

の数値であり、第3項及び第4項に関係する被害幅や施設規模等100m単位の数値とオーダーが異なるため、寄与度に差が生じている。したがって、表7において条件の整合が確認できない $V_{min}$ （被害幅のパラメータの一つ）や施設規模の差異がハザードに与える影響は小さいと考えられる。

以上より、風速と被害長さに関する条件は合致していることから、ハザード計算は一定の再現性は有していると考えられる。

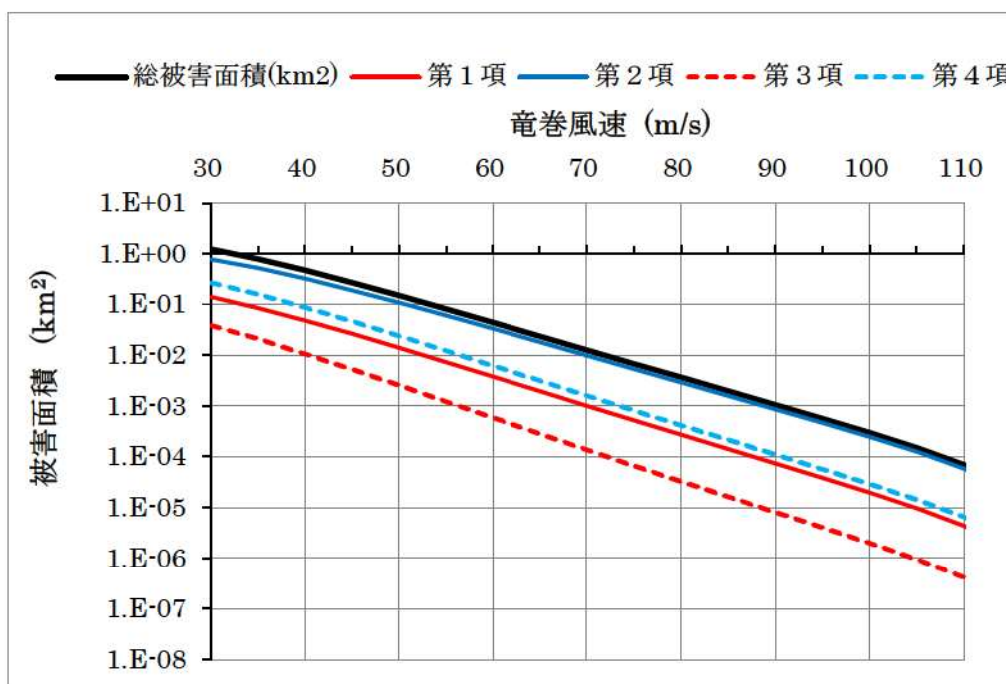


図9 被害面積期待値（海岸線から陸側海側それぞれ5 kmを対象としたケース）

（参考）当社竜巻影響評価に基づく $V_{min}$ と施設規模の影響度について

$V_{min}$ と施設規模の影響度について、当社の竜巻影響評価を基に評価すると、泊発電所の竜巻影響評価では、 $V_{min}$ を25m/sにて検討しているが、 $V_{min}$ を17m/sとした場合に例えば、海岸線から陸側海側それぞれ5 kmを対象としたケースでは、ハザード曲線の $10^{-5}$ 相当風速は、67.7m/s ( $V_{min}=17$ m/sの場合)、67.9m/s ( $V_{min}=25$ m/sの場合)であり、 $V_{min}$ の8m/sの差異がハザードでは0.2m/s程度の影響を与えている。

施設規模の影響については、泊発電所は $D_0=920$ mで評価を行っているが上記と同様に例えば $D_0=940$ mとした場合、海岸線から陸側海側それぞれ5 kmを対象としたケースのハザード曲線の $10^{-5}$ 相当風速と比較すると、67.9m/s ( $D_0=920$ mの場合)、68.1m/s ( $D_0=940$ mの場合)であり、 $D_0$ の20mの差異がハザードでは0.2m/s程度の影響を与えている。

$V_{min}$ と施設規模の差異を定量的に評価することは困難であるものの、これらの評価結果から類推すると、 $10^{-5}$ 相当風速で数m/s程度の差異が生じる可能性があると考えられる。

## 6. 妥当性確認

「竜巻ハザード評価プログラム」は、竜巻最大風速のハザード曲線を算定するために使用している。

本解析コードは、竜巻最大風速のハザード曲線の算定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。また、竜巻最大風速110m/s程度の範囲においては算定結果が妥当であることを確認している。以上より、本計算機コードを用いることは妥当である。

## 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
- (2) 豊川裕之・柳井晴夫編著：医学・保健学の例題による統計学，現代数学社，1982

(2) 竜巻により発生する飛来物の速度及び飛散距離等の評価

項目	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
使用したバージョン	Ver.3 選定理由：解析時の最新バージョン
使用目的	竜巻により発生する飛来物の速度及び飛散距離等の評価
コードの概要	<p>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。</p> <p>空気中の物体が受ける抗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軌跡を解析することができる解析コードであり、飛来物の速度、飛散距離及び飛散高さ等の算出が実施できる。</p> <p>仮定する風速場は、鉛直方向には構造が変化しないランキン渦としている。</p>
検証及び妥当性確認の内容	<p>TONBOSは、竜巻により発生する飛来物の速度及び飛散距離等の評価に使用している。</p> <p><b>【検証の内容】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は次の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ Simiu &amp; Scanlan<sup>※</sup>による解析結果と同じ条件下で、竜巻風速場での飛来物軌跡の解析を実施し、概ね一致した結果を得ていることから、本解析コードの妥当性を確認した。</li> </ul> <p>※：E. Simiu &amp; R.H. Scanlan: Wind Effect on Structures, Wiley, 1977</p> <p><b>【妥当性確認】</b></p> <p>TONBOSを、竜巻により発生する飛来物の速度及び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"> <li>・ 本解析コードは、竜巻により発生する飛来物の速度、飛散距離及び飛散高さ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。</li> <li>・ 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。</li> </ul>
その他（工認実績等）	<p>既工認での実績はない。</p> <p>なお、最新バージョンまで算出に影響のある変更がないことを確認している。</p>

計算機コードの概要及び検証と妥当性確認の内容説明

TONBOS

## 目 次

1. 概要	添付資料3.14-23
2. 本計算機コードの特徴	添付資料3.14-23
3. 解析手法	添付資料3.14-24
3. 1 基礎方程式	添付資料3.14-24
3. 2 飛来物運動方程式の時間積分法	添付資料3.14-25
3. 3 評価条件	添付資料3.14-27
3. 4 適用範囲	添付資料3.14-28
4. 解析フローチャート	添付資料3.14-29
5. コードの検証	添付資料3.14-29
5. 1 移動する竜巻での検証	添付資料3.14-30
5. 2 国内最大級相当条件での比較	添付資料3.14-31
5. 3 飛散距離及び飛散高さについて	添付資料3.14-32
6. 妥当性確認	添付資料3.14-32
7. その他	添付資料3.14-34
7. 1 飛来物の速度及び飛散距離等の評価について	添付資料3.14-34
8. 参考文献	添付資料3.14-36
9. 付録	添付資料3.14-37

## 1. 概要

本資料は、一般財団法人電力中央研究所にて開発・保守されている計算機コード「TONBOS」の概要である。

TONBOSは、新規制基準で新たに評価を要することとなった竜巻影響評価のうち、飛来物の速度及び飛散距離等を算出することを目的として使用する解析コードである。

本解析は、新規制基準で新たに評価を要することとなった竜巻影響評価のうち、飛来物の速度及び飛散距離等の評価を行うものであり、竜巻による風速場は鉛直方向には構造が変化しないランキン渦が移動するものとして定め、飛来物を質点系モデルとして、飛来物が（流体）抗力と重力を受けて運動する軌跡に対する運動方程式を解くことが可能な計算機コードを適用したものである。

## 2. 本計算機コードの特徴

TONBOS は、竜巻による風速場は鉛直方向には構造が変化しないランキン渦が移動するものとして定め、飛来物を質点系モデルとして、飛来物が（流体）抗力と重力を受けて運動する軌跡に対する運動方程式を解くことにより、飛来物の速度、飛散距離及び飛散高さ等を算定する計算機コードである。

### 3. 解析手法

#### 3. 1 基礎方程式

##### (a) 竜巻の風速場

竜巻の風速場は  $x$  軸方向に一定速度  $V_{tr}$  で移動するランキン渦でモデル化する。ランキン渦の接線風速（周方向風速） $V_\theta$ ，径方向（中心方向）風速  $V_r$ ，上昇風速  $V_z$  は E. Simiu and M. Cordes<sup>(1)</sup> と同様に以下の式で定義する（図1）。

$$V_r = af(r) \quad (1a)$$

$$V_\theta = bf(r) \quad (1b)$$

$$V_z = cf(r) \quad (1c)$$

ただし、 $a=1/\sqrt{5}$ ， $b=2/\sqrt{5}$ ， $c=4/3\sqrt{5}$  と定義し、周方向風速  $V_\theta$  と径方向風速  $V_r$  を合成した渦の水平速度  $f(r)=(V_\theta^2 + V_r^2)^{1/2}$  は、以下の式で定義される。

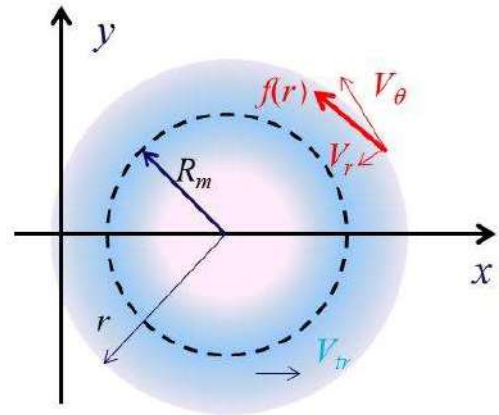


図1 移動ランキン渦モデル

$$f(r) = \begin{cases} \frac{r}{R_m} V_m & \text{if } 0 \leq r \leq R_m \\ \frac{R_m}{r} V_m & \text{if } R_m \leq r \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 $r$  は渦中心からの距離、 $R_m$  は最大風速半径（渦の水平風速が最大となる半径）、 $V_m$  は渦の最大水平風速である。

時刻  $t=0$  で竜巻中心は原点に位置するものとし、竜巻の風速場は飛来物の影響を受けないと仮定すると、時刻  $t$  における竜巻の風速場  $V_w$  の各風速成分  $(u, v, w)$  は式(1a)-(1c)、(2)等から以下のようになる。

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \frac{f(r)}{r} \begin{pmatrix} -a(x - V_{tr}t) - by \\ -ay + b(x - V_{tr}t) \\ cr \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} V_{tr} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

ただし、渦中心からの距離  $r$  は以下で与えられる。

$$r = \sqrt{(x - V_{tr}t)^2 + y^2} \quad (4)$$

なお、静止する観測者からみた最大風速 $V_D$ は、以下で計算される。

$$V_D = V_m + V_r \quad (5)$$

### (b) 飛来物の運動

飛来物の運動は、既往研究<sup>(1)-(6)</sup>と同様に方向性がない平均的な抗力（抗力係数一定）と重力のみが外力として作用すると仮定する。この場合の飛来物の運動方程式は以下のようになる。

$$\frac{d\mathbf{V}_M}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M| (\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M) - g\mathbf{k} \quad (6)$$

ここで、各変数は以下で定義する。

$\mathbf{V}_M$  : 飛来物の速度ベクトル

$\mathbf{V}_w$  : 風速ベクトル（ランキン渦風速と移動速度の和）

$\rho$  : 空気密度

$C_D$  : 飛来物の平均抗力係数

$A$  : 飛来物の代表見附面積

$m$  : 飛来物の質量

$g$  : 重力加速度

$\mathbf{k}$  : 鉛直上向き単位ベクトル

### 3. 2 飛来物運動方程式の時間積分法

時刻  $t$  における竜巻の風速場  $\mathbf{V}_w = (u, v, w)$  は式(3)で与えられるので、式(6)を時間積分することによって、飛来物の速度と位置の時刻歴を求めることができる。

線形加速度法では、時刻  $\tau$  から時刻  $\tau + \Delta\tau$  における加速度が線形に変化するものと仮定する。つまり、式(6)において、以下の式が成立する。

$$\frac{d\mathbf{V}_M(t)}{dt} = -\mathbf{A}(\tau) \frac{t - \tau - \Delta\tau}{\Delta\tau} + \mathbf{A}(\tau + \Delta\tau) \frac{t - \tau}{\Delta\tau} \quad (7)$$

ここで、ベクトル  $\mathbf{A}(\tau)$  は式(6)の右辺を表す。

式(7)を時間積分すると、以下を得る。



$$\begin{aligned} \mathbf{V}_M(t) = & \mathbf{V}_M(\tau) + \mathbf{A}(\tau) \frac{\Delta\tau}{2} \\ & - \mathbf{A}(\tau) \frac{(t-\tau-\Delta\tau)^2}{2\Delta\tau} + \mathbf{A}(\tau+\Delta\tau) \frac{(t-\tau)^2}{2\Delta\tau} \end{aligned} \quad (8)$$

さらに、式(8)を時間積分すると、以下を得る。

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_M(t) = & \mathbf{X}_M(\tau) - \mathbf{A}(\tau) \frac{(\Delta\tau)^2}{6} \\ & + \left[ \mathbf{V}_M(\tau) + \mathbf{A}(\tau) \frac{\Delta\tau}{2} \right] (t-\tau) \\ & - \mathbf{A}(\tau) \frac{(t-\tau-\Delta\tau)^3}{6\Delta\tau} + \mathbf{A}(\tau+\Delta\tau) \frac{(t-\tau)^3}{6\Delta\tau} \end{aligned} \quad (9)$$

したがって、時刻  $t = \tau + \Delta\tau$  における速度と位置は以下で与えられる。

$$\mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau) = \mathbf{V}_M(\tau) + \frac{\Delta\tau}{2} [\mathbf{A}(\tau) + \mathbf{A}(\tau + \Delta\tau)] \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) = & \mathbf{X}_M(\tau) + \mathbf{V}_M(\tau) \Delta\tau \\ & + \mathbf{A}(\tau) \frac{\Delta\tau^2}{3} + \mathbf{A}(\tau + \Delta\tau) \frac{\Delta\tau^2}{6} \end{aligned} \quad (11)$$

式(10),(11)の右辺は以下の時刻  $\tau + \Delta\tau$  における加速度  $\mathbf{A}(\tau + \Delta\tau)$  を含んでいる。

$$\begin{aligned} \mathbf{A}(\tau + \Delta\tau) = & k \left| \mathbf{V}_w(\tau + \Delta\tau) - \mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau) \right| \\ & \times \{ \mathbf{V}_w(\tau + \Delta\tau) - \mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau) \} - \mathbf{gk} \end{aligned} \quad (12)$$

ここで、 $k = \rho C_D A / 2m$  を表す。

このため、非線形式(12)では竜巻風速場も未知であるので、これも同時に連成させる必要がある。これらの方程式をNewton-Raphson法で求解し、時間積分を実施する。

時刻  $\tau + \Delta\tau$  において飛来物速度  $\mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau)$  とその位置  $\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) = (X_M, Y_M, Z_M)$  を求めるために満足すべき式は、式(10),(11),(12)及び以下の竜巻の風速場のモデル方程式である。

$$\mathbf{V}_w = \frac{f(r_M)}{r_M} \begin{pmatrix} -a\{x_M - V_r(\tau + \Delta\tau)\} - by_M \\ -ay_M + b\{x_M - V_r(\tau + \Delta\tau)\} \\ cr_M \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} V_r \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (13)$$

$$r_M = \sqrt{\{x_M - (\tau + \Delta\tau)V_r\}^2 + y_M^2} \quad (14)$$

### 3. 3 評価条件

以下の初期条件を設定する。

- 竜巻風速場 (図3.1)

竜巻の最大水平風速 ( $V_m$ ) が85m/sとなる風速場を設定する。

竜巻移動速度 ( $V_{tr}$ ) は15m/sとする。

最大風速半径 ( $R_m$ ) は30mとする。

高さ40mに51×51ヶの物体を配置する。

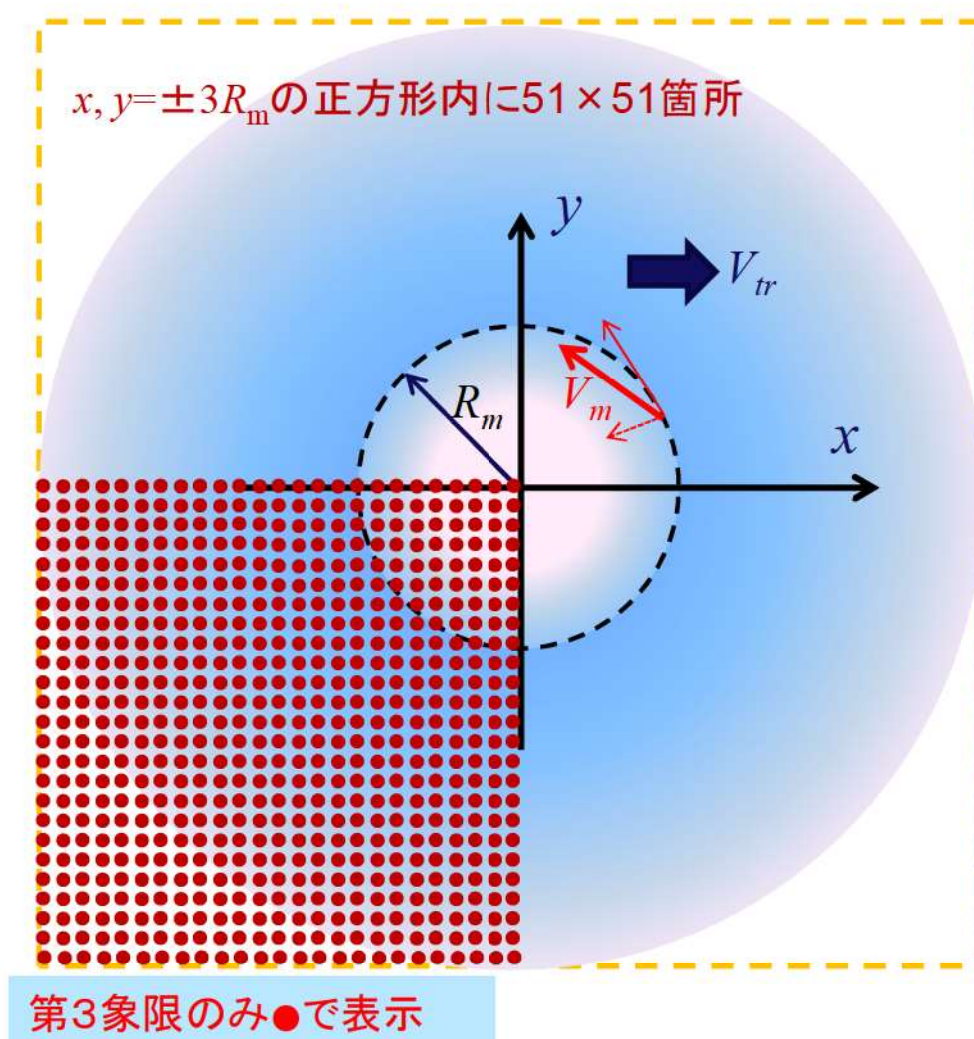


図3.1 竜巻の風速場及び初期物体位置

・飛散距離及び飛散高さ

図3.2に示すとおり、飛散距離は初期位置からの距離とし、飛来物が地表面に落ちた場合は、それ以上移動しないものとする。飛散高さは40m以上の位置に上がる場合は40mからの相対高さとし、40mより上がらない場合は0mとする。

2,601ヶ (51×51) の算出結果のうち、飛来物の速度及び飛散距離の最大値を解析結果として採用する。

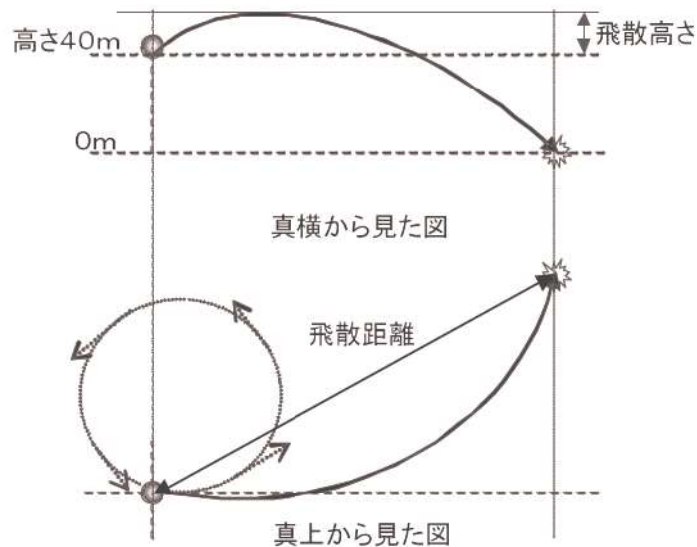


図3.2 飛散距離及び飛散高さ

### 3. 4 適用範囲

解析は以下の条件で実施することとする。

- ・最大風速：150m/sを原則とする。
- ・最大水平風速：本解析では最大風速との比を0.85とする。(これに限定する必要はない。)
- ・竜巻中心の移動速度：本解析では最大風速の比を0.15とする。(これに限定する必要はない。)
- ・最大風速半径：本解析では30mとする。(これに限定する必要はない。)
- ・空力パラメータ：制限はない。
- ・解析時間刻み：0.01秒以下
- ・重力加速度：9.8m/s<sup>2</sup>
- ・空気密度：1.22kg/m<sup>3</sup>

#### 4. 解析フローチャート

図4.1に解析フローチャートを示す。

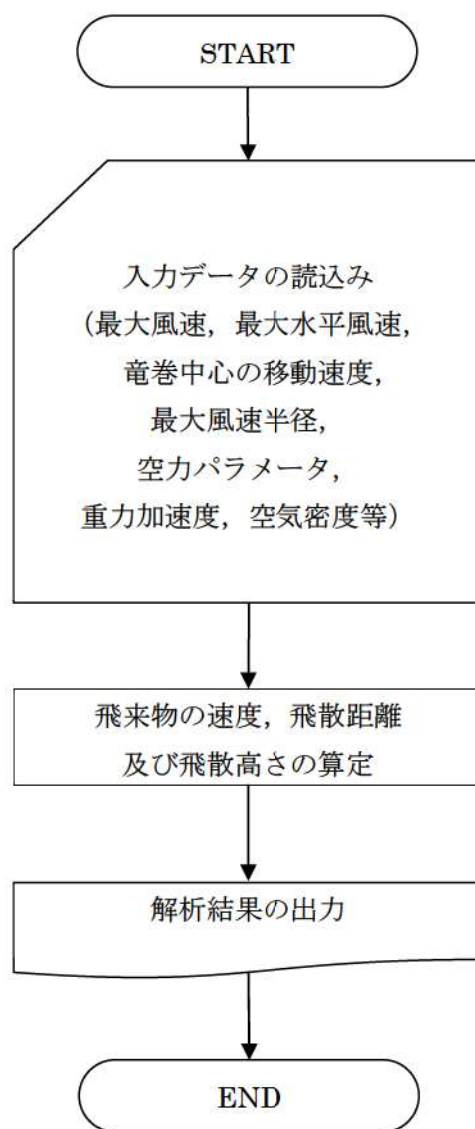


図4.1 解析フローチャート

## 5. コードの検証

### 5.1 移動する竜巻での検証

Simiu and Scanlan<sup>(2)</sup>は、初速ゼロの飛来物が座標( $R_m, 0, 40$ )[単位：m]に位置するものとして飛来物の運動を計算し、飛来物が地上に落下するまでに達した最大の水平速度を「飛来物最大水平速度」と定義して数値解析結果を得ている。そこで、これと同様に表5.1に示す3種類の竜巻条件 (Tornado Type-I, -II, -III) を与えて、TONBOSによって「飛来物最大水平速度」 $V_{hmax}$ を求めた。

なお、表5.1の各条件は文献(2)のTable 3.5.1(p.127)に記載されている値を[mph]から[m/s]へ、[ft]から[m]に換算したものである。

物体特性値 $C_D A/m$ については、文献(2)のTable 16.3.1 (p.565)に掲載されている値 ( $C_D A/m=0.0033, 0.0040, 0.0043, 0.0052, 0.0070, 0.0270[m^2/kg]$ ) 及びTable 16.3.2 (p.567, Tornado Type-I)のケース(a)に掲載されている値 ( $C_D A/m=0.001, 0.01[m^2/kg]$ ) を選定して検証した。なお、全ケースで時間ステップ $\Delta\tau$ を0.01[s]に設定した。また、空気密度 $\rho$ は $1.226[kg/m^3]$ 、重力加速度 $g$ は $9.8[m/s^2]$ とした。

図5.1に物体特性 $C_D A/m$ の各値に対する「飛来物最大水平速度」 $V_{hmax}$ を文献(2)の結果と比較して示す。本数値解析の $V_{hmax}$ の結果は文献(2)よりもやや大きい傾向<sup>\*</sup>にある。評価においては保守側となる。

表5.1 3種類の竜巻条件 (Tornado Type-I, -II, -III)

竜巻条件	最大水平風速 $V_m$ [m/s]	竜巻中心の移動速度 $V_{tr}$ [m/s]	最大風速半径 $R_m$ [m/s]
Tornado Type-I	129.6	31.3	45.7
Tornado Type-II	107.3	26.8	45.7
Tornado Type-III	84.9	22.4	45.7

※：数値解析法の違いによる相違と考えられる。

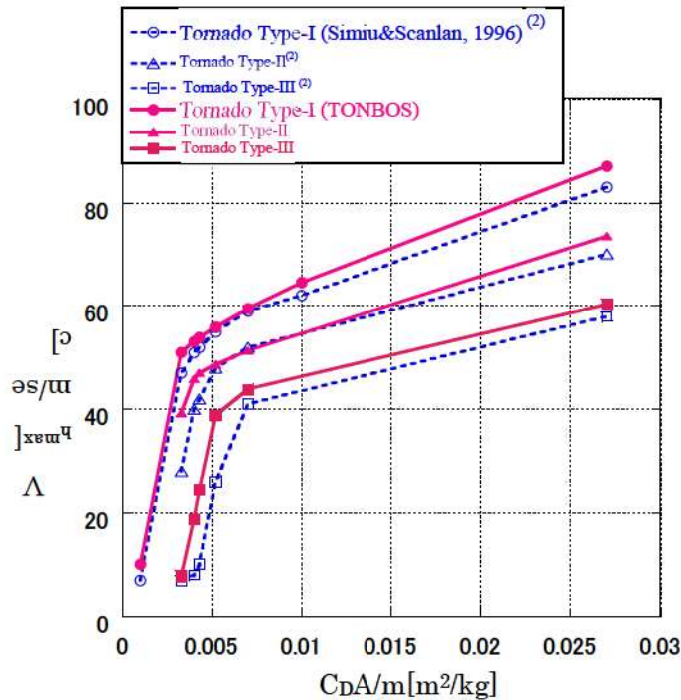


図5.1 Simiu&Scanlanとの比較

## 5. 2 国内最大級相当条件での比較

『東京工芸大学，“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委託研究 成果報告書，平成 23 年 2 月．(以下，「文献(4)」という。)』のp.237に示されている竜巻条件に相当する計算条件(表5.2)をTONBOSに与えて，「飛来物最大水平速度」 $V_h^{\max}$ を求めた。文献(4)の竜巻風速場の生成方法は文献(3)と同様にLES解析結果に基づくものであるが，高さ40[m]のx, y方向に $\pm 3R_m$ の正方形の25×25箇所から飛来物を複数回，放出して $V_h^{\max}$ を求めている。TONBOSでも，同様の位置から飛来物を放出して $V_h^{\max}$ を計算した。図5.2に物体特性 $C_D A/m$ の各値に対する $V_h^{\max}$ を文献(4)の結果と比較して示す。物体特性 $C_D A/m$ が小さい条件では，文献(4)の $V_h^{\max}$ は本数値解析の $V_h^{\max}$ の結果よりも小さい傾向にあるが，物体特性 $C_D A/m$ が大きい条件では逆の傾向となる。しかしながら，両者は良く整合することが分かる。

物体特性 $C_D A/m$ の大小によって $V_h^{\max}$ の相対的な大小が逆転する理由としては， $C_D A/m$ が小さい場合は，LES解析の風速場の上昇速度がランキン渦に比べ小さく，水平方向に十分加速される前に早く落下するが， $C_D A/m$ が大きい場合は，物体が飛散しやすいため気流中の滞在時間が長くなり，LES解析の風速場の乱れの影響を受けて大きな飛来物速度とな

るためと考えられる。

表5.2 竜巻条件

最大接線風速 [m/s]	竜巻移動速度 $V_{tr}$ [m/s]	最大風速半径 $R_m$ [m/s]
84	16	30

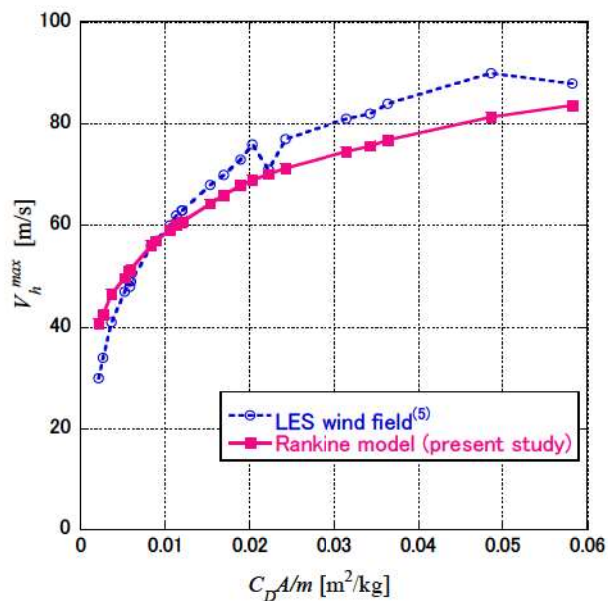


図5.2 文献(4)との比較

(備考) 「日本流体力学会年会，江口譲，杉本聡一郎，服部康男，平口博丸：移動ランキン渦モデルによる竜巻飛来物の速度の評価，2013。」より抜粋。

### 5. 3 飛散距離及び飛散高さについて

飛散距離及び飛散高さについては，米国の解析結果では示されていないが，飛来物速度を積分することによりそれぞれの位置（飛散距離及び飛散高さ）が算出できる。飛来物速度が5.1及び5.2項で妥当であると検証していることから，飛散距離及び飛散高さについても妥当であると考えられる。

### 6. 妥当性確認

TONBOSを竜巻により発生する飛来物の速度及び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。

- ・本解析コードは、竜巻により発生する飛来物の速度，飛散距離及び飛散高さ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。



## 7. その他

### 7. 1 飛来物の速度及び飛散距離等の評価について

TONBOSを用いた解析により、空力パラメータと飛来物が地上に落下するまでに達した最大の水平速度 $V_{h-max}$ 、最大飛散距離（x-y平面での初期位置と落下位置の距離で最大のもの）、最大高さ（全飛来物のうちで上昇量が最大のもの）の相関を算出している。（図7.1～7.2(a),(b)）

この相関を用いて発電所構内にある物品の飛来物の速度及び飛散距離等の評価を実施している。

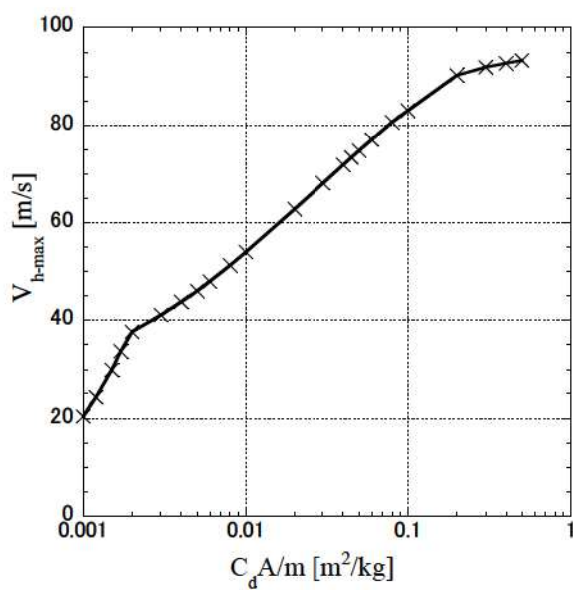
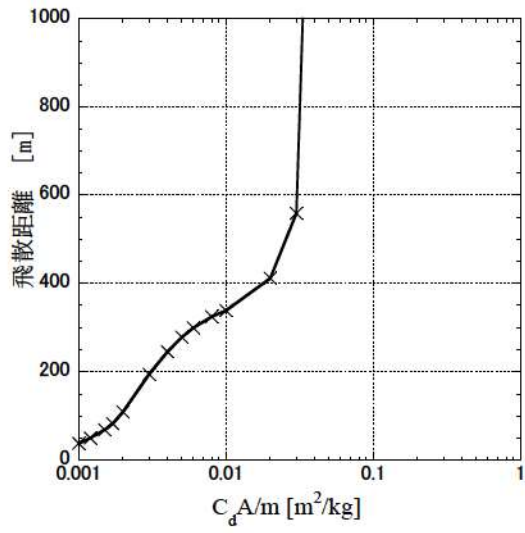
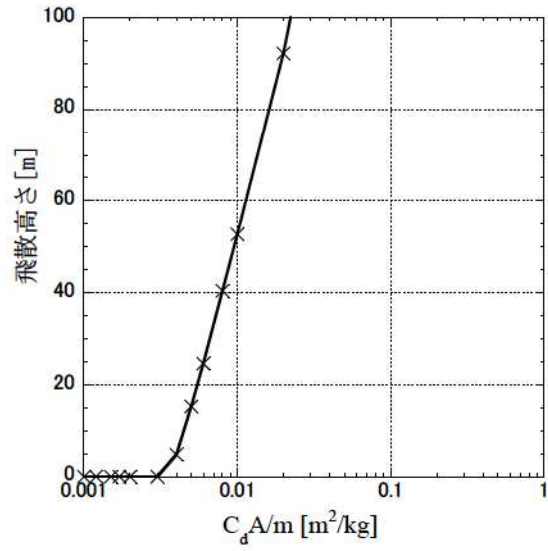


図7.1 100m/s竜巻条件での飛来物最大水平速度



(a)最大飛散距離



(b)最大飛散高さ

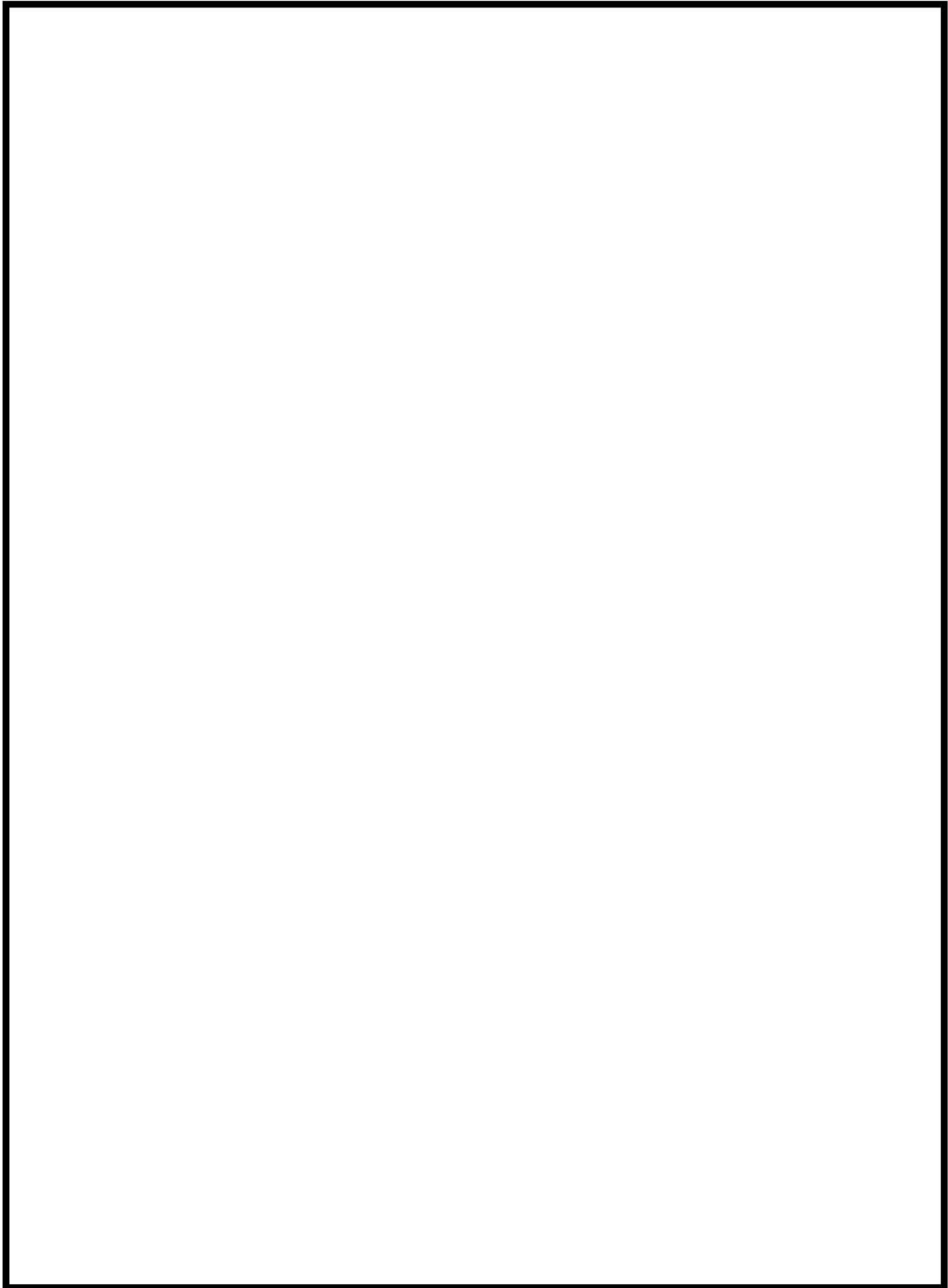
図7.2 100m/s竜巻条件でのx-y平面上での最大飛散距離と最大飛散高さ


## 8. 参考文献

- (1) Simiu, E. and Cordes, M., NBSIR 76-1050. Tornado-Borne Missile Speeds, 1976.
- (2) Simiu, E. and Scanlan, R. H., Wind Effects on Structures: Fundamentals and Applications to Design, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, August 1996.
- (3) Maruyama, T., Simulation of flying debris using a numerically generated tornado-like vortex. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol.99(4), pp.249-256, 2011.
- (4) 東京工芸大学, “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委託研究 成果報告書, 平成 23 年 2 月.
- (5) U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, Design-Basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plants, Revision 1, March 2007.
- (6) 丸山敬, “数值的に生成された竜巻状の渦の性質”, 京都大学防災研究所年報, 第53号B, 平成22年6月.


## 9. 付録

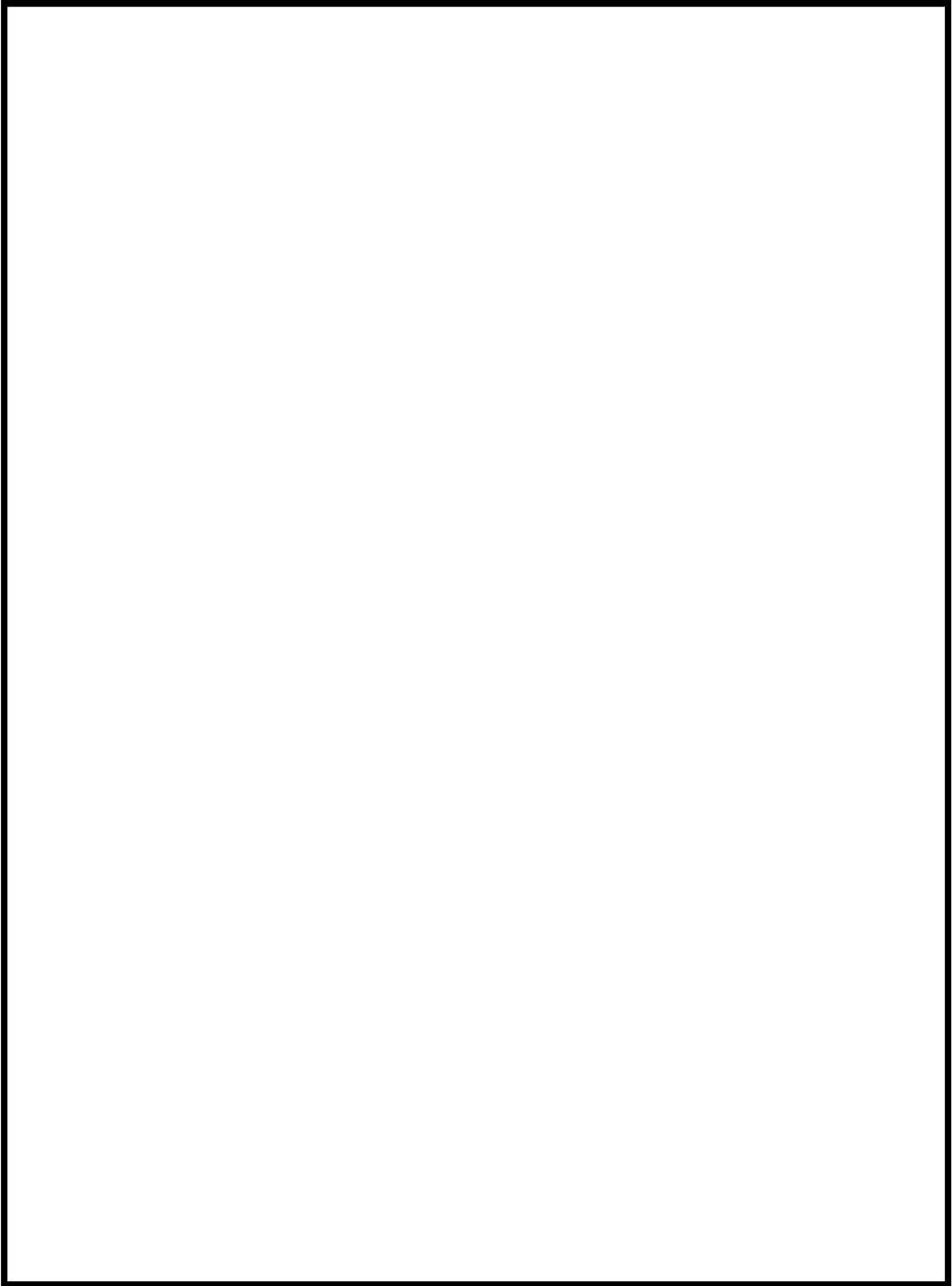
- (付録1) E. Simiu & R.H. Scanlan: Wind Effects on Structures, Wiley, 1977, (3rd. Edition 1996).
- (付録2) 東京工芸大学, “平成21～22 年度原子力安全基盤調査研究(平成22 年度)竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究”, 独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書, 平成23 年2 月
- (付録3) 日本流体力学会年会, 江口讓, 杉本聡一郎, 服部康男, 平口博丸: 移動ランキン渦モデルによる飛来物の速度の評価, 2013




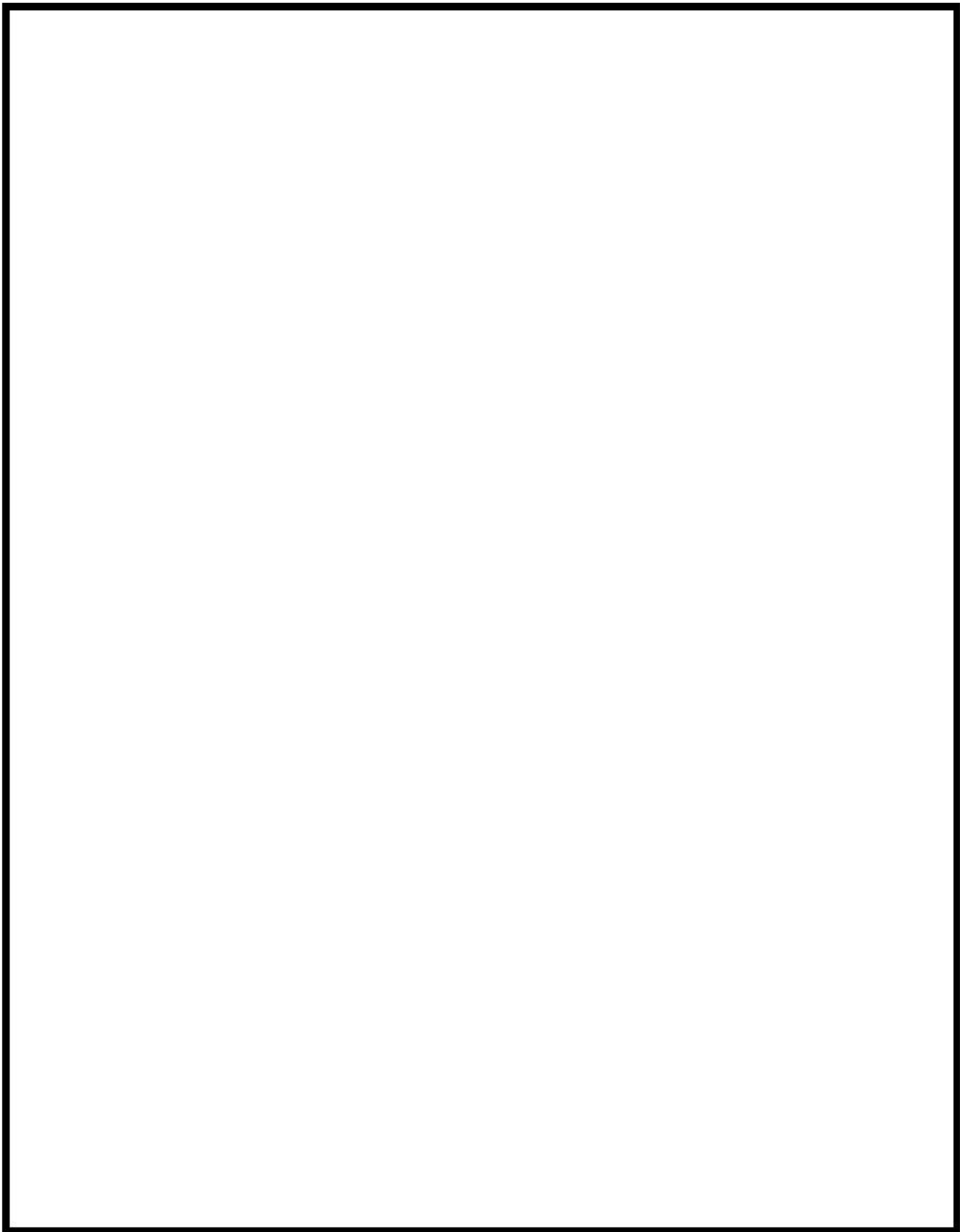
 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。




 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

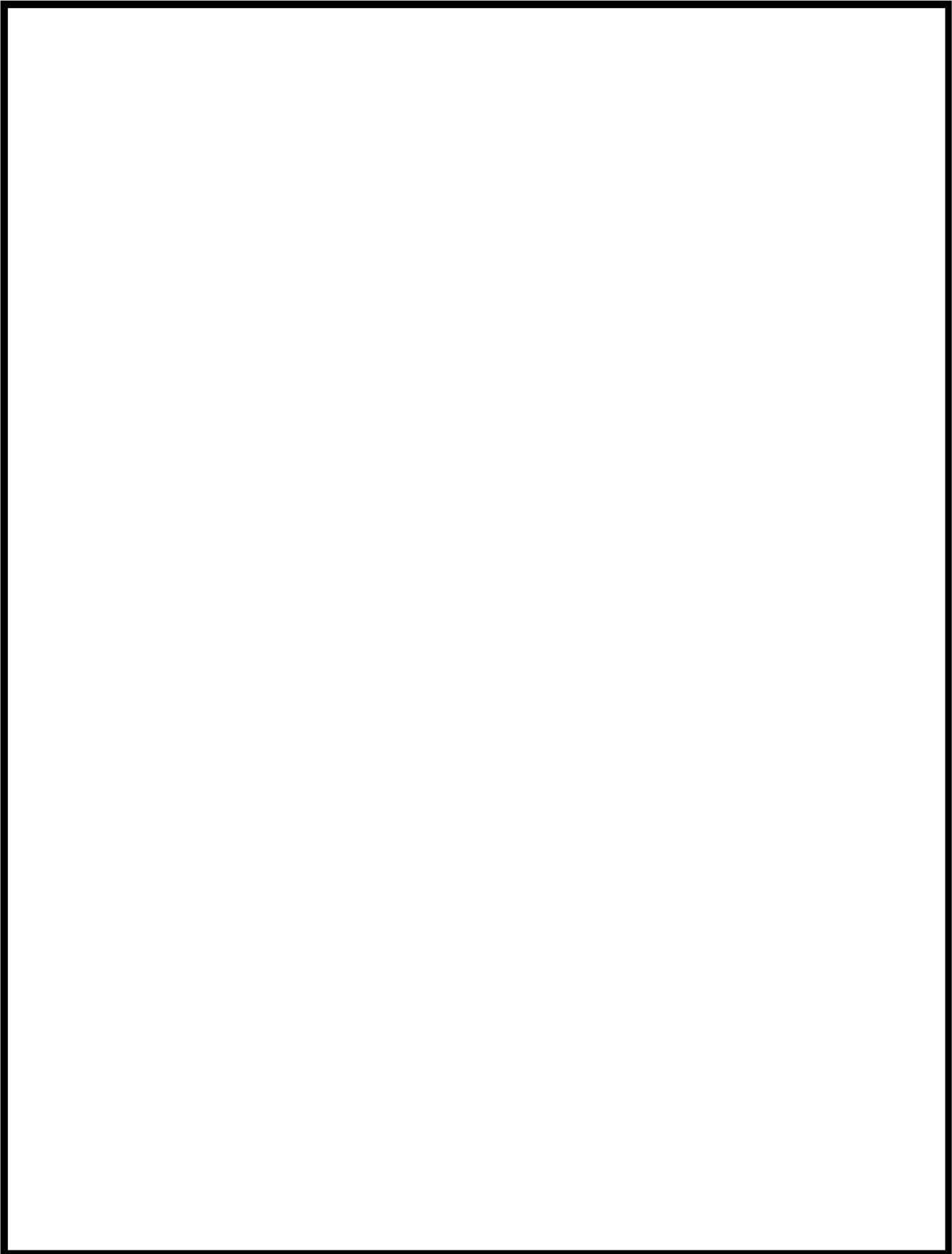



 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

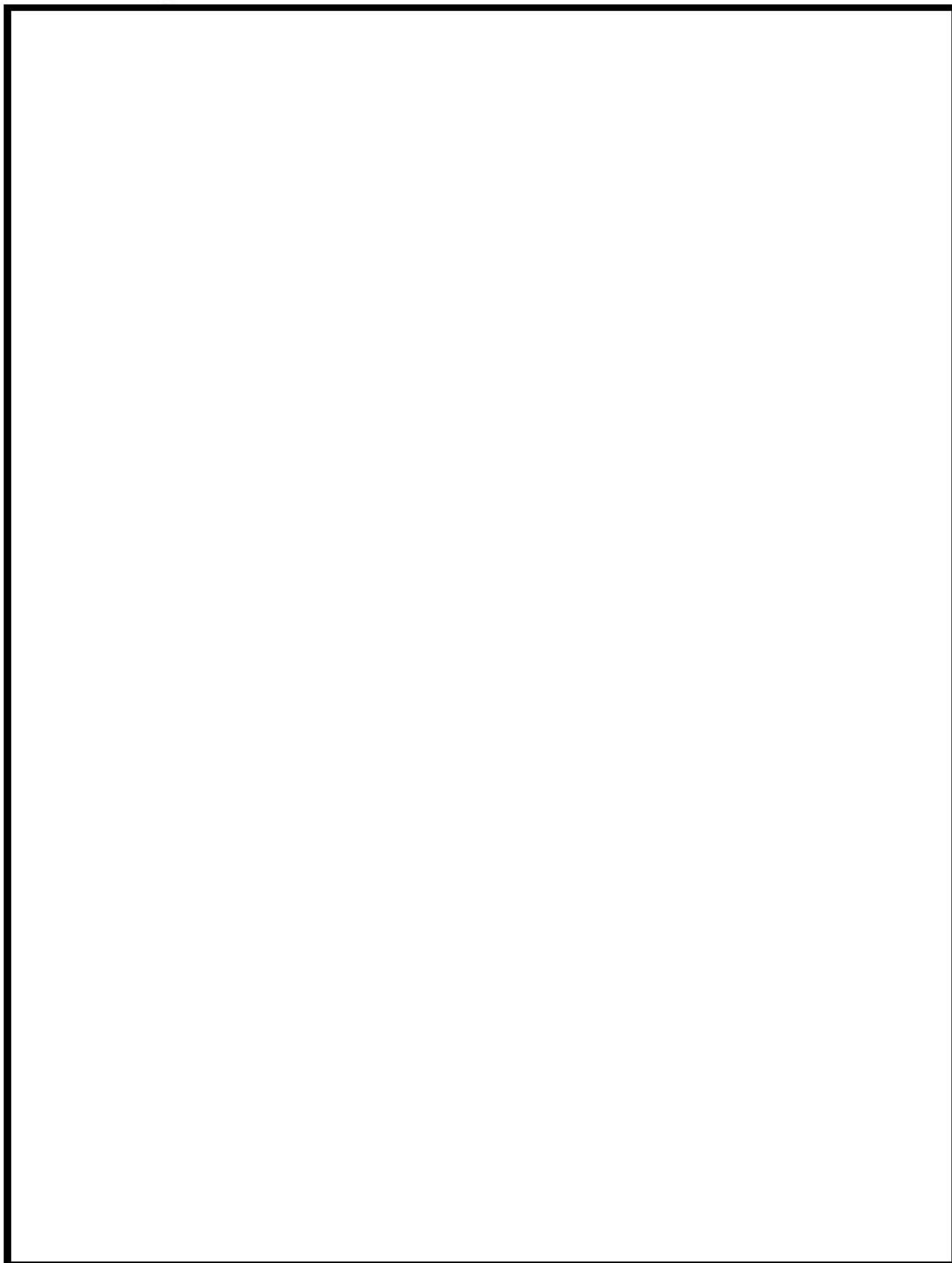



 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

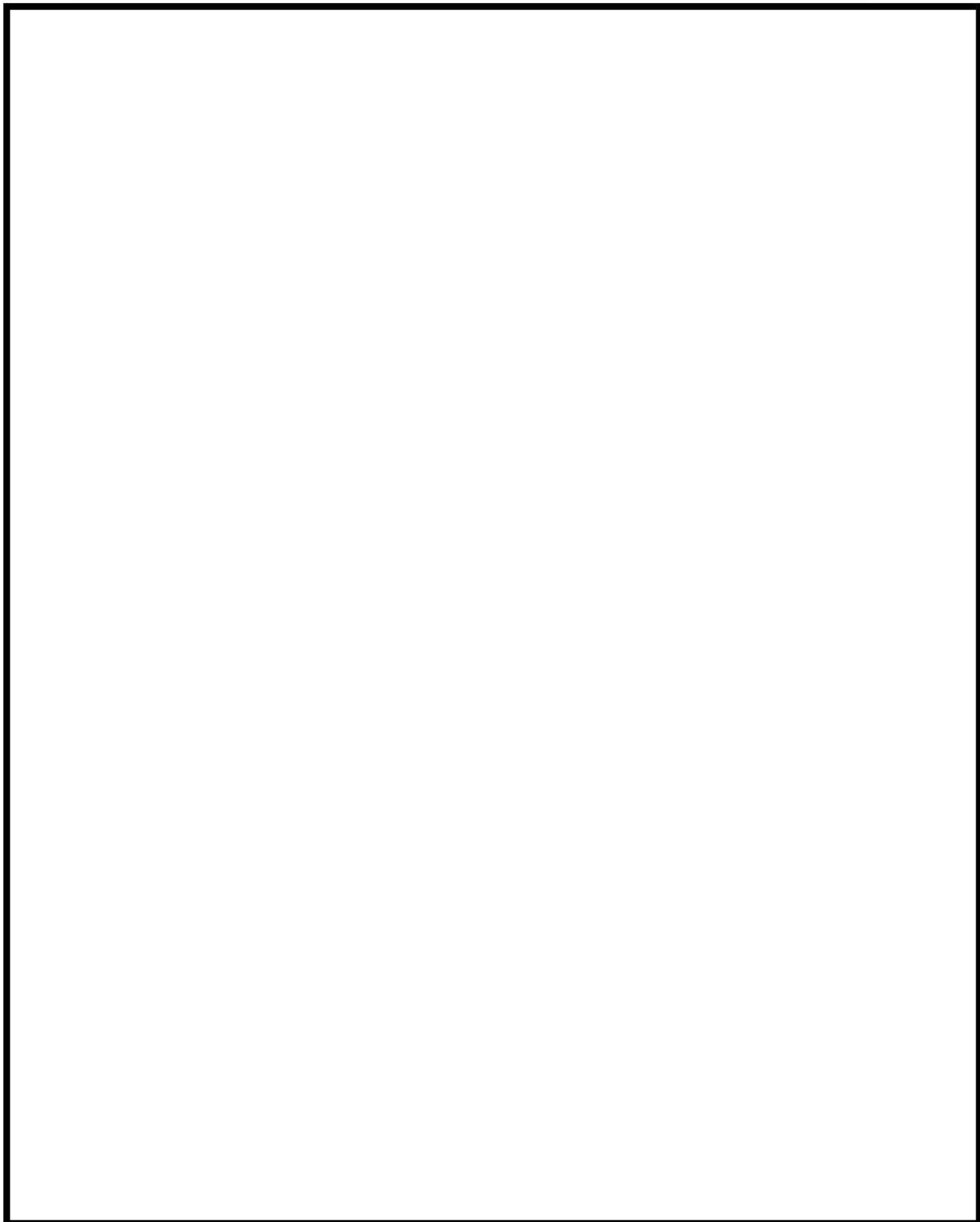





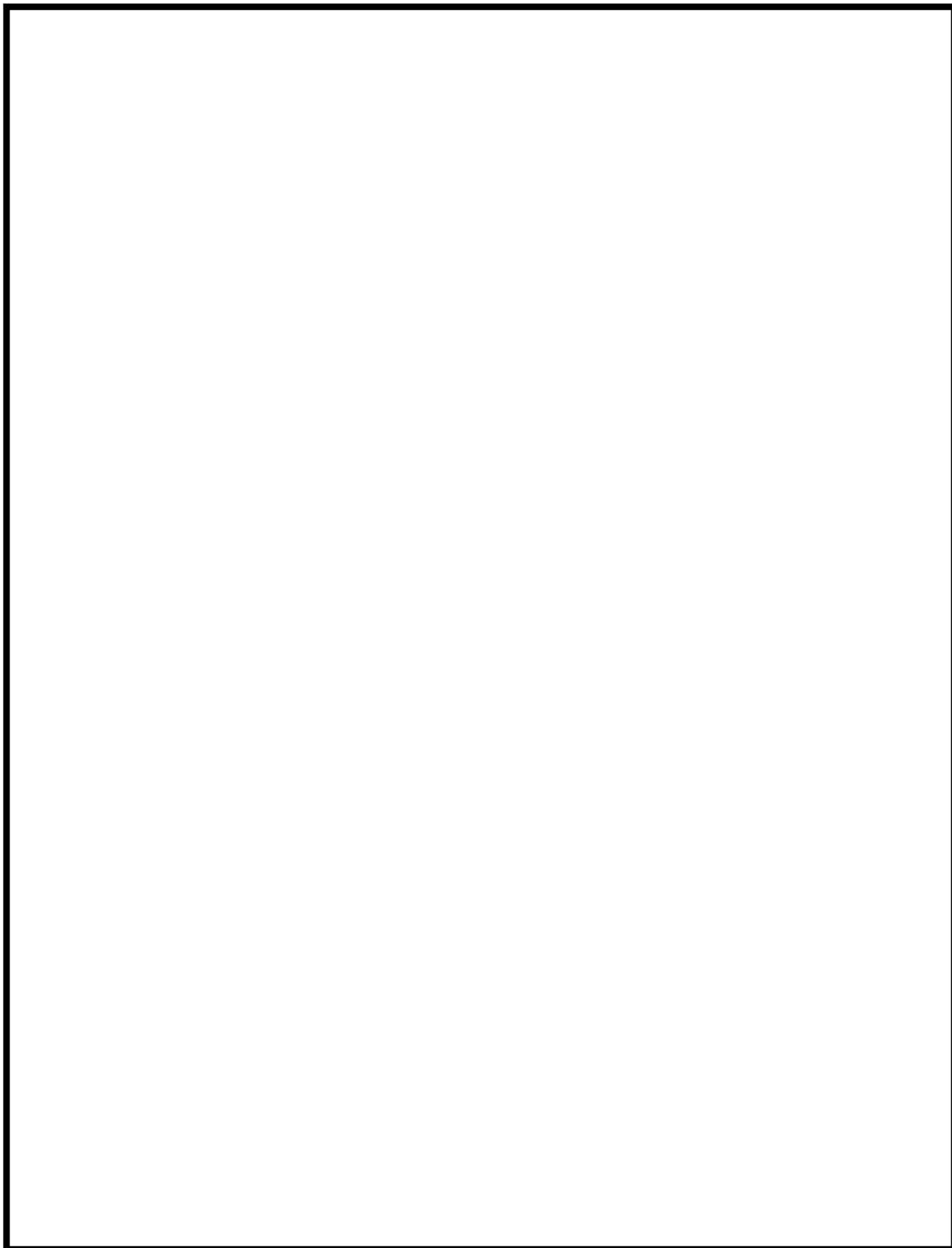
 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。




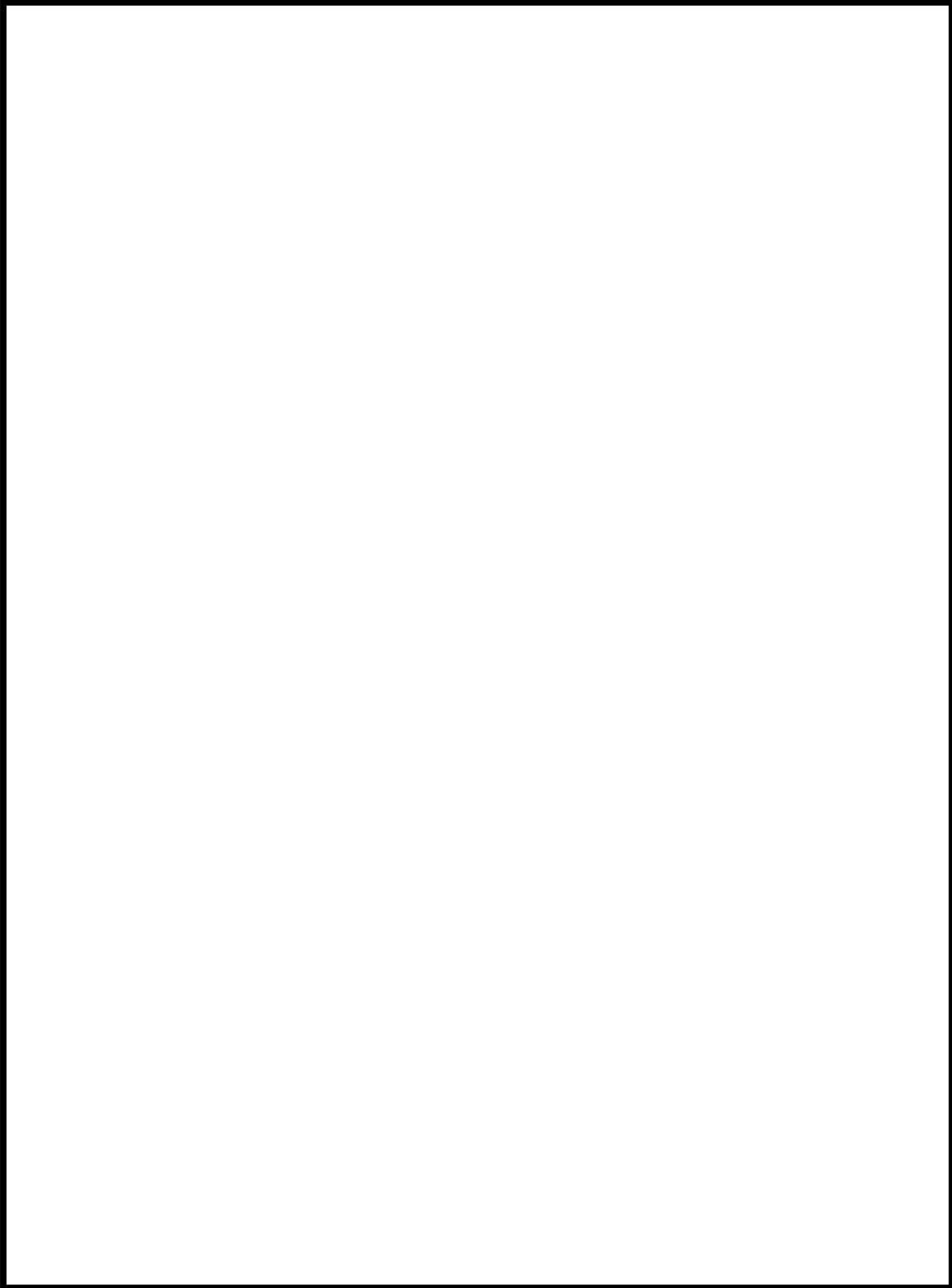
 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。




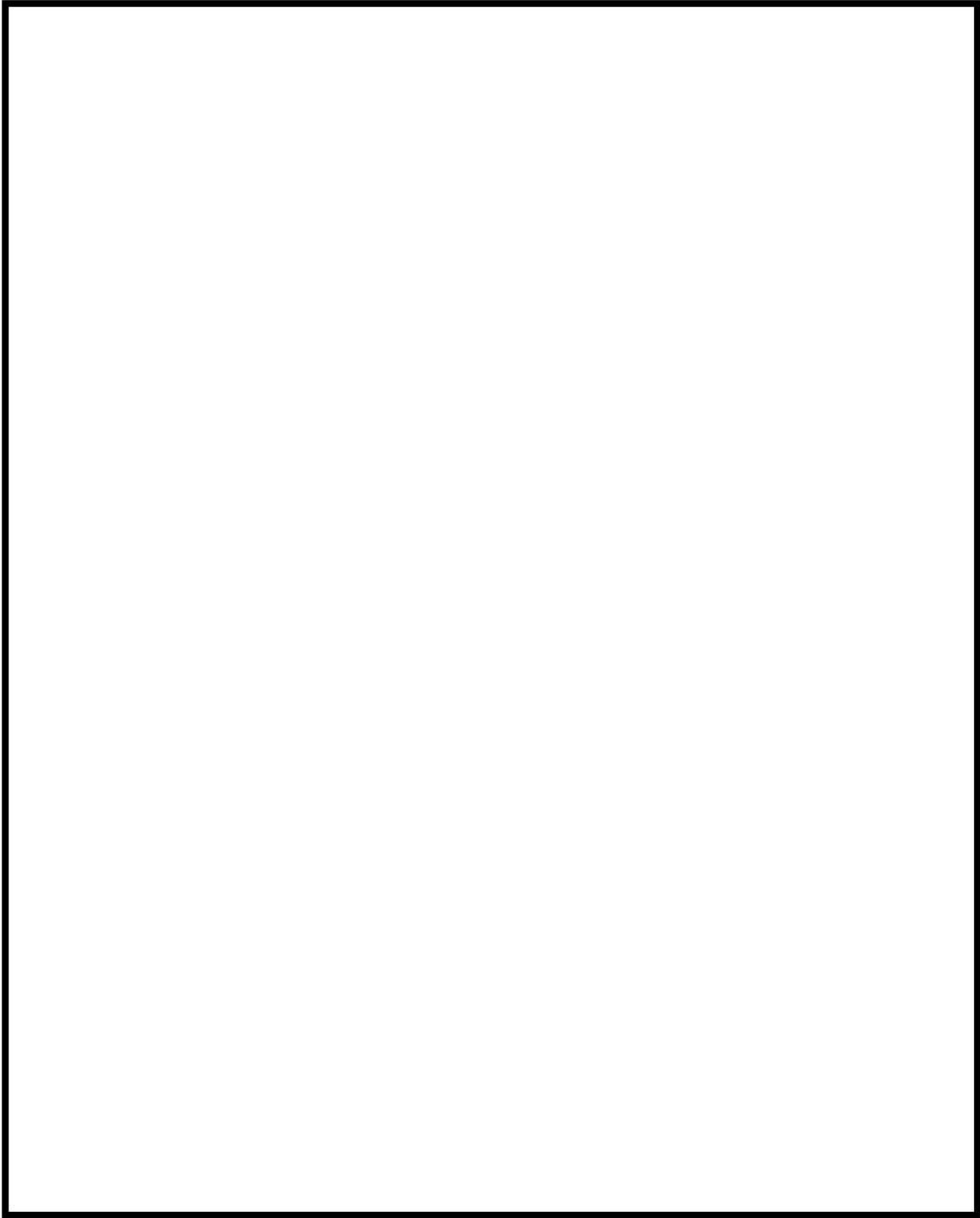
 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。




 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

(付録2)

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

平成23年2月

東京工芸大学

### 2.2.3 竜巻等による飛散物

#### (1) 飛散物の衝撃速度に関する研究のレビュー

##### 1) はじめに

竜巻中の飛散物の速度に関する研究は種々あるが、建物の壁を貫通するなど、高速の飛散物の速度をビデオ映像などの実際の飛散の様子から求めたものはほとんどない。いずれも被害の状況からの推定値であったり、飛散物を球や平板などの単純な形状と仮定した上で運動方程式をたて、物体が受ける空気力をモデル化して計算で求められたものである。その場合、飛散物の速度は物体の形状、重さ、物体の飛散開始位置（地面からの高さ、竜巻の渦に対する相対的な位置）、初期速度、また、竜巻の渦の移動速度や竜巻中の気流性状の違いによって様々に変化する。文献[1]の第16章3節には、これらについて過去の研究結果や観測結果を調べ、竜巻中の飛散物の速度の算出方法やその結果がよくまとめられているので、以下にその和訳を示す（一部省略、改変を行っている）。

##### 2) 竜巻による飛散物の飛散速度、距離の導出方法

竜巻による空気力の作用のもとで移動する物体の速度を推定する際には、以下の点について幾つかの仮定を用いる。

- ・物体の空気力特性に関して。
- ・気流場の詳細な性状に関して。
- ・地面からの高さや竜巻中心からの物体の初期位置、および、物体の初期速度に関して。

原子力発電施設の設計に際して一般的に飛散物となる可能性のある物体は、木の厚板や綱棒、綱管、ポールや自動車などである。以下では、竜巻による飛散物の運動を数値シミュレーションに基づいて解く場合の問題に関する研究をレビューする。

##### 3) 運動方程式と空気力学的モデル化

物体の運動は、通常3つの運動量の釣り合い式と3つのモーメントの釣り合い式を解くことによって記述することができる。非流線型物体（ブラフボディ）の場合、これらの6つの式を記述する際に主に問題となるのは、空気力をどのように与えればよいか判らないことである。

静的な条件下で物体に作用する空気力やモーメントを、風洞実験で平均風向に対して十分細かく風向を変えて測定することは可能である。そのような測定結果に基づき、風向角による空気力やモーメントの変化と対応する空気力係数が得られる。そして、翼理論で用いられるよく知られた方法に従って、空気力やモーメントを計算することができる。たとえば、一様流中で速度 $V$ と風向角 $\alpha$ が一定で、翼が時間変化する鉛直方向の動きを $h(t)$ と



すれば、揚力係数は

$$C_L = \frac{dC_L}{d\alpha} \left( \alpha + \frac{1}{V} \frac{dh}{dt} \right) \quad (2.2.3.1)$$

と表される。空気力とモーメントを計算するこの方法は、対象となる物体の動きが小さいときに有効であると考えられるが、物体が拘束されずに気流中で運動するときにも、この方法が有効であることを示しておく必要がある。

飛散物を6自由度の剛体として空気力学的に記述するモデルとして満足できるものがないため、通常、次式で示される抗力に基づいた質点として飛散物を記述する方法がとられる。

$$D = \frac{1}{2} \rho C_D A |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M| (\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M) \quad (2.2.3.2)$$

ここで、 $\rho$ は空気密度、 $\mathbf{V}_w$ は風速、 $\mathbf{V}_M$ は飛散物の速度、 $A$ は適切に選ばれた面積、 $C_D$ は対応する抗力係数である。これは飛散物が運動している間、(1)相対的な速度ベクトル $\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M$ に対して、一定か、ほぼ一定な姿勢を保つこと、あるいは、(2)抗力 $D$ の表現の中で、大きな誤差を伴わないで、 $C_D A$ の値としてある平均値が使えるような tumbling (回転しながら落下する) 運動をするときに適切なモデルとなる。竜巻の気流中にある非流線型物体では以下を仮定することは残念ながらほとんど無理であるが、空気力が常に物体の重心に正確に作用するか重心に対してゼロでない空力モーメントによって引き起こされる物体の回転が、物体一流体系に備わっている空気力によって抑制されるならば、流れに対して一定の姿勢を保つことが保証される。したがって、そのような力が作用するかどうかの問題となる。種々の文献をみると、この疑問に対する研究はこれまで徹底的にはなされていない。しかし、簡単な実験によると、ブラフボディの場合、空力的な減衰力は不安定化の効果をもっていることがうかがえ、文献[2]の風洞実験でもこの傾向が確かめられている。したがって、竜巻によって生じる可能性のある飛散物は tumbling 運動をするとみなしてよいであろう。

式(2.2.3.2)が成り立ち、tumbling 運動をしているときに平均的に流れ直角方向の力がないとすると、飛散物の運動は3自由度系となり以下の関係に支配される。

$$\frac{d\mathbf{V}_M}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M| (\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M) - g\mathbf{k} \quad (2.2.3.3)$$

ここで、 $g$ は重力加速度、 $\mathbf{k}$ は鉛直方向の単位ベクトル、 $m$ は飛散物の質量である。流れ場と初期条件を与えると式(2.2.3.3)により物体の運動はパラメータ $C_D A/m$ のみに依存する。tumbling 運動をしている物体に対してはこのパラメータの値は、原理的に実験で決定することができるが、残念ながらこれに関して現在のところ使える情報はあまりない。文

献[3]には音速 0.5 から 3.5 の気流中の tumbling 運動に関する情報が含まれている。文献[3]のデータは文献[4]で、より低い亜音速領域に外挿されている。それによると、ランダムに tumbling 運動をしている立方体に対して  $C_D A$  の値は、ほぼ、“確率的に取りうる可能性のある全ての姿勢に対する投影面積と、対応する静的な抗力係数の積の平均値に等しい”と仮定できる（文献 4）。実験的な情報がこれ以上ないので、 $C_D A$  の実効的な値が次式のように表されるとしてもよいであろう。

$$C_D A = c(C_{D1} A_1 + C_{D2} A_2 + C_{D3} A_3) \quad (2.2.3.4)$$

$C_D A = c(C_{D1} A_1 + C_{D2} A_2 + C_{D3} A_3)$  ここで、 $C_{Di} A_i$  ( $i=1,2,3$ ) は物体の主軸がベクトル  $\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M$  に平行なときに各軸方向の投影面積と対応する静的な抗力係数の積、 $c$  は係数で、厚板、ロッド、パイプ、ポールに対する値としては 0.50、自動車に対しては 0.33 の値をとるとしているが、棒、パイプ、ポールなどの円筒形物体に対する  $c=0.50$  は明らかに小さい。

#### 4) 計算結果

竜巻による飛散物の軌跡と速度を計算し描画する計算プログラムが文献 5) に述べられている。このプログラムは竜巻の風速場のモデルとレイノルズ数の関数として変化する抗力係数を組み込んだサブルーチンを含んでいる。入力文は関連するパラメータと飛散物の運動の初期条件を含んでいる。

式(2.2.3.3)において  $\mathbf{V}_M$  と  $\mathbf{V}_w$  は絶対座標系で与える。風速  $\mathbf{V}_w$  は通常 2 つの速度の和として与えられる。第 1 は、定常的な竜巻の渦による風速で円筒座標系で表される。第 2 は、基準となる絶対座標系に対する竜巻の渦の移動速度である。絶対座標系において  $\mathbf{V}_w$  を記述する変換は文献[5]で導かれており、計算プログラムに含まれている。

表 2.2.3.1 (文献[6]と表 2.2.3.2 に与えられたパラメータを使って、図 2.2.3.1 に示されるアメリカ合衆国における年間超過確率  $10^{-7}$  に相当する竜巻強さの領域分け I, II, III (文献 6) に対応する、タイプ I, II, III (表 1 参照) の竜巻に対して、飛散物の最大水平速度  $V_{Hmax}$  が計算され、図 2.2.3.2 にパラメータ  $C_D A/m$  の関数として与えられている。

表 2.2.3.1 設計基準竜巻の特性 (文献[9]より)

領域	最大風速m/s (mph)	移動速度 m/s (mph)	最大回転風 速 m/s (mph)	最大回転風 速半径m (ft)	気圧下降mb (psi)	気圧下降率 mb/s (psi/s)
I	103 (230)	21 (46)	82 (184)	45.7 (150)	83 (1.2)	37 (0.5)
II	89 (200)	18 (40)	72 (160)	45.7 (150)	63 (0.9)	25 (0.4)
III	72 (160)	14 (32)	57 (128)	45.7 (150)	40 (0.6)	13 (0.2)

表 2.2.3.2 選ばれた飛散物の特性と最大水平速度

	大きさ	重さ (lb/ft)	重さ (kg/m)	$C_{D1}$	$C_{D2}$	$C_{D3}$	$C_{DA}/w$ (ft <sup>2</sup> /lb)	$C_{DA}/m$ (m <sup>2</sup> /kg)	$V_{Hmax}$ 竜巻タイプ		
									Type I	Type II	Type III
1 木の棒	3 $\frac{1}{2}$ " × 1 $\frac{1}{2}$ " × 12' (0.092 m × 0.289 m × 3.66m)	8.2 to 11 (e.g. 9.6)	12.2 to 16.3 (e.g. 14.3)	2.0	2.0	2.0	0.132	0.0270	272 ft/s (83 m/s)	230 ft/s (70 m/s)	190 ft/s (58 m/s)
2 鉄パイプ	6.625" (diam) × 15' length (0.168 m × 4.58 m)	18.97	28.18	0.7	2.0	0.7	0.0212	0.0043	171 ft/s (52 m/s)	138 ft/s (42 m/s)	33 ft/s (10 m/s)
3 自動車	16.4' × 6.6' × 4.3' (5 m × 2 m × 1.3m)	4000 lb (total wt)	1810 kg (total mass)	2.0	2.0	2.0	0.0343	0.0070	193 ft/s (59 m/s)	170 ft/s (52 m/s)	134 ft/s (41 m/s)
4 鋼棒	1" (diam) × 3' (length) (0.0254 m × 0.915 m)	2.67	4.0	1.2	2.0	1.2	0.0190	0.0040	167 ft/s (51 m/s)	131 ft/s (40 m/s)	26 ft/s (8 m/s)
5 鉄パイプ	13.5" (diam) × 35' (length) (0.343 m × 10.68 m)	27.5-36.5 (e.g. 32)	40.8-54.2 (e.g. 47.5)	0.7	2.0	0.7	0.0254	0.0052	180 ft/s (55 m/s)	157 ft/s (48 m/s)	85 ft/s (26 m/s)
6 鉄パイプ	12.75" (diam) × 15' (length) (0.32 m × 4.58 m)	49.56	73.6	0.7	2.0	0.7	0.016	0.0033	154 ft/s (47 m/s)	92 ft/s (28 m/s)	23 ft/s (7 m/s)

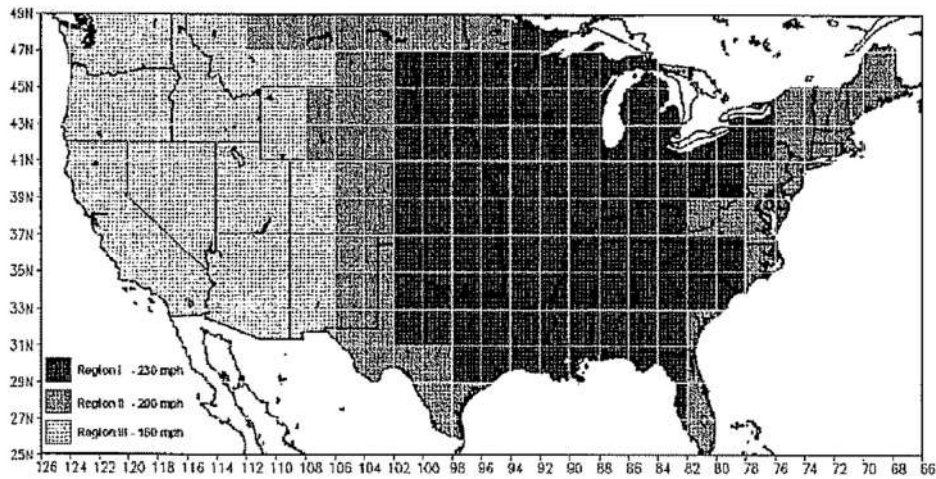


図 2.2.3.1 文献[6]よりアメリカ合衆国における年間超過確率  $10^{-7}$  に相当する竜巻強さの領域に相当する 3 つの風速の分布を示す。横軸は経度(西経 66~126 度), 縦軸は緯度(北緯 25 ~49 度)

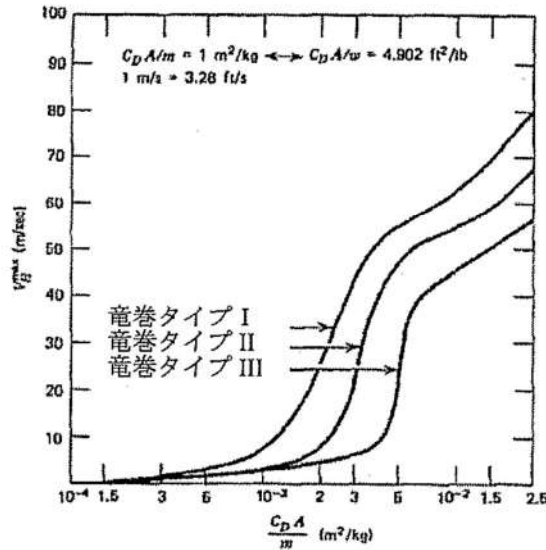


図 2.2.3.2 種々の竜巻のタイプに対して  $C_D A/m$  の関数として与えられた飛散物の最大水平速度の変化.

これらの計算では以下の仮定が使われている.

- ・ 竜巻の接線方向風速  $V_t$  は式(2.2.3.5)と(2.2.3.6)で記述される.

$$V_t = \frac{r}{R_m} V_m \quad (0 \leq r \leq R_m) \quad (2.2.3.5)$$

$$V_t = \frac{R_m}{r} V_m \quad (R_m < r < \infty) \quad (2.2.3.6)$$

- ・ 径方向風速  $V_r$  と鉛直方向風速  $V_z$  は次のように与える[文献 7]

$$V_r = 0.50 V_t \quad (2.2.3.7)$$

$$V_z = 0.67 V_t \quad (2.2.3.8)$$

- ・ 径方向成分は図 2.2.3.3 のように渦の中心方向を正とし鉛直方向成分は上方を正とする.
- ・ 竜巻の渦の移動速度  $V_v$  は図 2.2.3.3 のように  $x$  軸の正方向にとる.
- ・ 時刻  $t=0$  における初期条件は  $x(0) = R_m$ ,  $y(0) = 0$ ,  $z(0) = 40\text{m}$ ,  $V_{Mx}(0) = V_{My}(0) = V_{Mz}(0) = 0$  ここで,  $x, y, z$  は飛散物の重心を通る座標軸で,  $V_{Mx}, V_{My}, V_{Mz}$  はそれぞれ  $x, y, z$  軸に沿う飛散物の速度である.  $t=0$  における竜巻の中心は座標軸の原点にある. タイプ I の竜巻中で  $C_D A/m=0.1$  の飛散物で計算された軌跡の水平投影図を図 2.2.3.4 に示す. 表 2.2.3.2 には選ばれた飛散物の推定される特性を挙げてある. また, 図 2.2.3.2 から得られた対応する水平速度  $V_{Hmax}$  も示す.

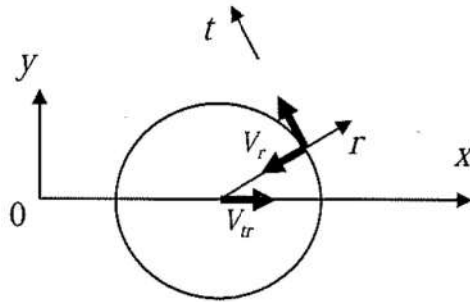


図 2.2.3.3 竜巻の風速の水平成分

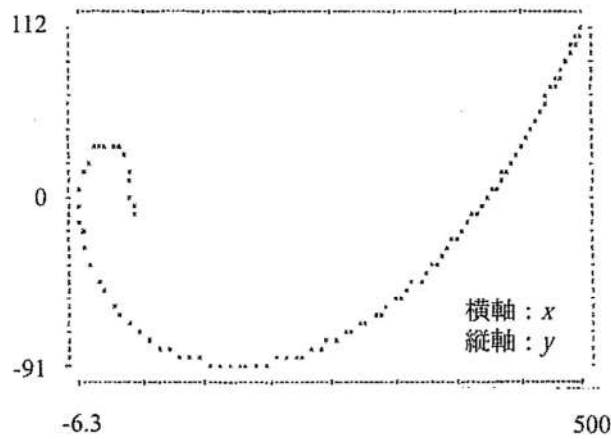


図 2.2.3.4 計算された飛散物の軌跡の水平投影図 (軸の表示は m)

5) 飛散物の最大水平速度の感度解析

運動モデルには不確実性が含まれるので、表に示された推定値の範囲で飛散物の最大水平速度  $V_{Hmax}$  の感度を調べることは興味のあることである。以下で考察する各ケースにおいて、全ての仮定は図 2.2.3.2 の竜巻のタイプ I に対して用いられたものと同じである。

(a) 初期条件  $x(0)$  と  $y(0)$

$C_D A/m=0.001$  と  $C_D A/m=0.1$  で初期条件  $x(0)$ ,  $y(0)$  に対して得られた結果を 3 種類、表 2.2.3.3 に示す。表中の矢印は接線方向と竜巻の移動方向の風速の方向を示す。  $V_H^{max}$  の計算された最大値に対応する初期位置は  $C_D A/m$  により変化し、  $C_D A/m=0.001$  では位置(c),  $C_D A/m=0.1$  では位置(b)となる。

表 2.2.3.3 種々の初期条件  $x(0), y(0)$  に対する飛散物の最大水平速度  $V_{Hmax}$  (m/s)

		$x(0)$	$y(0)$	$C_D A/m$	
		(m)	(m)	$= 0.001$	$= 0.01$
(a)		46	0	7	62
(b)		23	0	15	89
(c)		0	-46	51	67

(b) 初期高さ  $x(0)$

計算によると、パラメータ  $C_D A/m$  が図 2.2.3.2 の中央の S 型曲線に対応している場合には  $V_{Hmax}$  は初期高さが低くなるとともに小さくなる。しかし、飛散物が相対的に軽くてパラメータ  $C_D A/m$  が左側の S 型曲線に対応している場合には  $V_{Hmax}$  は  $x(0)$  には依存しない。

(c) 飛散物の初期速度

たとえば、爆発などによって飛散物が流の中に取り込まれた場合、初期速度がゼロという仮定は成り立たなくなる。他の条件が全て同じ場合、初期速度がゼロに対応した計算結果よりも初期速度がゼロでない場合が速くなることはない。表 2.2.3.4 に  $V_{My}(0)=0, V_{Mz}(0)=0$  として、 $V_{Mx}(0)=0, 10, 20\text{m/s}$  の場合の結果を示す。これによると、 $C_D A/m=0.001$  では  $V_{Mx}(0)=10\text{m/s}$  の方が  $V_{Mx}(0)=20\text{m/s}$  の場合よりも  $V_{Hmax}$  は速くなっている。

(d) 竜巻の渦の移動速度  $V_r$

初期位置  $x(0), y(0)$  に対して、竜巻の渦の移動速度  $V_r$  が減少するにつれて  $V_H^{max}$  は増加したり減少したりする。たとえば、 $x(0)=46\text{m}, y(0)=0, C_D A/m=0.001$  の場合  $V_r=0$  ならば  $V_{Hmax}=25\text{m/s}$  となり、表 2.2.3.3 にある  $V_{Hmax}=7\text{m/s}$  (このとき  $V_r=31\text{m/s}$ ) よりも速くなる。しかし、 $x(0)=0, y(0)=-46\text{m}, C_D A/m=0.001$  の場合  $V_{Hmax}=25\text{m/s}$  となり、表 2.2.3.3 にある  $V_{Hmax}=51\text{m/s}$  よりも遅くなる。

表 2.2.3.4 種々の初期速度に対する飛散物の最大水平速度  $V_{Hmax}$  (m/s)

		$x(0)$	$y(0)$	$C_D A/m = 0.001$			$C_D A/m = 0.01$		
				$V_{Mx}(0)$			$V_{Mx}(0)$		
				0	10	20	0	10	20
(a)		46	0	8	9	20	62	58	53
(b)		0	-23	35	45	35	63	59	59

(e) 渦の流のモデル

文献[8]と文献[9]に提案されている渦のモデルは、ここで使った半径  $R_m$  が一定となるモデルとは異なっており、基本的に地面からの高さとともに直線的に半径  $R_m$  は増加すると

仮定している。もし、このモデルが使われるならば、対応する飛散物の速度の計算結果はほとんどの場合、図 2.2.3.2 よりも速くなるということが文献[5]に示されている。

何人かの気象学者たちは、式(2.2.3.5)で示される速度よりもほとんどの竜巻の風速場において実際の竜巻の径方向の速度  $V_r$  はかなり遅くなるという見解を示している。したがって、飛散物が多く運動量を獲得する高風速領域内の軌跡を計算するための径方向の抗力係数は相対的に小さくなり、飛散物の速度は図 2.2.3.2 の値よりもかなり遅くなる。実際の鉛直方向の風速は式(2.2.3.6)で得られるよりも遅いと考えられているので、飛散物はこの式に基づいて計算されたものより速く地面に落下しやすい。その結果として飛散物の速度も減少する(文献[5])。

竜巻による飛散物の速度の決定論的研究に関しては文献[10]から文献[16]を参照されたい。ANSI/ANS-2.3-1983 基準(文献[17])に明記された飛散物の速度を表 2.2.3.5 に示す。

表 2.2.3.5 ANSI/ANS-2.3-1983 基準(文献[17])に示された飛散物の最大水平速度を挙げる。

飛散物	重さ (pounds)	風速							
		320 mph	260 mph	250 mph	200 mph	180 mph	150 mph	140 mph	100 mph
自動車	4,000	115 mph	100 mph	95 mph	75 mph	65 mph	50 mph	45 mph	20 mph
ワイドフランジ	750	1,100 ft	850 ft	800 ft	600 ft	450 ft	200 ft	180 ft	100 ft
(W 14 × 30 か同等品)		100 mph	75 mph	70 mph	50 mph	45 mph	30 mph	25 mph	0 mph
		700 ft	440 ft	400 ft	200 ft	180 ft	100 ft	80 ft	0 ft

Source: Extracted from American National Standard ANSI/ANS-2.3-1983 with permission of the publisher, the American Nuclear Society.

## 移動ランキン渦モデルによる竜巻飛来物速度の評価

## Evaluation of Tornado-borne Missile Speed using a Translating Rankine Vortex Model

○ 江口 譲, 電中研, 千葉県我孫子市我孫子 1646, eguchi@criepi.denken.or.jp  
 杉本 聡一郎, 電中研, 千葉県我孫子市我孫子 1646, soichiro@criepi.denken.or.jp  
 服部 康男, 電中研, 千葉県我孫子市我孫子 1646, yhattori@criepi.denken.or.jp  
 平口 博丸, 電中研, 千葉県我孫子市我孫子 1646, hiromaru@criepi.denken.or.jp  
 Yuzuru Eguchi, Soichiro Sugimoto, Yasuo Hattori, and Hiromaru Hirakuchi.

Central Research Institute of Electric Power Industry, Abiko 1646, Abiko-shi, Chiba-ken, 270-1194 JAPAN

We have developed a numerical model to evaluate velocity of tornado-borne objects or missiles where wind of tornado is modeled with translating Rankine vortex and an object is assumed to be subject to drag and gravity forces in a manner similar to E. Simiu and M. Cordes (1976). In this study, effects of time integration scheme and time increment on accuracy are numerically examined and discussed. Furthermore, the results of tornado-borne missile speed are compared with those of the previous studies where tornado wind fields were defined by scaling an LES result obtained for a small experimental apparatus, to discuss the effect of the tornado wind features on the missile speed.

## 1. 序論

原子力発電所の安全審査においては、竜巻やその随伴事象が発生したとしても原子力発電所の安全性が維持されることが求められる。竜巻発生時には強風により浮上した物体が原子力発電施設に衝突する可能性があるため、竜巻に伴う飛来物の設計速度を定める必要がある。この竜巻飛来物評価方法として、米国の原子力規制委員会の規制ガイド<sup>(1)</sup>では、E. Simiu<sup>(2)</sup>の方法と同様に、竜巻をランキン渦で簡易的にモデル化する方法が用いられている。一方、国内では、小規模な竜巻発生実験装置を対象とした非定常乱流解析で得られた数値解析結果に基づき、スケール則によって実規模竜巻の風速場に変換した非定常風速場を用いる方法が検討されている<sup>(3)</sup>。そこで、本研究では、まず E. Simiu and M. Cordes<sup>(2)</sup>と同様の竜巻風速モデルに基づいて飛来物速度を求めるための数値解析プログラム TONBOS を作成し、数値積分法や時間ステップ幅が飛来物速度に与える影響を明らかにする。次に、非定常風速場を用いる既往研究<sup>(3)</sup>で数値解析結果が提示されている問題を対象として、TONBOS を用いた数値解析を行い、これらの数値解析結果の比較により、竜巻風速場が飛来物速度に与える影響について議論する。

以下、2章では、本研究で開発した竜巻飛来物速度評価プログラム TONBOS の物理モデル（基礎方程式）とその数値解析スキームについて説明する。3章では、時間積分法や解析条件等が数値解析結果に与える影響について議論する。4章では、既往研究の数値解析結果<sup>(4)</sup>との比較により、竜巻風速場が飛来物速度に与える影響について議論する。

## 2. 数値解析の物理モデルと計算スキーム

## 2.1 基礎方程式

## (a) 竜巻の風速場

竜巻の風速場はx軸方向に一定速度 $V_x$ で移動するランキン渦でモデル化する。ランキン渦の周方向風速 $V_\theta$ 、径方向(中心方向)風速 $V_r$ 、上昇風速 $V_z$ は E. Simiu and M. Cordes<sup>(2)</sup>と同様に以下の式で定義する (Fig.1 参照)。

$$V_r = af(r), V_\theta = bf(r), V_z = cf(r) \quad (1a), (1b), (1c)$$

ただし、 $a=1/\sqrt{5}$ ,  $b=2/\sqrt{5}$ ,  $c=4/3\sqrt{5}$  と定義し、周方向風速 $V_\theta$ と径方向風速 $V_r$ を合成した渦の水平速度 $f(r)=(V_\theta^2+V_r^2)^{1/2}$ は、以下の式で定義される。

$$f(r) = \begin{cases} \frac{r}{R_m} V_m & \text{if } 0 \leq r \leq R_m \\ \frac{R_m}{r} V_m & \text{if } R_m \leq r \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 $r$ は渦中心からの距離、 $R_m$ は渦コア半径(渦の水平風速が最大となる半径)、 $V_m$ は渦の最大水平風速である。なお、文献(3)では渦の周方向風速 $V_\theta$ の最大値[最大径方向風速]として $V_m$ が定義されているので、この場合は、式(1a)-(1c)で $a=1/2$ ,  $b=1$ ,  $c=2/3$ に設定し、 $f(r)$ は渦の周方向(接線方向)速度とみなす。

時刻 $t=0$ で竜巻中心は原点に位置するものとし、竜巻の風速場は飛来物の影響を受けないと仮定すると、時刻 $t$ における竜巻の風速場 $\mathbf{V}_w$ の各風速成分 $(u, v, w)$ は式(1a)-(1c), (2)などから以下のようになる。

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \frac{f(r)}{r} \begin{pmatrix} -a(x - V_x t) - by \\ -ay + b(x - V_x t) \\ cr \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} V_x \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

ただし、渦中心からの距離 $r$ は以下で与えられる。

$$r = \sqrt{(x - V_x t)^2 + y^2} \quad (4)$$

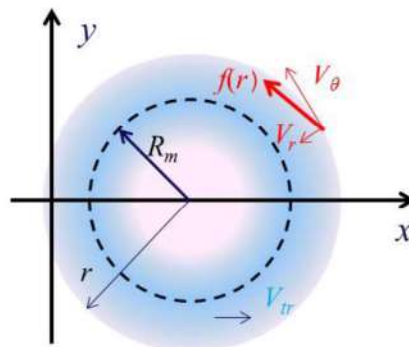


Fig. 1 Plan view of translating Rankine vortex



なお、静止する観測者からみた最大水平風速  $V_D$  は、以下で計算される。

$$V_D = V_m + V_r \quad (5)$$

#### (b) 飛来物の運動

飛来物の運動は、既往研究<sup>(2)(6)</sup>と同様に方向性がない平均的な抗力（抗力係数一定）と重力のみが外力として作用すると仮定する。この場合の飛来物の運動方程式は以下のようになる。

$$\frac{d\mathbf{V}_M}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M| (\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M) - g\mathbf{k} \quad (6)$$

ここで、各変数は以下で定義されるものである。

- $\mathbf{V}_M$ : 飛来物の速度ベクトル
- $\mathbf{V}_w$ : 風速ベクトル（ランキン型渦風速と移動速度の和）
- $\rho$ : 空気密度
- $C_D$ : 飛来物の平均抗力係数
- $A$ : 飛来物の代表見附面積
- $m$ : 飛来物の質量
- $g$ : 重力加速度
- $\mathbf{k}$ : 鉛直上向き単位ベクトル

#### 2.2 飛来物運動方程式の時間積分法

時刻  $t$  における竜巻の風速場  $\mathbf{V}_w=(u,v,w)$  は式(3)で与えられるので、式(6)を時間積分することによって、飛来物の速度と位置の時刻歴を求めることができる。ここでは、以下の2つの時間積分法を検討する。

##### (1) 一定加速度法（陽解法）

式(6)において、時刻  $\tau$  から時刻  $\tau+\Delta\tau$  における加速度が一定（時刻  $\tau$  の値で一定）と仮定する。つまり、

$$\frac{d\mathbf{V}_M(t)}{dt} = \mathbf{A}(\tau) \quad (7)$$

ただし、 $\mathbf{A}(\tau)$  は以下で定義される加速度ベクトルである。

$$\mathbf{A}(\tau) = k |\mathbf{V}_w(\tau) - \mathbf{V}_M(\tau)| \{ \mathbf{V}_w(\tau) - \mathbf{V}_M(\tau) \} - g\mathbf{k} \quad (8)$$

なお、簡単のため  $k = \rho C_D A / 2m$  とした。式(7)を時間積分すると、以下の速度式を得る。

$$\mathbf{V}_M(t) = \mathbf{V}_M(\tau) + \mathbf{A}(\tau)(t - \tau) \quad (8)$$

さらに、式(9)を時間積分すると、以下の飛来物位置の時間変化式を得る。

$$\mathbf{X}_M(t) = \mathbf{X}_M(\tau) + \mathbf{V}_M(\tau)(t - \tau) + \frac{\mathbf{A}(\tau)}{2}(t - \tau)^2 \quad (10)$$

ただし、 $\mathbf{X}_M(t)$  は飛来物の位置を表す。従って、式(9),(10)より時刻  $t = \tau + \Delta\tau$  における飛来物の速度と位置は以下で与えられる。

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau) &= \mathbf{V}_M(\tau) \\ &+ [k |\mathbf{V}_w(\tau) - \mathbf{V}_M(\tau)| (\mathbf{V}_w(\tau) - \mathbf{V}_M(\tau)) - g\mathbf{k}] \Delta\tau \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) &= \mathbf{X}_M(\tau) + \mathbf{V}_M(\tau) \Delta\tau \\ &+ \frac{\Delta\tau^2}{2} [k |\mathbf{V}_w(\tau) - \mathbf{V}_M(\tau)| (\mathbf{V}_w(\tau) - \mathbf{V}_M(\tau)) - g\mathbf{k}] \end{aligned} \quad (12)$$

式(11),(12)の右辺は時刻  $t = \tau$  における既知の速度・位置の関数であるので、陽解法として時間積分を行うことができる。

##### (2) 線形加速度法（陰解法）

線形加速度法では、時刻  $\tau$  から時刻  $\tau + \Delta\tau$  における加速度が線形に変化するものと仮定する。つまり、式(6)において、以下の式が成立する。

$$\frac{d\mathbf{V}_M(t)}{dt} = -\mathbf{A}(\tau) \frac{t - \tau - \Delta\tau}{\Delta\tau} + \mathbf{A}(\tau + \Delta\tau) \frac{t - \tau}{\Delta\tau} \quad (13)$$

式(13)を時間積分すると、以下を得る。

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_M(t) &= \mathbf{V}_M(\tau) + \mathbf{A}(\tau) \frac{\Delta\tau}{2} \\ &- \mathbf{A}(\tau) \frac{(t - \tau - \Delta\tau)^2}{2\Delta\tau} + \mathbf{A}(\tau + \Delta\tau) \frac{(t - \tau)^2}{2\Delta\tau} \end{aligned} \quad (14)$$

さらに、式(14)を時間積分すると、以下を得る。

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_M(t) &= \mathbf{X}_M(\tau) - \mathbf{A}(\tau) \frac{(\Delta\tau)^2}{6} \\ &+ \left[ \mathbf{V}_M(\tau) + \mathbf{A}(\tau) \frac{\Delta\tau}{2} \right] (t - \tau) \\ &- \mathbf{A}(\tau) \frac{(t - \tau - \Delta\tau)^3}{6\Delta\tau} + \mathbf{A}(\tau + \Delta\tau) \frac{(t - \tau)^3}{6\Delta\tau} \end{aligned} \quad (15)$$

従って、時刻  $t = \tau + \Delta\tau$  における速度と位置は以下で与えられる。

$$\mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau) = \mathbf{V}_M(\tau) + \frac{\Delta\tau}{2} [\mathbf{A}(\tau) + \mathbf{A}(\tau + \Delta\tau)] \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) &= \mathbf{X}_M(\tau) + \mathbf{V}_M(\tau) \Delta\tau \\ &+ \mathbf{A}(\tau) \frac{\Delta\tau^2}{3} + \mathbf{A}(\tau + \Delta\tau) \frac{\Delta\tau^2}{6} \end{aligned} \quad (17)$$

式(16),(17)の右辺は以下の時刻  $\tau + \Delta\tau$  における加速度  $\mathbf{A}(\tau + \Delta\tau)$  を含んでいる。

$$\begin{aligned} \mathbf{A}(\tau + \Delta\tau) &= k |\mathbf{V}_w(\tau + \Delta\tau) - \mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau)| \\ &\times \{ \mathbf{V}_w(\tau + \Delta\tau) - \mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau) \} - g\mathbf{k} \end{aligned} \quad (18)$$

このため、非線形式(18)では竜巻風速場も未知であるので、これも同時に連成させる必要がある。本研究では、これらの方程式を Newton-Raphson 法で求解し、時間積分を進めた。この Newton-Raphson 法に基づく求解法の詳細を以下に説明する。

時刻  $\tau + \Delta\tau$  において飛来物速度  $\mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau)$  とその位置  $\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) = (x_M, y_M, z_M)$  を求めるために満足すべき式は、式(16),(17),(18)および以下の竜巻の風速場のモデル方程式である。

$$\mathbf{V}_w = \frac{f(r_M)}{r_M} \begin{pmatrix} -a\{x_M - V_r(\tau + \Delta\tau)\} - b y_M \\ -a y_M + b\{x_M - V_r(\tau + \Delta\tau)\} \\ c r_M \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} V_r \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (19)$$

$$r_M = \sqrt{\{x_M - (\tau + \Delta\tau)V_r\}^2 + y_M^2} \quad (20)$$

まず、式(16), (17)から  $\mathbf{A}(\tau + \Delta\tau)$  を消去すると以下のような  $\mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau)$  と  $\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau)$  の線形関係式を得ることができる。

$$\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) = \frac{\Delta\tau}{3} \mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau) + \mathbf{d}(\tau) \quad (21)$$

ただし、 $\mathbf{d}(\tau)$  は以下で定義する。

$$\mathbf{d}(\tau) = \mathbf{X}_M(\tau) + \frac{2\Delta\tau}{3} \mathbf{V}_M(\tau) + \frac{\Delta\tau^2}{6} \mathbf{A}(\tau) \quad (22)$$

また、式(17), (18)から  $\mathbf{A}(\tau + \Delta\tau)$  を消去すると以下のような  $\mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau)$  と  $\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau)$  の非線形関係式を得ることができる。

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) = & \mathbf{X}_M(\tau) + \mathbf{V}_w(\tau)\Delta\tau + \mathbf{A}(\tau)\frac{\Delta\tau^2}{3} - \frac{\Delta\tau^2}{6}g\mathbf{k} \\ & + \frac{k\Delta\tau^2}{6}|\mathbf{V}_w(\tau + \Delta\tau) - \mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau)|\{\mathbf{V}_w(\tau + \Delta\tau) - \mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau)\} \end{aligned} \quad (23)$$

また、式(21)を用いて、式(23)中の  $\mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau)$  を消去すると以下を得る。

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) = & \mathbf{h}(\tau) \\ & + \frac{k\Delta\tau^2}{6}|\mathbf{V}_w(\tau + \Delta\tau) - \frac{3}{\Delta\tau}[\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) - \mathbf{d}(\tau)]| \\ & \times \left\{ \mathbf{V}_w(\tau + \Delta\tau) - \frac{3}{\Delta\tau}[\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) - \mathbf{d}(\tau)] \right\} \end{aligned} \quad (24)$$

ただし、 $\mathbf{h}(\tau)$ は以下で定義する。

$$\mathbf{h}(\tau) = \mathbf{X}_M(\tau) + \mathbf{V}_w(\tau)\Delta\tau + \mathbf{A}(\tau)\frac{\Delta\tau^2}{3} - \frac{\Delta\tau^2}{6}g\mathbf{k} \quad (25)$$

式(24)を満たす  $\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau)$  を求めるために以下の関数  $\mathbf{F}(\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau))$  を定義する。

$$\begin{aligned} \mathbf{F}(\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau)) = & \mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) - \mathbf{h}(\tau) \\ & - \frac{k\Delta\tau^2}{6}|\mathbf{G}(\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau))|\mathbf{G}(\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau)) \end{aligned} \quad (26)$$

ただし、 $\mathbf{G}(\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau))$ は以下で定義される。

$$\mathbf{G}(\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau)) = \mathbf{V}_w(\tau + \Delta\tau) - \frac{3}{\Delta\tau}[\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) - \mathbf{d}(\tau)] \quad (27)$$

$\mathbf{F}(\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau))=0$  を満たす  $\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau)$  を求めるために、以下のNewton-Raphson法による繰り返し計算を用いる。

$$\mathbf{X}_M^{(i+1)} = \mathbf{X}_M^{(i)} - \left( \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{X}_M} \right)^{-1} \mathbf{F}(\mathbf{X}_M^{(i)}) \quad (28)$$

ここで、ヤコビアン行列は式(26)より以下のように求めることができる。

$$\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{X}_M} = \mathbf{I} - \frac{k\Delta\tau^2}{6} \left\{ \frac{1}{|\mathbf{G}|} \mathbf{G} \otimes \left( \left[ \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial \mathbf{X}_M} \right] \mathbf{G} \right) + |\mathbf{G}| \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial \mathbf{X}_M} \right\} \quad (29)$$

ここで、 $\mathbf{I}$ は3x3の単位行列、 $\mathbf{a} \otimes \mathbf{b}$ は縦ベクトル $\mathbf{a}$ と $\mathbf{b}$ のテンソル積を表し、その(i,j)成分は $(\mathbf{a} \otimes \mathbf{b})_{ij} = a_i b_j$ と定義される。また、 $\mathbf{G}(\mathbf{X}_M)$ の $\mathbf{X}_M$ に関する微分は以下のように求められる。

$$\frac{\partial \mathbf{G}(\mathbf{X}_M)}{\partial \mathbf{X}_M} = \frac{\partial \mathbf{V}_w}{\partial \mathbf{X}_M} - \frac{3}{\Delta\tau} \mathbf{I} \quad (30)$$

### 2.3 時間進展スキーム

竜巻の風速場を規定する条件である、渦コア半径（渦の水平風速が最大となる半径） $R_m$ 、渦の最大水平風速  $V_m$  および一定移動速度  $V_s$  を与えて、以下のいずれかのスキームで時間進展させる。

#### (1) 一定加速度法（陽解法）

①初期条件の設定：時刻 $t=0$ における飛来物の初期速度と初期位置を与える。竜巻中心は原点に位置するものとする。

②時刻 $t=\tau$ の飛来物位置での竜巻風速を式(3)から求め、式(11)から時刻 $t=\tau+\Delta\tau$ の飛来物速度を、式(12)から飛来物位置を求める。

③ $\tau=\tau+\Delta\tau$ として、②に戻り時間積分を進める。（終了まで）

#### (2) 線形加速度法（陰解法）

①初期条件の設定：時刻 $t=0$ における飛来物の初期速度と初期位置を与える。竜巻中心は原点に位置するものとする。

②式(28)の繰り返し計算を収束させ、時刻 $t=\tau+\Delta\tau$ の飛来物位置を求め、次に、時刻 $t=\tau+\Delta\tau$ の飛来物速度を、式(21)から求める。

③ $\tau=\tau+\Delta\tau$ として、②に戻り時間積分を進める。（終了まで）

### 3. 数値解析コードの検証

#### 3.1 一様風での検証

時刻 $t=0$ において初期速度ゼロで原点に静止する物体が $x$ 方向の一様風 $\mathbf{V}_w=(V_w, 0, 0)$ によって発生する抗力のみを外力として受ける問題について、本研究で開発した解析コード TONBOS を検証する。この問題では、物体の運動に関しては理論解が存在し、時刻 $t$ における物体位置は以下で記述される<sup>2)</sup>。

$$x_M(t) = V_w t - \frac{1}{k} \ln(kV_w t + 1) \quad (31)$$

なお、前述と同様に $k=\rho C_D A/2m$ である。この問題を、前節で説明した2つの時間進展スキームで数値解析し、理論解と比較する。解析条件は $V_w=10[\text{m/s}]$ 、 $k=0.01[\text{m}^{-1}]$ とし、時間ステップ $\Delta\tau$ を0.01, 0.1, 1, 10[s]の4種類で計算した。時刻 $t=10[\text{s}]$ における物体位置および物体速度の相対誤差を”（計算値-理論値）÷理論値”で評価したところ、物体位置に関してはFig.2(a)に示す結果が、物体速度に関してはFig.2(b)に示す結果が得られた。

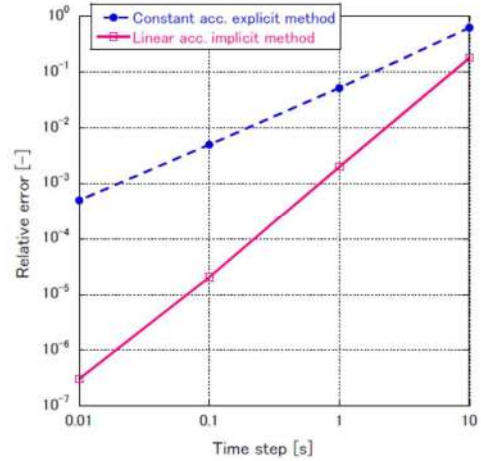


Fig.2(a) Relative error of position,  $x_M(t)$ , of an object subject to uniform wind at  $t=10$  [s] in variation with time step

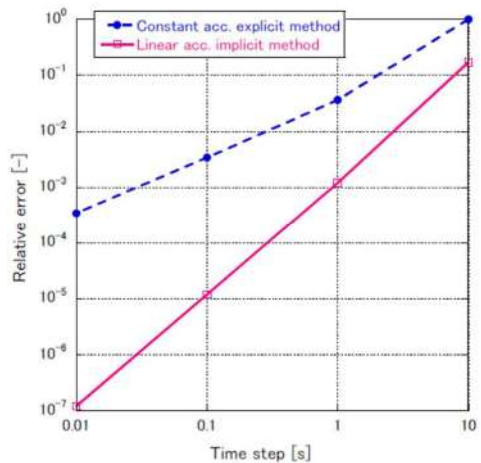


Fig.2(b) Relative error of velocity,  $u_M(t)$ , of an object subject to uniform wind at  $t=10$  [s] in variation with time step

Fig.2(a)および Fig.2(b)より一定加速度法（陽解法）よりも線形加速度法（陰解法）の方が精度が良く、一定加速度法は時間ステップに関して1次精度、線形加速度法は2次精度を有することが確認された。なお、この例では一定加速度法（陽解法）を用いても時間ステップ $\Delta t$ を0.1[s]以下に設定すれば、物体位置および物体速度の相対誤差は1%以下に抑えることができる。

3.2 移動する竜巻での検証

Simiu and Scanlan<sup>(9)</sup>は、初速ゼロの飛来物が座標( $R_m, 0.40$ ) [単位: m]に位置するものとして飛来物の運動を計算し、飛来物が地上に落下するまでに達した最大の水平速度を「飛来物最大水平速度」と定義して数値解析結果を得ている。そこで、これと同様に Table 1 に示す3種類の竜巻条件 (Tomado Type-I, -II, -III) を与えて、TONBOS によって「飛来物最大水平速度」 $V_h^{max}$ を求めた。なお、Table 1 の各条件は文献(3)の Table 3.5.1(p.127)に記載されている値を[mph]から[m/s]へ、[ft]から[m]に換算したものである。

物体特性値  $C_D A/m$  については、文献(3)の Table 16.3.1 (p.565)に掲載されている値 ( $C_D A/m=0.0033, 0.0040, 0.0043, 0.0052, 0.0070, 0.0270$  [m<sup>2</sup>/kg]) および Table 16.3.2 (p.567, Tomado Type-I) のケース (a) に掲載されている値 ( $C_D A/m=0.001, 0.01$  [m<sup>2</sup>/kg]) を選定して検証問題とした。なお、時間進展スキームには線形加速度法（陰解法）を用い、全ケースで時間ステップ $\Delta t$ を0.01[s]に設定した。また、空気密度 $\rho$ は1.226[kg/m<sup>3</sup>]、重力加速度 $g$ は9.8[m/s<sup>2</sup>]とした。

Fig.3 に物体特性  $C_D A/m$  の各値に対する「飛来物最大水平速度」 $V_h^{max}$ を文献(3)の結果と比較して示す。本数値解析の  $V_h^{max}$ の結果は文献(3)よりもやや大きい傾向にあるが、両者は整合する結果となっている。なお、一定加速度法（陽解法）を用いても、線形加速度法（陰解法）と同様の解が得られる。文献(3)との相違の原因としては、数値解析スキームの違いや空気密度などの物性値の違いが考えられるが、文献(3)などでは詳しい説明はなされていない。

Table 1 Computational condition of three types of tomadoes

	$V_m$ [m/s]	$V_p$ [m/s]	$R_m$ [m]
Tomado Type-I	129.6	31.3	45.7
Tomado Type-II	107.3	26.8	45.7
Tomado Type-III	84.9	22.4	45.7

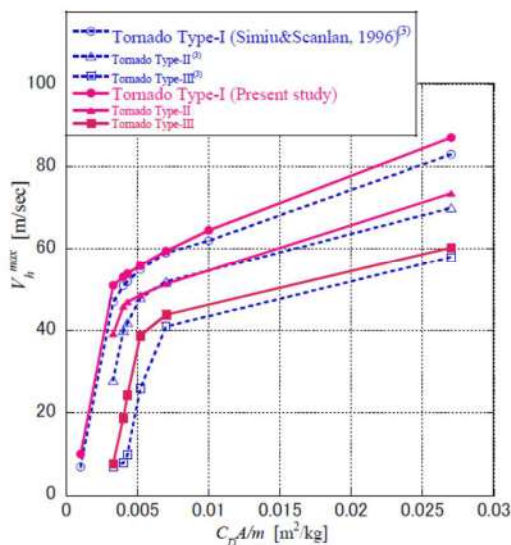


Fig.3 Maximum horizontal missile speed in variation with  $C_D A/m$

4. 竜巻風速場の影響

4.1 米国竜巻相当条件での比較

Manuyama<sup>(4)</sup>は竜巻実験装置（時間および周方向に平均化した接線風速の最大値  $V_{max}$  とその発生半径  $R_{max}$  で定義される Re 数は760）を対象とした LES 解析結果<sup>(4)(6)</sup>に基づき、一定速度  $V_p$  で移動する実規模の竜巻風速場を生成して飛来物速度を求めている。その一例として  $V_{max}=82$  [m/s],  $R_{max}=45.7$  [m],  $V_p=21$  [m/s] の竜巻条件に相当する非定常風速場を生成し、この非定常風速場の中の座標 ( $0, -R_{max}, 40$ ) [m] から初速ゼロの飛来物を放出する数値解析を多数 (5100 ケース) 行い、飛来物の「飛来物最大水平速度」 $V_h^{max}$  の確率分布を求めている (文献(4)の Fig.11)。その結果によると、 $V_h^{max}$  の平均値は48[m/s]、標準偏差は7[m/s]、最高値は62[m/s]となっている。この解析例に対応する問題を移動ランキン渦モデルで評価するために、TONBOS において  $R_m=45.7$  [m],  $V_m=82$  [m/s],  $V_p=21$  [m/s] (時間積分法,  $\rho, g$  は3.2節と同様) の条件で初速ゼロの飛来物を座標 ( $0, -R_{max}, 40$ ) [m] から放出する数値解析を行った。なお、周方向風速  $V_p$  の最大値を82[m/s]に設定するため、式(1a)-(1c) で  $a=1/2, b=1, c=2/3$  とした。その結果、 $V_h^{max}=47.22$  [m/s] が得られ、Manuyama<sup>(4)</sup> が得た  $V_h^{max}$  の平均値48[m/s]と良く一致した。

さらに、文献(4)では米国規制ガイド<sup>(1)</sup>を参考にして選定した3種類の竜巻条件について、高さ40[m]の位置から飛来物を広範囲かつ密に多数、放出して  $V_h^{max}$  を求めている。一方、本数値解析では、これに相当する条件 (Table 2 に示す Vortex Type-I, -II, -III) を TONBOS に与えて、飛来物を高さ40[m] ( $x, y$  方向に  $\pm 3R_m$  の正方形の範囲の51×51箇所) から放出して「飛来物最大水平速度」を得た。Fig.4 に物体特性  $C_D A/m$  の各値に対する  $V_h^{max}$  を文献(4)の結果と比較して示す。文献(4)の  $V_h^{max}$  は本数値解析で得られた  $V_h^{max}$  よりも大きい傾向にあるが、両者は良く整合することが分かる。

Table 2 Computational condition of three types of vortices

	$V_m^*$ [m/s]	$V_p$ [m/s]	$R_m$ [m]
Vortex Type-I	82	21	45.7
Vortex Type-II	72	18	45.7
Vortex Type-III	57	14	45.7

\* circumferential speed

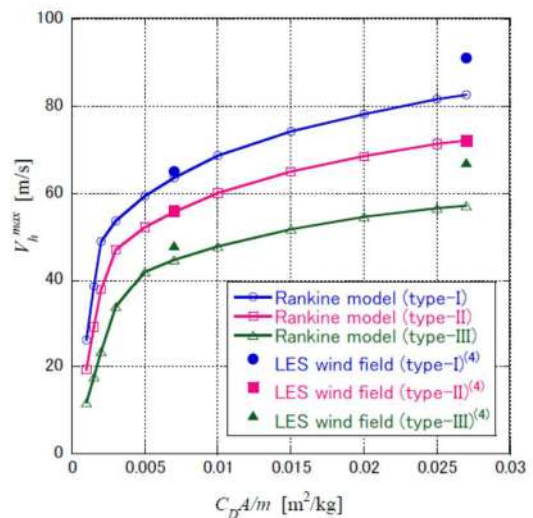


Fig.4 Maximum horizontal missile speed in variation with  $C_D A/m$  for Vortex Types-I, II and III shown in Table 2

4.2 国内最大級相当条件での比較

文献(5)の p.237 に示されている竜巻条件に相当する計算条件 (Table3) を TONBOS に与えて、「飛来物最大水平速度」 $V_h^{max}$  を求めた。文献(5)の竜巻風速場の生成方法は文献(4)と同様に LES 解析結果に基づくものであるが、高さ 40[m] の  $x, y$  方向に  $\pm 3R_m$  の正方形の  $25 \times 25$  箇所から飛来物を複数回、放出して  $V_h^{max}$  を求めている。本研究でも、同様の位置から飛来物を放出して  $V_h^{max}$  を計算した。Fig.5 に物体特性  $C_{DA}/m$  の各値に対する  $V_h^{max}$  を文献(5)の結果と比較して示す。物体特性  $C_{DA}/m$  が小さい条件では、文献(5)の  $V_h^{max}$  は本数値解析の  $V_h^{max}$  の結果よりも小さい傾向にあるが、物体特性  $C_{DA}/m$  が大きい条件では逆の傾向となる。しかしながら、両者は良く整合することが分かる。

物体特性  $C_{DA}/m$  の大小によって  $V_h^{max}$  の相対的な大小が逆転する理由としては、 $C_{DA}/m$  が小さい場合は、LES 解析の風速場の上昇速度がランキン渦に比べ小さく、水平方向に十分加速される前に早く落下するが、 $C_{DA}/m$  が大きい場合は、物体が飛散しやすいため気流中の滞在時間が長くなり、LES 解析の風速場の乱れの影響を受けて大きな飛来物速度となるためと考えられる。

5. 結論

本研究では、竜巻の風速場をランキン渦で簡易的にモデル化し、飛来物速度の運動を求めるための数値解析スキームについて説明した。この数値解析スキームに基づく竜巻飛来物評価ソフト TONBOS を用いた計算結果等より以下の結論を得た。

- (1) 飛来物の運動方程式の数値積分法としては、同一の時間ステップ条件下では、線形加速度法 (陰解法) が一定加速度法 (陽解法) よりも高精度である。ただし、時間ステップ幅が十分に小さい場合は飛来物速度に与える影響は小さい。
- (2) LES 解析結果に基づく非定常風速場を用いる既往研究結果<sup>(6)</sup>との比較により、竜巻風速場が飛来物速度に与える影響について評価したところ、物体特性  $C_{DA}/m$  の大小によって  $V_h^{max}$  の相対的な大小関係が逆転する傾向が見られるが、竜巻の風速場をランキン渦でモデル化した場合の結果は LES 解析結果に基づく結果と良く整合することが判明した。

謝辞

本研究の4章 (竜巻風速場の影響) をとりまとめるに当たり、京都大学防災研究所 気象・水象災害研究部門 耐風構造研究分野 丸山 敬 教授から貴重なご意見を頂きましたので、ここに謝意を表します。

参考文献

- (1) U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76. Design-Basis Tomado and Tomado Missiles for Nuclear Power Plants, Revision 1, March 2007.
- (2) Simiu, E. and Cordes, M., NBSIR 76-1050. Tomado-Bome Missile Speeds, 1976.
- (3) Simiu, E. and Scanlan, R. H., Wind Effects on Structures: Fundamentals and Applications to Design, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, August 1996.
- (4) Manyama, T., Simulation of flying debris using a numerically generated tomado-like vortex. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol.99(4), pp.249-256, 2011.
- (5) 東京工芸大学, “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委託研究 成果報告書, 平成 23 年 2 月.
- (6) 丸山敬, “数値的に生成された竜巻状の渦の性質”, 京都大学防災研究所年報, 第 53 号 B, 平成 22 年 6 月.

Table 3 Computational condition of tomado assumed for a nuclear power plant site

$V_m^*$ [m/s]	$V_p$ [m/s]	$R_m$ [m]
84	16	30

\* circumferential speed

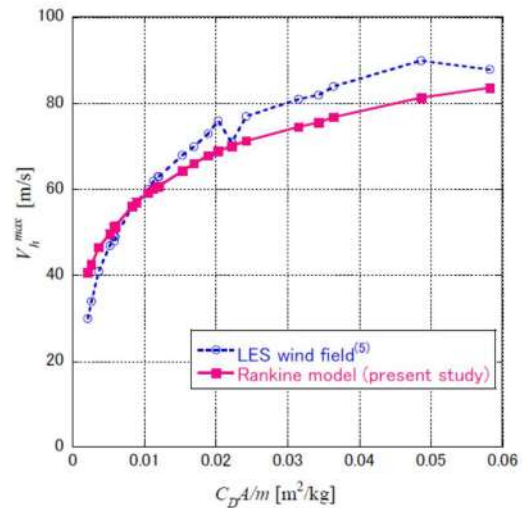


Fig.5 Maximum horizontal missile speed in variation with  $C_{DA}/m$  for tomado assumed for a nuclear power plant site shown in Table 3.

原子力発電所の竜巻影響評価ガイドへの適合状況について

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価
<p>1. 総則</p> <p>1.1 目的</p> <p>原子力規制委員会の定める「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」第6条において、外部からの衝撃による損傷の防止として、安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならぬとしており、敷地周辺の自然環境を基に想定される自然現象の一つとして、竜巻の影響を挙げている。本ガイドは、当該規定に関連して、原子炉施設の供用期間中に極めてまれに発生する突風・強風を引き起こす自然現象としての竜巻及びその随伴現象<sup>(註1)</sup>等によって原子炉施設の安全性を損なうことを目的とする。また、本評価ガイドは、竜巻影響評価の妥当性を審査官が判断する際に、参考とするものである。</p> <p>設置許可段階の安全審査においては、以下の2点について確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・設計竜巻及び設計荷重（設計竜巻荷重及びその他の組み合わせ荷重<sup>(註1.2)</sup>）が、本ガイドに示す基本的な方針を満足した上で適切に設定されていること。</li> <li>・設計荷重に対して、竜巻防護施設の構造健全性等が維持されて安全機能が維持される方針であること。</li> </ul> <p>(注1.1) 竜巻及び竜巻と同時に発生する可能性のある雷、大雨、雹<sup>ひょう</sup>等、あるいはダウンバースト等に伴って発生し得る事象</p> <p>(注1.2) 2.2.2 (2) 参照</p> <p>1.2 適用範囲</p> <p>本ガイドは、設計で想定する竜巻及びその随伴現象等によって原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であることを設置許可段階において確認する安全審査に適用する。</p> <p>1.3 関連法規等</p> <p>本ガイドは、以下の法律や基準類を参考としている。</p> <p>(1) 国内</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 核燃料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和32年6月10日法律第166号）</li> <li>・ 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令（昭和32年11月21日政令第324号）</li> <li>・ 建築基準法（昭和25年5月24日法律第201号）</li> <li>・ 建築基準法施行令（昭和25年11月16日政令第338号）</li> </ul>	<p>1. 竜巻に対する防護</p> <p>1.1 概要</p> <p>原子力規制委員会の定める「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（以下「設置許可基準規則」という。）」第6条において、外部からの衝撃による損傷の防止として、安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならぬとしており、敷地周辺の自然環境を基に想定される自然現象の一つとして、竜巻の影響を挙げている。</p> <p>発電用原子炉施設の供用期間中に極めてまれに突風・強風を引き起こす自然現象としての竜巻及びその随伴現象等によって発電用原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であることを評価・確認するため、原子力規制委員会の定める「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（平成25年6月19日原子力規制委員会決定）」（以下「ガイド」という。）を参照し、竜巻影響評価として以下を実施し、発電用原子炉施設の安全機能が維持されることを確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・設計竜巻及び設計荷重（設計竜巻荷重及びその他の組合せ荷重）の設定</li> <li>・泊発電所における飛来物に係る調査</li> <li>・飛来物防止対策</li> <li>・考慮すべき設計荷重に対する外部事象防護対象施設の構造健全性等の評価を行い、必要に応じ対策を行うことで安全機能が維持されることの確認</li> </ul>

- ・実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成25年原子力規制委員会規則第5号）
- ・実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈（原規技発第1306193号（平成25年6月19日原子力規制委員会決定））
- ・基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド（原管地発第1306192号（平成25年6月19日原子力規制委員会決定））

- ・日本産業規格
- ・日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987
- ・日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991追補版
- ・日本機械学会：発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2008年版） JSME S NCI-2008
- ・日本機械学会：発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2009年追補版） JSME S NCI-2009
- ・日本機械学会：発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2010年追補版） JSME S NCI-2010
- ・日本機械学会：発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012年版） JSME S NCI-2012
- ・日本機械学会：発電用原子力設備規格 材料規格（2012年版） JSME S NJ1-2012
- ・日本建築学会：建築物荷重指針・同解説（2004）
- ・日本建築学会：原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説（2005）
- ・日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説（2010年6月）
- ・日本建築学会：鋼構造設計規程—許容応力度設計法—（2005年9月）
- ・日本建築学会：鋼構造塑性設計指針（2010年2月）
- ・土木学会：構造工学シリーズ22 防災・安全対策技術者のための衝撃作用を受ける土木構造物の性能設計—基準体系の指針—（2013年1月）

(2) 海外

- ・ IAEA : IAEA Safety Standards, Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, Specific Safety Guide No. SSG-18, 2011
- ・ U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION : Appendix A to Part 50-General Design Criteria for Nuclear Power Plants
- ・ U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION : REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision 1, March 2007
- ・ U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION : STANDARD REVIEW PLAN, 3.3.2 TORNADO LOADS, NUREG-0800, Revision 3 - March 2007
- ・ U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION : STANDARD REVIEW PLAN, 3.5.1.4 MISSILES GENERATED BY TORNADOES AND EXTREME WINDS, NUREG-0800, Revision 3 - March 2007

ほか

1.4 用語の定義

本ガイドで用いる用語の定義を以下に示す。

- ・竜巻防護施設：「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の耐震設計上の重要度分類におけるSクラスの設計を要求される設備（系統、機器）、建屋及び構築物等。

- ・安全機能：「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の耐震設計上の重要度分類におけるSクラスの施設に要求される機能。
- ・原子炉施設：発電用軽水型原子炉施設。
- ・設計対象施設：本ガイドで設計の対象とする原子炉施設。
- ・基準竜巻：設計対象施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、設計対象施設の安全性に影響を与えおそれがある竜巻。
- ・設計竜巻：原子力発電所が立地する地域の特性（地形効果による竜巻の増幅特性等）等を考慮して、科学的見地等から基準竜巻に対して最大風速の割り増し等を行った竜巻。
- ・設計竜巻荷重：設計竜巻によって設計対象施設に作用する荷重。
- ・設計荷重：設計竜巻荷重及びその他の組み合わせ荷重。
- ・竜巻検討地域：原子力発電所が立地する地域及び竜巻発生を観点から気象条件等が類似の地域。
- ・藤田スケール：1971年にシカゴ大学の藤田哲也博士が考案した竜巻等の規模を表す指標。藤田スケールは、通常、F0～F5までの区分が用いられ、区分ごとに風速の範囲が定義されている。
- ・日本版改良藤田スケール：藤田スケールを改良した竜巻等の規模を表す指標。日本版改良藤田スケールは、JEF0～JEF5の階級が用いられ、当該階級は、被害指標ごとに設定された被害度に対応する風速のうち最大のものにより決定される。
- ・竜巻影響エリア：原子力発電所の号機ごとのすべての設計対象施設の設置面積の合計値及び推定される竜巻被害域に基づいて設定されるエリア。
- ・設計飛来物：設計竜巻によって設計対象施設に衝突し得る飛来物。
- ・竜巻随伴事象：設計竜巻等に伴い発生が想定され得る事象。
- ・ダウンバースト：積乱雲等から強い下降気流が生じて、竜巻と同様に局地的に突風を発生させる自然現象。
- ・スーパースェル：上昇気流域における顕著な回転を伴う気流によって生じる巨大積乱雲。単一巨大積乱雲とも呼ばれ、竜巻、竜巻、大雨及びダウンバースト等を発生させる。単一巨大積乱雲とも呼ばれ、竜巻、竜巻、大雨及びダウンバースト等を発生させる。

## 2. 設計の基本方針

## 1.2 評価の基本方針

## 1.2.1 竜巻から防護する施設の抽出

竜巻から防護する施設は、安全施設が竜巻の影響を受ける場合においても発電用原子炉施設の安全性を確保するために、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定される重要度分類（以下「安全重要度分類」という。）のクラス1、クラス2及びクラス3の設計を要求される構築物、系統及び機器とする。

その上で、上記構造物、系統及び機器の中から、発電用原子炉を停止するため、また停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器として安全重要度分類のクラス1、クラス2及び安全評価※上その機能に期待するクラス3に属する構築物、系統及び機器（以下「外部事象防護対象施設」という。）とし、機械的強度を有すること等により、安全機能を損なわない設計とする。

※ 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

また、外部事象防護対象施設を内包する建屋は、機械的強度を有すること等により、内包する外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計及び外部事象防護対象施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。ここで、外部事象防護対象施設及び外部事象防護対象施設を内包する建屋を併せて、外部事象防護対象施設等という。

上記に含まれない構築物、系統及び機器は、竜巻及びその随伴事象に対して機能を維持すること若しくは竜巻及びその随伴事象による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修復等の対応を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることににより、その安全機能を損なわない設計とする。

## 2.1 設計対象施設

以下の(1)及び(2)に示す施設を設計対象施設とする。

## (1) 竜巻防護施設

「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の重要度分類における耐震Sクラスの設計を要求される設備（系統・機器）及び建屋・構築物等とする。

## (2) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

当該施設の破損等により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性が否定できない施設、又はその施設の特定の区画(注2.1)。

## 解説2.1 設計対象施設

設計竜巻荷重は、基準地震動 $S_s$ による地震荷重と同様に施設に作用するものと捉え、設計対象施設は、耐震設計上の重要度分類を引用して、耐震Sクラス施設及び耐震Sクラス施設に波及的影響を及ぼし得る施設とした。ただし、竜巻防護施設の外殻となる施設等（竜巻防護施設を内包する建屋・構築物等）による防護機能によって、設計竜巻による影響を受けないことが確認された施設については、設計対象から除外できる。

竜巻防護施設の例としては、原子炉格納容器や安全機能を有する系統・機器（配管を含む）等が考えられる。外殻となる施設等による防護機能が期待できる設計対象施設の例としては、原子炉格納容器に内包された安全機能を有する設備等が考えられる。

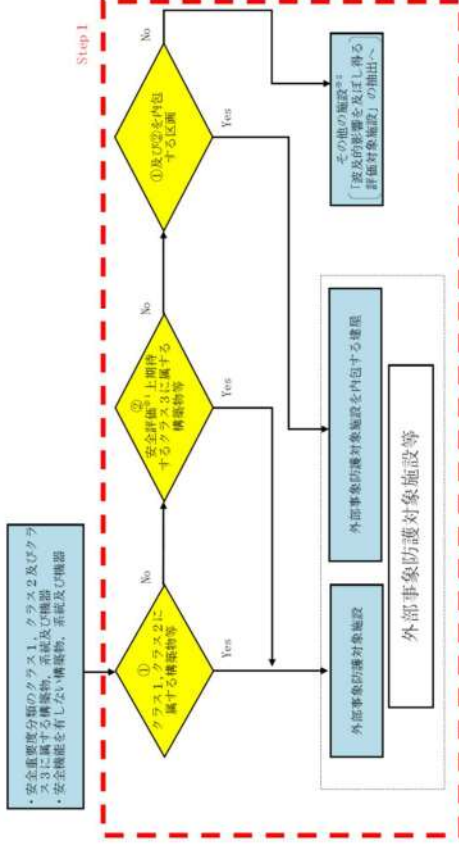
## 1.2.2 竜巻影響評価の対象施設

以下の(1)外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設及び(2)外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設に示す施設を竜巻影響評価の対象施設（以下「評価対象施設等」という。）とする。

外部事象防護対象施設等の抽出フローを第1.2.2.1図に示す。

なお、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の重要度分類における耐震Sクラスの設計を要求される施設についても、外部事象防護対象施設等として抽出すべきものがないことを確認した。【添付資料 1.2】





※ 1 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析  
 ※ 2 電巻及びその隣接事象に対して機能維持すること、電巻及びその隣接事象による損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること又は安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能であることを確認する。

第 1.2.2.1 図 外部事象防護対象施設等の抽出フロー

(1) 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設【添付資料 1.2】

外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設として、屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する施設を含む。）、屋内の施設で外気と繋がっている施設及び外殻となる施設（建屋、構造物）（以下「外殻となる施設」という。）による防護機能が期待できない施設を抽出する。

なお、外殻となる施設による防護機能が期待できない施設については、外部事象防護対象施設を内包する区画の構造健全性の確認結果を踏まえ抽出する。

防護機能を期待できることが確認できた区画に内包される外部事象防護対象施設については、該当する外殻となる施設により防護されることから、個別評価は実施しない。

第 1.2.2.2 図に、外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出フロー及び抽出された評価対象施設を示す。

a. 屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む。）

- (a) 排気筒（建屋外）
- <以下、外部事象防護対象施設を内包する区画>
- (b) 外部遮へい建屋（原子炉容器他を内包）
- (c) 周辺補機棟（主蒸気管他を内包）
- (d) 燃料取扱棟（使用済燃料ピット他を内包）
- (e) 原子炉補助建屋（中央制御室他を内包）
- (f) ディーゼル発電機建屋（ディーゼル発電機他を内包）

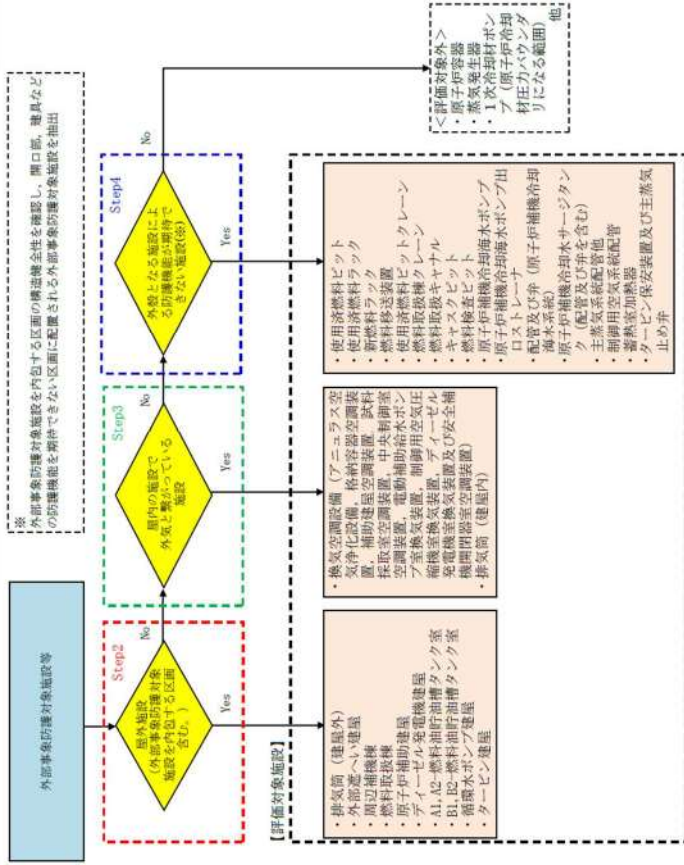
- (g) A1, A2-燃料油貯油槽タンク室 (A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽を内包)
- (h) B1, B2-燃料油貯油槽タンク室 (B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽を内包)
- (i) 循環水ポンプ建屋 (原子炉補機冷却海水ポンプ他を内包)
- (j) タービン建屋 (タービン保安装置他を内包)

b. 屋内の施設で外気と繋がっている施設

- (a) 換気空調設備 (アニュラス空気浄化設備, 格納容器空調装置, 補助建屋空調装置, 試料採取室空調装置, 中央制御室空調装置, 電動補助給水ポンプ室換気装置, 制御用空気圧縮機室換気装置, ディーゼル発電機室換気装置, 安全補機閉閉器室空調装置)
- (b) 排気筒 (建屋内)

c. 外殻となる施設による防護機能が期待できない施設

- (a) 使用済燃料ピット
- (b) 使用済燃料ラック
- (c) 新燃料ラック
- (d) 燃料移送装置
- (e) 使用済燃料ピットクレーン
- (f) 燃料取扱棟クレーン
- (g) 燃料取扱キャナル
- (h) キャスクピット
- (i) 燃料検査ピット
- (j) 原子炉補機冷却海水ポンプ
- (k) 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ
- (l) 配管及び弁 (原子炉補機冷却海水系統)
- (m) 原子炉補機冷却水サージタンク (配管及び弁含む)
- (n) 主蒸気系統配管他
- (o) 制御用空気系統配管
- (p) 蓄熱室加熱器
- (q) タービン保安装置及び主蒸気止め弁

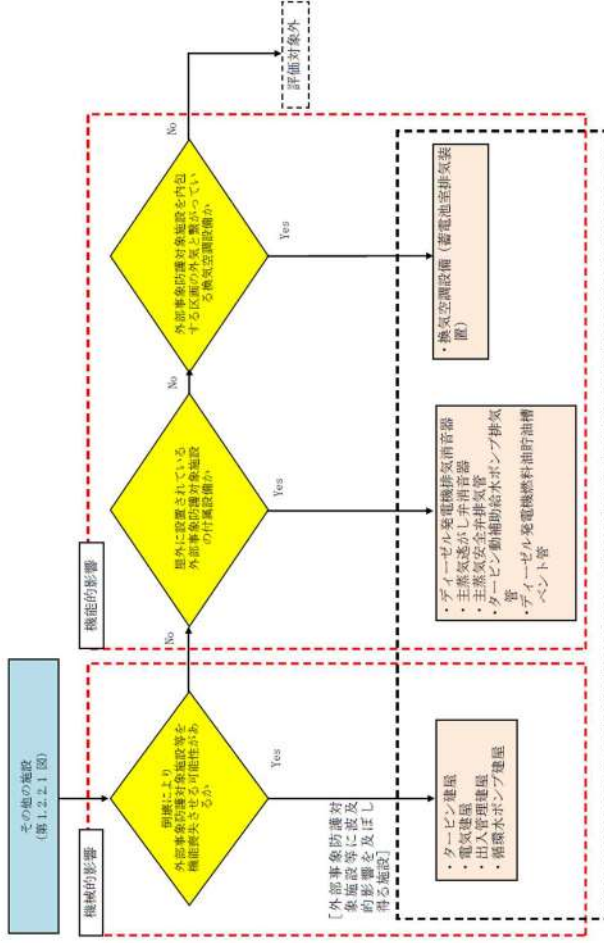


第1.2.2.2 図 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の抽出フロー

(2) 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設【添付資料 1.3】

外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、その他の施設 (外部事象防護対象施設以外の施設) のうち、倒壊により外部事象防護対象施設の付属設備のうち、設計竜巻の風圧力、気圧差及び設計飛来物等の衝突による損傷により外部事象防護対象施設を機能喪失させる (機能的影響) 可能性があるもの及び外部事象防護対象施設を内包する区画の外気と繋がっている換気空調設備 (機能的影響) とする。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価
	<p>なお、津波防護施設等は、基準津波の高さや防護範囲の広さ等の重要性を鑑み、自主的に機能維持のための配慮を行う。</p> <p>第1.2.2.3 図に、外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出フロー及び抽出された施設を示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. 外部事象防護対象施設等に機械的影響を及ぼし得る施設 <ul style="list-style-type: none"> <li>(a) タービン建屋</li> <li>(b) 電気建屋</li> <li>(c) 出入管理建屋</li> <li>(d) 循環水ポンプ建屋</li> </ul> </li> <li>b. 外部事象防護対象施設に機能的影響を及ぼし得る施設 (外部事象防護対象施設の付属設備) <ul style="list-style-type: none"> <li>(a) ディーゼル発電機排気消音器</li> <li>(b) 主蒸気逃がし弁消音器</li> <li>(c) 主蒸気安全弁排気管</li> <li>(d) タービン動補給水ポンプ排気管</li> <li>(e) ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管</li> </ul> (外部事象防護対象施設を内包する区画の外気と繋がっている換気空調設備) <ul style="list-style-type: none"> <li>(a) 換気空調設備 (蓄電池室排気装置)</li> </ul> </li> </ul>



第1.2.2.3 図 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出フロー

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド

- 2.2 設計の基本的な考え方
- 2.2.1 設計の基本フロー

図2.1に設計の基本フローを示す。設置許可段階では、基準竜巻、設計竜巻及び設計荷重が適切に設定されていること、並びに設計荷重に対して、機能・配置・構造計画等を経て抽出された設計対象施設の安全機能が維持されることを確認する。ただし、設計荷重については、設置許可段階において、その基本的な種類や値等が適切に設定されていることを確認する。

(注2.1) 竜巻防護施設を内包する区画。

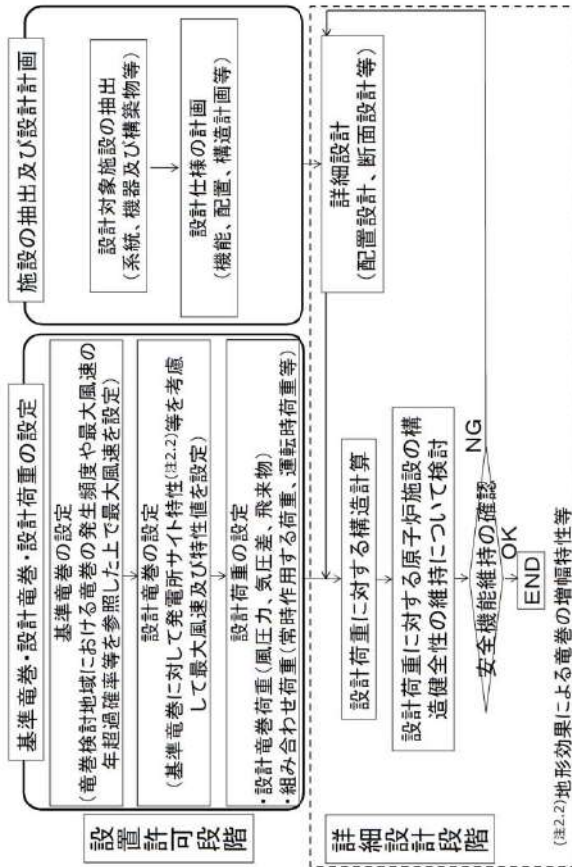


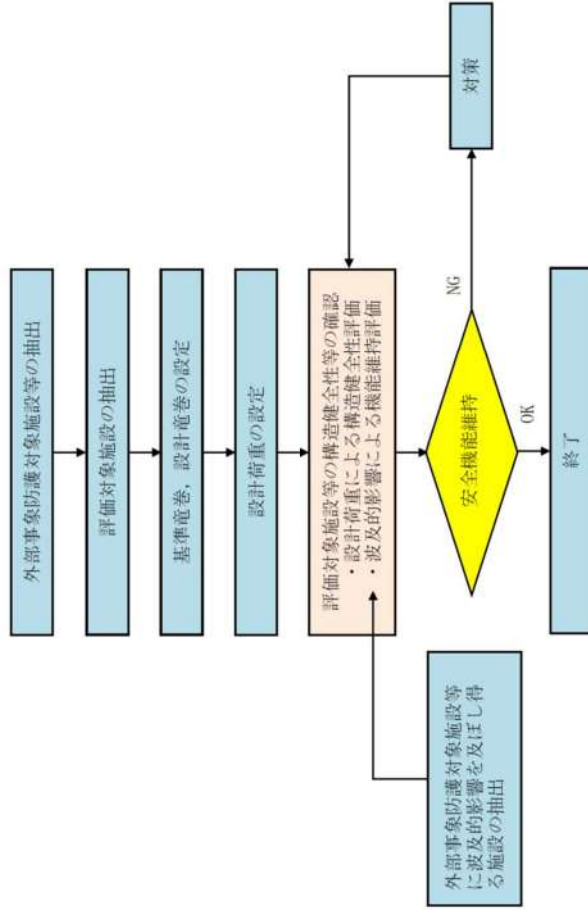
図2.1 設計の基本フロー

図2.2.1 設計の基本フロー  
 詳細設計段階においては、配置・断面設計等を経て詳細な仕様を設定された施設を対象に、設計荷重の詳細を設定し、設計荷重に対する構造計算等を実施し、その結果得られた施設の変形や応力等が構造健全性評価基準を満足すること等を確認して、安全機能が維持されることが確認されることを想定している。

泊発電所3号機竜巻影響評価

- 1.3 評価の基本的な考え方
- 1.3.1 評価方法

基準竜巻、設計竜巻及び設計荷重を適切に設定するとともに、評価対象施設等を抽出し、考慮すべき設計荷重に対する評価対象施設等の構造健全性等について評価を行い、必要に応じて対策を行うことで安全機能が維持されていることを確認する。  
 竜巻影響評価の基本フローを第1.3.1.1図に示す。



第1.3.1.1図 竜巻影響評価の基本フロー

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価
<p>2.2.2 設計対象施設に作用する荷重 以下に示す設計荷重を適切に設定する。</p> <p>(1) 設計竜巻荷重 設計竜巻荷重を以下に示す。</p> <p>① 風圧力 設計竜巻の最大風速による風圧力</p> <p>② 気圧差による圧力 設計竜巻における気圧低下によって生じる設計対象施設内外の気圧差による圧力</p> <p>③ 飛来物の衝撃荷重 設計竜巻によって設計対象施設に衝突し得る飛来物（以下、「設計飛来物」という）が設計対象施設に衝突する際の衝撃荷重</p> <p>(2) 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重を以下に示す。</p> <p>① 設計対象施設に常時作用する荷重、運転時荷重等 ② 竜巻以外の自然現象（注2.3）による荷重、設計基準事故時荷重等</p> <p>なお、上記②の②の荷重については、竜巻以外の自然現象及び事故の発生頻度等を参照して、上記②の①の荷重と組み合わせることの適切性や設定する荷重の大きさ等を判断する。</p> <p>2.2.3 施設の安全性の確認 設計竜巻荷重及びその他組み合わせ荷重（常時作用している荷重、竜巻以外の自然現象による荷重、設計基準事故時荷重等）を適切に組み合わせ設計荷重に対して、設計対象施設、あるいはその特定の区画（注2.4）の構造健全性等が維持されて安全機能が維持される方針であることを確認する。</p> <p>（注2.3）竜巻との同時発生が想定され得る雷、雪、雹、霧、雹及び大雨等の自然現象を含む。 （注2.4）竜巻防護施設を内包する区画。</p>	<p>1.3.2 評価対象施設等に作用する荷重 以下に示す設計荷重を適切に設定する。</p> <p>(1) 設計竜巻荷重 設計竜巻荷重を以下に示す。</p> <p>a. 風圧力による荷重 設計竜巻の最大風速による風圧力</p> <p>b. 気圧差による圧力 設計竜巻における気圧低下によって生じる評価対象施設等の内外の気圧差による圧力</p> <p>c. 飛来物の衝撃荷重 設計竜巻によって評価対象施設等に衝突し得る飛来物（設計飛来物）が評価対象施設等に衝突する際の衝撃荷重</p> <p>(2) 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重を以下に示す。</p> <p>a. 評価対象施設等に常時作用する荷重、運転時荷重等 b. 竜巻以外の自然現象による荷重、設計基準事故時荷重等</p> <p>なお、上記② b. の荷重については、竜巻以外の自然現象及び事故の発生頻度等を参照して、上記② a. の荷重と組み合わせることの適切性や設定する荷重の大きさ等を考慮して判断する。 具体的な荷重については、「3.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定」に示す。</p> <p>1.3.3 施設の安全性の確認方針 設計竜巻荷重及びその他組み合わせ荷重（常時作用している荷重、竜巻以外の自然現象による荷重、設計基準事故時荷重等）を適切に組み合わせ設計荷重に対して、評価対象施設等、あるいはその特定の区画の構造健全性等の評価を行い、必要に応じて対策を行うことで安全機能が維持されることを確認する。</p>

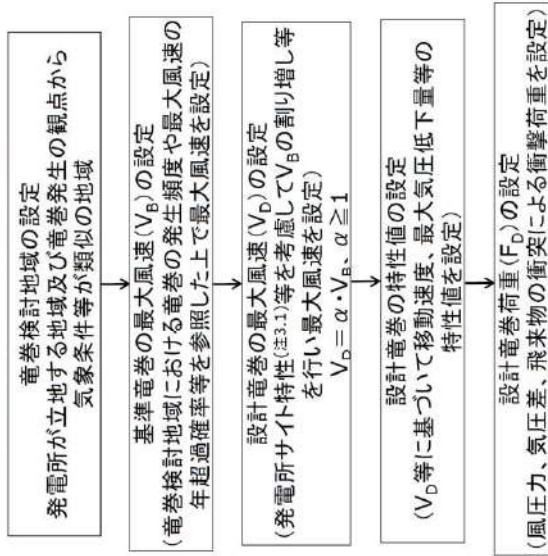
原子力発電所の竜巻影響評価ガイド

3. 基準竜巻・設計竜巻の設定

3.1 概要

設置許可段階の安全審査において、基準竜巻及び設計竜巻が適切に設定されていることを確認する。

解説3.1 基準竜巻・設計竜巻の最大風速の設定  
設計竜巻荷重を設定するまでの基本的な流れは解説図3.1に示すとおりである。



解説図3.1 基準竜巻・設計竜巻の設定に係る基本フロー

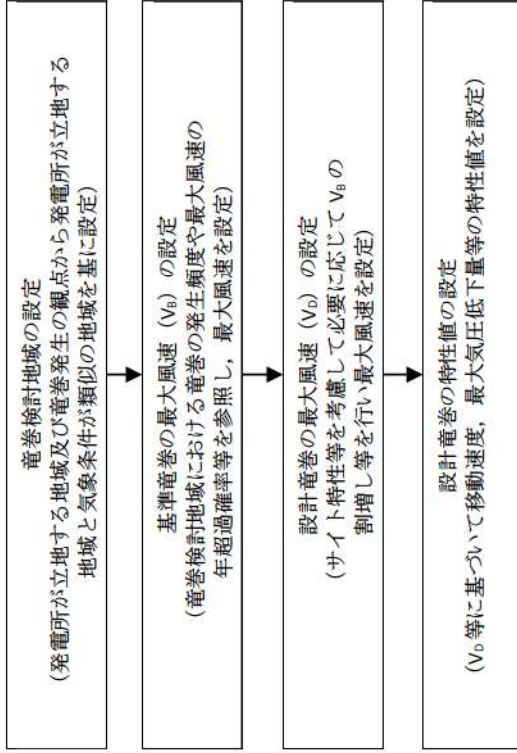
(注3.1) 地形効果による竜巻の増幅特性等

泊発電所3号機竜巻影響評価

2. 基準竜巻・設計竜巻の設定

2.1 概要

基準竜巻及び設計竜巻の設定フローを第2.1.1図に示す。



第2.1.1図 基準竜巻・設計竜巻の設定に係る基本フロー



原子力発電所の電巻影響評価ガイド

泊発電所3号機電巻影響評価

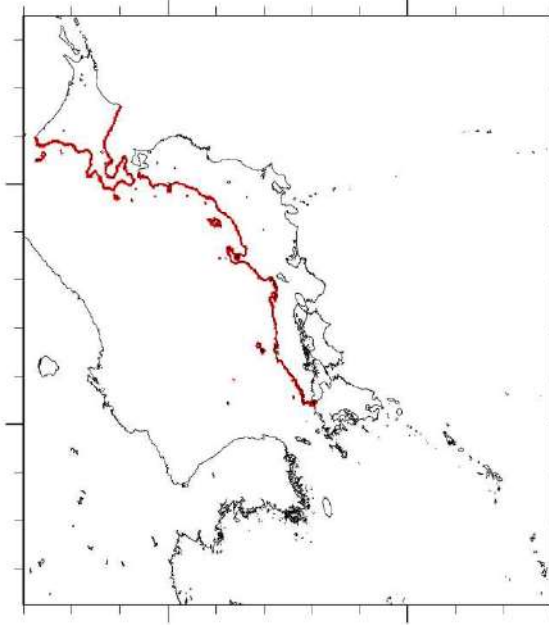
3.2 電巻検討地域の設定  
 電巻検討地域は、原子力発電所が立地する地域及び電巻発生を観点から原子力発電所が立地する地域と気象条件等が類似の地域から設定する。

2.2 電巻検討地域の設定  
 電巻検討地域は、泊発電所が立地する地域と気象条件が類似する地域を基に北海道から本州の日本海側及び北海道の襟裳岬以西の海岸に沿った海側5kmと陸側5kmの地域（面積38,895km<sup>2</sup>）とする。

第2.2.1図に電巻検討地域、第2.2.2図に電巻検討地域における電巻の発生状況(1961年～2012年6月)を示す。

解説3.2 電巻検討地域の設定  
 (1) 基本的な条件  
 電巻検討地域の設定にあたっては、IAEAの基準<sup>(\*)</sup>が参考になる。IAEAの基準では、ある特定の風速を超過する電巻の年発生頻度の検討にあたって電巻の記録を調査する範囲として、およそ10万km<sup>2</sup>を目安にあげている。このIAEAの基準を参考として、電巻検討地域の目安を、原子力発電所を中心とする10万km<sup>2</sup>の範囲とする。しかしながら、日本では、例えば日本海側と太平洋側とで気象条件が異なる等、比較的狭い範囲で気象条件が大きく異なる場合があることから、必ずしも10万km<sup>2</sup>に拘らずに、電巻発生を観点から原子力発電所が立地する地域と気象条件等が類似する地域を調査した結果に基づいて電巻検討地域を設定することを基本とする。

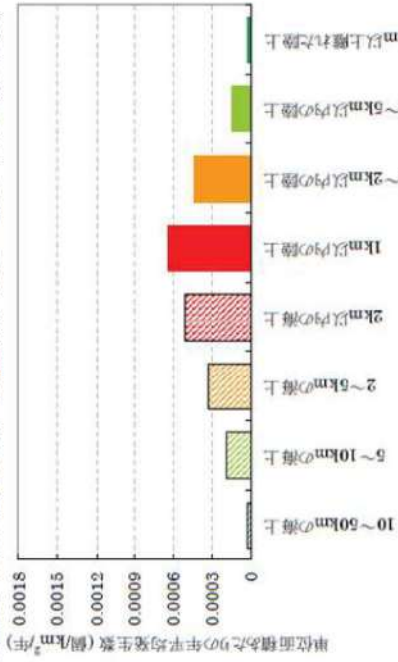
(2) 原子力発電所が海岸線付近に立地する場合の電巻検討地域の設定  
 解説図3.2に日本における電巻の発生分布<sup>(\*)</sup>を示す。解説図3.2より日本における電巻の発生位置は、海岸線付近に集中している傾向が伺える。解説図3.3に日本の海岸線付近における電巻の発生状況を示す。解説図3.3をみると、海岸線から1km以内の陸上では単位面積あたりの1年間の平均発生数は $6.0 \times 10^{-4}$ (個/km<sup>2</sup>/年)を少し超える程度であり、海岸線から離れたら従って電巻の発生数が減少する傾向が伺える。例えば、解説図3.3の陸上側のグラフの分布をみると、海岸線から5km以上離れた地域では、電巻の発生数が急激に減少する傾向がみられる。以上の傾向を踏まえて、原子力発電所が海岸線付近に立地する場合は、海岸線から陸側及び海側それぞれ5kmの範囲を目安に電巻検討地域を設定することとする。なお、原子力発電所がこの範囲（海岸線から陸側及び海側それぞれ5kmの範囲）を逸脱する地域に立地する場合は、海岸線付近で電巻の発生が増大する特徴を踏まえつつ電巻検討地域の範囲を別途検討する必要がある。



第2.2.1図 泊発電所における電巻検討地域

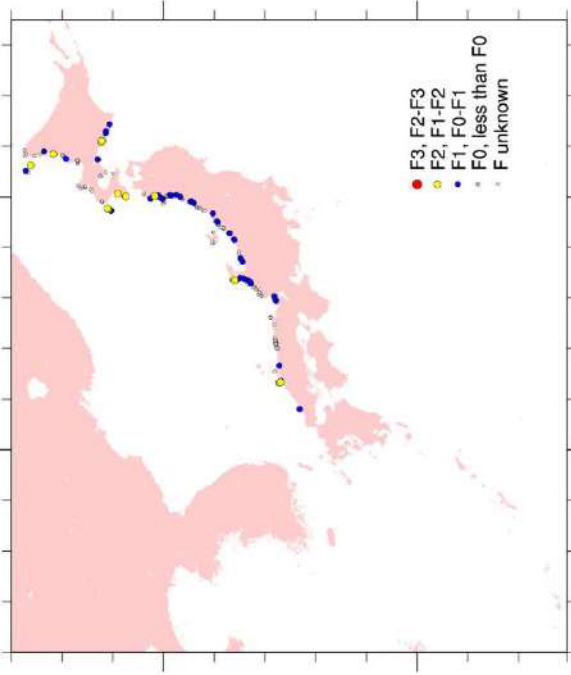


解説図3.2 日本における竜巻の発生分布 (1961～2011年, 気象庁作成) (※2)



解説図3.3 日本の海岸線付近における竜巻の発生状況 (※3) (※2)  
(1961～2009年12月, 規模:F0以上)

(注3.2) 被害の痕跡が残りにくい海上竜巻は、単位面積あたりの年平均発生数が、実際の発生数より特に少ない可能性が考えられる。



第2.2.2図 竜巻検討地域における竜巻の発生状況※  
※気象庁「竜巻等の突風データベース」より作成

- F3, F2-F3
- F2, F1-F2
- F1, F0-F1
- F0, less than F0
- F unknown

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド

3.3 基準竜巻の設定

以下の基本的な方針に基づいて基準竜巻の最大風速 ( $V_B$ ) を設定する。ここで、 $V_{B1}$  は最大瞬間風速とする。

(1) 基準竜巻の最大風速 ( $V_B$ ) は、竜巻検討地域において、過去に発生した竜巻の規模や発生頻度、最大風速の年超過確率等を考慮して適切に設定する。

(2) 基準竜巻の最大風速 ( $V_B$ ) は、下記に示す  $V_{B1}$  と  $V_{B2}$  のうちの大きな風速とする。

① 過去に発生した竜巻による最大風速 ( $V_{B1}$ )

日本で過去に発生した竜巻による最大風速を  $V_{B1}$  として設定することを原則とする。ただし、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の最大風速を十分な信頼性のあるデータ等に基づいて評価できる場合においては、「日本」を「竜巻検討地域」に読み替えることができる。

② 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 ( $V_{B2}$ )

竜巻検討地域における竜巻の観測記録等に基づいて作成した竜巻最大風速のハザード曲線上において、年超過確率 ( $P_{B2}$ ) に対応する竜巻最大風速を  $V_{B2}$  とする。ここで、 $P_{B2}$  は  $10^{-5}$  (暫定値) を上回らないものとする。

また、竜巻検討地域において基準竜巻の最大風速 ( $V_B$ ) が発生する可能性を定量的に確認するために、 $V_B$  の年超過確率を算定することとする。なお、 $V_B$  が  $V_{B1}$  から決定された場合 ( $V_B = V_{B1}$  の場合) は、 $V_{B2}$  の算定に用いた竜巻最大風速のハザード曲線を用いて、 $V_B$  の年超過確率を算定する。ちなみに、米国 NRC の基準類 (註 4) では、設計に用いる竜巻 (設計基準竜巻: Design-basis tornado) の最大風速は、年超過確率  $10^{-7}$  の風速として設定されている。

解説3.3 基準竜巻の最大風速 ( $V_B$ ) の設定

解説3.3.1 過去に発生した竜巻による最大風速 ( $V_{B1}$ ) の設定

本文に記載のとおり、日本で過去に発生した竜巻による最大風速を  $V_{B1}$  として設定することを原則とする。

また、過去に発生した竜巻による最大風速は、竜巻による被害状況等に基づく既往のデータベ

泊発電所3号機竜巻影響評価

2.3 基準竜巻の設定

基準竜巻の最大風速 ( $V_B$ ) は以下の(1)、(2)より設定を行った。

(1) 過去に発生した竜巻による最大風速 ( $V_{B1}$ )

泊発電所が立地する北海道日本海側は、過去の発生実績及び突風関連指数を用いた分析結果から、大規模な竜巻は発生しにくいものと考えられる。

また、竜巻は観測の歴史が浅いこと及び気象庁における竜巻観測体制の変遷を踏まえると、他の気象観測データに比べ不確かさがあると考えられる。

上記を勘案し、日本で過去に発生した竜巻の最大風速を  $V_{B1}$  として設定する。

日本で過去 (1961 年から 2012 年 6 月) に発生した最大の竜巻は、気象庁の「竜巻等の突風データベース」によると F3 スケールである。F スケールと風速の関係より、F3 スケールの風速は  $70 \sim 92 \text{ m/s}$  であるため、過去に発生した竜巻による最大風速  $V_{B1}$  は、F3 スケールの上限値である  $92 \text{ m/s}$  とする。

第 2.3.1 表に日本で過去に発生した F3 竜巻を示す。

第 2.3.1 表 F3 竜巻の竜巻発生リスト\* (1961 年～2012 年 6 月)

F スケール	発生日時	発生場所経度	発生場所緯度	発生場所
F3	1971 年 07 月 07 日 07 時 50 分 35 秒	52 度 45 分 13 秒	139 度 40 分 13 秒	埼玉県浦和市
F3	1990 年 12 月 11 日 19 時 13 分 35 秒	25 度 27 分 14 秒	140 度 17 分 19 秒	千葉県茂原市
F3	1999 年 09 月 24 日 11 時 07 分 34 秒	42 度 4 分 4 秒	137 度 23 分 5 秒	愛知県豊橋市
F3	2006 年 11 月 07 日 13 時 23 分 43 秒	58 度 39 分 39 秒	143 度 42 分 12 秒	北海道網走支庁 佐呂間町
F3	2012 年 05 月 06 日 12 時 35 分 36 秒	6 度 38 分 38 秒	139 度 56 分 44 秒	茨城県常総市

\*気象庁「竜巻等の突風データベース」より作成

(2) 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 ( $V_{B2}$ )

竜巻の発生について統計的に評価を行うため、竜巻検討地域における竜巻の観測記録等に基づいてハザード曲線 (第 2.3.1 図) を算定した。ハザード曲線は、海岸線から陸側及び海側それぞれ  $5 \text{ km}$  の範囲全域 (竜巻検討地域) 及びガイドに従い、竜巻検討地域を  $1 \text{ km}$  範囲ごとに細分化した場合の計 2 通りで算定を行った。また、不確かさを要素のハザード算定結果への影響を検討し、不確かさが小さいことを確認した。算定したハザード曲線を第 2.3.1 図 (1)、(2)、(3) に示す。

ガイドに従い、年超過確率  $10^{-5}$  に相当する竜巻最大風速を  $V_{B2}$  とした。

なお、竜巻の観測記録は、気象庁の竜巻等の突風データベースの情報に基づいた。

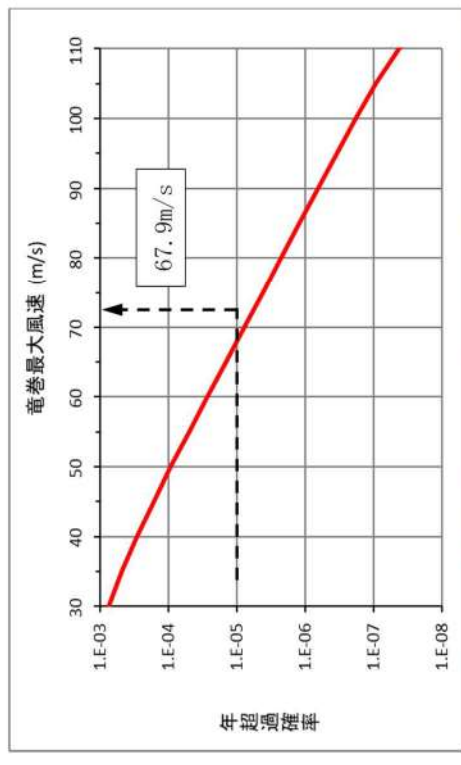
以上、(1)、(2)より算定した竜巻の最大風速 ( $V_B$ ) を第 2.3.2 表に示す。

一ス、研究成果等について十分に調査・検討した上で設定する必要がある。  
 日本における過去最大級の竜巻としては、例えば、1990年12月に千葉県茂原市で発生した竜巻、2012年5月に茨城県常総市からつくば市で発生した竜巻等があげられる。竜巻検討地域の観測記録等に基づいて $V_{B1}$ を設定する場合において、これら過去最大級の竜巻を考慮しない場合には、その明確な根拠を提示する必要がある。

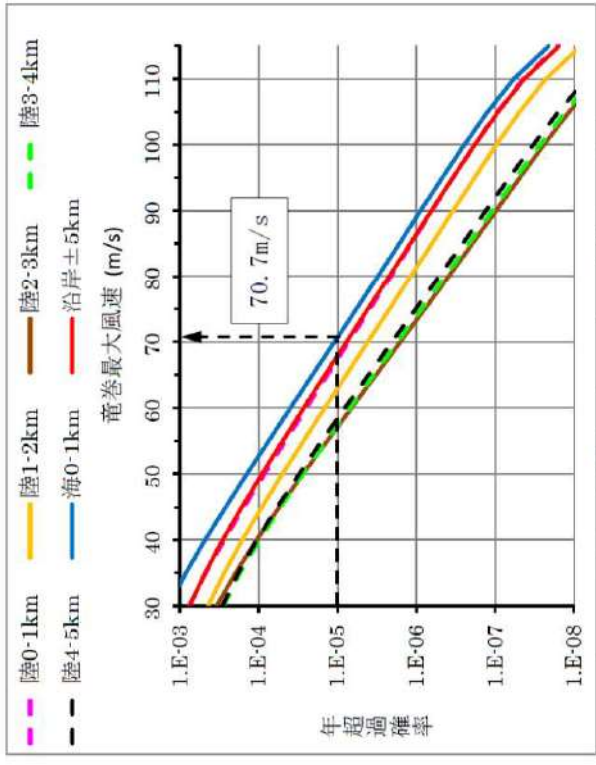
竜巻による被害状況から推定された最大風速を参照して設定された藤田スケールを用いて基準竜巻の最大風速を設定する場合<sup>(※3,3)</sup>は、藤田スケールの各階級(F0~F5)の最大風速を用いる。解説表3.1に藤田スケールと風速の関係を示す。なお、風速計等によって観測された風速記録がある場合には、その風速記録を用いてもよい。

解説表3.1 藤田スケールと風速の関係<sup>(※5)</sup>

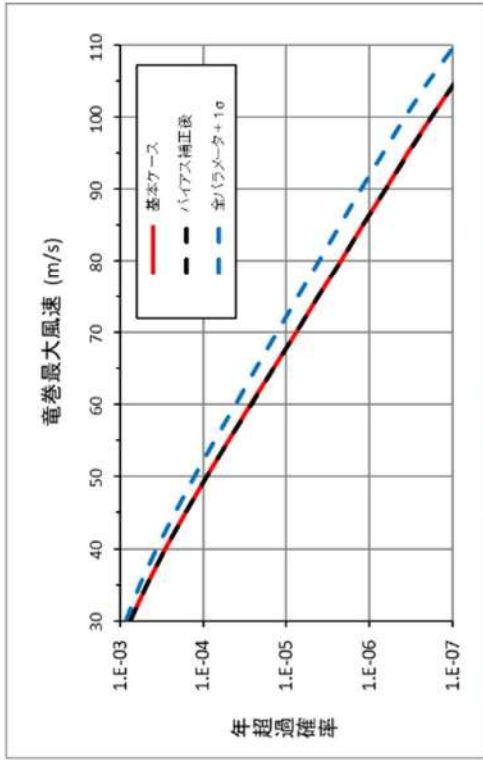
スケール	風速
F0	17~32m/s (約15 秒間の平均)
F1	33~49m/s (約10 秒間の平均)
F2	50~69m/s (約7 秒間の平均)
F3	70~92m/s (約5 秒間の平均)
F4	93~116m/s (約4 秒間の平均)
F5	117~142m/s (約3 秒間の平均)



第2.3.1 図 (1) 竜巻最大風速のハザード曲線 (海側、陸側5 km 範囲内で算定)



第2.3.1 図 (2) 竜巻最大風速のハザード曲線 (1 km 範囲)



第 2.3.1 図(3) 竜巻最大風速のハザード曲線 (ハザード不確かさ検討)

第 2.3.2 表 竜巻の最大風速の算定結果

項目	最大風速[m/s]
過去に発生した竜巻による最大風速( $V_{B1}$ )	92 (F3)
竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速( $V_{B2}$ )	70.7

以上(1), (2)より, 泊発電所における基準竜巻の最大風速 $V_B$ は92m/sとした。  
 また, 竜巻検討地域における基準竜巻の最大風速 $V_B$ が発生し, 被害を受ける年超過確率は, 第 2.3.1 図(2)より  $6.9 \times 10^{-7}$ である。

解説3.3.2 竜巻最大風速のハザード曲線を用いた最大風速 ( $V_{B2}$ ) の算定  
 既往の算定方法 (Wenk&Chu<sup>(※6)</sup>及びGarson et. al<sup>(※7, ※8)</sup>) に基づいて  $V_{B2}$  を算定する方法について、その基本的な考え方を以下に例示する。竜巻最大風速のハザード曲線の算定は、解説図3.4に示す算定フローに沿って実施する。なお、本ガイドに示す  $V_{B2}$  の具体的な算定方法については、独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究の成果<sup>(※9)</sup>が参考になる。  
 また、竜巻最大風速のハザード曲線の算定方法については、技術的見地等からその妥当性を示すことを条件として、いずれの方法を用いてもよいが、竜巻影響エリアの設定の基本的な考え方は、以下の「(1) 竜巻影響エリアの設定」に従うことを原則とする。  
 (注3.3) 解説3.3.3参照

(1) 竜巻影響エリアの設定  
 $V_{B2}$  の算定にあたっては、まず始めに  $V_{B2}$  の発生エリアである竜巻影響エリアを設定する。竜巻影響エリアは、原子力発電所の号機ごとに設定する。号機ごとのすべての設計対象施設の設置面積の合計値及び推定される竜巻被害域(被害幅、被害長さ、移動方向等から設定)に基づいて、竜巻影響エリアを設定する。  
 竜巻による被害域幅、被害長さ及び移動方向は、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の記録に基づいて対数正規分布等を用いて設定することを基本とする。また、竜巻による被害域幅、被害長さ及び移動方向の設定に使用する竜巻の観測記録や仮定条件等は、後述する竜巻の最大風速の確率密度分布の設定に用いる観測記録や仮定条件等との整合性を果たせることを原則とし、 $V_{B2}$  の算定に使用するデータ等には一貫性を果たせるように配慮する。

(2) 竜巻の年発生数の確率分布の設定  
 竜巻の年発生数の確率分布は、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の記録等に基づいてポアソン過程等により設定することを基本とする。具体的には、竜巻検討地域を海岸線から陸側及び海側それぞれ5kmの範囲に設定した場合は、少なくとも1km範囲ごとに竜巻の年発生数の確率分布を設定し、そのうちの  $V_{B2}$  が最も大きな値として設定される確率分布を用いることとする。

(3) 竜巻最大風速の確率密度分布の設定  
 竜巻最大風速の確率密度分布は、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の記録等に基づいて対数正規分布等を仮定して設定することを基本とする。竜巻最大風速の確率密度分布の設定にあたっては、竜巻の年発生数の確率分布の設定と同様に、竜巻検討地域を1km範囲ごとに区切ってそれぞれ範囲で確率分布を算定し、そのうちの  $V_{B2}$  が最も大きな値として設定される確率分布を設定する等、配慮する。  
 竜巻最大風速の確率密度分布の設定にあたって使用する観測された竜巻の最大風速を藤田スケールに基づいて評価する場合<sup>(注3.3)</sup>は、藤田スケールの各階級 (F0～F5) の最小風速から最大風速のうち、 $V_{B2}$  が最も大きくなる風速を用いる。ただし、風速計等によって観測された風速記録がある場合には、その風速記録を用いてもよい。

(3) 竜巻最大風速のハザード曲線を用いた最大風速 ( $V_{B2}$ ) の算定の仕方  
 既往の算定方法 (Wenk and Chu 及び Garson et. al) に基づいて、竜巻最大風速のハザード曲線を用いた最大風速  $V_{B2}$  を算定した。具体的な算定方法は、独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究の成果<sup>(※9)</sup>を参考とし、F4 竜巻の最大風速 116m/s 程度を考慮したハザード曲線とするため、竜巻最大風速の確率密度分布の積分の上限値 120m/s と設定した。  
 詳細は添付資料 2.4：竜巻最大風速のハザード曲線の求め方にて説明する。

① 竜巻影響エリアの設定  
 竜巻影響エリアは、泊発電所3号炉の評価対象施設等の面積及び設置位置を考慮して、評価対象施設等を十分に含む領域として直径 920m の円とした。  
 竜巻の発生数データは気象庁「竜巻等の突風データベース」より竜巻検討地域における 1961 年～2012 年6月までのデータを用いて、観測体制の変遷やFスケール不明竜巻の取扱いを考慮した発生数とした。竜巻による被害幅、被害長さは竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の記録(気象庁「竜巻等の突風データベース」)に基づいて対数正規分布を仮定し設定した。

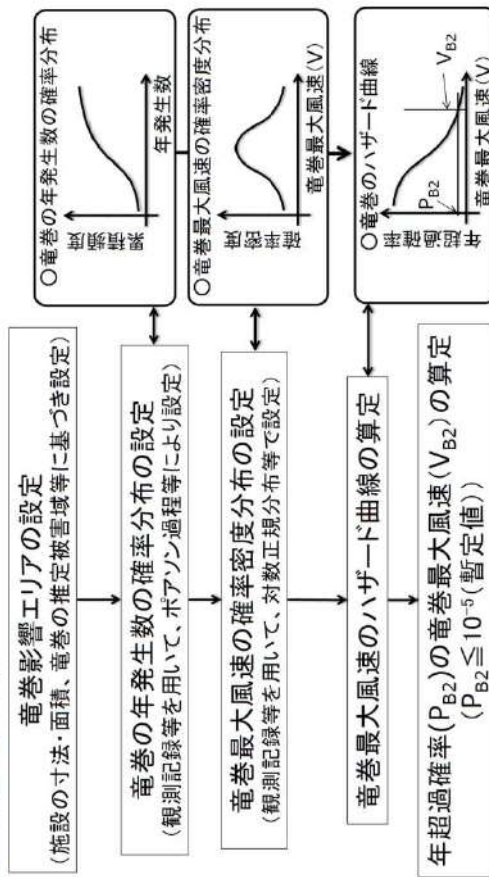
② 竜巻の年発生数の確率分布の設定  
 竜巻の年発生数の確率分布は、①で設定した竜巻の発生データに基づき、竜巻は気象事象の中でも極めてまれに発生する事象であり、発生数の変動(標準偏差)が大きいため分布であることからガイドで参照されている東京工芸大学委託成果にならいポリア分布により設定した。  
 また、竜巻検討地域を1km範囲ごとに細分化した評価では、それぞれ1km範囲ごとに竜巻の年発生数の確率分布を算定し、そのうちの  $V_{B2}$  が最も大きな値として設定される確率分布を求めた。竜巻最大風速の確率密度分布を算定し、そのうちの  $V_{B2}$  が最も大きな値として設定される確率分布を求めた。竜巻風速の確率密度分布も同様とした。

③ 竜巻最大風速の確率密度分布の設定  
 竜巻最大風速の確率密度分布は、①、②より対数正規分布を仮定し設定した。

(4) 竜巻最大風速のハザード曲線の算定  
上記で設定した竜巻の年発生数の確率密度分布及び竜巻最大風速の確率密度分布を用いて、竜巻最大風速のハザード曲線を算定する。

なお、竜巻最大風速のハザード曲線の算定において、竜巻最大風速の確率密度分布の積分の上限値を設定する場合は、竜巻最大風速の評価を行うハザード曲線が不自然な形状にならないように留意する。

(5) 年超過確率 ( $P_{B2}$ ) に対応する竜巻最大風速 ( $V_{B2}$ ) の算定  
上記で算定した竜巻最大風速のハザード曲線において年超過確率が  $P_{B2}$  ( $\leq 10^{-5}$  (暫定値)) の竜巻最大風速を  $V_{B2}$  とする。



解説図3.4 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 ( $V_{B2}$ ) の算定フロー

解説3.3.3

日本版改良藤田スケールの適用について2015年12月に気象庁により策定され、2016年4月から竜巻等の突風の調査に使用されている日本版改良藤田スケール (以下「JEFスケール」という。) は、日本の建築物等の種類や特性を踏まえた被害指標及び被害度が用いられており、個別被害から求められる風速の精度の向上が図られている。一方で、2016年4月以降に蓄積されたJEFスケールにより評定された竜巻の風速等に関するデータのみで竜巻最大風速の大きさと発生頻度との関係を把握することは困難であることから、 $V_0$ の設定は、JEFスケールのデータではなく、2016年3月以前に藤田スケールにより評定された竜巻の風速等に関するデータを用いて行うものとする。ただし、藤田スケールの階級F3の最大風速92m/sに近い値又はそれを超える値がJEFスケールで評定された場合には、気象庁の評定等を踏まえ、その値の扱いを別途検討する。

④ 竜巻最大風速のハザード曲線の算定

①, ②, ③より竜巻最大風速のハザード曲線を算定した。

⑤ 年超過確率 ( $P_{B2}$ ) に対応する竜巻最大風速 ( $V_{B2}$ ) の算定

④で算定したハザード曲線を用いて、年超過確率  $P_{B2}=10^{-5}$  に相当する竜巻最大風速を  $V_{B2}$  とした。

泊発電所3号機竜巻影響評価	原子力発電所の竜巻影響評価ガイド
<p>2.4 設計竜巻の設定 設計竜巻の最大風速および特性値は以下のとおり設定する。</p> <p>(1) 設計竜巻の最大風速 (<math>V_D</math>) 竜巻検討地域で発生した竜巻は、海側から陸側に進入する可能性が高く、竜巻が増幅することはないと考えられる。竜巻が海上から発電所に進入してきた場合は、地表面粗度の影響を受けて竜巻は減衰した後、さらに防潮堤 (T.P. 16.5m) で減衰するため、竜巻による施設への影響は限定的になると考えられる。また、山側から発電所の敷地に移動してきた場合についても、発電所周辺は広い丘陵地に森林が存在しており、森林による粗度の影響を大きく受けるため減衰する。したがって、泊発電所において地形効果による竜巻の増幅の影響は受けられないものと考えられる。そのため、基準竜巻の割増しは不要と考え、将来的な気候変動による竜巻発生の不確実性を考慮し、基準竜巻の92m/sを安全側に切り上げて、設計竜巻の最大風速 <math>V_D</math> は100m/sとする。</p> <p>(2) 設計竜巻の特性値 設計竜巻の特性値は、原則として十分な信頼性を有した観測記録等に基づいて設定する必要がある。ただし、泊では評価の保守性等も踏まえて、ガイドに示される方法に基づいて設定する。具体的には、ランキン渦モデルを仮定し、①～⑤に従い設定する。設定した結果を第2.4.1表に示す。</p>	<p>3.4 設計竜巻の設定 以下の基本的な方針に基づいて設計竜巻の最大風速 (<math>V_D</math>) 及び特性値を設定する。ここで、<math>V_D</math> は最大瞬間風速とする。</p> <p>(1) 設計竜巻の最大風速 (<math>V_D</math>) は、原子力発電所が立地する地域の特性 (地形効果による竜巻の増幅特性等) 等を考慮して、科学的見地等から基準竜巻の最大風速 (<math>V_B</math>) の適切な割り増し等を行って設定されていること。なお、<math>V_D</math> は、<math>V_B</math> を下回らないものとする。</p> <p>(2) 設計竜巻の特性値は、設計竜巻の最大風速 (<math>V_D</math>)、並びに竜巻検討地域において過去に発生した竜巻の特性等を考慮して適切に設定する。</p> <p>解説3.4 設計竜巻の最大風速 (<math>V_D</math>) 及び特性値の設定 解説3.4.1 設計竜巻の最大風速 (<math>V_D</math>) の設定で考慮する地形効果による竜巻の増幅特性 丘陵等による地形効果によって竜巻が増幅する可能性があると考えられる<sup>(※9 ほか)</sup>ことから、原子力発電所が立地する地域において、設計対象施設の周辺地形等によって竜巻が増幅される可能性について検討を行い、その検討結果に基づいて設計竜巻の最大風速 (<math>V_D</math>) を設定する。 なお、竜巻が丘陵や段差等の上空を通過した際には、竜巻が減衰する可能性が指摘されている<sup>(※10, ※11)</sup>が、<math>V_D</math> の設定においては、そのような減衰の効果は考慮しない。</p> <p>解説3.4.2 設計竜巻の特性値の設定 解説3.4.2.1 概要 竜巻検討地域で観測された竜巻に関する情報、並びに設計竜巻の最大風速 (<math>V_D</math>) 等に基づいて、下記(1)～(5)に示す設計竜巻の各特性値を設定する。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 移動速度 (<math>V_T</math>)</li> <li>(2) 最大接線風速 (<math>VR_m</math>)</li> <li>(3) 最大接線風速半径 (<math>R_m</math>)</li> <li>(4) 最大気圧低下量 (<math>\Delta P_{max}</math>)</li> <li>(5) 最大気圧低下率 (<math>dp/dt</math>)<sub>max</sub></li> </ol> <p>(1)～(5)の各特性値については原則として、十分な信頼性を有した観測記録等に基づいて設定したものを、その根拠の明示を条件として用いる。ただし、設定に十分な信頼性を有した観測記録等がない場合には、解説3.4.2.2 及び3.4.2.3 に示す方法で各特性値を設定することができ。</p>



解説3.4.2.2 設計竜巻の特性値の設定に係る基本的な考え方  
 竜巻に関する観測データが不足している等の理由により、観測データ等に基づいた十分に信頼できる数学モデルの構築が困難な場合は、米NRCの基準類<sup>(※)</sup>を参考として、ランキン渦モデルを仮定して竜巻特性値を設定する。解説図3.5にランキン渦モデルの概要を示す。ランキン渦では、高さ方向によって風速及び気圧が変化しない平面的な流れ場を仮定している。

なお、ランキン渦モデルに比べてより複雑な竜巻渦を仮定した数学モデル等を使用して竜巻特性値を設定する場合は、その技術的な妥当性を示す必要がある。



$V_T$ : 竜巻の移動速度  
 $V_R$ : 接線風速、 $r$ : 竜巻渦中心からの半径  
 $V_{Rm}$ : 最大接線風速が生じる位置での半径  
 $V_R = V_{Rm} \cdot (r/R_m)$  ( $r \leq R_m$  の範囲)  
 $V_R = V_{Rm} \cdot (R_m/r)$  ( $r \geq R_m$  の範囲)

解説図3.5 ランキン渦モデルの概要

解説3.4.2.3 設計竜巻の特性値の設定

(1) 設計竜巻の移動速度 ( $V_T$ ) の設定

設計竜巻の移動速度 ( $V_T$ ) は、以下の算定式を用いて  $V_0$  から  $V_T$  を算定する。

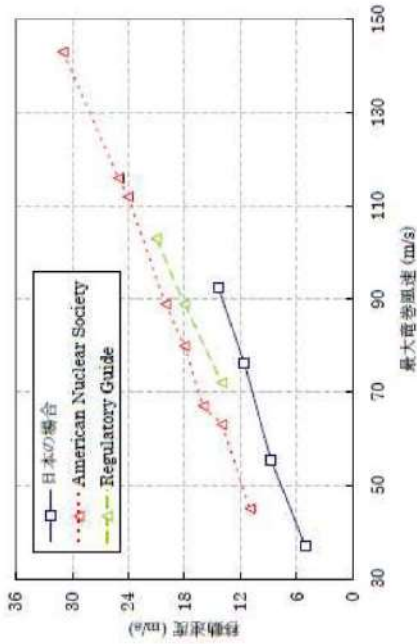
$$V_T = 0.15 \cdot V_0 \dots (3.1)$$

① 設計竜巻の移動速度 ( $V_T$ )

$$V_T = 0.15 \cdot V_0$$

$V_0$  (m/s): 設計竜巻の最大風速

ここで、 $V_0$  (m/s) は設計竜巻の最大風速を表す。(3.1)式は、解説図3.6に示される日本の竜巻の観測記録に基づいた竜巻移動速度と最大風速との関係<sup>(※)</sup>を参考として設定したものである。解説図3.6をみると、青線で示す日本の竜巻による移動速度は、米NRCの基準類等(参4)による移動速度と比べて、同じ最大竜巻風速に対して小さい。解説図3.6に示される日本の竜巻に対する移動速度は、藤田スケールに基づいた階級(F3, F2及びF1~F3, F1及びF1~F2, F0及びF0~F1)ごとの平均値であるが、日本で発生する竜巻を個別にみれば、スーパーセルに伴って発生する竜巻等、米国の竜巻に比べて移動速度が速いものも存在すると考えられる。本ガイドでは、設計竜巻の最大速度 ( $V_0$ ) が一定の場合、移動速度が遅い方が、最大気圧低下 ( $\Delta P_{max}$ ) が大きな値になる(3.2)式、(3.4)式)ことを考慮して、スーパーセルに伴って発生する竜巻等の移動速度が速い竜巻の特性は採用せずに、観測記録の平均値に基づいた解説図3.6の日本の竜巻における移動速度と最大竜巻風速の関係に基づく(3.1)式を採用することにした。



解説図3.6 竜巻の移動速度と最大風速の関係(※3)

(2) 設計竜巻の最大接線風速 ( $V_{lm}$ ) の設定  
 設計竜巻の最大接線風速 ( $V_{lm}$ ) は、米国NRC の基準類(※4)を参考として、以下の算定式を用いて  $V_{lm}$  を算定する。

$$V_{lm} = V_D - V_T \dots (3.2)$$

ここで、 $V_D$  (m/s) 及び  $V_T$  (m/s) は、設計竜巻の最大風速及び移動速度である。

(3) 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 ( $R_m$ ) の設定  
 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 ( $R_m$ ) は、日本における竜巻の観測記録をもとに提案された竜巻モデル(※5)に準拠して以下の値を用いる。

$$R_m = 30 \text{ (m)} \dots (3.3)$$

(4) 設計竜巻の最大気圧低下量 ( $\Delta P_{max}$ ) の設定  
 設計竜巻の最大気圧低下量 ( $\Delta P_{max}$ ) は、米国NRC の基準類(※4)を参考として、ランキン渦モデルによる風速分布に基づいて、最大気圧低下量 ( $\Delta P_{max}$ ) を設定する。

$$\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{lm}^2 \dots (3.4)$$

② 設計竜巻の最大接線風速 ( $V_{lm}$ )

$V_{lm} = V_D - V_T$   
 $V_D$  (m/s): 設計竜巻の最大風速,  $V_T$  (m/s): 設計竜巻の移動速度

③ 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 ( $R_m$ )  
 $R_m = 30$  (m)

④ 設計竜巻の気圧低下量 ( $\Delta P_{max}$ )  
 $\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{lm}^2$   
 $\rho$ : 空気密度 (1.22 (kg/m<sup>3</sup>)),  $V_{lm}$  (m/s): 設計竜巻の最大接線風速

ここで、 $\rho$  及び  $V_{lm}$  は、それぞれ空気密度、設計竜巻の最大接線風速を示す。

(5) 設計竜巻の最大気圧低下率  $((dp/dt)_{max})$  の設定  
 設計竜巻の最大気圧低下率  $((dp/dt)_{max})$  は、米国NRCの基準類(※9)を参考として、ランキン渦モデルによる風速分布に基づいて、最大気圧低下量  $(\Delta P_{max})$  及び最大気圧低下率  $((dp/dt)_{max})$  を設定する。

$$(dp/dt)_{max} = (V_T/R_m) \cdot \Delta P_{max} \dots (3.5)$$

ここで、 $V_T$  及び  $R_m$  は、それぞれ設計竜巻の移動速度及び最大接線風速が生じる位置での半径を表す。

#### 4. 施設的设计

##### 4.1 概要

設置許可段階の安全審査において以下を確認する。

①設計荷重 (設計竜巻荷重及びその他の組み合わせ荷重) が適切に設定されていること。ただし、設置許可段階においては、その基本的な種類や値等が適切に設定されていることを確認する。(設計対象施設の各部位に作用させる設計荷重の詳細は、詳細設計段階において確認する)

②設計荷重に対して、設計対象施設の構造健全性等が維持されて安全機能が維持される方針であること。

##### 4.2 設計対象施設

「2.1 設計対象施設」に示したとおりとする。

##### 4.3 設計荷重の設定

###### 4.3.1 設計竜巻荷重の設定

「2.2.2 設計対象施設に作用する荷重」の「(1) 設計竜巻荷重」で示した「風圧力」, 「気圧差による圧力」及び「飛来物の衝撃荷重」について、それぞれ技術的見地等から妥当な荷重を設定する。

⑤設計竜巻の最大気圧低下率  $((dp/dt)_{max})$   
 $(dp/dt)_{max} = (V_T/R_m) \cdot \Delta P_{max}$   
 $V_T$  (m/s): 設計竜巻の移動速度,  $R_m$  (m/s): 設計竜巻の最大接線風速半径

第2.4.1表 設計竜巻の特性値

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

##### 3. 竜巻影響評価

###### 3.1 評価概要

評価の概要は以下のとおり。

- (1) 設計荷重 (設計竜巻荷重及びその他の組合せ荷重) の設定
- (2) 原子力発電所における飛来物に係る調査
- (3) 飛散防止対策
- (4) 考慮すべき設計荷重に対する評価対象施設等の構造健全性等の評価を行い、必要に応じた対策を行うことで安全機能が維持されることを確認

###### 3.2 評価対象施設等

「1.2.2 竜巻影響評価の対象施設」に示すとおり。

###### 3.3 設計荷重の設定

###### 3.3.1 設計竜巻荷重の設定

設計竜巻の最大風速  $V_0$  等に基づき、「風圧力」, 「気圧差による圧力」及び「飛来物の衝撃荷重」について、以下のとおり設定する。

(1) 設計竜巻による風圧力の設定  
 設計竜巻の水平方向の最大風速によって施設（屋根を含む）に作用する風圧力  $W_w$  は「建築基準法施行令」及び「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」に準拠して、下式により算定する。

なお、ガスト影響係数  $G$  は、 $G=1.0$ 、風力係数  $C$  は施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根、壁等）に応じて設定する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

$q$  : 設計用速度圧

$G$  : ガスト影響係数 (=1.0)

$C$  : 風力係数

(施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根、壁等）に応じて設定)

$A$  : 施設の受圧面積

$$q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_0^2$$

$\rho$  : 空気密度

$V_0$  : 設計竜巻の最大風速

ただし、竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として算定されるが、鉛直方向の風圧力に対して弱い弱と考えられる評価対象施設等が存在する場合には、ランキン渦モデルの風速場により求めまる鉛直方向の風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮する。

解説4.3.1 設計竜巻荷重の設定  
 解説4.3.1.1 設計竜巻による風圧力の設定  
 解説4.3.1.1.1 概要  
 設計竜巻の最大風速 ( $V_0$ ) 等に基づいて、設計竜巻によって設計対象施設に作用する風圧力を設定する。

解説4.3.1.1.2 基本的な考え方

(1) 風圧力の算定に用いる風力係数  
 竜巻によって生じた被害状況と対応する最大風速は、一般的には、竜巻等の非定常な流れ場の気流性状を考慮した風力係数を用いるのではなく、いわゆる通常の強風等を対象とした風力係数を用いて、逆算により推定されることから、本ガイドにおける風圧力の算定には、通常の強風等を対象とした風力係数を用いることを基本とする。

(2) 設計竜巻による鉛直方向の風圧力  
 竜巻による最大風速は、一般的には、竜巻によって生じた被害状況と対応する水平方向の風速として算定される。しかしながら、実際の竜巻によって生じた被害は、少なからず鉛直方向の風速の影響も受けていると考えられる。

よって、本ガイドでは、設計竜巻の水平方向の最大風速 ( $V_0$ ) には、鉛直方向の風速の影響も基本的には含まれているとみなす。  
 ただし、鉛直方向の風圧力に対して特に脆弱と考えられる設計対象施設が存在する場合は、 $V_0$  を入力値とした竜巻の数値解析結果等から推定される鉛直方向の最大風速等に基づいて算定した鉛直方向の風圧力を考慮した設計を行う。

解説4.3.1.1.3 設計竜巻による風圧力の設定  
 設計竜巻の最大風速 ( $V_0$ ) による風圧力 ( $P_0$ ) の算定について以下に示す。  
 設計竜巻の水平方向の最大風速によって設計対象施設（屋根を含む）に作用する風圧力 ( $P_0$ ) は、「建築基準法施行令」、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説(2004)」等を準拠して、下式により算定する。  
 なお、(4.2)式の  $V_0$  は最大瞬間風速であり、「建築基準法施行令」、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説(2004)」の最大風速と定義が異なることに留意する。

$$P_0 = q \cdot G \cdot C \cdot A \cdots (4.1)$$

ここで、 $q$  は設計用速度圧、 $G$  はガスト影響係数、 $C$  は風力係数、 $A$  は施設の受圧面積を表し、 $q$  は下式による。

$$q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_0^2 \cdots (4.2)$$

ここで、 $\rho$  は空気密度、 $V_0$  は設計竜巻の最大風速である。

(4.1)式に示すように、風圧力( $P_0$ )は、(4.2)式で求められる設計用速度圧( $q$ )に、ガスト影響係数( $G$ )、風力係数( $C$ )及び施設の受圧面積( $A$ )を乗じて算定する。  
ガスト影響係数 $G$ は、風の乱れによる建築物の風方向振動の荷重効果を表すパラメータであり、強風中における建築物の最大変位と平均変位の比で定義される。本ガイドの最大竜巻風速( $V_0$ )は、最大瞬間風速として扱うことから $G=1.0$ を基本とする。  
風力係数( $C$ )は、「建築基準法施行令」、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説(2004)」等を参考として、施設の形状や風圧力が作用する部位(屋根、壁等)に応じて適切に設定する。

解説4.3.1.2 設計竜巻における気圧低下によって生じる設計対象施設内外の気圧差による圧力の設定

解説4.3.1.2.1 概要

前記において設定した設計竜巻による最大気圧低下量( $\Delta P_{max}$ )及び最大気圧低下率 ( $dP/dt$ ) max に基づいて設計対象施設に作用する気圧差による圧力を設定する。

解説4.3.1.2.2 基本的な考え方

設計竜巻によって引き起こされる最大気圧低下量及び最大気圧低下率によって設計対象施設に作用する圧力を算定する際の基本的な考え方を以下に示す。なお、以下の考え方は、米国NRC基準類(註12)を参考としている。

- 完全に開かれた構造物等の施設が竜巻に曝されたとき、施設の内圧と外圧は竜巻通過中に急速に等しくなる。したがって、施設の内外の気圧の変化はゼロに近づくのみなせる。
- 閉じた施設(通気がない施設)では、施設内部の圧力は竜巻通過以前と以後で等しいとみなせる。他方、施設の外側の圧力は竜巻の通過中に変化し、施設内外に圧力差を生じさせる。この圧力差により、閉じた施設の障壁(構造物等の屋根・壁及びタンクの頂部胴部等)に外向きに作用する圧力が生じるとみなせる。
- 部分的に閉じた施設(通気がある施設等)については、竜巻通過中の気圧変化により施設に作用する圧力は複雑な過程により決定される。また、部分的に閉じた設計対象施設への圧力値・分布の精緻な設定が困難な場合は、施設の構造健全性を評価する上で厳しくなるように作用する圧力を設定することとする。

(2) 設計竜巻における気圧低下によって生じる評価対象施設等の内外の気圧差による圧力の設定  
設計竜巻による評価対象施設等の内外の気圧差による圧力は、最大気圧低下量 $\Delta P_{max}$ に基づき設定する。

a. 建屋・構造物等

建屋については、気圧差による圧力荷重が最も大きくなる「閉じた施設」を想定し、内外気圧差による圧力荷重 $W_p$ を以下の式により設定する。

$$W_p = \Delta P_{max} \cdot A$$

$\Delta P_{max}$ : 最大気圧低下量

A: 施設の受圧面積

外部事象防護対象施設を内包する建屋・構造物について、影響評価を実施し、当該施設が破損した場合には安全機能維持について確認を行う。

b. 設備(系統、機器)

設備についても、上記と同様に圧力荷重WPを設定する。

なお、換気空調系のように外気と隔離されている区画の境界部等、気圧差による圧力影響を受ける設備について、圧力影響により作用する応力が許容値内であるか確認し、許容値を上回る場合には安全機能維持への影響について確認する。

解説4.3.1.2.3 気圧差による圧力を作用させる施設の設定  
 気圧差による圧力を作用させる対象は、原子力発電所の図面等を参照して十分に検討した上で設定する。

(1) 建屋・構築物等

建屋・構築物等の主要な部材（壁、屋根等）に気圧差による圧力を作用させることは当然であるが、気圧差による圧力の影響を受けることが容易に想定される以下の施設については、気圧差による圧力の影響について検討を行い、当該施設が破損した場合の安全機能維持への影響についても確認を行うこととする。

- ・ 建屋・構築物等の開口部に設置された窓、扉、シャッター等
- ・ 外気と隔離されているとみなせる区画の隔壁等（天井等）

(2) 設備

設備の主要な部材に気圧差による圧力を作用させることは当然であるが、気圧差による圧力の影響を受けることが容易に想定される以下の設備については、気圧差による圧力の影響について検討を行い、当該設備が破損した場合の安全機能維持への影響についても確認を行うこととする。

- ・ 外気と隔離されているとみなせる区画の境界部（空調系ダクト類等）
- ・ 圧力差の影響を受け得る計器類や空調装置等

解説4.3.1.3 設計竜巻による飛来物が設計対象施設に衝突する際の衝撃荷重の設定

解説4.3.1.3.1 概要

設計竜巻の最大風速( $V_0$ )及び特性値等に基づいて、設計飛来物を選定あるいは設定し、それら設計飛来物の飛来速度を設定する。そして、設計飛来物が設定した飛来速度で設計対象施設に衝突することを想定して、飛来物の衝突による設計対象施設への衝撃荷重を設定する。

解説4.3.1.3.2 基本的な考え方

竜巻等の突風による被害は、風圧力によって引き起こされるだけでなく、飛来物による被害もかなりの部分を占める。また、竜巻による飛来物は上昇気流の影響もあって比較的遠方まで運ばれる可能性もある。これらの事項に留意して、設計対象施設に到達する可能性がある飛来物について検討を行った上で、設計飛来物を選定あるいは設定する。一般的には、遠方からの飛来物は相対的に重量が軽いものが多く、仮に衝突した場合でも衝撃荷重は相対的に小さいと考えられることから、設計対象施設に到達する可能性がある飛来物を検討する範囲は、原子力発電所の敷地内を原則とする。

ただし、原子力発電所の敷地外からの飛来物による衝撃荷重が、原子力発電所の敷地内からの飛来物による衝撃荷重を上回ると想定され得る場合は、原子力発電所の敷地外からの飛来物も考慮する。

また、設計飛来物として、最低限以下の①～③を選定あるいは設定することとする。

なお、以下の①～③の設定にあたっては、米国NRCの基準類(⑩)を参考とした。

(3) 設計竜巻による飛来物が評価対象施設等に衝突する際の衝突荷重の設定

a. 泊発電所3号炉における設計飛来物等の選定【添付資料3.3】

泊発電所3号炉の竜巻影響評価における設計飛来物等については、泊発電所3号炉における飛来物源の現地調査結果及び「竜巻影響評価ガイド」の解説表4.1に示されている設計飛来物の設定例を参照して選定する。

第3.3.1.1表に発電所における設計飛来物を示す。

- ①大きな運動エネルギーをもつ飛来物（自動車等）
- ②施設の貫入抵抗を確認するための固い飛来物（鉄骨部材等）
- ③開口部等を通過することができなくなる程度に小さくて固い飛来物（砂利等）

解説4.3.1.3.3 設計飛来物の速度の設定

(1) 基本的な考え方

設計飛来物に設定する速度は、設計竜巻によって飛来した際の最大速度とする。設計飛来物の最大水平速度 ( $mV_{max}$ ) は、非定常な乱流場を数値的に解析できる計算手法等による計算結果等に基づいて設定することを基本とする。ただし、安全側の設計になるように、設計竜巻の最大風速 ( $V_0$ ) を設計飛来物の最大水平速度として設定してもよい。

設計飛来物の最大鉛直速度 ( $mV_{Vmax}$ ) は、最大水平速度と同様に計算等により求めても良いし、米国NRCの基準類(参4)を参考に設定した下式により算定してもよい。

$$mV_{Vmax} = (2/3) \cdot mV_{max} \dots (4.3)$$

ここで、 $mV_{max}$  は、設計飛来物の最大水平速度を表す。

(2) 設計飛来物の設定例

設計飛来物の選定あるいは設定、並びに設計飛来物の最大速度を設定する際の参考として、解説表4.1に飛来物及びその最大速度の設定例を示す。解説表4.1の棒状物、板状物及び塊状物の最大水平速度 ( $mV_{max}$ ) は、設計竜巻の最大風速 ( $V_0$ ) = 100 (m/s) とした条件下で解析的に算定した結果(参3)である。また、解説表4.1の最大鉛直速度 ( $mV_{Vmax}$ ) は、米国NRCの基準類(参4)を参考として設定した(4.3)式を用いて算定した結果である。

なお、解説表4.1に示した飛来物よりも小さな開口部を飛来物が通過することの影響等を確認する場合は、さらに小さな飛来物を設定する必要がある。

b. 設計飛来物の速度の設定

設計竜巻の最大風速 (100m/s) による設計飛来物の最大水平速度 ( $mV_{max}$ ) 及び最大鉛直速度 ( $mV_{Vmax}$ ) は、衝撃荷重による影響を保守的に評価するため、ガイドに示される設計竜巻の最大風速 ( $V_0$ ) = 100m/s の場合と同じ値とする。ガイドにおける鋼製材の最大水平速度及び最大鉛直速度については、平成26年9月17日に改正 (最大水平速度が57m/s から51m/s に、最大鉛直速度が38m/s から34m/s に改正) されているが改正前の値とし、第3.3.1.1表のとおりとする。ただし、ガイドに記載のない設計飛来物である砂利の速度については、文献\*\*を参考にして、ランキン渦を仮定し風速場の中での速度を算出した。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド

解説表4.1 飛来物及び最大速度の設定例 (V<sub>0</sub>=100(m/s)の場合)

飛来物の種類	棒状物			塊状物	
	鋼製パイプ	コンクリート板	鋼製材	コンテナ	トラック
サイズ (m)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×奥行 2.4×2.6×6	長さ×幅×奥行 5×1.9×1.3
質量 (kg)	8.4	540	135	2300	4750
最大水平速度 (m/s)	49	30	51	60	34
最大鉛直速度 (m/s)	33	20	34	40	23

解説4.3.1.3.4 設計飛来物の衝突方向、衝突範囲及び衝撃荷重の設定

設計飛来物が設計対象施設に衝突する方向は、安全側の設計になるように設定する。  
設計飛来物が到達する範囲について解析結果等から想定される場合は、その技術的根拠を示した上で設計飛来物が到達しない範囲を設定することができる。

各設計飛来物による衝撃荷重は、設計飛来物の形状及び剛性等の機械的特性を適切に設定した衝撃解析等の計算結果に基づいて設定するか、あるいは、安全側の設計となるように配慮して設計飛来物を剛体と仮定して設定してもよい。

泊発電所3号機竜巻影響評価

第3.3.1.1表 泊発電所における設計飛来物

項目	飛来物の種類		
	砂利	鋼製パイプ	鋼製材
サイズ[m]	長さ×幅×奥行 0.04×0.04×0.04 <sup>※1</sup>	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2
質量[kg]	0.18	8.4	135
最大水平速度[m/s]	62 <sup>※2</sup>	49 <sup>※1</sup>	57 <sup>※1</sup>
最大鉛直速度[m/s]	42 <sup>※3</sup>	33 <sup>※1</sup>	38 <sup>※1</sup>

※1 砂利のサイズは、竜巻防護ネットの金網が目開き5cm×5cmを2枚重ね、4cm×4cmを1枚重ねの構造、又は4cm×4cmを3枚重ねの構造となっていることを考慮して算定

※2 設計竜巻風速100m/s、当社が実施するランキン渦モデルの風速場を用いた飛散評価手法による結果

※3 竜巻影響評価ガイドに基づき最大水平速度の2/3として算出

※4 衝撃荷重による影響を保守的に評価するため、竜巻影響評価ガイドに示される竜巻の最大風速 (V<sub>0</sub>) = 100m/s の場合と同じ値とする。また、鋼製材については、竜巻影響評価ガイド改正前の値とする。

※：竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究（東京工芸大学）

E. Simiu and M. Cordes, NBSIR76-1050, Tornado-Borne Missile Speeds, 1976

c. 設計飛来物の衝撃荷重の設定  
設計竜巻の最大風速100m/sによる設計飛来物の衝撃荷重は、運動エネルギーが最も大きくなる鋼製材の衝突方向及び衝突面積を考慮し、鋼製材が評価対象施設等に衝突した場合の影響が大きくなる衝突方向で算出する。

鋼製材の最大速度は第3.3.1.1表のとおりであり、静的な構造評価を実施する場合の衝撃荷重は、重量分布を均一な直方体として、Rieraの方法を踏まえた下式にて算出した。

$$W_w = F_{MAX} = MV^2 / L_{MIN}$$

M：飛来物の質量

V：飛来物の衝突速度

L<sub>MIN</sub>：飛来物の衝突方向長さ

Rieraの方法で衝撃荷重を算出する場合、衝撃荷重が最大となるのは第3.3.1.2図に示す向き  
の衝突となる。

なお、有限要素法による飛来物衝突評価を行う場合には、飛来物の衝突速度を初速度として入力し、衝突解析により衝撃荷重を算出する。衝突解析における鋼製材の衝突方向は、鋼製材が評価対象施設等に衝突した場合の影響が大きくなる衝突方向とする。



解説4.3.1.4 設計竜巻荷重の組み合わせ  
 設計対象施設的设计に用いる設計竜巻荷重は、設計竜巻による風圧力による荷重( $W_w$ )、気圧差による荷重( $W_p$ )、及び設計飛来物による衝撃荷重( $W_M$ )を組み合わせた複合荷重とし、複合荷重 $W_T$ 及び $W_{T2}$ は、米国NRCの基準類(参12)を参考として設定した下式により算定する。

$$W_T = W_p \dots (4.4)$$

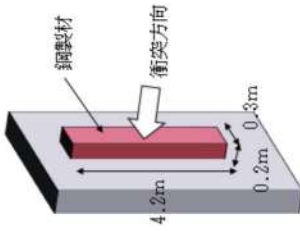
$$W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M \dots (4.5)$$

ここで、(4.4)式及び(4.5)式の各変数は下記のとおり。

- $W_T$ 、 $W_{T2}$ ：設計竜巻による複合荷重
- $W_w$ ：設計竜巻の風圧力による荷重
- $W_p$ ：設計竜巻による気圧差による荷重
- $W_M$ ：設計飛来物による衝撃荷重

なお、設計対象施設には $W_T$ 及び $W_{T2}$ の両荷重をそれぞれ作用させる。

4.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定  
 「2.2.2 設計対象施設に作用する荷重」の「(2)設計竜巻荷重と組み合わせる荷重」に示した各荷重について、それぞれ技術的見地等から妥当な荷重として設定し、設計竜巻荷重と組み合わせる。



第3.3.1.2図 最大衝撃荷重となる鋼製材衝突方向 (Rieraの方法<sup>(1)</sup>)

d. 設計竜巻荷重の組合せ  
 評価対象施設等の評価に用いる設計竜巻荷重は、設計竜巻による風圧力による荷重 $W_w$ 、気圧差による荷重 $W_p$ 、及び設計飛来物による衝撃荷重 $W_M$ を組み合わせた複合荷重として、以下の式により算出する。

$$W_T = W_p$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M$$

ここで、

- $W_T$ 、 $W_{T2}$ ：設計竜巻による複合荷重
- $W_w$ ：設計竜巻の風圧力による荷重
- $W_p$ ：設計竜巻の気圧差による荷重
- $W_M$ ：設計飛来物による衝撃荷重

ここで、竜巻襲来時のある瞬間において、各荷重の作用方向は必ずしも一様ではないが、WT2の算出においては $W_w$ 、 $W_p$ 及び $W_M$ の作用方向を揃えることとし、保守性を考慮する。また、評価対象施設等には $W_T$ 及び $W_{T2}$ の両荷重をそれぞれ作用させる。

3.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定  
 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重は、以下のとおりとする。

- (1) 評価対象施設等に常時作用する荷重、運転時荷重等  
 評価対象施設等に自重等の常時作用する荷重、内圧等の運転時荷重を適切に組み合わせる。
- (2) 竜巻以外の自然現象による荷重

竜巻は積乱雲や積雲に伴って発生する現象であり、積乱雲の発達時に竜巻と同時発生する可能性がある自然現象は、雷、雪、ひょう及び降水である。これらの自然現象の組合せにより発生する荷重は、以下のとおり設計竜巻荷重に包絡される。

なお、竜巻と同時に発生する自然現象については今後も継続的に新たな知見等の収集に取り組み、必要な事項については適切に反映を行う。

①雷

竜巻と雷が同時に発生する場合においても、雷によるプラントへの影響は、雷撃であるため雷による荷重は発生しない。

②雪

竜巻の作用時間は極めて短時間であること、積雪の荷重は冬季の限定された期間に発生し、積雪荷重の大きさや継続時間は除雪を行うことで低減できることから、発生頻度が極めて小さい設計竜巻の風荷重と積雪による荷重が同時に発生し、設備に影響を与えないことを考えたいため、組合せを考慮しない。また、雪が堆積した状態における竜巻の影響については、除雪により雪を長期間堆積状態にしない方針であることから、組合せを考慮しない。

冬季に竜巻が発生する場合は竜巻通過前後に降雪を伴う可能性はあるが、上昇流の竜巻本体周辺では、竜巻通過時に雪は降らない。また、下降流の竜巻通過時は、竜巻通過前に積もった雪の大部分は、竜巻の風により吹き飛ばされ、雪による荷重は十分小さく設計竜巻荷重に包絡される。

③ひょう

ひょうは、積乱雲から直径5mm以上の氷の粒であり、仮に直径10cm程度の大型のひょうを想定した場合、その重量は約0.5kgとなる。直径10cm程度のひょうの終端速度は59m/s、運動エネルギーは約0.9kJであり、設計飛来物の運動エネルギーと比べ十分に小さく、ひょうの衝突による荷重は設計竜巻荷重に包絡される。

④降水

竜巻と降水が同時に発生する場合においても、雨水により屋外施設に荷重の影響を与えることはなく、また降雨による荷重は十分小さいため、設計竜巻荷重に包絡される。

(3) 設計基準事故時荷重

外部事象防護対象施設は、当該外部事象防護対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該外部事象防護対象施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を、それぞれの因果関係及び時間的変化を考慮して、適切に組み合わせて設計する。

外部事象防護対象施設は、設計竜巻によって安全機能を損わない設計とするため、設計竜巻は原子炉冷却材喪失事故等の設計基準事故の起因とはならないことから、設計竜巻と設計基準事故は独立事象であり、因果関係はない。

時間的変化の観点からは、事故の影響が長期に及ぶことが考えられる設計基準事故である原子炉冷却材喪失の発生頻度は小さく、また、外部事象防護対象施設に大きな影響を及ぼす竜巻の発生頻度も小さい。よって設計竜巻と設計基準事故が同時に発生する頻度は十分小さいため、設計基準事故時荷重と設計竜巻の荷重を組み合わせる必要はなく、設計竜巻により外部事象防護対象施設に作用する衝撃による応力評価と変わらない。

また、風速が低く発生頻度が高い竜巻と設計基準事故が同時に発生する場合、外部事象防護対象施設のうち設計基準事故時荷重が生じ、外殻となる施設による防護機能が期待できないこ

とから、竜巻による風荷重等の影響を受ける可能性がある屋内施設としては原子炉補機冷却海水ポンプが考えられるが、設計基準事故時においても原子炉補機冷却海水ポンプの圧力及び温度は変わらないため、設計基準事故により考慮すべき荷重はなく、設計竜巻の荷重と設計基準事故時荷重を組み合わせる必要はないため、設計竜巻により外部事象防護対象施設に作用する衝撃による応力評価と変わらない。このため、設計竜巻の荷重と設計基準事故時荷重の組合せは考慮しない。

4.4 施設の構造健全性の確認

4.4.1 概要

設計竜巻荷重及びその他の組み合わせ荷重（常時作用している荷重、竜巻以外の自然現象による荷重、設計基準事故時荷重等）を適切に組み合わせた設計荷重に対して、設計対象施設、あるいはその特定の区画<sup>(注4.1)</sup>の構造健全性が維持される方針であることを確認する。

(注4.1) 竜巻防護施設を内包する区画。

3.4 評価対象施設等の設計方針

外部事象防護対象施設のうち評価対象施設等については、設計荷重に対してその構造健全性を維持すること又は取替、補修が可能なこと、設計上の要求を維持することにより、安全機能を損なわない設計とする。また、外部事象防護対象施設等に波及影響を及ぼし得る施設については、竜巻及びその随伴事象に対して構造健全性を確保すること、設計上の要求を維持すること又は安全上支障のない期間での修復等の対応により、外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(1) 許容限界

建屋及び構造物の設計において、設計飛来物の衝突による貫通及び裏面剥離発生の有無の評価については、貫通及び裏面剥離が発生しない部材厚さ（貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さ）と部材の最小厚さを比較することにより行う。さらに、設計荷重により、発生する変形又は応力が以下の法令、規格、基準、指針等に準拠し算定した許容限界を下回る設計とする。

- ・ 建築基準法
- ・ 日本産業規格
- ・ 日本建築学会及び土木学会等の基準・指針類
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会）
- ・ 日本機械学会の基準・指針類
- ・ 震災建築物の被災度区分判定基準及び復旧技術指針（日本建築防災協会）
- ・ 原子力エネルギー協会（NEI）の基準・指針類等

系統及び機器の設計において、設計飛来物の衝突による貫通の有無の評価については、貫通が発生しない部材厚さ（貫通限界厚さ）と部材の最小厚さを比較することにより行う。設計飛来物が貫通することを考慮する場合には、設計荷重に対して防護対策を考慮した上で、系統及び機器に発生する応力が以下の規格、基準及び指針類に準拠し算定した許容応力度等に基づく許容限界を下回る設計とする。

- ・ 日本産業規格
- ・ 日本建築学会の基準・指針類
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会）等

(2) 屋外施設（外部事象防護対象施設を内包する区画を含む。）及び屋内の施設で外気と繋がっている施設

外部事象防護対象施設のうち屋外施設は、設計荷重に対して、安全機能が維持される設計と

し、必要に応じて竜巻飛来物防護対策設備又は運用による竜巻防護対策を講じる方針とする。  
 外殻となる施設に内包され防護される外部事象防護対象施設のうち、外気と繋がっている施設は、設計荷重に対して、安全機能が維持される設計とし、必要に応じて竜巻飛来物防護対策設備である竜巻防護鋼板の設置又は運用による竜巻防護対策を講じる方針とする。

なお、屋内に配置される施設のうち、外殻となる施設等による防護機能が期待できる施設の内包に配置される施設は、その防護機能により設計荷重に対して影響を受けない設計とする。

また、設計飛来物は評価対象施設等の全面に影響を及ぼすものとして評価及び対策を行う。

a. 排気筒

排気筒は、周辺補機棟に内包されている部分と、周辺補機棟に内包されていない部分がある。周辺補機棟に内包されている部分については、竜巻防護鋼板の設置による竜巻防護対策を行う周辺補機棟に内包されていることを考慮すると、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しないため、気圧差による荷重及び排気筒に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

また、周辺補機棟に内包されていない部分については、設計飛来物の衝突により貫通し構造健全性が維持されないことを考慮して、補修が可能な設計とすることにより、設計基準事故時における安全機能を損なわない設計とする。さらに、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び排気筒に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

b. 換気空調設備（アニュラス空気浄化設備、格納容器空調装置、補助建屋空調装置、試料採取室空調装置、中央制御室空調装置、電動補助給水ポンプ室換気装置、制御用空気圧縮機室換気装置、ディーゼル発電機室換気装置及び安全補機閉閉器室空調装置）

換気空調設備（アニュラス空気浄化設備、格納容器空調装置、補助建屋空調装置、試料採取室空調装置、中央制御室空調装置、電動補助給水ポンプ室換気装置、制御用空気圧縮機室換気装置、ディーゼル発電機室換気装置及び安全補機閉閉器室空調装置）は、外部遮へい建屋、竜巻防護鋼板の設置による竜巻防護対策を行う周辺補機棟及び原子炉補助建屋に内包されていることを考慮すると、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しないことから、気圧差による荷重及び設備に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

<以下、外部事象防護対象施設を内包する区画>

c. 外部遮へい建屋

外部遮へい建屋は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重に対して、構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁及び開口部（扉類）の破損により当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

また、設計飛来物の衝突時においても、貫通及び裏面剥離の発生により、当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

d. 周辺補機棟、燃料取扱棟、原子炉補助建屋及びディーゼル発電機建屋

周辺補機棟、燃料取扱棟、原子炉補助建屋及びディーゼル発電機建屋は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重に対して、構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁及び開口部（扉類）の破損により当該建屋内の外部事象

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価
	<p>防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突時においても、貫通及び裏面剥離の発生により、当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。</p> <p>ただし、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重又は設計飛来物の衝突による影響を受け、屋根、壁及び開口部（扉類）が損傷し当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なう可能性がある場合には、当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわないかを評価し、安全機能を損なう可能性がある場合には、竜巻飛来物防護対策設備又は運用による竜巻防護対策を実施する。</p> <p>e. A1, A2-燃料油貯油槽タンク室及びB1, B2-燃料油貯油槽タンク室  A1, A2-燃料油貯油槽タンク室及びB1, B2-燃料油貯油槽タンク室は、地下埋設されており風圧力による荷重、気圧差による荷重は作用しないことから、設計飛来物による衝撃荷重に対して、構造健全性が維持され、ディーゼル発電機燃料油貯油槽が安全機能を損なわない設計とする。</p> <p>f. 循環水ポンプ建屋  循環水ポンプ建屋は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重又は設計飛来物の衝突による影響を受け、屋根、壁及び開口部（扉類）が損傷する可能性があるため、当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわないかを評価し、安全機能を損なう可能性がある場合には、竜巻飛来物防護対策設備又は運用による竜巻防護対策を実施する。</p> <p>g. タービン建屋  タービン建屋は、竜巻を起因として蒸気発生器への過剰給水が発生することはないが、独立事象としての重畳の可能性を考慮し、安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで、タービン保安装置及び主蒸気止め弁が安全機能を損なわない設計とする。</p> <p>(4) 外殻となる施設による防護機能が期待できない施設  外殻となる施設による防護機能が期待できない施設は、設計荷重に対して、安全機能が維持される設計とし、必要に応じて竜巻飛来物防護対策設備である竜巻防護鋼板等の設置又は運用による竜巻防護対策を講じる方針とする。</p> <p>a. 使用済燃料ピット  設計飛来物が燃料取扱棟の壁を貫通し使用済燃料ピットに侵入する場合でも、設計飛来物の衝撃荷重により、使用済燃料ピットのライニング及びコンクリートの一部が損傷して、ピット水が漏えいすることはほとんどなく、使用済燃料ピットの冷却機能及び遮蔽機能に影響しないことにより使用済燃料ピットが安全機能を損なわない設計とする。</p> <p>b. 使用済燃料ラック  設計飛来物が燃料取扱棟の壁を貫通し使用済燃料ピットに侵入し使用済燃料ラックに衝突する場合でも、設計飛来物が使用済燃料ラックに貯蔵している燃料の有効部に達することはなく、使用済燃料ラックに貯蔵している燃料の構造健全性が維持されることにより安全機能を損な</p>

わない設計とする。

c. 新燃料ラック

設計飛来物が燃料取扱棟の壁を貫通し新燃料貯蔵庫に侵入し新燃料ラックに衝突する場合でも、設計飛来物が新燃料ラックに貯蔵している燃料の燃料有効部に達することはなく、新燃料ラックに貯蔵している燃料の構造健全性が維持されることにより安全機能を損なわない設計とする。

また、設計飛来物が新燃料ラックに貯蔵している燃料に直接衝突し、燃料の構造健全性が損なわれることを考慮して、竜巻防護鋼板の設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物が新燃料ラックに貯蔵している燃料に直接衝突することを防止し、燃料の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

d. 燃料移送装置、使用済燃料ピットクレーン、燃料取扱棟クレーン、燃料取扱替キャナル、キヤスクピット、燃料検査ピット

燃料移送装置、使用済燃料ピットクレーン、燃料取扱棟クレーン、燃料取扱替キャナル、キヤスクピット、燃料検査ピットは、設計飛来物が燃料取扱棟の壁を貫通し、燃料移送装置、使用済燃料ピットクレーン、燃料取扱棟クレーン、燃料取扱替キャナル、キヤスクピットに衝突し移送又は取扱い中の燃料の構造健全性が損なわれることを考慮して、竜巻襲来が予想される場合には、燃料取扱作業を中止し、移送中の燃料は燃料移送装置にて外部遮へい建屋内に移動する又は取扱い中の燃料は使用済燃料ピットクレーンにて使用済燃料ラックに貯蔵することにより、移送又は取扱い中の燃料の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

なお、使用済燃料ピットクレーンは使用済燃料ラック及び使用済燃料ラックに貯蔵している燃料に影響を及ぼさない待機位置への回避措置を行う。

e. 原子炉補機冷却海水ポンプ

原子炉補機冷却海水ポンプは、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し、竜巻防護ネットの設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の衝突を防止し、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び原子炉補機冷却海水ポンプに常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

f. 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ

原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナは、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し、竜巻防護ネットの設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の衝突を防止し、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び原子炉補機冷却海水出口ストレーナに常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

g. 配管及び弁（原子炉補機冷却海水系統）

配管及び弁（原子炉補機冷却海水系統）は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮し、竜巻防護ネットの設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の衝突を防止し、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び配管及び弁（原子炉補機冷却海水系統）に常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわない設計とする。

h. 原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）  
 原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）は、設計飛来物が周辺補機棟の開口部建具である扉を貫通し、原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）に衝突し安全機能を損なうことを考慮して、竜巻防護壁の設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）への衝突を防止し、原子炉補機冷却水サージタンク（配管及び弁含む）の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

i. 主蒸気系統配管他

主蒸気系統配管他は、設計飛来物が周辺補機棟又はディーゼル発電機建屋の開口部建具であるプロエアウトパネル、扉又はガラリを貫通し、主蒸気系統配管他に衝突し安全機能を損なうことを考慮して、竜巻防護鋼板等で開口部建具の竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の主蒸気系統配管他への衝突を防止し、主蒸気系統配管他の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

j. 制御用空気系統配管

制御用空気系統配管は、設計飛来物が原子炉補助建屋の開口部建具である扉を貫通し、制御用空気系統配管に衝突し安全機能を損なうことを考慮して、竜巻防護壁の設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の制御用空気系統配管への衝突を防止し、制御用空気系統配管の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

k. 蓄熱室加熱器

蓄熱室加熱器は、設計飛来物がディーゼル発電機建屋の開口部建具である扉又はガラリを貫通し、蓄熱室加熱器に衝突し安全機能を損なうことを考慮して、竜巻防護鋼板等の設置による竜巻防護対策を行うことにより、設計飛来物の蓄熱室加熱器への衝突を防止し、蓄熱室加熱器の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

1. タービン保安装置及び主蒸気止め弁

タービン保安装置及び主蒸気止め弁は、蒸気発生器への過剰給水の緩和手段（タービントリップ機能）として期待している。竜巻を起因として蒸気発生器への過剰給水が発生することはないが、独立事象としての重量の可能性を考慮し、安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで、安全機能を損なわない設計とする。

(5) 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設については、設計荷重による影響を受ける場合においても外部事象防護対象施設等に影響を及ぼさないよう、必要に応じて施設の補強、竜巻飛来物防護対策設備又は運用による竜巻防護対策を実施することにより、外部事象防護対象施設等の安全機能を損なわない設計とする。

a. 循環水ポンプ建屋、タービン建屋、電気建屋及び出入管理建屋

循環水ポンプ建屋、タービン建屋、電気建屋及び出入管理建屋は、風圧力による荷重、気圧差

による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び自重等の常時作用する荷重に対して、倒壊により外  
部事象防護対象施設等へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

- b. ディーゼル発電機排気消音器  
ディーゼル発電機排気消音器は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、ディー  
ゼル発電機排気消音器が閉塞することがなく、ディーゼル発電機の排気機能が維持される設計と  
する。  
さらに、ディーゼル発電機排気消音器が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び自重等の常  
時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とし、外部事象防護  
対象施設であるディーゼル発電機に機能的影響を及ぼさない設計とする。
- c. 主蒸気逃がし弁消音器  
主蒸気逃がし弁消音器は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、主蒸気逃がし  
弁消音器が損傷して閉塞することはない、主蒸気逃がし弁の排気機能が維持される設計とする。  
さらに、主蒸気逃がし弁消音器が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び自重等の常時作用  
する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。  
以上より、主蒸気逃がし弁消音器が、外部事象防護対象施設である主蒸気逃がし弁に機能的影  
響を及ぼさず、主蒸気逃がし弁が安全機能を損なわない設計とする。
- d. 主蒸気安全弁排気管  
主蒸気安全弁排気管は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、主蒸気安全弁排  
気管が損傷して閉塞することはない、主蒸気安全弁の排気機能が維持される設計とする。  
さらに、主蒸気安全弁排気管が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び自重等の常時作用す  
る荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。  
以上より、主蒸気安全弁排気管が、外部事象防護対象施設である主蒸気安全弁に機能的影響を  
及ぼさず、主蒸気安全弁が安全機能を損なわない設計とする。
- e. タービン動補助給水ポンプ排気管  
タービン動補助給水ポンプ排気管は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、ター  
ビン動補助給水ポンプ排気管が損傷して閉塞することはない、タービン動補助給水ポンプの機  
関の排気機能が維持される設計とする。  
さらに、タービン動補助給水ポンプ排気管が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び自重等  
の常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。  
以上より、タービン動補助給水ポンプ排気管が、外部事象防護対象施設であるタービン動補助  
給水ポンプに機能的影響を及ぼさず、タービン動補助給水ポンプが安全機能を損なわない設計と  
する。
- f. ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管  
ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管は、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮して  
も、ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管が閉塞することがなく、ディーゼル発電機燃料油貯  
油槽のベント機能が維持される設計とする。



原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価
<p>4.4.2 建屋、構築物等の構造健全性の確認 設計荷重に対して、建屋・構築物等の構造健全性が維持されて安全機能が維持される方針であることを確認する。</p> <p>(1) 設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定 建屋・構築物等の形状や特徴等を反映して設定した設計荷重によって設計対象施設に生じる変形や応力等を算定する方針である。設計対象施設に生じる変形や応力等は、その技術的な妥当性を確認した上で、原則として、現行の法律及び基準類<sup>(注4.2)</sup>等に準拠して算定する。</p> <p>(2) 構造健全性の確認 「(1)設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定」で算定される変形・応力等に基づいて、設計対象施設(建屋・構築物等)が以下の構造健全性評価基準を満足する方針であることを確認する。</p> <p>① 竜巻防護施設(外殻となる施設等による防護機能が確認された竜巻防護施設を除く)設計対象施設が終局耐力等の許容限界<sup>(注4.2)</sup>に対して十分な安全余裕を有している。</p> <p>② 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設 1) 設計対象施設あるいはその特定の区画<sup>(注4.3)</sup>が、終局耐力等の許容限界<sup>(注4.2)</sup>に対して十分な安全余裕を有している。 2) 設計飛来物が設計対象施設あるいはその特定の区画<sup>(注4.3)</sup>に衝突した際に、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えない。<sup>(注4.4)</sup></p> <p>(注4.2) 建築基準法、日本建築規格、日本建築学会及び土木学会等の規程・指針類、並びに日本電気協会の原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-1987)等に準拠する。 (注4.3) 竜巻防護施設を内包する区画。 (注4.4) 貫通及び裏面剥離(コンクリート等の部材に衝突物が衝突した際に、衝突面の裏側でせん断破壊等に起因した剥離が生じる破壊現象)に対して、施設の構造健全性を確認することを基本とする。</p>	<p>さらに、ディーゼル発電機燃料油貯槽ベント管が風圧力による荷重、気圧差による荷重及び非常時作用する荷重に対して、構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とし、外部事象防護対象施設であるディーゼル発電機燃料油貯槽に機能的影響を及ぼさない設計とする。</p> <p>g. 換気空調設備(蓄電池室排気装置) 換気空調設備が原子炉補助建屋に内包されていることを考慮すると、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。気圧差による荷重及び設備に常時作用する荷重に対しては、換気空調設備の構造健全性が維持される設計とする。 以上より、換気空調設備が、外部事象防護対象施設である蓄電池に機能的影響を及ぼさず、蓄電池が安全機能を損なわない設計とする。</p>

4.4.3 設備の構造健全性の確認

設計荷重に対して、設備（系統・機器）の構造健全性が維持されて安全機能が維持される方針であることを確認する。

(1) 設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定設備の形状や特徴等を反映して設定した設計荷重によって設計対象施設に生じる変形や応力等を算定する方針である。設計対象施設に生じる変形や応力等は、その技術的な妥当性を確認した上で、原則として、現行の法律及び基準類<sup>(注4.5)</sup>等に準拠して算定する。

(2) 構造健全性の確認

「(1) 設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定」で算定される変形・応力等に基づいて、設計対象施設（設備）が以下の構造健全性評価基準を満足する方針であることを確認する。

① 竜巻防護施設（外殻となる施設等による防護機能が確認された竜巻防護施設を除く）設計対象施設が許容応力度等に基づく許容限界<sup>(注4.5)</sup>に対して妥当な安全余裕を有している。

② 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

1) 設計対象施設あるいはその特定の区画<sup>(注4.6)</sup>が、許容応力度等に基づく許容限界<sup>(注4.5)</sup>に対して妥当な安全余裕を有している。  
 2) 設計飛来物が設計対象施設あるいはその特定の区画<sup>(注4.6)</sup>に衝突した際に、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えない。<sup>(注4.7)</sup>

(注4.5) 日本産業規格、日本電気協会の原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987）及び日本機械学会の規格・指針等に準拠する。

(注4.6) 竜巻防護施設を内包する区画。

(注4.7) 貫通及び裏面剥離（コンクリート等の部材に衝突物が衝突した際に、衝突面の裏側でせん断破壊等）に起因した剥離が生じる破壊現象）に対して、施設の構造健全性を確認することを基本とする。

泊発電所3号機竜巻影響評価	原子力発電所の竜巻影響評価ガイド
<p>3.5 竜巻随伴事象に対する評価</p> <p>竜巻随伴事象は過去の竜巻被害事例及び泊発電所のプラント配置から、想定される事象である。火災、溢水及び外部電源喪失を抽出し、事象が発生した場合の影響評価を行い、外部事象防護対象施設が安全機能を損なわないことを確認した。【添付資料3.4】</p>	<p>4.5 その他の確認事項</p> <p>4.4 に示す以外の確認事項については、原子力発電所の図面等を参照して十分に検討した上で設定する。例えば、中央制御室等の重要な区画等や非常用発電機等の重要な設備等に繋がる給排気ダクト類へ作用する風圧力が安全機能維持に与える影響等、安全機能維持の観点から重要と考えられる確認事項を設定する。そして、それぞれの項目について検討を行い、安全機能が維持される方針であることを確認する。</p> <p>5. 竜巻随伴事象に対する考慮</p> <p>5.1 概要 竜巻随伴事象に対して、竜巻防護施設の安全機能が維持される方針であることを確認する。</p> <p>5.2 基本的な考え方及び検討事項 検討対象とする竜巻随伴事象は、原子力発電所の図面等を参照して十分に検討した上で設定する。 ただし、竜巻随伴事象として容易に想定される以下の事象については、その発生の可能性について検討を行い、必要に応じてそれら事象が発生した場合においても安全機能が維持される方針であることを確認する。</p> <p>(1) 火災 設計竜巻等により燃料タンクや貯蔵所等が倒壊して、重油、軽油及びガソリン等の流出等に起因した火災が発生した場合においても、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えない。</p> <p>(2) 溢水等 設計竜巻による気圧低下等に起因した使用済燃料プール等の水の流出、屋外給水タンク等の倒壊による水の流出等が発生した場合においても、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えない。</p>
<p>(1) 火災 竜巻随伴事象として、設計竜巻による飛来物が建屋開口部付近の発火性又は引火性物質を内包する機器に衝突する場合及び屋外の危険物貯蔵施設等に飛来物が衝突する場合の火災が想定される。 建屋内については、飛来物が侵入する場合でも、建屋開口部付近には、発電用原子炉施設の安全機能を損なわせる可能性のある発火性又は引火性物質を内包する機器は配置されておらず、設計竜巻により建屋内に火災が発生することはなく、建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。 建屋外については、発電所敷地内の屋外にある危険物貯蔵施設等の火災がある。火災源と外部事象防護対象施設の位置関係を踏まえて火災の影響を評価した上で、外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とすることを「1.10 外部火災防護に関する基本方針」に記載する。 以上より、竜巻随伴事象としての火災に対して外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。</p> <p>(2) 溢水 竜巻随伴事象として、設計竜巻による気圧低下の影響や飛来物が建屋開口部付近の溢水源に衝突する場合及び屋外タンク等に飛来物が衝突する場合の溢水が想定される。 外部事象防護対象施設を内包する建屋内については、飛来物が侵入する場合でも、建屋開口部付近に飛来物が衝突して外部事象防護対象施設の安全機能を損なう可能性はある溢水源が配置されておらず、設計竜巻により建屋内に溢水が発生することはない。また、建屋内は設計竜巻による気圧低下の影響を受けないことから建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。 建屋外については、気圧低下の影響による屋外タンク等の破損は考え難いものの、設計竜巻による飛来物の衝突による屋外タンク等の破損に伴う溢水が想定されるが、「1.7 溢水防護に関する</p>	

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価
<p>(3) 外部電源喪失</p> <p>設計竜巻、設計竜巻と同時に発生する雷・竜<sup>ひょう</sup>等、あるいはダウンバースト等により、送電網に関する施設等が損傷する等して外部電源喪失に至った場合においても、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えない。</p> <p>6. 附則 この規定は、平成25年7月8日より施行する。 本ガイドに記載されている以外の計算方法等を設計で使用する場合は、技術的見地等からその妥当性を示す必要がある。 また、竜巻等の発生頻度、特性及びメカニズム等に関する情報、並びに竜巻等による被害の実情に関する情報等が不足している現在の日本の状況では、竜巻等に係る最新情報の調査・入手に努めるとともに、本ガイドは、最新情報を反映して適宜見直しを行うものとする。 なお、将来に観測された竜巻の最大風速が、過去に観測された竜巻の最大風速を上回った場合は、本設計の妥当性について再度見直すこととする。</p>	<p>基本方針」にて、竜巻時の屋外タンク等の破損を想定し、溢水が安全系機器に影響を及ぼさない設計とされていることから、竜巻随伴事象による屋外タンク等が損傷して発生する溢水により外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない。</p> <p>以上より、竜巻随伴事象としての溢水に対して外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。</p> <p>(3) 外部電源喪失</p> <p>設計竜巻又は設計竜巻と同時に発生する雷又はダウンバースト等の影響により送電網に関する施設等が損傷して外部電源喪失が発生する場合は想定される。設計竜巻に対してディーゼル発電機の構造健全性を維持することにより、外部電源喪失の影響がなく外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。なお、ディーゼル発電機の付属設備について、安全機能を損なわないことを以下のとおり確認している。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・吸排気については外気と繋がっているが、竜巻襲来時の短時間での圧力差による影響はない。</li> <li>・排気消音器出口に風圧力による荷重が作用して消音器内に大気が逆流した場合において、排気が阻害され系統内が閉塞気味になり、排気ガス温度が徐々に上昇し、通常運転時を超える温度となり出力制限となることが予想されるが、竜巻は長期間停滞することなく数秒～10数秒のオーダーで通過するため、この程度であれば排気ガス温度の急激な上昇はなくディーゼル発電機運転に支障を来すことはない。</li> </ul>

泊発電所 3号炉

運用，手順説明資料

外部からの衝撃による損傷の防止

(竜巻)

第6条 外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻）

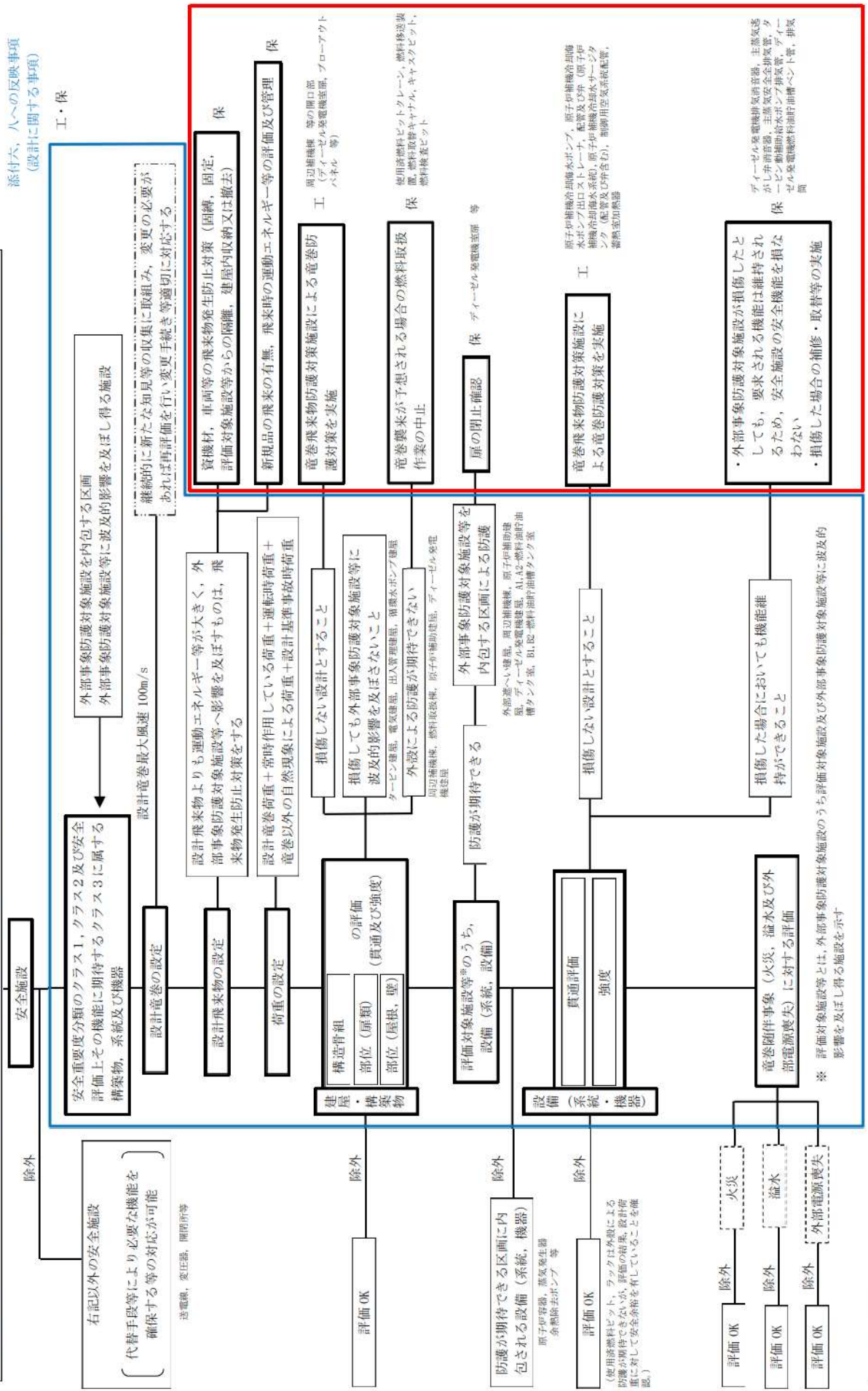
安全施設（兼用キヤスクを除く。）は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

2重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。

安全施設（兼用キヤスクを除く。）は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。

安全施設（兼用キヤスクを除く。）は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわなければならない。



添付六、八への反映事項  
(設計に関する事項)  
工・保

【後段規制との対応】  
 工：工認（基本設計方針、添付書類）  
 保：保安規定（運用、手順に係る事項、下位文書含む）  
 【添付六、八の反映事項】  
 □：添付六、八に反映  
 □：当該条文に関係しない  
 (他条文中の反映事項他)

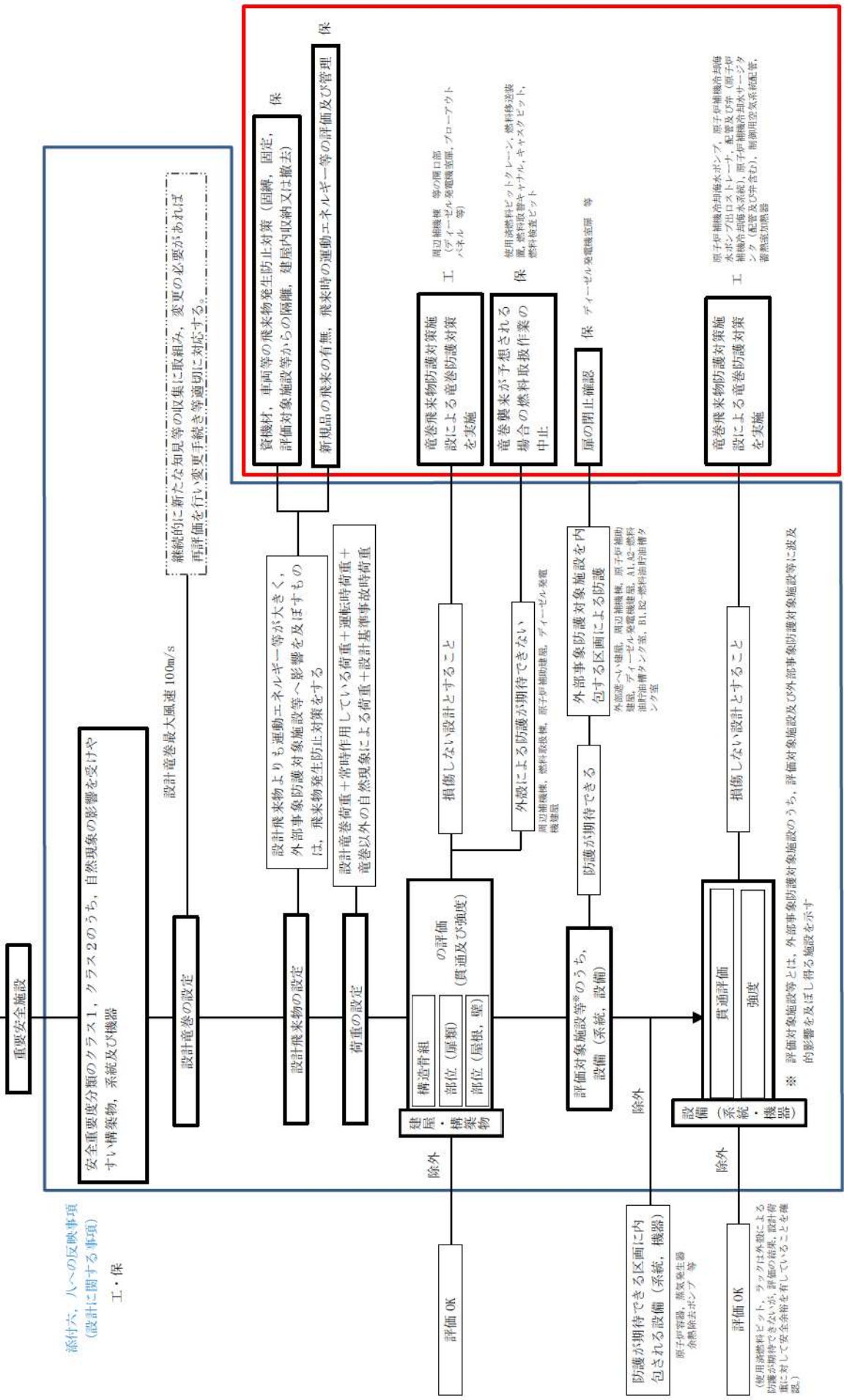
- 外部事象防護対象施設が損傷したとしても、要求される機能は維持されるため、安全施設の安全機能を損なわない
- 損傷した場合の補修・取替等の実施

保  
 資機材、車両等の飛来物発生防止対策（固縛、固定、評価対象施設等からの隔離、建屋内収納又は撤去）  
 工  
 電圧飛来物防護対策施設による電圧防護対策を実施  
 保  
 電巻飛来物が予想される場合の燃料取扱作業の中止  
 保  
 扉の閉止確認  
 工  
 電巻飛来物防護対策施設による電圧防護対策を実施  
 保  
 ・外部事象防護対象施設が損傷したとしても、要求される機能は維持されるため、安全施設の安全機能を損なわない  
 ・損傷した場合の補修・取替等の実施

添付六、八への反映事項（手順に関する事項）

重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると思定されると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならぬ

添付六、八への反映事項  
(設計に関する事項)  
工・保



継続的に新たな知見等の収集に取組み、変更の必要があれば再評価を行い変更手続き等適切に対応する。

資機材、車両等の飛来物発生防止対策(固縛、固定、評価対象施設等からの隔離、建屋内収納又は撤去) 保

新規品の飛来の有無、飛来時の運動エネルギー等の評価及び管理 保

竜巻飛来物防護対策施設による竜巻防護対策を実施 工

竜巻襲来が予想される場合の燃料取扱作業の中止 保

庫の閉止確認 保

竜巻飛来物防護対策施設による竜巻防護対策を実施 工

原子炉補機 等の開口部 (ディーゼル発電機室、ブローアウトハナル等)

使用済燃料ピットクレーン、燃料移送装置、燃料取扱キャナル、キャスクピット、燃料検査ピット

原子炉補機冷却水ポンプ、原子炉補機冷却水ポンプ出口ストレーナー、配管及び弁(原子炉補機冷却水系統)、原子炉補機冷却水システム(配管及び弁含む)、制御用空気系統配管、蓄熱室加熱器

【後段規制との対応】  
工：工認(基本設計方針、添付書類)  
保：保安規定(運用、手順に係る事項、下位文書含む)

【添付六、八の反映事項】  
[ ] : 添付六、八に反映  
[ ] : 当該条文に関係しない  
(他条文での反映事項他)

添付六、八への反映事項  
(手順に関する事項)



運用, 手順に係る対策等 (設計基準)

設置許可基準規則 対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第6条 外部からの 衝撃による損傷の防 止	資機材, 車両等管理 資機材, 車両等の飛 来物発生防止対策 (固縛, 固定, 評価 対象施設等からの隔 離, 建屋内収納又は 撤去)	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> <li>・屋外の飛散するおそれのある資機材, 車両等については, 飛来時の運動エネルギー等への影響を評価し, 評価対象施設等への影響の有無を確認する。評価対象施設等への影響を及ぼす資機材, 車両等については, 固縛, 固定, 評価対象施設等からの隔離, 建屋内収納又は撤去の飛来物発生防止対策について手順等を定める</li> <li>・資機材, 車両等の質量, 寸法, 形状から算出した飛来の有無, 飛来時の運動エネルギー等による飛来物発生防止対策 (固縛, 固定, 評価対象施設等からの隔離, 建屋内収納又は撤去) の評価方法手順及び評価結果の管理</li> </ul>
		体制	<ul style="list-style-type: none"> <li>・担当部署による保守・点検の体制</li> </ul>
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日常点検</li> <li>・定期点検</li> <li>・損傷時の補修</li> </ul>
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運用・手順, 体制, 保守・点検に関する教育</li> </ul>

設置許可基準規則 対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第6条 外部からの 衝撃による損傷の防 止	評価対象施設等を防 護するための操作・ 確認事項	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 竜巻の襲来が予想される場合及び竜巻襲来後において、評価対象施設等を防護するための操作・確認、補修等が必要となる事項について手順等を定める [操作・確認事項]</li> <li>・ 竜巻に関する情報入手及び情報入手後の対応 (情報の入手, 周知, 体制判断, 実施方法と手順)</li> <li>・ 竜巻襲来が予想される場合の対応に関する運用・手順 (竜巻襲来が予想される場合の使用中の資機材の固縛等)</li> <li>・ 竜巻襲来が予想される場合の燃料取扱作業の中止についての運用, 手順</li> <li>・ 扉 (ディーゼル発電機室扉 等) の閉止確認手順 [補修]</li> <li>・ 設備が損傷した場合の代替設備の確保及び補修, 取替等の運用, 手順</li> </ul>
		体制	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 担当部署による作業中止等の実施体制</li> <li>・ 担当部署による扉閉止確認体制</li> <li>・ 竜巻襲来に備えた体制の構築, 実施及び解除の判断基準, 実施手順, 連絡方法等</li> <li>・ 担当部署による保守・点検の体制</li> <li>・ 担当部署による損傷箇所の補修体制</li> </ul>
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 日常点検</li> <li>・ 定期点検</li> <li>・ 損傷時の補修</li> </ul>
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運用・手順, 体制, 保守・点検に関する教育</li> </ul>

泊発電所3号炉審査資料	
資料番号	DB063F r. 6. 0
提出年月日	令和5年3月31日

## 泊発電所3号炉

設置許可基準規則等への適合状況について  
(設計基準対象施設等)

第6条 外部からの衝撃による損傷の防止 (外部火災)

令和5年3月  
北海道電力株式会社

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第6条：外部からの衝撃による損傷の防止  
(外部火災)

<目次>

1. 基本方針
  1. 1 要求事項の整理
  1. 2 追加要求事項に対する適合性（手順等含む）
    - (1) 位置，構造及び設備
    - (2) 安全設計方針
    - (3) 適合性説明
  1. 3 気象等
  1. 4 設備等
  
2. 外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）
  - (別添1) 外部火災影響評価について
  
3. 運用，手順説明資料
  - (別添2) 泊発電所3号炉 運用，手順説明資料  
外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）
  
4. 現場確認プロセス
  - (別添3) 森林火災評価に係る植生確認プロセスについて

## <概要>

1. において、設計基準対象施設の設置許可基準規則、技術基準規則の追加要求事項を明確化するとともに、それら要求に対する泊発電所3号炉における適合性を示す。
2. において、設計基準対象施設について、追加要求事項に適合するために必要となる機能を達成するための設備又は運用について説明する。
3. において、追加要求事項に適合するための運用、手順等を抽出し、必要となる運用対策を整理する。
4. において、森林火災影響評価に必要な入力条件等の設定を行うため必要となる植生確認プロセスについて説明する。

## 1. 基本方針

### 1. 1 要求事項の整理

外部からの衝撃による損傷の防止について、設置許可基準規則第6条及び技術基準規則第7条において、追加要求事項を明確化する（表1）。

表 1 設置許可基準規則第 6 条及び技術基準規則第 7 条 要求事項

設置許可基準規則	技術基準規則	備考
<p>第 6 条 (外部からの衝撃による損傷の防止)</p> <p>安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならぬ。</p>	<p>第 7 条 (外部からの衝撃による損傷の防止)</p> <p>設計基準対象施設が想定される自然現象（地震及び津波を除く。）によりその安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置、基礎地盤の改良その他の適切な措置を講じなければならぬ。</p>	<p>追加要求事項</p>
<p>2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならぬ。</p>		<p>追加要求事項</p>
<p>3 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であつて人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならぬ。</p>	<p>2 周辺監視区域に隣接する地域に事業所、鉄道、道路その他の外部からの衝撃が発生するおそれがある要因がある場合には、事業所における火災又は爆発事故、危険物を搭載した車両、船舶又は航空機の事故その他の敷地及び敷地周辺の状況から想定される事象であつて人為によるもの（故意によるものを除く。）により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう、防護措置その他の適切な措置を講じなければならぬ。</p> <p>3 航空機の墜落により発電用原子炉施設の安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置その他の適切な措置を講じなければならぬ。</p>	<p>追加要求事項</p>

## 1. 2 追加要求事項に対する適合性（手順等含む）

### (1) 位置，構造及び設備

ロ 発電用原子炉施設の一般構造

### (3) その他の主要な構造

#### (a) 外部からの衝撃による損傷の防止

安全施設は，発電所敷地で想定される洪水，風（台風），竜巻，凍結，降水，積雪，落雷，地滑り，火山の影響，生物学的事象，森林火災及び高潮の自然現象（地震及び津波を除く。）又はその組合せに遭遇した場合において，自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件においても安全機能を損なわない設計とする。

なお，発電所敷地で想定される自然現象のうち，洪水については，立地的要因により設計上考慮する必要はない。

上記に加え，重要安全施設は，科学的技術的知見を踏まえ，当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力について，それぞれの因果関係及び時間的変化を考慮して適切に組み合わせる。

また，安全施設は，発電所敷地又はその周辺において想定される飛来物（航空機落下），ダムの崩壊，爆発，近隣工場等の火災，有毒ガス，船舶の衝突又は電磁的障害の発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

なお，発電所敷地又はその周辺において想定される人為事象のうち，飛来物（航空機落下）については，確率的要因により設計上考慮する必要はない。また，ダムの崩壊については，立地的要因により考慮する必要はない。

自然現象及び発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）の組合せについては，地震，津波，風（台風），竜巻，凍結，降水，積雪，落雷，地滑り，火山の影響，生物学的事象，森林火災等を考慮する。

事象が単独で発生した場合の影響と比較して，複数の事象が重畳することで影響が増長される組合せを特定し，その組合せの影響に対しても安全機能を損なわない設計とする。

ここで，想定される自然現象及び発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して，安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。



(a-10) 外部火災（森林火災、爆発及び近隣工場等の火災）

安全施設は、想定される外部火災において、最も厳しい火災が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(1~2)】

想定される森林火災の延焼防止を目的として、発電所周辺の植生を確認し、作成した植生データ等を基に求めた最大火線強度(33,687kW/m)から算出される防火帯(20m以上)を敷地内に設ける。

ただし、火線強度があがりやすいササ草原を擁しかつ斜面に面する敷地北部は最大火線強度(114,908kW/m)から算出される防火帯(46m以上)を敷地内に設ける。

防火帯は延焼防止効果を損なわない設計とし、防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とする。

【別添1(2.1.3.2)】

また、森林火災による熱影響については、最大火炎輻射強度の影響を考慮した場合においても、離隔距離の確保等により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.1.3.3)】

発電所敷地又はその周辺で想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）として、想定される近隣の産業施設の火災・爆発については、離隔距離の確保により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.2)】

また、想定される発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災及び航空機墜落による火災については、離隔距離を確保すること、その火災による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること又はそれらを適切に組み合わせること、その安全施設の安全機能を損なわない設計とする。外部火災による屋外施設への影響については、屋外施設の温度を許容温度以下とすることで安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.2.2.5~2.3)】

また、外部火災の二次的影響であるばい煙及び有毒ガスによる影響については、換気空調設備等に適切な防護対策を講じることで安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

(2) 安全設計方針

1.8.10 外部火災防護に関する基本方針

1.8.10.1 設計方針

安全施設が外部火災（火災・爆発（森林火災，近隣工場等の火災・爆発，航空機墜落火災等））に対して，発電用原子炉施設の安全性を確保するために想定される最も厳しい火災が発生した場合においても必要な安全機能を損なわないよう，防火帯の設置，離隔距離の確保，建屋による防護，代替手段等によって，安全機能を損なわない設計とする。

外部火災によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を，安全重要度分類のクラス1，クラス2及びクラス3に属する構築物，系統及び機器とする。

外部火災によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設のうち，外部事象防護対象施設は，防火帯の設置，離隔距離の確保，建屋による防護等により安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(1.1～1.2)】

想定する外部火災として，森林火災，近隣の産業施設の火災・爆発，発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災及び航空機墜落による火災を選定する。外部火災にて想定する火災を第1.8.10.1表に示す。

【別添1(1.1～1.2)】

また，想定される火災及び爆発の二次的影響（ばい煙等）に対して，安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(1.1～1.2)】

(1) 評価対象施設

外部事象防護対象施設のうち，屋内施設は内包する建屋により防護する設計とし，評価対象施設を，建屋，屋外施設並びに外部火災の二次的影響を受ける構築物，系統及び機器に分類し，抽出する。

上記に含まれない構築物，系統及び機器は，原則として，防火帯により防護し，外部火災により損傷した場合であっても，代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

評価対象施設を第1.8.10.2表に示す。

a. 外部火災の直接的な影響を受ける評価対象施設

外部事象防護対象施設等のうち、評価対象施設を以下のとおり抽出する。

(a) 屋内の評価対象施設

屋内設置の外部事象防護対象施設は、内包する建屋により防護する設計とし、以下の建屋を評価対象施設とする。

ただし、評価対象施設のうち、原子炉補機冷却海水ポンプ及び原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナについては、循環水ポンプ建屋に収納されており、直接火災の影響を受けることはないが、周囲空気の温度上昇により、冷却機能への影響が懸念されることから、原子炉補機冷却海水ポンプが取り込む冷却空気及び原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナを評価対象とする。評価対象施設のうち、原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナについては、他の評価対象施設の評価により、安全機能を損なわない設計であることを確認する。

- i) 原子炉建屋
- ii) 原子炉補助建屋
- iii) ディーゼル発電機建屋
- iv) 循環水ポンプ建屋
- v) タービン建屋

なお、タービン建屋に内包されているタービン保安装置及び主蒸気止め弁は、以下の設計とすることにより、以降の評価対象施設には含めないものとする。

評価対象施設のうちタービン建屋に内包されているタービン保安装置及び主蒸気止め弁については、蒸気発生器への過剰給水の緩和手段（タービントリップ）として期待している。外部火災を起因として蒸気発生器への過剰給水が発生することはないが、独立事象としての重畳の可能性を考慮し、タービン建屋も含め安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで、安全機能を損なわない設計とする。

(b) 屋外の評価対象施設

屋外の評価対象施設は、以下の施設を対象とする。

- i) 排気筒

b. 外部火災の二次的影響を受ける評価対象施設

外部火災の二次的影響を受ける評価対象施設を以下のとおり抽出する。

(a) ディーゼル発電機

- (b) 換気空調設備
- (c) 安全保護系
- (d) 制御用空気圧縮機
- (e) 原子炉補機冷却海水ポンプ
- (f) 主蒸気逃がし弁, 排気筒, 主蒸気安全弁, タービン動補助給水ポンプ排気管

## (2) 森林火災

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、発電所周辺の植生及び過去10年間の気象条件を調査し、発電所から直線距離10kmの間に発火点を設定し、森林火災シミュレーション解析コード（以下「FARSITE」という。）を用いて影響評価を実施し、森林火災の延焼を防ぐための手段として防火帯を設け、火炎が防火帯外縁に到達するまでの時間、評価対象施設への熱影響及び危険距離を評価し、必要な防火帯幅、評価対象施設との離隔距離を確保すること等により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

### a. 森林火災の想定

- (a) 森林火災における各樹種の可燃物量は、北海道から入手した森林簿データと現地調査等により得られた樹種を踏まえて補正した植生を用いる。また、林齢は、樹種を踏まえて地面草地の可燃物量が多くなるように保守的に設定する。
- (b) 気象条件は、発電所内の気象観測設備の過去10年間の気象データを調査し、北海道における森林火災の発生頻度が年間を通じて比較的高い月の最小湿度、最高気温及び最大風速の組合せとする。
- (c) 風向については、最大風速記録時における風向及び卓越風向を調査し、森林火災の発生件数及び森林と発電所の位置関係を考慮して、最大風速記録時の風向を設定する。
- (d) 発火点については、防火帯幅の設定及び熱影響評価に際し、FARSITEより出力される最大火線強度及び反応強度を用いて評価するため、発電所から直線距離10kmの間で風向及び人為的行為を考慮し、2地点を設定する。
  - (d-1) 人為的行為を考慮し、火を扱う可能性がある箇所で、火災の発生頻度が高いと想定される居住地区、道路沿い等を選定する。

(d-2) 風向は卓越方向（東，北西）とし，火災規模に対する風向の影響を考慮し，発火点は泊発電所の風上を選定する。

(i) 発電所周辺のうち，卓越風向である東方向の風による延焼を考慮し，社員寮等の居住区及び道路沿いでの人為的行為を想定し，道路脇畑（発電所敷地から約2,500mの距離）を「発火点1」として設定する。

(ii) 発電所周辺のうち，卓越風向である北西方向の風による延焼を考慮し，民家等の居住区及び道路沿いでの人為的行為を想定し，集落端と森林の境界部（発電所敷地から約1,500mの距離）を「発火点2」として設定する。

【別添1(2.1.2)】

(e) 森林火災の発火時刻については，日照による草地及び樹木の乾燥に伴い，火線強度が変化することから，これらを考慮して火線強度が最大となる時刻を設定する。

【別添1(2.1.2)】

#### b. 評価対象範囲

発電所近傍の発火想定地点を10km以内とし，評価対象範囲は泊発電所から東に13km，西に13km，南に13km，北に13kmの範囲を対象に評価を行う。

【別添1(2.1.2)】

#### c. 必要データ（FARSITE 入力条件）

##### (a) 地形データ

現地状況をできるだけ模擬するため，発電所周辺の土地の標高，地形等のデータについては，公開情報の中でも高い空間解像度である10mメッシュの「基盤地図情報 数値標高モデル」（国土地理院データ）を用いる。

##### (b) 土地利用データ

現地状況をできるだけ模擬するため，発電所周辺の建物用地，交用地等のデータについては，公開情報の中でも高い空間解像度である100mメッシュの「国土数値情報土地利用細分メッシュ」（国土交通省データ）を用いる。

##### (c) 植生データ

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地方自治体(北海道)より入手する。

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

よりさらに細分化する。

発電所構内及び発電所周辺の植生データについては、現地調査し、FARSITE入力データとしての妥当性を確認の上植生区分を設定する。

【別添1(2.1.2)】

(d) 気象データ

現地にて起こり得る最も厳しい条件を検討するため、発電所内の気象観測設備の過去10年間の気象データのうち北海道で発生した森林火災の実績を考慮し、比較的発生頻度が高い4月～6月の気象条件(最多風向, 最大風速, 最高気温及び最小湿度)の最も厳しい条件を用いる。

【別添1(2.1.2)】

d. 延焼速度及び火線強度の算出

ホイヘンスの原理に基づく火炎の拡大モデルを用いて延焼速度(3.11m/s(発火点2))や火線強度(114,908kW/m(発火点2))を算出する。

e. 火炎到達時間による消火活動

延焼速度より、発火点から火炎が防火帯に到達するまでの火炎到達時間(約0.8時間(発火点2))を算出する。

森林火災が防火帯に到達する時間までの間に泊発電所に常駐している自衛消防隊による防火帯付近の予防散水活動(飛び火を抑制する効果を期待)を行うことが可能であり、防火帯をより有効に機能させる。

また、万が一の飛び火等による火炎の延焼を確認した場合には、自衛消防隊による初期消火活動を行うことで、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.1.3.1)】

なお、外部からの情報により森林火災を認識し、防火帯に到達するまでに時間的な余裕がある場合には、発電所構内への延焼を抑制するために防火帯近傍への予防散水を行う。

【別添1(2.1.3.1)】

f. 防火帯幅の設定

FARSITEから出力される最大火線強度(33,687kW/m(発火点1))により算出される防火帯幅17.8mに対し、20m以上の防火帯幅を確保すること及び最大火線強度114,908kW/m(発火点2))により算出される防火帯幅45.3mに対し、46m以上

の防火帯幅を確保することにより評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

防火帯は延焼防止効果を損なわない設計とし、防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とする。

設置する防火帯及び樹木が無い領域を第1.8.10.1図に示す。

【別添1(2.1.3.2)】

#### g. 評価対象施設への熱影響

森林火災の直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保、建屋による防護により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。なお、影響評価に用いる火炎輻射強度は、FARSITEから出力される反応強度から求め、その値に対して安全側に余裕を考慮する。

##### (a) 火災の想定

(i) 森林火災による熱を受ける面と森林火災の火炎輻射強度が発する地点が同じ高さにあると仮定し、離隔距離は最短距離とする。

(ii) 森林火災の火炎は、円筒火炎モデルとする。火炎の高さは燃焼半径の3倍とし、燃焼半径から円筒火炎モデルの数を算出することにより火炎到達幅の分だけ円筒火炎モデルが横一列に並ぶものとする。

##### (b) 原子炉建屋，原子炉補助建屋，ディーゼル発電機建屋，循環水ポンプ建屋への熱影響

火炎輻射発散度  $843\text{kW/m}^2$  (火炎輻射強度  $843\text{kW/m}^2$ ) となる「発火点1」を安全側に余裕を考慮した  $1,200\text{kW/m}^2$  に基づき算出する、防火帯の外縁(火炎側)から最も近くに位置する原子炉建屋(垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所)の表面温度を、火災時における短期温度上昇を考慮した場合のコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である  $200^\circ\text{C}$  以下とし、かつ換気空調設備等による除熱により建屋内の温度上昇を抑制することで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

##### (c) 排気筒への熱影響

火炎輻射発散度  $977\text{kW/m}^2$  (火炎輻射強度  $977\text{kW/m}^2$ ) となる「発火点2」を安全側に余裕を考慮した  $1,200\text{kW/m}^2$  に基づき算出する排気筒の温度を、鋼材の強度が維持される温度である  $325^\circ\text{C}$  以下とすることで、排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

(d) 原子炉補機冷却海水ポンプへの熱影響

火炎輻射発散度  $977\text{kW/m}^2$  (火炎輻射強度  $977\text{kW/m}^2$ ) となる「発火点 2」を安全側に余裕を考慮した  $1,200\text{kW/m}^2$  に基づき算出する原子炉補機冷却海水ポンプへの冷却空気の温度を、下部軸受の機能維持に必要な温度である  $80^\circ\text{C}$  以下とすることで、原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.1.3.3)】

h. 評価対象施設の危険距離の確保

森林火災の直接的な影響を受ける評価対象施設の危険距離について評価を実施し、防火帯の外縁(火炎側)からの離隔距離を最大の火炎輻射強度を安全側に余裕を考慮した数値に基づき算出する危険距離以上確保することにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(a) 原子炉建屋, 原子炉補助建屋, ディーゼル発電機建屋, 循環水ポンプ建屋の危険距離の確保

火炎輻射発散度  $843\text{kW/m}^2$  (火炎輻射強度  $843\text{kW/m}^2$ ) となる「発火点 1」を安全側に余裕を考慮した  $1,200\text{kW/m}^2$  に基づき危険距離を算出し、発電所周囲に設置される防火帯の外縁(火炎側)からの離隔距離を危険距離以上確保し、かつ換気空調設備等による除熱により建屋内の温度上昇を抑制することにより、各建屋及び当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(b) 排気筒及び原子炉補機冷却海水ポンプの危険距離の確保

排気筒及び原子炉補機冷却海水ポンプが火炎輻射発散度  $977\text{kW/m}^2$  (火炎輻射強度  $977\text{kW/m}^2$ ) となる「発火点 2」を安全側に余裕を考慮した  $1,200\text{kW/m}^2$  に基づき危険距離を算出し、発電所周囲に設置される防火帯の外縁(火炎側)からの離隔距離を危険距離以上確保することにより、安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.1.3.3)】

(3) 近隣産業施設の火災・爆発

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、発電所敷地外 10km 以内の産業施設を抽出した上で発電所との離隔距離を確保すること及び発電所敷地内で火災を発生させるおそれのある危険物貯蔵施設等を選定し、危険物貯蔵施設等の燃料量と評価対象施設との離隔距離を考慮して、輻射強度が最大となる火



災を設定し、直接的な影響を受ける評価対象施設への熱影響評価を行い、離隔距離の確保等により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

a. 石油コンビナート施設等の影響

発電所敷地外 10km 以内の範囲において、石油コンビナート施設を調査した結果、当該施設は存在しないことを確認している。なお、発電所に最も近い石油コンビナート地区は北東約 70km の石狩地区である。

【別添 1(2.2.2)】

b. 危険物貯蔵施設等の影響

(a) 火災の影響

発電所敷地外 10km 以内の危険物貯蔵施設の火災による直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保、建屋による防護により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

発電所敷地外 10km 以内のうち、発電所周辺に位置する危険物貯蔵施設を第 1.8.10.2 図に示す。

【別添 1(2.2.2.2)】

(i) 火災の想定

- ・危険物貯蔵施設の貯蔵量は、危険物を満載した状態とする。
- ・離隔距離は、評価上厳しくなるよう危険物貯蔵施設の位置から評価対象施設までの直線距離とする。
- ・火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。
- ・気象条件は無風状態とする。

(ii) 評価対象範囲

評価対象は、発電所敷地外 10km 以内の危険物貯蔵施設及び高圧ガス貯蔵施設とする。

【別添 1(2.2.2.2)】

(iii) 評価対象施設への熱影響

- ・原子炉建屋，原子炉補助建屋，ディーゼル発電機建屋，循環水ポンプ建屋への熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し、危険物貯蔵施設から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離（74m）以上確保し、かつ換気空調設備等による除熱により建屋内の温度上昇を抑制

することにより、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

- ・排気筒への熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し、危険物貯蔵施設から排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（53m）以上確保することにより、排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

- ・原子炉補機冷却海水ポンプへの熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し、危険物貯蔵施設から原子炉補機冷却海水ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離（109m）以上確保することにより、原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.2.2.2)】

(b) ガス爆発の影響

発電所敷地外 10km 以内の高圧ガス貯蔵施設の爆発による直接的な影響を受ける、評価対象施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保により安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.2.2.2)】

(i) 爆発の想定

- ・高圧ガス漏えい、引火によるガス爆発とする。
- ・気象条件は無風状態とする。

(ii) 評価対象範囲

評価対象は、発電所敷地外 10km 以内の高圧ガス貯蔵施設とする。

(iii) 評価対象施設への影響

想定される高圧ガス貯蔵施設のガス爆発による爆風圧の影響に対し、高圧ガス貯蔵施設から発電用原子炉施設までの離隔距離を必要とされる危険限界距離（87m）以上確保することにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.2.2.2)】

また、想定される高圧ガス貯蔵施設のガス爆発による飛来物の影響につ

いては、高圧ガス貯蔵施設から発電用原子炉施設までの離隔距離を、「石油コンビナートの防災アセスメント指針」に基づき算出する容器破損時における破片の最大飛散距離（1,217m）以上確保することにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.2.2.2)】

c. 燃料輸送車両の影響

(a) 火災の影響

発電所敷地外 10km 以内の燃料輸送車両の火災による直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保、建屋による防護により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.2.2.3)】

(i) 火災の想定

- ・最大規模の燃料輸送車両が発電所敷地周辺道路で火災を起こすものとする。
- ・燃料積載量は燃料輸送車両の中で最大規模とする。
- ・燃料輸送車両は燃料を満載した状態を想定する。
- ・輸送燃料はガソリンとする。
- ・発電所敷地周辺道路での燃料輸送車両の全面火災を想定する。
- ・気象条件は無風状態とする。
- ・火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。

(ii) 評価対象範囲

評価対象は、最大規模の燃料輸送車両とする。

【別添 1(2.2.2.3)】

(iii) 評価対象施設への熱影響

- ・原子炉建屋，原子炉補助建屋，ディーゼル発電機建屋，循環水ポンプ建屋への熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し、燃料輸送車両から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離（23m）以上確保し、かつ換気空調設備等による除熱により建屋内の温度上昇を抑制することにより、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

- ・排気筒への熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し、燃料輸送車両から排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（10m）以上確保することにより、排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

- ・原子炉補機冷却海水ポンプへの熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し、燃料輸送車両から原子炉補機冷却海水ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離（21m）以上確保することにより、原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.2.2.3)】

(b) ガス爆発の影響

発電所敷地外 10km 以内の燃料輸送車両の爆発による直接的な影響を受ける、評価対象施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.2.2.3)】

(i) 爆発の想定

- ・最大規模の燃料輸送車両が発電所敷地周辺道路で爆発を起こすものとする。
- ・燃料積載量は燃料輸送車両の中で最大規模とする。
- ・燃料輸送車両は燃料を満載した状態を想定する。
- ・輸送燃料は液化石油ガス（プロパン）とする。
- ・発電所敷地周辺の道路での高圧ガス漏えい、引火によるガス爆発を想定する。
- ・気象条件は無風状態とする。

(ii) 評価対象範囲

評価対象は、最大規模の燃料輸送車両とする。

【別添 1(2.2.2.3)】

(iii) 評価対象施設への影響

想定される燃料輸送車両のガス爆発による爆風圧の影響に対して、発電所敷地周辺道路から発電用原子炉施設までの離隔距離を必要とされる危

陰限界距離（87m）以上確保することにより，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.2.2.3)】

また，想定される燃料輸送車両のガス爆発による飛来物の影響に対して，発電所敷地周辺道路から発電用原子炉施設までの離隔距離を，「石油コンビナートの防災アセスメント指針」に基づき算出する容器破損時における破片の最大飛散距離（1,217m）以上確保することにより，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.2.2.3)】

#### d. 漂流船舶の火災

##### (a) 火災の影響

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し，発電所敷地外で発生する漂流船舶を選定し，船舶の燃料量と評価対象施設との離隔距離を考慮して，輻射強度が最大となる火災を設定し，直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施し，離隔距離の確保，建屋による防護により，評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.2.2.4)】

##### (i) 火災の想定

- ・ 発電所前面の海域には主要航路がなく，30km 以上離れていることから，発電所内の港湾施設に入港可能な最大規模の船舶が火災を起こした場合を想定する。
- ・ 燃料輸送船は，発電所内の港湾施設に入港する船舶の中で燃料の積載量が最大である船舶を想定する。

【別添 1(2.2.2.4)】

- ・ 漂流船舶は燃料を満載した状態を想定する。
- ・ 燃料は重油とする。

追而【基準津波審査の反映】

(下記の破線部分は、基準津波審査結果を受けて反映のため)



- ・ 離隔距離は、評価上厳しくなるよう岸壁位置から評価対象施設までの直線距離とする（第 1.8.10.3 図）。
- ・ 漂流船舶の全面火災を想定する。
- ・ 火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。
- ・ 気象条件は無風状態とする。

(ii) 評価対象範囲

漂流船舶は発電所港湾内に入港する船舶の中で最大規模となる船舶を評価対象とする。

【別添 1(2.2.2.4)】

(iii) 評価対象施設への熱影響

- ・ 原子炉建屋，原子炉補助建屋，ディーゼル発電機建屋，循環水ポンプ建屋への熱影響

想定される漂流船舶の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送船から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離（90m）以上確保し，かつ換気空調設備等による除熱により建屋内の温度上昇を抑制することにより，当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

- ・ 排気筒への熱影響

想定される漂流船舶の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送船から排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（29m）以上確保することにより，排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

- ・ 原子炉補機冷却海水ポンプへの熱影響

想定される漂流船舶の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送船から原子炉補機冷却海水ポンプまでの離隔距離を必要とされる危険距離（80m）以上確保することにより，原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.2.2.4)】

(b) ガス爆発の影響

泊発電所前面の海域には主要航路がなく 30km 以上離れていることから、泊発電所内の港湾施設には液化石油ガス輸送船舶の入港は想定されないため、発電所周辺の海域を航行する燃料輸送船の爆発により評価対象施設の安全機能が損なわれることはない。

e. 発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災・爆発

(a) 火災の影響

発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災による直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保、建屋による防護等により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.2.2.5)】

発電所敷地内に設置している屋外の危険物貯蔵施設等を第1.8.10.3表、第1.8.10.4図及び第1.8.10.5図に示す。

(i) 火災の想定

- ・危険物貯蔵施設等の貯蔵量は、危険物施設として許可された貯蔵容量以下で、管理上定められた上限値とする。
- ・離隔距離は、評価上厳しくなるよう危険物貯蔵施設等の位置から評価対象施設までの直線距離とする。
- ・危険物貯蔵施設等の破損等による防油堤内又は設備本体内での全面火災を想定する。
- ・火災は円筒火炎モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。
- ・気象条件は無風状態とする。
- ・変圧器の防火設備の消火機能等には期待しない。

【別添 1(2.2.2.5)】

(ii) 評価対象範囲

評価対象は、発電所敷地内の屋外に設置する引火等のおそれのある危険物貯蔵施設等のうち、離隔距離や危険物貯蔵量から発電用原子炉施設への熱影響が大きくなると想定される3号炉補助ボイラー燃料タンク、一体型である3号炉主変圧器・所内変圧器とする。

【別添 1(2.2.2.5)】

なお、屋外に設置する危険物貯蔵施設等のうち、屋内設置の設備、地下

設置の設備及び常時「空」で運用する設備に関しては評価対象外とする。

【別添 1(2.2.2.5)】

また、危険物を内包する車両等は、3号炉補助ボイラー燃料タンクに比べ貯蔵量が少なく、3号炉補助ボイラー燃料タンクと発電用原子炉施設の距離に比べ離隔距離が長いことから、評価対象とした3号炉補助ボイラー燃料タンク火災の評価に包絡される。

【別添 1(2.2.2.5)】

(iii) 評価対象施設への熱影響

i) 原子炉建屋，原子炉補助建屋，ディーゼル発電機建屋，循環水ポンプ建屋への熱影響

・ 3号炉補助ボイラー燃料タンク

3号炉補助ボイラー燃料タンクを対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度 ( $2,990\text{W}/\text{m}^2$ ) に対し、ディーゼル発電機建屋に防護手段として設ける耐火性(断熱性)を有した鋼板及び断熱材から構成される障壁により輻射熱を防護したうえで、ディーゼル発電機建屋(垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所)の表面温度をコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である $200^\circ\text{C}$ 以下とし、かつ換気空調設備等による除熱により建屋内の温度上昇を抑制することで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、障壁を設置しない火災源から最短距離の原子炉建屋については、火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度 ( $1,863\text{W}/\text{m}^2$ ) で原子炉建屋外壁が昇温されるものとして算出する建屋(垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所)の表面温度をコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である $200^\circ\text{C}$ 以下とし、かつ換気空調設備等による除熱により建屋内の温度上昇を抑制することで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

・ 3号炉主変圧器・所内変圧器

一体型である3号炉主変圧器・所内変圧器を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度( $414\text{W}/\text{m}^2$ )で原子炉建屋外壁が昇温されるものとして、算出する建屋(垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所)の表面



温度をコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である200℃以下とし、かつ換気空調設備等による除熱により建屋内の温度上昇を抑制することで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

ii) 排気筒への熱影響

・ 3号炉補助ボイラー燃料タンク

3号炉補助ボイラー燃料タンクを対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度（1,863W/m<sup>2</sup>）で鋼材が昇温されるものとして算出する排気筒の表面温度を鋼材の強度が維持される温度である325℃以下とすることで、排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

・ 3号炉主変圧器・所内変圧器

一体型である3号炉主変圧器・所内変圧器を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度（414W/m<sup>2</sup>）で鋼材が昇温されるものとして算出する排気筒の表面温度を鋼材の強度が維持される温度である325℃以下とすることで、排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

iii) 原子炉補機冷却海水ポンプへの熱影響

・ 3号炉補助ボイラー燃料タンク

3号炉補助ボイラー燃料タンクを対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度（690W/m<sup>2</sup>）で原子炉補機冷却海水ポンプの冷却空気が昇温されるものとして算出する冷却空気の温度を、下部軸受の機能維持に必要な温度である80℃以下とすることで、原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

・ 3号炉主変圧器・所内変圧器

一体型である3号炉主変圧器・所内変圧器を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度（276W/m<sup>2</sup>）で原子炉補機冷却海水ポンプの冷却空気が昇温されるものとして算出する冷却空気の温度を、下部軸受の機能維持に必要な温度である80℃以下とすることで、原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.2.2.5)】

(b) ガス爆発の影響

泊発電所敷地内には屋外で爆発する可能性のある設備を設置していないことから、ガス爆発によって評価対象施設の安全機能が損なわれることはない。

(4) 航空機墜落による火災

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、航空機墜落による火災について落下カテゴリごとに選定した航空機を対象に、直接的な影響を受ける、評価対象施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保及び建屋による防護により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、航空機墜落による火災と発電所敷地内の危険物貯蔵施設等による火災の重畳を考慮する設計とする。

【別添 1(2.3)】

a. 対象航空機の選定方法

航空機墜落確率評価においては、過去の日本国内における航空機落下事故の実績をもとに、落下事故を航空機の種類及び飛行形態に応じてカテゴリに分類し、カテゴリごとに墜落確率を求める。

ここで、落下事故の実績がないカテゴリの事故件数は保守的に0.5件として扱う。

また、カテゴリごとの対象航空機の民間航空機と自衛隊機又は米軍機では、訓練中の事故等、その発生状況が必ずしも同一ではなく、自衛隊機又は米軍機の中でも機種によって飛行形態が同一ではないと考えられ、かつ、民間航空機では火災影響は評価対象航空機の燃料積載量に大きく依存すると考えられる。

これらを踏まえて選定した落下事故のカテゴリと対象航空機を第1.8.10.4表に示す。

【別添 1(2.3)】

b. 航空機墜落による火災の想定

- (a) 航空機は、発電所における航空機墜落評価の対象航空機のうち燃料積載量が最大の機種とする。
- (b) 航空機は燃料を満載した状態を想定する。
- (c) 航空機の墜落によって燃料に着火し火災が起こることを想定する。
- (d) 気象条件は無風状態とする。

(e) 火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。

【別添1(2.3)】

c. 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所敷地内であって発電用原子炉施設を中心にして墜落確率が $10^{-7}$ (回/炉・年)以上になる範囲のうち発電用原子炉施設への影響が最も厳しくなる区域に設置する評価対象施設とする。

【別添1(2.3)】

d. 評価対象施設への熱影響

(a) 原子炉建屋、原子炉補助建屋、ディーゼル発電機建屋、循環水ポンプ建屋への熱影響

落下事故のカテゴリごとに選定した航空機を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして算出する各建屋(垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所)の表面温度をコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である $200^{\circ}\text{C}$ 以下とし、かつ換気空調設備等による除熱により建屋内の温度上昇を抑制することで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

各航空機の輻射強度を第1.8.10.4表に示す。

(b) 排気筒への熱影響

落下事故のカテゴリごとに選定した航空機を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で鋼材が昇温されるものとして算出する排気筒の温度を、鋼材の強度が維持される温度である $325^{\circ}\text{C}$ 以下とすることで、排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

(c) 原子炉補機冷却海水ポンプへの熱影響

落下事故のカテゴリごとに選定した航空機を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で昇温されるものとして算出する原子炉補機冷却海水ポンプへの冷却空気の温度を、下部軸受の機能維持に必要な温度である $80^{\circ}\text{C}$ 以下とすることで、原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.3)】

e. 航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災の重畳評価

航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災による重畳評価を実施した。重畳火災は、厳しい結果となるように航空機墜落火災は B747-400、危険物貯蔵施設の火災は 3 号炉補助ボイラー燃料タンクを選定し、組み合わせた火災を想定して評価している。

(a) 原子炉建屋，原子炉補助建屋，ディーゼル発電機建屋，循環水ポンプ建屋への熱影響

B747-400の墜落火災と 3 号炉補助ボイラー燃料タンクの重畳火災が発生した場合を想定し、火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度に対し、ディーゼル発電機建屋に防護手段として設ける耐火性（断熱性）を有した鋼板及び断熱材から構成される障壁により輻射熱を防護したうえで、ディーゼル発電機建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である200℃以下とし、かつ換気空調設備等による除熱により建屋内の温度上昇を抑制することで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、障壁を設けない火災源から最短距離の原子炉建屋については、火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉建屋外壁が昇温されるものとして算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度である200℃以下とし、かつ換気空調設備等による除熱により建屋内の温度上昇を抑制することで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(b) 排気筒への熱影響

B747-400 の墜落火災と 3 号炉補助ボイラー燃料タンクの重畳火災が発生した場合を想定し、火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で鋼材が昇温されるものとして算出する排気筒の表面温度を鋼材の強度が維持される温度である 325℃以下とすることで、排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

(c) 原子炉補機冷却海水ポンプへの熱影響

B747-400 の墜落火災と 3 号炉補助ボイラー燃料タンクの重畳火災が発生した場合を想定し、火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で昇温されるものとして算出する原子炉補機冷却海水ポンプへの冷却空気の温度を、下部軸受の機能維持に必要な温度である 80℃以下とす

ることで、原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.3)】

(5) 二次的影響（ばい煙等）

外部火災による二次的影響として、ばい煙等による影響を抽出し、外気を取り込む評価対象施設を抽出した上で、第1.8.10.5表の分類のとおり評価を行い、必要な場合は対策を実施することで評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.4)】

a. 換気空調設備

外気を取り込む換気空調設備として、安全補機開閉器室、中央制御室、原子炉補助建屋、格納容器、試料採取室、制御用空気圧縮機室、ディーゼル発電機室、電動補助給水ポンプ室、タービン動補助給水ポンプ室、主蒸気配管室の換気空調装置がある。

これらの外気取入口には、フィルタを設置することにより、ばい煙が外気取入口に到達した場合であっても、粒径 $5\mu\text{m}$ 以上の粒径のばい煙粒子については、フィルタにより侵入しにくい設計とすることにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

なお、外気取入ダンパが設置されており閉回路循環運転への切替えが可能である中央制御室空調装置については、外気取入ダンパを閉止し、閉回路循環運転への切替えを行うことにより評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、それ以外の換気空調装置については、空調ファンを停止し、外気取入れを遮断することで評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.4)】

b. 安全保護系

安全保護系計装盤を設置している部屋は、安全補機開閉器室空調装置にて空調管理しており、本空調装置の外気取入口には、フィルタを設置することにより、粒径 $5\mu\text{m}$ 以上のばい煙粒子が侵入しにくい設計とする。これに加えて下流側にさらに細かな粒子を捕獲可能な粗フィルタを設置することにより、粒径 $2\mu\text{m}$ 以上のばい煙粒子が侵入しにくい設計とする。

フィルタにより侵入を阻止できなかったばい煙が侵入する可能性がある場合においても、空調ファンを停止すること等でばい煙の侵入を阻止することが可能である。

また、安全保護系計装盤は粒径  $2\ \mu\text{m}$  以下のばい煙粒子に対し、短絡が生じないようにすることにより、安全保護系の安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.4)】

c. ディーゼル発電機

ディーゼル発電機の吸気系統の吸気消音器に付属するフィルタを設置し、粒径  $120\ \mu\text{m}$  以上のばい煙粒子が侵入しにくい設計とする。フィルタを通過したばい煙粒子（数  $\mu\text{m}$ ～ $10\ \mu\text{m}$  程度）が過給機、空気冷却器に侵入するものの、機器の間隙は、ばい煙粒子に比べて十分大きく閉塞に至ることを防止することでディーゼル発電機の安全機能を損なわない設計とする。

また、ディーゼル発電機は建屋外部に開口部（排気口）を有しているが、排気によりばい煙を掃気することでディーゼル発電機の安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.4)】

d. 原子炉補機冷却海水ポンプ

原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機は、空気冷却器を電動機側面に設置して内部通風の熱交換により冷却する構造であり、外気を直接電動機の内部に取り込まない全閉構造であることから、ばい煙粒子が電動機内部に侵入することはない。

また、ばい煙粒子の粒径は、空気冷却器冷却管の内径に比べて十分に小さく、閉塞を防止することにより原子炉補機冷却海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.4)】

e. 主蒸気逃がし弁、排気筒、主蒸気安全弁、タービン動補助給水ポンプ排気管

主蒸気逃がし弁は、建屋外部に排気管を有する設備であるが、ばい煙が排気管内に侵入した場合でも、主蒸気逃がし弁の吹出力が十分大きいため、微小なばい煙粒子は吹き出されることにより主蒸気逃がし弁の安全機能を損なわない設計とする。

また、排気筒、主蒸気安全弁及びタービン動補助給水ポンプ排気管については、主蒸気逃がし弁と同様に、建屋外部の配管にばい煙が侵入した場合でも、その動作時には侵入したばい煙は吹き出されることにより排気筒及び主蒸気安全弁の安全機能を損なわない設計とする。

【別添 1(2.4)】

f. 制御用空気圧縮機

制御用空気圧縮機を設置している部屋は、制御用空気圧縮機室空調装置にて空調管理しており、本空調装置の外気取入口にはフィルタを設置することにより、主として粒径 $5\mu\text{m}$ 以上のばい煙粒子の侵入を防止している。

このフィルタの設置により、極めて細かな粒子のばい煙が侵入した場合においても、ばい煙の付着により機器内の損傷を可能な限り低減することにより制御用空気圧縮機の安全機能を損なうことのない設計とする。

【別添1(2.4)】

g. 火災時の有毒ガスの発生に伴う居住空間への影響評価

有毒ガスの発生については、中央制御室換気空調装置における外気取入遮断時の室内に滞在する人員の環境劣化防止のため、酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響評価を実施することにより、居住空間へ影響を及ぼさない設計とする。

なお、外気取入ダンパが設置されており閉回路循環運転への切替えが可能である中央制御室換気空調装置については、外気取入ダンパを閉止し、閉回路循環運転への切替えを行う。

また、それ以外の換気空調装置については、空調ファンを停止し、外気取入れを遮断する。

【別添1(2.4)】

1.8.10.2 体制

火災発生時の発電用原子炉施設の保全のための活動を行うため、連絡者、消火担当等が常駐するとともに、所員により編成する自衛消防組織を設置する。

自衛消防組織のための要員を、第1.8.10.6表に示す。

1.8.10.3 手順等

外部火災における手順については、火災発生時の対応、防火帯の維持・管理並びにばい煙及び有毒ガス発生時の対応を適切に実施するための対策を火災防護計画に定める。

- (1) 防火帯の維持・管理においては、定期的な点検等の方法を火災防護計画に定め、実施する。
- (2) 予防散水においては、手順を整備し、予防散水エリアごとに使用水源箇所を定め、消火栓及び消防自動車を使用し、現場指揮者の指揮のもと自衛消防隊が実施する。なお、万一、防火帯の内側に飛び火した場合は、自衛消防隊の活動を予防散水から防火帯内火災の初期消火活動に切り替え、消防自動車を使用し、

継続して現場指揮者の指揮のもと初期消火活動・延焼防止活動を行う。

- (3) 外部火災によるばい煙発生時には、外気取入口に設置しているフィルタの交換、外気取入ダンパの閉止、換気空調設備の停止、又は、閉回路循環運転への切替えにより、建屋内へのばい煙の侵入を阻止する。
- (4) 外部火災による有毒ガス発生時には、外気取入ダンパの閉止、換気空調設備の停止又は閉回路循環運転への切替えにより、建屋内への有毒ガスの侵入を阻止する。
- (5) 障壁の防護機能を維持するため、適切に保守管理を実施するとともに、必要に応じ補修を行う。
- (6) 外部火災による中央制御室へのばい煙等の侵入阻止に係る教育を定期的実施する。
- (7) 森林火災から評価対象施設を防護するための防火帯の点検等に係る火災防護に関する教育を定期的実施する。
- (8) 近隣の産業施設の火災・爆発から評価対象施設を防護するために、離隔距離を確保すること等の火災防護に関する教育を定期的実施する。
- (9) 外部火災発生時の予防散水に必要な消火対応力を維持するため、自衛消防隊を対象とした教育・訓練を定期的実施する。
- (10) モニタリングポスト及びモニタリングステーションが外部火災の影響を受けた場合は、代替設備を防火帯内側に設置する運用とし、手順を定め、訓練を定期的実施する。
- (11) 3号炉油計量タンクは常時空運用とし、3号炉補助ボイラー燃料タンクは貯蔵量の管理上限を定めるとともに、当該貯蔵量を上回らないよう管理する。

【別添2(1～3)】



第 1.8.10.1 表 外部火災にて想定する火災

火災種別	考慮すべき火災
森林火災	発電所敷地外 10km 以内に発火点を設定した発電所に迫る火災
近隣の産業施設の火災・爆発	発電所敷地外 10km 以内に存在する石油コンビナート等の火災・爆発
	発電所敷地内に存在する危険物貯蔵施設等の火災
航空機墜落による火災	発電所敷地内への航空機墜落時の火災

【別添 1 (1~2)】

第 1.8.10.2 表 評価対象施設

防護対象	評価対象施設
外部事象防護対象施設等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉建屋</li> <li>・原子炉補助建屋</li> <li>・ディーゼル発電機建屋</li> <li>・循環水ポンプ建屋<sup>※1</sup></li> <li>・タービン建屋</li> <li>・排気筒</li> </ul>
外部火災の二次的影響を受ける構築物、系統及び機器	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ディーゼル発電機</li> <li>・換気空調設備</li> <li>・安全保護系</li> <li>・原子炉補機冷却海水ポンプ</li> <li>・主蒸気逃がし弁、排気筒、主蒸気安全弁、タービン動補助給水ポンプ排気管</li> <li>・制御用空気圧縮機</li> </ul>

※1 原子炉補機冷却海水ポンプ及び原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナについては、循環水ポンプ建屋に収納されており、直接火災の影響を受けることはないが、周囲空気の温度上昇により、冷却機能への影響が懸念されることから、原子炉補機冷却海水ポンプが取り込む冷却空気及び原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナを評価対象とする。

【別添 1(1~3)】

第1.8.10.3表 発電所敷地内に設置している屋外の危険物貯蔵施設等の一覧 (1/4)

号炉	施設名	製造所の別	危険物		数量	詳細評価要否	
			類	品名			
1号炉	ディーゼル発電機 燃料油貯油そう	地下タンク 貯蔵所	4	第2石油類	軽油	461.6 kL	× (地下設置)
2号炉	ディーゼル発電機 燃料油貯油そう	地下タンク 貯蔵所	4	第2石油類	軽油	461.6 kL	× (地下設置)
3号炉	ディーゼル発電機 燃料油貯油そう(A側)	地下タンク 貯蔵所	4	第2石油類	軽油	295.88 kL	× (地下設置)
3号炉	ディーゼル発電機 燃料油貯油そう(B側)	地下タンク 貯蔵所	4	第2石油類	軽油	295.8 kL	× (地下設置)
1,2号炉	補助ボイラー燃料タンク	屋外タンク 貯蔵所	4	第3石油類	A重油	600 kL	× (他評価に包絡)
3号炉	補助ボイラー燃料タンク	屋外タンク 貯蔵所	4	第3石油類	A重油	720 kL	○ (管理値で評価)
1号炉	油計量タンク	屋外タンク 貯蔵所	4	第4石油類	潤滑油	70 kL	× (他評価に包絡)
3号炉	油計量タンク	屋外タンク 貯蔵所	4	第4石油類	潤滑油	110 kL	× (「空」運用)
1号炉	ディーゼル発電設備 燃料油・潤滑油装置	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	58.9 kL 14.6 kL	× (屋内設置)
2号炉	ディーゼル発電設備 燃料油・潤滑油装置	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	58.9 kL 14.6 kL	× (屋内設置)
3号炉	ディーゼル発電設備 燃料油・潤滑油装置	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	75.3 kL 12 kL	× (屋内設置)
1号炉	タービン潤滑油装置	一般取扱所	4	第4石油類	潤滑油	73 kL	× (屋内設置)
2号炉	タービン潤滑油装置	一般取扱所	4	第4石油類	潤滑油	73 kL	× (屋内設置)
3号炉	タービン潤滑油装置	一般取扱所	4	第4石油類	潤滑油	110 kL	× (屋内設置)
1,2号炉	補助ボイラー燃料油装置	一般取扱所	4	第3石油類	A重油	96 kL	× (屋内設置)
3号炉	補助ボイラー燃料油装置	一般取扱所	4	第3石油類	A重油	114.6 kL	× (屋内設置)
1,2号炉	油倉庫	屋内貯蔵所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	4 kL 24 kL	× (屋内設置)
3号炉	油庫	屋内貯蔵所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	4 kL 25.02 kL	× (屋内設置)
共用	第2危険物倉庫	屋内貯蔵所	4	第1石油類 第2石油類 第3石油類	シンナー 塗料 塗料	0.6 kL 1.0 kL 2.0 kL	× (屋内設置)
1号炉	代替非常用発電機 (1A)	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	7.392 kL 0.144 kL	× (他評価に包絡)
1号炉	代替非常用発電機 (1B)	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	7.392 kL 0.144 kL	× (他評価に包絡)
2号炉	代替非常用発電機 (2A)	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	7.392 kL 0.144 kL	× (他評価に包絡)
2号炉	代替非常用発電機 (2B)	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	7.392 kL 0.144 kL	× (他評価に包絡)
3号炉	代替非常用発電機 (3A)	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	7.392 kL 0.144 kL	× (他評価に包絡)
3号炉	代替非常用発電機 (3B)	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	7.392 kL 0.144 kL	× (他評価に包絡)

第 1.8.10.3 表 発電所敷地内に設置している屋外の危険物貯蔵施設等の一覧 (2/4)

号炉	施設名	製造所の別	危険物			数量	詳細評価要否
			類	品名			
共用	可搬型代替電源車 (1号車)	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (他評価に包絡)
共用	可搬型代替電源車 (2号車)	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (他評価に包絡)
共用	可搬型代替電源車 (3号車)	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (他評価に包絡)
共用	可搬型代替電源車 (4号車)	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (他評価に包絡)
共用	可搬型代替電源車 (5号車)	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (他評価に包絡)
共用	可搬型代替電源車 (6号車)	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (他評価に包絡)
共用	可搬型代替電源車 (7号車)	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (他評価に包絡)
共用	可搬型代替電源車 (8号車)	一般取扱所	4	第2石油類 第4石油類	軽油 潤滑油	8.88 kL 0.1 kL	× (他評価に包絡)
共用	タンクローリー	移動式タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	3.86 kL	× (「空」運用)
共用	タンクローリー	移動式タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	3.86 kL	× (「空」運用)
共用	タンクローリー	移動式タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	3.86 kL	× (「空」運用)
共用	タンクローリー	移動式タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	3.86 kL	× (「空」運用)

第 1.8.10.3 表 発電所敷地内に設置している屋外の危険物貯蔵施設等の一覧 (3/4)

号炉	施設名	危険物		数量	詳細評価要否
		類	品名		
1, 2 号炉	給排水処理建屋	4	第 2 石油類 軽油	490 L	× (屋内設置)
3 号炉	給排水処理建屋	4	第 2 石油類 軽油	490 L	× (屋内設置)
1, 2 号炉	循環水ポンプ建屋	4	第 3 石油類 潤滑油	1, 600 L	× (屋内設置)
3 号炉	循環水ポンプ建屋	4	第 4 石油類 潤滑油	1. 310 L	× (屋内設置)
1 号炉	原子炉建屋	4	第 3 石油類 潤滑油	1, 500 L	× (屋内設置)
2 号炉	原子炉建屋	4	第 3 石油類 潤滑油	1, 500 L	× (屋内設置)
3 号炉	原子炉建屋	4	第 4 石油類 潤滑油	1, 500 L	× (屋内設置)
共用	指揮所用発電機	4	第 2 石油類 軽油	490 L	× (他評価に包絡)
共用	待機所用発電機	4	第 2 石油類 軽油	490 L	× (他評価に包絡)
共用	高圧送水ポンプ車(HS900)	4	第 2 石油類 軽油	990 L	× (他評価に包絡)
共用	高圧送水ポンプ車(HS900)	4	第 2 石油類 軽油	990 L	× (他評価に包絡)
共用	高圧送水ポンプ車(HS1200)	4	第 2 石油類 軽油	990 L	× (他評価に包絡)
共用	可搬型直流電源用発電機 1	4	第 2 石油類 軽油	250 L	× (他評価に包絡)
共用	可搬型直流電源用発電機 2	4	第 2 石油類 軽油	250 L	× (他評価に包絡)
共用	可搬型直流電源用発電機 3	4	第 2 石油類 軽油	250 L	× (他評価に包絡)
共用	可搬型直流電源用発電機 4	4	第 2 石油類 軽油	250 L	× (他評価に包絡)
共用	可搬型直流電源用発電機 5	4	第 2 石油類 軽油	250 L	× (他評価に包絡)
共用	可搬型直流電源用発電機 6	4	第 2 石油類 軽油	250 L	× (他評価に包絡)
共用	可搬型直流電源用発電機 7	4	第 2 石油類 軽油	250 L	× (他評価に包絡)
共用	可搬型直流電源用発電機 8	4	第 2 石油類 軽油	250 L	× (他評価に包絡)

第 1.8.10.3 表 発電所敷地内に設置している屋外の危険物貯蔵施設等の一覧 (4/4)

号炉	施設名	危険物の種類	数量	詳細評価要否
1号炉	主変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	86 kL	× (他評価に包絡)
1号炉	起動変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	30.3 kL	× (他評価に包絡)
1号炉	所内変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	22.0 kL	× (他評価に包絡)
2号炉	主変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	77.0 kL	× (他評価に包絡)
2号炉	起動変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	30.3 kL	× (他評価に包絡)
2号炉	所内変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	22.0 kL	× (他評価に包絡)
1,2号炉	予備変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	15.9 kL	× (他評価に包絡)
3号炉	主変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	107.8 kL	○
	所内変圧器			
3号炉	予備変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	31.8 kL	× (他評価に包絡)
1号炉	発電機ガスボンベ貯蔵庫	水素ガス (ボンベ)	945 m <sup>3</sup>	× (屋内設置)
2号炉	発電機ガスボンベ貯蔵庫	水素ガス (ボンベ)	945 m <sup>3</sup>	× (屋内設置)
3号炉	発電機ガスボンベ貯蔵庫	水素ガス (ボンベ)	1,120 m <sup>3</sup>	× (屋内設置)
1,2号炉	1次系水素ボンベ室	水素ガス (ボンベ)	420 m <sup>3</sup>	× (屋内設置)
3号炉	1次系水素ボンベ室	水素ガス (ボンベ)	280 m <sup>3</sup>	× (屋内設置)
共用	放射性廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫	プロパンガス	2,000 kg	× (屋内設置)
1,2号炉	補助ボイラー建屋	プロパンガス	180 kg	× (屋内設置)
3号炉	補助ボイラー建屋	プロパンガス	120 kg	× (屋内設置)

【別添 1(2.2.2.5)】

第 1.8.10.4 表 落下事故のカテゴリと対象航空機

落下事故のカテゴリ		対象航空機	離隔距離[m]	輻射強度 [W/m <sup>2</sup> ]	
有視界飛行方式民間航空機	大型固定翼機 (固定翼機, 回転翼機)	B747-400	140	1, 150	
	小型固定翼機 (固定翼機, 回転翼機)	Do228-200	76	—※ <sup>1</sup>	
自衛隊機又は米軍機	訓練空域内で訓練中	その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機	F-15	39	1, 102
	訓練空域外を飛行中	空中給油機等, 高高度での巡行が想定される大型固定翼機	KC-767	263	—※ <sup>2</sup>
		その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機	F-15	109	—※ <sup>3</sup>

※1：燃料積載量が多く、離隔距離が短い「自衛隊機又は米軍機 訓練空域内で訓練中 その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機」の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※2：燃料積載量が多く、離隔距離が短い「有視界飛行方式民間航空機 大型固定翼機」の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※3：対象航空機が同一で、離隔距離が短い「自衛隊機又は米軍機 訓練空域内で訓練中 その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機」の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。

【別添 1(2.3)】

第 1.8.10.5 表 ばい煙等による影響評価

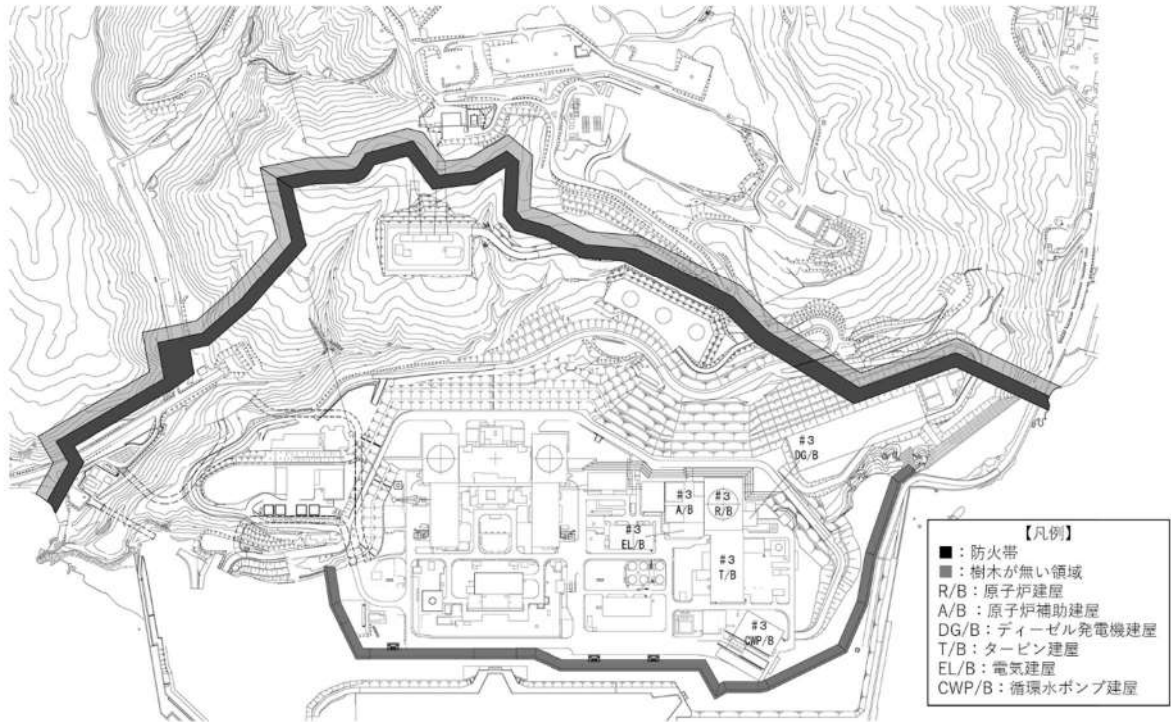
分類		影響評価設備
機器への影響	外気を取り込む設備	原子炉補機冷却海水ポンプ
	換気空調設備で給気されるエリアの設置機器	ディーゼル発電機
		安全保護系
		制御用空気圧縮機
建屋外部に開口部を有する設備	主蒸気逃し弁，排気筒，主蒸気安全弁，タービン動補助給水ポンプ 排気管	
居住性への影響		中央制御室

【別添 1(2.4)】

第 1.8.10.6 表 自衛消防隊編成

構成員	役割												
自衛消防隊長 ：技術系担当次長 (統括管理者)	○自衛消防隊全体を指揮・統括する。 ○公設消防隊との活動方針を統括する。												
自衛消防隊長 ：運営課長	○自衛消防隊不在時の任務を代行												
本部指揮班	○自衛消防隊各班を指揮 ○各班からの通報・連絡を受けると共に、情報を収集し自衛消防隊長の判断を補佐 ○公設消防との連携(鎮火等、火災状況)を図る。												
消火班	○火災発生現場へ向かい、火災状況等を把握する。 ○火災発生現場で消火器、消火栓等により迅速な消火活動を実施し、延焼拡大防止を図る。												
初期消火要員	初期消火要員のうち、連絡者、通報者を除く以下の9名は消火班の指揮下となる。 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">構成員</th> <th>活動内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>現場指揮者 (1名)</td> <td>・火災発生現場へのアクセスルートを判断し、初期消火要員とともに消防自動車に乗車・出動 ・火災発生現場到着後、火災状況に応じた消火体制を整え、初期消火活動(放水等)を指示</td> </tr> <tr> <td>消火担当 (3名)</td> <td>・現場指揮者の指示に従い、消防用ホース筒先を用いて消火に当たる</td> </tr> <tr> <td>消防車操作担当(2名)</td> <td>・現場指揮者の指示を受け、機関員として、消防自動車による消火に必要な操作を行う ・泡消火薬剤を化学消防自動車へ補給</td> </tr> <tr> <td>消火補助担当(2名)</td> <td>・泡消火薬剤を運搬車で火災発生現場へ補給 ・化学消防自動車への泡消火薬剤補給の補助及び伝令補助 ・現場指揮者の指示を受け、消火栓のバルブの開閉</td> </tr> <tr> <td>案内誘導担当(1名)</td> <td>・公設消防が入構するゲートに待機し、公設消防隊を火災発生現場近傍へ誘導</td> </tr> </tbody> </table>	構成員	活動内容	現場指揮者 (1名)	・火災発生現場へのアクセスルートを判断し、初期消火要員とともに消防自動車に乗車・出動 ・火災発生現場到着後、火災状況に応じた消火体制を整え、初期消火活動(放水等)を指示	消火担当 (3名)	・現場指揮者の指示に従い、消防用ホース筒先を用いて消火に当たる	消防車操作担当(2名)	・現場指揮者の指示を受け、機関員として、消防自動車による消火に必要な操作を行う ・泡消火薬剤を化学消防自動車へ補給	消火補助担当(2名)	・泡消火薬剤を運搬車で火災発生現場へ補給 ・化学消防自動車への泡消火薬剤補給の補助及び伝令補助 ・現場指揮者の指示を受け、消火栓のバルブの開閉	案内誘導担当(1名)	・公設消防が入構するゲートに待機し、公設消防隊を火災発生現場近傍へ誘導
構成員	活動内容												
現場指揮者 (1名)	・火災発生現場へのアクセスルートを判断し、初期消火要員とともに消防自動車に乗車・出動 ・火災発生現場到着後、火災状況に応じた消火体制を整え、初期消火活動(放水等)を指示												
消火担当 (3名)	・現場指揮者の指示に従い、消防用ホース筒先を用いて消火に当たる												
消防車操作担当(2名)	・現場指揮者の指示を受け、機関員として、消防自動車による消火に必要な操作を行う ・泡消火薬剤を化学消防自動車へ補給												
消火補助担当(2名)	・泡消火薬剤を運搬車で火災発生現場へ補給 ・化学消防自動車への泡消火薬剤補給の補助及び伝令補助 ・現場指揮者の指示を受け、消火栓のバルブの開閉												
案内誘導担当(1名)	・公設消防が入構するゲートに待機し、公設消防隊を火災発生現場近傍へ誘導												
業務支援班 (避難誘導担当)	○総合管理事務所の各フロアの避難者を避難場所へ誘導 ○被災者が発生した場合、被災者の状態を確認し、火災による影響の少ない安全な場所へ搬出し、救護班長へ連絡する												
業務支援班 (救護担当)	○応急処置の準備とともに、被災者の救護活動及び公設消防救急隊との連携												
放管班 (管理区域の場合)	○火災発生現場の線量当量率、汚染レベルの測定 ○自衛消防隊員及び公設消防隊員の被ばく管理及び助言 ○自衛消防隊員、公設消防隊員を火災発生現場まで誘導 ○管理区域内入退域・物品搬出入手続き及び管理 ○自衛消防隊員及び公設消防隊員への除染措置												





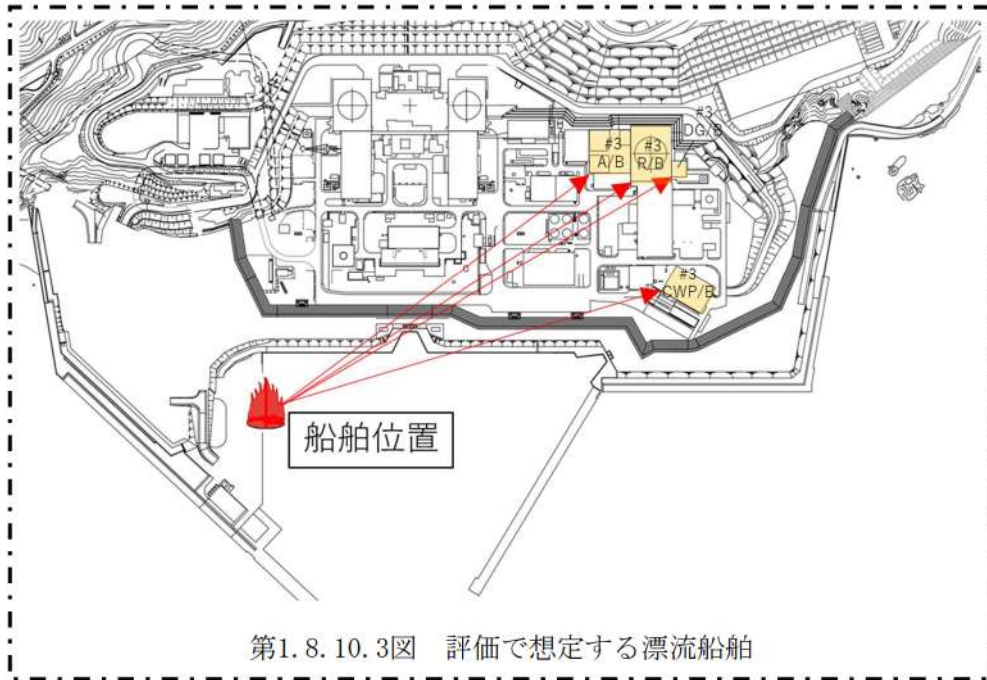
第1.8.10.1図 防火帯配置図

【別添1(1~3)】



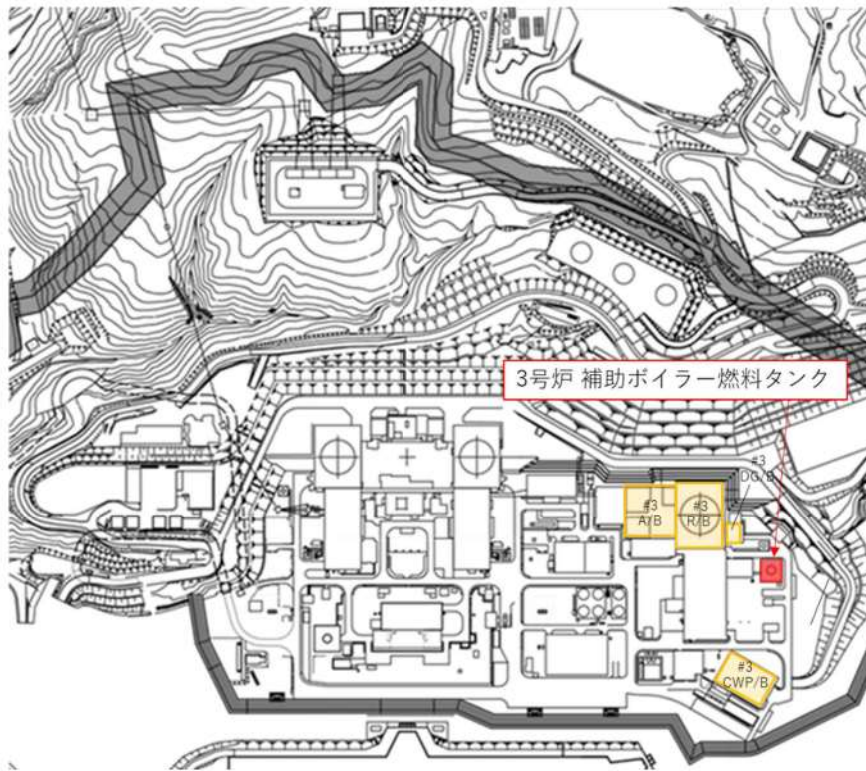
第1.8.10.2図 発電所周辺に位置する危険物貯蔵施設等

【別添1(2.2.2.2)】

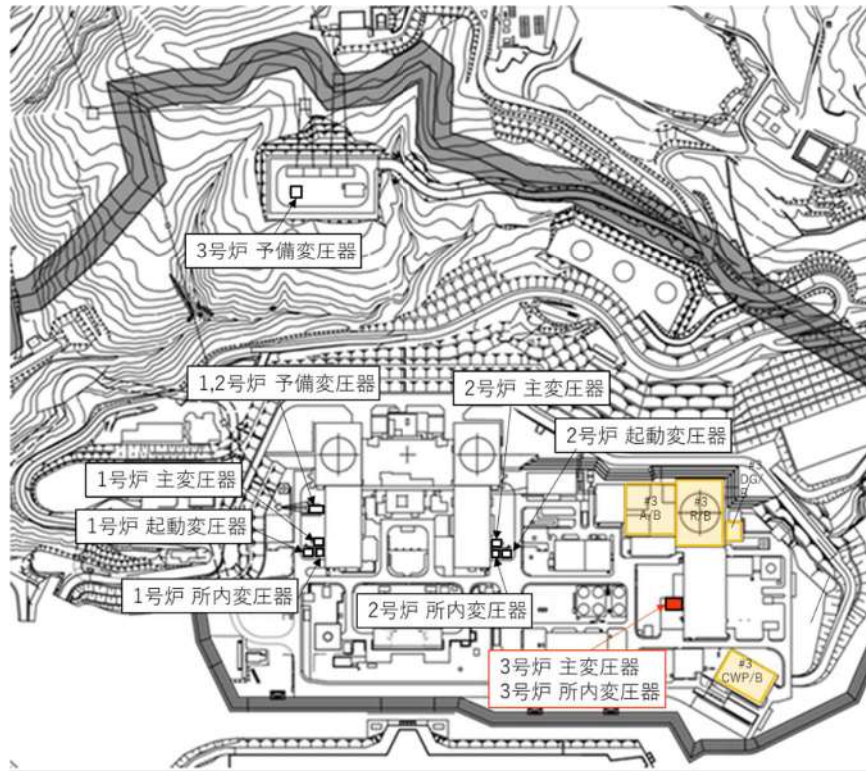


第1.8.10.3図 評価で想定する漂流船舶

追而【基準津波審査の反映】  
 (上記の破線部分は、基準津波審査結果を受けて反映のため)



第1.8.10.4図 危険物貯蔵施設等配置図 (危険物タンク)



第1.8.10.5図 危険物貯蔵施設等配置図 (変圧器)

### (3) 適合性説明

(外部からの衝撃による損傷の防止)

第六条 安全施設（兼用キャスクを除く。）は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。

3 安全施設（兼用キャスクを除く。）は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。以下「人為による事象」という。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

### 適合のための設計方針

#### 第1項について

発電所敷地で想定される自然現象（地震及び津波を除く。）については、敷地及び敷地周辺の自然環境を基に洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災及び高潮を選定し、設計基準を設定するに当たっては、発電所の立地地域である泊村に対する規格・基準類による設定値及び発電所の最寄りの気象官署である「寿都特別地域気象観測所」で観測された過去の記録並びに「小樽特別地域気象観測所」で観測された過去の記録をもとに設定する。また、これらの自然現象ごとに関連して発生する可能性がある自然現象も含める。

安全施設は、発電所敷地で想定される自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。

ここで、発電所敷地で想定される自然現象に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

また、発電所敷地で想定される自然現象又はその組合せに遭遇した場合において、自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として安全施設で生じ得る環境条件を考慮する。

発電用原子炉施設のうち安全施設は、以下のとおり条件を設定し、自然現象によって発電用原子炉施設の安全機能を損なわない設計とする。

#### (11) 森林火災

敷地外の森林から出火し、敷地内の植生へ延焼するおそれがある場合は、自衛消防隊が出動し、予防散水等の延焼防止措置を行う。また、敷地内の植生へ延焼した場合であっても、森林火災シミュレーション（FARSITE）による影響評価に基づいた防火帯幅を確保すること等により、安全施設が安全機能を損なわれることはない。

また、上記以外の安全施設については、建屋による防護、消火活動、代替設備による必要な機能の確保又はそれらを適切に組み合わせることにより、安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.1)】

森林火災に伴うばい煙等発生時の二次的影響に対して、外気を直接設備内に取り込む機器、外気を取り込む空調設備、屋外設置機器に分類し、影響評価を行い、必要な場合は対策を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.4)】

### 第3項について

発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）は、発電所及びその周辺での発生の可能性、安全施設への影響度、発電所敷地及びその周辺に到達するまでの時間余裕及び影響の包絡性の観点から、発電用原子炉施設に影響を与えるおそれがある事象として、飛来物（航空機落下）、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突及び電磁的障害を選定する。

安全施設は、発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

ここで、発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

### (3) 爆発

発電所敷地外10km以内の範囲において、爆発により安全施設に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、爆発による安全施設への影響については考慮する必要はない。

発電所敷地外10km以内の危険物貯蔵施設又は発電所敷地周辺道路の燃料輸送車両から爆発が発生する場合を想定しても、離隔距離の確保により、安全機能を損なわない設計とする。

発電所前面の海域には主要航路がなく、発電所から主要航路まで30km以上離れていることから、発電所内の港湾施設には液化石油ガス輸送船舶の入港は想定されないため、発電所周辺の海域を航行する燃料輸送船の爆発により評価対象施設の安全機能が損なわれることはない。

また、上記以外の安全施設については、離隔距離の確保、代替設備による必要な機能の確保又はそれらを適切に組み合わせることにより、安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.2)】

#### (4) 近隣工場等の火災

##### a. 石油コンビナート施設等の火災

発電所敷地外10km以内の範囲において、火災により評価対象施設に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、火災による安全施設への影響については考慮する必要はない。

発電所敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート施設以外の危険物貯蔵施設又は発電所敷地周辺道路の燃料輸送車両から火災が発生する場合を想定しても、離隔距離の確保等により、安全機能を損なわない設計とする。

発電所港湾内の船舶で火災が発生する場合を想定しても、離隔距離の確保等により、安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.2)】

##### b. 発電所敷地内に存在する危険物貯蔵施設等の火災

発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災発生時の輻射熱による評価対象施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.2.2.5)】

##### c. 航空機墜落による火災

原子炉建屋周辺に航空機が墜落し、燃料火災が発生した場合、直ちに公設消防へ通報するとともに、自衛消防隊が出動し、速やかに初期消火活動を行う。

航空機が外部事象防護対象施設等である原子炉建屋等の周辺で墜落確率が $10^{-7}$ 回/炉・年以上になる地点へ墜落することを想定しても、火災の影響により安全機能を損なわない設計とする。

また、上記以外の安全施設については、建屋による防護、消火活動、代替設備による必要な機能の確保又はそれらを適切に組み合わせることにより、安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.3)】

##### d. 二次的影響（ばい煙等）

石油コンビナート施設の火災、発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災及び航空機墜落による火災に伴うばい煙等発生時の二次的影響に対して、外気を直接設備内に取り込む機器、外気を取り込む空調設備及び屋外設置機器に分類し、影響評価を行い、必要な場合は対策を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

【別添1(2.4)】

1. 3 気象等

2. 気象

2. 2 最寄りの気象官署の資料による一般気象

2. 2. 4 その他の資料による一般気象

(1) 森林火災

森林火災検討に係る泊発電所の気象観測設備の気象データ（最高気温，最大風速，最大風速記録時の風向，最小湿度）（2003～2012 年）及び発電所の位置する北海道の「林野火災被害統計書」（1993～2012 年）について，第 2. 2. 20 表に示す。

また，森林火災発生件数の多い 4 月～6 月における泊発電所の気象観測設備の気象データ（卓越風向）について，第 2. 2. 21 表に示す。

第 2. 2. 20 表 気象データ（気温，風速，風向及び湿度）（2003～2012 年）  
及び北海道の森林火災発生状況（1993～2012 年）

月	泊発電所（観測期間：2003～2012 年）					北海道 1993-2012 年 月別 火災発生 頻度 <sup>注1</sup>
	気温 (°C)	風速(m/s)		最多 風向	湿度 (%)	
	最高 気温	最大 風速	最大風速 記録時の 風向		最小 湿度	
4 月	22.6	29.7	西	東	13	227
5 月	24.7	29.2	東	東	14	231
6 月	30.0	24.4	東南東	東	18	57

注 1：「林野火災被害統計書（平成 24 年度版）北海道水産林務部」

第2.2.21表 気象データ（卓越風向）注1

風向	風向出現回数（時間単位）			計
	4月	5月	6月	
北	401	536	524	1461
北北東	371	443	299	1113
北東	699	753	591	2043
東北東	1753	1512	1431	4696
東	4058	4392	4389	12839
東南東	2251	2580	2174	7005
南東	1063	1072	767	2902
南南東	539	566	384	1489
南	375	361	256	992
南南西	203	156	136	495
南西	274	267	246	787
西南西	1003	777	560	2340
西	2775	2039	1686	6500
西北西	2866	2733	2990	8589
北西	2134	2743	3446	8323
北北西	781	1319	1660	3760

注1：泊発電所 観測記録（2003～2012年）

## 6. 社会環境

### 6.3 産業活動

泊村とその周辺の神恵内村、共和町及び岩内町（以下泊村を含め「周辺町村」という。）の総面積<sup>(3)</sup>は、約606km<sup>2</sup>で、そのうち70%程度が山林であり、8%程度が原野である。

平成7年の国勢調査<sup>(1)</sup>によると、周辺町村の就業者数は約14,600人であってそのうち農林水産業就業者が約15%、鉱業、建築業及び製造業就業者が約32%、残り約53%が卸売・小売業、飲食店、サービス業等に従事している。

各町村の産業別就業者数を第6.3.1表に示す。

主たる農作物<sup>(6)</sup>は牧草であり、次いで春植えばれいしょ、米となっている。

海産物<sup>(8)</sup>としては、ほっけ、するめいか、さけが最も多く水揚げされている。なお、発電所周辺の海域は、泊村、盃、神恵内村及び岩内郡漁業協同組合の漁場となっている。

主な工業<sup>(4)</sup>は、食料品製造業、窯業、出版等である。

周辺町村の主要農作物の収穫量（平成8、9年）<sup>(5)(6)</sup>及び飼育家畜頭数、戸数（平成8、9年）<sup>(5)(6)</sup>並びに漁業地区別の漁獲量（平成7、8年）<sup>(7)(8)</sup>を第6.3.2表、第6.3.3表及び第6.3.4表に示す。

また、発電所周辺の土地利用状況を第6.3.1図に示す。



発電所の近くには、爆発、火災及び有毒ガスにより発電用原子炉施設の安全性を損なうような石油コンビナート等の施設はない。したがって、産業活動に伴う爆発、火災及び有毒ガスによって、安全施設の安全機能が損なわれるおそれはない。

#### 第 6.3.1 表 産業別就業者数

泊発電所原子炉設置変更許可申請書（3号原子炉の増設）（平成15年7月2日付け、平成14・07・31原第2号をもって設置変更許可）の添付書類六「第6.3.1表産業別就業者数」の記載内容に同じ。

#### 第 6.3.2 表 主要農作物種類別統計

泊発電所原子炉設置変更許可申請書（3号原子炉の増設）（平成15年7月2日付け、平成14・07・31原第2号をもって設置変更許可）の添付書類六「第6.3.2表主要農産物種類別統計」の記載内容に同じ。

#### 第 6.3.3 表 主要飼育家畜種類別統計

泊発電所原子炉設置変更許可申請書（3号原子炉の増設）（平成15年7月2日付け、平成14・07・31原第2号をもって設置変更許可）の添付書類六「第6.3.3表主要飼育家畜種類別統計」の記載内容に同じ。

#### 第 6.3.4 表 魚種別漁獲量統計

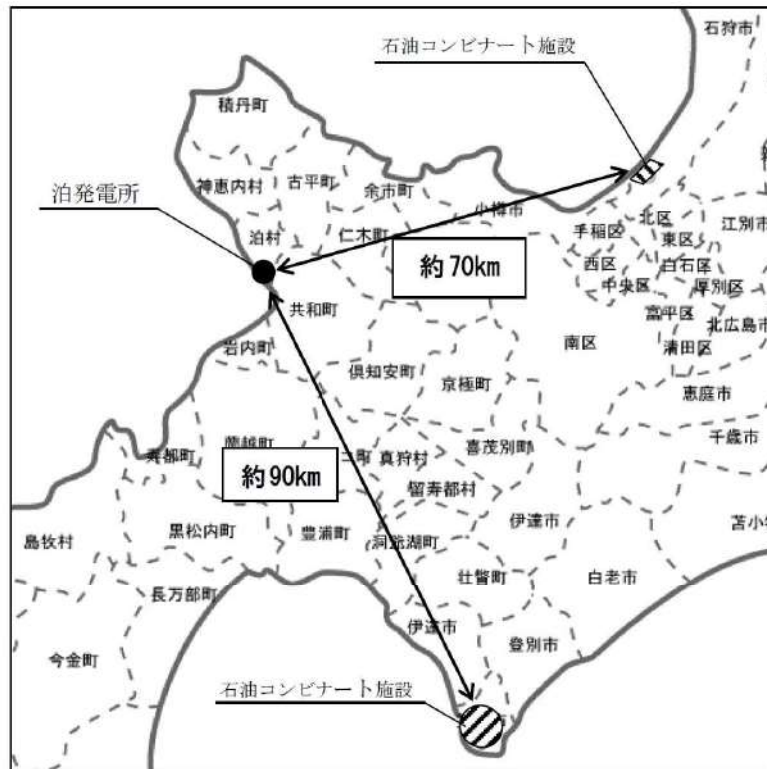
泊発電所原子炉設置変更許可申請書（3号原子炉の増設）（平成15年7月2日付け、平成14・07・31原第2号をもって設置変更許可）の添付書類六「第6.3.4表魚種別漁獲量統計」の記載内容に同じ。

#### 第 6.3.1 図 発電所敷地周辺の土地利用状況図

泊発電所原子炉設置変更許可申請書（3号原子炉の増設）（平成15年7月2日付け、平成14・07・31原第2号をもって設置変更許可）の添付書類六「第6.3.1図発電所敷地周辺の土地利用状況図」の記載内容に同じ。

## 6. 5 外部火災影響施設

発電所から約 70km 離れた所に石狩地区の石油コンビナート施設、約 90km 離れた所に苫小牧地区の石油コンビナート施設がある。また、発電所周辺の石油コンビナート施設以外の主な産業施設として、共和町にガソリンスタンドがある。発電所周辺の石油コンビナート施設の位置を第 6. 5. 1 図に示す。



第 6. 5. 1 図 石油コンビナート等特別防災区域の位置

## 10. 生物

### 10. 2 植生

泊発電所3号炉増設に伴う環境影響調査において、植生に関する調査を実施している。その結果は以下のとおりである。

発電所周辺地域は、ほとんどが落葉広葉樹を主体とするミズナラープナクラス域に属しており、雷電山山腹、ニセコ山彙尾根等は亜寒帯・亜高山帯に、雷電山、ニセコアンヌプリ及びイワオヌプリ山頂部は寒帯・高山帯に属している。

自然植生として、ミズナラープナクラス域では下部針広混交林、エゾイタヤーシナノキ群落、ヤナギ低木群落、自然草原、風衝草原が、亜寒帯・亜高山帯ではアカエゾマツ群集、エゾマツーダケカンバ群落、ササーダケカンバ群落、ササ自然草原が、寒帯・高山帯ではコケモモーハイマツ群集、高山ハイデ及び風衝草原がみられる。また、海岸部の砂丘地、断崖部に砂丘植生、海岸断崖植生がみられる。

代償植生として、ミズナラープナクラス域ではササ草原、ススキ草原、伐跡群落がみられる。また、植林地・耕作地植生として常緑針葉樹植林、トドマツ植林、アカエゾマツ植林、落葉針葉樹植林、落葉広葉樹植林、落葉果樹園、畑地、耕作放棄地雑草群落、牧草地、ゴルフ場、水田がみられる。

### 1. 4 設備等

該当なし

泊発電所 3 号炉  
外部火災影響評価について

## 目次

1. 基本方針
  1. 1 基本事項
  1. 2 想定する外部火災
  1. 3 防護対象設備
  
2. 火災の影響評価
  2. 1 森林火災
  2. 2 近隣の産業施設の火災・爆発及び二次的影響（飛来物）
  2. 3 航空機墜落による火災
  2. 4 二次的影響（ばい煙，有毒ガス）の評価

### 添付資料

1. 外部火災影響評価対象の考え方について
2. 森林火災による影響評価について
3. 石油コンビナート等の火災・爆発について
4. 燃料輸送車両の火災・爆発について
5. 漂流船舶の火災・爆発について
6. 敷地内における危険物施設の火災について
7. 泊発電所の敷地内への航空機墜落による火災について
8. ばい煙及び有毒ガスの影響評価について

<概要>

1. において、想定する外部火災及び評価内容を整理するとともに、外部火災からの防護対象設備を整理する。
2. において、想定する外部火災の影響評価結果及び発電用原子炉施設の安全機能を維持するための運用対策を整理する。

## 1. 基本方針

### 1. 1 基本事項

原子力規制委員会の定める「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」（以下，「設置許可基準規則」という。）第6条において，外部からの衝撃による損傷の防止として，安全施設は，想定される自然現象（地震及び津波を除く。）又は人為事象（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならないとされている。

このため，「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」（以下，「外部火災影響評価ガイド」という。）に基づき，外部火災影響評価を行い，外部火災により，安全施設へ影響を与えないこと及び発電所敷地外で発生する火災の二次的影響に対する適切な防護対策が施されていることを評価する。

### 1. 2 想定する外部火災

設置許可基準規則第6条において，敷地及び敷地周辺から想定される自然現象又は人為事象として森林火災，近隣の産業施設の火災・爆発，航空機墜落による火災を挙げている。このことから，想定する外部火災は以下のとおりとする。

- (1) 森林火災
- (2) 近隣の産業施設の火災・爆発
- (3) 航空機墜落による火災

また，具体的な評価内容等については，次のとおりである。

第 1.2-1 表 外部火災評価内容

火災種別	考慮すべき火災	評価内容	評価項目
森林火災	発電所敷地外 10km 以内を発火点とした発電所に迫る森林火災	<ul style="list-style-type: none"> <li>森林火災シミュレーション解析コード (FARSITE) を用いた森林火災評価</li> <li>森林火災評価に基づく発電用原子炉施設の熱影響評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>火炎到達時間評価</li> <li>防火帯幅評価</li> <li>熱影響評価</li> <li>危険距離評価</li> </ul>
近隣の産業施設の火災・爆発	発電所敷地外 10km 以内の石油コンビナート等の火災・爆発	<ul style="list-style-type: none"> <li>発電所敷地外の石油コンビナート等について発電所との距離等を考慮した危険距離及び危険限界距離評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>危険距離評価</li> <li>危険限界距離評価</li> </ul>
	発電所敷地内の危険物施設の火災	<ul style="list-style-type: none"> <li>発電所敷地内の危険物施設火災による熱影響評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱影響評価</li> </ul>
航空機墜落による火災	発電所敷地内への航空機墜落時の火災	<ul style="list-style-type: none"> <li>墜落を想定する航空機に相当する火災を想定した防護対象設備の熱影響評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱影響評価</li> </ul>

二次的影響  
(ばい煙,  
有毒ガス)  
評価

### 1. 3 防護対象設備 (添付資料-1 参照)

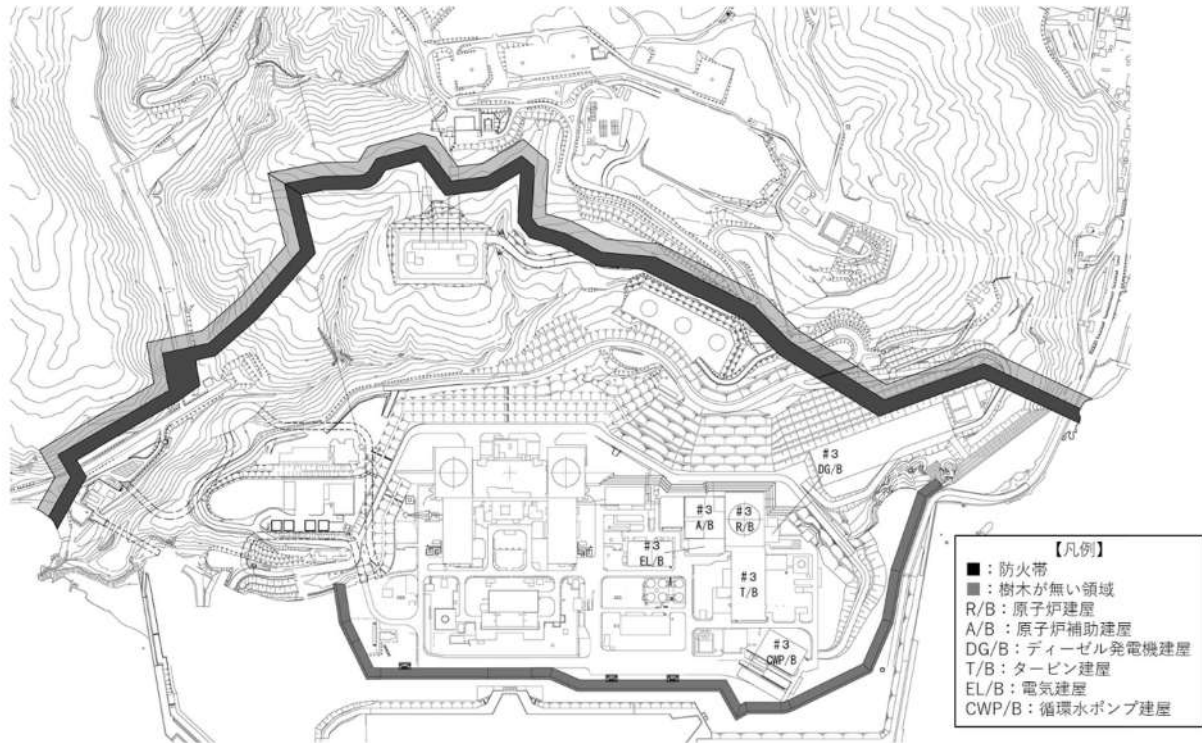
安全施設に対して、外部火災の影響を受けた場合、発電用原子炉の安全性を確保するために必要な設計上の要求機能を喪失し、安全性の確保が困難となるおそれがあることから、安全機能を有する設備について外部火災に係る防護対象とする。

設置許可基準規則第 6 条における安全施設とは、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されているクラス 1、クラス 2 及びクラス 3 に属する構築物、系統及び機器 (以下「安全重要度分類のクラス 1、クラス 2 及びクラス 3 に属する構築物、系統及び機器」という。) とする。

外部火災によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設のうち、外部事象防護対象施設等は、外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器 (発電用原子炉を停止するため、また、停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能、又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器、並びに、使用済燃料ピットの冷却機能及び給水機能を維持するために必要な異常の発生防止の機能、又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器として安全重要度分類のクラス 1、クラス 2 及び安全評価上その機能に期待するクラス 3 に属する構築物、系統及び機器。) に加え、それらを内包する建屋とする。

安全施設に対して、外部火災の影響を受けた場合、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な設計上の要求機能を喪失し、安全性の確保が困難となるおそれがあることから、安全機能を有する設備について外部火災に対し安全機能を損なわない設計とする。





第 1.3-1 図 発電所構内全体図

## 2. 火災の影響評価

### 2. 1 森林火災（添付資料-2 参照）

#### 2. 1. 1 評価内容

発電所敷地外で発生する森林火災が、発電所へ迫った場合でも発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを以下の項目により評価した。

- (1) 火炎到達時間の評価
- (2) 防火帯幅の評価
- (3) 熱影響の評価
- (4) 危険距離の評価

#### 2. 1. 2 評価要領

森林火災の解析にあたっては、外部火災影響評価ガイドにおいて推奨されている森林火災シミュレーション解析コード（FARSITE）を使用し、以下の設定により解析した。

第2.1.2-1表 森林火災評価のための入力データ

データ種類	発電所での評価で用いたデータ
土地利用データ	国土数値情報（国土交通省）の100mメッシュの土地利用データを使用した。
植生データ	北海道より森林簿を入手し、森林簿の情報を基に発電所周辺の植生調査を実施した。 その結果から、保守的に可燃物パラメータを設定し、土地利用データにおける森林領域を、樹種・林齢により細分化した。
地形データ	基盤地図情報（国土地理院）の10mメッシュの標高データを使用した。
気象データ	北海道において森林火災の発生件数が多い4月から6月における過去10年間の最大風速、最高気温、最小湿度の条件を採用した。 なお、風向は各発火点から原子炉建屋方向に設定した。

10年間の気象観測データで確認された森林火災発生件数の多い4月から6月の卓越風向は東、北西の2つのグループに分けられる。よって、卓越風向グループの2方向ごとに人為的行動を想定した発火点を設定した。

発火点は以下の2地点を設定した。

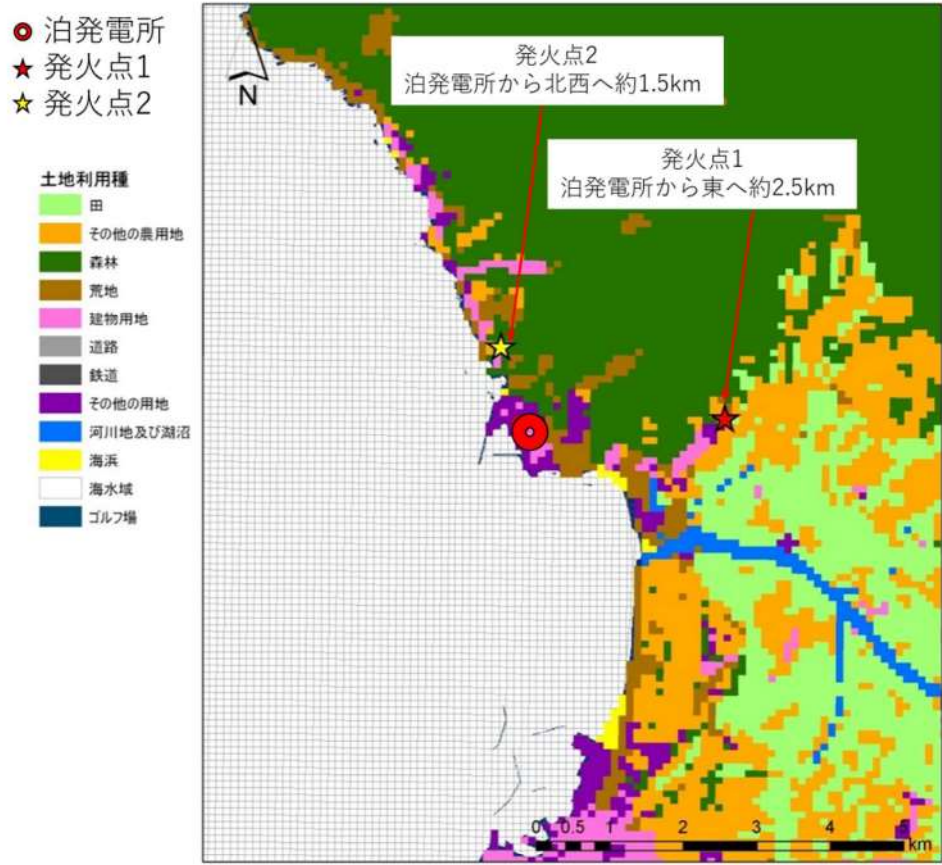
（発火点1）

卓越風向の東方向において、社員寮等の居住区が存在する道路脇畑に発火点を選定する（3号炉原子炉炉心の中心から約2.5km）。

（発火点2）

卓越風向の北西方向において、民家等の居住区が存在する集落端と森林の境界部に発火点を選定する（3号炉原子炉炉心の中心から約1.5kmの距離）。

発電所を含む南、北、東及び西側へ13kmとし、東西26km、南北26kmの範囲を評価対象範囲として設定した。



第 2. 1. 2-1 図 発火点位置

2. 1. 3 評価結果

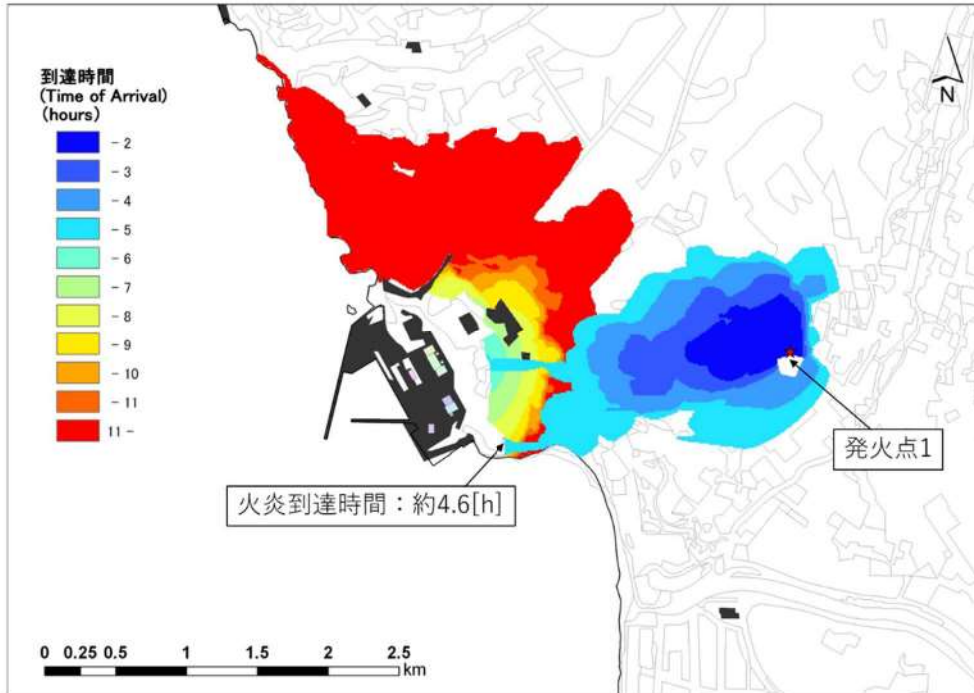
2. 1. 3. 1 火炎到達時間の評価

(1) 火炎到達時間

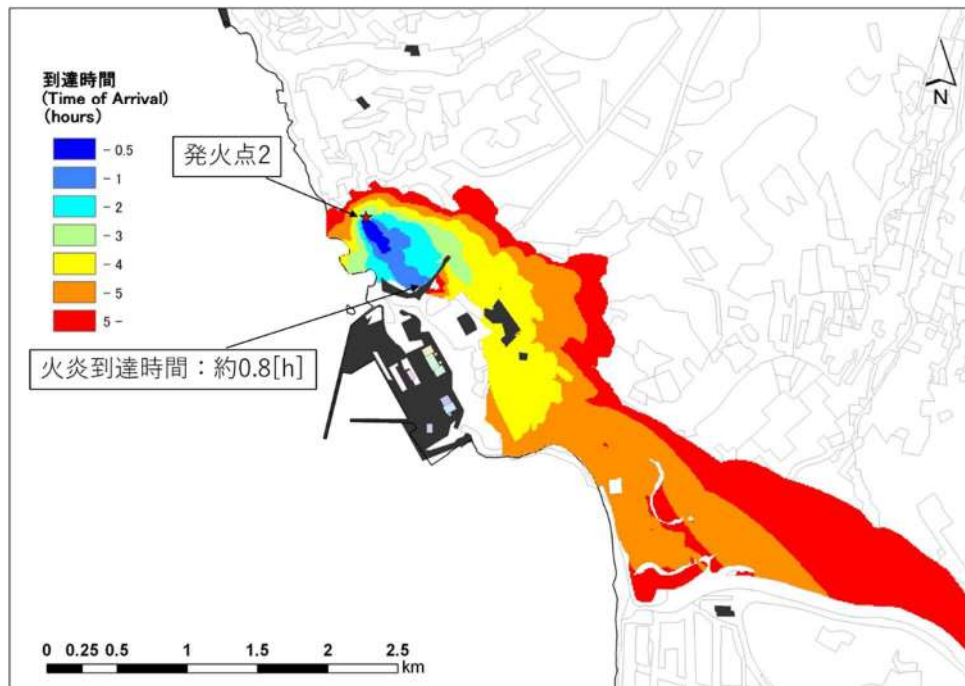
想定した森林火災による防火帯境界までの火炎到達時間は、最も到達時間が短い発火点 2 のケースで約 0.8 時間であることを確認した。

第2. 1. 3. 1-1表 火炎到達時間

発火点位置	火炎到達時間[h]
発火点 1	約 4.6
発火点 2	約 0.8



第 2.1.3.1-1(a) 図 発火点 1：東（道路脇畑）の火炎到達時間



第 2.1.3.1-1(b) 図 発火点 2：北西（集落端と森林の境界部）の火炎到達時間

(2) 予防散水活動及び体制

自衛消防隊の初期消火要員（11 名）が 24 時間常駐しており、早期に予防散水活動の実施体制を確立することが可能であることから、火炎到達時間内での予防散水（周辺の樹木や防火帯等）が可能である。

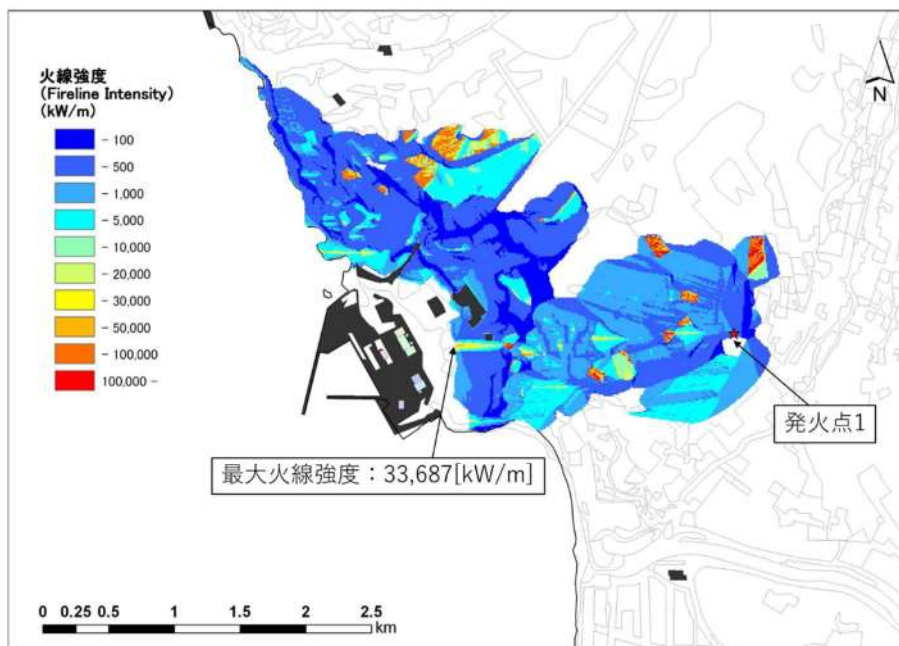
なお、防火帯の外側に設置されているモニタリングポスト及びモニタリングステーション（クラス 3）については、森林火災の進展により可搬型モニタリングポスト（防火帯の内側に保管）による代替測定を実施する。

2. 1. 3. 2 防火帯幅の評価  
 (1) 最大火線強度

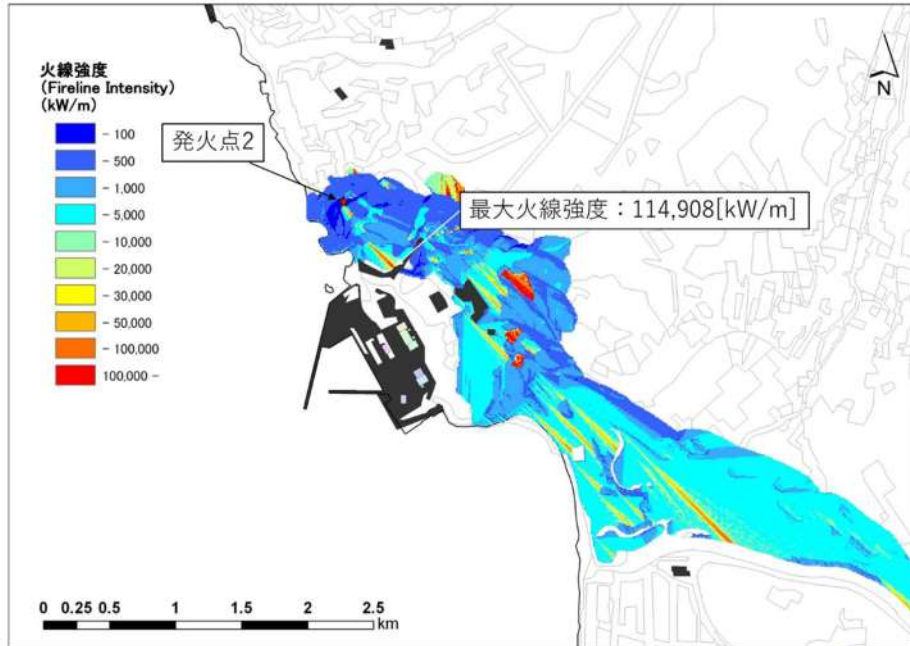
防火帯外縁より約 100m の範囲における最大火線強度は以下のとおりとなり、最も火線強度が高かった発火点 2 の結果から最大の防火帯幅を決定する。

第2. 1. 3. 2-1表 各発火点の最大火線強度

発火点位置	最大火線強度 [kW/m]
発火点 1	33,687
発火点 2	114,908



第2. 1. 3. 2-1(a)図 発火点 1：東 (道路脇畑) の火線強度



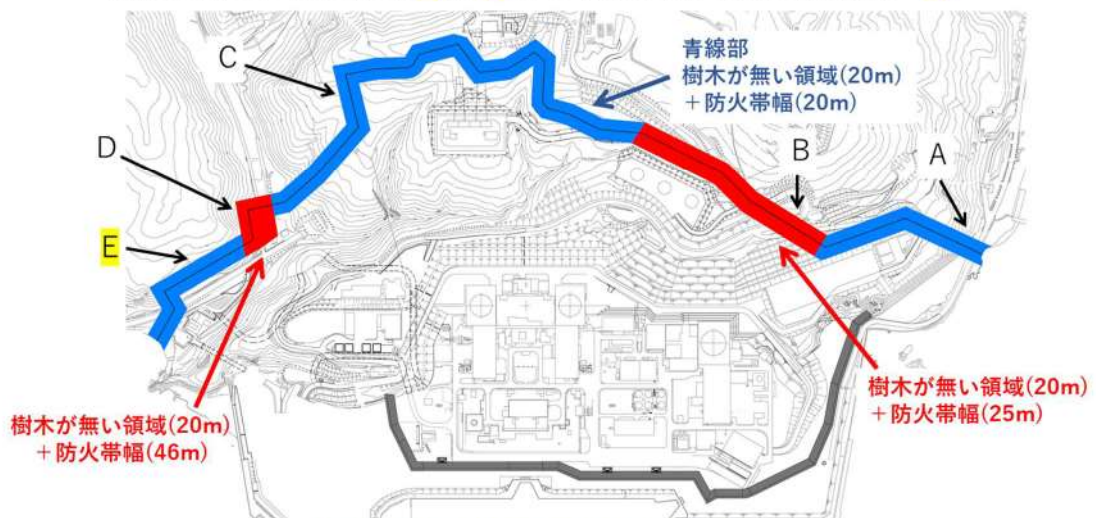
第 2.1.3.2-1(b) 図 発火点 2 : 北西 (集落端と森林の境界部) の火線強度

(2) 防火帯幅の算出

外部火災影響評価ガイドに基づき、防火帯外縁より約 100m の範囲における最大火線強度から「Alexander and Fogarty の手法 (風上に樹木が無い場合)」を用いて、防火帯幅 (火災の防火帯突破確率 1% の値) を算出した結果、評価上必要とされる防火帯幅が 17.8m (発火点 1) であるため、20m、25m の防火帯幅、45.3m (発火点 2) であるため、46m の防火帯幅を確保することにより延焼による防護対象設備への影響がないことを確認した。

地点	火線強度[kW/m]		評価上必要とされる防火帯幅[m]		防火帯幅[m]
	発火点1	発火点2	発火点1	発火点2	
A	20,738	960	13.4	6.4	20
B	33,687	720	17.8	6.3	25*
C	1,229	1,540	6.5	6.6	20
D	783	114,908	6.4	45.3	46
E	1,642	6,931	6.6	8.5	20

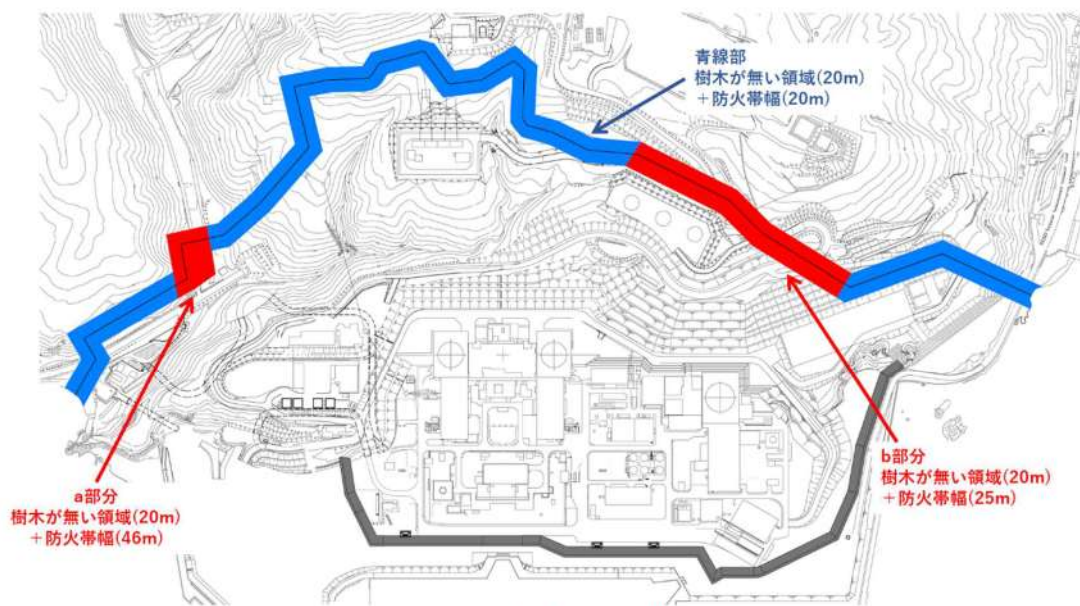
※防火帯幅については火線強度、風向、植生を考慮して設定 (添付資料2 別紙2-12)



第 2.1.3.2-2 図 防火帯幅の設定

(3) 防火帯設定の考え方

- a. 森林火災の延焼を防止するために、森林側から樹木が無い領域及び防火帯を設定する。
- b. 防火帯は防護対象設備（クラス1，クラス2，クラス3のうち防火帯の確保により防護する設備）及び重大事故等対処設備を囲うように設定する。
- c. 防火帯は発電所設備及び駐車場の配置状況を考慮し，干渉しないように設定する。
- d. 防火帯及び樹木が無い領域の設定に当たっては，草木を伐採する等，可燃物を排除する。その後，防火帯及び一部の樹木が無い領域についてはモルタル吹付けを行い，草木の育成を抑制し，可燃物がない状態を維持する。また，防火帯及び樹木が無い領域の管理（定期的な点検等）の方法を火災防護計画に定める。



第 2.1.3.2-3 図 防火帯設定図

2.1.3.3 熱影響の評価

FARSITE 解析結果である火炎到達時間，反応強度及び火炎長から，温度評価に必要なデータを算出し，熱影響評価を行った結果，対象施設に影響がないことを確認した。

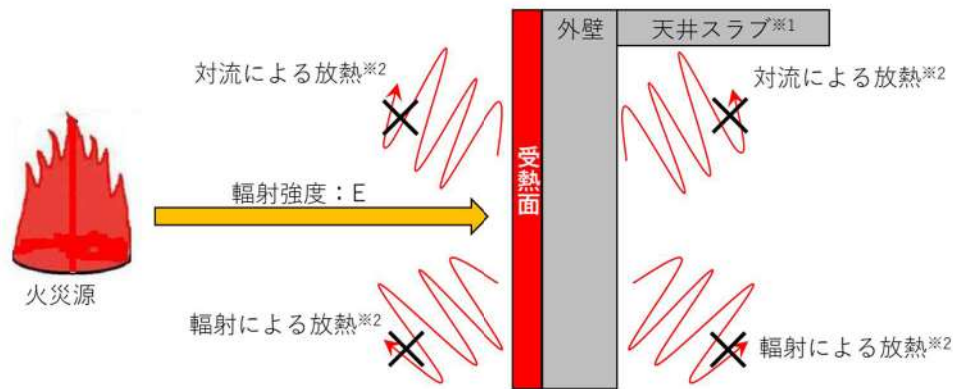
(1) 評価対象施設外壁

森林火災によって上昇するコンクリート外壁表面温度が，許容温度である 200℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.1.3.3-1 表に，建屋外壁の評価概念図を第 2.1.3.3-1 図に示す。

第 2.1.3.3-1 表 外壁表面の熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度[°C]		許容温度[°C]
	発火点 1	発火点 2	
原子炉建屋	約 62	約 60	<200
原子炉補助建屋	—*	—*	
ディーゼル発電機建屋	—*	—*	
循環水ポンプ建屋	—*	—*	

※：各評価対象施設の火災源からの距離が、原子炉建屋(200m)に比べて遠い（原子炉補助建屋(230m)、ディーゼル発電機建屋(230m)、循環水ポンプ建屋(300m)）ことから、原子炉建屋の評価に包絡される。



※1：天井スラブは外壁よりも火災源からの距離が遠いことから、外壁の評価に包絡される。  
 ※2：コンクリート表面温度評価に当たっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

第 2.1.3.3-1 図 建屋外壁の評価概念図

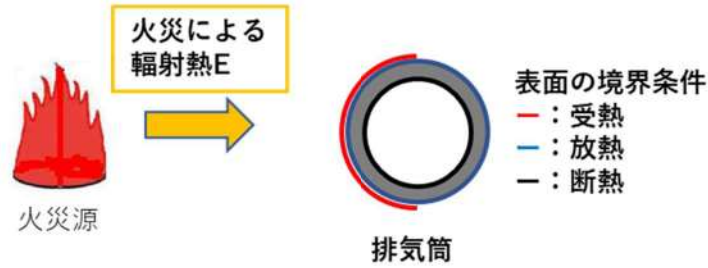
(2) 排気筒

森林火災によって上昇する排気筒表面温度が、許容温度 325°C以下であることを確認した。評価結果を第 2.1.3.3-2 表に、排気筒の評価概念図を第 2.1.3.3-2 図に示す。

第 2.1.3.3-2 表 排気筒の熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度[°C]		許容温度[°C]
	発火点 1	発火点 2	
排気筒	約 60	約 71	<325





第2.1.3.3-2図 排気筒の評価概念図

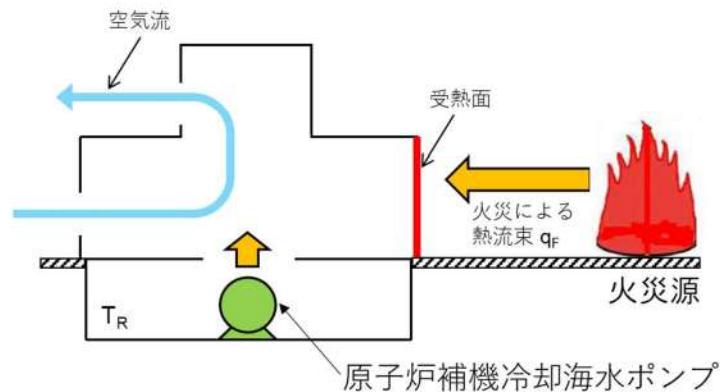
(3) 原子炉補機冷却海水ポンプ

原子炉補機冷却海水ポンプの冷却空気の温度が、許容温度以下（原子炉補機冷却海水ポンプ：下部軸受 80℃）であることを確認した。

評価結果を第 2.1.3.3-3 表に、原子炉補機冷却海水ポンプの評価概念図を第 2.1.3.3-3 図に示す。

第 2.1.3.3-3 表 原子炉補機冷却海水ポンプの熱影響評価結果

評価対象施設	評価温度[℃]		許容温度[℃]
	発火点 1	発火点 2	
原子炉補機冷却海水ポンプ	約 44	約 46	<80



第2.1.3.3-3図 原子炉補機冷却海水ポンプの評価概念図

2.1.3.4 危険距離の評価

熱影響が最大となる発火点に対し、評価対象施設が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) 評価対象施設外壁

熱影響が最大となる発火点 1 に対し、各評価対象施設までの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第 2.1.3.4-1 表に示す。

第 2.1.3.4-1 表 評価対象施設に対する危険距離

評価対象施設	危険距離[m]		離隔距離[m]
	発火点 1	発火点 2	
原子炉建屋	34.0	24.7	200
原子炉補助建屋			230
ディーゼル発電機建屋			230
循環水ポンプ建屋			300

(2) 排気筒

熱影響が最大となる発火点 2 に対し、排気筒までの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第 2.1.3.4-2 表に示す。

第 2.1.3.4-2 表 排気筒に対する危険距離

評価対象施設	危険距離[m]		離隔距離[m]
	発火点 1	発火点 2	
排気筒	35.4	54.0	200

(3) 原子炉補機冷却海水ポンプ

熱影響が最大となる発火点 2 に対し、原子炉補機冷却海水ポンプまでの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を第 2.1.3.4-3 表に示す。

第 2.1.3.4-3 表 原子炉補機冷却海水ポンプに対する危険距離

評価対象施設	危険距離[m]		離隔距離[m]
	発火点 1	発火点 2	
原子炉補機冷却海水ポンプ	62.0	75.3	300

2.2 近隣の産業施設の火災・爆発及び二次的影響（飛来物）（添付資料-3, 4, 5, 6）

2.2.1 評価内容

発電所敷地外 10km 以内に設置されている石油コンビナート及び危険物貯蔵施設、燃料輸送車両及び漂流船舶の火災、ガス爆発が泊発電所に隣接する地域で起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価する。

また、発電所敷地内における危険物施設の火災が、発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価する。

2.2.2 評価結果

2.2.2.1 石油コンビナート等の影響評価

石油コンビナート等災害防止法で規制される北海道内の特別防災区域は、釧路地区、苫小牧地区、石狩地区、室蘭地区、北斗地区及び知内地区の六箇所存在するが、これらは、それぞれ泊発電所から約 70km 以上離れており、いずれも泊発電所から 10km 以遠である（第 2.2.2.1-1 図）。

また、泊発電所から 10km 圏内に LPG 基地がないことを確認している。なお、泊発電所から最短距離にあるガスパイプラインは小樽地区であり、泊発電所から約 40km 離れていることを確認した。以上より、評価対象範囲内に石油コンビナート等は存在せず、発電用原子炉施設に影響を及ぼすことはない。



※緑破線部の拡大図を下記に示す



第 2. 2. 2. 1-1 図 石油コンビナート等特別防災区域と発電所との位置関係

## 2. 2. 2. 2 敷地外危険物貯蔵施設等の影響評価

### (1) 危険物施設の影響評価

泊発電所から半径 10km 圏内に位置する危険物貯蔵施設を消防法に基づき抽出した。

泊発電所から 10km 圏内（敷地内を除く）に仮想危険物貯蔵施設（n-ヘキサンを 10 万 kL 貯蔵）を設定し熱影響評価を実施した結果より、発電所から 1,500m 圏内に存在する危険物貯蔵施設に対して、熱影響評価を実施する。



第 2. 2. 2. 2-1 図 泊発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設

a. 火災の影響評価

発電所敷地外 1,500m 圏内の危険物施設において評価を行ったところ、評価上必要とされる危険距離に対し、最短距離の危険物貯蔵施設から発電用原子炉施設までの離隔距離が危険距離以上であることを確認した。

第 2. 2. 2. 2-1 表 危険物貯蔵施設における危険距離の評価結果

評価対象施設	燃料油種	貯蔵数量 [KL]	離隔距離 [m]	危険距離 [m]
原子炉建屋	灯油	[ ]	1,450	74
原子炉補助建屋			1,500	
ディーゼル発電機建屋			1,500	
循環水ポンプ建屋			1,600	
排気筒	ガソリン	[ ]	1,450	53
原子炉補機冷却海水ポンプ			1,600	109

(2) 高圧ガス貯蔵施設の影響評価

泊発電所から半径 10km 圏内における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量は [ ] であり、泊発電所から最も近い高圧ガス貯蔵施設までの離隔距離は約 5,700[m] であった。

最短離隔距離の高圧ガス貯蔵施設に最大貯蔵量 [ ] があったとして、評価を行ったところ、評価上必要とされる危険距離に対し、最短距離の高圧ガス貯蔵施設から発電用原子炉施設までの離隔距離が危険距離以上であることを確認した。

[ ] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第 2. 2. 2. 2-2 表 高圧ガス貯蔵施設における危険距離の評価結果

評価対象施設	燃料油種	貯蔵数量 [t]	離隔距離 [m]	危険距離 [m]
原子炉建屋	プロパン	[ ]	5,850	22
原子炉補助建屋			5,900	
ディーゼル発電機建屋			5,800	
循環水ポンプ建屋			5,700	
排気筒			5,850	16
原子炉補機冷却海水ポンプ			5,700	30

(3) 二次的影響（飛来物）の影響評価

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（平成 25 年 3 月消防庁特  
殊災害室）に基づき、高圧ガス貯蔵施設における飛来物飛散範囲を確認す  
る。

当該容器単体の破損による破片の飛散範囲について評価を行ったところ、  
発電用原子炉施設（循環水ポンプ建屋）までの離隔距離が飛来物到達距離  
以上あり、発電用原子炉施設への影響がないことを確認した。

よって、発電所敷地外の高圧ガス貯蔵施設において火災・爆発が発生し  
た場合においても発電所への影響はないことを確認した。

第 2. 2. 2. 2-3 表 高圧ガス貯蔵施設からの飛来物到達距離と離隔距離

ガス種類	貯蔵数量[t]	飛来物到達距離[m]	離隔距離[m]
液化石油ガス	[ ]	1,217	5,700

2. 2. 2. 3 燃料輸送車両の影響評価

燃料を搭載した燃料輸送車両が発電所敷地外の公道において発電用原子炉施  
設に最も近い場所（想定される輸送ルート上）で火災・爆発を起こした場合を  
想定して、発電用原子炉施設への熱影響を評価する。

(1) 燃料輸送車両の火災影響評価

燃料積載量は消防法（危険物の規制に関する政令第 15 条第 1 項三号）に  
おいて定められている移動タンク貯蔵所の上限量（=30kL）のガソリンが満  
載されているものとする。

熱影響評価の結果、評価上必要とされる危険距離に対し、火災源から発  
電用原子炉施設までの離隔距離が危険距離を上回っており、発電用原子炉  
施設への影響はない。

[ ] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第 2. 2. 2. 3-1 表 燃料輸送車両による火災の危険距離と離隔距離

評価対象施設	離隔距離[m]	危険距離[m]
原子炉建屋	750	23
原子炉補助建屋	700	
ディーゼル発電機建屋	800	
循環水ポンプ建屋	850	
排気筒	750	10
原子炉補機冷却海水ポンプ	850	21



第 2. 2. 2. 3-1 図 燃料輸送車両火災想定位置と発電用原子炉施設との位置関係

(2) 燃料輸送車両のガス爆発影響評価

また、高圧ガスを輸送する車両による影響として、発電所から 10km 圏内における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量である [ ] のプロパンを積載した車両による影響評価を実施したところ、評価上必要とされる危険限界距離に対し、火災源から発電用原子炉施設までの離隔距離が危険限界距離を上回っており、発電用原子炉施設への影響はない。

第 2. 2. 2. 3-2 表 高圧ガス輸送車両の爆発の危険距離と離隔距離

評価対象施設	離隔距離[m]	危険限界距離[m]
原子炉建屋	4,400	87
原子炉補助建屋	4,450	
ディーゼル発電機建屋	4,350	
循環水ポンプ建屋	4,300	
排気筒	4,400	
原子炉補機冷却海水ポンプ	4,300	

[ ] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



第 2.2.2.3-2 図 高圧ガス輸送車両火災想定位置と発電用原子炉施設との位置関係

2.2.2.4 漂流船舶の影響評価

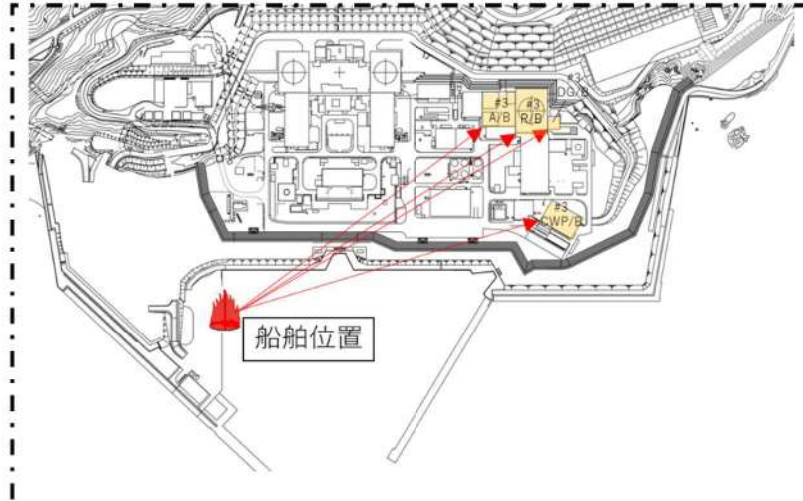
泊発電所周辺には石油コンビナートが無く、大型タンカー等の主要航路が発電所から 30km 以上離れていることから、発電所港湾施設に入港する船舶の中で燃料の積載量が最大の船舶である燃料等輸送船の火災を想定する。

熱影響評価の結果、評価上必要とされる危険距離に対し、港湾から発電用原子炉施設までの離隔距離が危険距離を上回っており、発電用原子炉施設への影響はない。

なお、熱影響評価に当たっては防潮堤がないものとして評価している。

第 2.2.2.4-1 表 船舶による火災の危険距離と離隔距離

評価対象施設	離隔距離[m]	危険距離[m]
原子炉建屋	624	90
原子炉補助建屋	587	
ディーゼル発電機建屋	673	
循環水ポンプ建屋	587	
排気筒	624	29
原子炉補機冷却海水ポンプ	587	80



第 2.2.2.4-1 図 船舶火災想定位置と発電用原子炉施設との位置関係

追而【基準津波審査の反映】  
 (上記の破線部分は、基準津波審査結果を受けて反映のため)

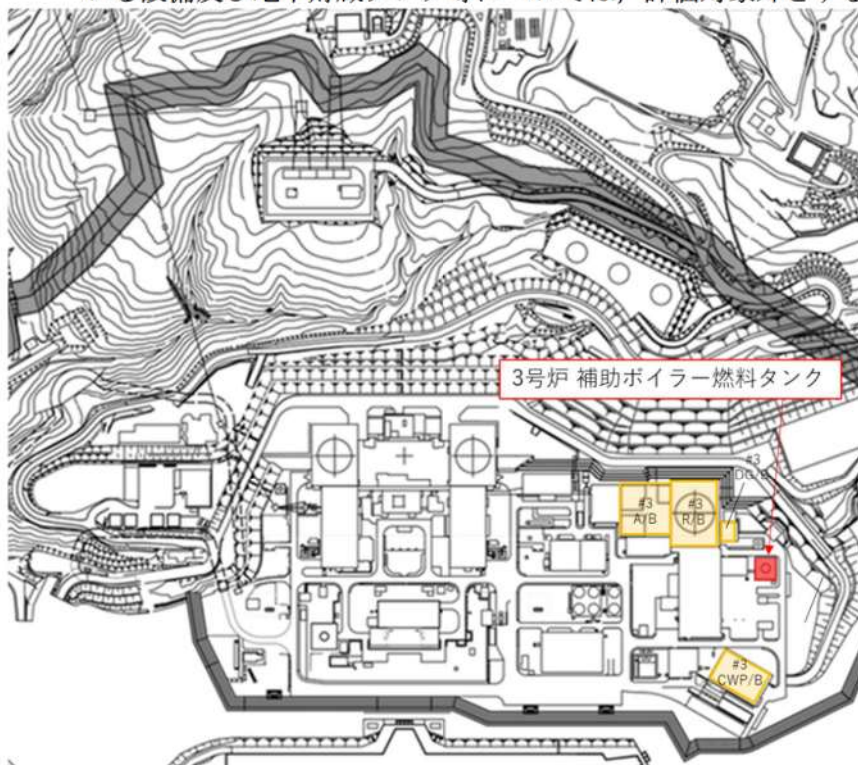
2.2.2.5 敷地内危険物施設等の影響評価

(1) 敷地内危険物施設の火災影響評価

発電所敷地内に位置している屋外の危険物施設の火災を想定し、発電用原子炉施設の熱影響評価を実施する。

熱影響評価を実施する危険物施設は、3号炉補助ボイラー燃料タンクとする。

なお、敷地内危険物施設の内、直接輻射熱を受けない建屋内に設置している設備及び地下貯蔵タンク等については、評価対象外とする。



第 2.2.2.5-1 図 発電所敷地内における危険物施設等の位置



a. 外壁に対する熱影響評価

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で評価対象施設外壁が昇温されるものとして、コンクリート表面温度を評価した結果、評価対象施設外壁のコンクリート表面温度が許容温度200℃（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）以下であることを確認した。評価結果を第2.2.2.5-1表に示す。ただし、ディーゼル発電機建屋外壁のコンクリート表面温度の評価にあたっては外壁に設置した障壁（断熱材）の効果を加味した。

第2.2.2.5-1表 外壁に対する熱影響評価結果

評価対象施設	3号炉補助ボイラー燃料タンク	許容温度 [℃]
	評価温度[℃]	
原子炉建屋	約 157	<200
原子炉補助建屋	—※1	
ディーゼル発電機建屋	約 140	
循環水ポンプ建屋	—※1	

※1：原子炉補助建屋及び循環水ポンプ建屋の評価は原子炉建屋の評価に包絡される。

b. 排気筒に対する熱影響評価

排気筒について温度上昇を評価した結果、排気筒の温度は約105℃となり、許容温度325℃以下であることを確認した。評価結果を第2.2.2.5-2表に示す。

第2.2.2.5-2表 排気筒に対する熱影響評価結果

評価対象施設	3号炉補助ボイラー燃料タンク	許容温度 [℃]
	評価温度[℃]	
排気筒	約 105	<325

c. 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

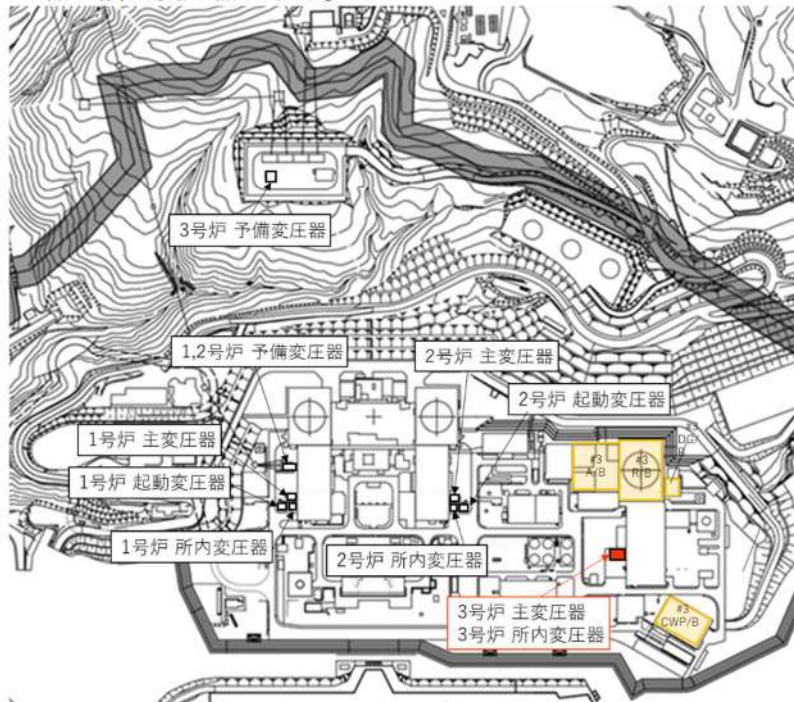
原子炉補機冷却海水ポンプについて温度上昇を評価した結果、冷却空気の温度が、許容温度以下（原子炉補機冷却海水ポンプ：下部軸受80℃）であることを確認した。評価結果を第2.2.2.5-3表に示す。

第2.2.2.5-3表 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価結果

評価対象施設	3号炉補助ボイラー燃料タンク	許容温度 [℃]
	評価温度[℃]	
原子炉補機冷却海水ポンプ	約 53	<80

(2) 変圧器の火災影響評価

発電所敷地内の変圧器火災を想定し、発電用原子炉施設の熱影響評価を実施する。熱影響評価を実施する変圧器は、一体型である3号炉主変圧器・所内変圧器とする。



第 2.2.2.5-2 図 変圧器の位置

a. 外壁に対する熱影響評価

一体型である3号炉主変圧器・所内変圧器について、火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で建屋外壁が昇温されるものとして、コンクリート表面の温度上昇を評価した結果、許容温度 200℃（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）以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.2.5-4 表に示す。

第 2.2.2.5-4 表 外壁に対する熱影響評価結果

評価対象施設	3号炉主変圧器・所内変圧器	許容温度 [°C]
	評価温度[°C]	
原子炉建屋	約 88	<200
原子炉補助建屋	—※1	
ディーゼル発電機建屋	—※1	
循環水ポンプ建屋	—※1	

※1：原子炉補助建屋(75m)、ディーゼル発電機建屋(90m)及び循環水ポンプ建屋(81m)は原子炉建屋(64m)よりも火災源からの距離が遠いことから、原子炉建屋の評価に包絡される。

b. 排気筒に対する熱影響評価

排気筒について温度上昇を評価した結果、許容温度 325℃以下であることを確認した。評価結果を第 2.2.2.5-5 表に示す。

第 2.2.2.5-5 表 排気筒に対する熱影響評価結果

評価対象施設	3号炉主変圧器・所内変圧器	許容温度 [℃]
	評価温度[℃]	
排気筒	約 63	<325

c. 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

原子炉補機冷却海水ポンプの冷却空気の温度が、許容温度以下（原子炉補機冷却海水ポンプ：下部軸受 80℃）であることを確認した。評価結果を第 2.2.2.5-6 表に示す。

第 2.2.2.5-6 表 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価結果

評価対象施設	3号炉主変圧器・所内変圧器	許容温度 [℃]
	評価温度[℃]	
原子炉補機冷却海水ポンプ	約 46	<80

2.3 航空機墜落による火災（添付資料-7）

2.3.1 評価内容

発電所敷地への航空機の墜落で発生する火災に対して、より一層の安全性向上の観点から、その火災が泊発電所の敷地内で起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを確認する。

2.3.2 評価結果

2.3.2.1 評価方法

航空機墜落確率評価については、評価条件の違いに応じたカテゴリに分けて墜落確率を求めている。

評価において考慮する航空機落下事故については、航空機の機種によって、装備、飛行形態等が同一ではなく、落下事故件数及び火災影響の大きさに差があることから、これらを考慮したカテゴリごとに航空機墜落による火災の影響評価を実施する。

落下事故のカテゴリを第 2.3.2.1-1 表に示す。

第 2.3.2.1-1 表 落下事故のカテゴリ

1) 計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時	—*1
	航空路を巡行中	—*2
2) 有視界飛行方式民間航空機		大型民間航空機
		小型民間航空機
3) 自衛隊機又は米軍機	訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中	空中給油機等，高高度での巡行が想定される大型固定翼機*3,4
		その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機*3,4
	基地－訓練空域間往復時	—*5

※1：泊発電所は，札幌空港及び新千歳空港からの最大離着陸地点以遠に位置するため対象外。

※2：泊発電所上空に航空路は存在しないため対象外。

※3：泊発電所周辺上空は自衛隊機の訓練空域であるため，自衛隊機は訓練中の落下事故を評価対象とする。

※4：泊発電所周辺上空は米軍機の訓練空域がないため，米軍機は訓練空域外を飛行中の落下事故を評価対象とする。

※5：泊発電所は基地－訓練空域間の往復の想定範囲内にはないため対象外。

航空機墜落確率が  $10^{-7}$  [回/炉・年] に相当する面積より，航空機墜落確率評価で標的面積として考慮している発電用原子炉施設からの離隔距離（墜落地点）を求め，そこで発生する火災による発電用原子炉施設の表面温度を評価し，許容温度を超えないことを確認する。

#### 2.3.2.2 離隔距離の算出

防護対象となる発電用原子炉施設（原子炉建屋，原子炉補助建屋，ディーゼル発電機建屋及び循環水ポンプ建屋）を考慮し，墜落確率  $10^{-7}$  [回/炉・年] に相当する面積より，カテゴリごとの離隔距離を算出する。

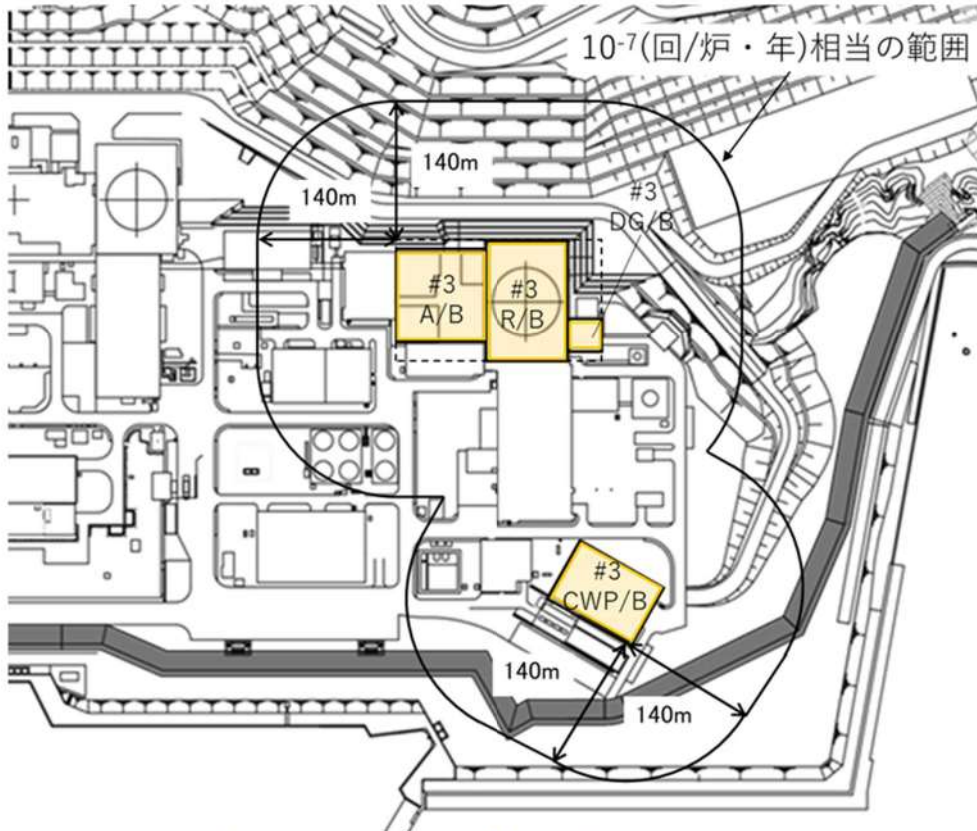
第 2.3.2.2-1 表 落下事故のカテゴリごとの離隔距離及び輻射強度

分類	民間航空機		自衛隊機又は米軍機		
	大型民間航空機	小型民間航空機	訓練空域内	訓練空域外	
			その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	空中給油機等，高高度での巡行が想定される大型固定翼機	その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機
対象航空機	B747-400	Do228-200	F-15	KC-767	F-15
離隔距離 L[m]	140	76	39	263	109
輻射発散度 [W/m <sup>2</sup> ]	50,000	50,000	58,000	58,000	58,000
輻射強度 [W/m <sup>2</sup> ]	1,150	—*1	1,102	—*2	—*3

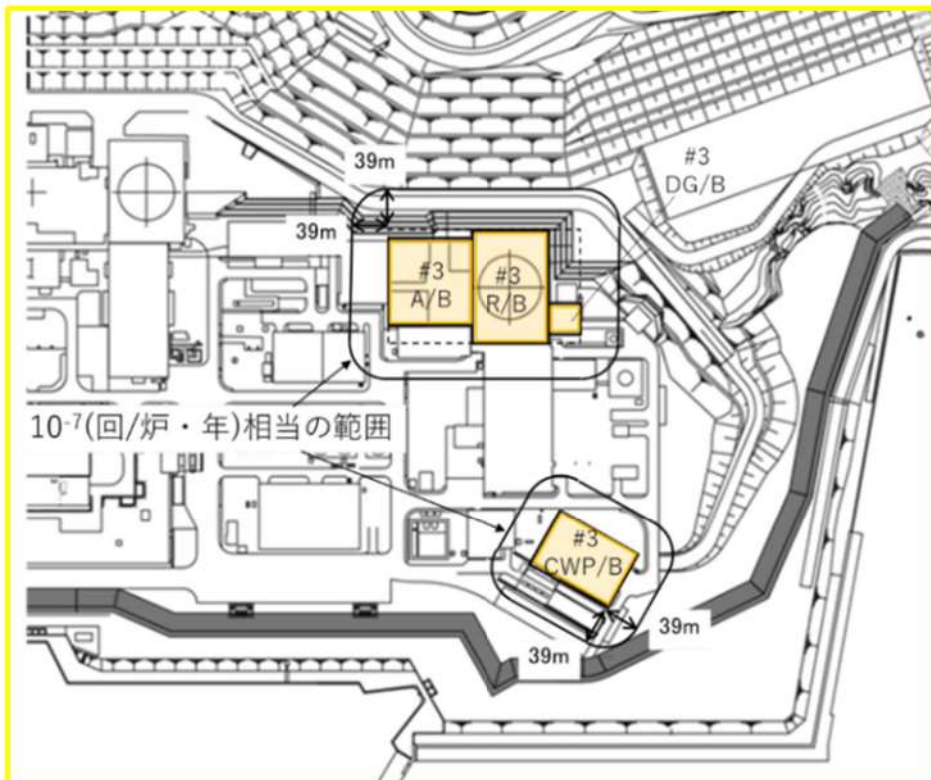
※1：燃料積載量が多く，離隔距離が短い自衛隊機の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※2：燃料積載量が多く，離隔距離が短い大型民間航空機の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※3：対象航空機が同一で，離隔距離が短い自衛隊機の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。



第 2.3.2.2-1 図 大型民間航空機の離隔距離

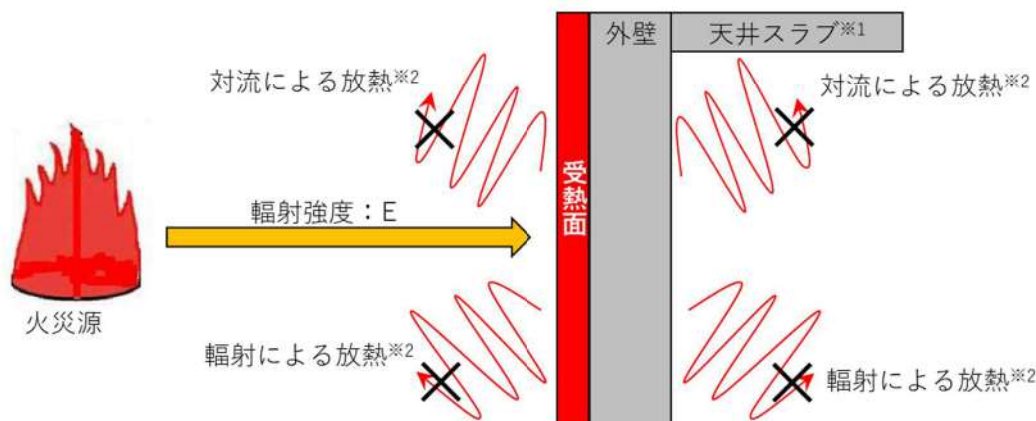


第 2.3.2.2-2 図 自衛隊機又は米軍機（その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機）の離隔距離

## 2. 3. 2. 3 火災影響評価結果

### (1) 建屋外壁面温度評価

航空機墜落により泊発電所の敷地内で火災が発生した場合を想定したとしても、発電用原子炉施設外壁の温度が許容温度 200℃（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）を超えないことを確認した。



- ※1：天井スラブは外壁よりも火災源からの距離が遠いことから、外壁の評価に包絡される。  
 ※2：コンクリート表面温度評価に当たっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

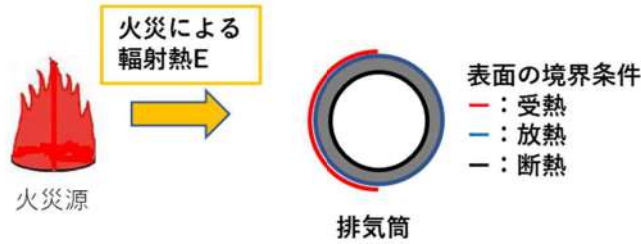
第 2. 3. 2. 3-1 図 建屋外壁の評価概念図

第 2. 3. 2. 3-1 表 航空機墜落による火災時の建屋外壁温度評価結果

項目	民間航空機	自衛隊機
	大型民間航空機	訓練空域内 その他の大型固定翼機、小型 固定翼機及び回転翼機
燃料タンク面積[m <sup>2</sup> ]	700	44.6
輻射強度[W/m <sup>2</sup> ]	1,150	1,102
燃焼継続時間[s]	6,670	4,963
評価温度[℃]	約 103	約 94
許容温度[℃]	200	200

### (2) 排気筒に対する熱影響評価

排気筒について温度上昇を評価した結果、排気筒の温度は約 84℃となり、排気筒鋼材の許容温度 325℃以下であることを確認した。評価結果を第 2. 3. 2. 3-2 表に示す。



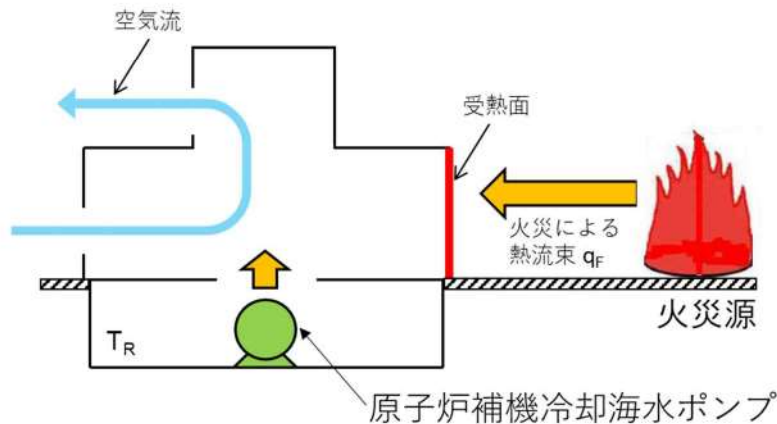
第2.3.2.3-2図 排気筒の評価概念図

第2.3.2.3-2表 排気筒に対する熱影響評価結果

項目	民間航空機	自衛隊機
	大型民間航空機	訓練空域内 その他の大型固定翼機, 小型 固定翼機及び回転翼機
評価温度[°C]	約 84	約 83
許容温度[°C]	325	325

(3) 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

原子炉補機冷却海水ポンプの冷却空気の温度が、許容温度以下（原子炉補機冷却海水ポンプ：下部軸受 80°C）であることを確認した。評価結果を第2.3.2.3-3表に示す。



第2.3.2.3-3図 原子炉補機冷却海水ポンプの評価概念図

第2.3.2.3-3表 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価結果

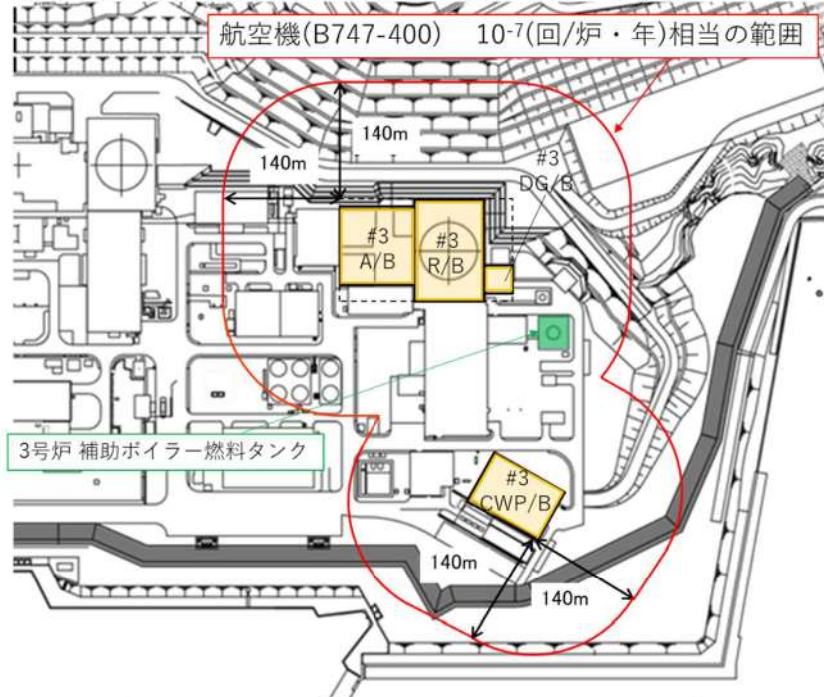
項目	民間航空機	自衛隊機
	大型民間航空機	訓練空域内 その他の大型固定翼機, 小型 固定翼機及び回転翼機
評価温度[°C]	約 59	約 59
許容温度[°C]	80	80



(4) 航空機墜落による火災と危険物タンク火災の重畳について

危険物貯蔵施設等と航空機墜落火災との重畳を想定し、熱影響評価を実施した。想定する航空機は対象航空機の中で熱影響が大きい B747-400 を想定した。重畳する危険物貯蔵施設等は 3号炉補助ボイラー燃料タンクとした。また、ディーゼル発電機建屋外壁のコンクリート表面温度の評価にあたっては外壁に設置した断熱材の効果を加味した。

評価結果を第 2.3.2.3-4 表に、航空機墜落位置と敷地内の危険物貯蔵施設等の重畳を考慮する位置を第 2.3.2.3-4 図に示す。



第 2.3.2.3-4 図 航空機墜落位置と危険物タンク火災の重畳を考慮する位置

第 2.3.2.3-4 表 重畳火災による熱影響評価結果

想定火災源	評価対象施設	評価温度 (°C)	許容温度 (°C)
B-747-400 及び 3号炉補助 ボイラー燃料タンク	原子炉建屋	約 171	200
	原子炉補助建屋	—※1	
	ディーゼル発電機建屋	約 167	
	循環水ポンプ建屋	—※1	325
	排気筒	約 139	
	原子炉補機冷却海水ポンプ	約 68	

※1：原子炉補助建屋及び循環水ポンプ建屋の評価は原子炉建屋の評価に包絡される。

2.4 二次的影響（ばい煙、有毒ガス）の評価（添付資料-8）

2.4.1 評価内容

森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発及び航空機墜落による火災において発生するばい煙等に対して、影響が想定される機器、施設について評価を実施する。

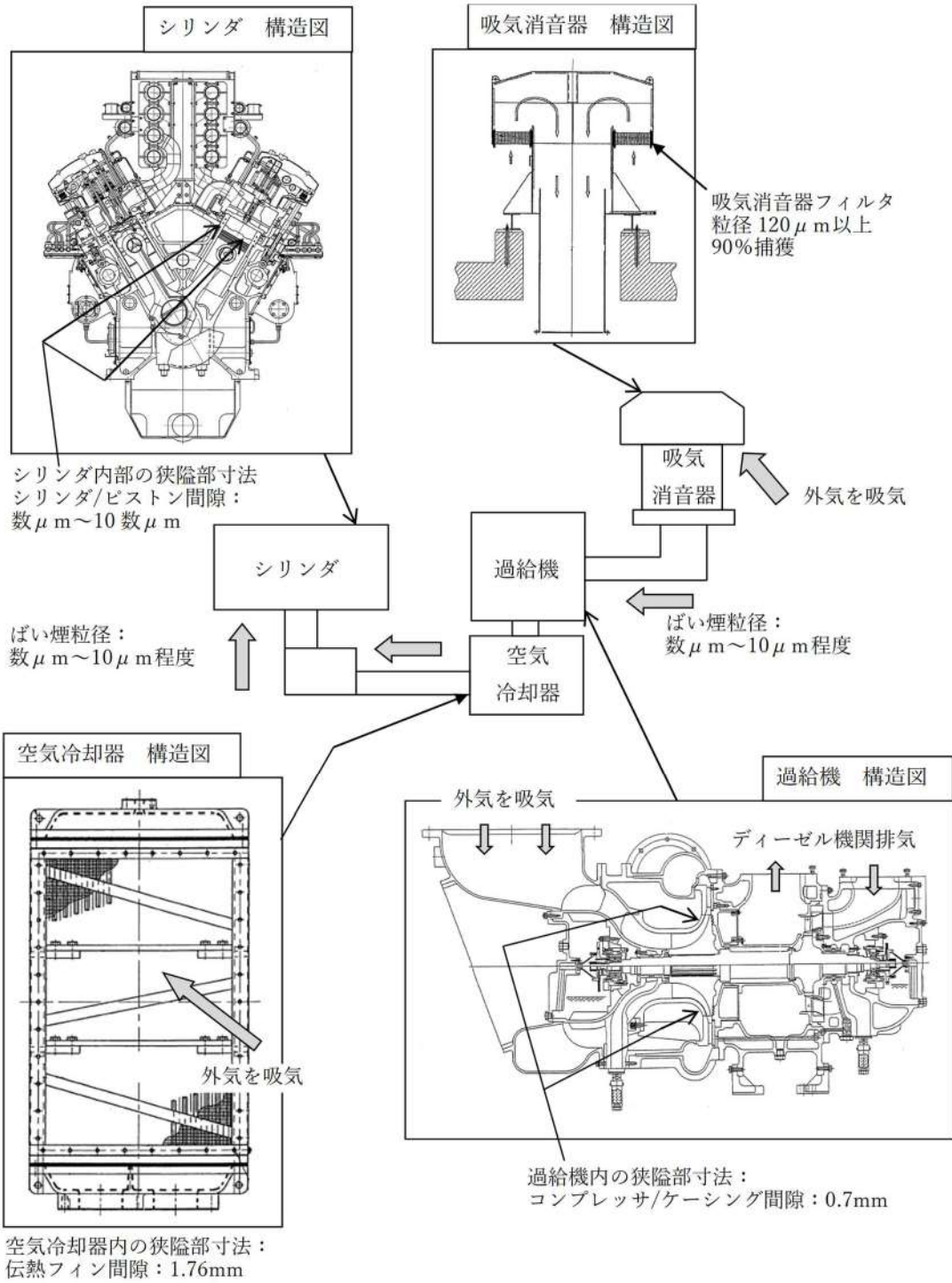
## 2. 4. 2 評価結果

ばい煙等による評価対象施設に対する影響及び居住性に影響を及ぼさないことを以下のとおり確認する。

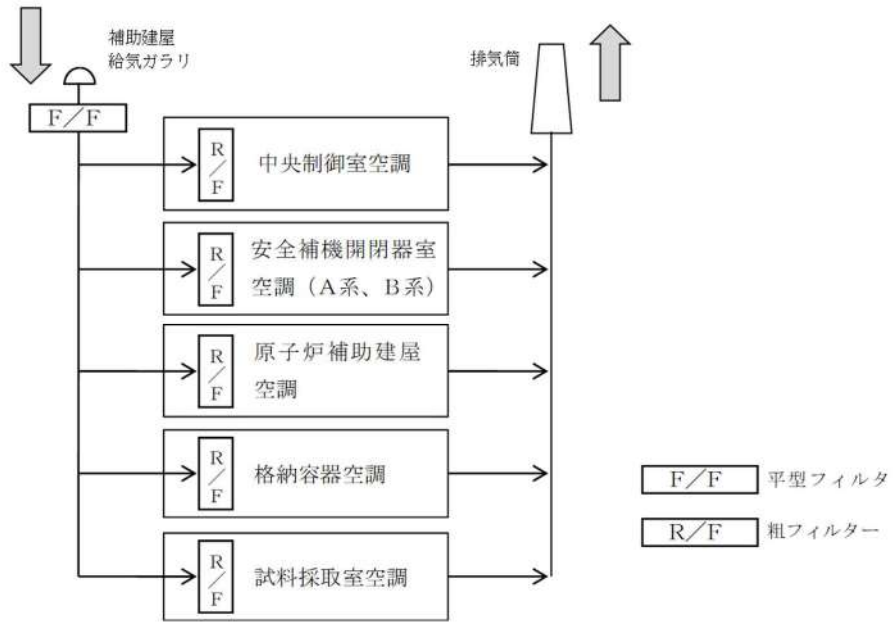
第 2. 4. 2-1 表 評価対象施設に対する影響評価結果

分類	対象設備	評価結果
機器への影響	外気を直接設備内に取り込む機器	<ul style="list-style-type: none"> <li>当該設備の運転時において、ばい煙を機関内に吸い込むおそれがあるが、シリンダまでの通気経路の間隔よりばい煙の粒径が小さいため、通気経路が閉塞することなく、運転に影響はない(第 2. 4. 2-1 図)。</li> <li>通常運転においても燃料油(軽油)の燃焼に伴うばい煙が発生していることから、機関に損傷を与えることや運転機能を阻害することはない。</li> </ul>
	外気を取り込む空調設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>外気取り入れ運転を行っている換気空調設備は、外気取入口には平型フィルタ(主として粒径が5<math>\mu</math>mより大きい粒子を除去)を設置しているため、一定以上の粒径のばい煙を捕集するとともに、外気取入ダンパを閉止又は換気空調装置停止や閉回路循環運転により、建屋内へのばい煙の侵入を阻止することが可能である(第 2. 4. 2-2(a) 図)。</li> <li>室内の空気を機器内に取り込む安全保護系計装盤を設置している空調装置には、平型フィルタに加えて粗フィルタ(主として粒径が2<math>\mu</math>mより大きい粒子を除去)を設置しているため、更に細かい粒子を捕集することが可能であり、ばい煙に対して高い防護性能を有している(第 2. 4. 2-2(b) 図)。</li> </ul>
	外気を取り込む機器	<ul style="list-style-type: none"> <li>外気を電動機内部に取り込まない構造であり、電動機内部にばい煙が侵入することはない。</li> <li>ばい煙の粒径は空気冷却器冷却管径と比べて十分小さいことから閉塞することはない(第 2. 4. 2-3 図)。</li> </ul>
	建屋外部に開口部を有する機器	<ul style="list-style-type: none"> <li>ばい煙が内部に侵入した場合においても、その動作時には侵入したばい煙は吹き出されることから、その機能に影響はない(第 2. 4. 2-4 図)。</li> </ul>
居住性への影響	中央制御室	<ul style="list-style-type: none"> <li>外気取入ダンパを閉止し、閉回路循環運転への切替えにより、酸素濃度及び炭酸ガス濃度を考慮しても長時間室内へのばい煙侵入を阻止することが可能である(第 2. 4. 2-5 図)。</li> <li>外気取入口での有毒ガス濃度が判定基準(IDLH 値*)以下であることから、中央制御室の居住性に影響はない。</li> </ul>

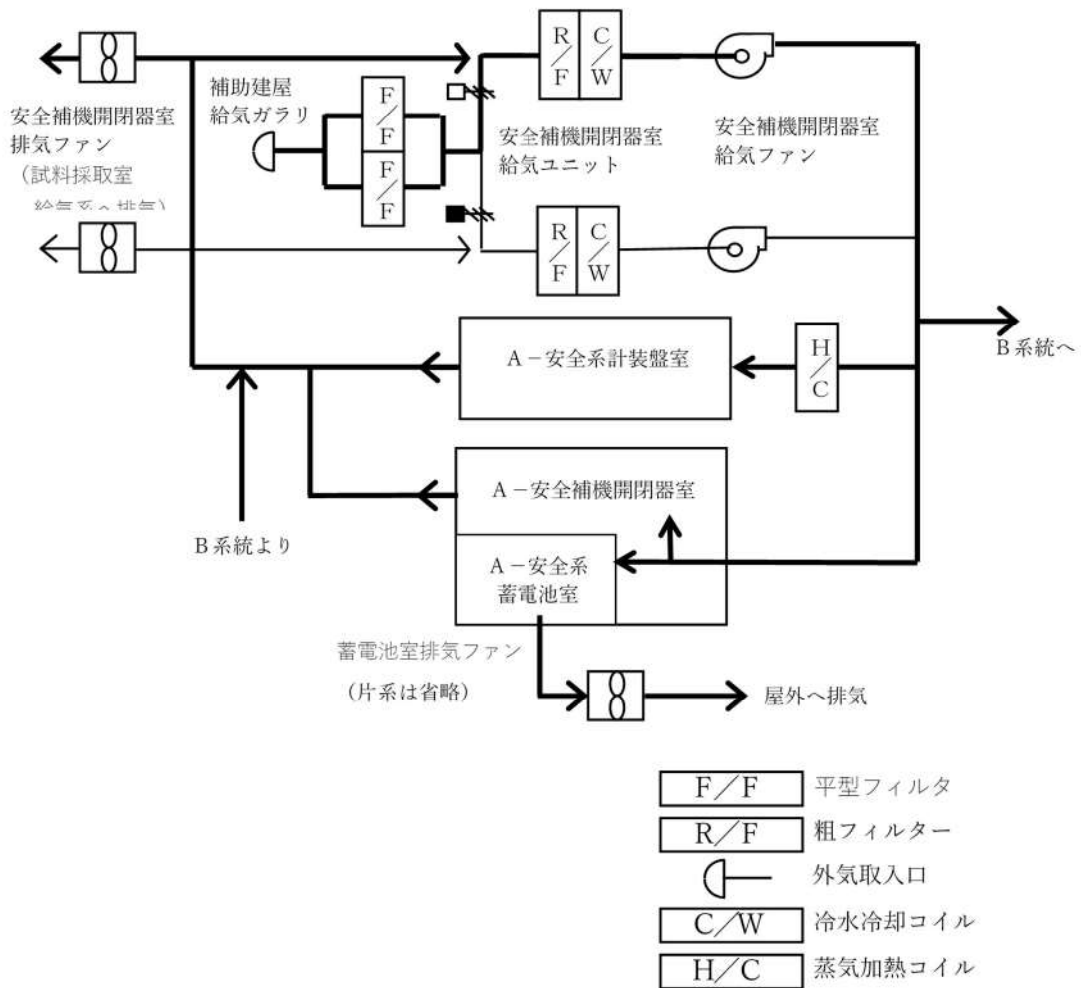
\* : 30 分暴露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値



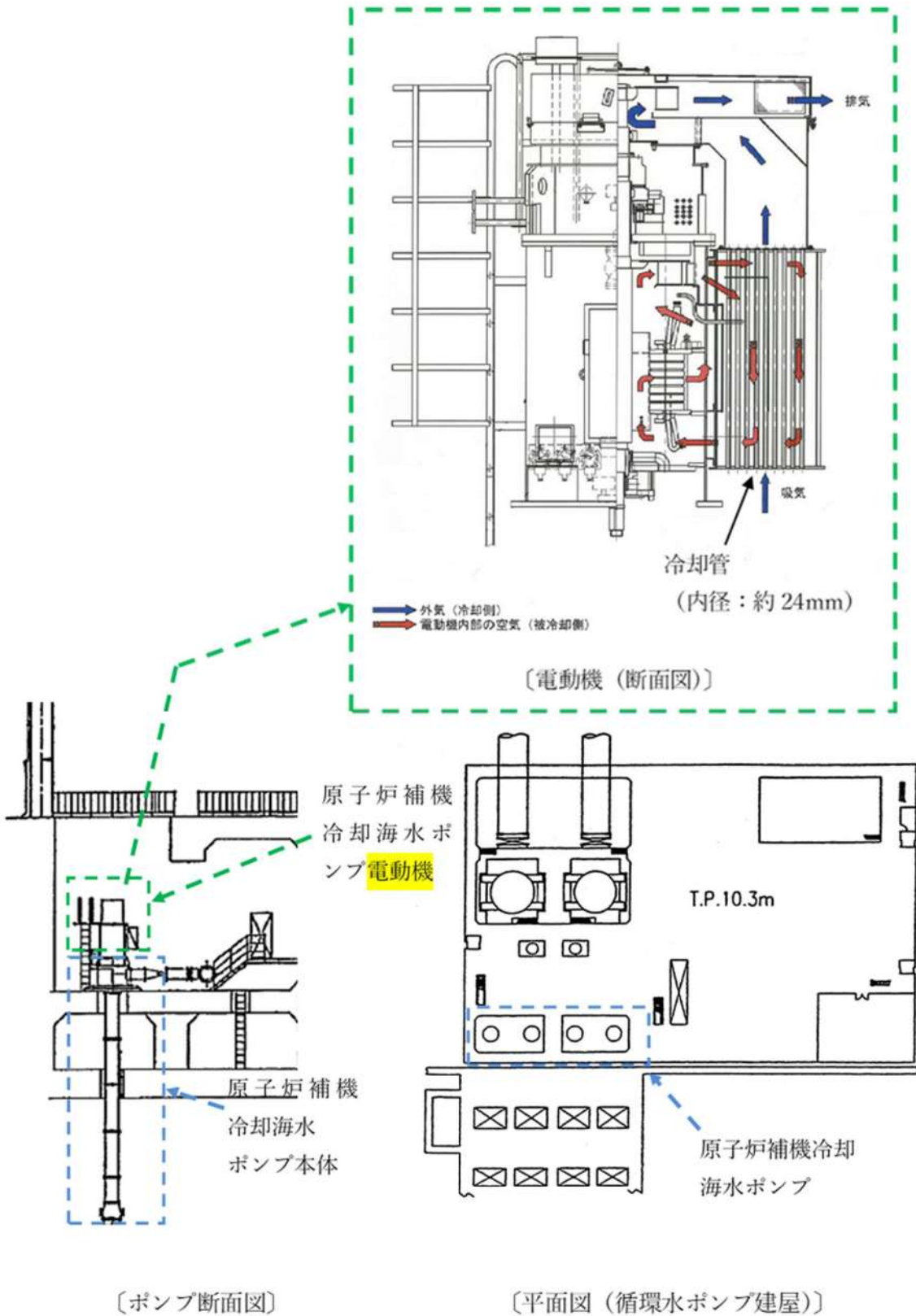
第 2.4.2-1 図 ディーゼル発電機関



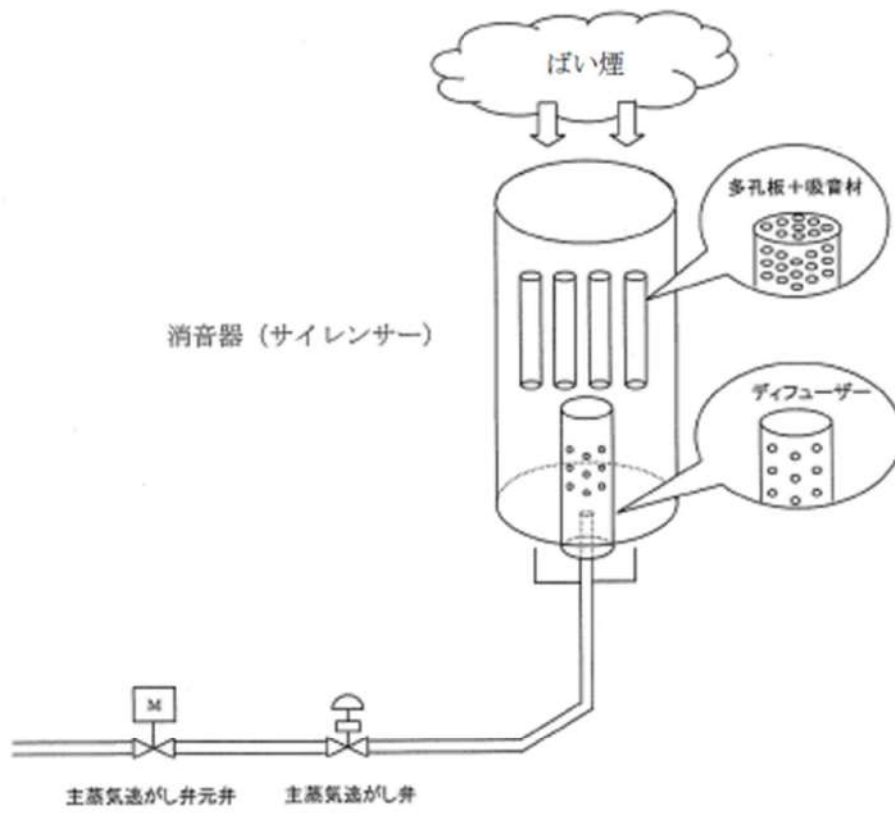
第 2. 4. 2-2(a) 図 原子炉補助建屋換気空調設備



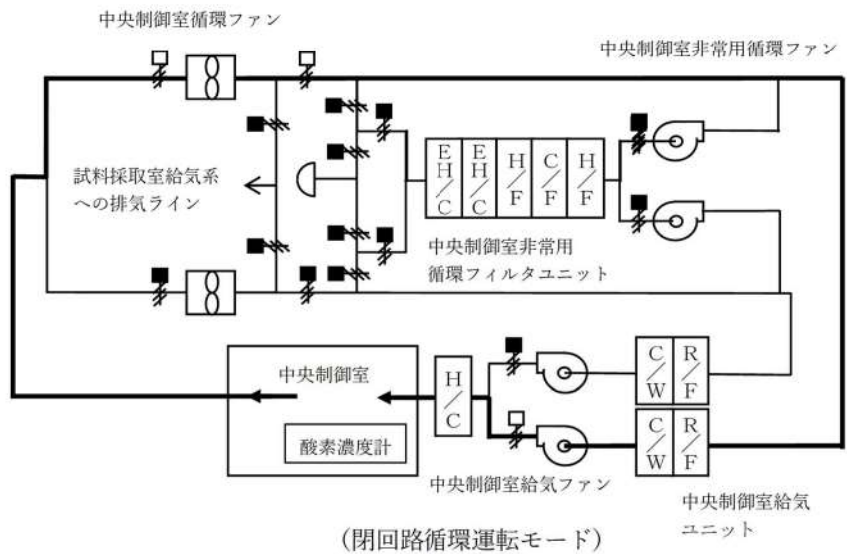
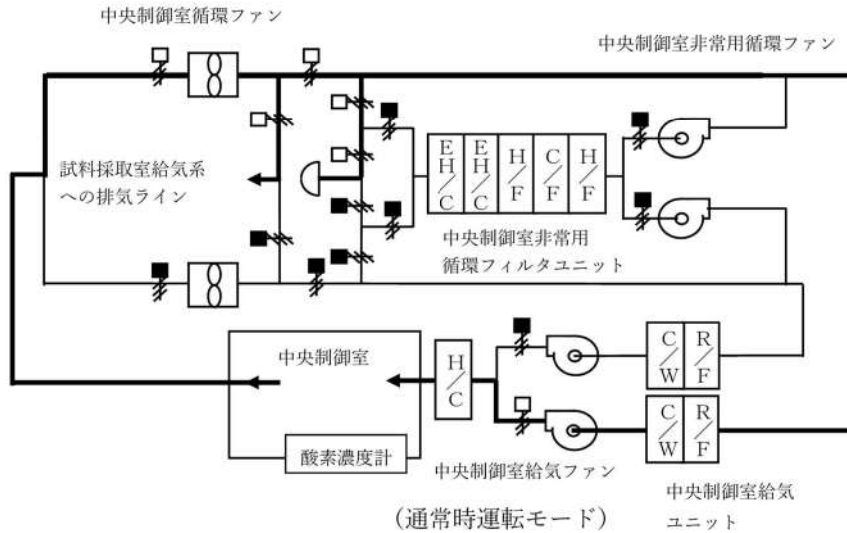
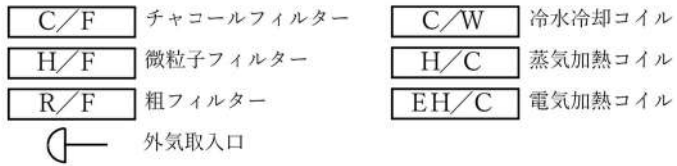
第 2. 4. 2-2(b) 図 安全補機開閉器室空調装置



第 2.4.2-3 図 原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機外形図



第 2. 4. 2-4 図 主蒸気逃がし弁出口配管形状及び消音器の構造



第 2.4.2-5 図 中央制御室換気空調運転モード (通常時・閉回路循環)

第 2.4.2-2 表 外気遮断時の中央制御室の酸素・二酸化炭素濃度

時間	2 時間	4 時間	6 時間	8 時間	10 時間	12 時間	許容濃度
二酸化炭素濃度[%]	0.06	0.09	0.11	0.14	0.17	0.19	1.0
酸素濃度[%]	20.91	20.87	20.83	20.80	20.76	20.72	19

以上

## 外部火災影響評価対象の考え方について



## 1. 外部火災影響評価対象の考え方

原子力規制委員会の定める「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（以下「設置許可基準規則」という。）」第6条及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（以下「技術基準規則」という。）」第7条において、外部からの衝撃による損傷の防止として、安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）又は人為事象（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならないとされている。

このため、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド（以下「評価ガイド」という。）」に基づき、外部火災影響評価を行い、外部火災により、発電用原子炉施設へ影響を与えないこと及び二次的影響に対する適切な防護対策が施されていることを評価する。

外部火災の影響を受けた場合、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な設計上の要求事項を喪失し、安全性の確保が困難となるおそれがあることから、防護対象は「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」において安全機能を有する安全重要度分類のクラス1、クラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器とする。今回、防護対象とした構築物、系統及び機器については、外部火災発生時には、原則防火帯の内側で防護し、建屋による防護等により影響を及ぼさないよう防護する。

### (1) 外部事象防護対象施設

外部火災によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設のうち、外部事象防護対象施設等は、外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器（発電用原子炉を停止するため、また、停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能、又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器、並びに、使用済燃料ピットの冷却機能及び給水機能を維持するために必要な異常の発生防止の機能、又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器として安全重要度分類のクラス1、クラス2及び安全評価上その機能に期待するクラス3に属する構築物、系統及び機器）に加え、それらを内包する建屋とする。その上で、消火活動等の防護手段を期待しない条件のもと、火元からの離隔で防護するため、想定される外部火災に対して熱影響評価、ばい煙等による影響評価を実施する（図1-1、表1-3）。

### (2) その他の安全施設

その他の安全施設は、原則として、防火帯により防護し、外部火災で損傷した場合であっても、代替手段があること等により、その安全機能を損なわない設計とする。

## 2. 影響評価内容

### (1) 熱影響評価について

外部事象防護対象施設のうち、外部火災の影響を受ける評価対象施設については、評価ガイドに基づき、建屋の外側（コンクリート、鋼、扉、貫通部で形成される障壁）の熱影響に対する耐性評価を実施する。選定フロー（図 1-2）に基づき抽出する施設のうち、屋内設置の外部事象防護対象施設については、内包する建屋により防護することとし、評価対象施設として抽出された建屋側面のコンクリート壁の温度評価を実施し、建屋内の外部事象防護対象施設に影響を及ぼさないことを確認する。

ただし、評価対象施設のうち、原子炉補機冷却海水ポンプ及び原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナは、循環水ポンプ建屋に収納されており、直接火災の影響を受けることはないが、周囲空気の温度上昇により、冷却機能への影響が懸念されることから、原子炉補機冷却海水ポンプが取り込む冷却空気及び原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナを評価対象とする。

なお、評価対象施設のうちタービン建屋に内包されているタービン保安装置及び主蒸気止め弁については、蒸気発生器への過剰給水の緩和手段（タービントリップ）として期待している。外部火災を起因として蒸気発生器への過剰給水が発生することはないが、独立事象としての重畳の可能性を考慮し、タービン建屋も含め安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで、安全機能を損なわない設計とすることから、熱影響評価は実施しない。また、屋外の評価対象施設については、各機器について熱影響評価を実施する（表 1-1）。

### (2) 二次的影響評価

外部火災の二次的影響を受ける評価対象施設については、ばい煙等による安全上重要な設備に対する影響評価として、ディーゼル発電機等について影響評価を実施する。

選定フロー（図 1-3）に基づき、ばい煙等による影響評価の評価対象施設を抽出し、評価を実施する。

#### a. 外気を取り込む設備

- ・原子炉補機冷却海水ポンプ

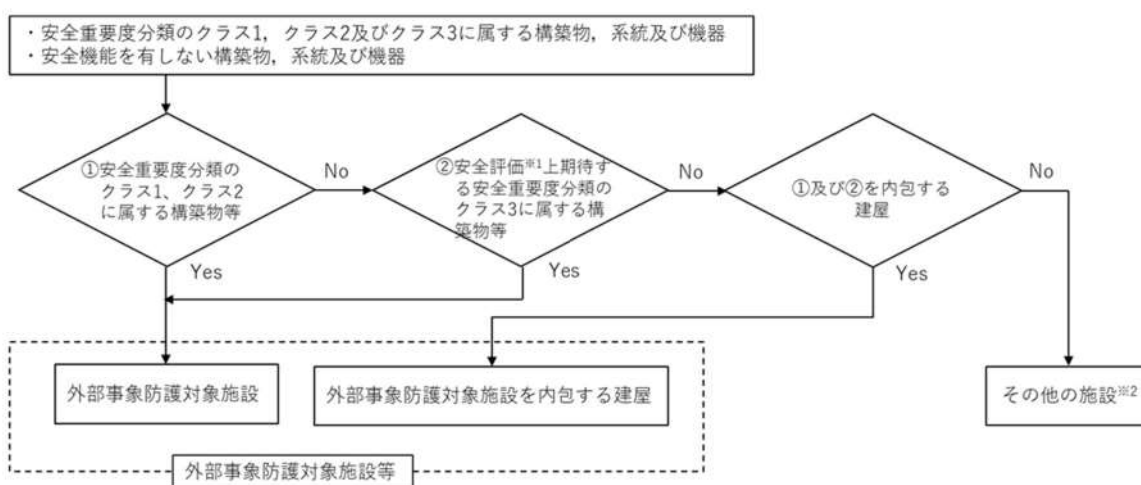
#### b. 換気空調設備で給気されるエリアの設置機器

- ・ディーゼル発電機
- ・安全保護系
- ・制御用空気圧縮設備

c. 建屋外部に開口部を有する設備

- ・主蒸気逃し弁
- ・主蒸気安全弁
- ・排気筒
- ・タービン動補助給水ポンプ排気管

また、外部火災発生時のばい煙等による居住性の評価の観点から中央制御室及び緊急時対策所の影響評価を実施し、煙や埃に対して脆弱な設備として安全保護系について影響評価を実施する。



※1 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

※2 その他の施設のうち安全施設は、機能を維持すること、若しくは損傷を考慮して代替設備、修復等でその機能を確保

図 1-1 外部事象防護対象施設の抽出フロー

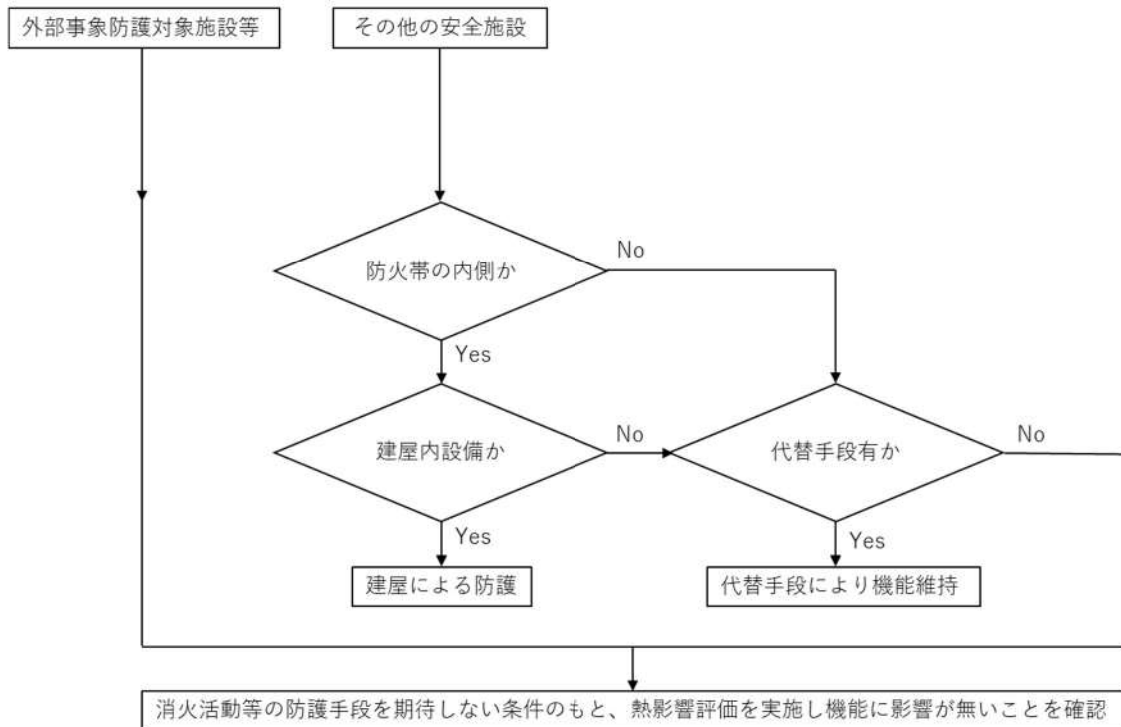


図 1-2 熱影響評価を実施する施設の選定フロー図

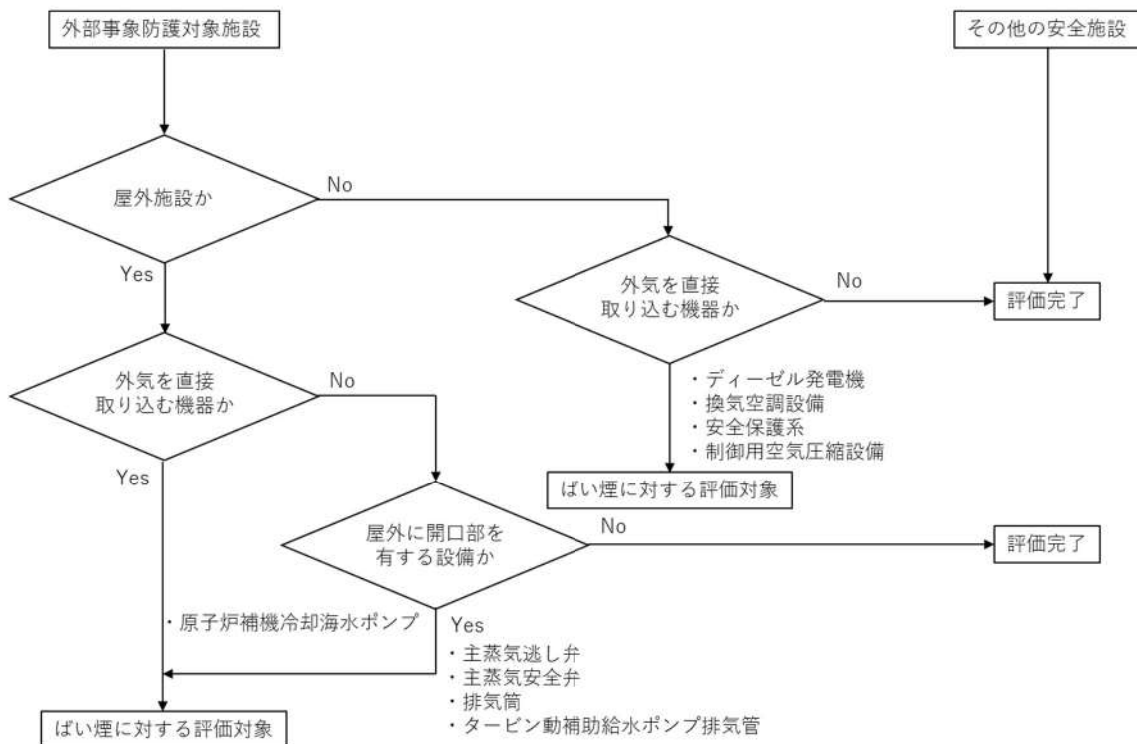


図 1-3 ばい煙に対する影響評価を実施する施設の選定フロー図

表 1-1 防護対象及び防護方法

防護対象		防護方法	評価対象施設等 <sup>※1</sup>
外部事象防護 対象施設等	<ul style="list-style-type: none"> <li>外部事象に対して必要な構築物，系統及び機器</li> <li>外部事象防護対象施設を内包する建屋</li> </ul>	防火帯の内側に設置 消火活動による防護手段を期待しない条件のもと，防火帯の設置，火元からの離隔距離の確保，建屋及び障壁で防護（熱影響評価を実施）	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉建屋</li> <li>原子炉補助建屋</li> <li>ディーゼル発電機建屋</li> <li>循環水ポンプ建屋<sup>※2</sup></li> <li>タービン建屋<sup>※3</sup></li> </ul>
	外部事象に対して必要な構築物，系統及び機器に属する屋外施設		<ul style="list-style-type: none"> <li>排気筒</li> </ul>
その他の安全施設		防火帯の内側に原則設置 屋内施設は，建屋による防護 屋外施設は，代替手段で安全機能に影響が無いことを確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>開閉所</li> <li>固体廃棄物貯蔵庫</li> <li>放射線監視設備（モニタリングポスト・ステーション）ほか</li> </ul>

※1 破線内は熱影響評価対象施設である。

※2 原子炉補機冷却海水ポンプ及び原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナについては，循環水ポンプ建屋に収納されており，直接火災の影響を受けることはないが，周囲空気の温度上昇により，冷却機能への影響が懸念されることから，原子炉補機冷却海水ポンプが取り込む冷却空気及び原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナを評価対象とする。

※3 タービン建屋に内包されているタービン保安装置及び主蒸気止め弁については，蒸気発生器への過剰給水の緩和手段（タービントリップ）として期待している。外部火災を起因として蒸気発生器への過剰給水が発生することはないが，独立事象としての重畳の可能性を考慮し，タービン建屋も含め安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで，安全機能を損なわない設計とすることから，熱影響評価は実施しない。

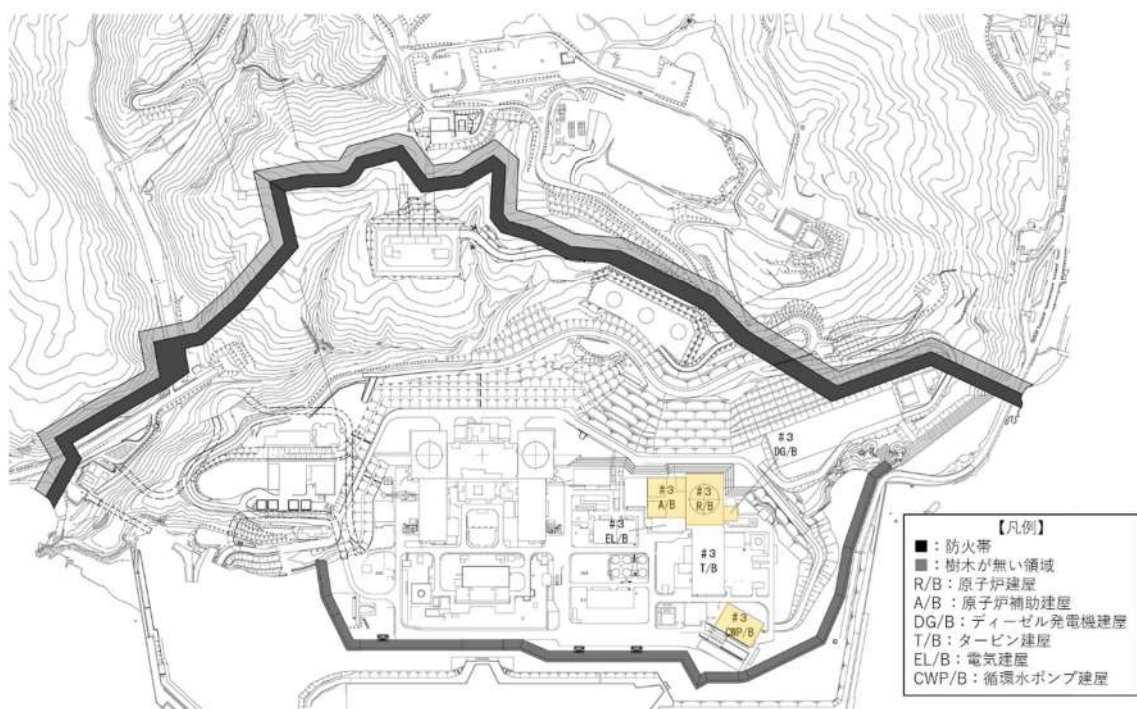


図 1-4 外部火災に対する評価対象施設配置図

### 3. 設備を防護する建屋の離隔距離

外部事象防護対象施設を内包する各建屋について、防火帯外縁からの離隔距離を下表に示す。

この離隔距離は想定される森林火災において、評価上必要とされる危険距離(34m)以上あることから、外部事象防護対象施設等に対して、森林火災が熱影響を及ぼすことはないと評価できる(添付資料-2 参照)。

表 1-2 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離

設備を防護する建屋	離隔距離[m]※
原子炉建屋	200
原子炉補助建屋	230
ディーゼル発電機建屋	230
循環水ポンプ建屋	300

※防火帯外縁から建屋までの最短距離

表 1-3 外部事象防護対象施設の抽出結果 (1/9)

分類	定義	機能	重要度分類(重要)計画		重要度分類 のクラス1,2 に属する構 築物等	安全評価上 <sup>※2</sup> 期待 する重要度分類の構 造物等	外部火災の 影響を受け る屋外施設	外部事象防護 対象施設のうち 評価対象施 設	二次的 影響評 価対象 施設	
			原子炉発電所3号炉	構造物、系統又は機器						
PS-1	その損傷又は故障による発生する事象によつて、(a)炉心温度、又は(b)燃料の大量の破損を引き起こすおそれのある構造物、系統及び機器	1)原子炉冷却材圧力バウワンダリ機能	原子炉冷却材圧力バウワンダリを構成する機器・配管系(計装等の小口配管・機器は除く。)	原子炉容器 蒸気発生器 1次冷却ポンプ 加圧器 配置、弁 原子炉冷却材圧力バウワンダリ隔離弁 制御駆動装置圧力バウワンダリ 炉内計装引出装置	○	-	×	×	×	
		2)過剰反応度の印加防止機能	制御駆動装置圧力バウワンダリ	炉心支持構造物(炉心槽、上部炉心支持板、上部炉心支持柱、上部炉心板、下部炉心板、下部炉心支持柱、下部炉心支持板)、燃料集合体(ただし、燃料を除く。)	制御駆動装置圧力バウワンダリ	○	-	×	×	×
		3)炉心形状の維持機能	炉心支持構造物(炉心槽、上部炉心支持板、上部炉心支持柱、上部炉心板、下部炉心板、下部炉心支持柱、下部炉心支持板)、燃料集合体(ただし、燃料を除く。)	燃料集合体(燃料は除く。)	制御駆動装置圧力バウワンダリ	○	-	×	×	×
MS-1	1)異常状態発生時に原子炉を緊急停止し、残留熱を除去し、冷却材圧力バウワンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の影響を防止する構造物、系統及び機器	1)原子炉の緊急停止機能	原子炉停止系の制御棒による系(制御棒クラスタ及び制御棒駆動系(スクラム機能))	制御棒 直接関連系(制御棒) 燃料集合体の制御棒案内シンプル 制御棒クラスタ案内管 制御棒駆動装置	○	-	×	×	×	
		2)非臨界維持機能	原子炉停止系(制御棒による系、化学体積制御設備及び非常用炉心冷却系のほう酸水注入機能)	直接関連系(制御棒) 化学体積制御設備の内ほう酸水注入系(充てんポンプ、ほう酸タンク、ほう酸フィルタ、再生熱交換器、配管及び弁(ほう酸タンクからほう酸ポンプ、充てんポンプ、再生熱交換器を経て1次冷却設備までの範囲)) ほう酸タンク、再生熱交換器を経て1次冷却設備までの範囲)) 直接関連系(化学体積制御設備の内ほう酸水注入系) ほう酸タンクヒータ 非非常用炉心冷却設備の内ほう酸水注入系(燃料取替用ピペットから高圧注入ポンプ、ほう酸注入タンク、配管及び弁(燃料取替用ピペットを経て1次冷却設備低温側までの範囲)) 直接関連系(非非常用炉心冷却設備の内ほう酸水注入系) ポンプミニマムフローライン配管、弁	○	-	×	×	×	
		3)原子炉冷却材圧力バウワンダリの過圧防止機能	加圧器安全弁(開機能)	加圧器安全弁(安全弁開機能)	○	-	×	×	×	×

※1 電気、機械装置のうち主要な施設の記載は、当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し、間接関連系の記載は省略した。  
 ※2 運転時の異常な過酸化及び設計基準事故解析



表 1-3 外部事象防護対象施設の抽出結果 (2/9)

分類	定義	機能	重要度分類調査指針		重要度分類 のクラス1,2 に属する構 築物等	安全評価上 <sup>※1</sup> 期待 する重要度分類の クラス3に属する構 築物等	外部火災の 影響を受ける 屋外施設	外部事象防護 対象施設のうち 評価対象施 設	二次的 影響評 価対象 施設
			機器	設備					
MS-1	<p>1)異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力パワウンタリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の影響を防止する構築物、系統及び機器</p> <p>4)原子炉停止後の除熱機能</p> <p>5)炉心冷却機能</p>	<p>残留熱を除去する系統 (余熱除去系、補助給水系、蒸気発生器2次側隔離弁までの主蒸気系・給水系、主蒸気安全弁、主蒸気逃がし弁(手動逃がし機能))</p>	余熱除去ポンプ、余熱除去冷却器、配管及び弁(余熱除去運転モードのルートとなる範囲)	余熱除去設備(余熱除去設備)	○	-	× (原子炉建屋、原子炉補助建屋に内包)	× (原子炉建屋、原子炉補助建屋で評価)	×
			直接関連系(余熱除去設備)	・ポンプミニマムフローライン配管、弁	○	-	× (原子炉建屋に内包)	× (原子炉建屋で評価)	○
			補助給水ポンプ(電動補助給水ポンプ、タービン駆動補助給水ポンプ、補助給水ピット、配管及び弁(補助給水ピットから補助給水ポンプを経て主給水配管との合流部までの範囲))	・タービンへの蒸気隔離配管、弁 ・ポンプミニマムフローライン配管、弁	○	-	× (原子炉建屋に内包)	× (原子炉建屋で評価)	○
			直接関連系(補助給水設備)	・タービンへの蒸気隔離配管、弁 ・ポンプミニマムフローライン配管、弁	○	-	× (原子炉建屋に内包)	× (原子炉建屋で評価)	○
			主蒸気設備(蒸気発生器、主蒸気隔離弁、主蒸気安全弁、主蒸気逃がし弁(手動逃がし機能))、配管及び弁	・タービンへの蒸気隔離配管、弁 ・ポンプミニマムフローライン配管、弁	○	-	× (原子炉建屋に内包)	× (原子炉建屋で評価)	○
			給水設備(蒸気発生器、主給水隔離弁、配管及び弁(蒸気発生器から主給水隔離弁の範囲))	・タービンへの蒸気隔離配管、弁 ・ポンプミニマムフローライン配管、弁	○	-	× (原子炉建屋に内包)	× (原子炉建屋で評価)	○
			低圧注入系(余熱除去ポンプ、余熱除去冷却器、燃料取替用水ピット、格納容器再循環サンプ、配管及び弁(燃料取替用水ピット及び格納容器再循環サンプから余熱除去ポンプ、余熱除去冷却器を経て1次冷却設備までの範囲))	・タービンへの蒸気隔離配管、弁 ・ポンプミニマムフローライン配管、弁	○	-	× (原子炉建屋に内包)	× (原子炉建屋で評価)	○
			直接関連系(低圧注入系)	・ポンプミニマムフローライン配管、弁	○	-	× (原子炉建屋に内包)	× (原子炉建屋で評価)	○
			高圧注入系(燃料取替用水ピット、高圧注入ポンプ、配管及び弁(燃料取替用水ピット及び格納容器再循環サンプから高圧注入ポンプを経て1次冷却設備までの範囲)、格納容器再循環サンプ)	・タービンへの蒸気隔離配管、弁 ・ポンプミニマムフローライン配管、弁	○	-	× (原子炉建屋に内包)	× (原子炉建屋で評価)	○
			直接関連系(高圧注入系)	・ポンプミニマムフローライン配管、弁	○	-	× (原子炉建屋に内包)	× (原子炉建屋で評価)	○
蓄圧注入系(蓄圧タンク、配管及び弁(蓄圧タンクから1次冷却設備低温側配管合流部までの範囲))	・タービンへの蒸気隔離配管、弁 ・ポンプミニマムフローライン配管、弁	○	-	× (原子炉建屋に内包)	× (原子炉建屋で評価)	○			

※1 電気、機械装置のうち主な施設の記載は、当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し、間接関連系の記載は省略した。

※2 運転時の異常な過速度変化及び設計基準事故解析



表 1-3 外部事象防護対象施設の抽出結果 (4/9)

分類	定義	機能	重要度分類項目		外部火災の影響を受ける屋外施設	外部事象防護対象施設のうち評価対象施設	二次的影響施設
			重要度分類のクラス1,2に属する構造物等	安全評価上 <sup>※2</sup> 期待する重要度分類のクラス3に属する構造物等			
MS-1	<p>2) 安全上必要な他の構造物、システム及び機器</p>	<p>非常用所内電源系、制御室及びその連へい・換気空調系、原子炉補機冷却水系、原子炉補機冷却水系、直流電源系、制御用圧縮空気設備(いずれも、MS-1関連のもの)</p>	<p>注)原子炉発電所3号炉 構造物、システム又は機器</p>		<p>× (ディーゼル発電機、原子炉補機冷却水系、原子炉補機冷却水系、原子炉補機冷却水系、原子炉補機冷却水系、原子炉補機冷却水系)</p>	<p>× (ディーゼル発電機、原子炉補機冷却水系、原子炉補機冷却水系、原子炉補機冷却水系、原子炉補機冷却水系)</p>	○
			<p>非常用交流電源設備(ディーゼル機関、ディーゼル発電機、ディーゼル発電機から非常用負荷までの配電設備及び電路)</p>				
			<p>直接関連系(非常用交流電源設備)<sup>※3</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料系</li> <li>・吸気系</li> <li>・始動用空気系</li> <li>・冷却水系</li> <li>・潤滑油系</li> </ul>				
			<p>中央制御室及び中央制御室連へい</p>				
			<p>中央制御室換気空調設備(放射線防護機能及び有毒ガス防護機能)(中央制御室非常用循環ファン、中央制御室非常用循環ファンユニット、中央制御室給気ユニット、中央制御室給気ファン、中央制御室循環ファン、ダクト及びタンク)</p>				
MS-1	<p>2) 安全上特に重要な関連機能</p>	<p>原子炉補機冷却水設備(原子炉補機冷却水ポンプ、原子炉補機冷却水冷却器、配管及び弁(MS-1関連補機への冷却水ラインの範囲))</p>	<p>直接関連系(原子炉補機冷却水設備)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉補機冷却水ポンプ</li> </ul>		<p>× (原子炉補機冷却水ポンプ)</p>	<p>× (原子炉補機冷却水ポンプ)</p>	○
			<p>原子炉補機冷却水設備(原子炉補機冷却水ポンプ、原子炉補機冷却水冷却器、配管及び弁(MS-1関連補機への海水供給ラインの範囲))</p>				
			<p>直接関連系(原子炉補機冷却水設備)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉補機冷却水ポンプ出口ストレーナ (異物除去機能を司る部分)</li> <li>・取水路(屋外トレンチ含む)</li> </ul>				
MS-1	<p>非常用直流電源設備(蓄電池、蓄電池から非常用負荷までの配電設備及び電路(MS-1関連))</p>	<p>計測制御用電源設備(制御用空気圧縮装置、配管及び弁(MS-1関連補機への制御用空気供給ラインの範囲))</p>	<p>非常用直流電源設備(蓄電池、蓄電池から非常用負荷までの配電設備及び電路(MS-1関連))</p>		<p>× (原子炉補機冷却水ポンプ)</p>	<p>× (原子炉補機冷却水ポンプ)</p>	○
			<p>計測制御用電源設備(蓄電池から非常用計測制御装置までの配電設備及び電路(MS-1関連))</p>				
			<p>制御用圧縮空気設備(制御用空気圧縮装置、配管及び弁(MS-1関連補機への制御用空気供給ラインの範囲))</p>				

※1 電氣、機械設備のうち主な施設の記載は、当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し、間接関連系の施設は省略した。  
 ※2 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事象放物  
 ※3 燃料貯蔵槽は屋外地下埋設構造であり、外部火災による火災からの放射熱が直接到達することのない構造のため評価対象外  
 ※4 原子炉補機冷却海水ポンプ及び原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナは、直流水ポンプ連中に収納されており、直接火災の影響を受けることはないが、周囲空気の温度上昇により、冷却機能への影響が懸念されることから、冷却機冷却海水ポンプ出口ストレーナを評価対象とする。

表 1-3 外部事象防護対象施設の抽出結果 (5/9)

分類	定義	重要度分類基準		重要度分類 のクラス1.2 に属する構 築物等	安全評価上 <sup>※2</sup> 期待 する重要度分類の クラス3に属する構 築物等	外部火災の 影響を受け る屋外施設	外部事象防護 対象施設のうち 評価対象施 設	二次的 影響対 象施 設	
		機能	建築物、系統又は機器						
PS-2	1) その損傷又は故障による発生する事業に伴って、炉心の損傷又は破損を直ちに起こすおそれがあるが、地震、洪水、火災等の外部からの放射線による過度の放射線放出のおそれがある建築物及び機器  2) 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであって、その故障により、炉心の冷却が可能な高い構造物、系統及び機器	1) 原子炉冷却材を内蔵する機能(ただし、原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く。)	化学体積制御設備の抽出系・浄化系	化学体積制御設備(再生熱交換器、糸軸抽出冷却器、非再生冷却器、冷却材混合式脱塩器、冷却材脱イオン脱塩器、冷却材脱塩器入口フィルタ、冷却材フィルタ、体積制御タンク、充てんポンプ、封水注入フィルタ、封水ストレータ、封水冷却器、配管及び弁)	○	×	×	×	
		2) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないもの、使用済燃料ピット(使用済燃料ピットを含む)貯蔵ラックを含む。)	放射性廃棄物処理施設(放射能インベントリの大きいもの、使用済燃料ピット(使用済燃料ラックを含む)貯蔵ラックを含む。)	放射性気体廃棄物処理設備(活性炭式希ガスホールドアップ装置、ガスサージタンク)	○	×	×	×	×
		3) 燃料を安全に取り扱う機能	燃料取扱設備	燃料取扱クレーン 燃料移送装置 使用済燃料ピットクレーン 燃料取扱クレーン 直接関連系(燃料取扱設備) <ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料取扱キャナル</li> <li>・原子炉キャビティ</li> <li>・キャスクピット</li> <li>・燃料搬送ピット</li> </ul>	○	×	×	×	×
		1) 安全弁及びひ逃がし弁の吹き止まり機能	加圧器安全弁、加圧器逃がし弁(いずれも、吹き止まり機能に関連する部分)	加圧器安全弁(吹き止まり機能)	○	×	×	×	×
		加圧器逃がし弁(吹き止まり機能)	加圧器逃がし弁(吹き止まり機能)	加圧器逃がし弁(吹き止まり機能)	○	×	×	×	×
		加圧器安全弁、加圧器逃がし弁(いずれも、吹き止まり機能に関連する部分)	加圧器安全弁、加圧器逃がし弁(いずれも、吹き止まり機能に関連する部分)	加圧器安全弁(吹き止まり機能)	○	×	×	×	×
		加圧器逃がし弁(吹き止まり機能)	加圧器逃がし弁(吹き止まり機能)	加圧器逃がし弁(吹き止まり機能)	○	×	×	×	×
		加圧器安全弁、加圧器逃がし弁(いずれも、吹き止まり機能に関連する部分)	加圧器安全弁、加圧器逃がし弁(いずれも、吹き止まり機能に関連する部分)	加圧器安全弁(吹き止まり機能)	○	×	×	×	×
		加圧器逃がし弁(吹き止まり機能)	加圧器逃がし弁(吹き止まり機能)	加圧器逃がし弁(吹き止まり機能)	○	×	×	×	×
		加圧器安全弁、加圧器逃がし弁(いずれも、吹き止まり機能に関連する部分)	加圧器安全弁、加圧器逃がし弁(いずれも、吹き止まり機能に関連する部分)	加圧器安全弁(吹き止まり機能)	○	×	×	×	×

※1 電気、機器装置のうち主な施設の記載は、当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し、間接関連系の記載は省略した。

※2 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

表 1-3 外部事象防護対象施設の抽出結果 (6/9)

分類	定義	機能	重要度分類(重要)指針		重要度分類 のクラス1,2 に属する構 築物等	安全評価上 <sup>※2</sup> 期待 する重要度 クラス3に属する構 築物等	外部火災の 影響を受け る屋外施設	外部事象防護 対象施設のうち 評価対象施 設	二次的 影響対象 施設
			機能	建築物、系統又は機器					
MS-2	1)PS-2の 構築物、 系統及び 機器の損 傷又は故 障は、公 衆の安全 に及ぼす 影響が小 さいこと を要する 構築物、 系統及び 機器  2) 異常対 応上の特 に重要な 構築物、 系統及び 機器	1)燃料プ ール水の補 給機能	使用済燃料ピ ット補給水系	燃料取替用水ピット 燃料取替用水ポン プ 配管及び弁(燃料取替用水ピットから燃料取替用水ポンプを経て、使用済燃料ピット までの範囲)	○	—	×	×	×
		2)放射性物質放出の 防止機能	放射性気体汚染 物処理系の隔離 弁、燃料集合体 落下事故時放射 能放出を低減す る系、排気筒 (補助建屋)	放射性気体汚染物処理設備の隔離弁	放射性気体汚染物処理設備の隔離弁	○	—	×	×
		1)事故時のプラント 状態の把握機能	事故時監視計器 の一部	<ul style="list-style-type: none"> <li>中性子湾領域中性子束</li> <li>原子炉トリップ遮断器の状態</li> <li>ほう素濃度(サンプリング分析)</li> <li>1次冷却材圧力</li> <li>1次冷却材管温度(広域)及び1次冷却材低温側温度(広域)</li> <li>加圧器水位</li> <li>原子炉格納容器圧力</li> <li>格納容器高レンジエリアモニタ(低レンジ)</li> <li>格納容器高レンジエリアモニタ(高レンジ)</li> </ul> 【低温停止への移行】 <ul style="list-style-type: none"> <li>1次冷却材圧力</li> <li>1次冷却材管温度(広域)及び1次冷却材低温側温度(広域)</li> <li>加圧器水位</li> <li>ほう酸タンク水位</li> </ul> 【蒸気発生器機能】 <ul style="list-style-type: none"> <li>蒸気発生器水位(広域)</li> <li>蒸気発生器水位(狭域)</li> <li>補助凝縮水ライン流量</li> </ul> 【蒸気発生器2次側機能】 <ul style="list-style-type: none"> <li>蒸気発生器水位(広域)</li> <li>蒸気発生器水位(狭域)</li> <li>補助凝縮水ライン量</li> <li>主蒸気ライン圧力</li> <li>補助給水ピット水位</li> </ul> 【再循環モードへの切替】 <ul style="list-style-type: none"> <li>燃料取替用水ピット水位</li> <li>原子炉格納容器再循環サンプ水位(狭域)</li> <li>格納容器再循環サンプ水位(広域)</li> </ul>	○	—	×	×	×

※1 電気、機械装置のうち主な施設の記載は、当該系及び直接関連系の施設を省略した。  
 ※2 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

表 1-3 外部事象防護対象施設の抽出結果 (7/9)

分類	定義	重要度分類標準		重要度分類		安全評価上2期等する重要度分類のクラス3に属する構造物等	外部火災の影響を受けらる屋外施設	外部事象防護対象施設のうち評価対象施設	二次的影響評価対象施設	
		機能	重要度分類標準	重要度分類	重要度分類					
MS-2	2)異常状態への対応に特に重要な構造物、系統及び機器	加圧器透かし弁(手動閉鎖機能)	加圧器透かし弁(手動閉鎖機能)	○	○	—	×	×	×	
		2)異常状態の緩和機能	加圧器ヒータ(後備ヒータ), 加圧器透かし弁弁弁	○	○	—	×	×	×	
		3)制御室外からの安全停止機能	制御室外原子炉停止装置(安全停止に關連するもの)	○	○	—	×	×	×	
PS-3	1)異常状態の起因となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構造物、系統及び機器	1)原子炉冷却材保持機能(PS-1, PS-2以外のももの)	計表配管, 弁 試料採取設備の配管, 弁 ドレン配管, 弁 ベント配管, 弁 1次冷却材ポンプ 化学体積制御設備(封水注入系, 1次冷却材ポンプスタンドバイ, 配管, 弁) 加圧器透かしタンク	×	×	×	—	—	—	
		2)原子炉冷却材の循環機能	1次冷却材ポンプ及びその関連系	×	×	×	—	—	—	
		3)放射性物質の貯蔵機能	放射性廃棄物処理施設(放射能インベントリ <small>の小さいもの</small> )	×	×	×	—	—	—	
		4)電源供給機能(非常用を除く。)	蒸気タービン(主タービン, 主要弁, 配管)	タービン発電機固定子巻線冷却水系 タービン発電機ガス系 タービン発電機密封油系 励磁装置	×	×	×	—	—	—
			直接関連系(蒸気タービン)	主蒸気設備(主蒸気, 駆動機) タービン制御系 タービン潤滑油系	×	×	×	—	—	—
			復水設備(復水器, 復水ポンプ, 循環水ポンプ, 配管, 弁)	復水器空気抽出系(機械式空気抽出系, 配管, 弁) 取水設備(屋外トレンチを含む)	×	×	×	—	—	—
			直接関連系(復水設備)	復水器空気抽出系(機械式空気抽出系, 配管, 弁) 取水設備(屋外トレンチを含む)	×	×	×	—	—	—
			給水設備(電動主給水ポンプ, タービン動主給水ポンプ, 給水加熱器, 配管, 弁)	給水設備(電動主給水ポンプ, タービン動主給水ポンプ, 給水加熱器, 配管, 弁) 直接関連系(給水設備)	×	×	×	—	—	—
			直接関連系(給水設備)	給水設備(電動主給水ポンプ, タービン動主給水ポンプ, 給水加熱器, 配管, 弁) 直接関連系(給水設備)	×	×	×	—	—	—
			直接関連系(給水設備)	給水設備(電動主給水ポンプ, タービン動主給水ポンプ, 給水加熱器, 配管, 弁) 直接関連系(給水設備)	×	×	×	—	—	—

※1 電気、機械装置のうち主要な施設の記載は、当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し、間接関連系の記載は省略した。  
 ※2 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故時

表 1-3 外部事象防護対象施設の抽出結果 (8/9)

分類	定義	機能	重要度分類審査指針		重要度分類 のクラス1.2 に属する構 造物等	安全評価上 <sup>※2</sup> 期待 する重要度分類の クラス3に属する構 造物等	外部火災の 影響を受け る屋外施設	外部事象防護 対象施設のうち 評価対象施 設	二次的 影響評 価対象 施設
			重要度分類審査指針	重要度分類審査指針					
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであつて、PS-1及びPS-2以外の構造物、系統及び機器	4) 電源供給機能(非常用を除く。)	主蒸気系(隔離弁以後)、給水系(隔離弁以前)、送電線、変圧器、開閉所	常用内電源設備(発電機又は外部電源系から所内負荷までの配電設備及び電路(MS-1関連以外))	×				
				直流電源設備(蓄電池、蓄電池から常用負荷までの配電設備及び電路(MS-1関連以外))					
				計測制御用電源設備(電源装置から常用計測制御装置までの配電設備及び電路(MS-1関連以外))					
				制御駆動装置用電源設備					
				送電線					
				変圧器(主変圧器、所内変圧器、予備変圧器、後備変圧器、電路)					
				直接関連系(変圧器)					
				発電機負荷開閉器					
				開閉所(母線、遮断器、断路器、電路)					
				原子炉制御設備の一部					
原子炉計表の一部									
プロセス計表の一部									
補助蒸気設備(蒸気供給系配管を含む補助蒸気ドレンタンク補助蒸気ドレンポンプスチームコンバータスチームコンバータ給排水タンク)									
直接関連系(補助蒸気設備)									
制御用空気設備(MS-1以外)									
原子炉補給冷却水設備(MS-1以外)(配管、弁)									
融雪冷却水冷却設備(融雪冷却ポンプ、熱交換器、配管、弁)									
直接関連系(融雪冷却冷却設備)									
給水処理設備(配管、弁)									
直接関連系(給水処理設備)									
燃料搬送管									
上/下部端柱									
2) 原子炉中物放射線性を通常濃度を維持するに支障のない程度に低く抑える構造物、系統及び機器	1) 核分裂生成物の原子炉冷却材中への放射線防止機能	燃料搬送管	補助蒸気系、制御用圧縮空気設備(MS-1以外)	補助蒸気設備(補助蒸気設備)	×				
2) 原子炉冷却材の浄化機能	化学体積制御設備の浄化系(浄化機能)	化学体積制御設備(体積制御タンク、再生熱交換器(銅制)、非再生冷却器(管側)、冷却材混床式脱塩塔、冷却材陽イオン脱塩塔、冷却材脱塩塔入口フィルタ、冷却材フィルタ、抽出設備関連配管、弁)	×						

※1 電気、機械装置のうち主要施設の記載は、当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し、間接関連系の記載は省略した。  
 ※2 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故時

表 1-3 外部事象防護対象施設の抽出結果 (9/9)

分類	定義	重要度分類標準(通)指針		外部事象防護対象施設		外部火災の影響を受ける屋外施設	外部事象防護対象施設のうち評価対象施設	二次的影響評価対象施設
		機能	重要度分類標準(通)指針	構造物、系統又は機器	重要度分類標準(通)指針			
MS-3	1) 運転時の異常な過渡変化が、MS-1、MS-2とあって、事象を緩和する構造物、系統及び機器	1) 原子炉圧力の上昇の緩和機能	加圧器逃がし弁 (自動操作)	加圧器逃がし弁 (自動操作) 直接関連系 (加圧器逃がし弁 (自動操作))	加圧器から加圧器逃がし弁までの配管	-	-	-
		2) 出力上昇の抑制機能	タービランバックシステム、制御棒引抜阻止インターロック	タービランバックシステム、制御棒引抜阻止インターロック	・加圧器から加圧器逃がし弁までの配管	-	-	-
MS-3	3) 原子炉冷却材の補給機能	1) 原子炉冷却材の補給機能	化学体積制御設備の系統、1次冷却系補給水設備	ほう酸補給タンク	ほう酸補給タンク	-	-	-
				ほう酸濃度計	ほう酸濃度計	-	-	-
				1次冷却水タンク、配管、弁	1次冷却水タンク、配管、弁	-	-	-
				1次系補給水ポンプ	1次系補給水ポンプ	-	-	-
MS-3	2) 異常時対策上重要な構造物、系統及び機器	1) 緊急時対策上重要な構造物、系統及び機器	原子炉緊急時対策施設、燃料採取系、通信連絡設備、放射線監視設備、事故時監視器の一部、消火系、非常用照明通路、非常用照明	直接関連系 (1次系補給水ポンプ)	・ポンプミニマムフロアライン配管、弁	-	-	-
				タービン保安装置※3	タービン保安装置※3	-	-	-
MS-3	2) 異常時対策上重要な構造物、系統及び機器	1) 緊急時対策上重要な構造物、系統及び機器	原子炉緊急時対策施設	主蒸気止め弁 (閉機能) ※ 3	主蒸気止め弁 (閉機能) ※ 3	-	-	-
				原子炉緊急時対策施設	原子炉緊急時対策施設	-	-	-
				直接関連系 (原子炉緊急時対策施設)	・情報収集設備 ・通信連絡設備 ・資材及び器材	-	-	-
				蒸気発生器ブローダウンライン (サンプリング機能を有する範囲)	蒸気発生器ブローダウンライン (サンプリング機能を有する範囲)	-	-	-
				燃料採取設備 (異常時に必要な機能を有する配管、弁 (原子炉冷却材放射線物質濃度サンプリング分析、原子炉格納容器雰囲気放射線物質濃度サンプリング分析))	燃料採取設備 (異常時に必要な機能を有する配管、弁 (原子炉冷却材放射線物質濃度サンプリング分析、原子炉格納容器雰囲気放射線物質濃度サンプリング分析))	-	-	-
				通信連絡設備	通信連絡設備	-	-	-
				放射線監視設備	放射線監視設備	-	-	-
				事故時監視器の一部	事故時監視器の一部	-	-	-
				消火設備 (水消火設備、泡消火設備、二酸化炭素消火設備)	消火設備 (水消火設備、泡消火設備、二酸化炭素消火設備)	-	-	-
				ポンプ冷却水	・ポンプ冷却水 ・ろ過水タンク	-	-	-
				火災検出装置 (受信機含む)	・火災検出装置 (受信機含む) ・防火扉、防火ダンパー、防火壁	-	-	-
				隔壁 (消火設備の機能を維持・担保するための必要なもの)	・ポンプ冷却水 ・ろ過水タンク ・火災検出装置 (受信機含む) ・防火扉、防火ダンパー、防火壁	-	-	-
				安全避難通路	安全避難通路	-	-	-
				直接関連系 (安全避難通路)	直接関連系 (安全避難通路)	-	-	-
非常用照明	非常用照明	-	-	-				

※1 電気、機械装置のうち主な施設の記載は、当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し、間接関連系の記載は省略した。  
 ※2 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析  
 ※3 添付書類十の「運転時の異常な過渡変化」のうち「蒸気発生器への過剰給水」の解析において「タービントリップ機能」(タービン保安装置及び主蒸気止め弁 (閉機能)) を影響緩和のための安全機能として期待している。外部火災を起因として蒸気発生器への過剰給水が発生することは無いが、独立事象としての重畳の可能性を考慮し、タービン超程も含め安全上支障のない期間に補修等の対応を行うことで、安全機能を損なわない設計とすることから、熱影響評価は実施しない。



(1) その他の別の評価対象施設に包絡される評価対象施設について

a. 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナについて

原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナは以下の理由により同じ循環水ポンプ建屋内にあり動的機器である原子炉補機冷却海水ポンプの評価に包絡される。

- ・循環水ポンプ建屋内にある機器の評価では、火災源から対象までの離隔距離を一律循環水ポンプ建屋外壁までとしているため、離隔距離が同じとなる。原子炉補機冷却海水ポンプと原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナの位置を図1及び図2に示す。
- ・動的機器である原子炉補機冷却海水ポンプは、冷却空気への評価を行っており、この熱影響の評価は、同様の材質である原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナに対しても同じ結果となる。

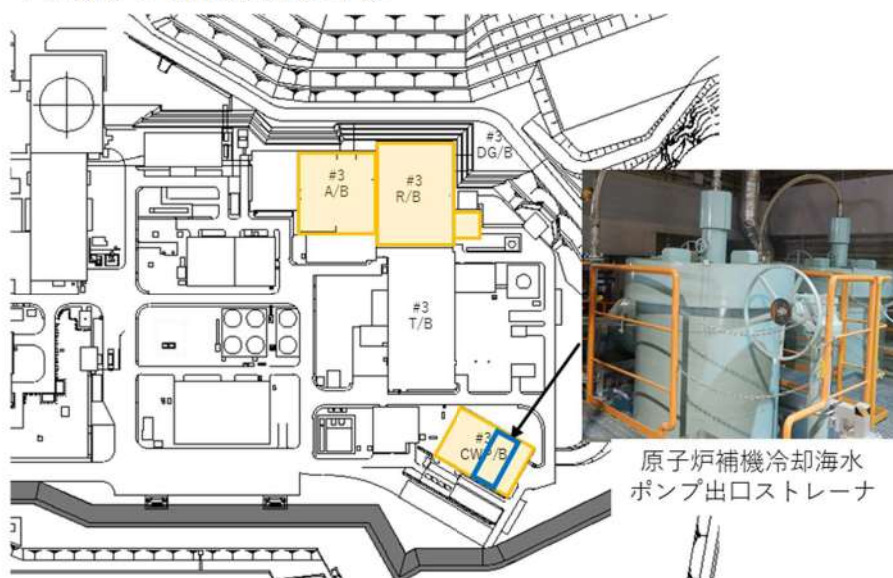


図1 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナの配置

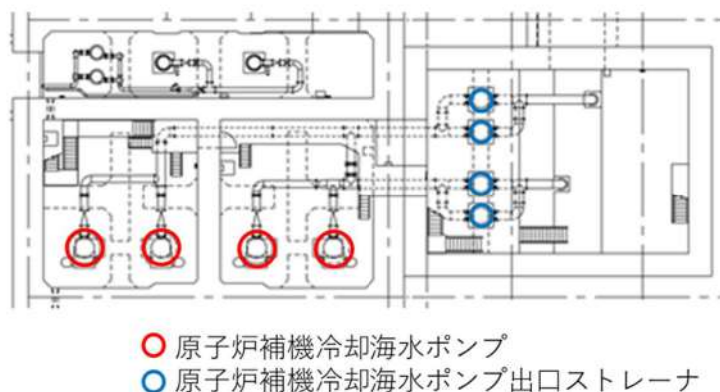


図2 原子炉補機冷却海水ポンプと原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナの位置

#### 4. 重大事故等対処設備について

評価対象施設を外部火災から防護することにより，外部火災によって重大事故等の発生に至ることはない。

また，重大事故等対処設備は，防火帯幅の確保及び建屋外壁等により防護する。

## 森林火災による影響評価について

## 1. はじめに

本評価は、発電所敷地外で発生する火災に対して安全性向上の観点から、森林火災が泊発電所に迫った場合でも発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。2章にて火災の到達時間及び防火帯幅の評価、3章にて危険距離及び温度影響評価を実施する。

## 2. 火災の到達時間及び防火帯幅の評価

### 2.1 森林火災の想定

森林火災の想定は以下のとおりである。

- ・植生データは、森林の現状を把握するため、森林簿を入手し、その情報を元に防火帯周辺の植生調査を実施する。その結果から、保守的な可燃物パラメータを設定し、土地利用データにおける森林領域を、樹種・林齢によりさらに細分化する。
- ・気象条件は過去10年間(2003～2012年)を調査し、森林火災の発生件数の多い4～6月の最小湿度、最高気温、及び最大風速の組み合わせとする。(図2-1)
- ・風向は卓越方向とし、泊発電所の風上に発火点を設定する。  
気象条件を表2-1に示す。
- ・泊発電所からの直線距離10kmの間で設定する。
- ・発火源は最初に人為的行為を考え、居住地区及び道路沿いを発火点とする。発火点位置を図2-3～図2-6に示す。
- ・放水等による消火活動は期待しない。

表2-1 気象条件

	風向[16方位]	最大風速[m/s]	最大気温[℃]	最小湿度[%]
発火点1	東	29.7	30.0	13
発火点2	北西	29.7	30.0	13

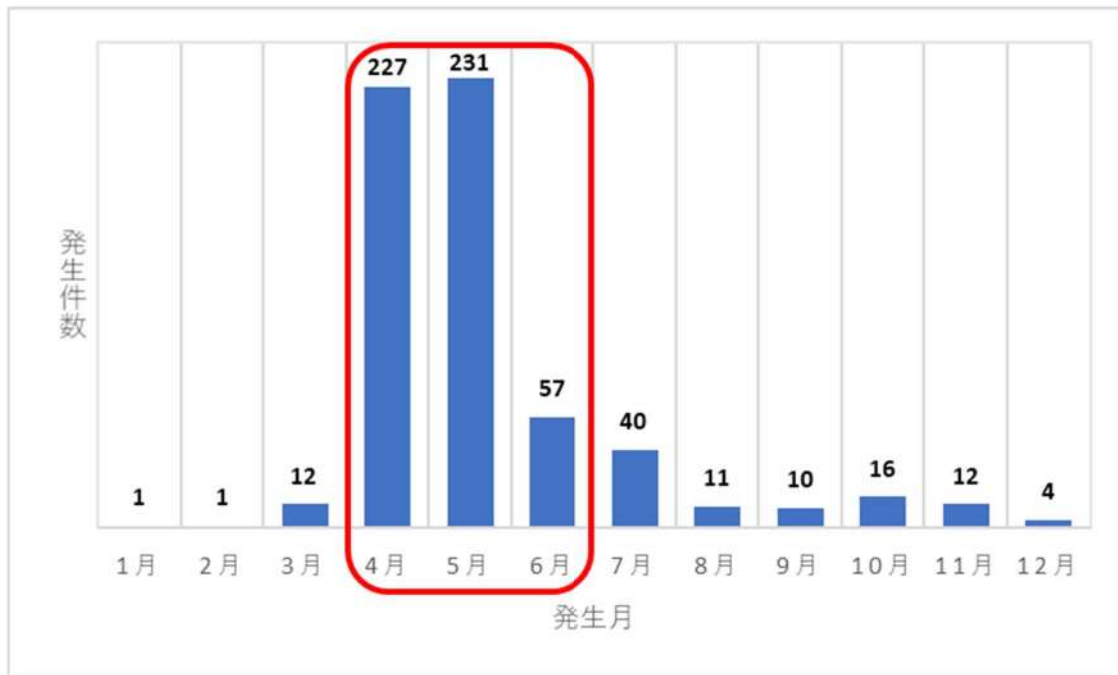


図 2-1 森林火災の月別発生件数（1993～2012 年）

(1) 発火点の設定方針

- ・ 泊発電所からの直線距離 10km の間に設定する。
- ・ 発電所風上を選定する。
- ・ 風向は、卓越風向の風である東及び北西を選定する。(表 2-2-1～表 2-2-3)
- ・ 人為的行為を考え、居住地区及び道路沿いを選定する。

なお、1993 年～2012 年度の北海道の林野火災の主な発生原因は、図 2-2 に示すとおり、割合の多い順でごみ焼 20.6%，たばこ・マッチ 11.4%，たき火 6.7%，火遊び 5.4%となっている。いずれの発生原因も、民家、田畑周辺あるいは道路沿いで発生する人為的行為となっている。

表 2-2-1 発電所内気象観測所 A 点における卓越風向 (2003~2012 年)

風向	4月			5月			6月			合計
	風向 (時間単位) の 出現回数	最大風速 (日単位) の 出現回数	風速の 10年間 最大値 (m/s)	風向 (時間単位) の 出現回数	最大風速 (日単位) の 出現回数	風速の 10年間 最大値 (m/s)	風向 (時間単位) の 出現回数	最大風速 (日単位) の 出現回数	風速の 10年間 最大値 (m/s)	風向 (時間単位) の 出現回数
北	88	4	8.4	89	2	9.3	59	0	6.8	236
北北東	109	3	7.9	131	3	8.3	65	3	8.7	305
北東	169	5	8.0	193	7	10.0	114	3	7.4	476
東北東	401	4	17.2	338	6	20.5	326	4	12.0	1065
東	1840	85	25.2	2061	100	29.2	2111	110	19.5	6012
東南東	624	18	23.3	704	24	23.4	607	15	24.4	1935
南東	270	3	21.8	283	2	18.0	201	2	17.1	754
南南東	135	4	14.3	149	3	13.8	103	1	9.6	387
南	118	2	9.9	111	0	10.9	62	1	10.4	291
南南西	55	3	11.1	51	0	11.5	32	0	7.3	138
南西	113	1	23.7	88	1	24.2	77	1	7.7	278
西南西	390	29	29.6	275	19	25.1	179	6	21.2	844
西	984	56	29.7	728	41	24.8	596	26	21.6	2308
西北西	1041	57	23.6	1037	53	20.2	1166	65	15.0	3244
北西	715	21	19.4	974	46	13.8	1230	60	12.9	2919
北北西	116	2	10.7	174	0	10.4	258	2	8.2	548

風向の出現回数：1時間値

最大風速の出現回数：1時間値、1日の欠測が4時間以内、同値の場合は出現時間が遅い時間

風速の最大値：1時間値

最多頻度

2番目に多い頻度

表 2-2-2 発電所内気象観測所 C 点における卓越風向 (2003~2012 年)

風向	4月			5月			6月			合計
	風向 (時間単位) の 出現回数	最大風速 (日単位) の 出現回数	風速の 10年間 最大値 (m/s)	風向 (時間単位) の 出現回数	最大風速 (日単位) の 出現回数	風速の 10年間 最大値 (m/s)	風向 (時間単位) の 出現回数	最大風速 (日単位) の 出現回数	風速の 10年間 最大値 (m/s)	風向 (時間単位) の 出現回数
北	93	2	4.7	105	1	4.8	87	0	4.1	285
北北東	84	2	3.8	100	1	4.4	59	0	4.4	243
北東	288	1	4.5	237	3	5.2	197	1	4.1	700
東北東	830	12	14.2	714	14	18.0	804	13	9.8	2148
東	1539	75	20.8	1791	85	22.9	1805	105	18.4	5135
東南東	527	23	23.1	584	29	21.0	494	23	21.5	1805
南東	271	9	22.0	314	13	17.5	208	4	10.0	793
南南東	94	4	12.1	100	2	12.0	80	0	7.7	254
南	95	1	8.1	88	0	11.0	58	0	5.5	237
南南西	70	2	8.4	54	0	8.9	47	0	5.2	171
南西	87	0	11.0	85	1	18.2	68	1	4.4	220
西南西	341	15	24.0	272	10	20.2	207	2	10.4	820
西	1144	80	24.7	868	60	18.1	739	44	15.0	2751
西北西	1091	88	18.5	1102	89	15.8	1220	73	14.5	3413
北西	549	8	13.5	849	21	10.2	1078	32	8.4	2474
北北西	131	0	7.1	172	0	8.8	281	1	5.8	584

風向の出現回数：1時間値

最大風速の出現回数：1時間値、1日の欠測が4時間以内、同値の場合は出現時間が遅い時間

風速の最大値：1時間値

最多頻度

2番目に多い頻度

表 2-2-3 発電所内気象観測所 Z 点における卓越風向 (2003~2012 年)

風向	4月			5月			6月			合計
	風向 (時間単位) の 出現回数	最大風速 (日単位) の 出現回数	風速の 10年間 最大値 (m/s)	風向 (時間単位) の 出現回数	最大風速 (日単位) の 出現回数	風速の 10年間 最大値 (m/s)	風向 (時間単位) の 出現回数	最大風速 (日単位) の 出現回数	風速の 10年間 最大値 (m/s)	風向 (時間単位) の 出現回数
北	220	2	7.2	342	4	7.1	378	2	6.8	940
北北東	178	6	6.8	212	6	8.1	175	1	6.0	565
北東	284	3	6.1	323	2	6.7	280	2	7.5	867
東北東	522	4	8.0	460	0	9.8	501	2	6.0	1483
東	679	3	11.5	540	5	10.5	473	5	9.4	1692
東南東	1100	70	14.5	1262	75	14.5	1073	63	12.3	3465
南東	522	14	19.3	475	20	14.0	358	12	13.8	1355
南南東	310	10	17.0	317	10	11.9	221	8	9.5	848
南	162	2	9.7	164	1	14.9	138	1	8.2	464
南南西	78	2	9.3	51	0	7.4	57	0	4.7	186
南西	84	2	15.8	84	3	18.9	101	2	5.8	269
西南西	272	18	18.1	230	12	16.3	174	5	10.5	676
西	647	43	18.7	443	25	14.0	351	14	12.1	1441
西北西	734	34	17.0	594	28	17.1	604	29	10.2	1932
北西	870	59	21.2	920	69	17.5	1140	78	11.9	2930
北北西	534	29	12.6	973	51	10.8	1141	74	14.4	2648

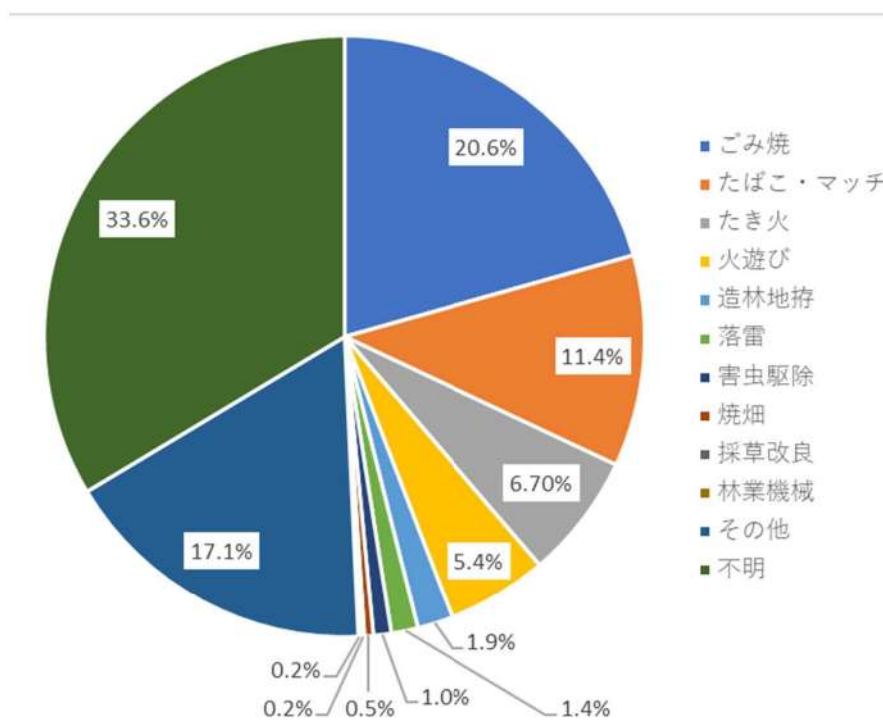
風向の出現回数：1 時間値

最大風速の出現回数：1 時間値, 1 日の欠測が 4 時間以内, 同値の場合は出現時間が遅い時間

風速の最大値：1 時間値

■ 最多頻度

■ 2 番目に多い頻度



(出典：林野火災被害統計書 (平成 24 年度版) 北海道水産林務部)

図 2-2 火災の出火原因割合 (1993 年~2012 年)

(2) 立地条件を考慮した発火点の設定

(発火点 1)

卓越風向の東方向において、社員寮等の居住区が存在する道路脇畑に発火点を選定する。(3号炉原子炉炉心の中心から約2.5km)

(発火点 2)

卓越風向の北西方向において、民家等の居住区が存在する集落端と森林の境界部に発火点を選定する。(3号炉原子炉炉心の中心から約1.5km)

(3) 森林火災評価における発火点の妥当性

(発火点 1)

当該地点付近の畑地には保守的に Tall grass を設定していること並びにまわりは森林であり植生データは大きく変わらないことから、発火点を付近で移動させたとしても、当該地点より評価結果が厳しくなることはない。また、火災規模が大きくなる登り斜面になることを考慮している。

よって、卓越風向の方向で人為的行為を想定し道路脇畑を発火点として設定した。

(発火点 2)

当該地点付近は森林であり植生データは大きく変わらないことから、発火点を付近で移動させたとしても、当該地点より評価結果が厳しくなることはない。また、火災規模が大きくなる登り斜面になることを考慮している。

よって、卓越風向の方向で人為的行為を想定し集落端と森林の境界部を発火点として設定した。

(4) 発火時刻の設定

日照による草地及び樹木の乾燥に伴い、火線強度が増大することから、これらを考慮して火線強度が最大となる発火時刻を設定する。



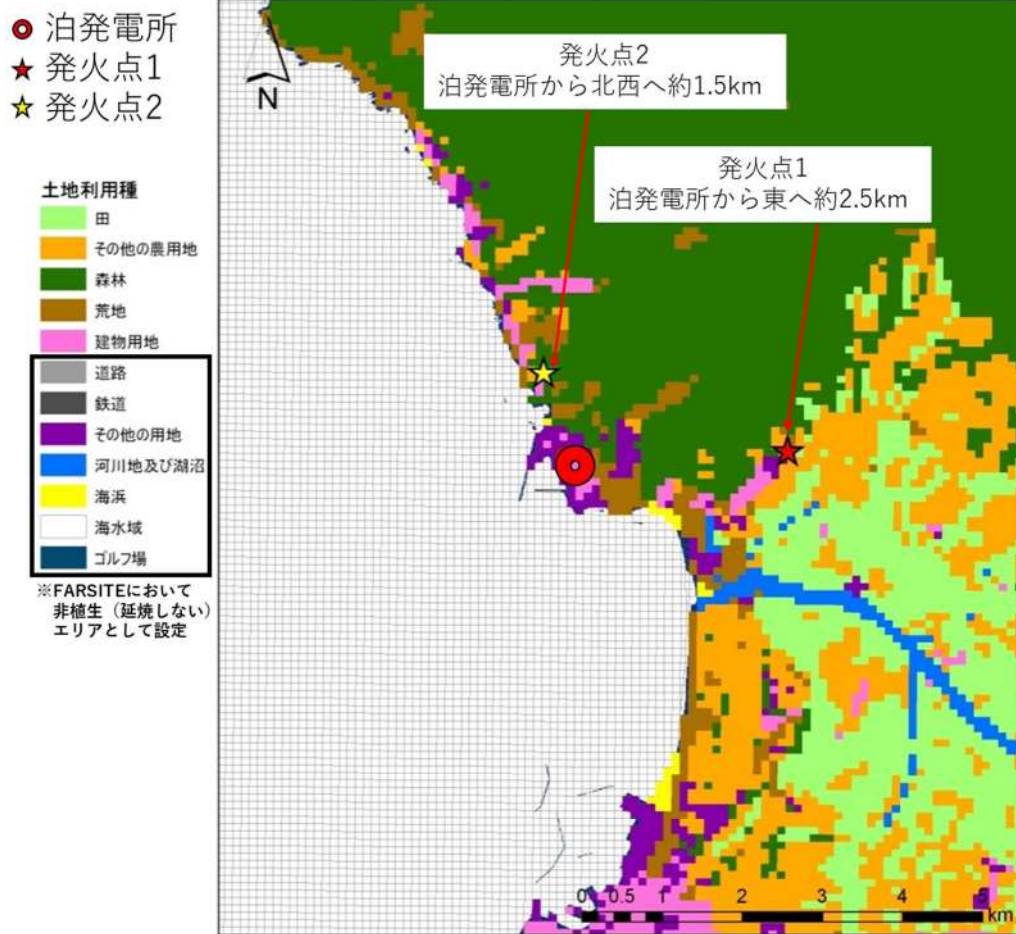


図 2-3 想定発火点位置



図 2-4 評価発火点位置 (航空写真)



図 2-5 発火点 1 拡大図



図 2-6 発火点 2 拡大図

## 2. 2 森林火災による影響の有無の評価

### (1) 評価手法の概要

本評価は、泊発電所に対する森林火災の影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標と観点を以下に示す。

表 2-3 評価指標と観点

評価指標	評価の観点
延焼速度 [km/h]	・ 火炎発生後、どの程度の時間で泊発電所に到達するのか  ・ 泊発電所に到達し得る火災の規模はどの程度か ・ 必要となる消火活動の能力や防火帯の規模はどの程度か
火線強度 [kW/m]	
反応強度 [kW/m <sup>2</sup> ]	
火炎長 [m]	
火炎輻射発散度 [kW/m <sup>2</sup> ]	
火炎輻射強度 [kW/m <sup>2</sup> ]	
火炎到達幅 [m]	

### (2) 評価対象範囲

評価対象範囲は発電所近傍の発火想定地点を 10km 以内とし、評価対象範囲は泊発電所から南に 13km、北に 13km、東に 13km、西に 13km とする。

(3) 必要データ

a. 入力条件

評価に必要なデータを以下のとおり設定し、本評価を行った。

表 2-4 森林火災評価のための入力データ一覧

データ種類	外部火災影響評価ガイドの記載	発電所での評価で用いたデータ
土地利用データ	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100mメッシュの土地利用データを用いる。(国土数値情報 土地利用細分メッシュ)	同左 国土数値情報(国土交通省)の100mメッシュの土地利用データを使用した。
植生データ	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現地の地方自治体より入手する。森林簿の情報を用いて、土地利用データにおける森林領域を、樹種・林齢によりさらに細分化する。	同左 北海道より森林簿を入手し、森林簿の情報を基に発電所周辺の植生調査を実施した。 その結果から、保守的に可燃物パラメータを設定し、土地利用データにおける森林領域を、樹種・林齢により細分化した。
地形データ	現地状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中でも高い空間解像度である10mメッシュの標高データを用いる。 傾斜度、傾斜方向については標高データから計算する。(基盤地図情報 数値標高モデル10mメッシュ)	同左 基盤地図情報(国土地理院)の10mメッシュの標高データを使用した。
気象データ	現地にて起こり得る最悪の条件を検討するため、森林火災の発生件数の多い月の過去10年間の最大風速、最高気温、最小湿度の条件を採用する。	同左 北海道において森林火災発生件数の多い4月～6月の過去10年間の最大風速、最高気温、最小湿度の条件を採用した。 風向は各発火点から原子炉建屋方向に設定した。

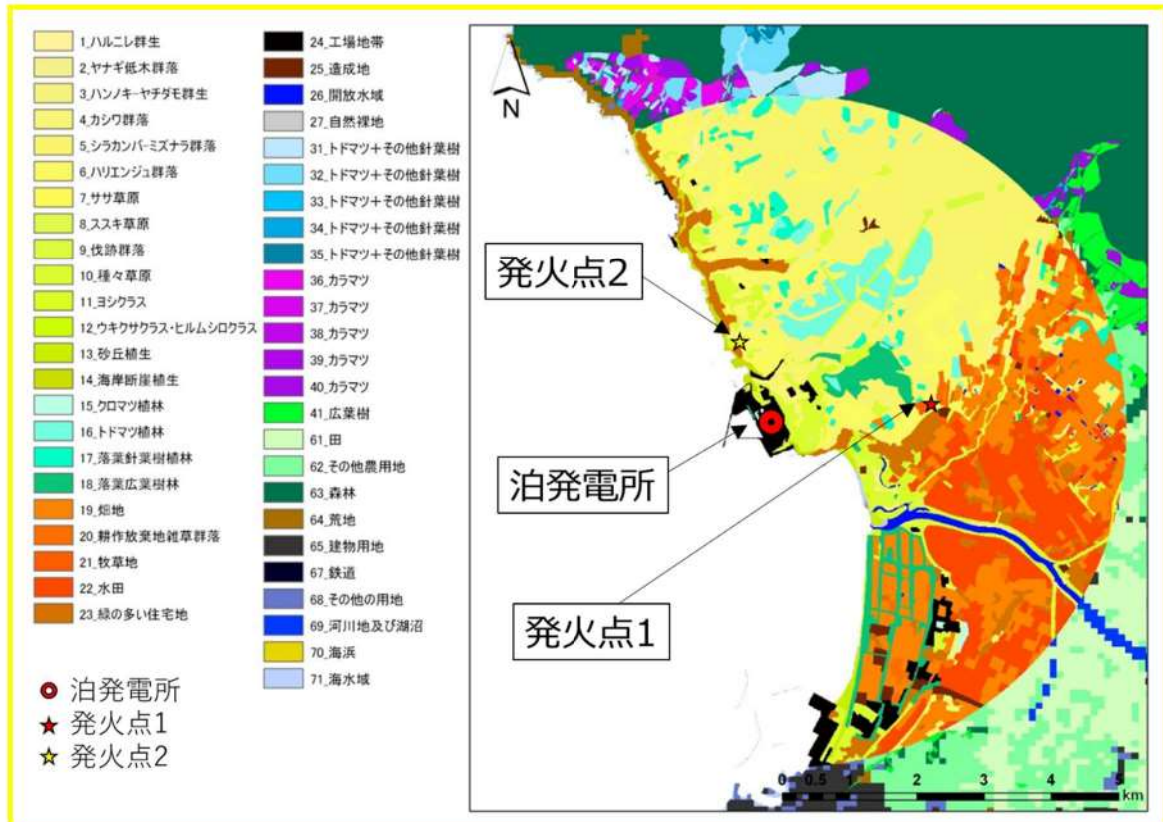


図 2-7 発電所周辺植生分布図

発電所敷地外の標高データについては、外部火災影響評価ガイドに従い、現地状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中で最も空間解像度の高い基盤地図情報数値標高モデル 10m メッシュの標高データを用いた。

傾斜及び傾斜方位データについては、上記の標高データより算出した。

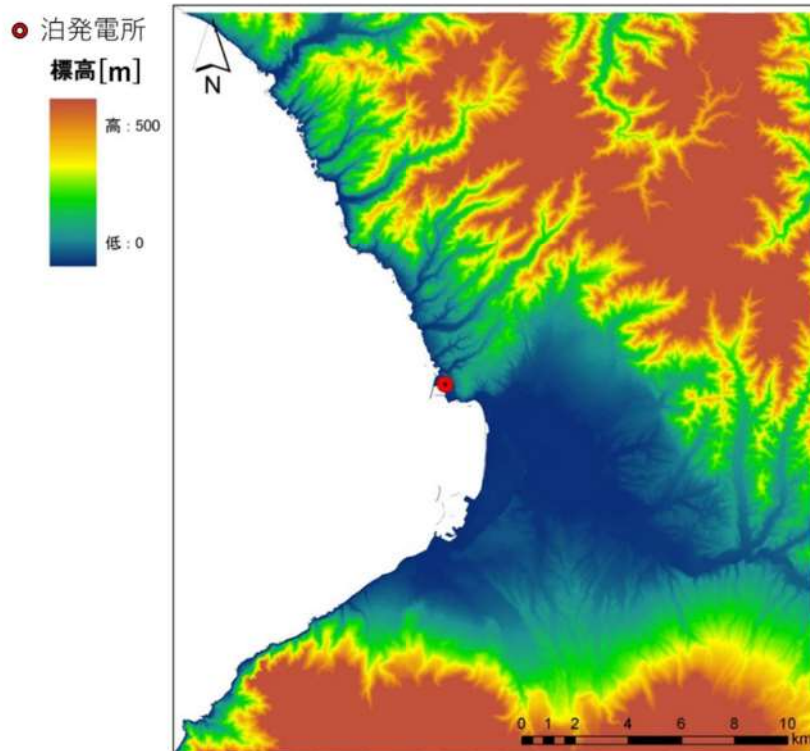


図 2-8 発電所敷地外の標高データ

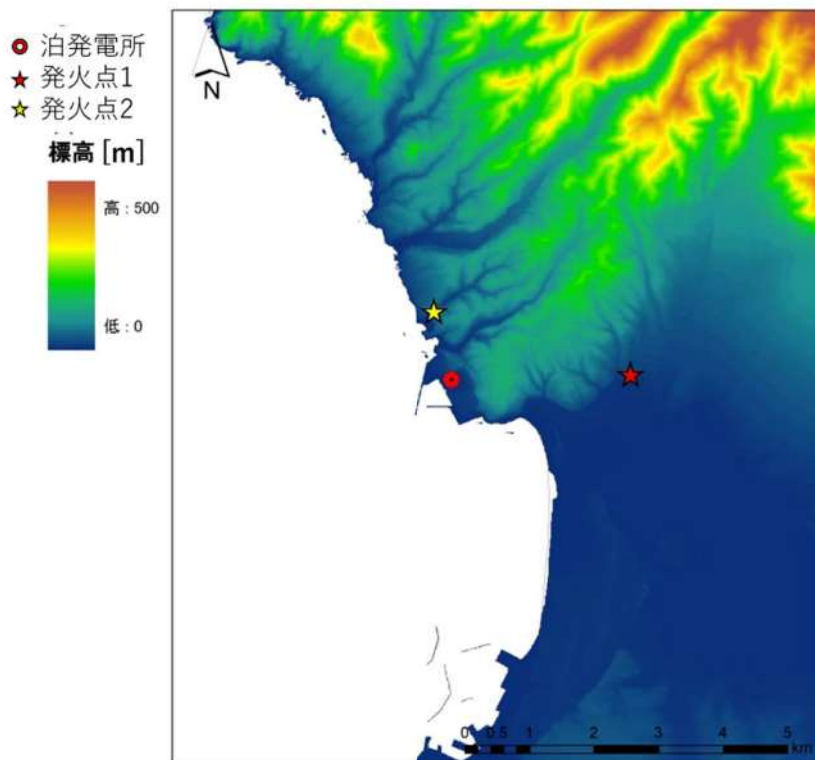


図 2-9 発電所周辺の標高データ



## b. 気象条件の設定

気象データには発電所内の気象観測データ及び発電所敷地外の公開情報である気象庁の気象統計情報があるが、外部火災影響評価においては発火想定地点を発電所から10km以内とした敷地外の火災の発生・進展を評価することから、発火点に最も近い発電所内の気象観測データを使用し、森林火災発生件数の多い4～6月の過去10年間の気象データを調査し、卓越風向、最大風速、最高気温、最小湿度の条件を選定した(表2-5)。

この調査結果に基づき FARSITE の入力値は表2-6のとおり設定した。発電所内の気象観測設備の配置位置を図2-10に示す。また、発電所内の気象観測データから設定した入力値(気温:30.0℃, 湿度:13%, 最大風速:29.7m/s)は、発電所と同じく後志地方の海沿いにあり約35km離れた寿都特別地域気象観測所における同期間の値(気温:29.2℃, 湿度:10%, 最大風速:19.2m/s)と比較すると、気温及び湿度は同等であり、風速は約10m/s高い。FARSITEにおいて、風速の上昇は延焼速度及び火線強度を上昇させる。一方、気温及び湿度は可燃物特性(含水比)に影響を与えるが、初期条件にて含水比を低く設定しているため解析結果に大きな影響がない。以上より、発電所内の気象観測データを使用することは保守的である。

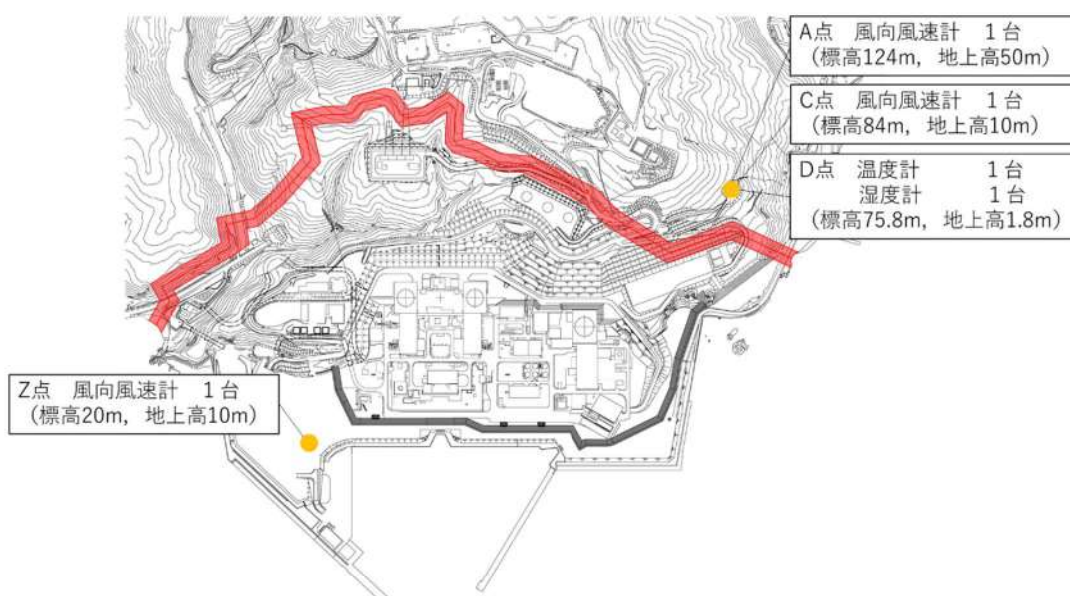


図2-10 発電所内の気象観測設備位置

表 2-5 2003～2012 年の 4～6 月の気象データ

月	泊発電所（観測期間：2003～2012 年）					北海道 1993-2012 年 月別 火災発生 頻度*1
	気温 (°C)	風速 (m/s)		卓越風向	湿度 (%)	
	最高 気温	最大 風速	最大風速 記録時の 風向	最多風向	最小 湿度	
4 月	22.6	29.7	西	東	13	227
5 月	24.7	29.2	東	東	14	231
6 月	30.0	24.4	東南東	東	18	57

\*1 「林野火災被害統計書（平成 24 年度版）北海道水産林務部」

気温, 湿度：瞬間値 (D 点)

風速, 風向：1 時間値 (A, C, Z 点)

□ : FARSITE 入力データ

c. FARSITE 入出力データ

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及び入力条件を設定する。

表 2-6 FARSITE 入力データ（気象データ）

大区分	小区分	入力値	入力値の根拠
気象 データ	風速[km/h]	100	火災の延焼・規模の拡大を図るため、森林火災発生件数が多い月の発電所の最大風速 29.7m/s に基づき入力可能な最大値である 100km/h を入力
	風向[deg]	90(東) 315(北西)	風向は各発火点から原子炉建屋方向に設定
	気温[°C]	30	樹木の燃焼性を高めるため、森林火災発生件数が多い月(4～6月)の発電所の最高気温を入力
	湿度[%]	13	樹木の燃焼性を高めるため、森林火災発生件数の多い月(4～6月)の発電所の最低湿度を入力

表 2-7 FARSITE 入力データ (植生, 土地利用, 地形データ)

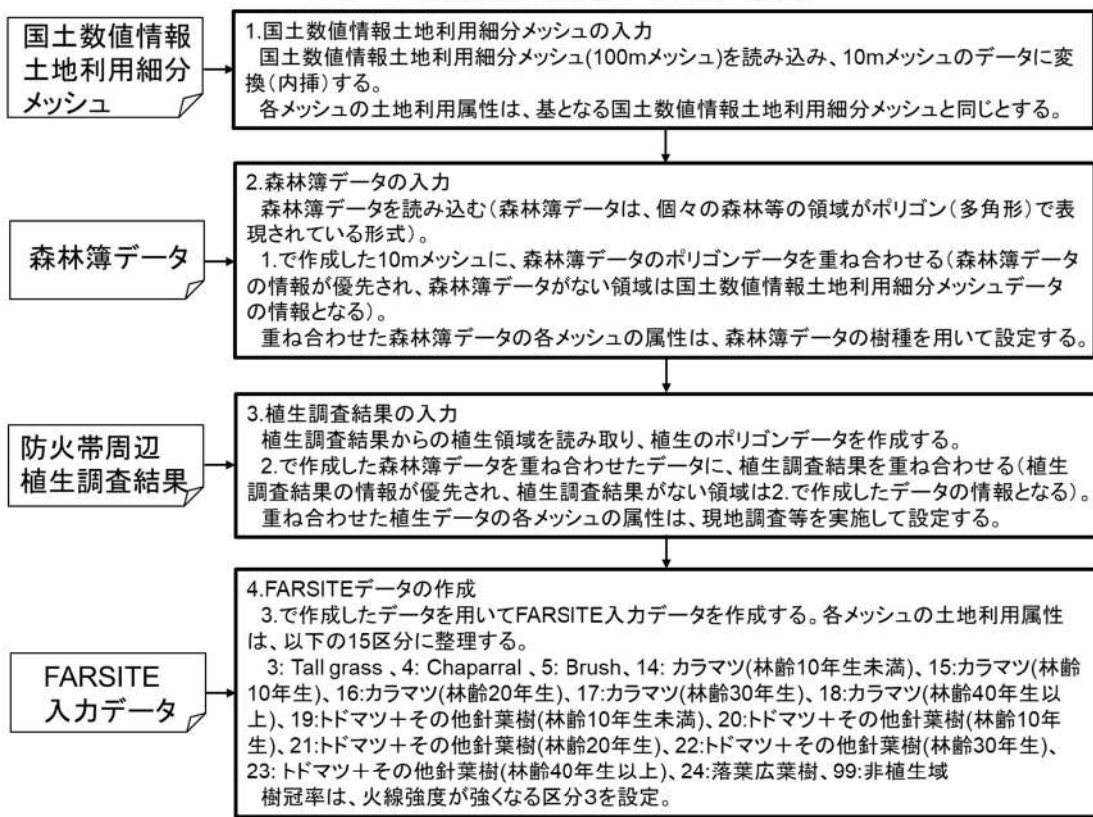
大区分	小区分	入力値	入力値の根拠
植生 データ	場所	—	土地利用データ, 航空写真, 現地調査及び森林簿で特定した樹種毎の植生場所を入力
	樹種	15 区分	土地利用データ, 航空写真, 現地調査及び森林簿で特定した樹種を入力 3: Tall grass, 4: Chaparral, 5: Brush, 14: カラマツ (林齢 10 年生未満), 15: カラマツ (林齢 10 年生), 16: カラマツ (林齢 20 年生), 17: カラマツ (林齢 30 年生), 18: カラマツ (林齢 40 年生以上), 19: トドマツ+その他針葉樹 (林齢 10 年生未満), 20: トドマツ+その他針葉樹 (林齢 10 年生), 21: トドマツ+その他針葉樹 (林齢 20 年生), 22: トドマツ+その他針葉樹 (林齢 30 年生), 23: トドマツ+その他針葉樹 (林齢 40 年生以上), 24: 落葉広葉樹, 99: 非植生域
	林齢	5 区分	植生調査データに基づき, カラマツ・トドマツ+その他針葉樹について, 10 年生未満, 10 年生, 20 年生, 30 年生, 40 年生以上の 5 区分を設定
	樹冠率	区分 3	日照や風速への影響を考慮し, 針葉樹, 落葉広葉樹について, 保守的な樹冠率区分 (3: 一般的な森林) を入力
土地利用 データ	森林, 田畑, 建物用地等	—	発電所周辺の森林, 田畑, 建物用地等を入力 (国土交通省データ 100m メッシュ)
地形 データ	標高, 地形	—	発電所周辺の土地の標高, 地形 (傾斜角度, 傾斜方向) を入力 (基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ)

※1～99 の数字は, FARSITE の植生番号に対応

No. 3, 4, 5 は, FARSITE 内蔵値 (FARSITE が保有する可燃物データ)。

No. 14～24 は, 現地植生を踏まえて可燃物データを独自に設定した。

表 2-8 FARSITE 入力条件の整理 (植生)



※1~99の数字は、FARSITEの植生番号に対応

No. 3, 4, 5 は、FARSITE 内蔵値 (FARSITE が保有する可燃物データ)。

No. 14~24 は、現地植生を踏まえて可燃物データを独自に設定した。

表 2-9 各種土地利用情報と FARSITE 入力データとの関係(1/3)

	土地利用	FARSITE 入力データ		備考
		区分*1	種類	
国土数値情報土地利用細分メッシュユ	田	3	Tall grass	田・農用地においては、農産物に加え草が主な可燃物となることから、保守的に Grass のパラメータの中で、可燃物量、可燃物厚さが大きい「Tall grass」とする。
	その他農用地	3	Tall grass	
	森林	19	トドマツ+その他針葉樹（林齢10年生未満）	本領域はデータ上、樹種や林齢が不明であることから、独自設定したパラメータの中で最も火線強度等が高くなり易く、保守的と考えられる「トドマツ+その他針葉樹（林齢10年生未満）」とする。
	荒地	5	Brush	崖や岩、湿地など、特定の植生がなく、延焼しにくい領域であるが、保守的に「Brush」とする。
	建物用地	99	非植生	樹木等がないと考えられるため、「非植生（延焼おそれない）」とする。
	道路			
	鉄道			
	その他の用地			
河川地及び湖沼				
海浜				
海水域				
ゴルフ場				

※1：可燃物データの出典

No. 3, 4, 5, 99 は、FARSITE 内蔵値（FARSITE が保有する可燃物データ）。

No. 14~24 は、現地植生を踏まえた独自の可燃物データ

表 2-9 各種土地利用情報と FARSITE 入力データとの関係 (2/3)

	土地利用	FARSITE 入力データ		備考
		区分*1	種類	
森林簿	カラマツ	14, 15, 16, 17, 18	カラマツ (林齢 10 年生未満, 10 年生, 20 年生, 30 年生, 40 年生以上)	北海道のカラマツ林, トドマツ林は林床に 1~2m 程度のササが繁茂していることを考慮し, 下草の可燃物量は林齢によらず一定とすると共に, 大きな火線強度が想定される保守的な「Chaparral」の可燃物パラメータを適用した。 ただし, 樹木の量に該当する「生きた木質量」のパラメータは, 林齢と共に大きくなるよう設定した。生きた木質量は, 水分量が多く燃えにくい効果を示す。従って, 林齢が低い方が火線強度等が大きくなる。 JNES-RC-Report*2 と同程度以上の設定
	トドマツ, アカマツ, クロマツ, ヨーロッパアカマツ, ストローブマツ, グイマツ, グイマツ雑種, アカエゾマツ, ヨーロッパトウヒ, その他人口林針葉樹, 天然林針葉樹	19, 20, 21, 22, 23	トドマツ+その他針葉樹 (林齢 10 年生未満, 10 年生, 20 年生, 30 年生, 40 年生以上)	
	ポプラ, ドロヤナギ, ギンドロ, マカバ, シラカンバ, ハンノキ, ヤマハンノキ, コバノヤマハンノキ, ケヤマハンノキ, アサダ, カシワ, ミズナラ, ニセアカシヤ, イタヤカエデ, ヤチダモ, 人工林広葉樹, 天然林広葉樹	24	落葉広葉樹	広葉樹は一般に高齢で下草の状況は林齢によってほとんど変わらないこと, 林床のササの繁茂は考慮せず, 高木に加え草や灌木が存在する状況を想定していることから, JNES-RC-Report*2 と同様な考え方で独自に設定した「落葉広葉樹」の可燃物パラメータを適用した。

※ 1 : 可燃物データの出典

No. 14~24 は, 現地植生を踏まえた独自の可燃物データ

※ 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 独立行政法人原子力安全基盤機構 (JNES) 平成 24 年 6 月

表 2-9 各種土地利用情報と FARSITE 入力データとの関係 (3/3)

	土地利用	FARSITE 入力データ		備考
		区分*1	種類	
植 生 調 査	ハルニレ群生, ヤナギ 低木群落, ハンノキー ヤチダモ群生, カシワ 群落, シラカバミズ ナラ群落, ハリエンジ ユ群落, 落葉広葉樹林	24	落葉広葉樹	各植生区分は全て落葉広葉樹であることから, JNES-RC-Report*2と同様な考え方で独自に設定した「落葉広葉樹」の可燃物パラメータを適用した。
	ササ草原	4	Chaparral	
	ススキ草原, 伐跡群 落, 種々草原, ヨシク ラス, ウキクサクラ ス・ヒルムシロクラ ス, 砂丘植生, 海岸断 崖植生	3	Tall Grass	
	クロマツ植林, トドマ ツ植林, 落葉針葉樹植 林	19	トドマツ+ その他針葉 樹 (林齢 10 年生未満)	針葉樹の植林地であり, 林齢情報がないことから, 独自設定した可燃物パラメータの中で最も保守的と考えられる「トドマツ+その他針葉樹 (林齢 10 年生未満)」を設定した。
	畑地, 耕作放棄地, 雑 草群落, 牧草地, 水田	3	Tall Grass	
	緑の多い住宅地	5	Brush	植生が連続しておらず, コンクリート等の領域も多く含まれ, 延焼しにくいと考えられるが, 保守的な観点から「Brush」を設定した。
	工業地帯, 造成地, 開 放水域, 自然裸地	99	非植生	

※ 1 : 可燃物データの出典

No. 3, 4, 5, 99 は, FARSITE 内蔵値 (FARSITE が保有する可燃物データ)。

No. 14~24 は, 現地植生を踏まえた独自の可燃物データ

※ 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 独立行政法人原子力安全基盤機構 (JNES) 平成 24 年 6 月

FARSITE からの出力データ及びその出力データを用いて算出したデータを以下に示す。

表 2-10 算出結果

大項目	小項目	出力値の内容
FARSITE 出力	火炎長[m]	火炎の高さ [円筒火炎モデルの形態係数の算出]
	延焼速度[km/h]	火炎の延焼する速さ
	単位面積当たり 熱量[kJ/m <sup>2</sup> ]	単位面積当たりの放出熱量
	火線強度[kW/m]	火炎最前線での単位幅当たりの発熱速度であり、火炎 輻射強度の根拠となる火炎規模 [防火帯幅の算出]
	反応強度[kW/m <sup>2</sup> ]	単位面積当たりの発熱速度であり、火炎輻射強度の根 拠となる火炎規模
	到達時間[h]	出火から火炎の前線が当該地点に到達するまでの時間 [火炎継続時間の算出]
上記出力値 より算定し たデータ	火炎輻射強度 [kW/m <sup>2</sup> ]	発電所防火帯外縁より約 100m 以内における反応強度 (最大) に米国防火技術者協会(NFPA)の係数 0.377*を 乗じて算出 [円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出]
	火炎継続時間[h]	到達時間から算出 [円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出]
	火炎到達幅[m]	発電所敷地境界の火炎最前線の長さ [円筒火炎モデル数の算出]
	燃焼半径[m]	火炎長に基づき算出 [円筒火炎モデルの形態係数の算出]

\*発電所近傍には針葉樹、落葉広葉樹がある。そのため、輻射熱割合は 0.377(針葉樹)、0.371(広葉樹)のうち保守的に大きい値である 0.377 を選択している。

(出典：「SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering」)

d. 植生調査の詳細について

植生調査は、発電所を中心とする半径 5 km の範囲で、樹種、下草の有無を確認した。



(a) 調査内容

発電所を中心とする半径 5 km の範囲の植生を調査し記録した。

(b) 調査者の力量

調査者は平成 17 年以降国土交通省北海道開発関連業務のうち植生図作成を含む 4 件の業務に従事しており、すべての業務にて平均以上の評価点を得ている。

また、調査者は環境省の自然環境保全基礎調査植生図作成業務に従事している。

(c) 調査期間

平成 24 年 5 月 10 日, 8 月 20 日～22 日

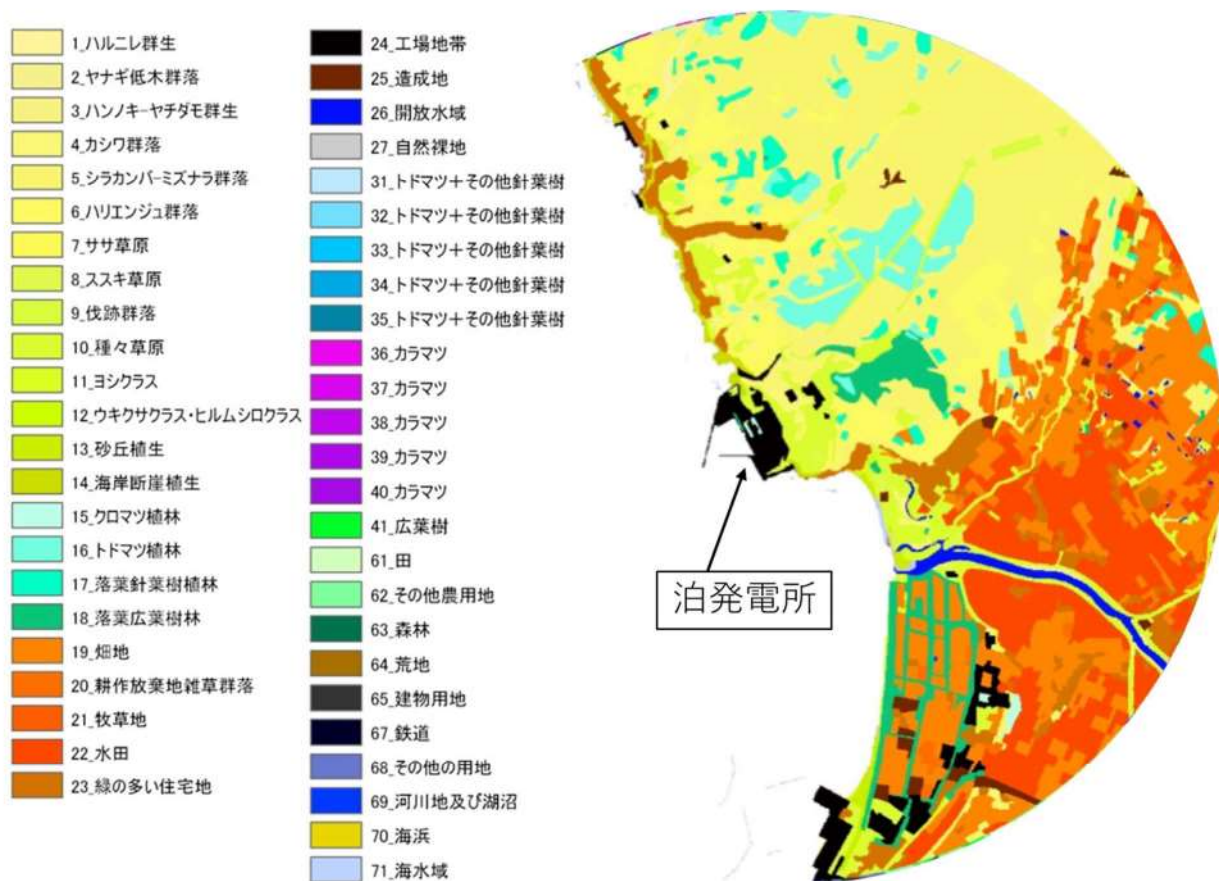


図 2-11-1 植生調査結果

表 2-11 防火帯周辺の代表的な植生調査ポイント及び FARSITE 入力データ

ポイント	植生調査結果			設定する可燃物パラメータ		
	樹種	林齢	下草	樹種	林齢	下草
①	カシワ群落	-	有	落葉広葉樹	-	182.9cm
②	ササ草原	-	有	Chaparral	-	182.9cm
③-a	種々草原	-	有	Tall Grass	-	76.2cm
③-b	海岸断崖植生	-	有			
④	落葉針葉樹植林	-	有	トドマツ	10年生未満	182.9cm

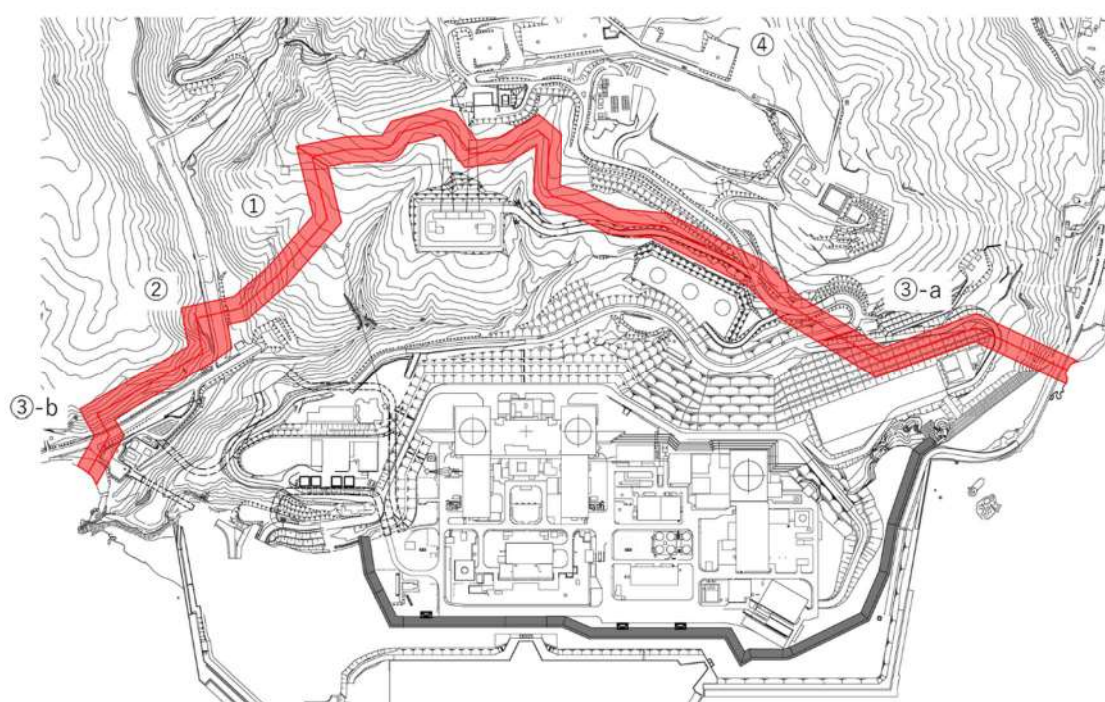


図 2-11-2 防火帯周辺の代表的な植生調査ポイント

表 2-12 防火帯周辺における代表的な調査ポイントの植生

ポイント No.	植生区分	植生写真
①	<p>カシワ群落</p> <p>主に発電所北側及び堀株川河口部周辺において確認された。 林床は、多様な種が混生するほか、ササ類が独占する箇所も見られる。</p>	
②	<p>ササ草原</p> <p>主に発電所北側山地部において小面積が点在していた。</p>	
③-a	<p>種々草原</p> <p>山間部を除く調査範囲のほぼ全域で確認された草本群落である。</p>	
③-b	<p>海岸断崖植生</p> <p>発電所周辺から積丹半島に向かう海岸線において確認された草本・低木群落である。</p>	
④	<p>落葉針葉樹植林</p> <p>主に発電所北側に点在していた。 林床はササ類が独占していた。</p>	

e. 植生入力 of 保守性について

植生 of 入力にあたって、地方自治体より入手した森林簿及び国土数値情報土地利用細分メッシュに基づき、入力データを整備しているが、以下のとおり保守的な入力としている。

(a) 土地利用細分メッシュからの植生データ入力

i. 田及びその他農業用地の植生入力

Grass を保守的に燃えやすい Tallgrass として FARSITE の入力としている。

ii. 荒地の植生入力

非燃焼領域を燃えやすい Brush (茂み) として FARSITE の入力としている。

iii. 森林の植生入力

本領域はデータ上、樹種や林齡が不明であることから、FARSITE デフォルトパラメータの中で火線強度が高くなりやすい「Chaparral」をベースに独自設定したパラメータの中で最も保守的と考えられる「トドマツ+その他針葉樹 (林齡 10 年生未満)」として FARSITE の入力としている。

(b) 森林簿及び植生調査からの植生データ入力

複数混在樹種、林齡より、火線強度の大きいものを代表として FARSITE の入力としている。

発電所周辺の植生調査を実施し、森林簿データに植生調査結果を反映した上で、保守的な可燃物パラメータを入力している。

可燃物パラメータ入力の考え方は、植生調査結果を踏まえ、森林の下草状況、樹種及び林齡を考慮し設定した。ただし、植生調査から得られたデータの林齡は 10 年生未満として設定した。なお、林齡が低いほど fuel 量 (水分含有量等) が少ないため燃えやすい。

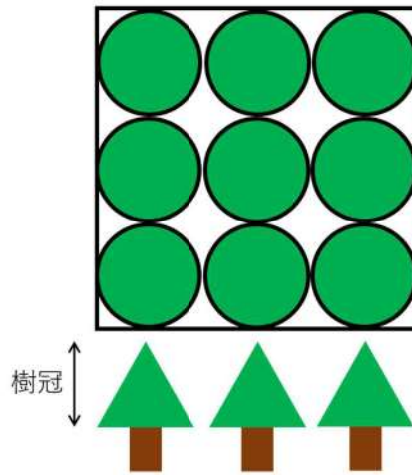
f. 樹冠率 of 設定

樹冠率は、上空から森林を見た場合 of 平面上 of 樹冠が占める割合をいう。

FARSITE では、実際の森林状況による自然現象を可能な限り反映するため、樹冠率 of 割合が高くなると、風速 of 低減、地面草地への日照が低減 (水分蒸発量が減ること by 燃えにくくなる) する。

具体的には FARSITE において樹冠率を 4 つに区分し、4 つ of いずれかを設定するようになっている。今回の評価では、植生調査データにより森林と定義できる区分 3、4 から選択することとし、保守的に区分 3 を設定する。

樹冠率：平面上の樹冠の割合



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

	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
日射低減効果	地面下草が燃えやすい	地面下草が燃えにくい

図 2-12 樹冠率の設定

g. FARSITE への入力値まとめ

表 2-13 FARSITE への入力値 (1/2)

大区分	小区分	入力値	備考
気象	気温	30[°C]	気温が高い方が可燃物の水分量が少なく燃えやすくなることから、森林火災が多い4～6月における過去10年間の最高気温を設定（外部火災影響評価ガイドどおり） 解析期間中最高気温が継続するように設定
	湿度	13[%]	湿度が低い方が可燃物の水分量が少なく燃えやすくなることから、森林火災が多い4～6月における過去10年間の最小湿度を設定（外部火災影響評価ガイドどおり） 解析期間中最小湿度が継続するように設定
	風速	100[km/h]	風が強い方が延焼速度・火線強度が大きくなることから、森林火災が多い4～6月における過去10年間の発電所の最大風速29.7m/sに基づき入力可能な最大値である100km/h(27.8m/s)を設定（外部火災影響評価ガイドどおり） 解析期間中最大値の風速が継続するように設定
	雲量	0[%]	日射が多い方が可燃物の水分量が少なくなるため、日射量が多くなるように、雲量0%に設定
	降水量	0[mm]	降水がない方が可燃物の水分量が少なくなるため、降水量は0mmに設定
地形	高低差	数値標高モデル	現地状況を模擬するため、基盤地図情報数値標高モデルの10mメッシュデータを用いる。
	緯度	0度	日射量が多い方が可燃物量の水分量が少なくなる燃えやすくなることから、日射量が多くなるように、赤道直下に設定

表 2-13 FARSITE への入力値 (2/2)

大区分	小区分	入力値	備考	
植生	樹木高さ	20.0[m]	データを正確に調査することは困難であるため、デフォルト値を一律に適用	
	枝下高さ	4.0[m]		
	かさ密度	0.200[kg/m <sup>3</sup> ]		
	樹冠率	区分 3	森林と定義される区分 3, 4 のうち、風速が弱まりにくく、日射の影響を受けやすくなる区分 3 を設定	
	fuel 1 初期 水分量	1 時間以内に乾燥する木質	5[%]	データを正確に調査することは困難であるため、デフォルト値を一律に適用
		10 時間以内に乾燥する木質	8[%]	
		100 時間以内に乾燥する木質	12[%]	
		生きた草	100[%]	
		生きた木質	100[%]	

(4) FARSITE の解析結果

各発火点の FARSITE による解析結果図を以下に示す。

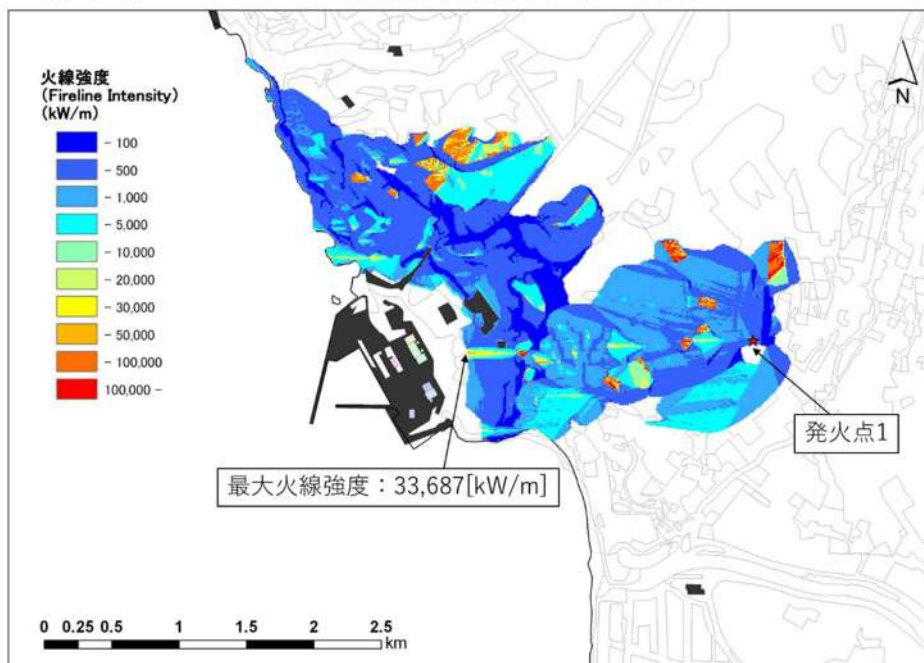


図 2-13-1 発火点 1：東（道路脇畑）の火線強度

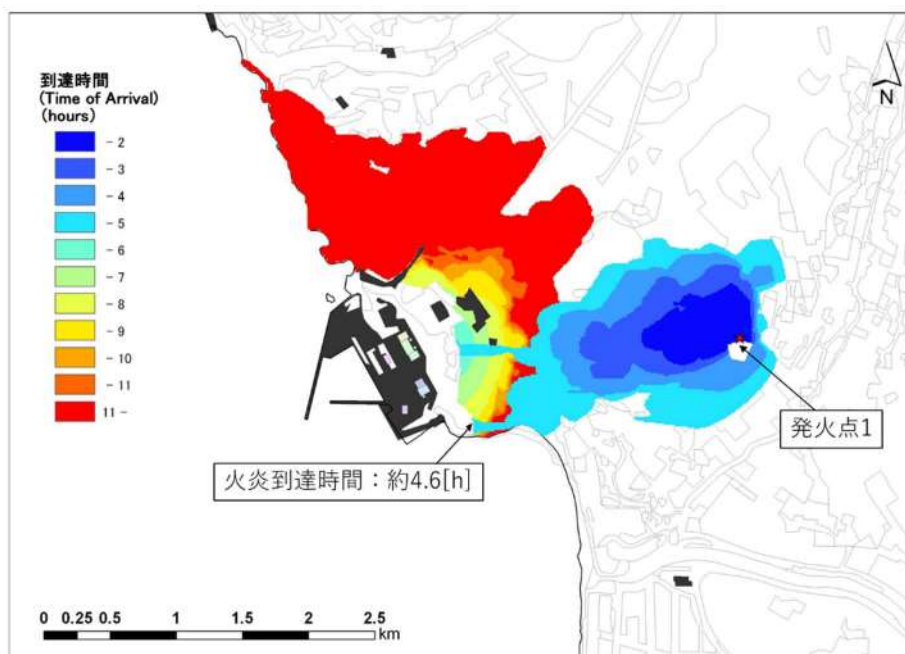


図 2-13-2 発火点 1：東（道路脇畑）の火炎到達時間



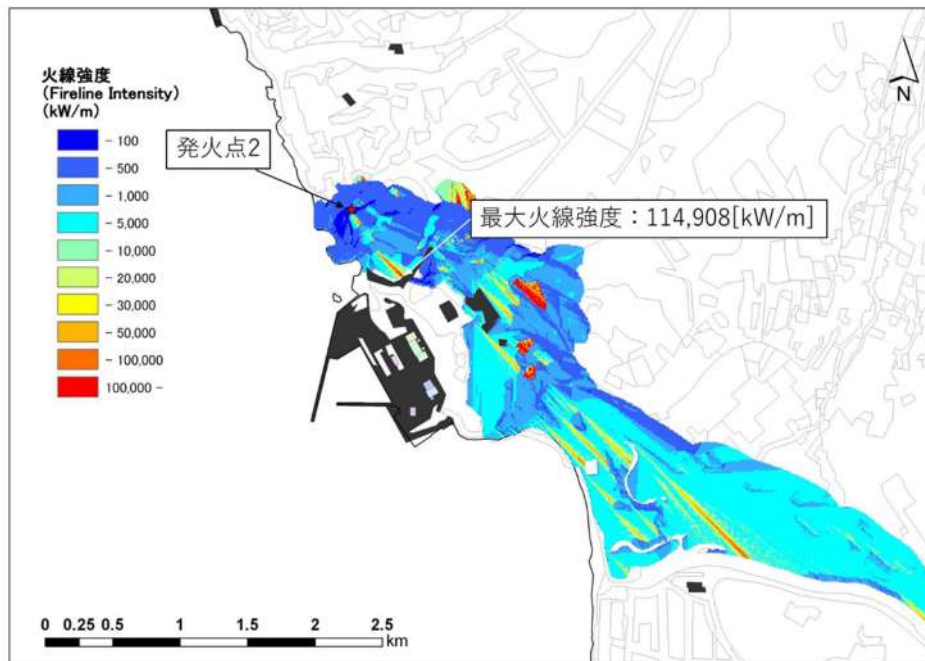


図 2-14-1 発火点 2：北西（集落端と森林の境界部）の火線強度

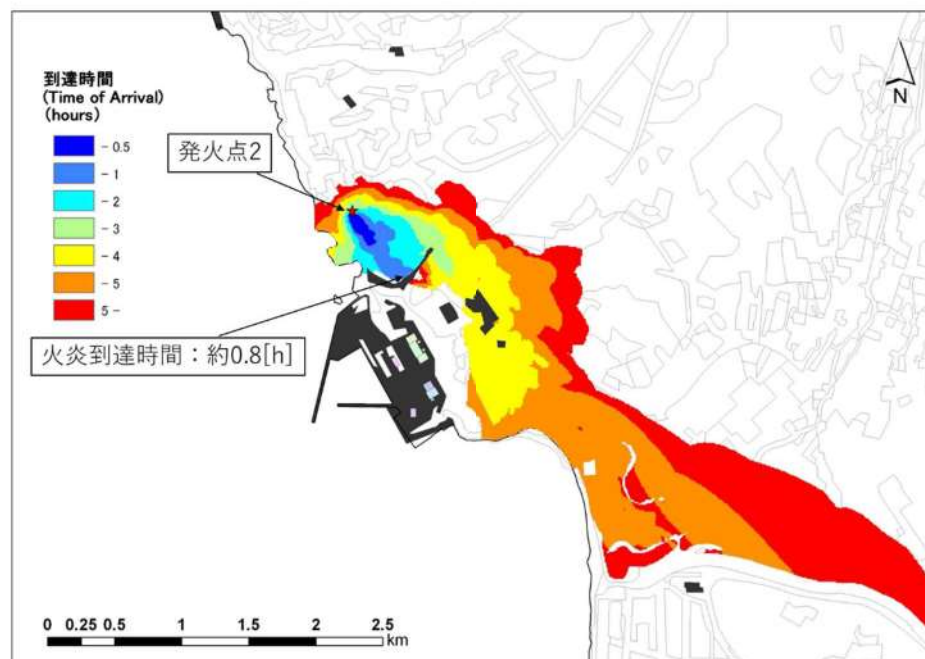


図 2-14-2 発火点 2：北西（集落端と森林の境界部）の火炎到達時間

(5) 火炎到達時間と最大火線強度について

各発火点における防火帯外縁に最も早く火炎が到達する火炎到達時間と防火帯外縁より 100m の範囲における最大火線強度を表 2-14 に示す。

表 2-14 解析結果

発火点位置	発火点 1	発火点 2
延焼速度[m/s]	2.88	3.11
最大火線強度[kW/m]	33,687	114,908
火炎到達時間[h]	約 4.6	約 0.8

(6) 防火帯幅の算出

外部火災影響評価ガイドに基づき、防火帯外縁より約 100m の範囲における最大火線強度から「Alexander and Fogarty の手法（風上に樹木が無い場合）」を用いて、防火帯幅（火炎の防火帯突破確率 1% の値）を算出した結果、評価上必要とされる防火帯幅が 17.8m（発火点 1）であるため、20m、25m の防火帯幅、45.3m（発火点 2）であるため、46m の防火帯幅を確保することにより延焼による防護対象設備への影響がないことを確認した。

FARSITE 解析における主な入力パラメータは保守的な設定（参考資料 2-1）としているが、他に解析結果に影響するパラメータとしては最大火線強度の出現時刻（日射量に影響を及ぼす）がある。

最大火線強度出現時刻の保守性を確認するため、最大火線強度が最も大きい発火点 2 について 3 パターンの出火時刻を入力して最大火線強度出現時刻の感度解析を実施した。（参考資料 2-3）

表 2-15 に示すとおり、最大火線強度は 8 時～9 時頃に高くなる傾向がある。これは傾斜の影響を踏まえた上で日射により可燃物の水分量変化を計算上考慮しているためである。

表 2-15 感度解析結果

発火点 2 出火時刻	最大火線強度出現時刻	最大火線強度[kW/m]
7 : 00	8 : 02	96,712
8 : 00	8 : 52	114,908
9 : 00	10 : 24	85,929

表 2-16 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  
（火炎の防火帯突破率 1%）

火線強度 [kW/m]	500	1,000	2,000	10,000	20,000	25,000	50,000*	100,000*	125,000*
防火帯幅 [m]	6.2	6.4	6.7	9.5	13.1	14.8	23.3	40.3	48.8

※外部火災影響評価ガイドに記載の数値から外挿して算出

地点	火線強度[kW/m]		評価上必要とされる防火帯幅[m]		防火帯幅[m]
	発火点1	発火点2	発火点1	発火点2	
A	20,738	960	13.4	6.4	20
B	33,687	720	17.8	6.3	25*
C	1,229	1,540	6.5	6.6	20
D	783	114,908	6.4	45.3	46
E	1,642	6,931	6.6	8.5	20

※防火帯幅については火線強度、風向、植生を考慮して設定（添付資料2 別紙2-12）

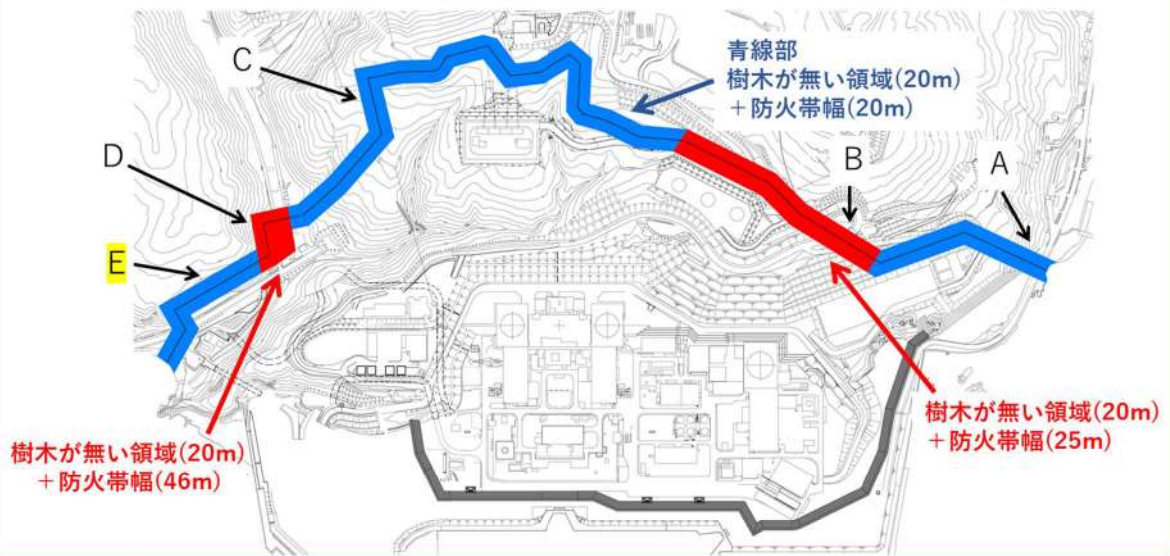


図 2-15 各地点における防火帯幅の設定

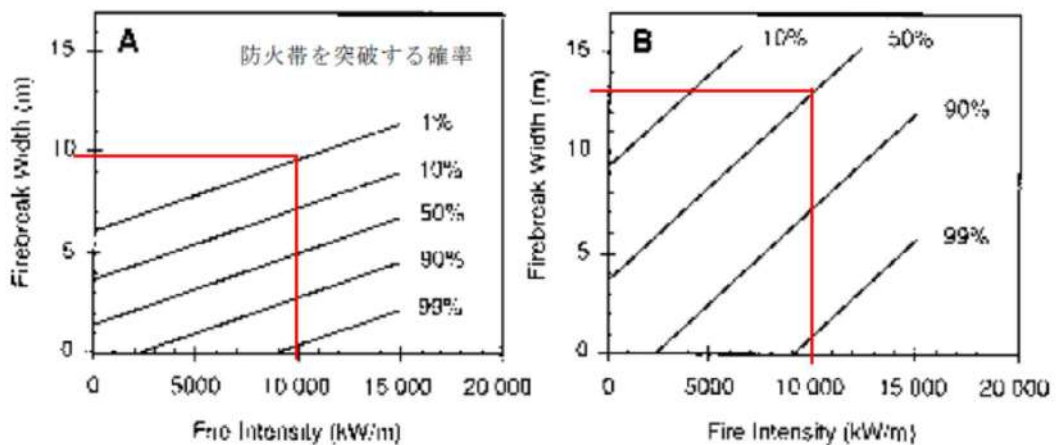


図 2-16 火線強度に対する防火帯の相関図（出典：外部火災影響評価ガイド）

(7) 危険物施設の火災が森林等に延焼した場合の泊発電所への影響について

泊発電所における各発火点について危険物施設の火災を想定した場合、各発火点以遠の風上は海又は危険物施設が 5km 以遠であることから、泊発電所への熱影響が大きくなるような火災にはならないと考えられる。

2. 3 森林火災時の対応の評価結果

森林火災影響評価においては、以下に示す到達時間及び防火帯幅の条件を満足していること、森林火災時の可搬型モニタリングポストの対応が可能であることを確認した。

2. 3. 1 火炎の到達時間の評価結果

2. 3. 1. 1 火炎到達時間

防火帯を設置することで、森林火災が発電用原子炉施設へ延焼する可能性は低いが、森林火災の状況に応じて防火帯付近にて散水を行い、万が一の飛び火による延焼を防止する。

FARSITE の解析により、森林火災を想定した場合、発火点 2 の火炎が防火帯外縁に到達する最短時間は 0.8 時間（約 52 分）であるため、この時間以内で予防散水が可能であることを確認する。

発火点 2 の位置関係を図 2-17 に示す。

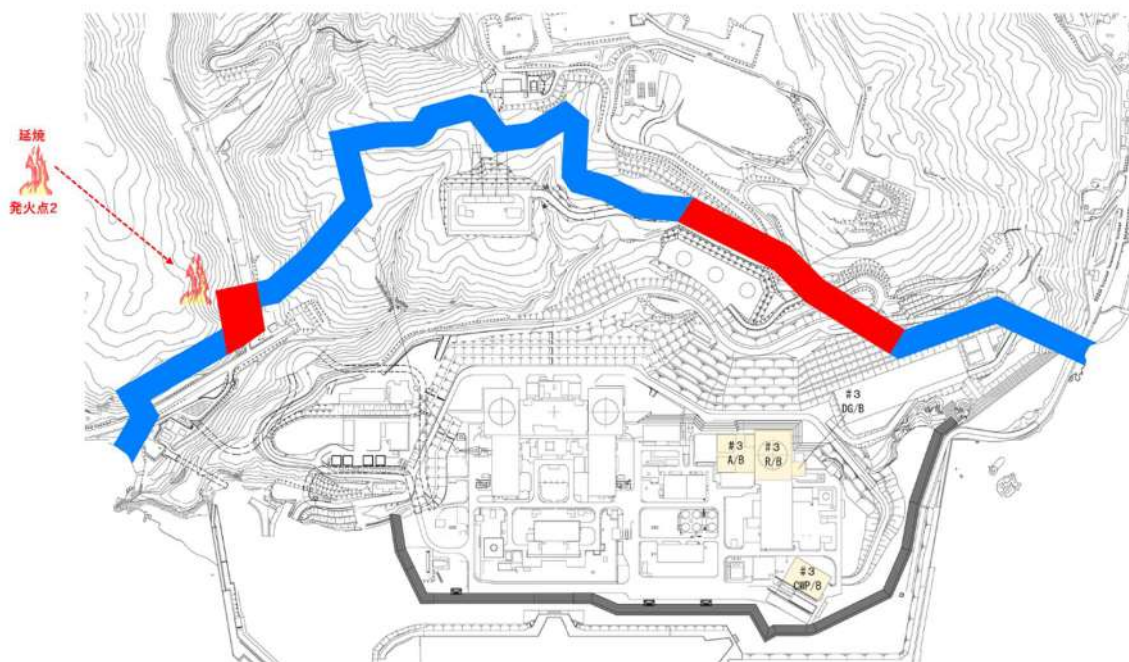


図 2-17 発火点 2 との位置関係

## 2. 3. 1. 2 火災の覚知

発電所敷地及び敷地境界付近における森林火災については、以下の方法で早期覚知が可能である。

### (1) 監視カメラによる監視

想定される自然現象等の影響について、昼夜にわたり発電所周辺の状況を把握する目的で設置する監視カメラを使用して森林火災に対する監視を行う。監視カメラは、発電所周辺の森林火災を監視できる位置（開閉所遮風建屋屋上）に設置し、24時間要員が常駐する中央制御室からの監視が可能な設計とする。

### (2) 発電所構内にいる者による覚知

- a. 24時間常駐している警備員による覚知
- b. 24時間常駐している運転員によるパトロールによる覚知
- c. 通常勤務の構内の社員及び協力会社従業員による覚知
  - (a) 発見者は、発電課長へ連絡し、その後、運営課長（夜間、休日は当番者）へ連絡する。
  - (b) 運営課長（夜間、休日は当番者）は、消防機関へ119番通報する。

### (3) 外部からの情報

- a. 守衛所に設置している地元自治体の防災行政無線傍受による覚知
- b. 消防機関からの連絡による覚知  
発電所に迫る可能性があるとして消防機関が判断した火災は消防機関から連絡が入る。

### (4) 発火点の火災覚知

- a. 発火点1付近は、民家及び当社の社員寮も近傍に立地していることから外部からの情報による覚知を行う。また、監視カメラでは、直接視認できないことから、火災による炎（明かり）、煙で覚知を行う。
- b. 発火点2付近は、茶津守衛所に24時間常駐している警備員が覚知を行う。また、監視カメラでは、直接視認できないことから、火災による炎（明かり）、煙で覚知を行う。

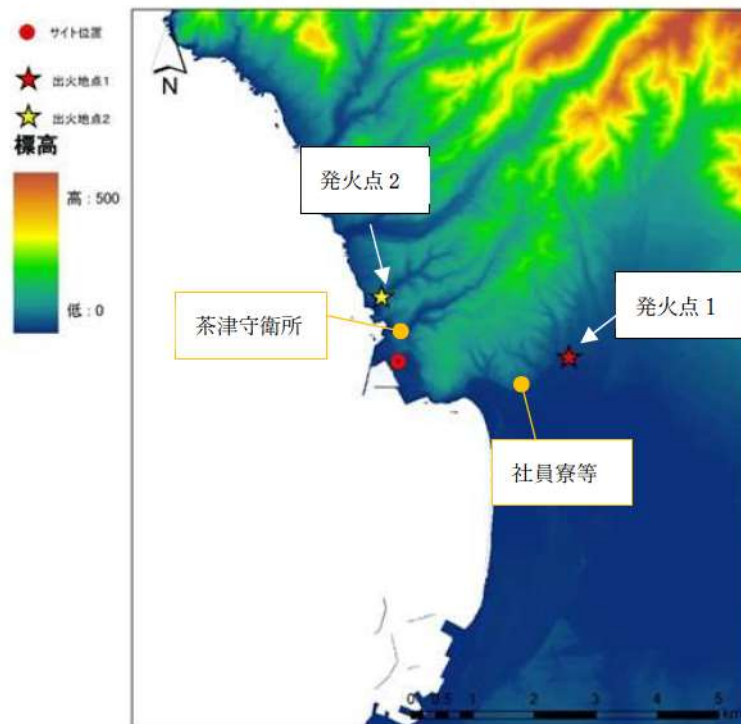


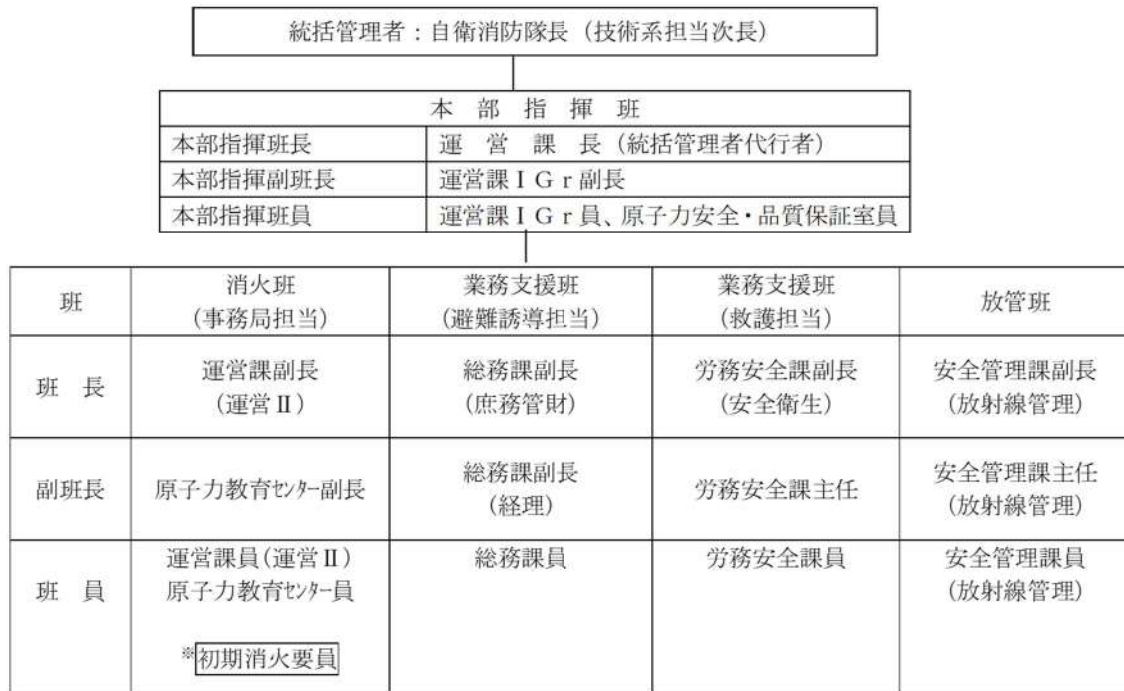
図 2-18 発電所周辺の標高と火災覚知

### 2. 3. 1. 3 消火活動

#### (1) 予防散水の実施体制

泊発電所においては、発電所構内の火災に対し、消防活動を行うために自衛消防隊を組織している。自衛消防隊の組織体制を図 2-19、表 2-17 に示す。

予防散水は、この自衛消防隊の敷地内に 24 時間常駐している初期消火要員、消防車等により行う。初期消火要員の体制を表 2-18 に示す。



※初期消火要員 11名のうち、連絡者及び通報者を除く 9名は消火班の指揮下に入る。

図 2-19 自衛消防隊体制

表 2-17 自衛消防隊編成

構成員	役割												
自衛消防隊長 ：技術系担当次長 (統括管理者)	○自衛消防隊全体を指揮・統括する。 ○公設消防隊との活動方針を統括する。												
自衛消防隊長 ：運営課長	○自衛消防隊不在時の任務を代行												
本部指揮班	○自衛消防隊各班を指揮 ○各班からの通報・連絡を受けると共に、情報を収集し自衛消防隊長の判断を補佐 ○公設消防との連携(鎮火等、火災状況)を図る。												
消火班	○火災発生現場へ向かい、火災状況等を把握する。 ○火災発生現場で消火器、消火栓等により迅速な消火活動を実施し、延焼拡大防止を図る。												
初期消火要員	初期消火要員のうち、連絡者、通報者を除く以下の9名は消火班の指揮下となる。 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>構成員</th> <th>活動内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>現場指揮者 (1名)</td> <td>・火災発生現場へのアクセスルートを判断し、初期消火要員とともに消防自動車に乗車・出動 ・火災発生現場到着後、火災状況に応じた消火体制を整え、初期消火活動(放水等)を指示</td> </tr> <tr> <td>消火担当 (3名)</td> <td>・現場指揮者の指示に従い、消防用ホース筒先を用いて消火に当たる</td> </tr> <tr> <td>消防車操作担当(2名)</td> <td>・現場指揮者の指示を受け、機関員として、消防自動車による消火に必要な操作を行う ・泡消火薬剤を化学消防自動車へ補給</td> </tr> <tr> <td>消火補助担当(2名)</td> <td>・泡消火薬剤を運搬車で火災発生現場へ補給 ・化学消防自動車への泡消火薬剤補給の補助及び伝令補助 ・現場指揮者の指示を受け、消火栓のバルブの開閉</td> </tr> <tr> <td>案内誘導担当(1名)</td> <td>・公設消防が入構するゲートに待機し、公設消防隊を火災発生現場近傍へ誘導</td> </tr> </tbody> </table>	構成員	活動内容	現場指揮者 (1名)	・火災発生現場へのアクセスルートを判断し、初期消火要員とともに消防自動車に乗車・出動 ・火災発生現場到着後、火災状況に応じた消火体制を整え、初期消火活動(放水等)を指示	消火担当 (3名)	・現場指揮者の指示に従い、消防用ホース筒先を用いて消火に当たる	消防車操作担当(2名)	・現場指揮者の指示を受け、機関員として、消防自動車による消火に必要な操作を行う ・泡消火薬剤を化学消防自動車へ補給	消火補助担当(2名)	・泡消火薬剤を運搬車で火災発生現場へ補給 ・化学消防自動車への泡消火薬剤補給の補助及び伝令補助 ・現場指揮者の指示を受け、消火栓のバルブの開閉	案内誘導担当(1名)	・公設消防が入構するゲートに待機し、公設消防隊を火災発生現場近傍へ誘導
構成員	活動内容												
現場指揮者 (1名)	・火災発生現場へのアクセスルートを判断し、初期消火要員とともに消防自動車に乗車・出動 ・火災発生現場到着後、火災状況に応じた消火体制を整え、初期消火活動(放水等)を指示												
消火担当 (3名)	・現場指揮者の指示に従い、消防用ホース筒先を用いて消火に当たる												
消防車操作担当(2名)	・現場指揮者の指示を受け、機関員として、消防自動車による消火に必要な操作を行う ・泡消火薬剤を化学消防自動車へ補給												
消火補助担当(2名)	・泡消火薬剤を運搬車で火災発生現場へ補給 ・化学消防自動車への泡消火薬剤補給の補助及び伝令補助 ・現場指揮者の指示を受け、消火栓のバルブの開閉												
案内誘導担当(1名)	・公設消防が入構するゲートに待機し、公設消防隊を火災発生現場近傍へ誘導												
業務支援班 (避難誘導担当)	○総合管理事務所の各フロアの避難者を避難場所へ誘導 ○被災者が発生した場合、被災者の状態を確認し、火災による影響の少ない安全な場所へ搬出し、救護班長へ連絡する												
業務支援班 (救護担当)	○応急処置の準備とともに、被災者の救護活動及び公設消防救急隊との連携												
放管班 (管理区域の場合)	○火災発生現場の線量当量率、汚染レベルの測定 ○自衛消防隊員及び公設消防隊員の被ばく管理及び助言 ○自衛消防隊員、公設消防隊員を火災発生現場まで誘導 ○管理区域内入退域・物品搬出入手続き及び管理 ○自衛消防隊員及び公設消防隊員への除染措置												



表 2-18 初期消火要員構成

役割	担当者	
	就業時間帯	夜間・休日
連絡者	発電課長（当直） 1名	発電課長（当直） 1名
通報者	運営課長 1名	事務系当番者 1名
現場指揮者	机上社員 1名	当直員 1名
消火担当	専属消防隊員 3名	専属消防隊員 3名
消火補助担当	委託警備員 2名	委託警備員 2名
案内誘導担当	委託警備員 1名	委託警備員 1名
消防車操作担当	専属消防隊員 2名	専属消防隊員 2名
合計	11名	11名

(2) 初期消火要員の力量維持のための訓練

初期消火要員は、消火対応の力量を維持するために、訓練を計画的に実施する。

初期消火要員に係る訓練を表 2-19 に示す。

表 2-19 初期消火要員に係る訓練

項目	頻度	対象者	訓練概要
総合訓練	1回/年	初期消火要員	火災を想定した総合訓練
通報連絡訓練	1回/年	発電課長（当直）、 当番者	連絡者→通報者→消防署（ダミー）への通報訓練
消防用資機材取扱い訓練	1回/年	机上社員、当直員、 専属消防隊員、委託警備員	・防火服着用、空気呼吸器装着訓練 ・消防自動車操作補助、消火訓練（委託警備員除く）
消防用設備取扱い訓練	1回/年	机上社員、当直員、 専属消防隊員、委託警備員	消火栓、消火器等取扱い訓練
消防自動車操作訓練	1回/年以上	専属消防隊員	運転、泡消火操作訓練
構内消防用設備教育	1回/年以上	机上社員、当直員、 専属消防隊員	構内消防用設備配置場所等の習得
構内建屋配置図教育	1回/年以上	専属消防隊員、委託警備員	構内建屋配置場所等の習得

### (3) 予防散水計画

防火帯により森林火災が発電用原子炉施設へ影響を及ぼすことはないが、森林火災の状況に応じて防火帯付近へ予防散水を行う。

万一、防火帯の内側に飛び火した場合は、初期消火要員の活動を予防散水から防火帯内側火災の消火活動に切り替え、継続して現場指揮者の指揮のもと消火活動・延焼防止活動を行う。

なお、予防散水については、火災防護計画に定める。

#### a. 予防散水に期待する効果

防火帯は、防火帯突破確率1%となる防火帯幅17.8m(発火点1)に対し、約20m、25mの防火帯、45.3m(発火点2)に対し約46mの防火帯を設定している。

予防散水は、防火帯付近を濡らすことで火の粉の発生や飛び移りの抑制を図り、防火帯の機能をより強化するために実施する。

#### b. 防火帯付近への予防散水計画

活動用水は、構内の消火栓、防火水槽及び河川水を使用する。

使用資機材は化学消防自動車(泡消火薬剤含む)1台、水槽付消防ポンプ自動車1台及び大規模火災用消防自動車1台。対応要員数は11名。

防火帯付近散水エリアと消火栓及び防火水槽位置を図2-20に示す。また、各散水エリアの予防散水計画を表2-20に示す。

表2-20 防火帯付近散水エリアの予防散水計画

散水エリア	A	B	C
使用水源	河川水 防火水槽 No. 1 屋外消火栓	防火水槽 No. 1 屋外消火栓	防火水槽 No. 1 屋外消火栓
防火水槽容量	—	60m <sup>3</sup>	60m <sup>3</sup>
消火ホース展開距離 (最長距離)	40m	550m	900m
消防自動車等の台数	2台	2台	3台
連絡から予防散水開始まで (消火ホース展開最長箇所)	約22分	約31分	約30分
防火帯外縁到達時間	発火点2 0.8h	—	発火点1 4.6h
予防散水継続時間		約158分	約158分
対応人数	初期消火要員 11名		

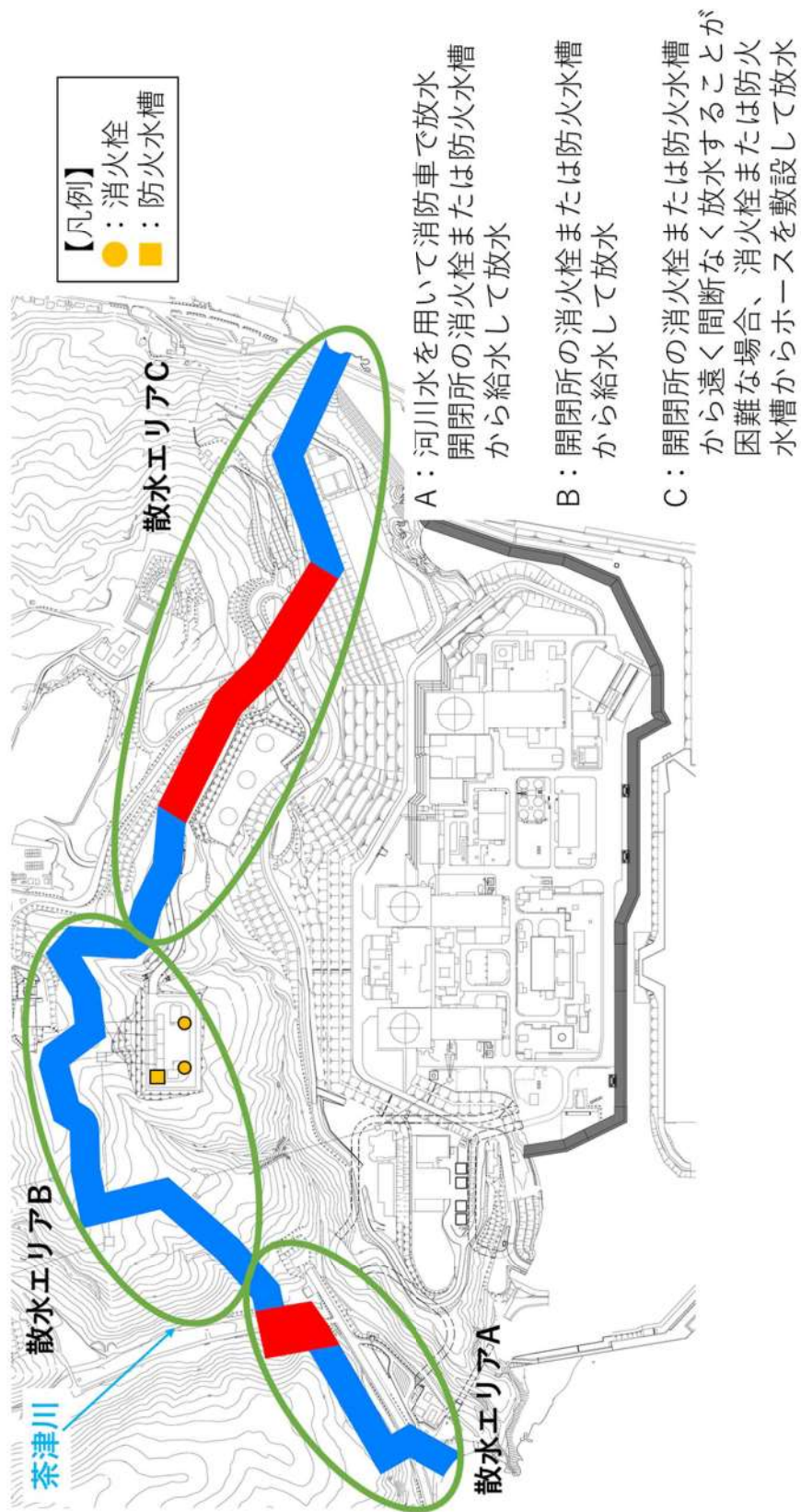


図 2-20 防火帯付近散水エリアと消火栓及び防火水槽位置

#### (4) 散水開始までの所要時間

##### a. 防火帯への散水

発電所周辺付近からの想定森林火災の火炎到達時間が最短（約 0.8 時間）となる発火点 2 から出火した森林火災が、最短で防火帯外縁に到達する散水地点において予防散水を行う。散水位置を図 2-21 に示す。

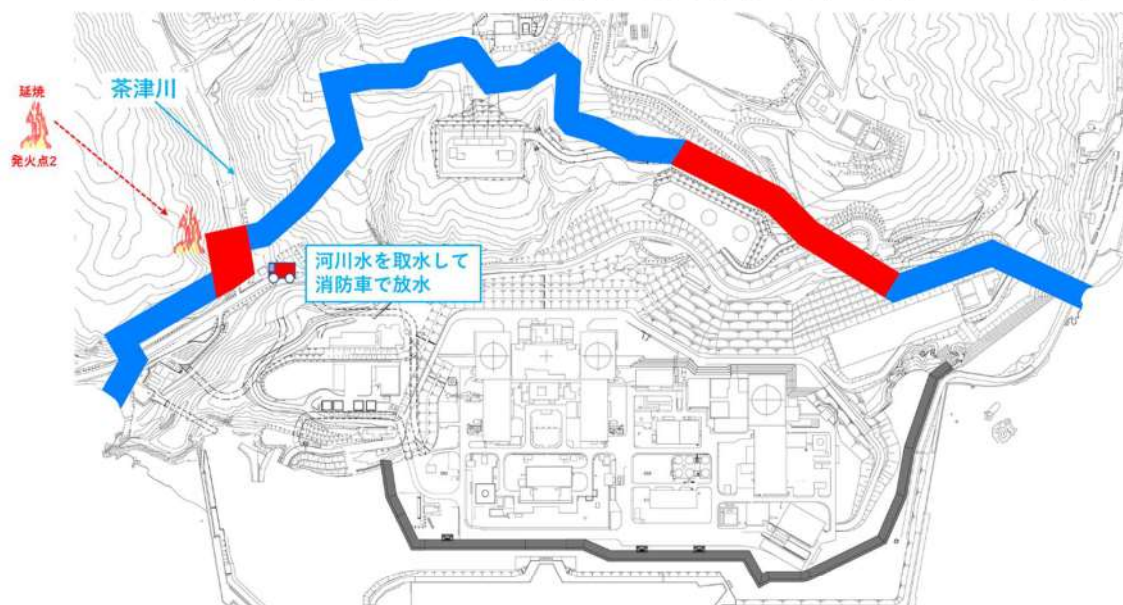


図 2-21 散水位置（防火帯）

##### b. 所要時間

表 2-21 に示すとおり，出動連絡後，約 22 分で散水活動が開始可能である。

なお，想定の所要時間は，過去の実績等から想定した時間により算定した。（別紙 2-9）

表 2-21 散水開始までの所要時間

手順	内容	対応者	経過時間 (min)							備考				
			0	20	25	30	35	40	45		50			
①火災発生	森林火災発生	—	▲	▲										
②森林発知	警備員による発知, 監視カメラによる発知, 外部からの情報	守衛所 中央制御室		▲	▲									
③出動準備	初期消火要員へ連絡	通報者 (運営課長)		▲										
	出動準備～消防車出動まで	初期消火要員			■									訓練実績時間:7分 (累計時間:7分)
④移動	散水地点到着まで	初期消火要員					■							想定時間:10分 (累計時間:17分)
⑤放水準備	河川水の取水準備	初期消火要員						■						訓練実績時間:4分 (累計時間:21分)
⑥放水開始	予防散水開始	初期消火要員									■			訓練実績時間:1分 (累計時間:22分)

散水開始までの所要時間

### c. 評価結果

発火点2の火炎到達時間0.8時間(約52分)以内で予防散水が可能である。

### 2. 3. 2 防火帯幅の評価結果

表2-14, 図2-15の評価結果から, 評価上必要とされる防火帯幅約17.8m(発火点1)に対し, 20m, 25m幅の防火帯, 約45.3m(発火点2)に対し, 46m幅の防火帯を設定する(図2-22)。

- 森林火災の延焼を防止するために, 森林側から樹木が無い領域及び防火帯を設定する。
- 防火帯は防護対象設備(クラス1, 2)(固体廃棄物貯蔵庫及び開閉所等の一部クラス3設備を含む)及び重大事故等対処設備を囲うように設定する。
- 防火帯は発電所設備及び駐車場の配置状況を考慮し, 干渉しないように設定する。
- 防火帯及び樹木が無い領域の設定に当たっては, 草木を伐採する等, 可燃物を排除する。その後, 防火帯及び樹木がない領域の一部についてはモルタル吹付を行い, 草木の育成を抑制し, 可燃物がない状態を維持する。また, 防火帯及び樹木がない領域の管理(定期的な点検等)の方法を火災防護計画に定める。(別紙2-1)

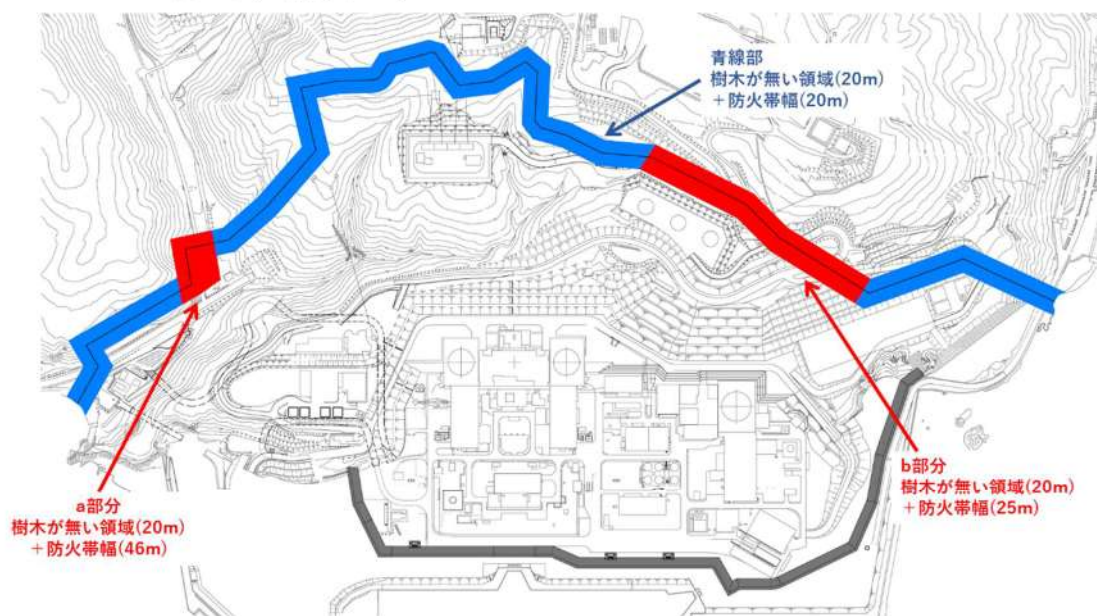


図2-22 防火帯設置位置

### 2. 3. 3 外部火災時のモニタリングポスト及びモニタリングステーションの対応について

外部火災が発生した場合においても、発電用原子炉を安全に停止するための設備に影響がないように防火帯を設置し、安全上重要な設備はその内側に配置し、外部火災による影響がないことを確認している。

モニタリングポスト及びモニタリングステーションについては、泊発電所の周辺監視区域付近における空間線量率の監視を行うために発電所敷地境界付近に8箇所（防火帯の外側は6箇所）設置している。

測定器は屋外に設置されており、外部火災による影響を確実に防止できるものとは考えない。

なお、森林火災の進展によりモニタリングポスト及びモニタリングステーションの機能が喪失した場合は、防火帯の内側に保管している可搬型モニタリングポスト（バッテリー駆動可能：7台）により代替測定を実施する。

可搬型モニタリングポストは常設のモニタリングポスト及びモニタリングステーション設置位置をカバーするように発電所構内の同一方向に設置する。可搬型モニタリングポスト等を配置場所まで運搬・設置し、監視・測定を開始するまでの所要時間は、1台当たり約30分を想定（7台設置する場合は、約3時間30分を想定）。

可搬型モニタリングポストの設置イメージ図を図2-23、設置配置図を図2-24に示す。

また、外部からの情報により森林火災を認識し、可能な限り影響の軽減を図るためモニタリングポスト及びモニタリングステーション付近へ予防散水計画を定める。



図2-23 可搬型モニタリングポスト（設置イメージ）

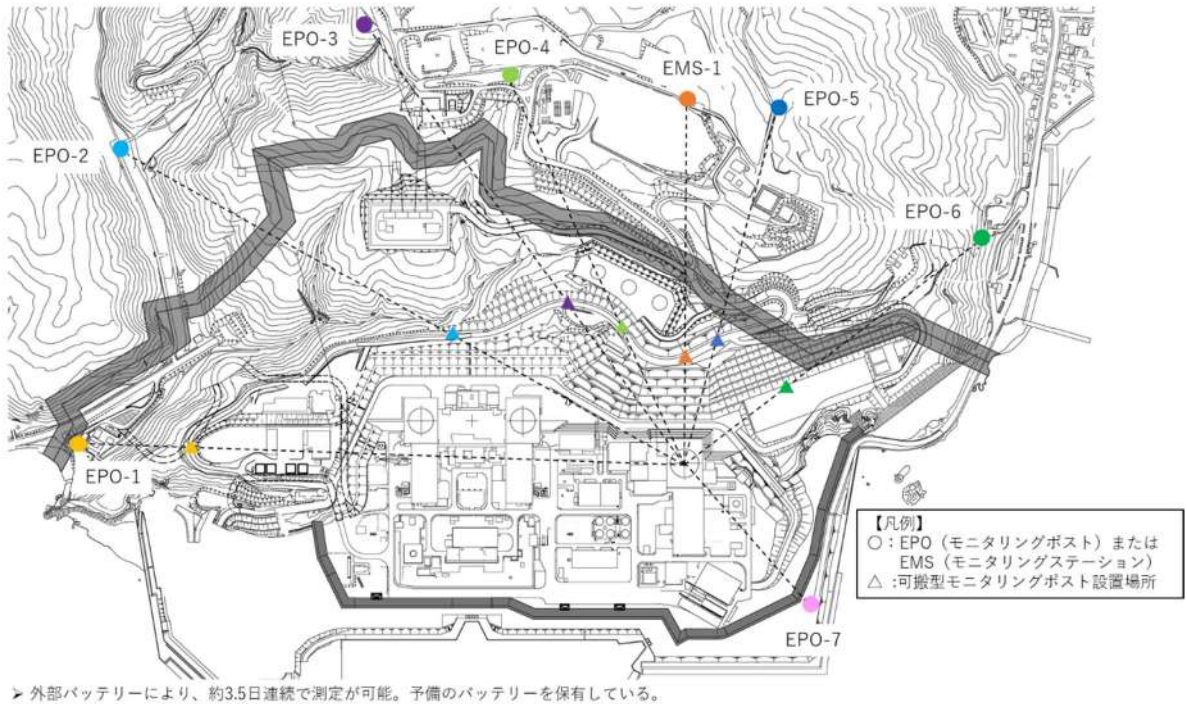


図 2-24 可搬型モニタリングポスト設置位置

(1) モニタリングポスト及びモニタリングステーション付近への予防散水計画

森林火災が発生した場合、防火帯内側にある発電用原子炉施設の防護を第一に考える。ただし、可能な限り影響の軽減を図るため、外部からの情報により森林火災を認識し、風向き等から森林火災が発電用原子炉施設に影響を与えないと判断した場合、発電所敷地境界へ到達するまでに時間的な余裕がある場合は、モニタリングポスト及びモニタリングステーション付近への予防散水を行う。森林火災時のモニタリングポスト及びモニタリングステーション対応フローを図 2-25 に示す。

モニタリングポスト及びモニタリングステーション付近への予防散水計画を表 2-22 に示す。

モニタリングポスト及びモニタリングステーション付近への予防散水エリアを図 2-26 に示す。



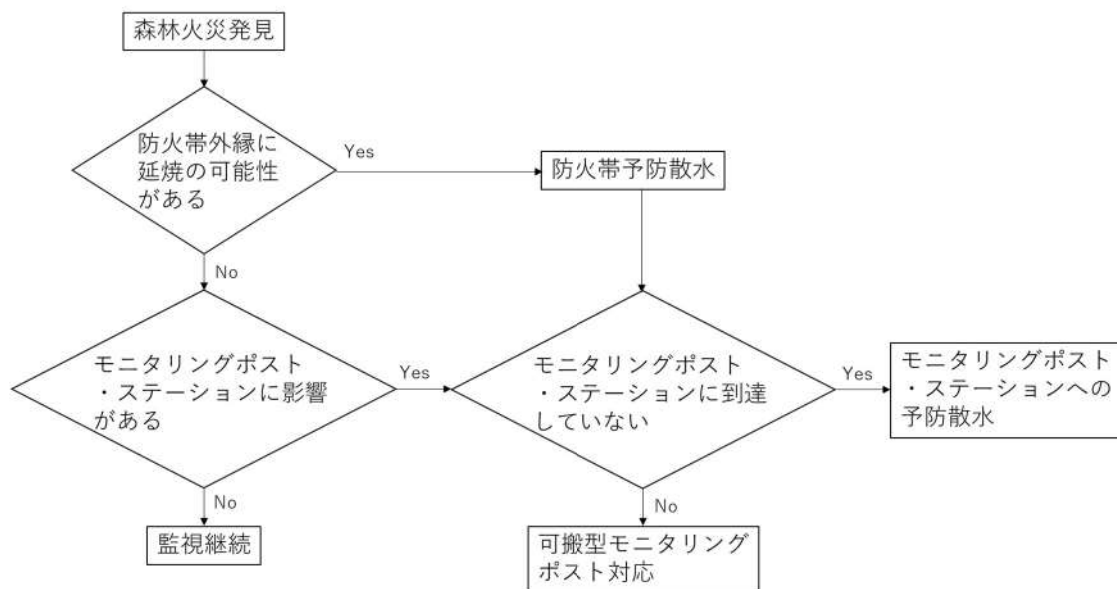


図 2-25 森林火災時のモニタリングポスト・ステーション対応フロー図

## (2) 予防散水の検証結果

### a. 森林火災を想定した予防散水（モニタリングポスト）

実施日：平成 25 年 9 月

想定火災到達地点：モニタリングポスト No. 5

訓練内容：出動連絡，移動，ホース展開，消防車連結，散水

所要時間：実施結果は表 2-23 に示す。訓練の様子を図 2-26 に示す。

評価：

- ・モニタリングポストへの消防車による散水を実施し散水は可能。
- ・出動から散水開始までの実績時間は約 25 分となった。
- ・消防車 2 台連結により実施し，散水可能であった。
- ・予防散水のうち実施条件が厳しいモニタリングポスト No. 5 で散水が可能であるため，全てのモニタリングポスト・ステーションに対し，所定の時間内で散水可能であると評価する。

また，防潮堤の再構築により構内入構ルートが変更になるため，予防散水活動時に本ルートを通行するモニタリングポスト No. 2 及び No. 6 については，過去の実績等から想定時間を算定した結果，約 24 分及び約 34 分となり，所定の時間内で散水可能であると評価する。

表 2-22 モニタリングポスト・ステーション付近への予防散水計画

火災到達ポイント	EPO-2	EPO-3～EPO-5 EMS-1	EPO-6
使用水源	河川水 防火水槽 No. 1 屋外消火栓	防火水槽 No. 1 屋外消火栓	防火水槽 No. 1 屋外消火栓
防火水槽容量	—	60m <sup>3</sup>	60m <sup>3</sup>
消防自動車等の台数	2台	2台	2台
連絡から予防散水開始まで (訓練実績)	—※1	約 25 分	—※1
連絡から予防散水開始まで (過去の実績等からの想定)	約 24 分※2	—	約 34 分※2
予防散水継続時間 (間欠)	—	約 158 分	約 158 分
対応人数	初期消火要員 11名		

※1：構内入構ルート変更前は，移動距離が EPO-5 よりも短いことから，EPO-5 の訓練結果に包絡される。

※2：構内入構ルート変更予定のため，過去の実績等から所要時間を算出した。(別紙 2-9)

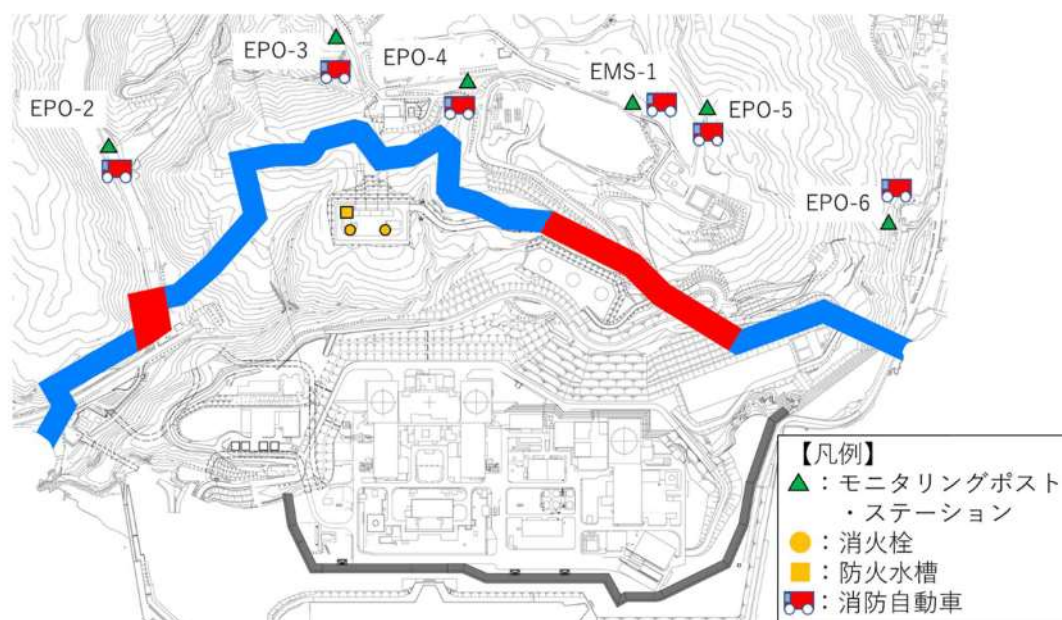


図 2-26 モニタリングポスト・ステーション付近への予防散水

表 2-23 モニタリングポスト・ステーション付近への予防散水活動時間  
(1/3)

散水開始までの所要時間

【モニタリングポストNo.5】

手順	内容	経過時間 (min)							備考
		0	5	10	15	20	25	30	
① 出動準備	初期消火要員へ連絡	▼ 連絡							
	出動準備～消防車出動まで	■							訓練実績時間:7分 (累計時間:7分)
② 移動	モニタリングポストNo.5付近へ移動		■						訓練実績時間:15分 (累計時間:22分)
③ 放水準備	消防車配置、ホース敷設						■		訓練実績時間:2分 (累計時間:24分)
④ 放水開始	予防散水開始							■	訓練実績時間:1分 (累計時間:25分)

表 2-23 モニタリングポスト・ステーション付近への予防散水活動時間  
(2/3)

散水開始までの所要時間

【モニタリングポストNo.2】

手順	内容	経過時間 (min)							備考
		0	5	10	15	20	25	30	
① 出動準備	初期消火要員へ連絡								
② 移動	出動準備～消防車出動まで								訓練実績時間:7分 (累計時間:7分)
③ 放水準備	モニタリングポストNo.2付近へ移動								想定時間:12分 (累計時間:19分)
④ 放水開始	消防車配置、河川水の取水準備								訓練実績時間:4分 (累計時間:23分)
	予防散水開始								訓練実績時間:1分 (累計時間:24分)

表 2-23 モニタリングポスト・ステーション付近への予防散水活動時間  
(3/3)

散水開始までの所要時間

【モニタリングポストNo.6】

手順	内容	経過時間 (min)							備考	
		0	5	10	15	20	25	30		
③出動準備	初期消火要員へ連絡	▼ 連絡								
④移動	出動準備～消防車出動まで									訓練実績時間:7分 (累計時間:7分)
⑤放水準備	モニタリングポストNo.6付近へ移動									想定時間:24分 (累計時間:31分)
⑥放水開始	消防車配置、ホース敷設									想定時間:2分 (累計時間:33分)
	予防散水開始									想定時間:1分 (累計時間:34分)