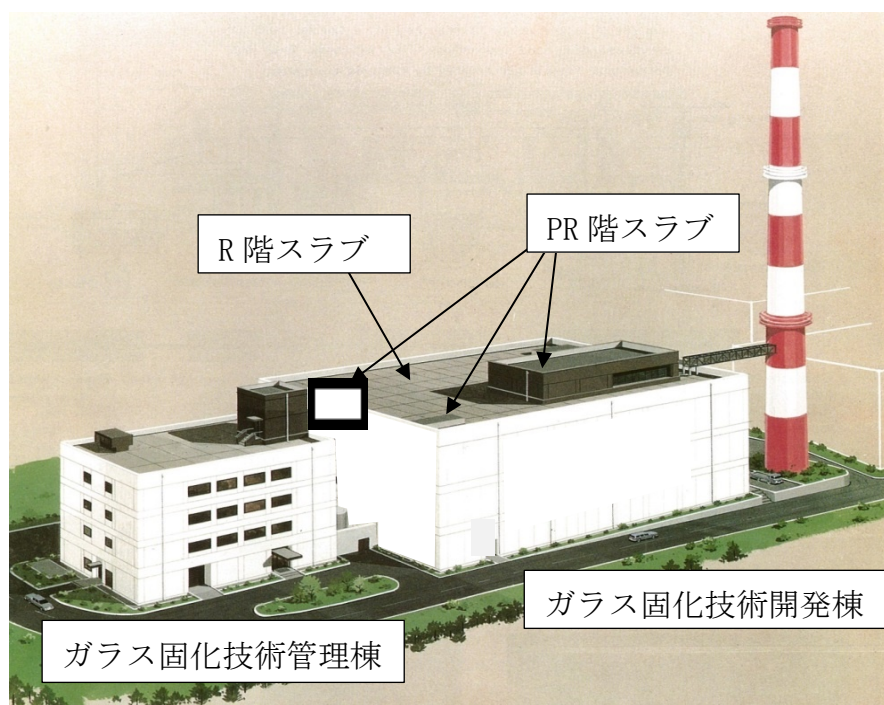


図 6-1-4-2-2-4 ガラス固化技術開発施設 (TVF) 鳥瞰図 (加筆)

スラブの配置はスラブ伏図（図 6-1-4-2-2-5）に示すとおりであり，一部には上部鉄筋の短辺 h 方向に複数種類の異形鉄筋を交互に配筋している（図 6-1-4-2-2-6）。スラブ厚さ及び異形鉄筋の配筋状況は表 6-1-4-2-2-2 のとおりである。

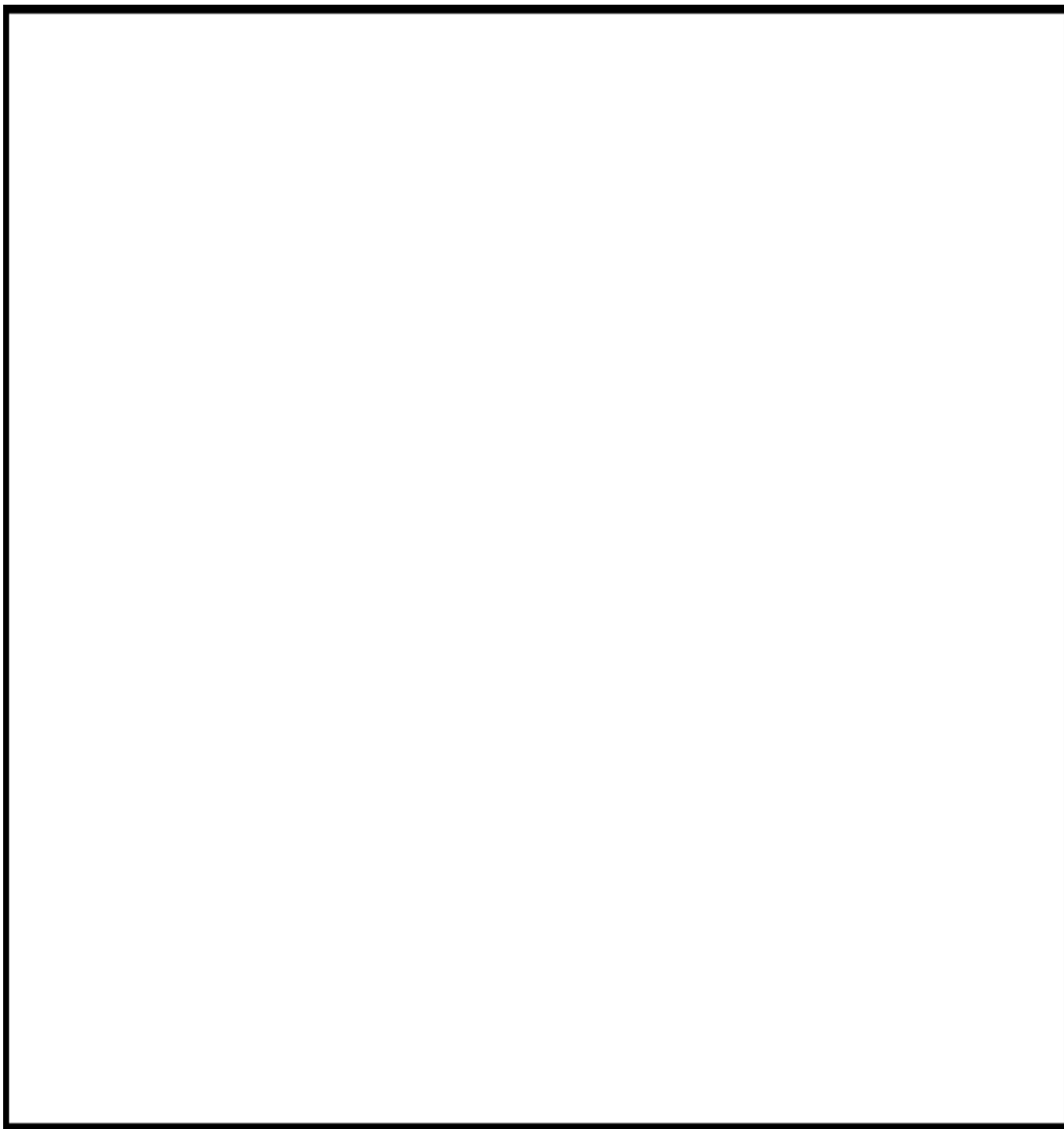


図 6-1-4-2-2-5 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟
スラブ伏図 (加筆)



図 6-1-4-2-2-6 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟
短辺方向スラブ断面図

表 6-1-4-2-2-2 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟
スラブ諸元

スラブ	厚さ (mm)	異形鉄筋 ○	異形鉄筋 ●	釣合鉄筋比	引張鉄筋比
PRS1		D10	D10	1.33×10^{-2}	3.12×10^{-3}
PRS2		D10	D13	1.24×10^{-2}	4.38×10^{-3}
RS1		D10	D10	1.33×10^{-2}	3.12×10^{-3}
RS2		D10	D13	1.24×10^{-2}	4.38×10^{-3}
RS3		D13	D13	1.28×10^{-2}	5.61×10^{-3}
RS4		D13	D13	1.60×10^{-2}	3.89×10^{-3}

コンクリートの設計基準強度は 225 kg/cm^2 (SI 単位では 22.1 N/mm^2)、異形鉄筋の許容応力度は 3000 kg/cm^2 (SI 単位では 294 N/mm^2) である。降下火砕物は適宜除去作業を実施することから、コンクリートの許容圧縮応力度及び鉄筋の許容引張応力度に短期荷重に対するものを用い、それぞれ 14.7 N/mm^2 及び 294 N/mm^2 として釣合鉄筋比 (p_{tb}) を算出し、スラブの形状から算出される引張鉄筋比 (p_t) と比較した結果を併せて表に示した。いずれのスラブも引張鉄筋比は釣合鉄筋比を下回っている。

屋上スラブのうち、図 6-1-4-2-2-5 に示したスラブ伏図において破線で示した位置について特殊荷重を考慮している。また、スラブの種類も多様であることから、それぞれの種類について最も短辺が長いものを抽出し、図中 A~F のスラブについて健全性評価を実施した。これらから、PR 階及び 5 階スラブは降下火砕物等による静的荷重に耐えうる。

6-1-4-2-2-3 屋上スラブの健全性評価結果

	PR 階スラブ		R 階スラブ			
	A (PRS1)	B (PRS2)	C (RS1)	D (RS2)	E (RS3)	F (RS4)
短辺有効スパン (m)	2.5	3.2	2.4	3.2	3.8	2.9
長辺有効スパン (m)	2.9	5.2	2.4	6.9	6.9	6.9
自重 (N/m ²)	5980	5980	5980	5980	5980	7160
積載荷重 (N/m ²)	880	880	1770	1770	1770	9810
降下火砕物等による荷重 (N/m ²)	8540	8540	8540	8540	8540	8540
W _x (N/m ²)	9.92×10^3	1.35×10^4	8.15×10^3	1.56×10^4	1.49×10^4	2.47×10^4
M _{x1} (N)	5.17×10^3	1.15×10^4	3.91×10^3	1.33×10^4	1.80×10^4	1.73×10^4
引張鉄筋断面積 (m ²)	3.57×10^{-4}	4.95×10^{-4}	3.57×10^{-4}	4.95×10^{-4}	6.34×10^{-4}	6.34×10^{-4}
有効せい (m)	1.15×10^{-1}	1.13×10^{-1}	1.15×10^{-1}	1.13×10^{-1}	1.13×10^{-1}	1.63×10^{-1}
M (N)	1.05×10^4	1.44×10^4	1.05×10^4	1.44×10^4	1.84×10^4	2.66×10^4
M _{x1} /M	0.49	0.80	0.37	0.92	0.97	0.65

4. 降下火砕物の除去等の対策

(追而)

再処理施設の廃止措置を進めていく上での外部火災対策の基本的考え方

廃止措置段階にある再処理施設においては、リスクが特定の施設に集中している。高放射性廃液に伴うリスクが集中する高放射性廃液貯蔵場（HAW）と、長期間ではないものの分離精製工場（MP）等の工程洗浄や系統除染に伴う廃液処理も含めて一定期間使用するガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟については、安全対策を最優先で講じる必要がある。

このため、高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟については、地震対策や津波対策と同様、想定される自然現象のうち外部火災に対しても、重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が損なわれることのないよう以下の対策を講ずる。

- ・ 安全対策の検討において想定する外部火災として、敷地外で発生する森林火災、近隣工場の火災爆発、敷地内への航空機落下を考慮する。
- ・ 閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能を担う設備^{※1}は、それら設備を内包している高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の建家の外殻のコンクリートによって、外部火災の影響から防護する。
- ・ 外部火災における建家の外殻のコンクリート表面温度が許容温度以下となるよう、防火帯の設置等により適切な離隔距離を確保する。
- ・ 外部火災の二次的影響として、火災によって生じるばい煙、有毒ガス等の影響を考慮し、当該施設の換気空調系設備や施設内部で行う人的活動に影響を及ぼさないようにする。
- ・ 外部火災により高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟に電力やユーティリティを供給する既設の恒設設備（外部電源及び非常用発電機、蒸気及び工業用水の供給施設）の機能喪失を想定し、代替策としての有効性を確認した上で事故対処設備として配備する設備^{※2}等が使用できるよう必要な対策を実施する。

上記以外の施設については、今後とも安全かつ継続して施設を運用し計画的に廃止措置を進めることができるよう、それぞれのリスクに応じた対策を講じることとする。

※1 外部火災に対して安全機能を維持すべき対象施設は、別添 6-1-2-1「再処理施

設の廃止措置を進めていく上での地震対策の基本的考え方」で示した崩壊熱除去機能および閉じ込め機能を担う設備とする。

※2 別添 6-1-2-1「再処理施設の廃止措置を進めていく上での地震対策の基本的考え方」に示した事故対処設備。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及び
ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の
森林火災影響評価に関する説明書
(DRAFT)

1. 基本方針

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構核燃料サイクル工学研究所(再処理施設)(以下、「東海再処理施設」という)の廃止措置計画において、高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の外部火災(森林火災)に対する安全対策の検討は、「添付資料 6-1-4-3-1 再処理施設の廃止措置を進めていく上での外部火災対策の基本的考え方」に基づいて行う。また、影響評価については「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」(原子力規制委員会,平成25年6月19日)(以下、「ガイド」という。)を参考に実施する。

2. 評価条件

ガイドに従い、森林火災解析コード FARSITE を用いて以下の項目について解析・評価を行う。

- ①延焼速度, ②火線強度, ③火炎長, ④単位面積当たりの熱量, ⑤火炎輻射強度, ⑥火炎到達幅, ⑦発火点から対象施設までの延焼到達時間, ⑧火災時の建屋壁面温度, ⑨危険距離

2.1 使用コード

森林評価で使用したコードを以下に示す。

森林火災コード FARSITE^{※1}

4.1.055

地理情報システムの閲覧・編集コード Quantum GIS^{※2} 1.8.0-Lisboa

※1 FARSITE は、世界で最も高性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。

※2 Quantum GIS は、地理情報システムの閲覧、編集、分析機能を有するユーザーフレンドリーなオープンソースの地理情報システム (GIS) である。

2.2 入力データ作成

2.2.1 FARSITE 入力データ

FARSITE により、東海再処理施設の敷地外で発生する森林火災からの当該施設への影響評価の実施に際して、評価範囲を定めた上で、必要となる入力データを表 2.2.1-1 に示すとおり収集し整理した。なお、FARSITE の入力データの詳細は別紙 6-1-4-3-2-1 に示す。

2.2.2 解析範囲

対象範囲について、ガイドに従い東海再処理施設から 10 km の間を発火

源とし、当該施設を含む東西 12 km、南北 12 km の範囲を評価対象とした。ただし、当該施設から東側 4 km 以降は一律非燃焼領域の海となることから、対象範囲から除外した。

2.2.3 発火点

ガイドに従い、人為的行為を考え道路沿いを発火点とした。また、核燃料サイクル工学研究所の敷地外の 10 km 以内かつ、敷地の風上に発火点を設定した。ただし、発火点と敷地の位置関係から風向きを卓越方向に設定することが困難な場合は、風向データ等から適切に設定する。発火点設定の位置判断には上空写真を用いる。図 2.2.3-1 に発火点位置を示す。なお、発火点の考え方の詳細は別紙 6-1-4-3-2-2 に示す。

各発火点は以下のシナリオにて設定した。

発火点 1：最大風速記録時の風向である北北東において、海岸でのたばこの投げ捨てにより原子力科学研究所敷地内の森林に引火することを原因とし、高放射性廃液貯蔵場 (HAW)・ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟から北北東の方角上にあたる点を発火点とした。

発火点 2：卓越風向 (西北西) において、国道 245 号線からのたばこの投げ捨てにより、茨城東病院の森林に引火することを原因とし、周辺の植生も同程度の燃えやすさであることから、高放射性廃液貯蔵場 (HAW)・ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟から西北西の方角上にあたる点を発火点とした。

発火点 3：南西方面において、国道 245 号線、県道 62 号線 (たばこの投げ捨て)、如意輪寺霊園 (線香の残り火) からの発火を想定し、評価上、火線強度が保守的になると予想された如意輪寺霊園を発火点とした。

発火点 4：南方面において、県道 62 号からのたばこの投げ捨てにより、核燃料サイクル工学研究所敷地の森林に引火することを原因とし、県道 62 号線沿線の植生のなかで比較的燃えやすい「Tall grass」のある交差点付近を発火点とした。

2.2.4 再処理敷地の境界設定

「東海再処理施設の敷地境界の範囲図」より、境界を設定した。図 2.2.4-1 に設定した境界を示す。表 2.2.4-1 に熱的影響評価対象施設の離隔距離 (各境界までの最短距離) を示す。

2.3 実施ケース

2.2 項で作成した入力データを用いて、4 か所の発火点位置の延焼を想定した森林火災シミュレーションを実施した。表 2.3-1 に実施ケースの一覧を示す。

表 2.2.1-1 森林火災評価のための入力データの一覧

データ種類	入手・整備要領
地形データ	<p>現地状況をできるだけ模擬するため、公開情報である国土地理院基盤地図情報の 10 m メッシュの標高データを使用した。ただし、震災による地盤沈下が確認されているため、標高データを補正^{※1}（基盤地図情報 数値標高モデル，2009 年公開）した。</p> <p>傾斜度，傾斜方位については標高データから計算した。</p>
土地利用データ	<p>現地状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中でも高い空間解像度である 100 m メッシュの土地利用データを使用した。</p> <p>（国土数値情報（国土交通省） 土地利用細分メッシュ，H21 年度）</p>
植生データ	<p>現地状況をできるだけ模擬するため、樹種や生育状況に関する情報を有する森林簿の空間データを使用した。森林簿の情報をを用いて、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（森林簿，森林計画図及び緑地計画図）した。</p> <p>敷地内植生については現地調査結果より細分化した。</p>
気象データ	<p>現地にて起こりうる最悪の条件を検討するため，平成 28 年から過去 10 年間の最多風向，最大風速，最高気温，最小湿度の条件を採用した。^{※2}</p> <p>（気象データ：気象庁 HP）</p>

※1 国土地理院公開ツール「地殻変動に伴う標高値補正を行う標高補正ソフトウェア PatchJGD(標高版)」を用いた。

※2) ガイドの記載内容に準ずると，森林火災の多い月のみを採用となるが，保守的に年間における最小湿度，最高気温及び最大風速を採用した。

表 2.2.4-1 熱的影響評価対象施設の離隔距離

施設名称略	離隔距離(m)
HAW	37
TVF	21
第二付属排気塔	71

*離隔距離は保守性を考慮し、小数点第1位で切り下げ

表 2.3-1 実施ケース一覧

発火点名	風向：[deg]	解析範囲	林齢読替え
発火点 1	北北東：23 (最大風速時風向)	敷地より 12 km 範囲	林齢 20 年以上 について 10 年以上～20 年未満
発火点 2	西北西：293 (最多風向)		
発火点 3	南西：225		
発火点 4	南：180		



2.2.3-1 図 発火点位置

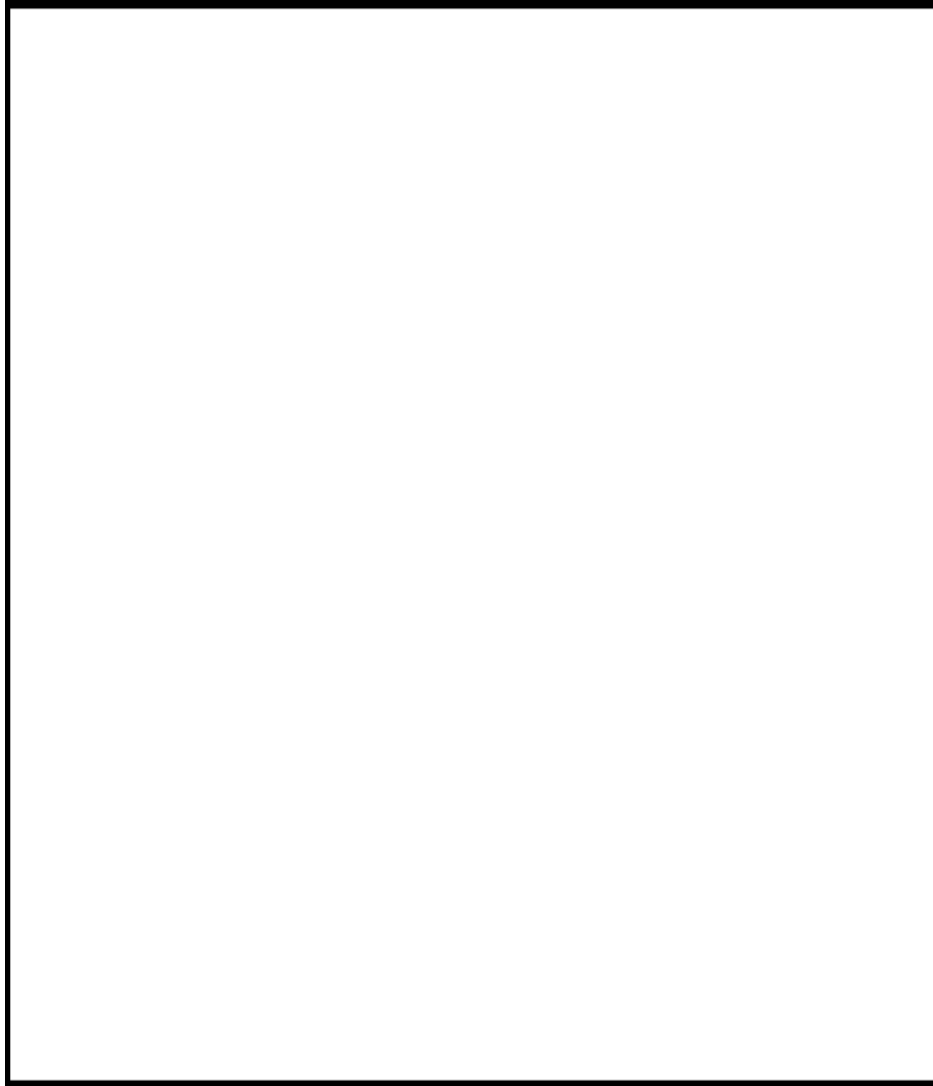


図 2.2.4-1 再処理敷地の境界の設定（図中赤線に囲まれた部分）

3. 評価結果

3.1 森林火災の影響評価

設定した再処理施設境界において、各発火点での森林火災影響評価を FARSITE により実施した。評価結果を表 3.1-1 に示す。なお、FARSITE の解析結果の詳細は別紙 6-1-4-3-2-3 に示す。

3.2 火災の到達時間評価

3.2.1 火災到達時間分布

各発火点から再処理敷地の境界に最も早く火炎が到達する火炎到達時間一覧を表 3.2.1-1 に示す。

発火点 4 の火炎到達時間が 0.7 時間と最も短くなった。原因として、発火点から風下に位置する植生の影響が考えられる。図 3.2.1-1 に発火点 4 における火炎到達時間分布及び植生分布を示す。

3.2.2 初期消火活動及び体制

高放射性廃液貯蔵場 (HAW)、ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟及び第二付属排気塔の周辺には防火帯を設定するため、森林火災がこれらの施設に影響を及ぼすことはないが、飛び火等による延焼には以下に示すように対応することが可能である。

- ・核燃料サイクル工学研究所には、自衛消防隊が組織されており、24 時間対応が可能である。詳細を別紙 6-1-4-3-2-4 に示す。
- ・核燃料サイクル工学研究所内で火災が発見された場合は、発見者は公設消防に直ちに通報するとともに、核燃料サイクル工学研究所内の緊急電話を用いて通報する。初期消火活動実施までの通報連絡体制を図 3.2.2-1 に示す。
- ・通報を受けると、自衛消防隊が召集され火災に対応する。また、休日・夜間においても、常駐隊が対応する体制となっている。

3.3 熱的影響評価

評価対象施設の熱的影響評価結果を表 3.3-1 及び表 3.3-2 に示す。評価方法及び評価に必要な入力データは、別紙 6-1-4-2-3-5 に示す。

森林火災による熱的影響については、高放射性廃液貯蔵場 (HAW)、ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟に対して評価を実施し許容温度 200°C^{*1} に対して壁面温度は最大で約 121°C となり、許容温度を下回ることを確認した。また、第二付属排気塔にに対して評価を実施し許容温度 350°C^{*2} に対して壁面温度は最大で約 77°C となり、許容温度を下回ることを

確認した。

また、熱影響が最大となる発火点 1 及び発火点 3 に対し、許容温度を超えない危険距離を算出し、離隔距離が確保されていることを確認した。

※1 「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)」に基づき、コンクリートにおける常温時の強度が維持される保守的な温度である 200 °Cを許容温度とする。

※2 「発電用原子力設備規格 材料規格 (JSMR)」に基づき、鋼材における常温時の強度が維持される保守的な温度である 350°Cを許容温度とする。

3.4 防火帯評価

3.4.1 防火帯幅の設定

ガイドに示す「Alexanderand Fogarty の手法」を用いて、防火帯幅（火災の防火帯突破確率 1%の値）を算出した。火線強度と防火帯幅の相関を表 3.4.1-1 に示す。

FARSITE 解析結果から算出された、最大火線強度は、発火点 4 の 6,085 kW/m であることから、Alexanderand Fogarty の手法より、風上に樹木が無い場合の最小防火帯幅は 8.5 m、風上に樹木が有る場合の最小防火帯幅は 21 m と算出した。

3.4.2 防火帯の設定

重要な安全機能を有する高放射性廃液貯蔵場 (HAW)、ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟及び第二付属排気塔を囲むように設定する。

ガイドより算出した最小防火帯幅は風上に樹木が有る場合である 21 m を確保するとともに、森林火災影響評価において設定した各対象施設の離隔距離を確保できるように防火帯を設定する。防火帯の配置図を図 3.4.2-1 図に示す。

3.4.3 防火帯の管理

防火帯の管理については火災防護計画に定め、樹木を伐採する等、可燃物を排除し、防火帯内に草木が生えないように処理を行う。また、不燃材で構築された施設建家内部を除き、駐車車両等の可燃物及び消火活動に支障となるものは原則として配置しない管理を行う。なお、防火帯の管理方針の詳細は別紙 6-1-4-2-3-6 に示す。

3.5 有毒ガス影響評価

3.5.1 概要

森林火災による二次的影響の一つである有毒ガスの濃度評価を実施した。本評価においては、火災による有毒ガス発生量、風速及び大気拡散度に基づき、原子力施設の安全審査で使用される有風時プルーム式を用いて、評価対象となる原子炉施設の有毒ガス濃度を求めた。

表 3.5.1-1 に「有毒ガス防護に係る影響評価ガイド」で判断基準とされている IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health) の一覧を示す。IDLH 濃度は 30 分間の暴露限界濃度であり、NRC Regulatory Guide 1.78 Rev.1 において制御室の居住性の基準値として参照されていることから、本評価においては、算出された濃度を IDLH と比較し、これを下回ることを確認した。

有毒ガス影響評価は、東海再処理施設における以下の 2 施設の入気口位置における評価を実施した。

- ① 高放射性廃液貯蔵場 (HAW)
- ② ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟

詳細な評価方法は、添付 6-1-X-1-7 に示す。

3.5.2 評価結果

表 3.5.2-1 に、森林火災による有毒ガス濃度の最大値を示す。

評価においては、すべての評価対象において IDLH を下回ることを確認した。

3.6 ばい煙影響評価

3.6.1 概要

森林火災による二次的影響の一つであるばい煙の濃度評価を実施した。

本評価においては、火災によるばい煙発生量、風速及び大気拡散度に基づき、原子力施設の安全審査で使用される有風時プルーム式を用いて、評価対象となる原子炉施設のばい煙濃度を求めた。

表 3.6.1-1 に「有毒ガス防護に係る影響評価ガイド」で判断基準とされている IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health) の一覧を示す。IDLH 濃度は 30 分間の暴露限界濃度であり、NRC Regulatory Guide 1.78 Rev.1 において制御室の居住性の基準値として参照されていることから、本評価においては、算出された濃度を IDLH と比較し、これを下回ることを確認した。

ばい煙影響評価は、東海再処理施設における以下の2施設の入気口位置における評価を実施した。

- ① 高放射性廃液貯蔵場（HAW）
- ② ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟

詳細な評価方法は、別紙 6-1-4-2-3-7 に示す。

3.6.2 評価結果

表 3.6.2-1 に、森林火災によるばい煙濃度の最大値を示す。

評価においては、すべての評価対象において IDLH を下回ることを確認した。

また、すべての評価対象においてばい煙の濃度が低く、また評価対象建家の入気口にはフィルタが設置されていることから、施設の健全性に影響はないことが確認された。HAW 換気系の系統概略図を図 3.6.2-1 に、TVF 換気系の系統概略図を図 3.6.2-2 に示す。

表 3.1-1 森林火災影響評価結果

項目	切上げ ルール	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4
火線強度 [kW/m]	小数点第 1 位	2,215	6,023	5,748	6,085
延焼速度 [m/s]	小数点第 3 位	0.29	0.68	0.64	0.67
火炎の到着時間 [hr]	小数点第 2 位*	12.9	2.1	1.8	0.7
火炎輻射強度 [kW/m ²]	小数点第 1 位	438	435	440	439
火炎到達幅 [m]	小数点第 1 位	780	1,620	1,620	1,620
火炎継続時間 [hr]	小数点第 3 位	0.06	0.12	0.05	0.13
火炎長 [m]	小数点第 2 位	1.6	1.2	1.7	1.1
燃焼半径 [m]	小数点第 2 位	0.6	0.4	0.6	0.4
円筒火炎モデル数	小数点第 1 位	10	14	10	15
単位面積当たり熱量 [kJ/m ²]	小数点第 1 位	7,720	8,957	9,098	9,083
評価期間 [hour]	小数点第 2 位	17.9	24.7	26.1	16.8

*到達時間は保守的に切り下げ

表 3.2.1-1 火炎到達時刻一覧

項目	切り下げ ルール	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4
火炎の到達時間 [hr]	小数点 第 2 位	12.9	2.1	1.8	0.7

表 3.3-1 熱的影響評価結果（コンクリート建屋）

対象施設	項目	切上げ ルール	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4
HAW	危険距離 [m]	小数点第 1 位	14	13	13	13
	壁面温度 [°C]	小数点第 1 位	79	78	78	77
	輻射強度 [W/m ²]	小数点第 1 位	2,912	2,161	3,153	1,950
	火炎継続時間 [hr]	小数点第 3 位	0.06	0.12	0.05	0.13
TVF	危険距離 [m]	小数点第 1 位	13	13	13	13
	壁面温度 [°C]	小数点第 1 位	121	121	118	117
	輻射強度 [W/m ²]	小数点第 1 位	7,946	5,891	8,606	5,313
	火炎継続時間 [hr]	小数点第 3 位	0.06	0.12	0.05	0.13

表 3.3-2 熱的影響評価結果（第二付属排気塔）

対象施設	項目	切上げ ルール	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4
第二付属 排気塔	危険距離 [m]	小数点第 1 位	19	15	19	14
	温度 [°C]	小数点第 1 位	75	69	77	67
	輻射強度 [W/m ²]	小数点第 1 位	829	616	897	558
	火炎継続時間 [hr]	小数点第 3 位	0.06	0.12	0.05	0.13

表 3.4.1-1 火線強度と防火帯幅の相関

風上に樹木が無い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)	500	1000	2000	3000	4000	5000	10000	15000	20000	25000
防火帯幅 (m)	6.2	6.4	6.7	7.1	7.4	7.8	9.5	11.3	13.1	14.8

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)	500	1000	2000	3000	4000	5000	10000	15000	20000	25000
防火帯幅 (m)	16	16.4	17.4	18.3	19.3	20.2	24.9	29.7	34.4	39.1

表 3.5.1-1 IDLH 一覧

化学種	IDLH 値
CO ₂	40,000 [ppm]
CO	1,200 [ppm]

表 3.5.2-1 有毒ガス濃度最大値

CO₂ 濃度

発火点	最大濃度[ppm]	
	HAW	TVF
発火点 1	206	238
発火点 2	74	68
発火点 3	20	23
発火点 4	4	14

IDLH	40,000[ppm]
------	-------------

CO 濃度

発火点	最大濃度[ppm]	
	HAW	TVF
発火点 1	17.77	18.91
発火点 2	6.80	6.02
発火点 3	0.92	1.14
発火点 4	0.41	1.03

IDLH	1,200[ppm]
------	------------

表 3.6.1-1 IDLH 一覧

種類	IDLH 値
ばい煙 (カーボンブラック)	1,750 [mg/m ³]

表 3.6.2-1 ばい煙濃度最大値

ばい煙 (PM10) 濃度

発火点	最大濃度 [mg/m ³]	
	HAW	TVF
発火点 1	0.52	0.52
発火点 2	0.18	0.16
発火点 3	0.03	0.04
発火点 4	0.02	0.04

IDLH	1,750 [mg/m ³]
------	----------------------------

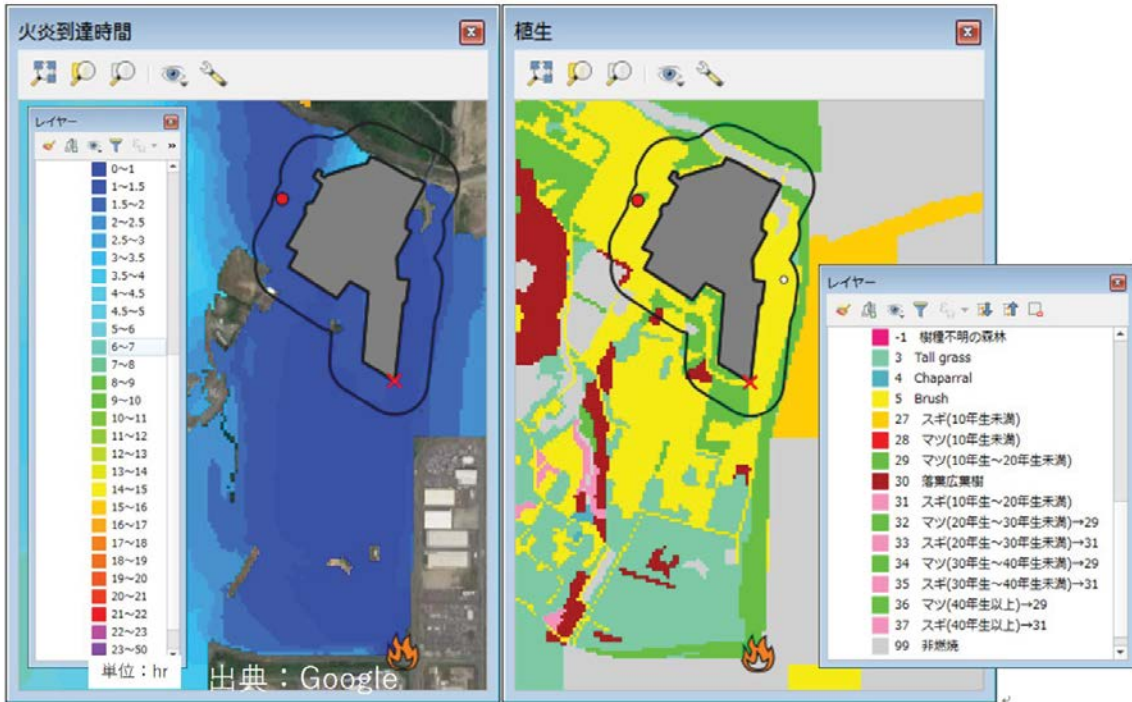


図 3.2.1-1 発火点 4 の火災到達時刻に影響していると考えられる植生

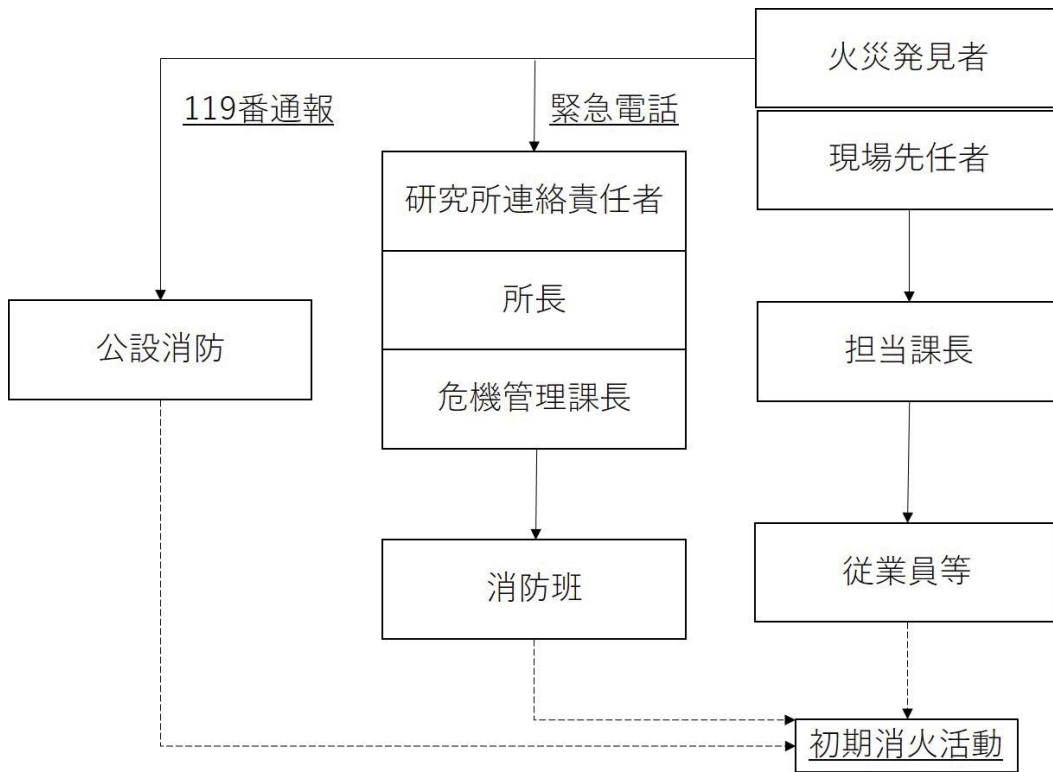


図 3.2.2-1 初期消火活動実施までの通報連絡体制

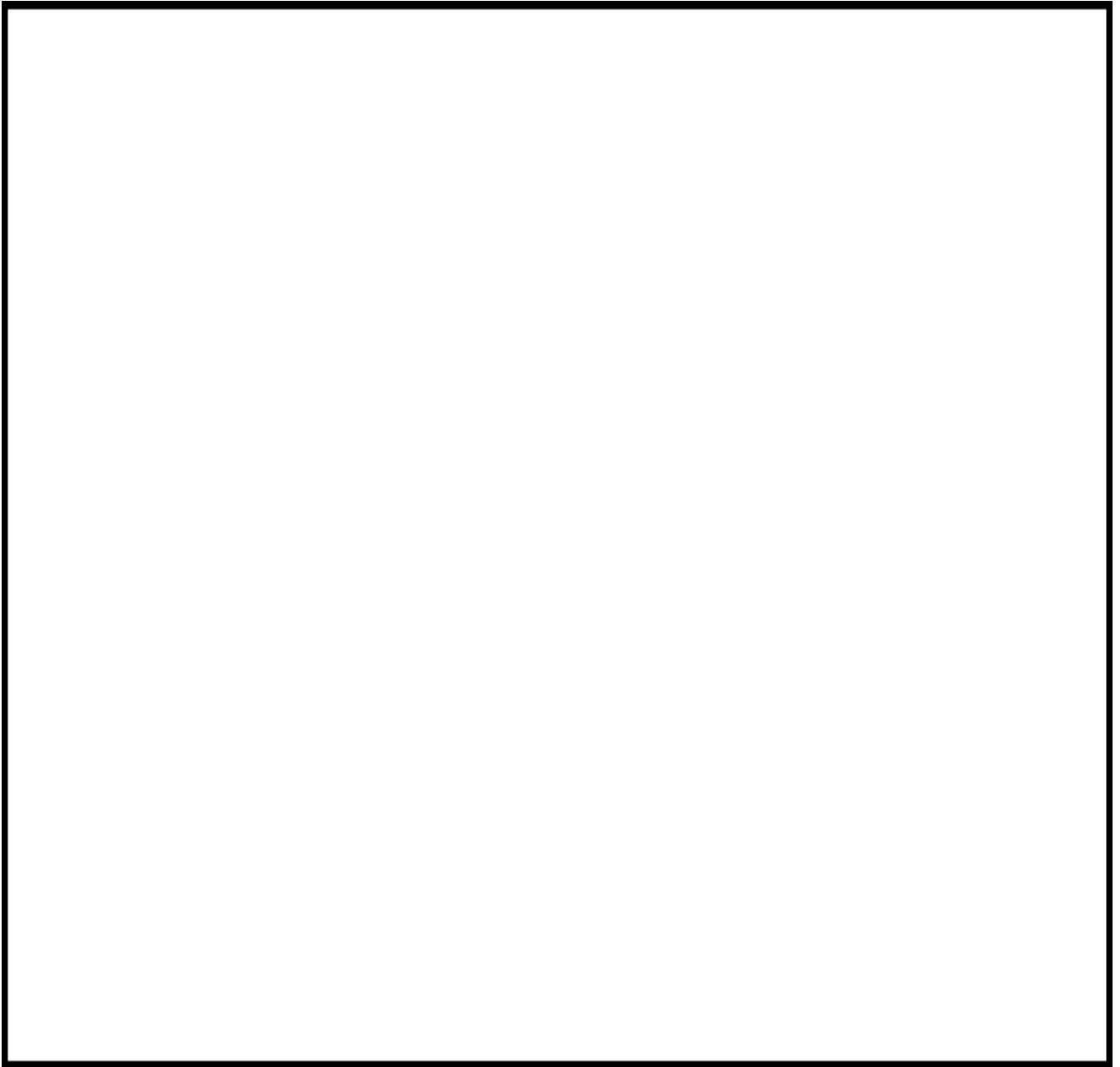


図 3.4.2-1 防火帯の配置図

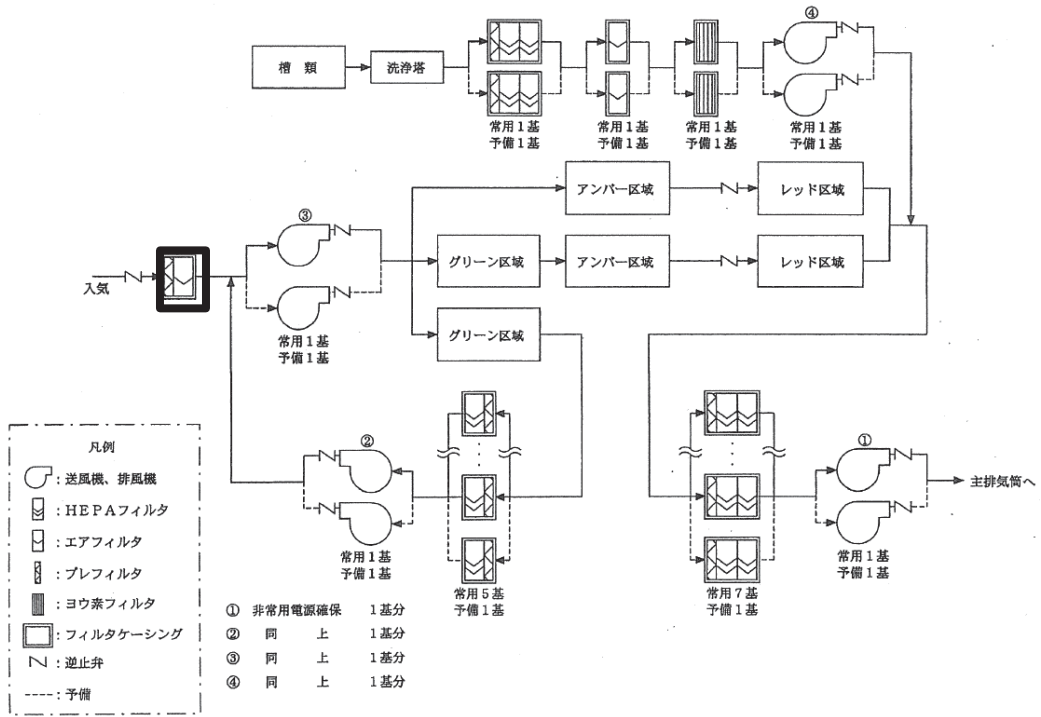


図 3.6.2-1 HAW 換気系の系統概略図

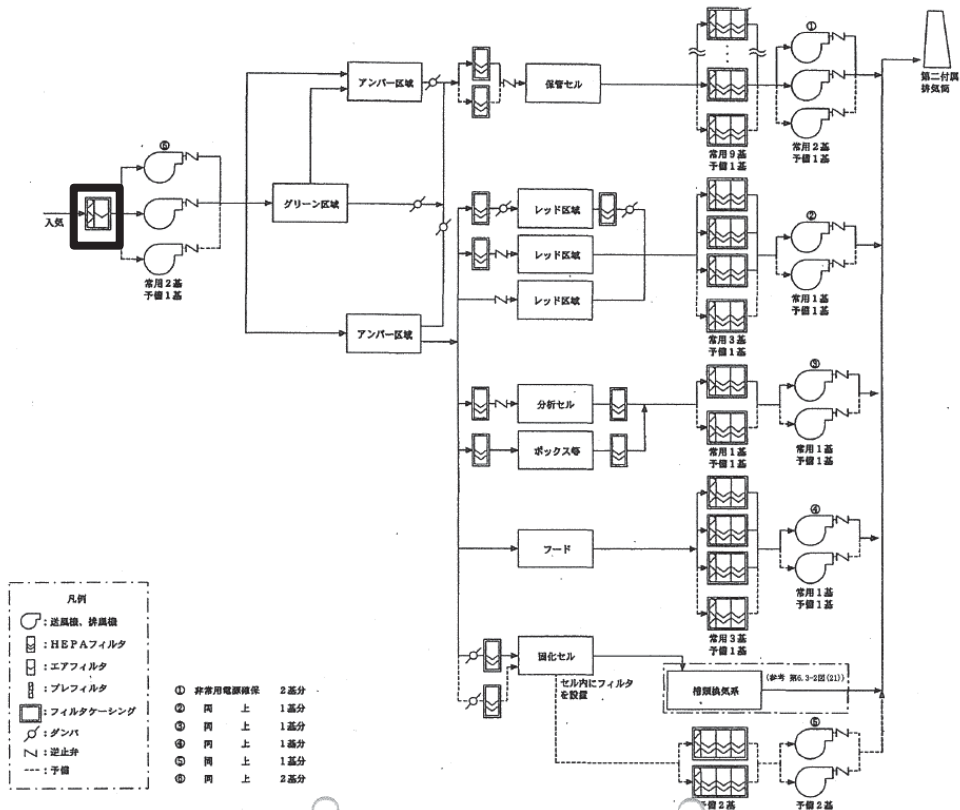


図 3.6.2-2 TVF 換気系の系統概略図

4. まとめ

以下のとおり, 高放射性廃液貯蔵場 (HAW), ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟及び第二付属排気塔は, 森林火災に対し健全性を維持している。

- 森林火災の到達前に, 自衛消防隊による対応が可能であることを確認した。
- 森林火災による熱的影響については, 高放射性廃液貯蔵場 (HAW), ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟及び第二付属排気塔に対して許容温度を下回ることを確認した。
- 森林火災に対して必要な防火帯幅であることを確認した。また, 離隔距離が危険距離以上であることを確認した。
- 森林火災に対する有毒ガス濃度の評価においては, すべての評価対象において基準濃度を下回ることを確認した。
- 森林火災に対するばい煙の評価においては, すべての評価対象においてばい煙の濃度が低く, また評価対象建家の入気口にはフィルタが設置されていることから, 施設の健全性に影響はないことを確認した。

5. 参考文献

- [1] 原子力規制委員会, 原子力発電所の外部火災影響評価ガイドの制定について, 平成 25 年 6 月.

FARSITE 入力データ

1. 概要

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書 A 森林火災の原子力発電所への影響評価について^[1]」(以下「ガイド」という。)に従い、森林火災シミュレーション解析コード FARSITE を使用し解析を実施した。

2. 地形データ

現地状況をできるだけ模擬するため、公開情報(国土地理院 基盤地図情報ダウンロードサービス, <http://fgd.gsi.go.jp/download/>)である基盤地図情報数値標高モデルの 10 m メッシュ標高データを用いた。傾斜及び傾斜方位については標高より計算した。

標高データについては、公開データに対して修正を行った。

- (1) 標高データについては必要に応じて国土地理院公開の補正パラメータにより考慮した。(東北地方太平洋沖地震に伴う地盤変動の影響等)

http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/patchjgd_h/download/index.html

- (2) 地盤変動を考慮すると低標高地域は海拔以下となる場合があるが、FARSITE では海拔より低い標高は入力できないため(マイナス標高は非燃焼扱いとなる)、海拔以下の領域の標高は 0 m に補正した。

地形データを図 2-1 に示す。

3. 植生データ

3.1 カスタム植生タイプ

カスタム植生タイプは「福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価^[2]」(独立行政法人原子力安全基盤機構)に従い設定した。

3.2 植生・樹冠率データ

FARSITE の入力パラメータにおける植生・樹冠率データについてはガイドに従い、以下の手順で入力した。

3.2.1 土地利用データの入力

現地状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中でも高い空間解像度である国土数値情報土地利用細分メッシュデータ(100 m メッシュ)を用いた。土地利用データを図 3.2.1-1 に示す。

FARSITE に利用した土地利用データ（可燃物データ）と FARSITE の燃料モデル（Fuel Model）タイプの対応及び土地利用データ（樹冠率）と FARSITE の Canopy Cover カテゴリについては「福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価^[2]」における「表 5.2 FARSITE に利用した土地利用データの項目」（表 3.2.1-1 参照）及び「(資) 表 B-1 FARSITE の Fuel-Model」（表 3.2.1-2 参照）に従い設定した。

3.2.2 森林領域の細分化

土地利用データにおける森林領域については、現地の森林簿データに基づき樹種・林齢により細分化し、現地森林の樹種と林齢を考慮したパラメータを設定した(表 3.2.2-1 参照)。

さらに解析の保守性を考慮し、森林の林齢については表 3.2.2-2 のとおり読み替え、森林可燃物設定パラメータを設定した。

また、森林（スギ，マツ，広葉樹）の樹冠率については FARSITE の区分 3（樹冠率 51%～80%相当）及び区分 4（樹冠率 81%～100%相当）の中から、火線強度が強くなる区分 3 を設定した（表 3.2.2-3 及び表 3.2.2-4 表参照）。

3.2.3 現地植生調査・常陸那珂火力発電所緑地計画図の反映

核燃料サイクル工学研究所の周辺領域については、植生調査結果に基づき、土地利用データ及び森林領域の細分化情報を反映した。なお、植生調査結果の詳細は別紙参考 6-1-4-3-2-1-1 に示す。

なお、植生調査結果における区分において、表 3.2.1-1 「表 5.2 FARSITE に利用した土地利用データの項目」に記載されていない項目については「伊方発電所 3 号炉外部火災影響評価補足説明資料（DB-8-21(補) 改 4)^[3]」を参考に設定した。

常陸那珂火力発電所の敷地については、常陸那珂火力発電所緑地計画図に基づき、土地利用データ及び森林領域の細分化情報を反映した。

ただし、評価範囲にある Tall grass，及び林齢 10 年未満の森林については、現地植生の改良を前提として、すべて Brush に変更した。植生データを図 3.2.3-1 に示す。

表 3.2.1-1 福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価より
 (表 5.2 FARSITE に利用した土地利用データの項目)

表 5.2 FARSITE に利用した土地利用データの項目

土地利用 No	対応する内容	定義	FARSITE の Fuel Model のタイプ番号 ((資)表 B-1 参照)	FARSITE の Canopy Cover のカテゴリ ((資)表 B-2 参照)	備考
1	田	渥田・乾田・沼田・蓮田及び田とする。	3	-9999	草の繁茂を考慮
2	その他の農用地	麦・陸稲・野菜・草地・芝地・りんご・梨・桃・ブドウ・茶・桐・はぜ・こうぞ・しゅろ等を栽培する土地とする。	3	-9999	草の繁茂を考慮
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	森林	多年生植物の密生している地域とする。	9	3	
6	荒地	しの地・荒地・がけ・岩・万年雪・湿地・採鉱地等で旧土地利用データが荒地であるところとする。	5	-9999	草の繁茂を考慮
7	建物用地	住宅地・市街地等で建物が密集しているところとする。	-9999	-9999	
8	-	-	-	-	-
9	幹線交通用地	道路・鉄道・操車場などで、面的に捉えられるものとする。	-9999	-9999	
A	その他の用地	運動競技場、空港、競馬場・野球場・学校港湾地区・人工造成地の空地等とする。	-9999	-9999	
B	河川地及び湖沼	人工湖・自然湖・池・養魚場等で平水時に常に水を湛えているところ及び河川・河川区域の河川敷とする。	-9999	-9999	
C	-	-	-	-	-
D	-	-	-	-	-
E	海浜	海岸に接する砂、れき、岩の区域とする。	-9999	-9999	
F	海水域	隠顕岩、干潟、シーバースも海に含める。	-9999	-9999	
G	ゴルフ場	ゴルフ場のゴルフコースの集まっている部分のフェアウェイ及びラフの外側と森林の境目を境界とする。	3	-9999	草の繁茂を考慮

表 3.2.1-2 福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価より
 ((資) 表 B-1 FARSITE の Fuel-Model)

(資) 表 B-1 FARSITE の Fuel Model			
大区分	タイプ番号	可燃物の種類	
Grass 草地	1	Short grass	短い草(1ft 程度まで) 【延焼速度：高，火力：低】
	2	Timber (grass and understory)	低層の草/木 【延焼速度：高，火力：中】
	3	Tall grass	高い草(2.5feet)
Brush 低層植生	4	chaparral	低木の茂み(6feet 程度) 【延焼速度：高，火力：高】
	5	Brush	茂み (低木ではない) 高さ 2feet 程度 【延焼速度：中，火力：中】
	6	Dormant brush , hardwood slash	休眠状態の茂み，広葉樹の残骸 【延焼速度：高，火力：中】
	7	Southern rough	Florida 等に典型的な下層植生
Timber 森林	8	Closed timber litter	短い針葉のリター 【延焼速度：低，火力：中】
	9	Hardwood litter	広葉落葉樹のリターや松など長い針葉 【延焼速度：中，火力：中】
	10	Timber (litter and understory)	リターと低木 【延焼速度：中，火力：高】
Slash 伐採跡地	11	Light logging slash	軽い倒木
	12	Medium logging slash	中間的な重さの倒木
	13	Heavy logging slash	重い倒木
非植生域	-9999		

表 3.2.2-1 森林可燃物等の設定（下線__は現地植生調査で確認された樹種）

No.	樹種区分 (土地利用種別・森林簿)	可燃物パラメータ設定	燃料モデル
1	マツ, カラマツ, モミ, <u>クロマツ</u> , <u>アカマツ</u> 林齢 10 年生未満	マツ林齢 10 年生未満	28
2	マツ, カラマツ, モミ, <u>クロマツ</u> , <u>アカマツ</u> 林齢 10 年生～林齢 20 年生	マツ林齢 10 年生 ～林齢 20 年生未満	29
3	マツ, カラマツ, モミ, <u>クロマツ</u> , <u>アカマツ</u> 林齢 20 年生～林齢 30 年生	マツ林齢 20 年生 ～林齢 30 年生未満	32
4	マツ, カラマツ, モミ, <u>クロマツ</u> , <u>アカマツ</u> 林齢 30 年生～林齢 40 年生	マツ林齢 30 年生 ～林齢 40 年生未満	34
5	マツ, カラマツ, モミ, <u>クロマツ</u> , <u>アカマツ</u> 林齢 40 年生以上	マツ林齢 40 年生以上	36
6	スギ, ヒノキ, <u>スギ植林</u> 林齢 10 年生未満	スギ林齢 10 年生未満	27
7	スギ, ヒノキ, <u>スギ植林</u> 林齢 10 年生～林齢 20 年生	スギ林齢 10 年生 ～林齢 20 年生未満	31
8	スギ, ヒノキ, <u>スギ植林</u> 林齢 20 年生～林齢 30 年生	スギ林齢 20 年生 ～林齢 30 年生未満	33
9	スギ, ヒノキ, <u>スギ植林</u> 林齢 30 年生～林齢 40 年生	スギ林齢 30 年生 ～林齢 40 年生未満	35
10	スギ, ヒノキ, <u>スギ植林</u> 林齢 40 年生以上	スギ林齢 40 年生以上	37
11	広葉樹 (ザツ, クヌギ, シイ・カ シ二次林, 落葉広葉樹二次林等) 全林齢	落葉広葉樹	30
12	タケ, <u>竹林</u>	Chaparral : 低木の茂み (高さ 6 feet 程度)	4
13	樹種不明の森林	隣接する保守的な樹種を入力 スギ>マツ>広葉樹	-1

No.	樹種区分 (土地利用種別・森林簿)	可燃物パラメータ設定	燃料モデル
14	田, その他農用地, ゴルフ場, 畑 雑草群落, 水田雑草群落, 放棄畑 雑草群落, 放棄水田雑草群落, 路 傍・空地雑草群落, 芝地	Tall grass : 高い草 (高さ 2.5 feet 程度)	3
15	荒地, 建物用地, 緑の多い住宅地, 市街地	Brush : 茂み (低木ではない) (高さ 2 feet 程度)	5
16	海水域, 道路, 鉄道, 海浜, その 他の用地, 河川地及び湖沼, <u>造成</u> 地, <u>開放水域</u>	非植生とした	99※

※「福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価」において燃料モデルを「-9999」とする箇所については、「99」と読み替えて入力する。

表 3.2.2-2 林齢の読み替え

読み替え前		読み替え後	
作成データの燃料モデル番号		保守性を考慮した燃料モデル番号	
番号	燃料モデル名	番号	燃料モデル名
27	スギ (林齢 10 年未満)	27	スギ (林齢 10 年未満)
28	マツ (林齢 10 年未満)	28	マツ (林齢 10 年未満)
29	マツ (林齢 10 年以上 20 年未満)	29	マツ (林齢 10 年以上 20 年未満)
30	落葉広葉樹 (全林齢)	30	落葉広葉樹 (全林齢)
31	スギ (林齢 10 年以上 20 年未満)	31	スギ (林齢 10 年以上 20 年未満)
32	マツ (林齢 20 年以上 30 年未満)	29	マツ (林齢 10 年以上 20 年未満)
33	スギ (林齢 20 年以上 30 年未満)	31	スギ (林齢 10 年以上 20 年未満)
34	マツ (林齢 30 年以上 40 年未満)	29	マツ (林齢 10 年以上 20 年未満)
35	スギ (林齢 30 年以上 40 年未満)	31	スギ (林齢 10 年以上 20 年未満)
36	マツ (林齢 40 年以上)	29	マツ (林齢 10 年以上 20 年未満)
37	スギ (林齢 40 年以上)	31	スギ (林齢 10 年以上 20 年未満)

表 3.2.2-3 FARSITE 上の樹冠率設定

FARSITE 区分	樹冠率 [%]	備考
1	～20	—
2	21～50	森林を含む区分
3	51～80	一般的な森林
4	81～100	原生林等

表 3.2.2-4 FARSITE 上の樹冠率区分による効果

	区分 3 の場合	区分 4 の場合
風速低減効果	風速が弱まりにくい	風速が弱まる
日照低減効果	地面下草が燃えやすい	地面下草が燃えにくい

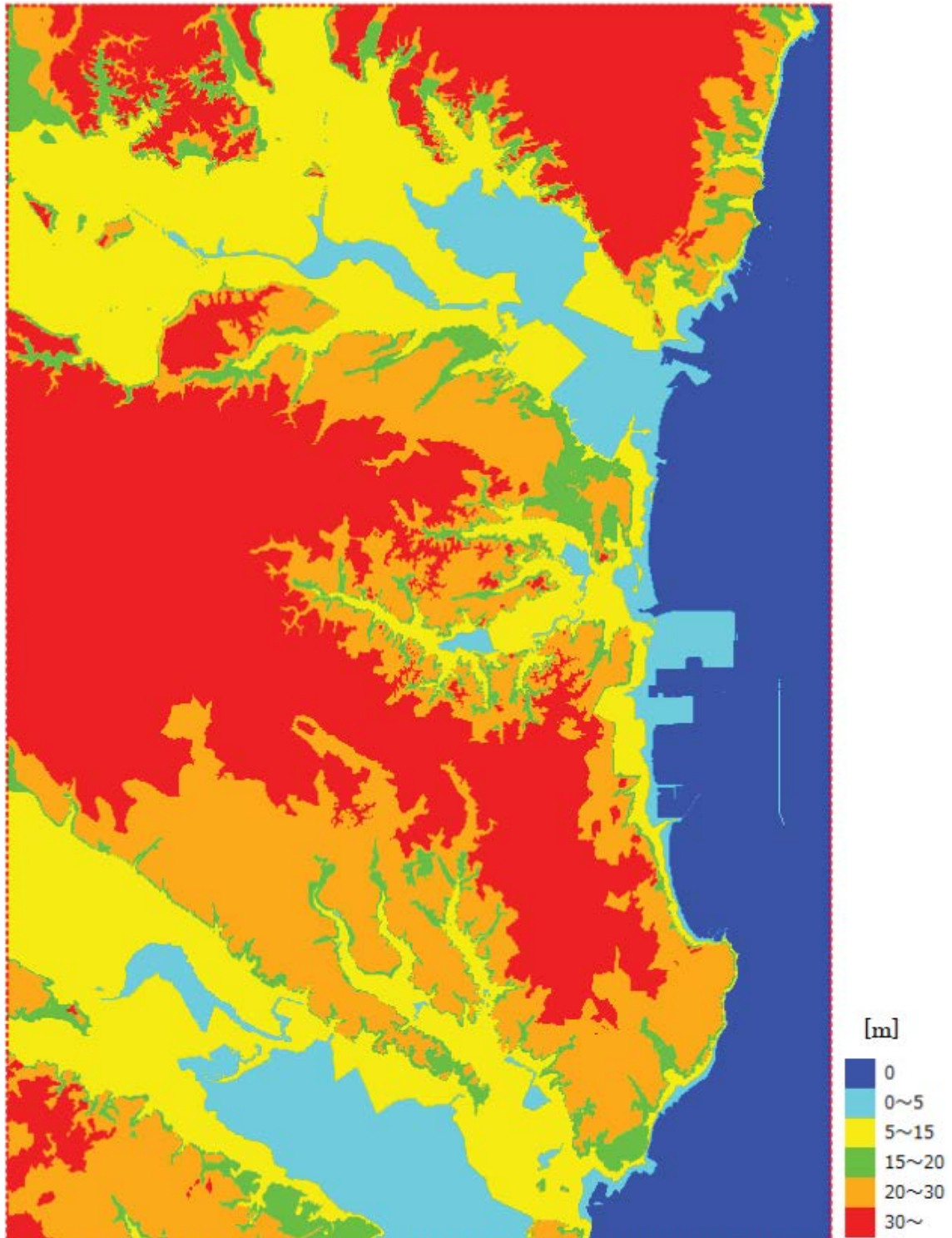


図 2-1 地形データ

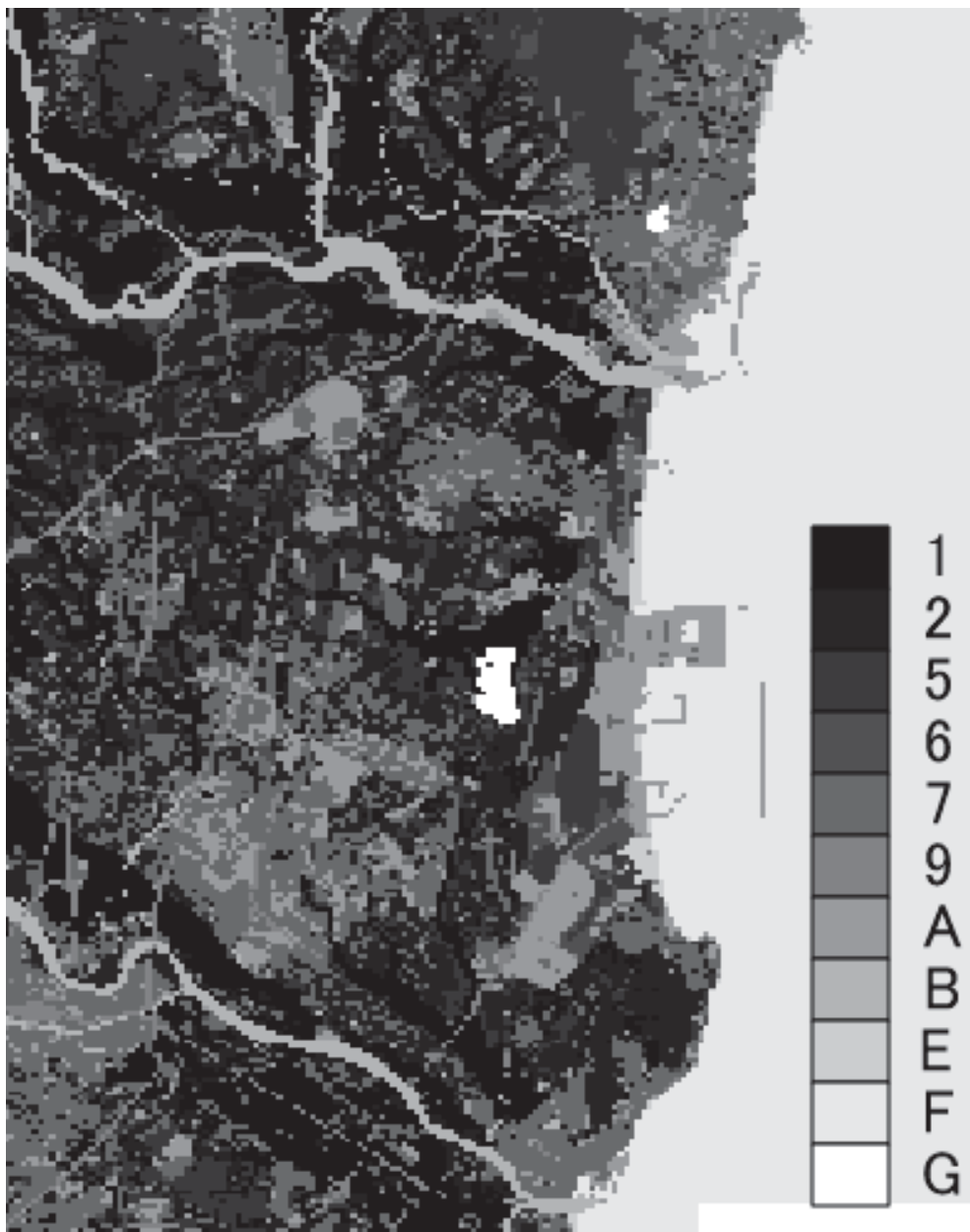


図 3.2.1-1 土地利用データ

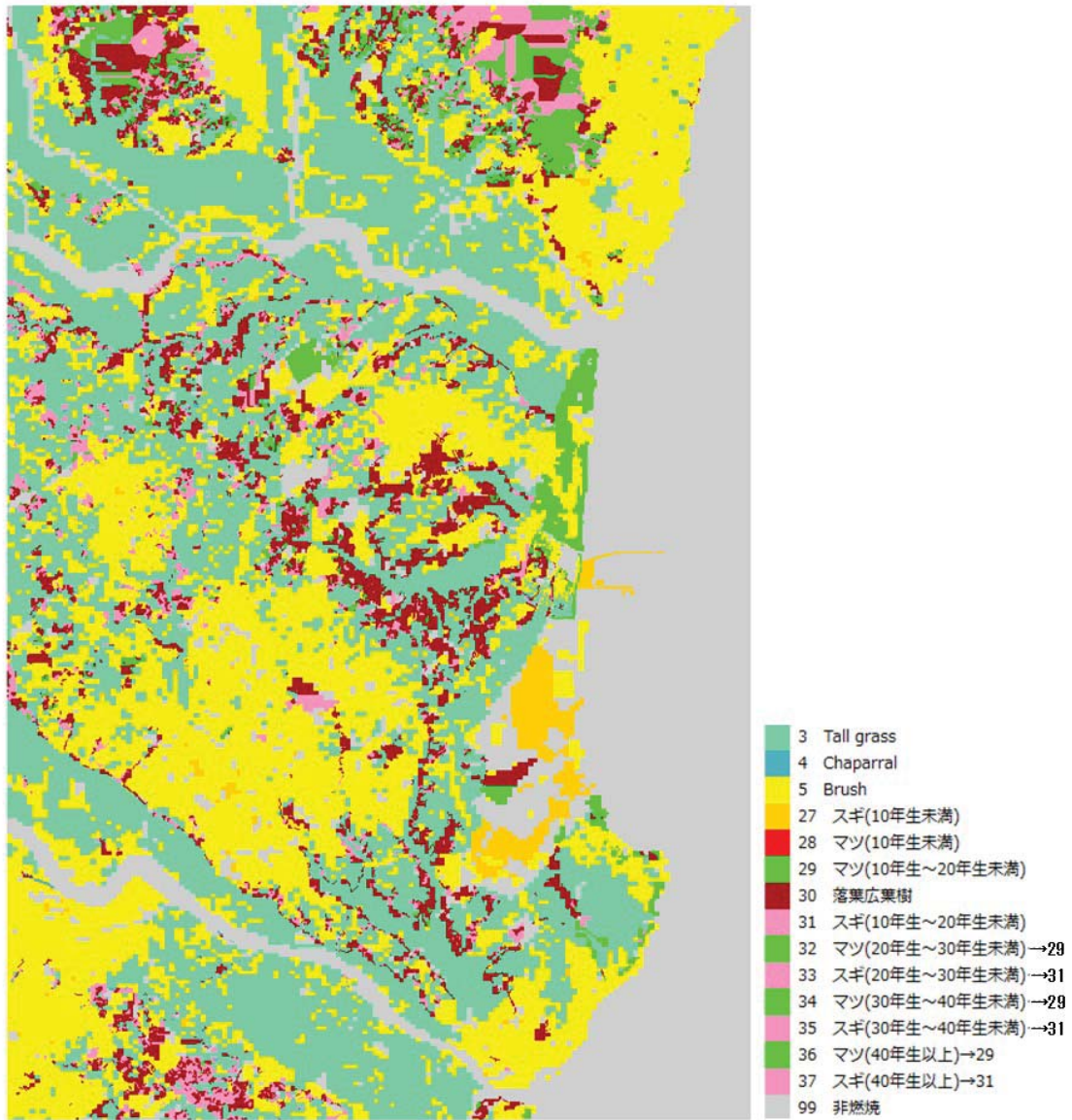


図 3.2.3-1 植生データ

3. 気象・風況

気象・風況は近隣自治体にある気象観測所の観測データを過去10年間調査し、自治体から入手した森林火災の発生件数の多い月^{*}の最小湿度，最高気温及び最大風速の組み合わせを用いた。データは気象庁ホームページより入手した。

- (1) 気温は水戸・日立・常陸大宮・笠間・鉾田気象観測所の2007年～2017年の最高気温38.2℃を用いた。
- (2) 湿度は水戸の2007年～2017年の最小湿度11%を用いた。
- (3) 風速は水戸・日立・常陸大宮・笠間・鉾田気象観測所の2007年～2017年の最大風速17.5 m/sを用いた。
- (4) 風向は(3)で選定した最大風速時風向である北北東と核燃料サイクル工学研究所で観測した最多風向である西北西を用いた。

FARSITEの入力データ作成に際しては以下のように行う。

- (1) FARSITE入力値は整数で入力する必要があるため温度，風速については小数点切上げとした。風向については小数点四捨五入とした。
- (2) 風速単位は公開データ系であるm/sからFARSITE入力単位系km/hourに変換した。
- (3) 降水量，雲量（日射に影響するパラメータ）は保守性を考慮して，どちらも0（デフォルト値）を用いた
- (4) 天候データで入力する標高は気温補正に使用されるため，最高気温を採用した観測所標高を用いた。
- (5) 天候については保守的な条件が継続すると仮定するため時間的な変化は考慮しなかった。そのため，最低及び最高気温記録時刻についてはデフォルト値である5:00（最低），15:00（最高）を用いた。

※ガイドの記載内容に準ずると，森林火災の多い月のみを採用となるが，先行発電所の安全審査における規制庁のコメントにおいて，多い月の範囲を幅広く考えていることから，保守的に年間における最小湿度，最高気温及び最大風速を採用した。

4. FARSITE 入力データ

FARSITE については、保守的な評価となるよう以下の観点から入力値を設定した。表 4-1 に FARSITE 入力データを示す。

表 4-1 FARSITE 入力データ

項目		入力データ	備考
地形 データ	標高, 地形	図 2-1 参照	ガイドに従い, 「基盤地図情報 数値標高モデル 10 m メッシュ」の標高データ及び標高データから算出した傾斜, 傾斜方位を入力
	土地利用 データ	図 3.2.1-1 参照	ガイドに従い, 国土数値情報土地利用細分メッシュデータ(100 m メッシュ)より再処理施設周辺の建物用地, 交通用地, 河川等を再現
植生 データ	場所	図 3.2.3-1 参照	ガイドに従い, 森林簿データ, 現地調査等で特定した樹種毎の植生場所を入力
	樹種	9 区分	3: Tall grass, 4: Chaparral, 5: Brush, 27: スギ (10 年生未満), 28: マツ (10 年生未満), 29: マツ (10 年生~20 年生未満), 30: 落葉広葉樹, 31: スギ (10 年生~20 年生未満), 99: 非燃焼
	林齢	2 区分	林齢の違いによる可燃物のパラメータの保守性, 下草の発生状況から保守的に 20 年生以上の林齢については全て 10 年生~20 年生未満に読み替えて入力
	樹幹率	区分 3	日照や風速への影響を考慮し, 保守的な樹幹率区分 (3: 一般的な森林) を入力
気象 データ	風速 (km/hr)	63	水戸・日立・常陸大宮・笠間・鉾田気象観測所の 2007 年~2017 年の最大風速 (17.5 m/s) に相当する 63 km/hr を入力 ^{*1}
	風向 (deg)	23 (発火点 1)	ガイドに従い, 最大風速時の風向を入力
		293 (発火点 2)	ガイドに従い, 卓越風向を入力
		225 (発火点 3)	保守的に, 発火点から評価対象方向へ向かう風向を入力
		180 (発火点 4)	保守的に, 発火点から評価対象方向へ向かう風向を入力
	気温 (°C)	39	最高気温, 最低気温共に保守的に, 水戸・日立・常陸大宮・笠間・鉾田気象観測所の 2007 年~2017 年の最高気温 38.2°C を入力 ^{*1}
	湿度 (%)	11	最高湿度, 最低湿度共に保守的に, 水戸の 2007 年~2017 年の最小湿度 11% を入力 ^{*1}

項目	入力データ	備考
降水量 (mm)	0	保守性を考慮して、降水量は0を入力
雲量 (%)	0	保守性を考慮して、雲量は0を入力
時刻	5:00 (最低) 15:00 (最高)	気象データについては保守的な条件が継続すると仮定するため時間的な変化は考慮しなかった。そのため、最低及び最高気温記録時刻についてはデフォルト値である5:00(最低)、15:00(最高)を用いた。

5. 参考文献

- [1]原子力規制委員会，発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書 A 森林火災の原子力発電所への影響評価について，平成 25 年 6 月.
- [2] (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，平成 24 年 6 月.
- [3] 四国電力(株)，伊方発電所 3 号炉外部火災影響評価補足説明資料 (DB-8-01 (補) 改 7) .

植生調査

1. 調査内容

再処理施設周囲の森林に対して直性調査を実施した。敷地内及び敷地周辺の緑地に 1000 m² (約 30 m×30 m) の方形区を計 49 地点設定し、各地点において植生調査を行った。また、調査範囲全体の植生分布状況を既存の空中写真及び現地確認によって把握し、植生図を作成した。また、クロマツ植林、アカマツ植林、スギ植林については、当該地方の林分収穫表より林齢を推定し、過去と現在の空中写真を比較し補正を行った。植生調査点図 1-1 に示す。

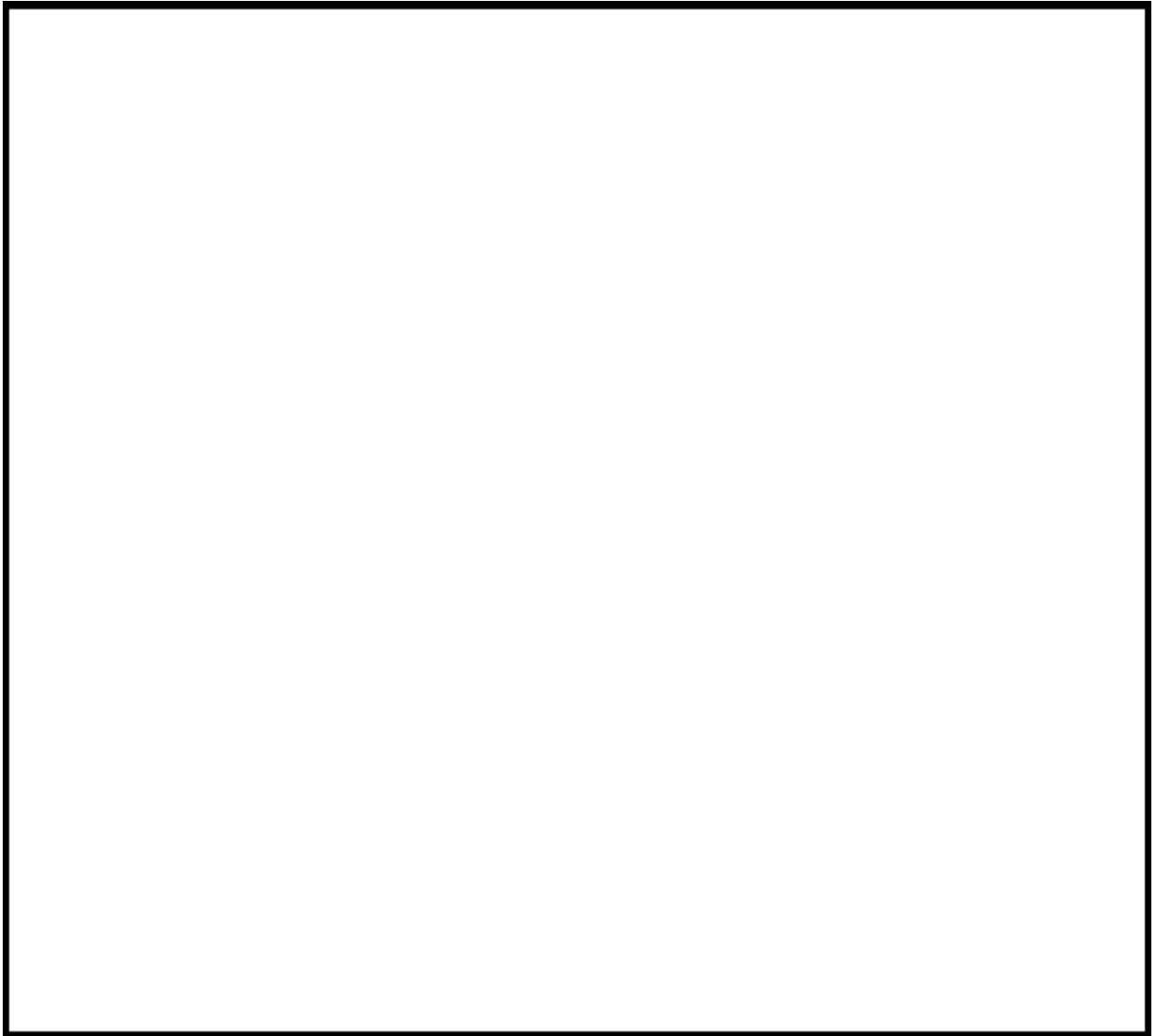


図 1-1 植生調査点

2. 調査結果

植生調査結果を表 2-1 に示す。植生調査により大部分が 20 年生以上であることを確認したが、FARSITE に入力する際には、解析の保守性を考慮し、10 年以上 20 年未満を入力した。代表的な植生写真を図 2-1 に示す。

表 2-1 植生調査結果

No.	敷地 内/外	群落名	樹齢
1	内	アカマツ植林	20 年生
2	内	アカマツ植林	20 年生
3	内	アカマツ植林	40 年生以上
4	内	アカマツ植林	40 年生以上
5	内	落葉広葉樹二次林	40 年生以上
6	内	落葉広葉樹二次林	40 年生以上
7	内	アカマツ植林	40 年生以上
8	内	アカマツ植林	20 年生
9	外	スギ植林	40 年生以上
10	内	落葉広葉樹二次林	40 年生以上
11	内	落葉広葉樹二次林	40 年生以上
12	内	落葉広葉樹二次林	40 年生以上
13	内	落葉広葉樹二次林	40 年生以上
14	外	シイ・カシ二次林	30 年生
15	外	シイ・カシ二次林	30 年生
16	外	落葉広葉樹二次林	30 年生
17	内	アカマツ植林	40 年生以上
18	内	アカマツ植林	40 年生以上
19	内	アカマツ植林	40 年生以上
20	内	アカマツ植林	40 年生以上
21	内	アカマツ植林	40 年生以上
22	内	アカマツ植林	40 年生以上
23	内	アカマツ植林	40 年生以上
24	内	アカマツ植林	40 年生以上
25	内	アカマツ植林	40 年生以上
26	外	アカマツ植林	40 年生以上
27	外	アカマツ植林	40 年生以上

No.	敷地 内／外	群落名	樹齡
28	外	アカマツ植林	40 年生以上
29	外	クロマツ植林	40 年生以上
30	外	クロマツ植林	40 年生以上
31	内	クロマツ植林	20 年生
32	外	クロマツ植林	40 年生以上
33	外	クロマツ植林	20 年生
34	内	クロマツ植林	30 年生
35	内	クロマツ植林	30 年生
36	内	クロマツ植林	30 年生
37	内	クロマツ植林	20 年生
38	内	クロマツ植林	20 年生
39	内	クロマツ植林	20 年生
40	内	クロマツ植林	10 年生
41	内	クロマツ植林	10 年生
42	内	クロマツ植林	10 年生
43	外	スギ植林	40 年生以上
44	外	スギ植林	40 年生以上
45	外	落葉広葉樹二次林	40 年生以上
46	外	落葉広葉樹二次林	20 年生
47	外	落葉広葉樹二次林	20 年生
48	外	落葉広葉樹二次林	40 年生以上
49	外	アカマツ植林	40 年生以上




調査点	植生区分	植生写真
1	アカマツ植林 20年生	
3	アカマツ植林 40年生以上	
40	クロマツ植林 10年生	

図 2-1 代表的な植生写真 (1/4)




調査点	植生区分	植生写真
33	クロマツ植林 20年生	
34	クロマツ植林 30年生	
29	クロマツ植林 40年生以上	

図 2-1 代表的な植生写真 (2/4)




調査点	植生区分	植生写真
46	落葉広葉樹二次林 20年生	
16	落葉広葉樹二次林 30年生	
5	落葉広葉樹二次林 40年生以上	

図 2-1 代表的な植生写真 (3/4)

調査点	植生区分	植生写真
14	シイ・カシ二次林 30年生	
9	スギ植林 40年生以上	

図 2-1 代表的な植生写真 (4/4)

発火点の考え方について

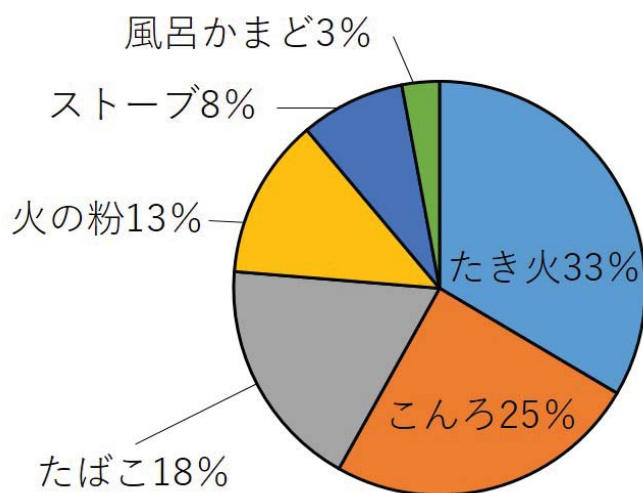
1. 発火点の設定方針

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書 A 森林火災の原子力発電所への影響評価について^[1]」にある森林火災の想定に基づき、発火点の設定は以下の方針とした。

- ・卓越風向，最大風速記録時の風向が再処理施設の風上になる地点
- ・たき火等の人為的な火災発生原因が想定される地点

なお，茨城県内での主な発火源は，「消防防災年報」（茨城県 平成 29 年）によると，たき火，こんろ，たばこであった。発火源の割合を図 1-1 に示す。

この結果に加え，再処理施設周囲の地理的状況等を考慮し，人為的な火災発生原因を想定した。



「消防防災年報」（茨城県 平成29年）より
平成17年から平成28年までの統計

図 1-1 発火源の割合

2. 発火点の設定

再処理施設周囲の特徴として以下のことがあげられる。

- ・再処理施設の西側に国道 245 号線が通る。
- ・再処理施設の南側に県道 62 号線が通る。
- ・再処理施設の北側に川がある。
- ・再処理施設の南西に住宅街が多い。

第 1 項で設定した方針及び上記の特徴を踏まえ、発火点を以下のとおり設定した。発火点位置と植生データを図 2-1 に示す。

発火点 1：最大風速記録時の風向である北北東において、海岸でのたき火の不始末、たばこの投げ捨て等により原子力科学研究所敷地内の森林に引火することを原因とし、高放射性廃液貯蔵場（HAW）・ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟から北北東の方角上にあたる点を発火点とした。

発火点 2：卓越風向である西北西において、国道 245 号線からのたばこの投げ捨てにより、茨城東病院の森林に引火することを原因とし、周辺の植生も同程度の燃えやすさであることから、高放射性廃液貯蔵場（HAW）・ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟から西北西の方角上にあたる点を発火点とした。

発火点 3：南西方面において、国道 245 号線、県道 62 号線（たばこの投げ捨て）、如意輪寺霊園（線香の残り火）からの発火を想定し、評価上、火線強度が保守的になると予想された如意輪寺霊園を発火点とした。

発火点 4：南方面において、県道 62 号からのたばこの投げ捨てにより、核燃料サイクル工学研究所敷地の森林に引火することを原因とし、県道 62 号線沿線の植生のなかで比較的燃えやすい「Tall grass」のある交差点付近を発火点とした。

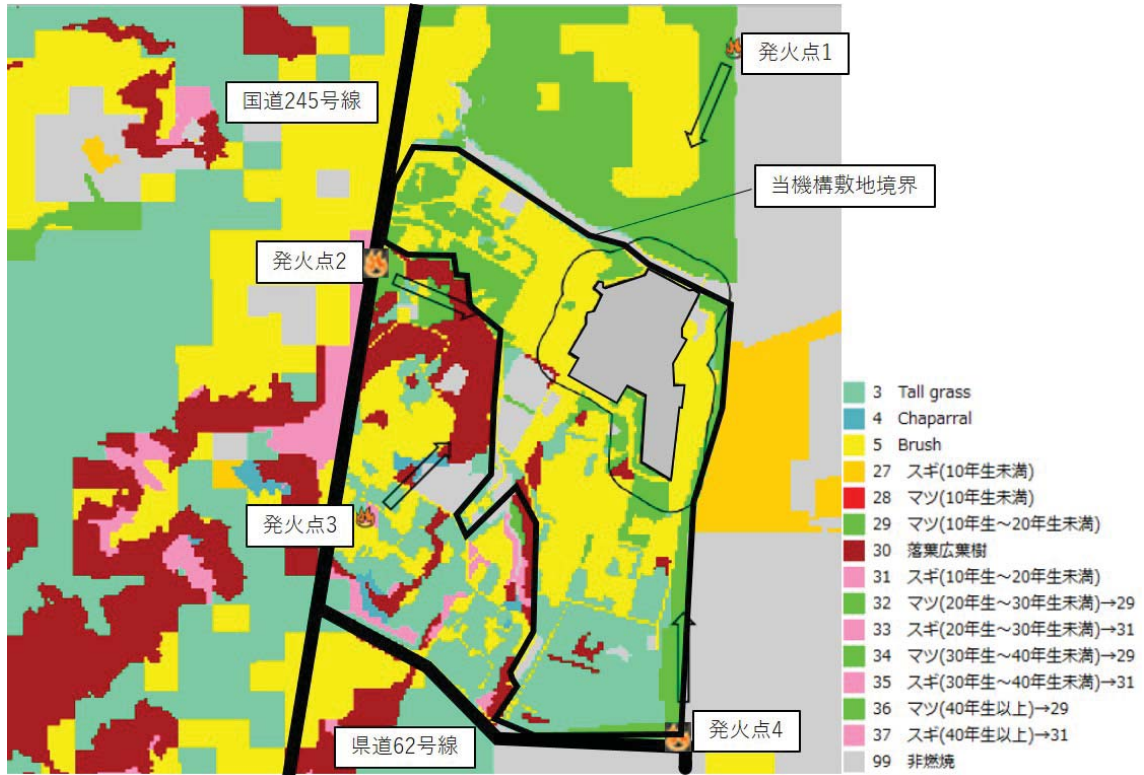


図 2-1 発火点位置と植生データ

3. 発火点の妥当性設定

3.1 発火点 1 の妥当性

発火点 1 は最大風速記録時の風向である北北東に設定しており、周辺はマツ 10 年生～20 年生未満（評価上）であり、砂浜と森林の境界に設定している。発火点を多少移動させたとしても周囲の植生に大きな違いはないことから、発火点 1 の評価結果に包絡される。

3.2 発火点 2 の妥当性

発火点 2 は卓越風向である西北西に設定しており、周辺はマツ 10 年生～20 年生未満（評価上）であり、国道 245 号線上に設定している。発火点を多少移動させたとしても周囲の植生も同程度の燃えやすさであることから、発火点 2 の評価結果に包絡される。

3.3 発火点 3 の妥当性

発火点 3 は国道 245 号線及び県道 62 号線からのたばこの投げ捨てる他に、線香の残り火を想定し、如意輪寺霊園からの発火を想定し設定した。

3.4 発火点 4 の妥当性

発火点 4 の周辺は県道 62 号線沿線の植生のなかで比較的燃えやすい Tall grass であり、核燃料サイクル工学研究所敷地境界に設定した。

4. 参考文献

- [1]原子力規制委員会，発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書 A 森林火災の原子力発電所への影響評価について，平成 25 年 6 月．

FARSITE の解析結果

1. FAESITE 出力情報

FARSITE の解析より得られた、各発火点における再処理施設敷地境界に最も早く火炎が到達する火炎到達時間と、再処理施設敷地境界より 100 m の範囲における最大火線強度の解析結果を表 1-1 に示す。また、各発火点の延焼状況をそれぞれ図 1-1 から図 1-4 に示す。

表 1-1 解析結果

発火点位置	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4
最大火線強度 (kW/m)	2,215	6,023	5,748	6,085
火炎到達時間 (hr)	12.9	2.1	1.8	0.7

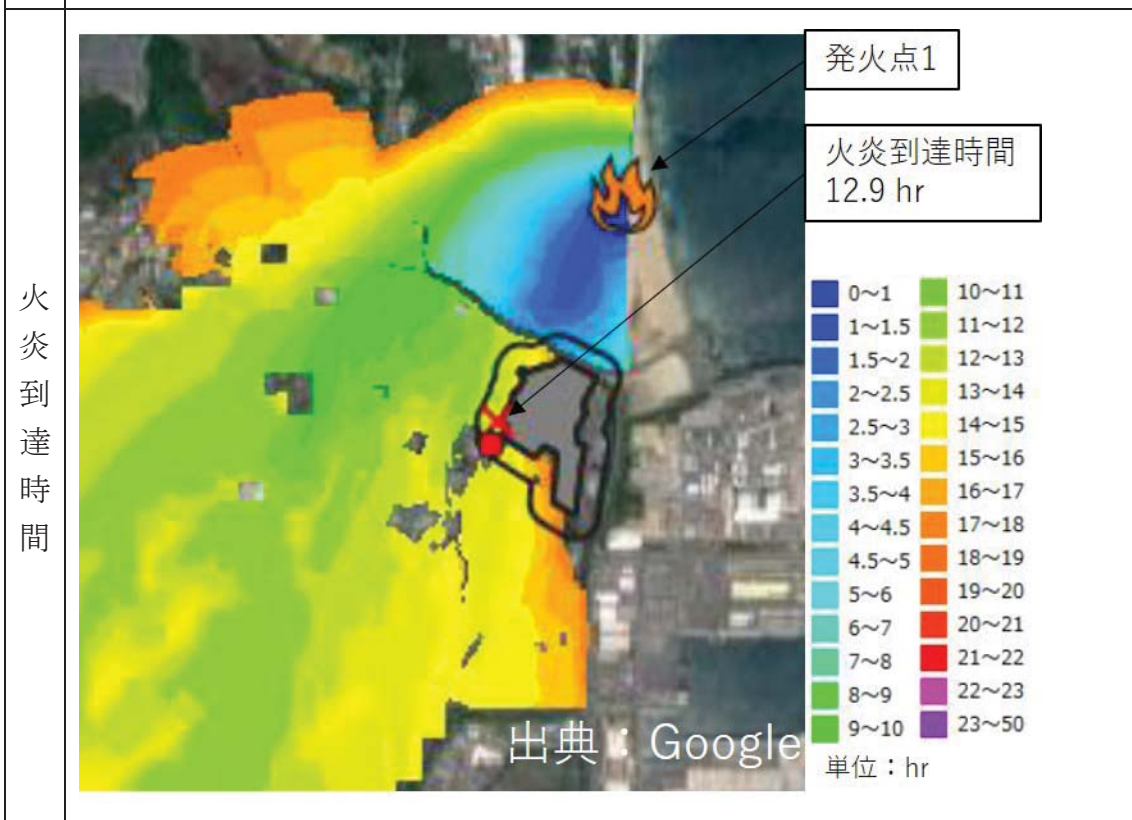
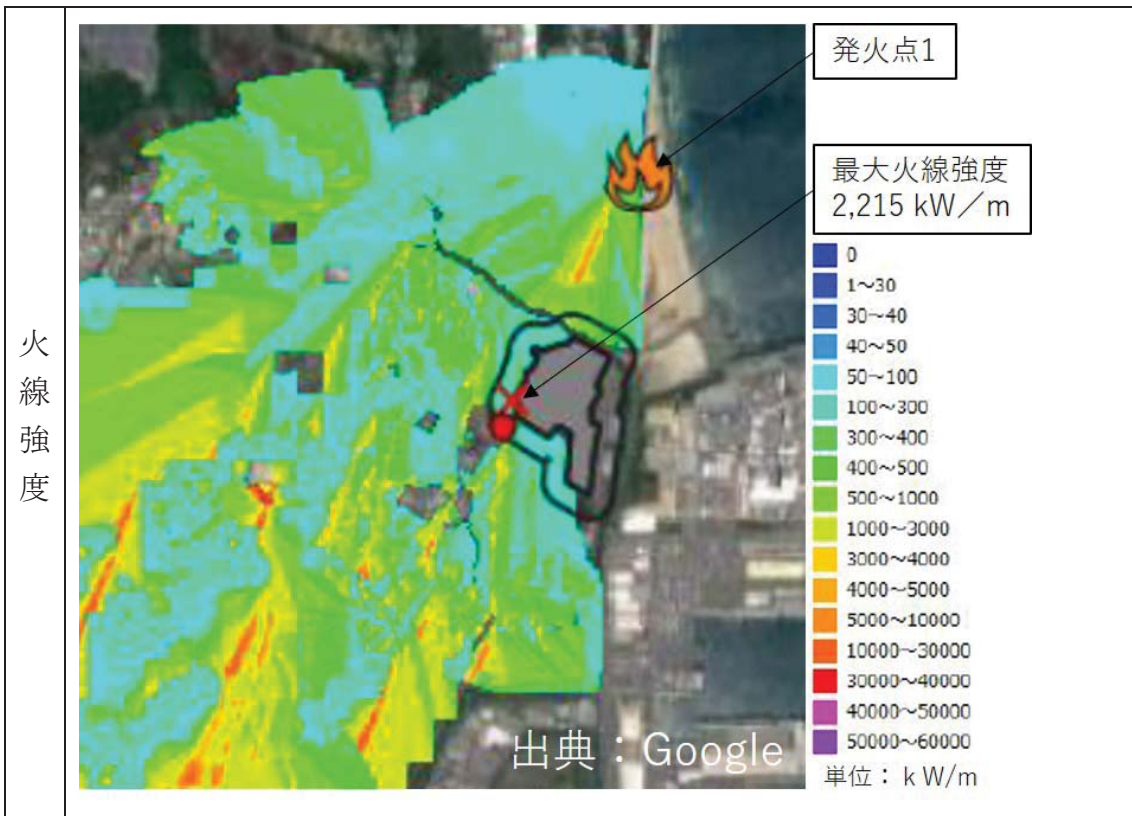


図 1-1 発火点 1 の延焼状況

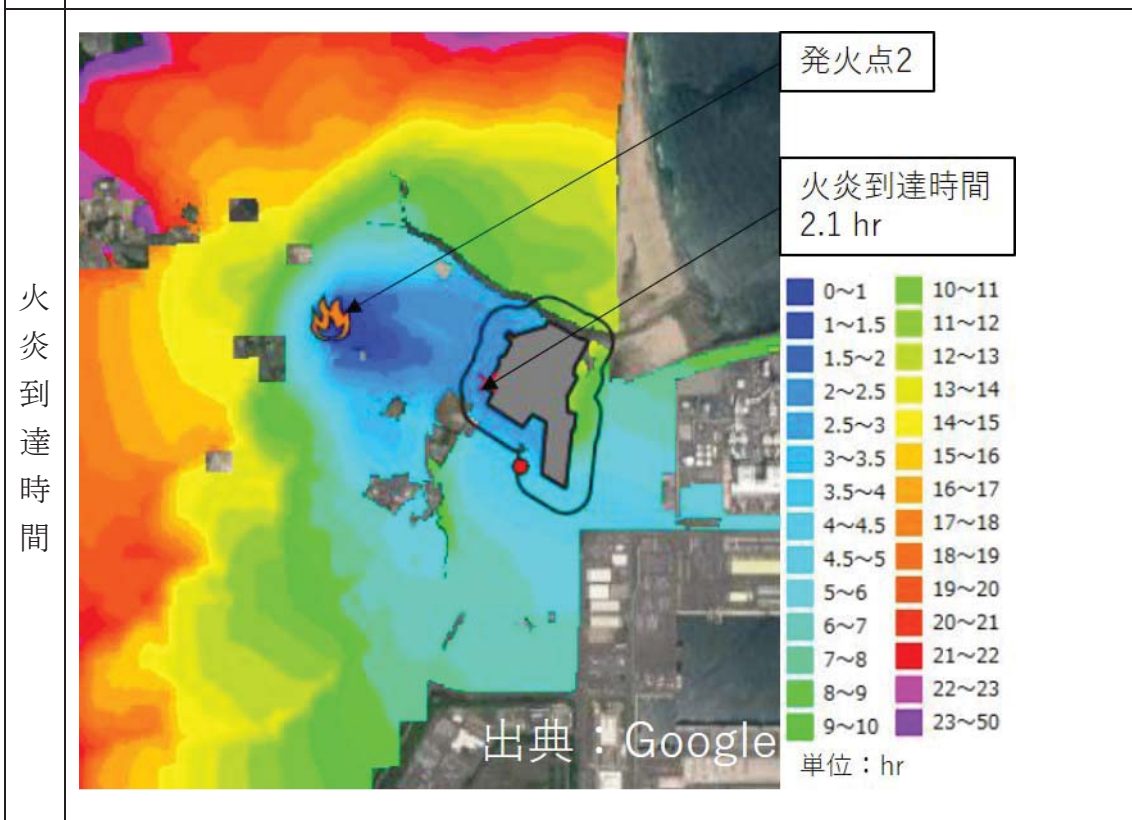
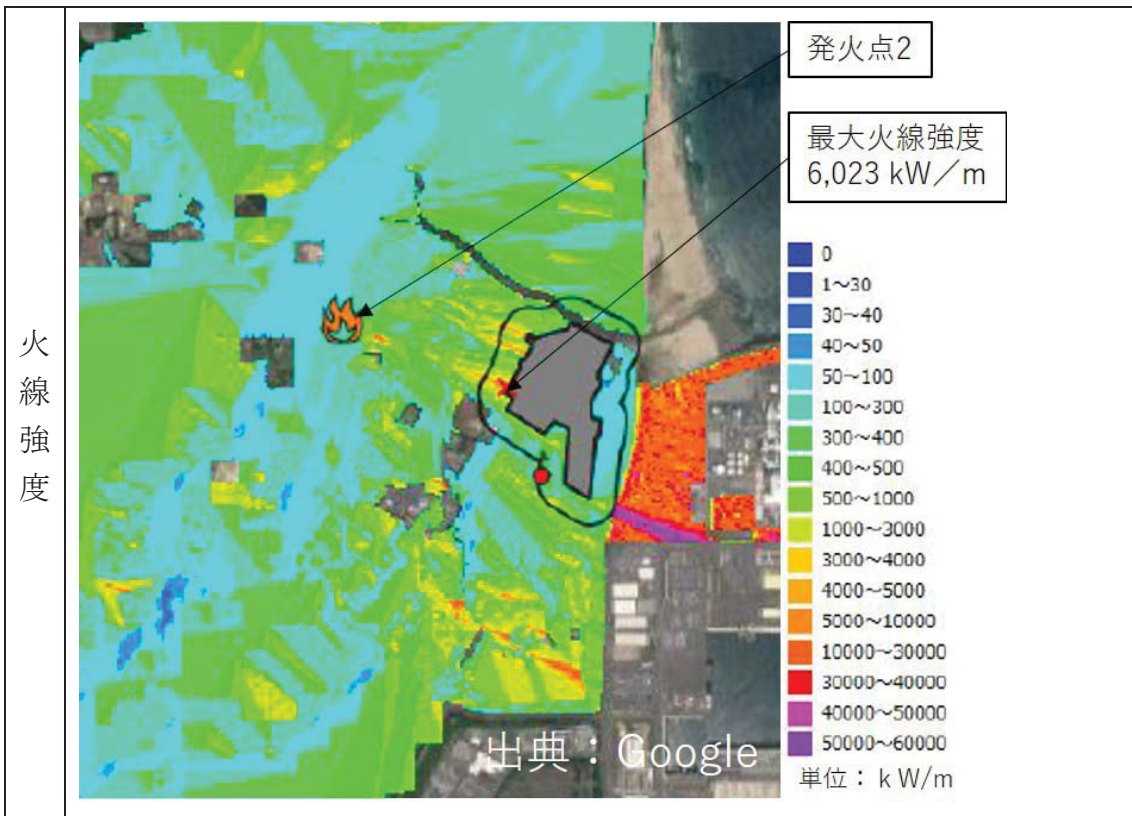


図 1-2 発火点 2 の延焼状況

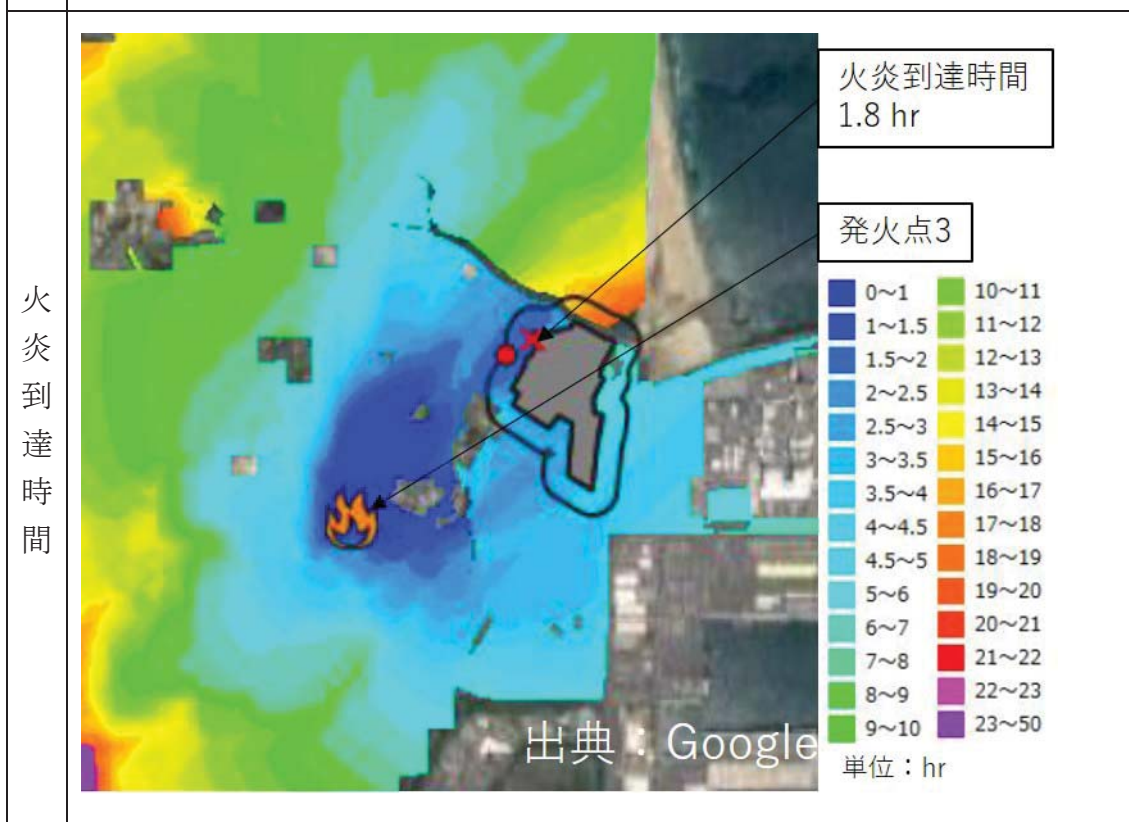
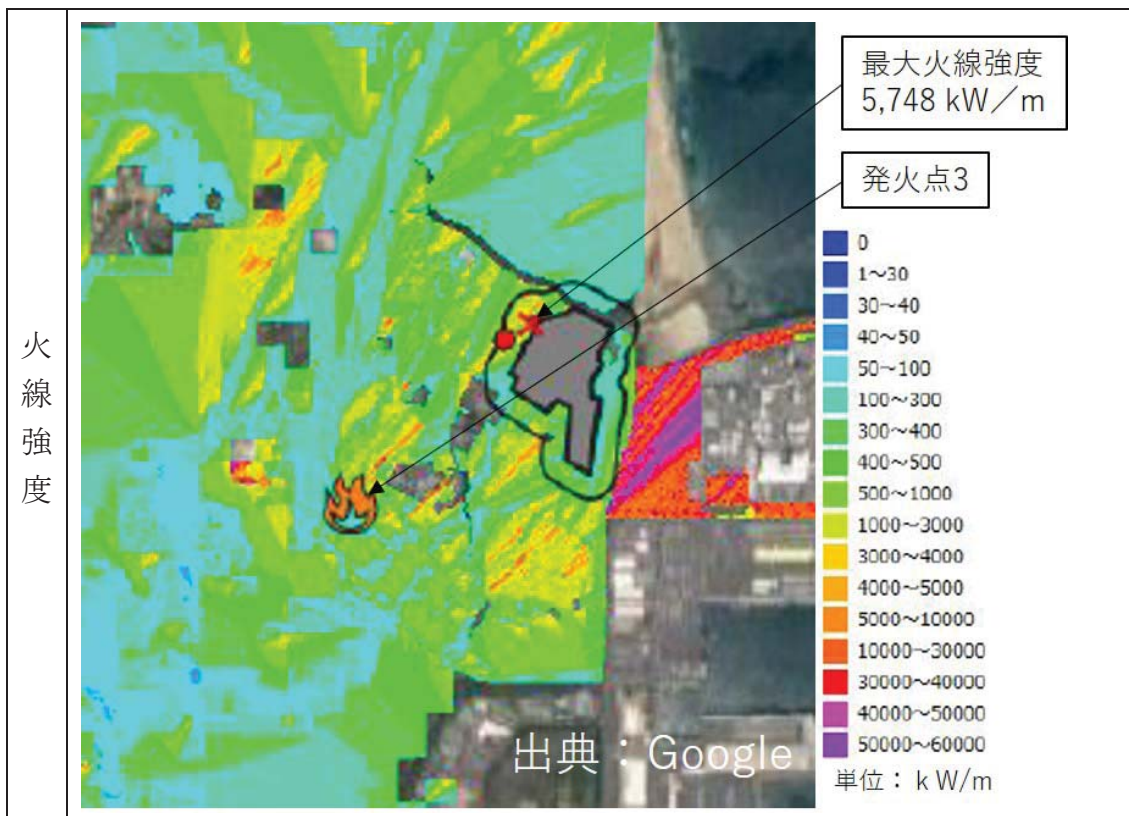


図 1-3 発火点 3 の延焼状況

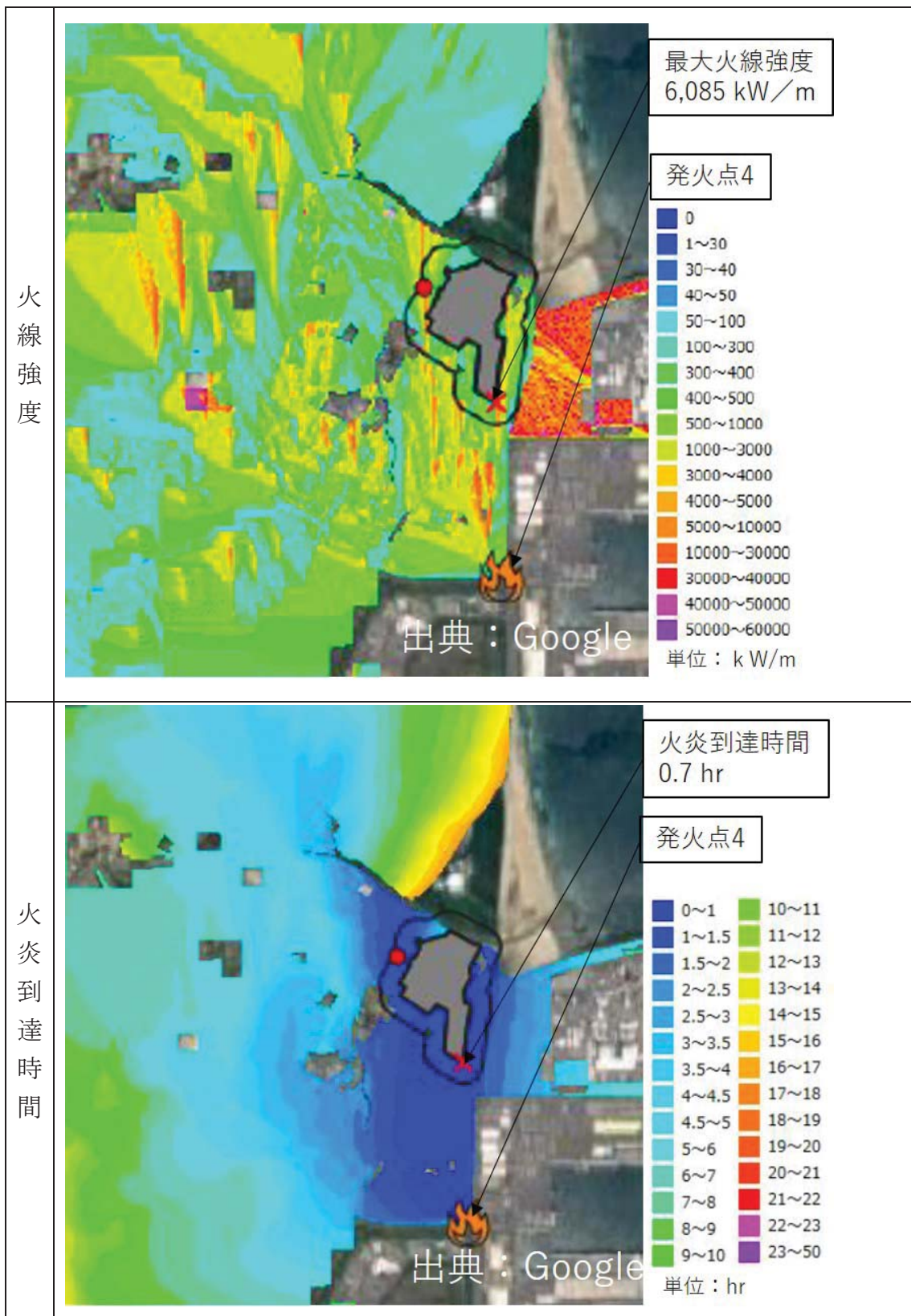


図 1-4 発火点 4 の延焼状況

核燃料サイクル工学研究所自衛消防隊について

1. 概要

核燃料サイクル工学研究所では核燃料サイクル工学研究所内及び近隣地域において発生した火災等の災害から従業員の生命並びに核燃料サイクル工学研究所の財産を保護するとともに、災害による被害を軽減することを目的自衛消防隊として消防班が組織されている。消防班は5分隊構成とし、そのうち1分隊は常駐隊である。常駐隊を除く各分隊は8名の班員をもって編成し、常駐隊は4名の班員をもって編成する。消防班の組織図を図1-1に示す。

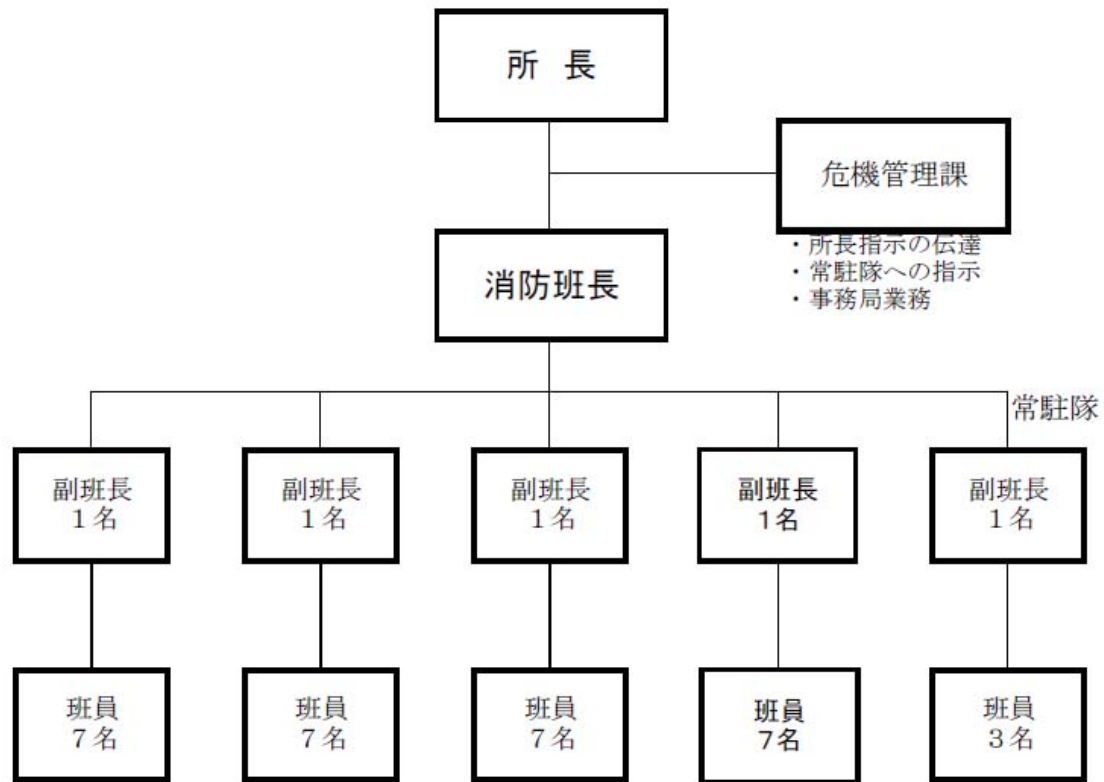


図 1-1 消防班の組織図の位置関係

2. 消防設備

森林火災が発生した際の消火活動に使用する消防設備として以下の設備を備えている。

2.1 消防タンク車

消防タンク車の仕様を表 2.1-1 に示す。消防タンク車の写真を図 2.1-1 に示す。

2.2 消防化学車

消防化学車の仕様を表 2.2-1 に示す。消防化学車の写真を図 2.1-1 に示す。

2.3 屋外消火栓

屋外消火栓の仕様を表 2.3-1 に示す。

表 2.1-1 消防タンク車の仕様

タンク容量	1,500ℓ
放水量	2.8m ³ /min
台数	3 台

表 2.2-1 消防化学車の仕様

タンク容量	1,500ℓ
放水量	2.8m ³ /min
消火剤量	300ℓ
台数	1 台

表 2.3-1 屋外消火栓の仕様

核燃料サイクル工学研究所内	102 か所
再処理施設内	41 か所
防火帯内	7 か所
放水ホース	3 本 × 20m



図 2.1-1 消防タンク車



図 2.2-1 消防化学車

3. 訓練

3.1 自衛消防隊

消防班は、毎月 2 回消防訓練を行っている。

訓練では、召集訓練、消防車を用いての操作訓練、放水訓練等を行っている。

3.2 合同訓練

核燃料サイクル工学研究所では、公設消防との連携強化を目的として、年 1 回以上公設消防と合同消火訓練を行っている。

訓練では、消防車を用いての操作訓練、放水訓練、中継給水訓練等を行っている。

合同訓練風景を図 3.2-1 に示す。



図 3.2-1 合同訓練風景

6-1-4-3-2-4-5

熱影響評価方法について

1. パラメータの算出

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書 A 森林火災の原子力発電所への影響評価について^[4]」(以下「ガイド」という。)に従い、FARSITE 解析結果である反応強度、火炎長、火炎到達時間から、熱影響評価に必要なデータを算出した。熱影響評価に用いたデータの説明を表 1-1 に、FAESITE 出力データ及び算出データを表 1-2 に示す。

火炎継続時間については、最大火炎輻射強度の発生メッシュと隣接メッシュにおける火炎到達時間の差より算出した。2 つ以上の伝播方向がある場合は、最大時間を選択した。森林火災評価における火炎継続時間の概念図を図 1-1 に示す。

表 1-1 評価方法一覧

項目		出力値の内容	評価方法
FARSITE 出力	火線強度 [kW/m]	火炎前線から単位時間に放出される熱量	敷地境界から 100 m 範囲における最大値ただし常陸那珂火力発電所の敷地は除外
	反応強度 [kW/m ²]	単位面積当たりの熱放出速度であり、火炎輻射強度の根拠となる火炎規模	敷地境界から 100 m 範囲における最大値ただし常陸那珂火力発電所の敷地は除外
	火炎長 [m]	火炎の高さ	最大火炎輻射強度（反応強度）位置における値
	火炎到達時間 [hour]	出火から火炎の前線が該地点に到達するまでの時間	敷地境界における最小値
	延焼速度[m/s]	火炎の延焼する速さ	最大火線強度位置における値
	単位面積当たり熱量[kJ/m ²]	単位面積当たりの放出熱量	最大火線強度位置における値
FARSITE 出力より算出したデータ	火炎輻射強度 [kW/m ²]	反応強度に米国 NFPA の係数 0.377 を乗じて算出	
	火炎継続時間 [hour]	到着時間から算出	最大火炎輻射強度位置と隣接する位置（火炎伝播方向）における到達時間の差の最大値（図 1-1 参照）
	火炎到達幅 [m]	敷地境界の火炎最前線の長さ	敷地境界で延焼したセル数×10 m で算定
	燃焼半径 [m]	火炎長に基づき算出	ガイドに従い、火炎長/3 で算定

表 1-2 FAESITE 出力データ及び算出データ

項目	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4
火炎長 [m]	1.6	1.2	1.7	1.1
火炎到達時間 [hour]	12.9	2.1	1.8	0.7
火炎輻射強度 [kW/m ²]	438	435	440	439
火炎継続時間 [hour]	0.06	0.12	0.05	0.13
火炎到達幅 [m]	780	1,620	1,620	1,620
燃焼半径 [m]	0.6	0.4	0.6	0.4

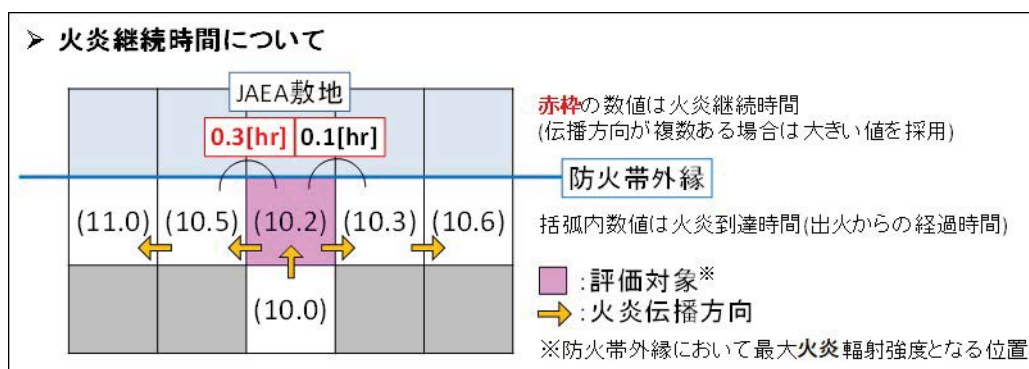


図 1-1 森林火災評価における火炎継続時間の概念図

2. 輻射強度の算出

表 1-2 で算出したデータに基づき、評価対象建屋受熱面における輻射強度を算出した。ガイドに従って、算出した火炎長と燃焼半径を有する円筒火炎が火炎到達幅の分だけ横一列に並ぶものとし、離隔距離分だけ離れた位置にある円筒火炎から燃焼開始後、火炎継続時間経過後に隣接するセル（セル幅 10 m）に延焼するものとした。図 2-1 に森林火災評価における円筒火炎モデルの概念図を示す。円筒火炎による輻射強度に関しては、ガイドに従って円筒火炎モデルの形態係数を算出し、これを火炎輻射強度と乗ずることで輻射強度を算出した。

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

$$A = (1+n)^2 + m^2$$

$$B = (1-n)^2 + m^2$$

$$m = H/R$$

$$n = L/R$$

ϕ : 形態係数

H : 火炎長 [m]

L : 離隔距離 [m]

R : 燃焼半径 [m]

さらに 10 m メッシュ内には燃焼半径から算出した F' 個の火炎が存在するものとして、評価対象が受ける輻射強度に火炎数を乗じて算出した。

$$E = F' \cdot R_f \cdot \phi \quad (\text{中心位置の火炎})$$

$$E = 2 \cdot F' \cdot R_f \cdot \phi \quad (\text{中心以外の火炎, 移動後})$$

E : 輻射強度 [W/m²],

ϕ : 形態係数

R_f : 火炎輻射強度 [W/m²]

F' : 円筒火炎モデル数 (10m メッシュ)

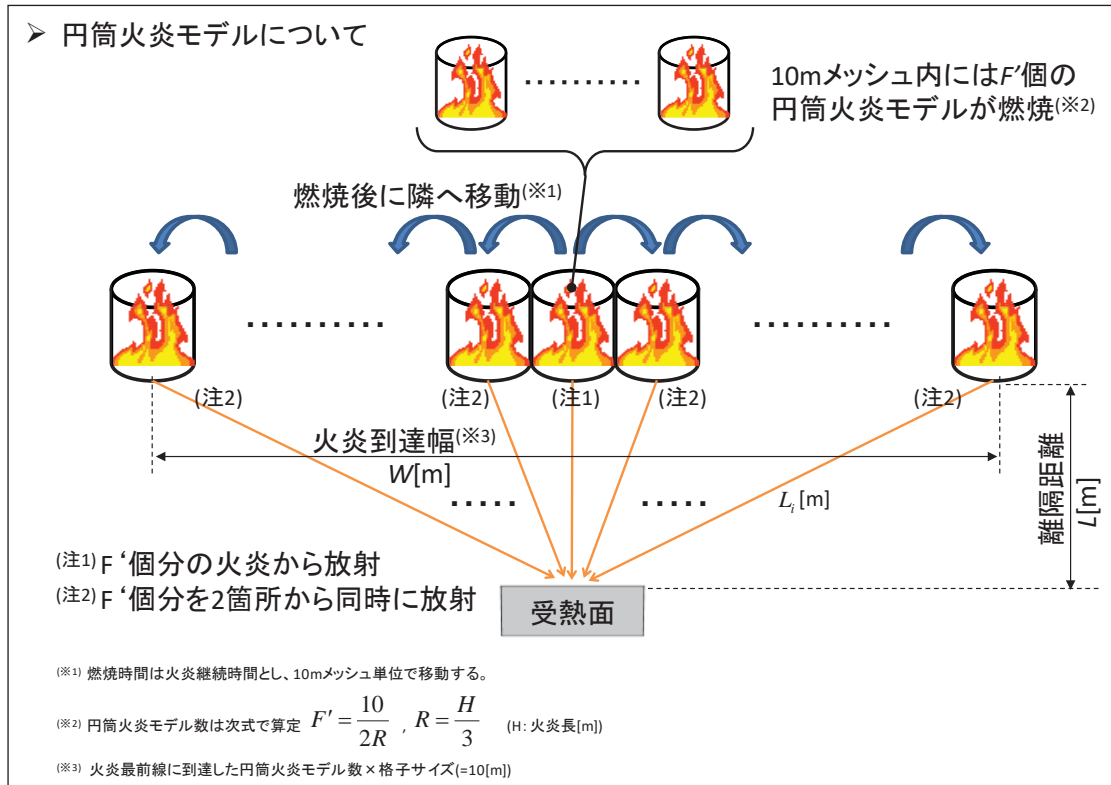


図 2-1 森林火災評価における円筒火炎モデルの概念図

3. 熱影響評価

3.1 離隔距離

熱影響評価対象施設から最も近い再処理施設敷地境界までの離隔距離を用いて評価を行った。熱影響評価対象施設から最も近い再処理施設敷地境界までの離隔距離を表 3-1 及び図 3-1 に示す。

3.2 許容温度

3.2.1 コンクリート製建屋

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200°C以下とした。(別紙参考 6-1-4-2-3-5-1 参照) なお、外壁にはガラリ、配管貫通部等が存在するが、これらに対する火災影響は敷地内火災に包絡されるため本評価では対象外とした。

3.2.2 第二付属排気塔

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、鋼材 (SMA41) の強度が維持される保守的な温度 350°C*以下とした。

* 「発電用原子力設備規格 材料規格 (JSMR)」に基づき、鋼材における常温時の強度が維持される保守的な温度である 350°Cを許容温度とする。

3.3 評価方法

3.3.1 コンクリート製建屋

建屋外壁温度は次式に示す 1 次元非定常熱伝導方程式^[2]を差分法により解くことで評価した。また、同式を用いて、外壁表面の温度が 200°Cとなる輻射強度を算出した。

$$\begin{aligned} \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) \\ -k \frac{\partial T}{\partial x} &= E - h(T - T_0) \quad (x = 0) \\ \frac{\partial T}{\partial x} &= 0 \quad (x = L) \end{aligned} \quad (1)$$

T	: 温度	[°C]
ρ	: 密度	(2,400 [kg/ m ³])
C_p	: 比熱	(963 [J/kg/K]) ^[3]
k	: 熱伝導率	(1.74 [W/ m/K]) ^[3]

- E : 輻射強度 [W/m²]
 L : 厚さ [m]
 h : 熱伝達率 (17.0 [W/m²/K])^[4]
 T_0 : 周囲空気温度 (50 [°C]) ※

※ : 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

(1) 式で求めた輻射強度となる形態係数 Φ を、ガイドに従い (2) 式により算出した。

$$E = R_f \cdot \phi \quad (2)$$

E : 輻射強度 [W/m²]
 R_f : 火炎輻射強度 [W/m²]
 ϕ : 形態係数

(2) 式で求めた形態係数 ϕ となる危険距離 L をガイドに従い (3) 式より算出した。

$$\phi = \frac{1}{\pi m} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left[\frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right) - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right) \right] \quad (3)$$

$$A = (1+n)^2 + m^2$$

$$B = (1-n)^2 + m^2$$

$$m = H / R$$

$$n = L / R$$

- ϕ : 形態係数
 H : 火炎長 [m]
 L : 離隔距離 [m]
 R : 燃焼半径 [m]

上記のとおり危険距離を算出し、最も近い防火帯外縁から影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお、天井スラブは以下の理由により、外壁の評価に包絡されるため実施しない。

- ・火炎長が天井スラブより短い場合、天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・火炎長が天井スラブより長い場合、天井スラブに輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。

3.3.2 第二付属排気塔

第二付属排気塔外壁温度は定常状態における温度評価とし、次式に示す熱バランス^[5]を解くことで評価した。また、同式を用いて、外壁表面の温度が350℃となる輻射強度を算出した。

$$T = \frac{E}{2h} + T_0 \quad (1)$$

T : 温度 [°C]

E : 輻射強度 [W/m²]

h : 熱伝達率 (17.0 [W/m²/K])^[4]

T_0 : 周囲空気温度 (50 [°C]) ※

※：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

(1) 式で求めた輻射強度となる形態係数 ϕ を、ガイドに従い (2) 式により算出した。

$$E = R_f \cdot \phi \quad (2)$$

E : 輻射強度 [W/m²]

R_f : 火炎輻射強度 [W/m²]

ϕ : 形態係数

(2) 式で求めた形態係数 ϕ となる危険距離 L をガイドに従い (3) 式より算出した。

$$\phi = \frac{1}{\pi m} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left[\frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right) - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right) \right] \quad (3)$$

$$A = (1+n)^2 + m^2$$

$$B = (1-n)^2 + m^2$$

$$m = H / R$$

$$n = L / R$$

ϕ : 形態係数

H : 火炎長 [m]

L : 離隔距離 [m]

R : 燃焼半径 [m]

上記のとおり危険距離を算出し、最も近い防火帯外縁から影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

表 3-1 熱影響評価対象施設から最も近い再処理施設敷地境界までの離隔距離

施設名称略	離隔距離(m)
HAW	37
TVF	21
第二付属排気塔	71

*離隔距離は保守性を考慮し、小数点第1位で切り下げ

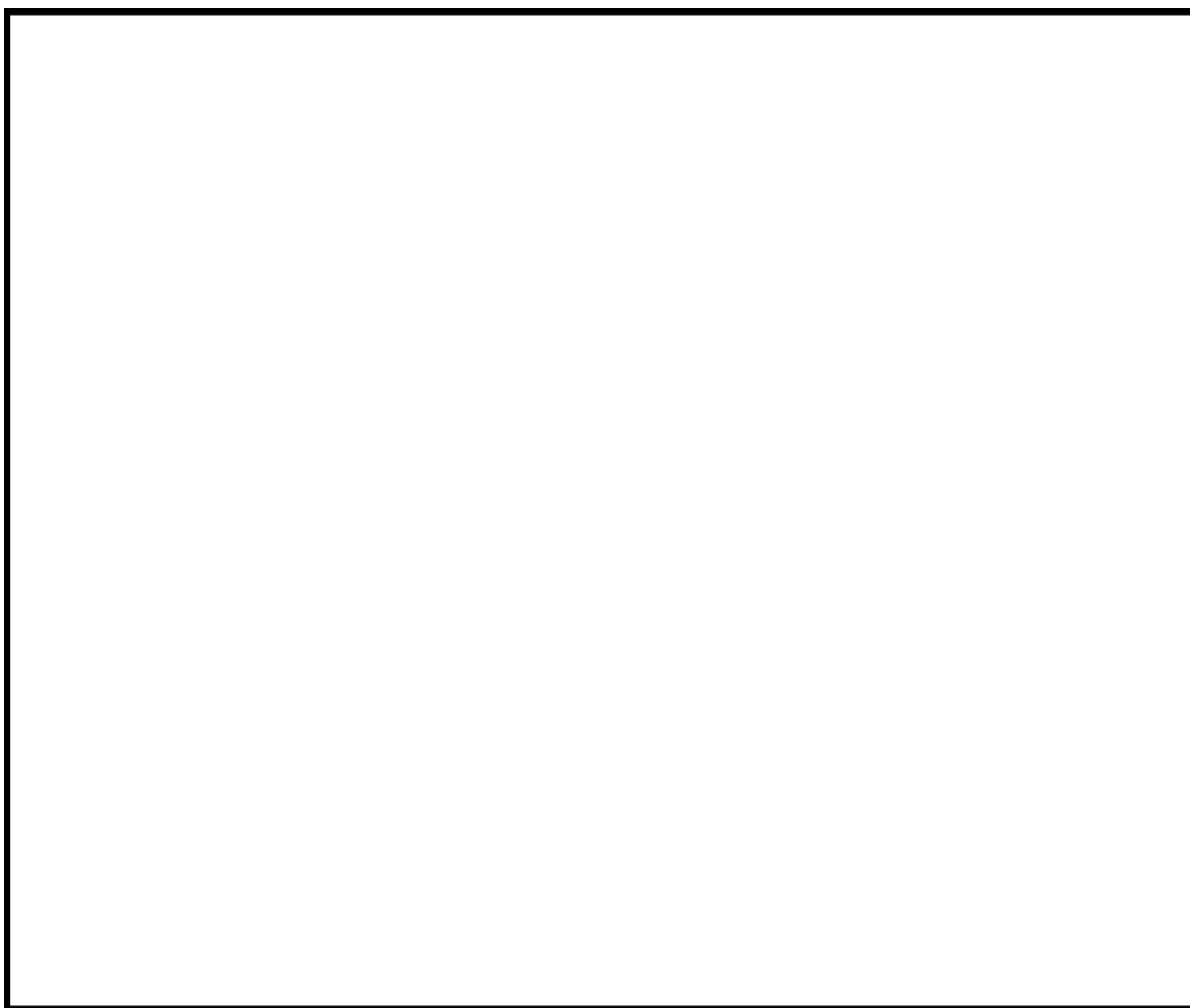


図 3-1 熱影響評価対象施設から最も近い再処理施設敷地境界までの離隔距離

4. 参考文献

- [1]原子力規制委員会，発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書 A 森林火災の原子力発電所への影響評価について，平成 25 年 6 月.
- [2]伝熱工学 東京大学出版会（1995）
- [3]日本建築学会．原子炉建屋構造設計指針 同解説（1988）

[4]空気調和・衛生工学便覧 空気調和・衛生工学会 (2010)

[5]建築火災のメカニズムと火災安全設計, 原田和典, (財) 日本建築センター,
(2007)

コンクリートの許容温度について

1. コンクリートの許容温度

「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）」^[1]に基づき、コンクリートの強度が維持される温度である 200℃を許容温度として設定する。図 1-1 に「建築火災のメカニズムと火災安全設計」の抜粋を示す。

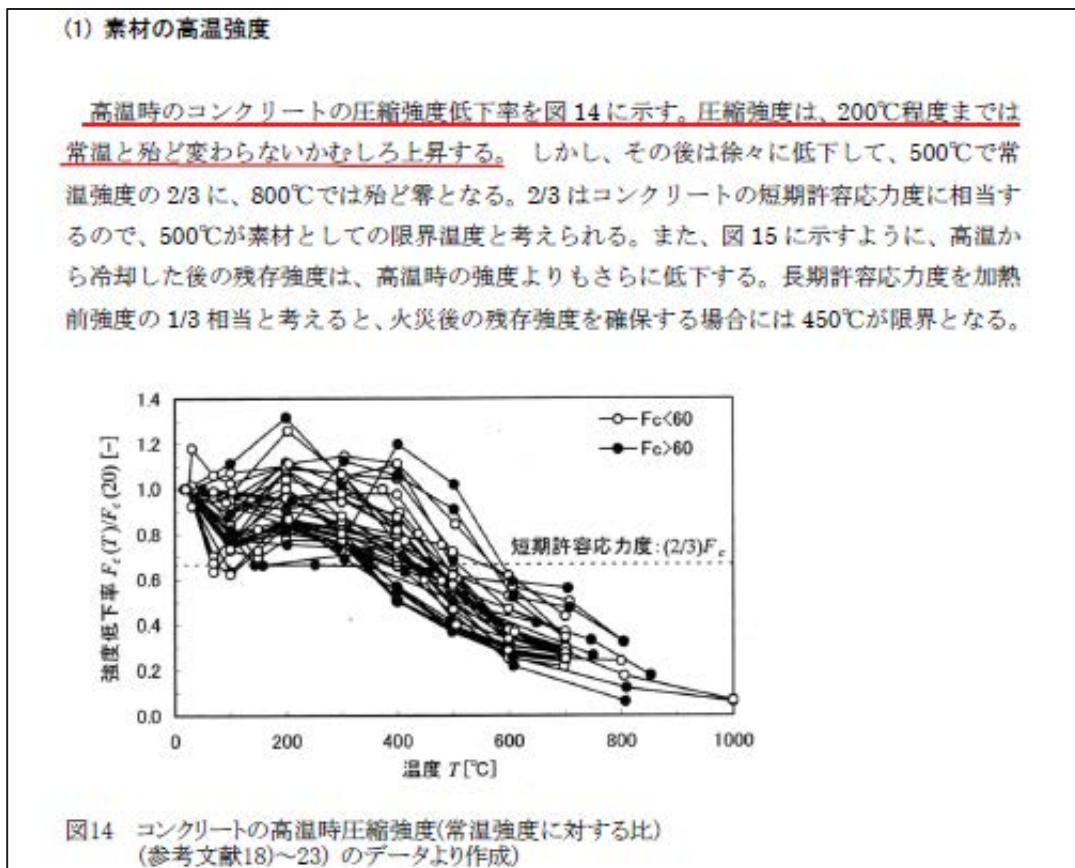


図 1-1 「建築火災のメカニズムと火災安全設計」の抜粋

2. 参考文献

- [1] 建築火災のメカニズムと安全設計，原田和典，財団法人日本センター，2007年

防火帯の管理方針について

1. はじめに

森林火災評価結果に基づき、森林火災による施設への延焼防止対策として、高放射性廃液貯蔵場（HAW）ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟及び第二付属排気塔の周囲に防火帯を設定する。防火帯内に他の法令要求等による可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とし、防火帯の延焼防止効果を損なわない設計とする。防火帯の管理方法について以下に示す。

2. 防火帯の管理方針

防火帯の設定に当たっては、樹木を伐採する等、可燃物を排除し、防火帯内に草木が生えないように、モルタル吹付け、砂利、防草シート等の処理を行う。

また、防火帯は表示板等で明確に区別するとともに、構内道路の一部を防火帯として使用している箇所については、駐車禁止の措置等により、原則的に可燃物がない状態を維持する。

防火帯には延焼防止効果に影響を与えるような可燃物を含む機器等は、原則的に設置しない方針であるが、防火帯の位置設定においては施設建家、構内道路等の条件を考慮して設定するため、他の法令要求等により標識等を設置する場合は、延焼防止効果への影響の有無を評価し、必要な対策を講じる設計とする。

表 1-1 に防火帯内に設置される機器等の例について示す。

表 1-1 防火帯内に設置される機器等の評価及び管理方針の例

分類		対象例	評価及び管理方針
不燃性の機器等		<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート製建屋 ・排気塔 ・送電線 ・ケーブル 	火災により燃焼しない。防火帯延焼防止効果に影響を与えないことから、当該対象に対して対策は不要である。
可燃性を含む機器等	局所的な設置機器	<ul style="list-style-type: none"> ・標識 ・構内監視カメラ 	局所的な火災に留まるため防火帯の機能に影響はない。防火帯延焼防止効果に影響を与えないことから、当該対象に対して対策は不要である。
	防火帯を横断して設定	<ul style="list-style-type: none"> ・道路 	道路上に設定される防火帯内は車両の駐車禁止、可燃物を配置しない管理を行うことで、延焼防止効果に影響を与えない。

6-1-4-2-3-6-2

有毒ガス・ばい煙影響評価の方法

1. 概要

外部火災により発生するばい煙については、火炎による上昇気流により上空に運ばれるため、ばい煙が防護対象設備の周辺に滞留する可能性は低いと考えられるが、ばい煙及び有毒ガスが設備に与える影響について、評価を実施する。

2. 評価対象

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド^[1]」では、ばい煙による安全上重要な設備に対する影響として、燃焼生成物の換気又は空気供給系からの侵入による電気故障、非常用ディーゼル発電機の故障、有毒ガスによる影響等が挙げられている。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟に電力やユーティリティを供給する既設の恒設設備（外部電源及び非常用発電機、蒸気及び工業用水の供給施設）については事故対処設備として配備する設備により代替するため、ばい煙の影響が想定される設備として、「外気を取り込む空調系統」について評価を実施する。また、建屋内にばい煙及び有毒ガスを含んだ外気が取り込まれた場合の居住性の観点から評価を実施する。影響評価対象設備を表 2-1 に示す。

表 2-1 ばい煙及び有毒ガスによる影響評価対象

分類		評価対象設備
機器への影響	外気を取り込む空調系統	換気系設備
居住性への影響	外気を取り込む空調系統	HAW 内居住空間 TVF 内居住空間

3. 評価結果

3.1 外気を取り込む空調系統

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の換気系統の給気用のファン入口にはフィルタが設置されている。捕集率 85%以上（粒形 10 μ m）のプレフィルタおよび捕集率 97%以上（粒形 0.3 μ ）のフィルタを有しているため、外部火災で発生する粒径が一定以上のばい煙は、このフィルタにより侵入を阻止可能である。また、ばい煙によるフィルタの閉塞については、給気圧又は施設負圧を監視することで検知可能である。

したがって、ばい煙の影響により外気を取り込む空調系統に直ちに影響を与えることはない。

HAW 換気系の系統概略図を図 3-1 に、TVF 換気系の系統概略図を図 3-2 に示す。に示す。

3.2 居住性評価

また、高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟に侵入する有毒物質（CO, CO₂, PM10（ばい煙））の最大濃度を「有毒ガス防護に係る影響評価ガイド」^[2] で判断基準とされている **Immediately Dangerous to Life of Health**^{*}^[3]（以下「IDLH」という。）と比較することで、有毒ガスに対する評価を実施し、作業員に影響を及ぼさないことを評価した。

森林火災により発生する有毒ガス及びばい煙の濃度については、FARSITE の解析である火災による有毒ガス発生量、風速及び大気拡散度に基づき、原子力施設の安全審査で使用される有風時プルーム式を用いて、評価対象となる原子炉施設の有毒ガス濃度を求めた。表 3.2-1 に、森林火災に対する有毒ガス濃度の最大値及び発生時刻を表 3.2-2 に、森林火災に対するばい煙濃度の最大値及び発生時刻を示す。

詳細な評価方法及び評価に必要な入力データは、別紙参考 6-1-4-2-3-7-1 に示す。

その結果、全ての評価対象において IDLH 以下であり、高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の居住性が損なわれることはないと評価できた。

※：30 分曝露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値であり、脱出を妨げる目や呼吸器への刺激の予防も考慮されている。

表 3.2-1 有毒ガス濃度最大値及び最大値発生時刻

CO₂濃度

発火点	HAW		TVF	
	最大濃度 [ppm]	発生時刻 [hr]	最大濃度 [ppm]	発生時刻 [hr]
発火点 1	206	2.5	238	2.0
発火点 2	74	1.5	68	1.5
発火点 3	20	3.0	23	6.5
発火点 4	4	1.5	14	1.0

IDLH	40000[ppm]
------	------------

CO濃度

発火点	HAW		TVF	
	最大濃度 [ppm]	発生時刻 [hr]	最大濃度 [ppm]	発生時刻 [hr]
発火点 1	17.77	2.5	18.91	1.0
発火点 2	6.80	0.25	6.02	0.25
発火点 3	0.92	9.0	1.14	9.0
発火点 4	0.41	1.5	1.03	1.0

IDLH	1200[ppm]
------	-----------

表 3.6.2-1 ばい煙濃度最大値及び最大値発生時刻
ばい煙 (PM10) 濃度

発火点	HAW		TVF	
	最大濃度 [mg/m ³]	発生時刻 [hr]	最大濃度 [mg/m ³]	発生時刻 [hr]
発火点 1	0.52	2.5	0.52	2.5
発火点 2	0.18	0.25	0.16	0.25
発火点 3	0.03	9.0	0.04	6.5
発火点 4	0.02	1.5	0.04	1.0

IDLH	1750[mg/m ³]
------	--------------------------

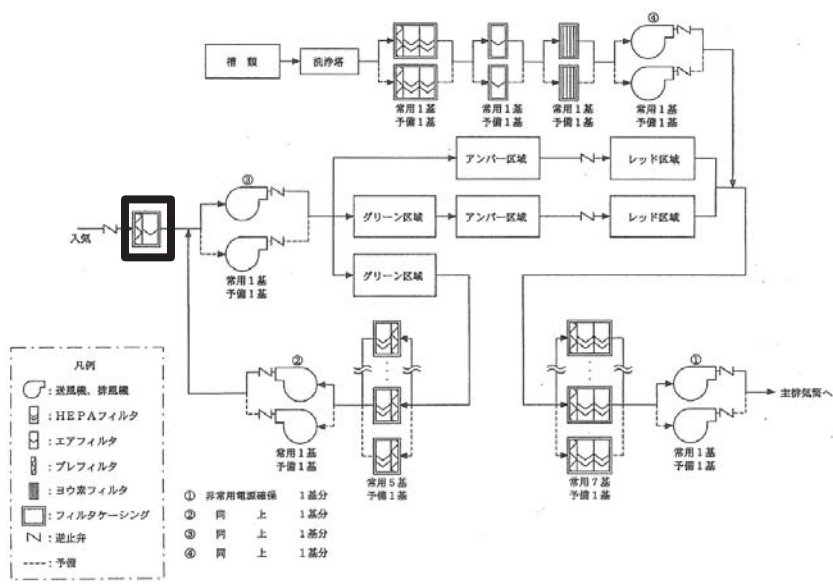


図 3.2-1 HAW 換気系の系統概略図

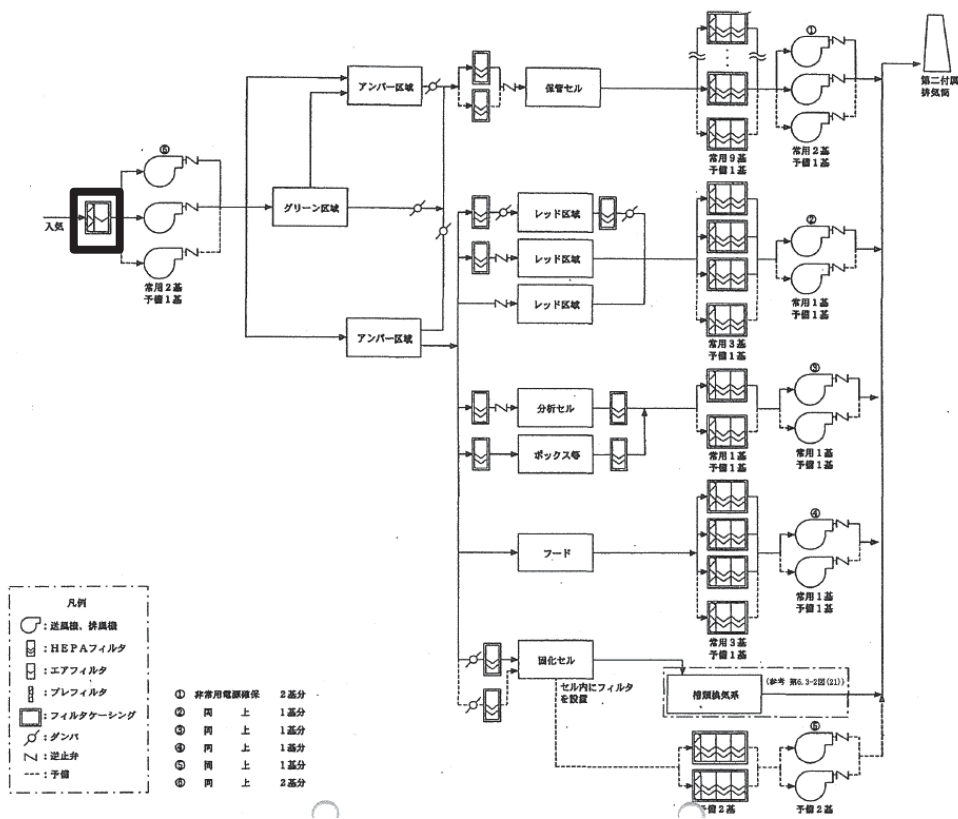


図 3.2-2 TVF 換気系の系統概略図

4. 参考文献

- [1]原子力規制委員会, 発電所の外部火災影響評価ガイド, 平成 25 年 6 月.
- [2]原子力規制委員会, 有毒ガス棒に係わる影響評価ガイド, 平成29年4月.
- [3]The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH),Immediately Dangerous To Life or Health (IDLH) Values (<https://www.cdc.gov/niosh/idlh/intridl4.html>)

有毒ガス・ばい煙発生量の算出について

1. 評価方法

FARSITE 解析より得られた各種発生量及び発生熱量を入力とした。

FARSITE の解析結果のうち、有毒ガス・ばい煙濃度評価に用いるデータを以下に示す。

- (a) CO₂ 発生量
- (b) CO 発生量
- (c) PM10 発生量
- (d) 発熱量

前述の入力データ(a)～(d)を用いて、以下に示す評価式より評価対象施設における有毒ガス・ばい煙濃度を求めた。[1]

(有風時プルーム式)

$$C_{xyz} = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left(\exp\left\{-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right)$$

(有風時浮力プルーム上昇量評価式 CONCAWE 式)

$$H_e = 0.175Q_H^{1/2} u^{-3/4}$$

- C_{xyz} : 濃度[体積分率または kg/m³]
- Q : 有毒ガス発生量[m³/s または kg/s]
- H_e : 有効発生高さ[m]
- σ_y, σ_z : 拡散パラメータ
- Q_H : 廃棄熱量[cal/s]
- u : 風速[m/s]
- y : 排気プルーム軸からの距離[m]
- z : 発生源と給気口との鉛直方向距離[m]

複雑地形の影響については、CRSTER モデルにより考慮した。図 1-1 に概念図を示す。[2]

- ・ 発生源の標高 \geq 評価点の標高
→ 発生源の標高を評価点の標高とする
- ・ 発生源の標高 $<$ 評価点の標高
→ 評価点の標高をそのまま用いる

浮遊粒子状物質の評価については、ストークスの式より粒子の沈降速度を考慮した。図 1-2 に概念図を示す。

$$V_G = \frac{2(D/2)^2 \cdot \rho_s \cdot g}{9 \cdot \varepsilon \cdot \rho_a}$$

V_G : 粒子の沈降速度[m/s]

D : 粒形[m]

ρ_s : 粒子の密度[g/m³]

g : 重力加速度[m/s²]

ε : 空気の動粘性係数[m²/s]

ρ_a : 空気の密度(g/m³)

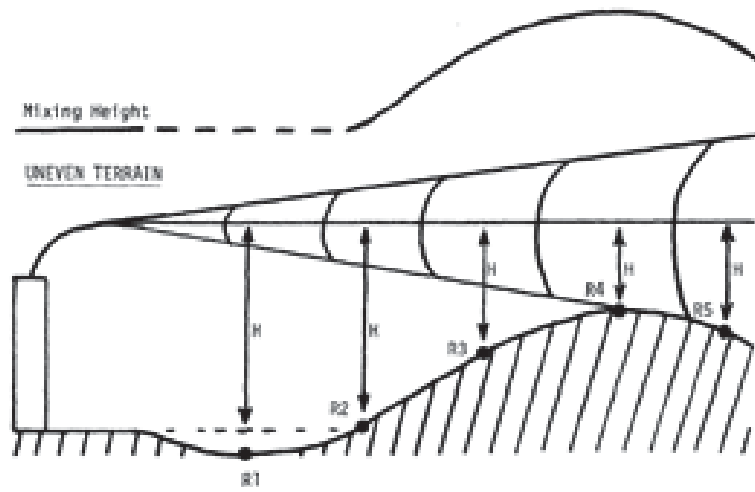


図 1-1 CRSTER コードで採用されている複雑地形効果の概念図

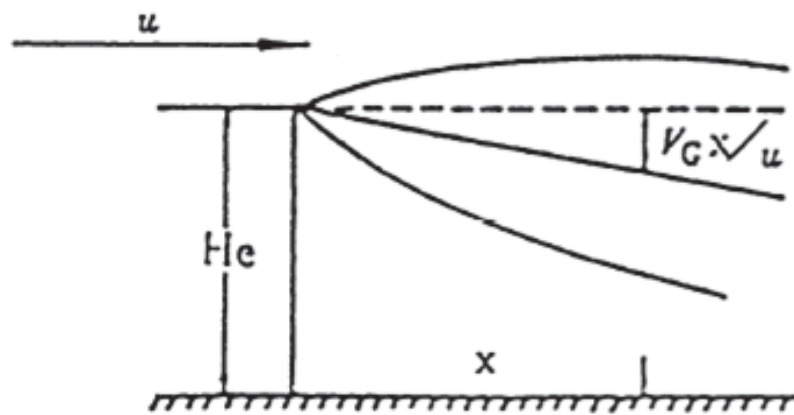


図 1-2 有毒ガス・ばい煙の重力沈降の概念図

2. 評価に必要な入力データ

評価の実施にあたって、以下に示す入力データを設定した。

- ・評価対象の位置及び高さ
- ・有毒ガス・ばい煙の発生量
- ・火災源からの発熱量
- ・気象等の環境条件

以下に、その詳細を示す。

2.1 評価対象の位置

有毒ガス・ばい煙は、浮力プルームを形成して上空に到達後に拡散することから、各評価対象施設における評価点位置は建家の天井中心位置とした。評価点高さは T.P.基準で設定した。表 2-1 に評価点の高さを示す。

2.2 有毒ガス・ばい煙の発生量

FARSITE の計算結果により出力される有毒ガス・ばい煙発生量を採用した。評価対象とした成分は以下のとおりである。

- ・有毒ガス： CO 及び CO₂
- ・ばい煙： PM10

2.3 火災源からの発熱量

浮力プルームの上昇量算出のために用いる。2.3 と同様に FARSITE の計算結果出力を採用した。

2.4 気象等の環境条件

風向及び風速については、FARSITE の入力値と同じ値を採用した。

また、評価においては大気拡散パラメータ(表 2-2)を指定する必要がある。大気拡散パラメータについては、プルーム軸が上空数十 m～数百 m に位置するため、地表付近の有毒ガス・ばい煙濃度に対しては、拡散が強いほど濃度が高くなり保守的な評価となるため、最も拡散が強くなる大気安定度 A における拡散パラメータを採用した。

2.6 実施ケース

森林火災評価実施ケースにおいて、発火点 1～4 での有毒ガス・ばい煙濃度評価を実施した。

表 2-1 有毒ガス・ばい煙評価における評価点の高さ

評価対象	評価点	評価点 地上高(m)	標高(T.P.+m)	
			地上(敷地面)	評価点高さ
HAW	入気チャンパー	21.00	6.00	27.00
TVF	給気塔 (入気口)	25.45	7.65	33.10

表 2-2 大気拡散パラメータ(Briggs の内挿式)

Pasquill type	σ_y, m	σ_z, m
Open-Country Conditions		
A	$0.22x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.20x$
B	$0.16x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.12x$
C	$0.11x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.0002x)^{-1/2}$
D	$0.08x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.06x(1 + 0.0015x)^{-1/2}$
E	$0.06x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.03x(1 + 0.0003x)^{-1}$
F	$0.04x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.016x(1 + 0.0003x)^{-1}$
Urban Conditions		
A-B	$0.32x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.24x(1 + 0.001x)^{1/2}$
C	$0.22x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.20x$
D	$0.16x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.14x(1 + 0.0003x)^{-1/2}$
E-F	$0.11x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.00015x)^{-1/2}$

3. 実施結果

図 3-1 から図 3-12 に、有毒ガス・ばい煙濃度の最大発生時刻における濃度分布を示す。

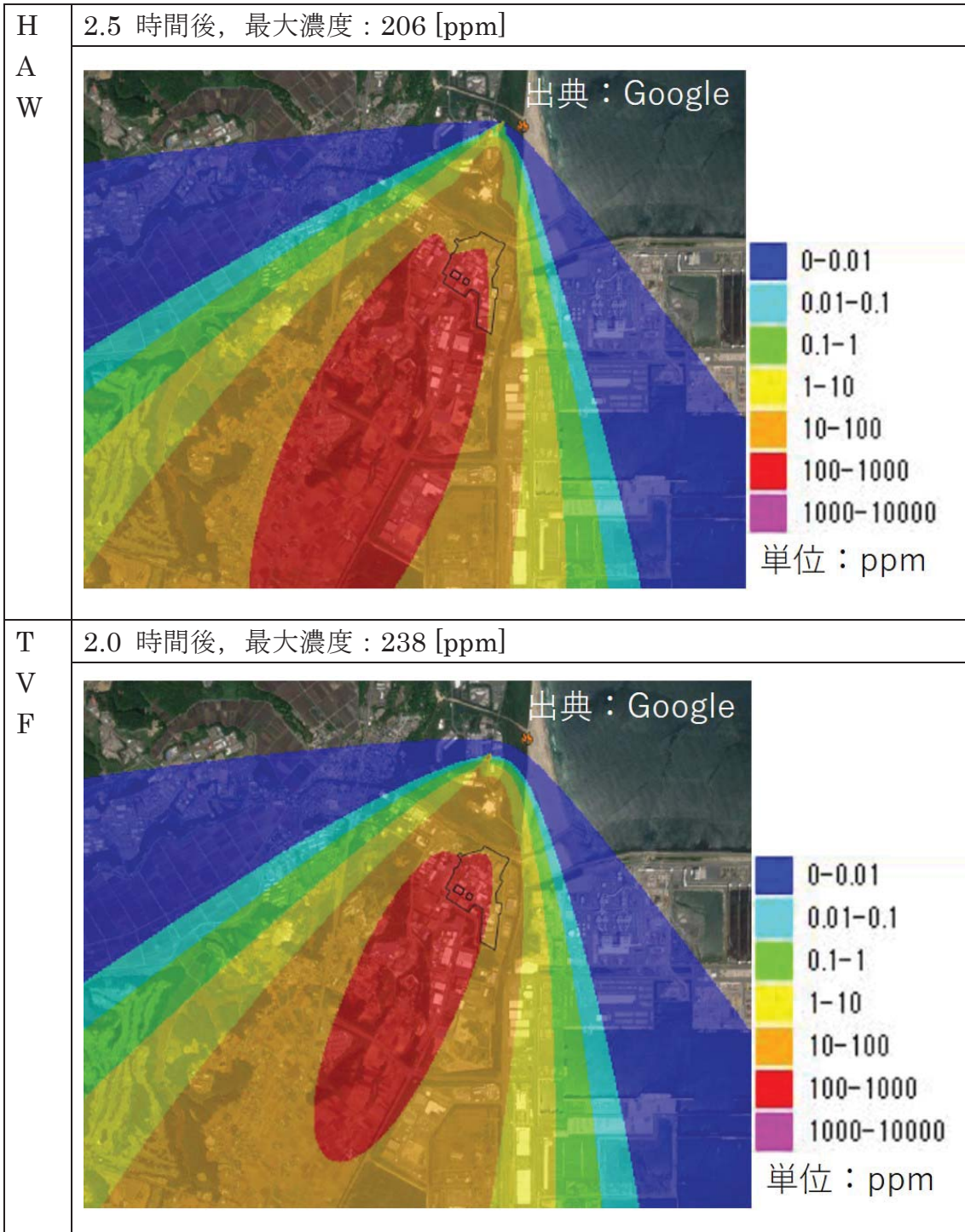


図 3-1 CO₂濃度分布 (発火点 1)

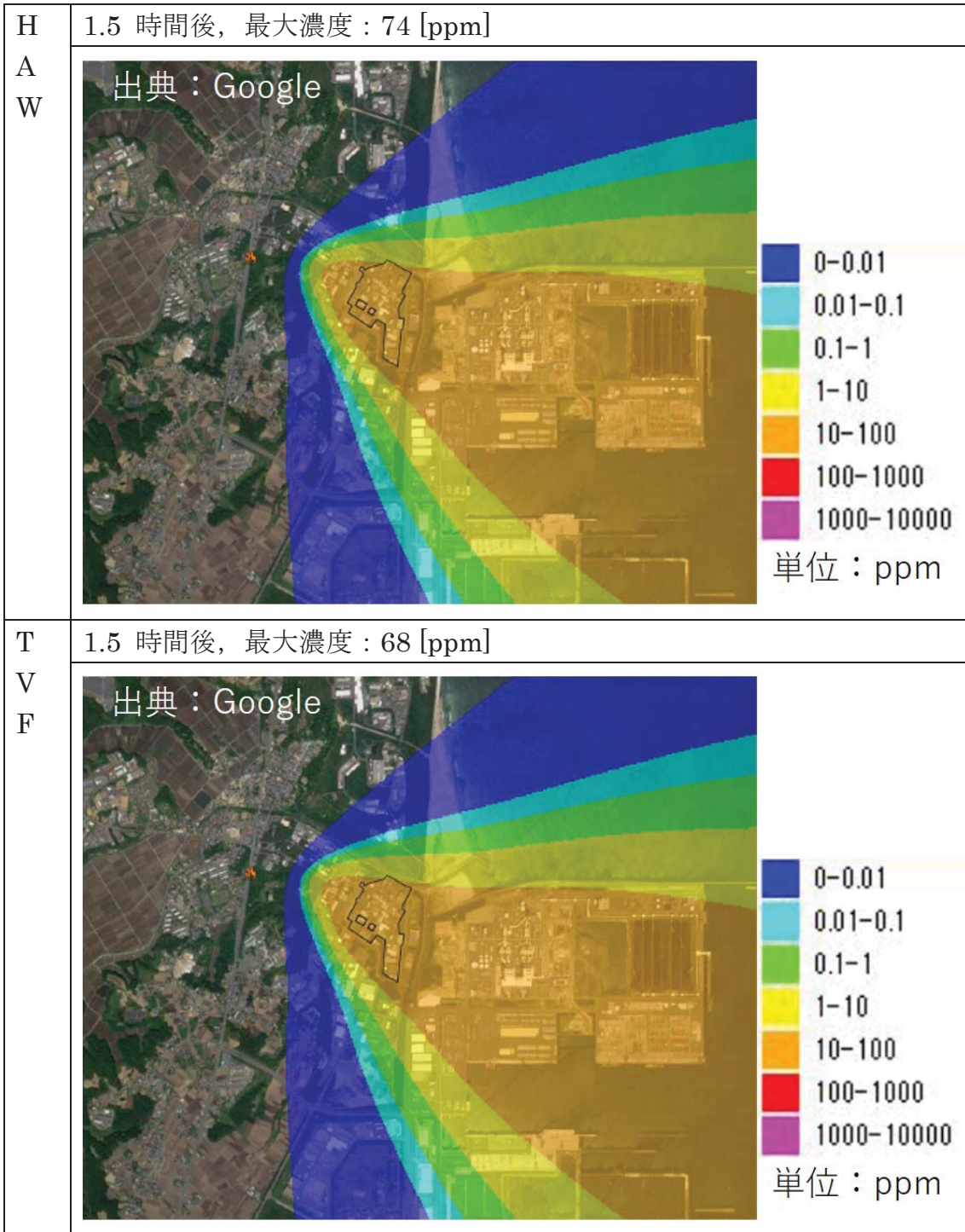


図 3-2 CO₂濃度分布 (発火点 2)

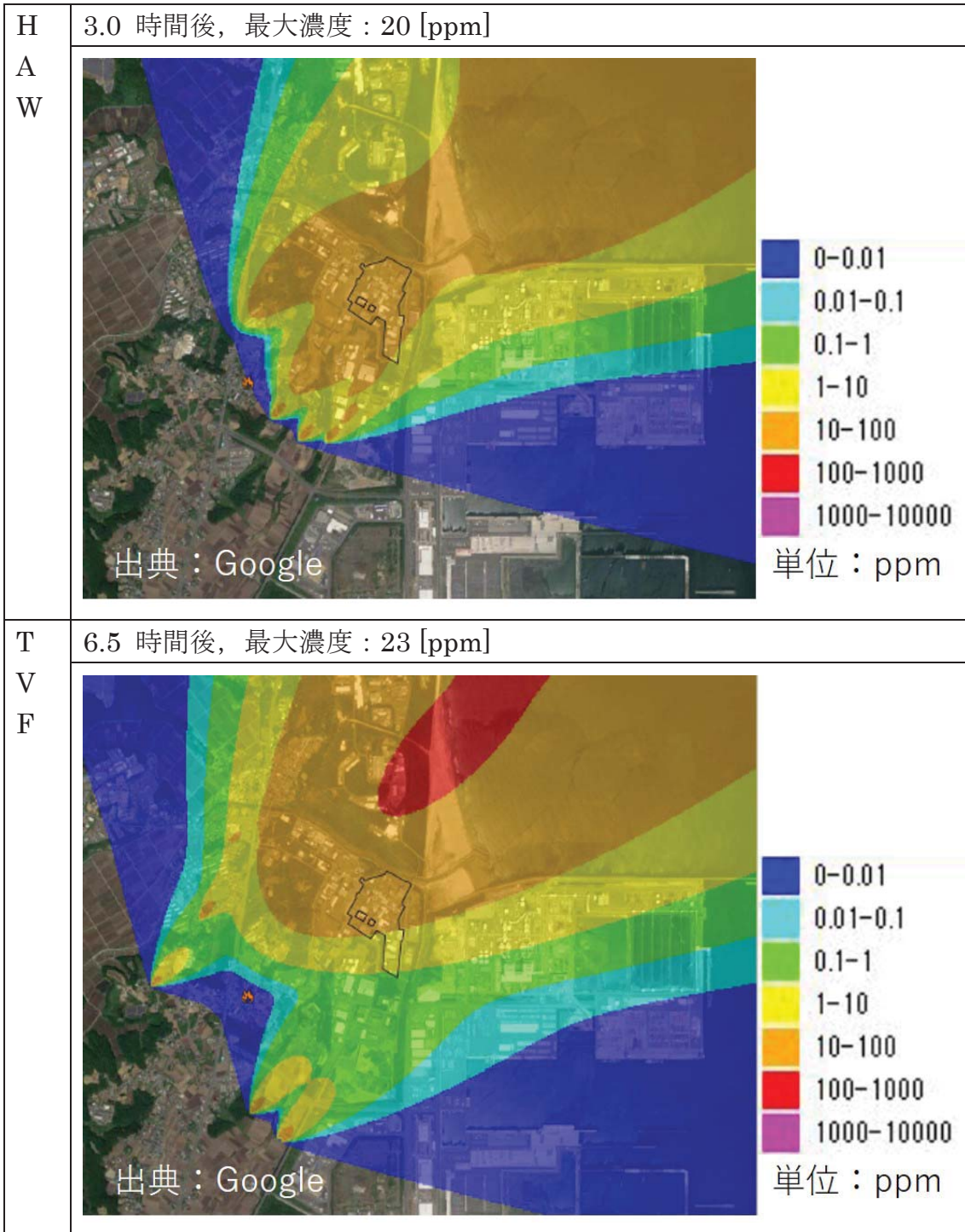


図 3-3 CO₂濃度分布 (発火点 3)

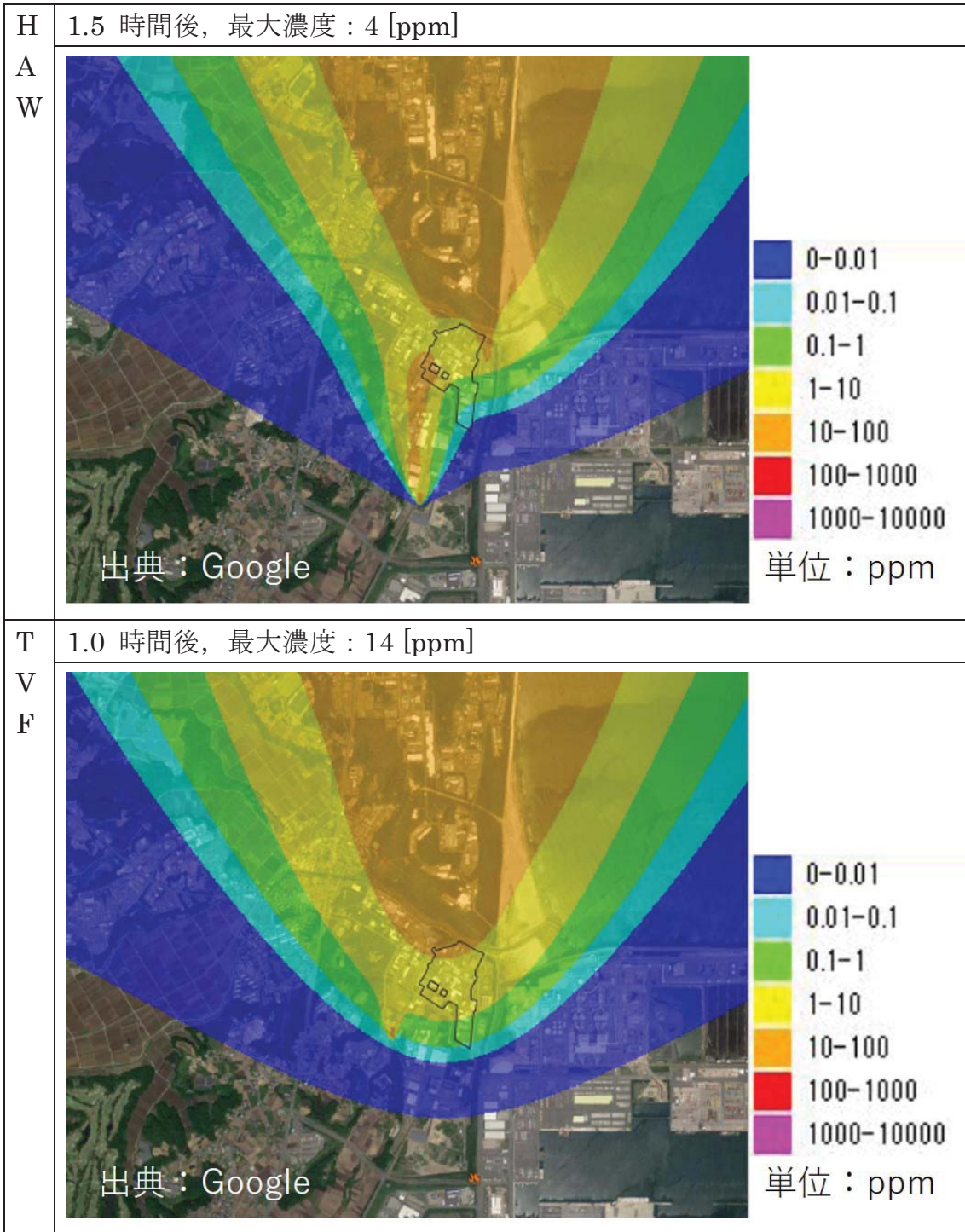


図 3-4 CO₂濃度分布（発火点 4）

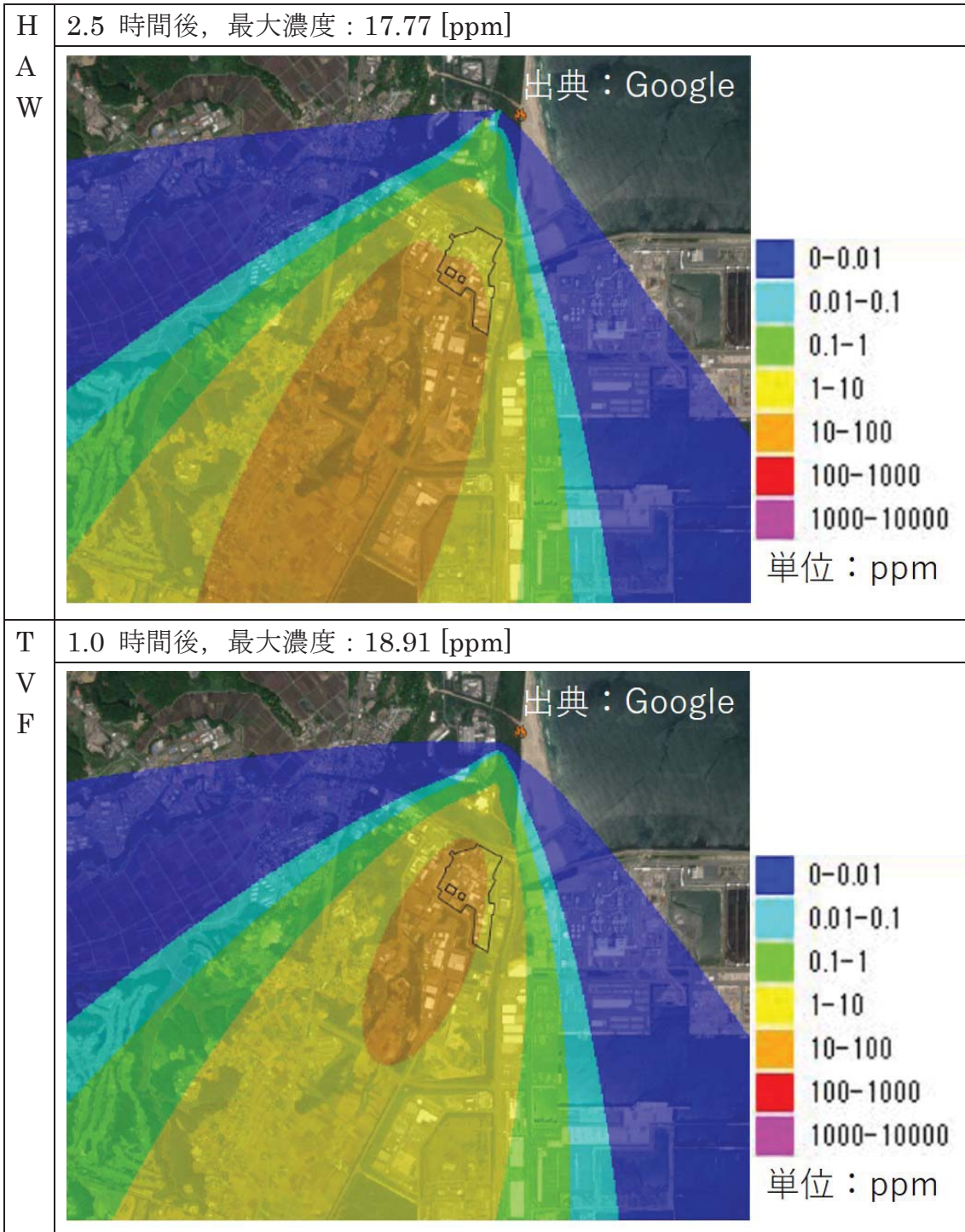


図 3-5 CO 濃度分布 (発火点 1)

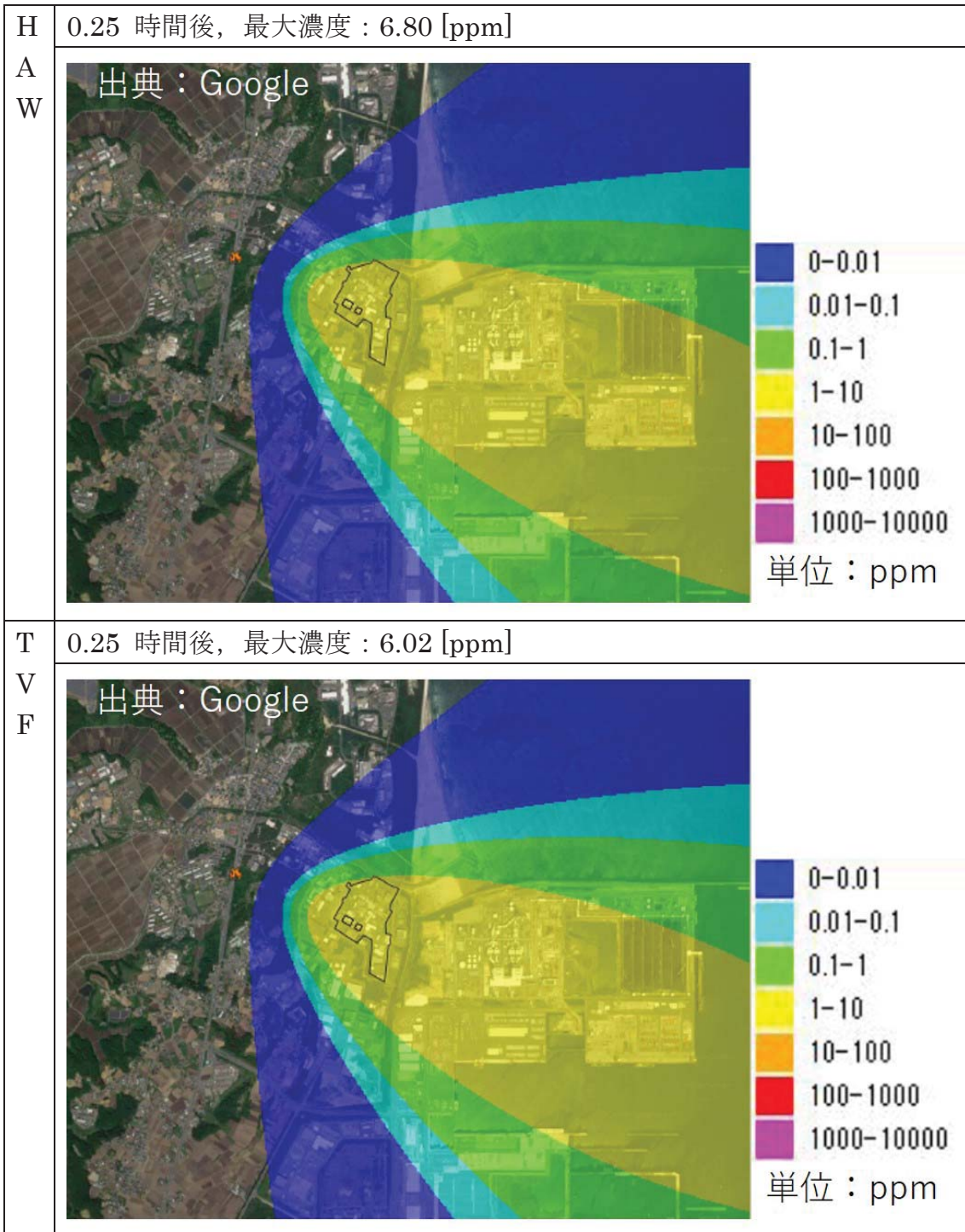


図 3-6 CO 濃度分布 (発火点 2)

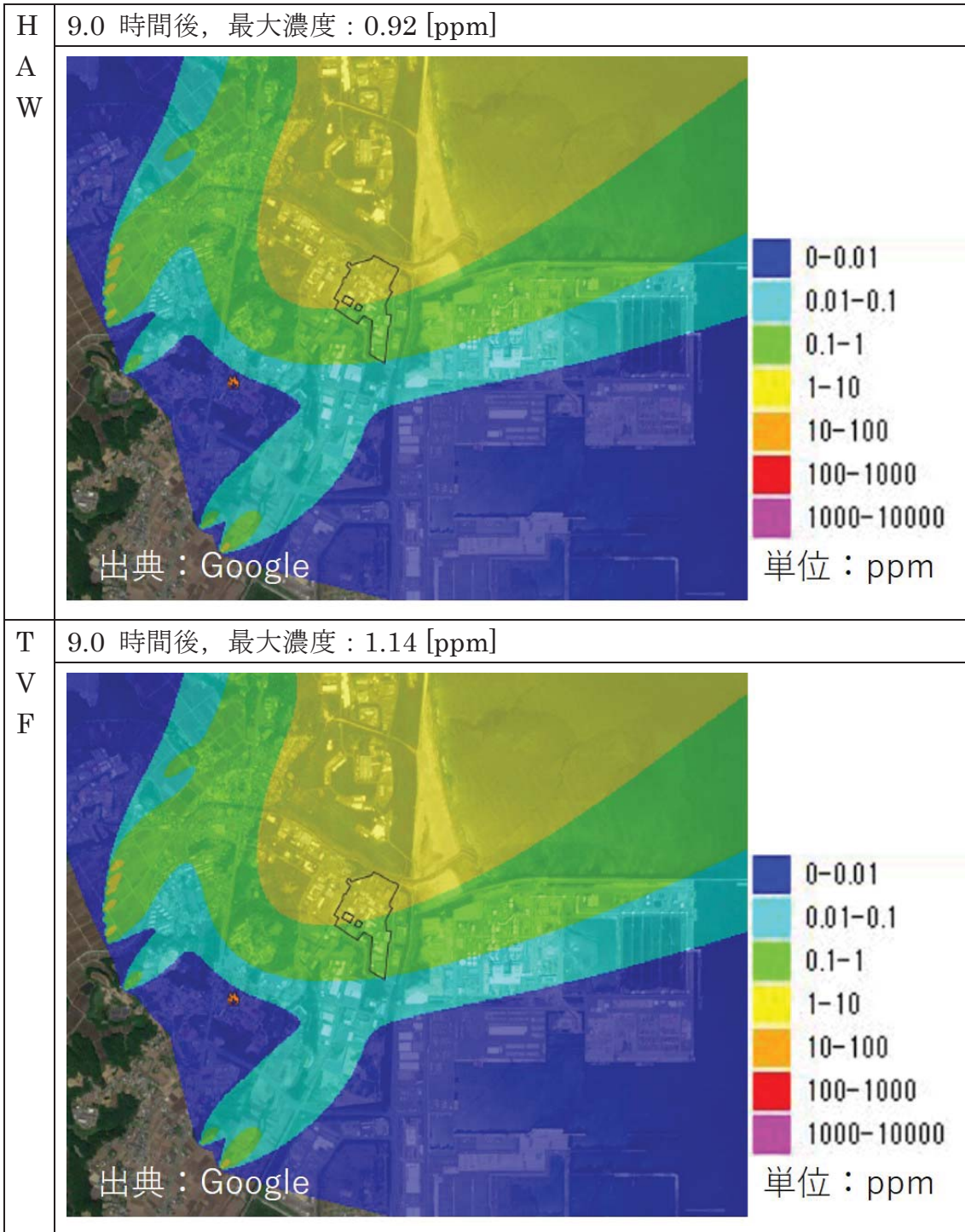


図 3-7 CO 濃度分布 (発火点 3)

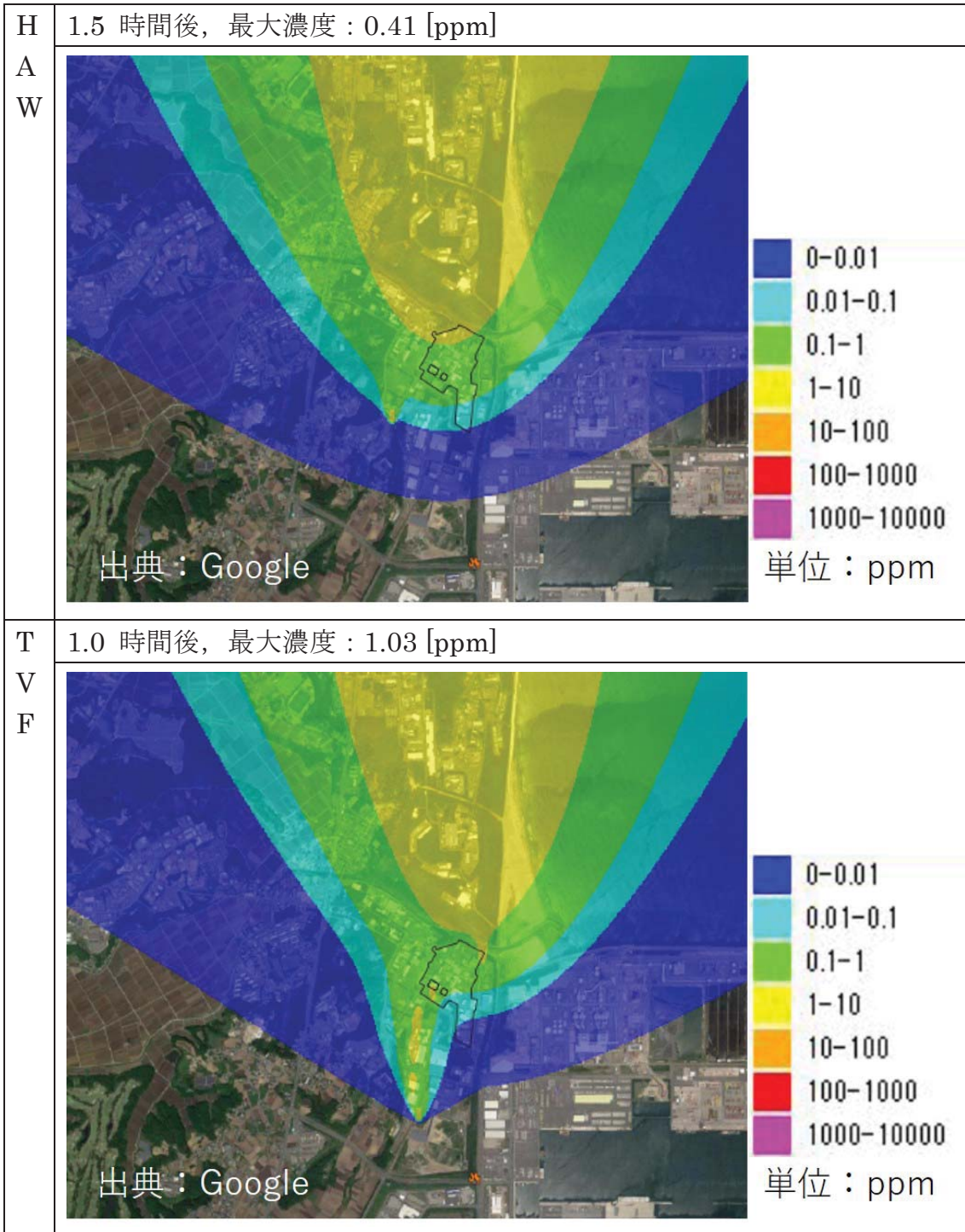


図 3-8 CO 濃度分布 (発火点 4)

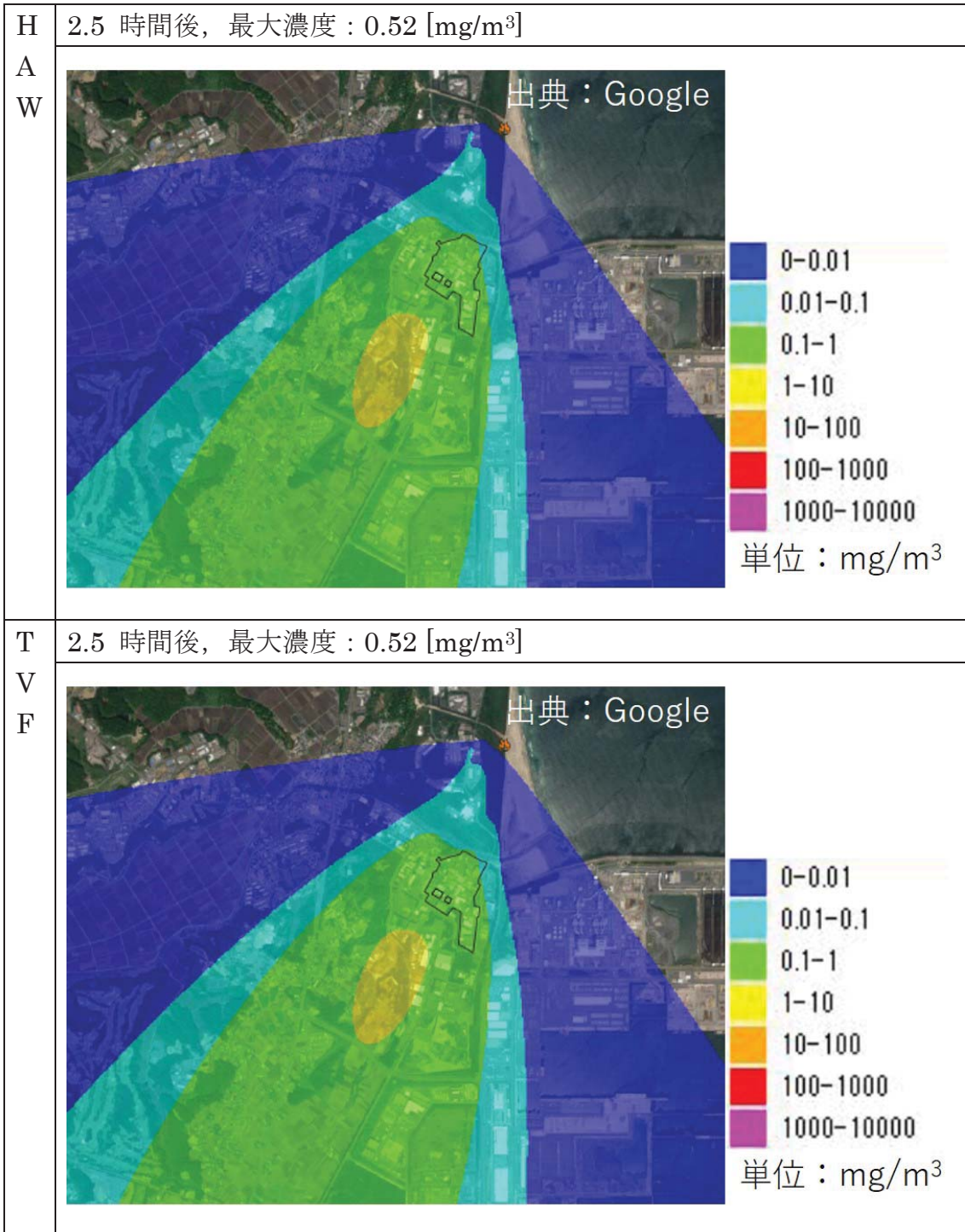


図 3-9 PM10 濃度分布 (発火点 1)

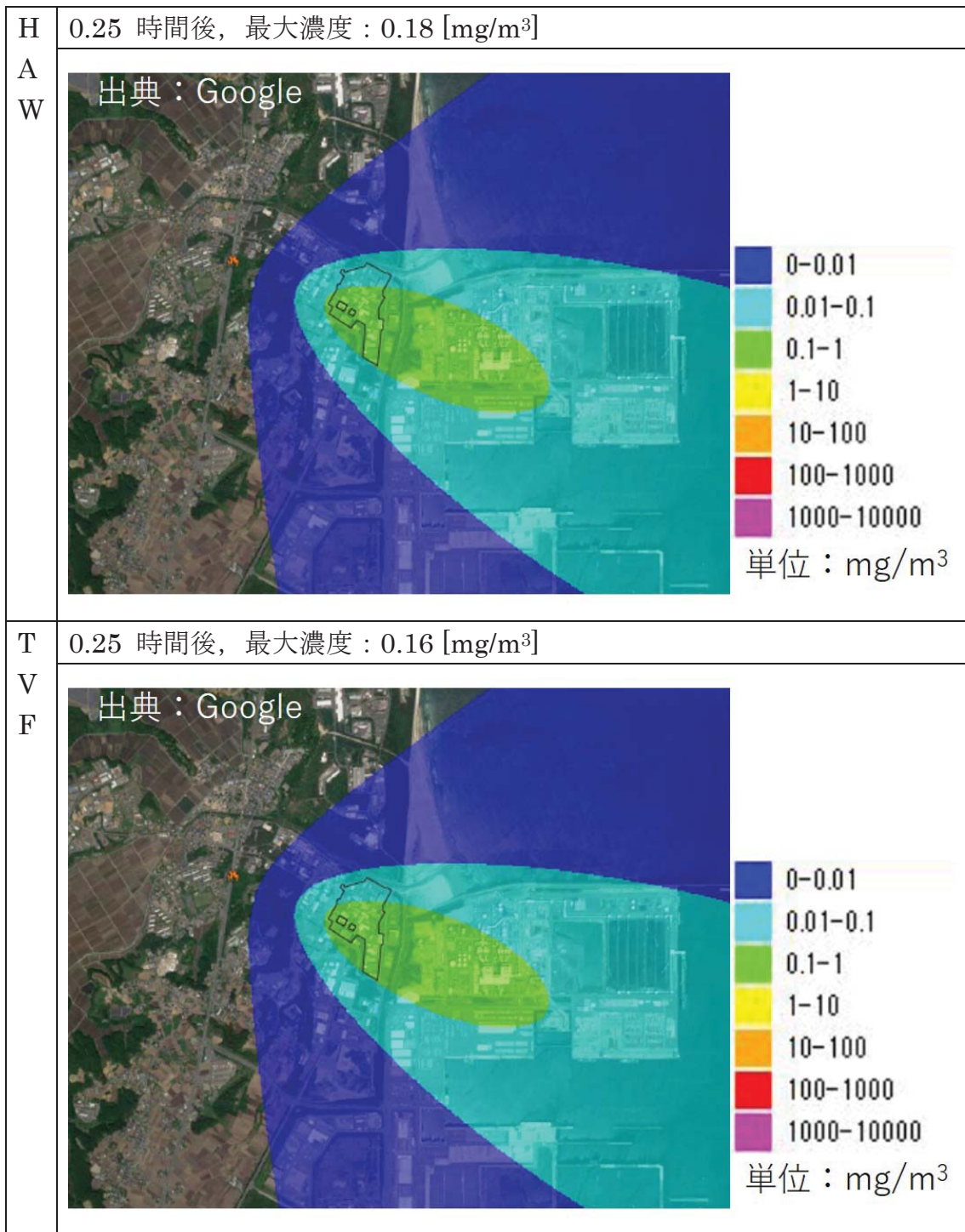


図 3-10 PM10 濃度分布 (発火点 2)

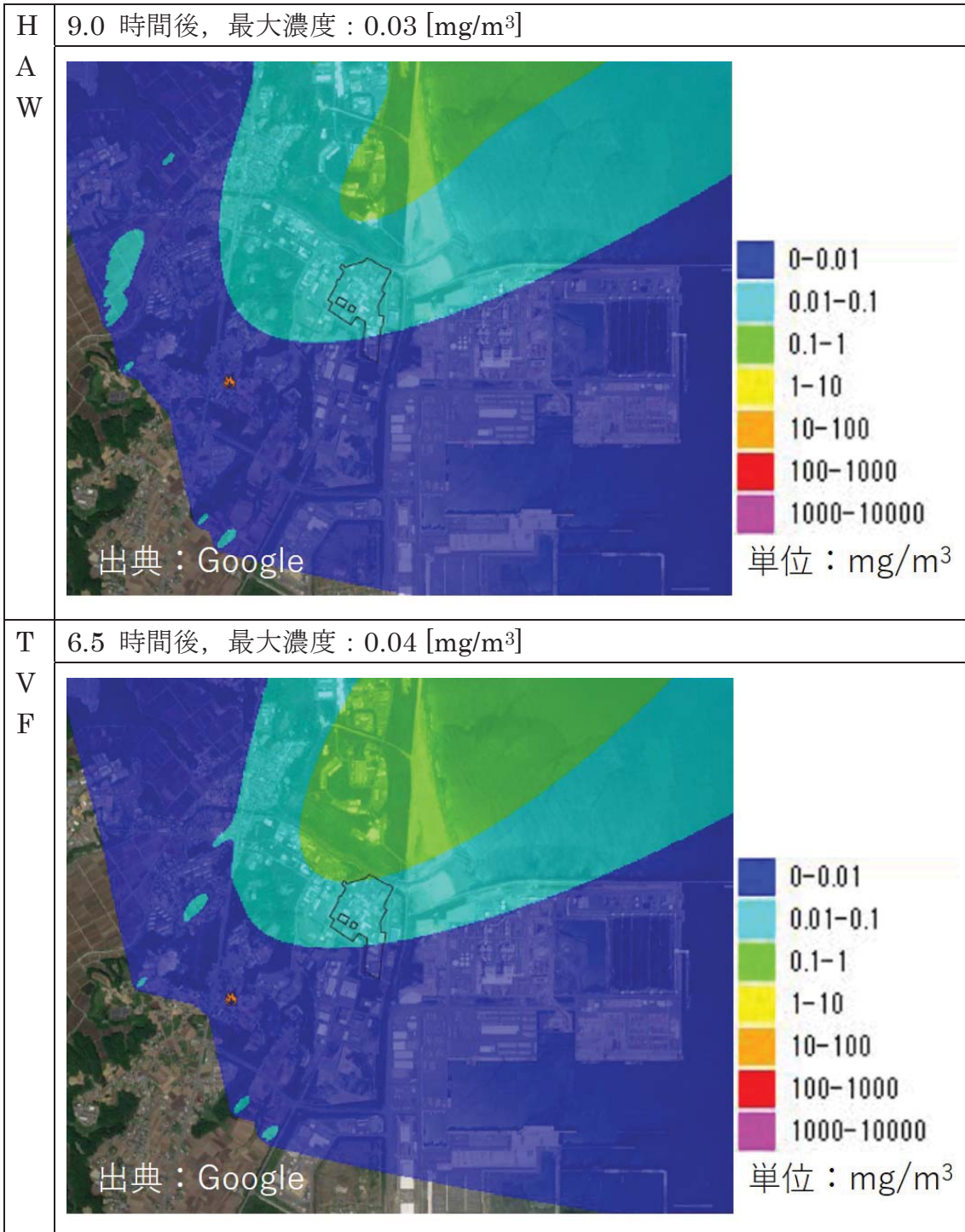


図 3-11 PM10 濃度分布 (発火点 3)

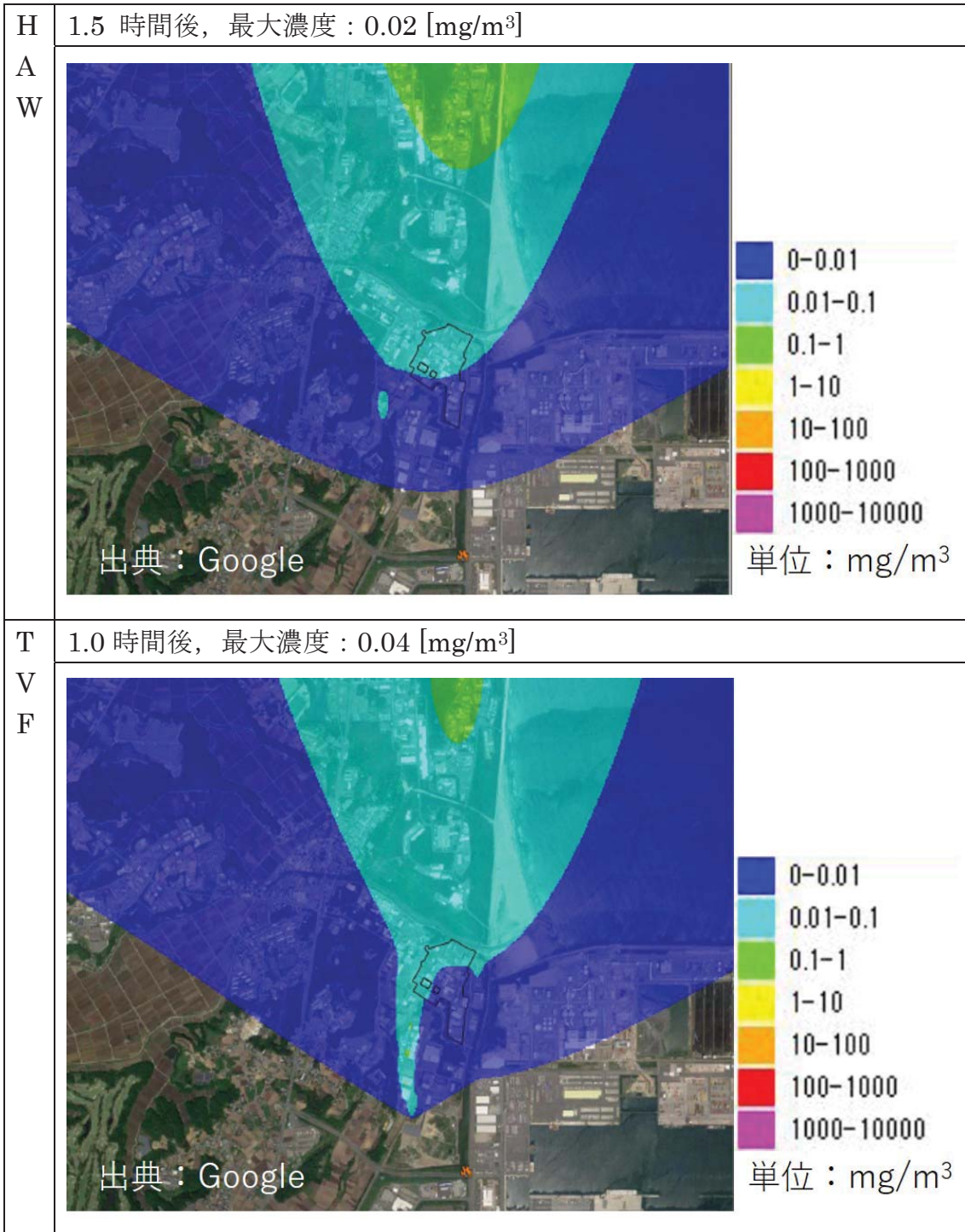


図 3-12 PM10 濃度分布 (発火点 4)

4. 参考文献

- [1] 公害研究対策センター, 「窒素酸化物総量規制マニュアル[新版]」.
- [2] EPA-450/2-77/013, “User’s Manual for Single-Source (CRSTER) Model.