

女川原子力発電所2号炉 火山影響評価について

平成30年6月28日
東北電力株式会社

目次

1. 基本方針
2. 立地評価
3. 評価結果
4. 気中降下火砕物の対策に係る検討状況について

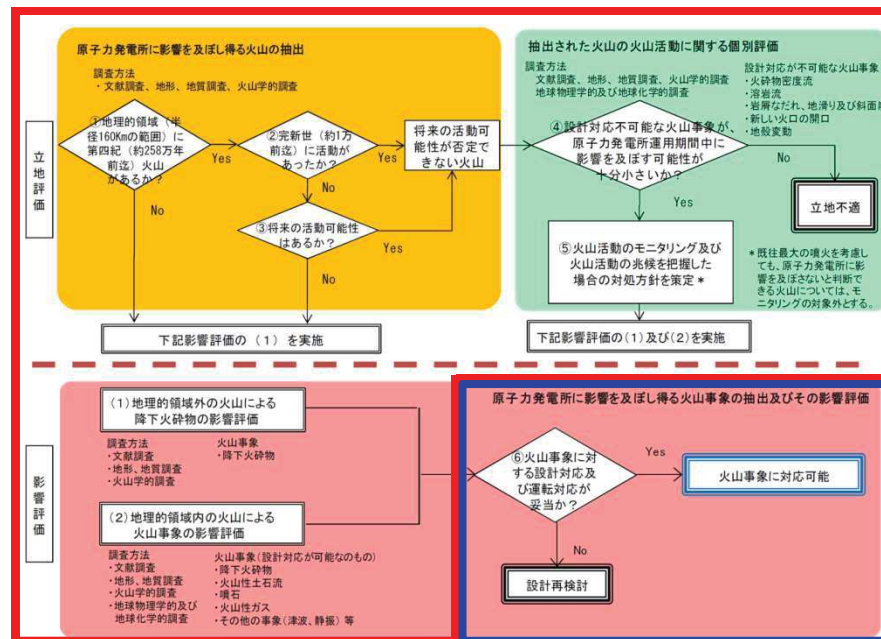
1. 基本方針

1.1 概要

「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(外部からの衝撃による損傷の防止)において、想定される自然現象の一つとして、火山の影響が挙げられていることから、火山影響評価を行い、安全機能が維持されることを確認する

1.2 火山影響評価の流れ

影響評価では、火山の影響により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するための「原子力発電所の火山影響評価ガイド」を参照し、火山事象への設計対応及び運転対応の妥当性について、評価を行う(図1参照)



第189回審査会合(H27.1.30)
第238回審査会合(H27.6.12)
第446回審査会合(H29.2.24)
で審議

今回説明範囲

図1 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の基本フロー

2. 立地評価

2.1 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

- 地理的領域内に分布する第四紀火山(31火山)について, 将来の火山活動の可能性を検討
- 栗駒山, 蔵王山, 安達太良山, 磐梯山等, 11火山を抽出(図2参照)

2.2 運用期間における火山活動に関する個別評価

- 抽出した11火山を対象として, 設計対応不可能な火山事象(火砕物密度流, 溶岩流, 岩屑なだれ, 地滑り及び斜面崩壊, 新しい火口の開口, 地殻変動)が影響を及ぼす可能性について個別評価
- 個別評価の結果, 設計対応不可能な火山事象については, 敷地までの十分な離隔距離がある等の理由により, 原子力発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価
- また, 抽出した11火山の既往最大規模の噴火を考慮しても, 原子力発電所に影響を及ぼさないと評価し, 火山モニタリングは不要と判断

発電所に影響を及ぼし得る火山事象として考慮が必要なものは「降下火砕物」のみ

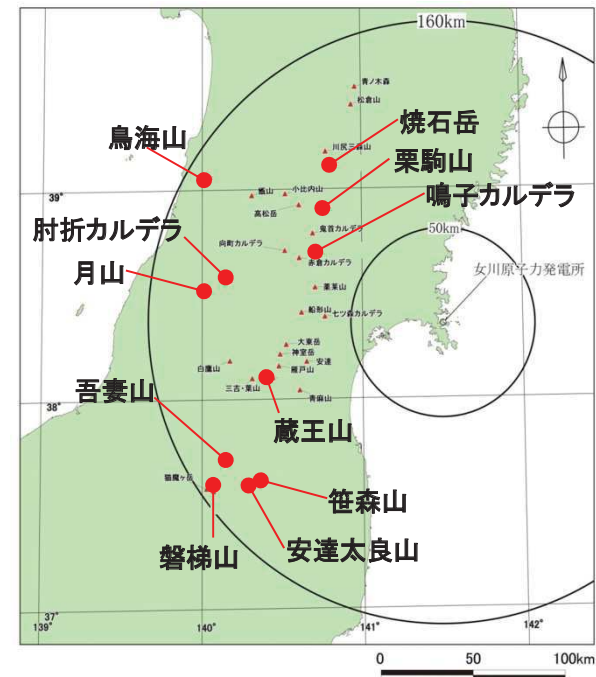


図2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山

3. 影響評価(1/21)

3.1 火山事象の影響評価

- 発電所に影響を及ぼし得る火山事象として考慮が必要な「降下火砕物」について、影響評価を行うこととする
- 女川原子力発電所の降下火砕物による影響評価に用いる条件について、地質調査結果、文献調査結果、敷地周辺での露頭調査の結果及び降下火砕物シミュレーション結果を用い、設備の影響評価に必要となる降下火砕物の特性を設定する(表1, 2参照)

表1 降下火砕物特性の設定結果

項目	設定	備考
層厚	15 cm	「構造物への静的負荷」の評価に使用
密度	湿潤密度: 1.5 g/cm ³	
堆積荷重※1	2508 N/m ²	
粒径	2 mm以下	「水循環系の閉塞」及び「換気、電気系及び計測制御系に対する機械的影響」の評価に使用
化学的特性	火山ガス成分が付着	火山ガス成分には、化学的腐食や給水の汚染を引き起こす成分(塩素イオン、フッ素イオン、硫化物イオン等)が含まれる。

表2 火山影響評価ガイドの添付1の手法により算出した気中降下火砕物の特性

ϕ	-1~0	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7
粒径i(mm)※2	1.4	7.1×10^{-1}	3.5×10^{-1}	1.8×10^{-1}	8.8×10^{-2}	4.4×10^{-2}	2.2×10^{-2}	1.1×10^{-2}
粒径iの割合 p_i (wt%)	2.9×10^{-5}	14.0	59.0	17.0	7.9	2.2	0.26	0.032
堆積速度 v_i (g/s·m ²)	5.1×10^{-7}	0.24	1.0	0.30	0.14	3.8×10^{-2}	4.5×10^{-3}	5.6×10^{-4}
堆積期間t(h)	24							

※1: 堆積荷重=降下火砕物による荷重(2207 [N/m²]) + 降下火砕物による荷重と組合せる積雪荷重(301[N/m²])

(1) 降下火砕物の荷重=堆積量×単位荷重=0.15[m]×1500[kg/m³]×9.80665[m/s²]=2207[N/m²]

(2) 降下火砕物による荷重と組合せる積雪荷重=積雪量×単位荷重=43[cm]*1×20[N/m²·cm]*2×0.35*3=301[N/m²]

*1: 石巻特別地域気象観測所における積雪の深さの月最大値(43cm) [1923年2月17日]

*2: 建築基準法施行令に基づく積雪の単位荷重(積雪1cmあたり20N/m²)

*3: 建築基準法では、多雪地域で地震や暴風と組合せる際に用いる積雪荷重は短期積雪荷重の0.35倍としていることを参考に、降下火砕物による荷重と組合せる積雪荷重は積雪量(43cm)による積雪荷重の0.35倍とする。

※2: ϕ スケール($i=2^{-\phi}$ (mm))による中央粒径を示す

別添3-1 火山影響評価について
3.1 火山事象の影響評価

3. 影響評価(2/21)

3.2 火山事象(降下火砕物)に対する設計の基本方針

- 女川原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象は「降下火砕物」であることから、降下火砕物に対して防護すべき評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。以下に防護の基本方針を示す
 - ① 降下火砕物による直接的な影響(荷重, 閉塞, 摩耗, 腐食等)に対して安全機能を損なわない設計とする
 - ② 原子力発電所内の構築物, 系統及び機器における降下火砕物の除去等の対応が可能な設計とする
 - ③ 降下火砕物による間接的な影響(外部電源喪失, 発電所外での交通の途絶)に対し, 原子炉の停止及び停止後の冷却, 並びに使用済燃料プールの冷却に係わる電源の供給が非常用ディーゼル発電機による継続できる設計とすることで, 安全機能を損なわない設計とする
- 評価対象施設の影響は図3に示すフローに基づき実施する

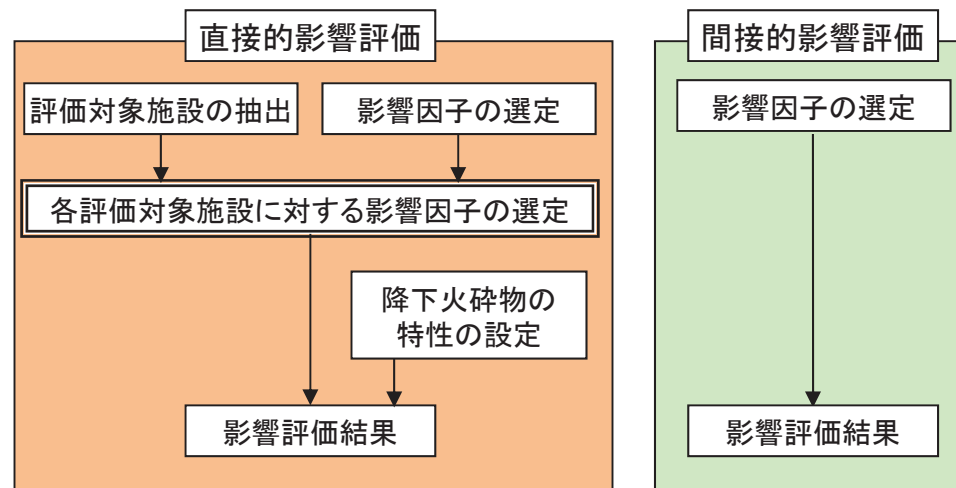


図3 影響評価フロー

別添3-1 火山影響評価について
3.2 火山事象(降下火砕物)に対する
設計の基本方針

3. 影響評価(3/21)

3.3 安全施設のうち評価対象施設の抽出

- 設置許可基準規則第6条の要求事項として、外部事象防護対象施設を抽出し、これらに対して降下火砕物発生時の要求事項を踏まえて、網羅的に防護施設を抽出した。評価対象施設の抽出フローを図4-1、抽出結果を図4-2に示す

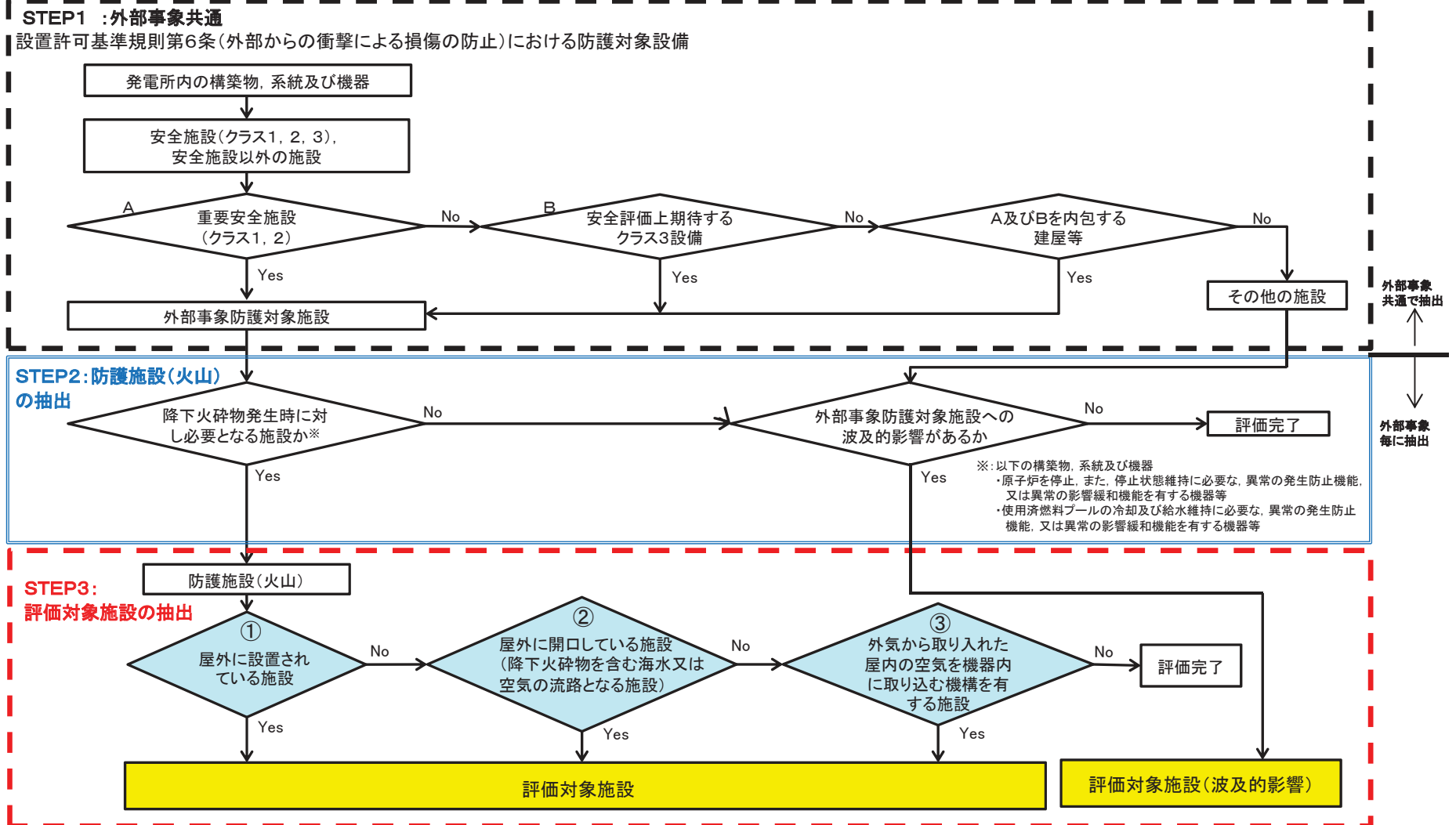


図4-1 評価対象施設抽出フロー

別添3-1 火山影響評価について
3.3 安全施設のうち評価対象施設の抽出

3. 影響評価(4/21)

3.3 安全施設のうち評価対象施設の抽出

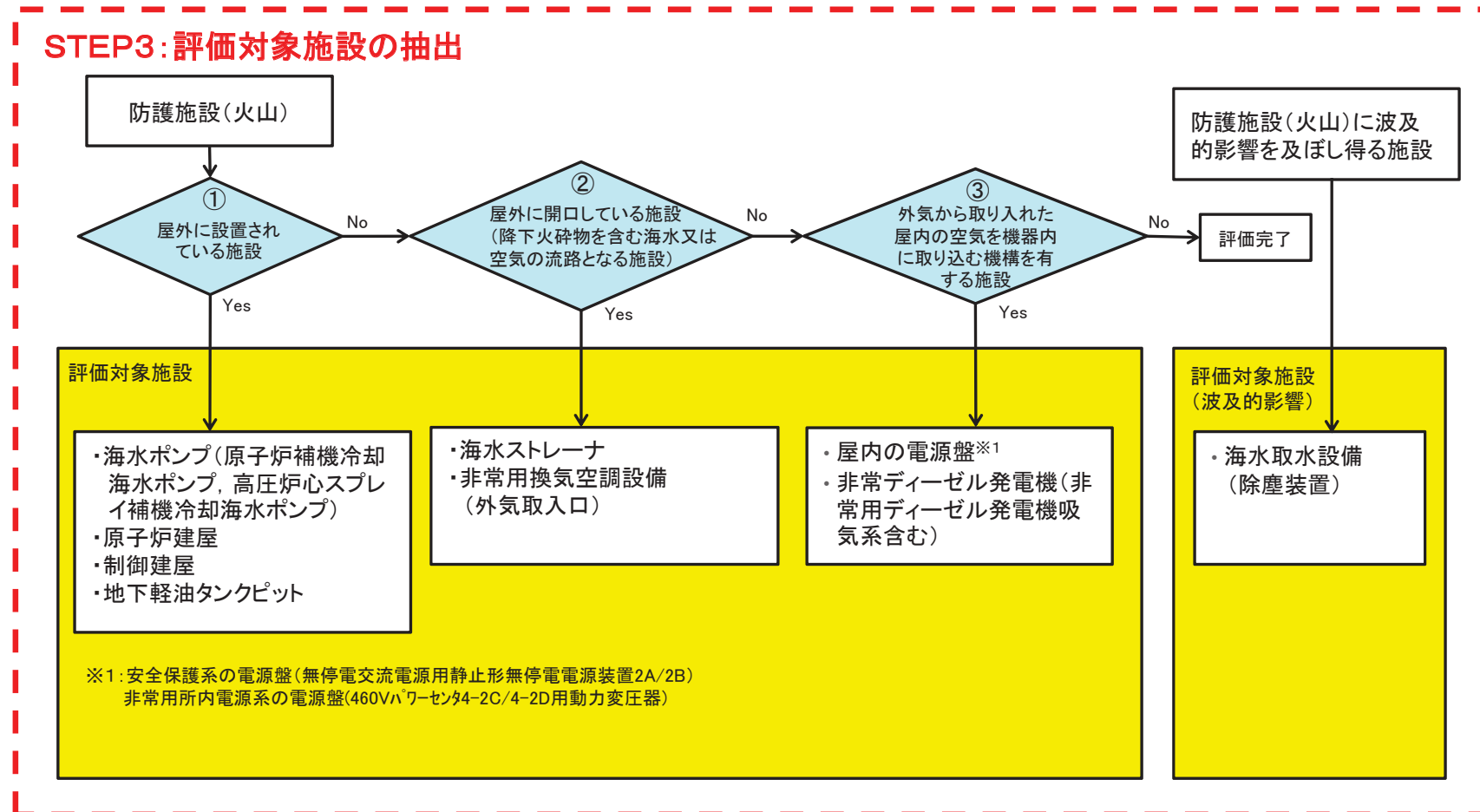


図4-2 評価対象施設抽出結果

3. 影響評価(5/21)

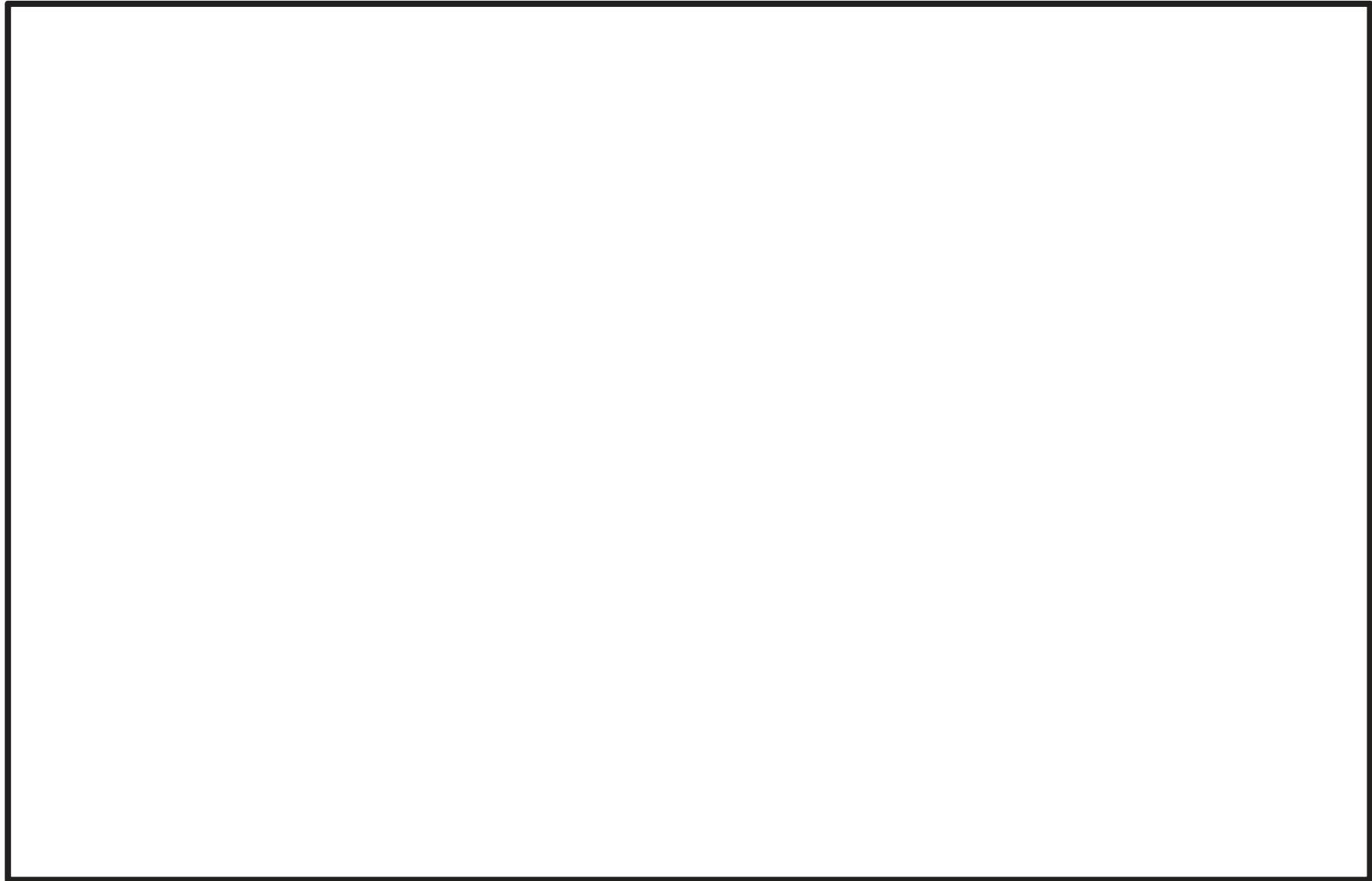


図5 評価対象施設の設置場所(1/3)

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

別添3-1 火山影響評価について
3.3 安全施設のうち評価対象施設の抽出

3. 影響評価(6/21)

非常用換気空調設備(外気取入口)

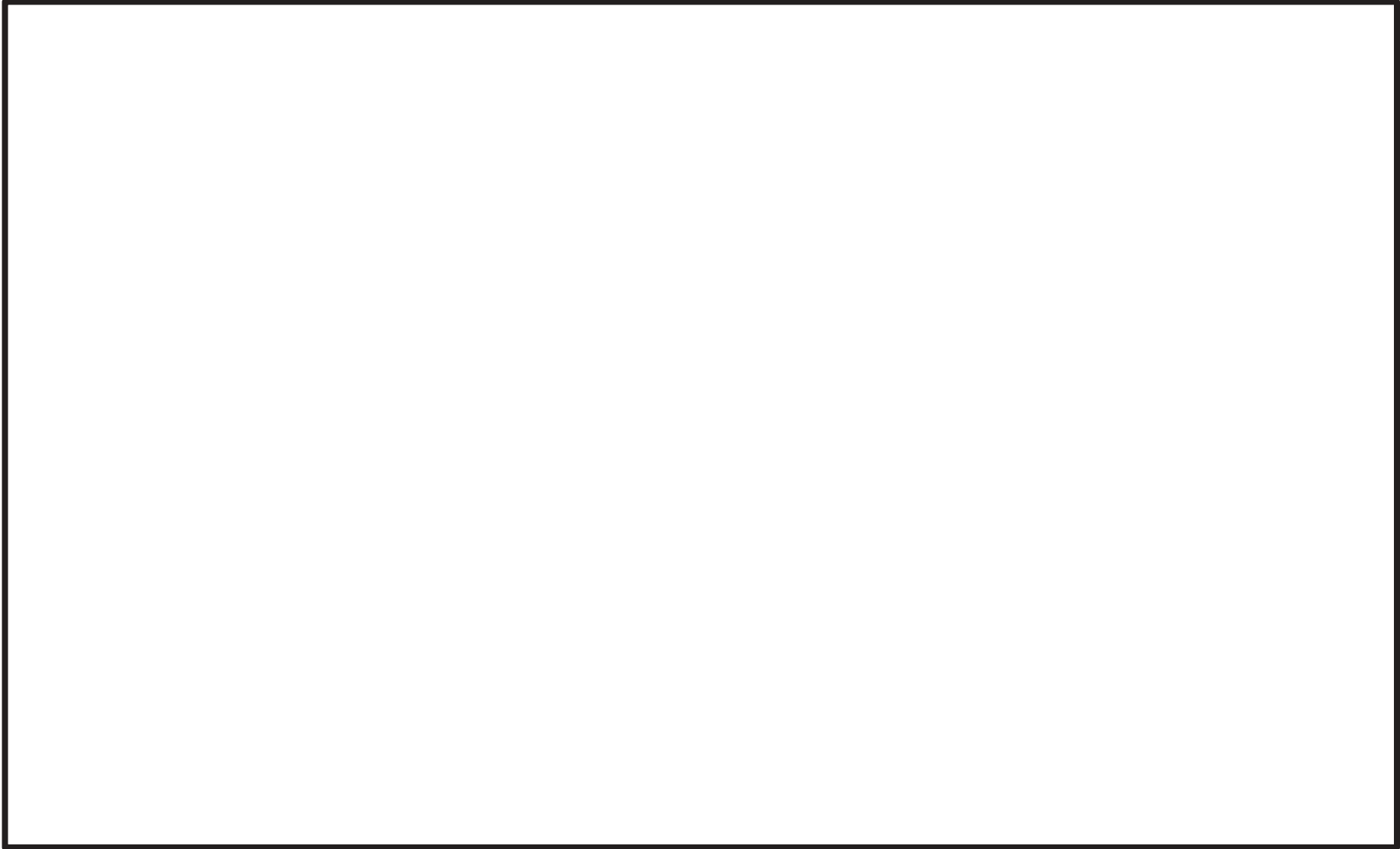


図5 評価対象施設の設置場所(2/3)

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

別添3-1 火山影響評価について
3.3 安全施設のうち評価対象施設の抽出

3. 影響評価(7/21)

屋内の電源盤

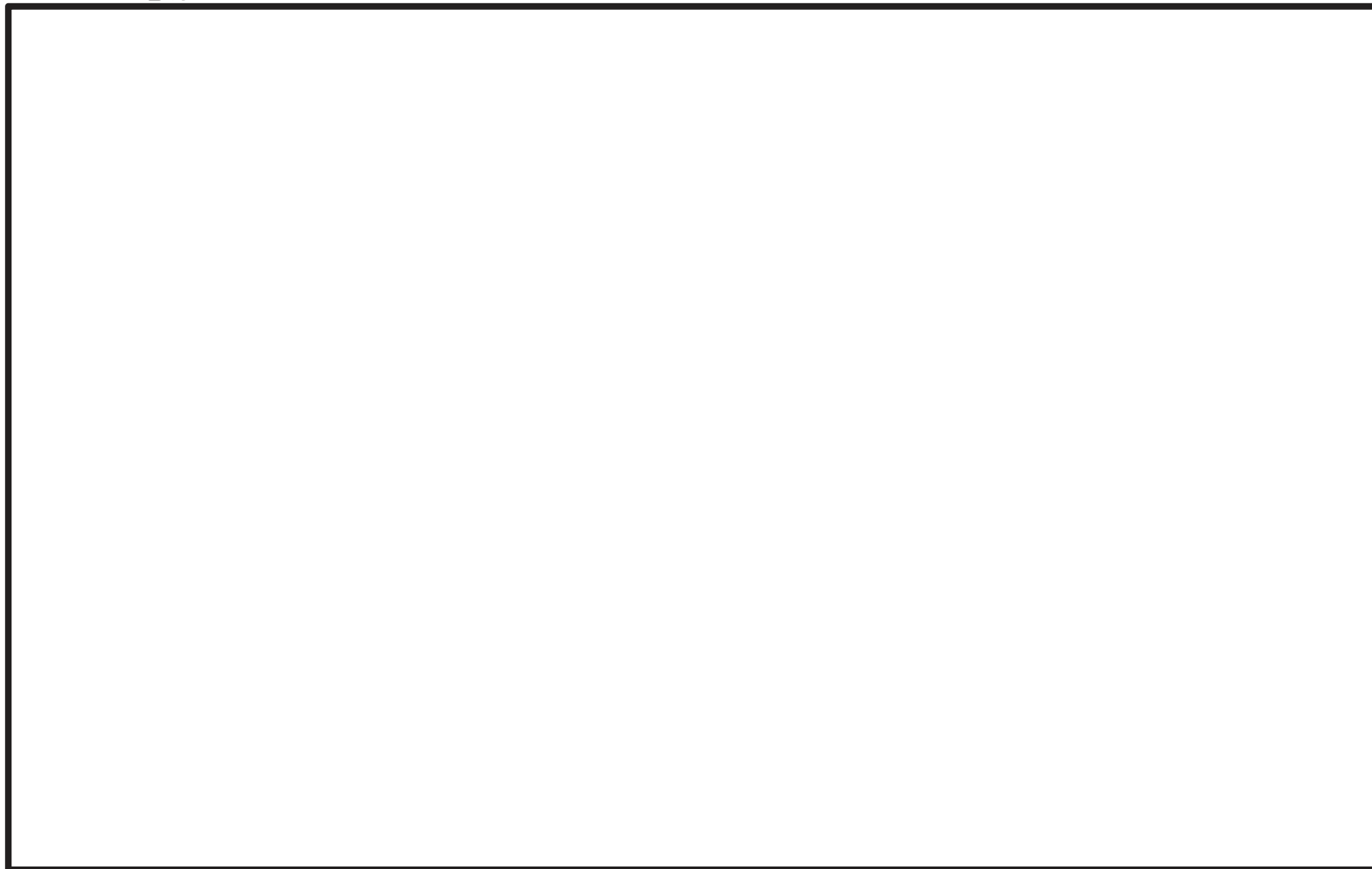


図5 評価対象施設の設置場所(3/3)

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

別添3-1 火山影響評価について
3.3 安全施設のうち評価対象施設の抽出

3. 影響評価(8/21)

3.4 降下火砕物による影響の選定

- 降下火砕物の特徴及び評価対象施設の構造や設置状況等を考慮して直接的影響となる要因を選定する

表2 降下火砕物が設備に影響を与える可能性のある因子(1/2)

影響を与える可能性のある因子	評価方法	詳細検討すべきもの
構造物への静的負荷	屋外の構造物において降下火砕物堆積荷重による影響を評価する。なお、荷重条件は水を含んだ場合が大きくなるため、降雨条件及び積雪の重畳を考慮する	○
構造物への化学的影響(腐食)	屋外設備は外装の塗装等によって、腐食による影響が小さいことを評価する	○
粒子の衝突	降下火砕物は微小な粒子であり、「竜巻影響評価」で設定している設計飛来物に包絡されることを確認していることから、詳細評価は不要	—
水循環系の閉塞	海水中に漂う降下火砕物による狭隘部等における閉塞の影響を評価する。また、必要に応じて、海水を供給している下流の設備への影響についても考慮する	○
水循環系の内部における摩耗	海水中に漂う降下火砕物の設備内部の摩耗の影響を評価する。また、必要に応じて、海水を供給している下流の設備への影響についても考慮する	○
水循環系の化学的影響(腐食)	耐食性のある材料の使用や塗装の実施等によって、腐食による影響がないことを評価する	○
換気系、電気系及び計測制御系に対する機械的影響(摩耗・閉塞)	屋外設備等において影響を考慮すべき要因である。なお、必要に応じて、換気系の給気を供給している範囲への影響についても考慮する	○
換気系、電気系及び計測制御系に対する化学的影響(腐食)	屋外設備等において影響を考慮すべき要因である。なお、必要に応じて、換気系の給気を供給している範囲への影響についても考慮する	○

(次項に続く)

3. 影響評価(9/21)

(前項の続き)

表2 降下火砕物が設備に影響を与える可能性のある因子(2/2)

影響を与える可能性のある因子	評価方法	詳細検討すべきもの
発電所周辺の大気汚染	運転員が常時滞在する中央制御室における居住性を評価する	○
水質汚染	発電所では、降下火砕物の影響を受ける可能性のある淡水を直接給水として使用していない、また、給水は水質管理を行っており、プラントの安全機能に影響しない	—
絶縁低下	屋内の施設であっても、屋内の空気を取り込む機構を有する電源盤については、影響がないことを評価する	○

- 降下火砕物により間接的影響を及ぼす因子としては以下のとおり
 - ・ 湿った降下火砕物が送電線の碍子、開閉所の充電露出部等に付着し絶縁低下を生じさせることによる広範囲にわたる送電網の損傷に伴う「外部電源喪失」
 - ・ 降下火砕物が道路に堆積することによる交通の途絶に伴う「アクセス制限」

3. 影響評価(10/21)

➤ 降下火砕物による影響の選定

- 各評価対象施設と評価すべき直接的影響の要因について整理し、評価対象施設の特性を踏まえて必要な評価項目を選定した

表3 降下火砕物が影響を与える評価対象設備と影響因子の組み合わせ

影響因子 評価対象設備	構造物への 静的負荷	構造物への 化学的影響 (腐食)	水循環系の 閉塞・摩耗	水循環系の 化学的影響 (腐食)	換気系、電気系及 び計測制御系に対 する機械的影響(閉 塞・摩耗)	換気系、電気系及 び計測制御系に対 する化学的影響 (腐食)	発電所周 辺の大気 汚染	絶縁低下
原子炉建屋, 制御建屋 地下軽油タンクピット	●	●	-(④)	-(④)	-(④)	-(④)	-(④)	-(④)
海水ポンプ	●	●	● (ポンプ)	● (ポンプ)	● (モータ)	● (モータ)	-(④)	-(④)
海水ストレーナ	-(①)	-(③)	●	●	-(④)	-(④)	-(④)	-(④)
海水取水設備 (除塵装置)	-(④)	-(②)	●	●	-(④)	-(④)	-(④)	-(④)
非常用換気空調設備 (外気取入口)	-(①)	-(②)	-(④)	-(④)	●	●	●	-(④)
非常用ディーゼル発電 機(非常用ディーゼル 発電機吸気系含む)	-(①)	-(①)	-(④)	-(④)	●	●	-(④)	-(④)
屋内の電源盤	-(①)	-(①)	-(④)	-(④)	-(④)	-(④)	-(④)	●

凡例 ●: 詳細な評価が必要な設備
-: 評価対象外()内数値は理由

【評価除外理由】

- ①: 降下火砕物(静的荷重等)の影響を受け難い構造(屋内設備の場合含む)
- ②: 金属材料を用いること短期での腐食に対して、機能に有意な影響を受け難い
- ③: 塗装により腐食が起り難い
- ④: 影響因子と直接関連しない

別添3-1 火山影響評価について
3.4 降下火砕物による影響の選定

3. 影響評価(11/21)

3.5 設計荷重の設定

(1) 評価対象施設に常時作用する荷重

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) 設計基準事故時荷重

設計基準事故とは独立事象であること, また, 設計基準事故時荷重が生じる屋外設備はないことから, 設計基準事故時荷重との組み合わせは考慮しない

(3) その他の自然現象の影響を考慮した荷重の組合せ

風(台風)及び積雪の荷重を適切に組み合わせる

3. 影響評価(12/21)

3.6 降下火砕物に対する設計

3.6.1 直接的影響に対する設計方針及び評価結果

(1) 評価対象施設を内包し、降下火砕物から防護する建屋等(原子炉建屋, 制御建屋, 地下軽油タンクピット)の設計方針及び評価結果

表4 建屋等の設計方針及び評価結果

評価項目	設計方針	評価結果
構造物の静的負荷	許容荷重が安全裕度を有することにより、構造健全性を失わずに安全機能を損なわない設計とする	降下火砕物の堆積荷重に対して、十分な安全裕度を確認(表5参照)
構造物への化学的影響(腐食)	火山性ガスの腐食の影響を踏まえて、外装の塗装等によって、短期での腐食により安全機能を損なわない設計とする	外壁塗装が施されていることやコンクリート構造であることから、降下火砕物による短期での腐食の影響は小さいことを確認

表5 降下火砕物と積雪に対する評価対象施設の評価結果

評価対象建屋	対象部位	許容堆積荷重(N/m ²)	降下火砕物堆積荷重(N/m ²)	結果
原子炉建屋	屋根スラブ	4,117	2,508	○
制御建屋	屋根スラブ	4,559		○
地下軽油タンクピット	ピット頂版	4,900		○

別添3-1 火山影響評価について
3.6.1 直接的影響に対する設計方針
個別評価-1, 補足資料-4,8

3. 影響評価(13/21)

(2) 海水ポンプ(原子炉補機冷却海水ポンプ・モータ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ・モータ)の設計方針及び評価結果

表6 海水ポンプの設計方針及び評価結果

評価項目	設計方針	評価結果
構造物の静的負荷	許容荷重が安全裕度を有することにより, 構造健全性を失わず安全機能を損なわない設計とする	降下火砕物の堆積荷重(図6及び図7参照)に対して, 十分な安全裕度を確認(表7)
「構造物への化学的影響(腐食)」及び「水循環系の化学的影響(腐食)」	火山性ガスの腐食の影響を踏まえて, 耐食性のある材料の使用や塗装の実施等によって, 短期での腐食により安全機能を損なわない設計とする	海水ポンプ及びモータは外面塗装を実施している。また, 海水ポンプの主要部は耐食性のあるステンレス鋼を用いており, 内面はゴムライニングや塗装を実施していることから降下火砕物による短期での腐食の影響は小さいことを確認

表7 評価部位に対する降下火砕物の堆積荷重による応力評価結果

評価部位	応力	計算値 [MPa]	許容値 [MPa]	結果
モータフレーム(原子炉補機冷却海水ポンプ)	曲げ応力	6	282	○
	圧縮応力	3	244	○
モータフレーム(高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ)	曲げ応力	3	130	○
	圧縮応力	2	130	○

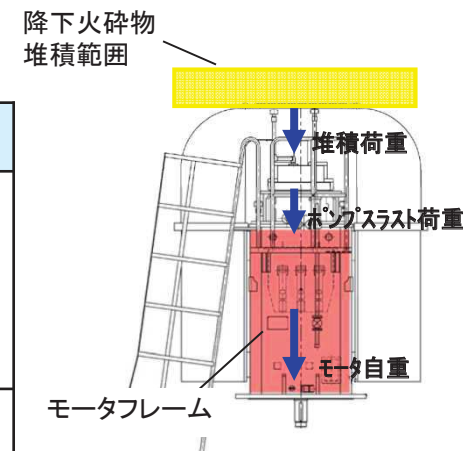


図6 原子炉補機冷却海水ポンプモータへの静的負荷

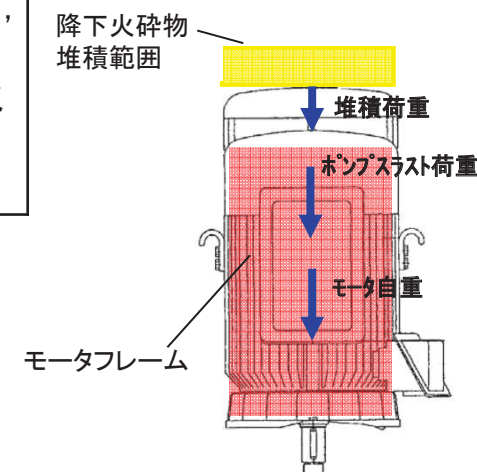


図7 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプモータへの静的負荷

別添3-1 火山影響評価について
3.6.1 直接的影響に対する設計方針
個別評価-2, 補足資料-4.8

3. 影響評価(14/21)

(2) 海水ポンプ(原子炉補機冷却海水ポンプ・モータ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ・モータ)の設計方針及び評価結果

表8 海水ポンプの設計方針及び評価結果

評価項目	設計方針	評価結果
「水循環系の閉塞」	降下火砕物の粒径に対し十分な流路幅を設けるとともに、ポンプ軸受部が閉塞しないことで安全機能を損なわない設計とする	流水部の狭隘部は降下火砕物の粒径より大きく、閉塞には至らないことを確認。軸受部は異物逃がし溝を設けているため、降下火砕物による閉塞には至らないことを確認(図8及び表9参照)
「水循環系の摩耗」	主要な降下火砕物の摩耗により安全機能を損なわない設計とする	主要な降下火砕物は破碎し易く、摩耗による影響は小さいことを確認

表9 海水ポンプの流水部・軸受部隙間の概略寸法

評価対象機器	流水部(狭隘部) [mm]	軸受部(異物逃がし溝)	
		上部・中間部[mm]	下部[mm]
原子炉補機冷却海水ポンプ	55		
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	29		

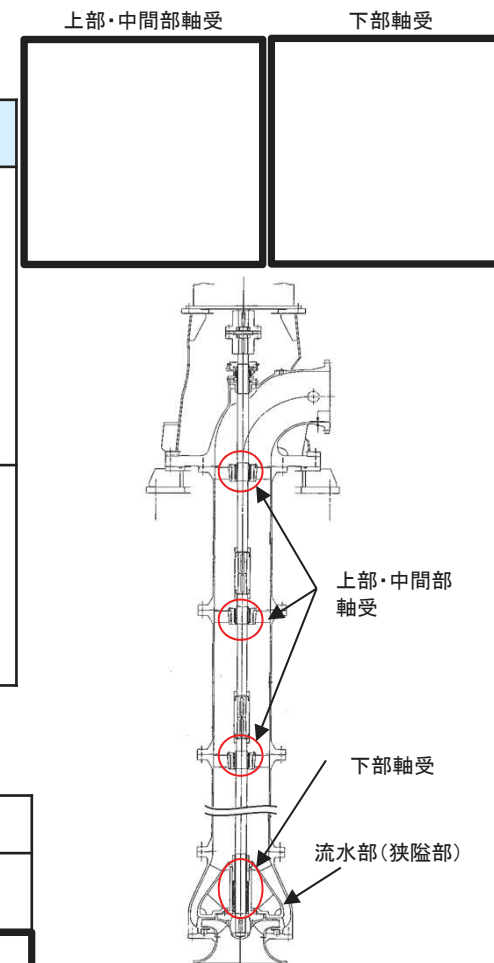


図8 原子炉補機冷却海水ポンプの外形図

別添3-1 火山影響評価について
3.6.1 直接的影響に対する設計方針
個別評価-2, 補足資料-3

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

3. 影響評価(15/21)

(2) 海水ポンプ(原子炉補機冷却海水ポンプ・モータ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ・モータ)の設計方針及び評価結果

表10 海水ポンプの設計方針及び評価結果

評価項目	設計方針	評価結果
「換気系, 電気系及び計測制御系に対する機械的影響(閉塞・摩耗)」	海水ポンプモータ内部に降下火砕物が侵入しないことで安全機能を損なわない設計とする	海水ポンプモータは外気を直接内部に取込まない冷却方式であり, 降下火砕物の侵入による閉塞の可能性は小さいこと※を確認(図9及び図10参照)
「換気系, 電気系及び計測制御系に対する化学的影響(腐食)」	火山性ガスの腐食の影響を踏まえて, 海水ポンプモータ内部に降下火砕物が侵入しない設計であること及び金属材料を用いることで, 短期での腐食により安全機能を損なうことのない設計とする	海水ポンプモータは外気を直接内部に取込まない冷却方式であり, モータ内部への降下火砕物の侵入はないこと及び金属材料を用いていることから降下火砕物による短期での腐食の影響は小さいことを確認(図9及び図10参照)

※: 原子炉補機冷却海水ポンプモータについては空冷式空気冷却器の冷却管があり, 降下火砕物に空気中の水分が混ざり, 凝集することによる閉塞が考えられるが, 外気の取入口は下向きに設置され, 吸込部には金網が設置されていることから, 降下火砕物が侵入し難い構造であること, 又水分を含み重くなった降下火砕物はより侵入しにくいこと, 仮に侵入しても冷却管の内径(約29mm)に対して降下火砕物の粒径が十分小さく, 運転中はファンからの通風(管内風速: 約15m/s)により外部に排出されると考えられるため, 空気冷却器冷却管への降下火砕物の侵入による閉塞の可能性は小さいことを確認

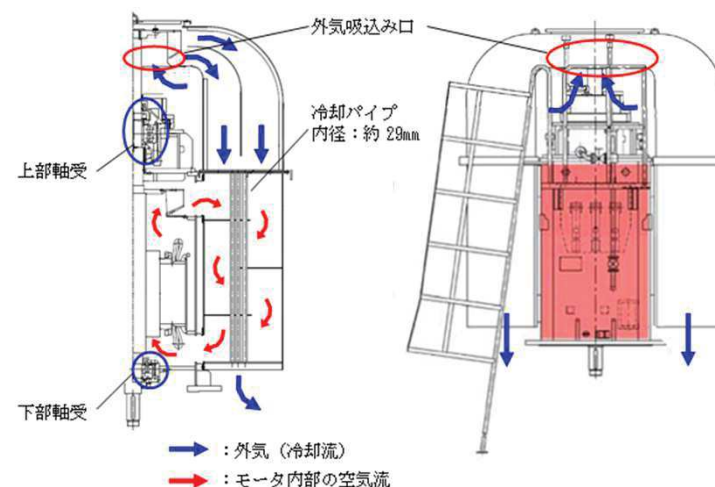


図9 原子炉補機冷却海水ポンプモータの冷却方式

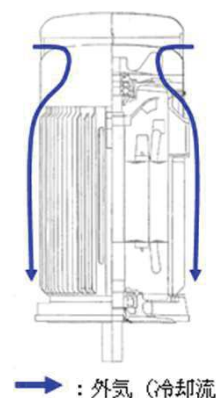


図10 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプモータの冷却方式

別添3-1 火山影響評価について
3.6.1 直接的影響に対する設計方針
個別評価-2, 補足資料-8

3. 影響評価(16/21)

(3) 海水ストレーナ(原子炉補機冷却海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ストレーナ)の設計方針及び評価結果

表11 海水ストレーナの設計方針及び評価結果

評価項目	設計方針	評価結果
水循環系の閉塞	降下火砕物の粒径に対し十分な流路幅を設けるとともに差圧管理により切替・洗浄を可能とすることで安全機能を損なわない設計とする	降下火砕物の粒径(2mm)は海水ストレーナのフィルタの穴径(8mm)及び下流設備である熱交換器の伝熱管内径(表12参照)に対して十分小さいことを確認。海水ストレーナは差圧管理され、切替・洗浄が可能であることを確認
水循環系の摩耗	主要な降下火砕物の摩耗により安全機能を損なわない設計とする	降下火砕物は破碎し易く、摩耗による影響は小さいことを確認
水循環系の化学的影響(腐食)	耐食性のある材料の使用や塗装の実施等によって、短期での腐食により安全機能を損なわない設計とする	海水ストレーナ内面はライニングが施工されており、その他の部材もステンレス鋼を使用していることを確認。又、下流設備である熱交換器の伝熱管はアルミニウム黄銅管(表12参照)を使用していることから降下火砕物による短期での腐食の影響は小さいことを確認

表12 海水ストレーナ下流設備の熱交換器

機器名	伝熱管内径	材質
原子炉補機冷却水系熱交換器	23mm	アルミニウム黄銅管
高圧炉心スプレイ補機冷却水系熱交換器	23mm	アルミニウム黄銅管

3. 影響評価(17/21)

(4) 非常用ディーゼル発電機(吸気系含む)の設計方針及び評価結果

表13 非常用ディーゼル発電機の設計方針及び評価結果

評価項目	設計方針	評価結果
換気系, 電気系及び計測制御系に対する機械的影響(閉塞・摩耗)	①換気空調系のバグフィルタにより大きな降下火砕物が内部に侵入しにくい設計とする ②バグフィルタを通過した小さな粒径の降下火砕物が侵入した場合でも, 十分な流路幅を設け, 閉塞により安全機能を損なわない設計とする ③降下火砕物が侵入した場合でも, 摩耗により安全機能を損なわない設計とする	①バグフィルタにより粒径約 $2\mu\text{m}$ 以上のものは, 80%以上捕捉できることを確認 ②機関吸気に微細な降下火砕物が侵入した場合でもシリンダライナー／ピストンリング間隔が非常に狭く, 降下火砕物が侵入して閉塞する可能性は小さいことを確認(図11参照) ③微細な降下火砕物が侵入したとしても摩耗の影響は小さいことを確認※1
換気系, 電気系及び計測制御系に対する化学的影響(腐食)	火山性ガスの腐食の影響を踏まえて, 短期での腐食により安全機能を損なわない設計とする	金属材料の使用や潤滑油に対する火山性ガスの影響※2を確認し, 降下火砕物による短期での腐食の影響は小さいことを確認

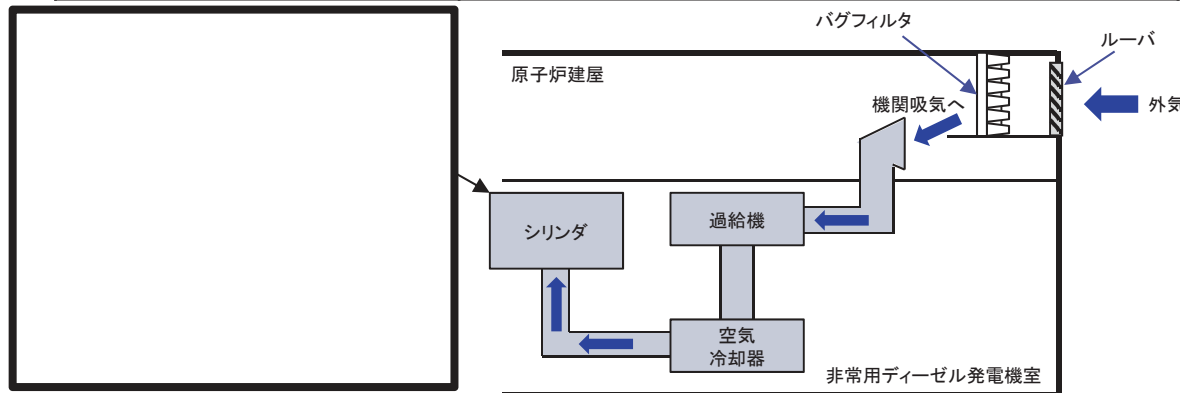


図11 非常用ディーゼル機関吸気系構造図

※1: 主要な降下火砕物は, 砂と比較しても破碎し易く, 硬度は同等又は低いこと, 加えて, 現在までの保守点検において有意な摩耗は確認されていないことから, 影響は小さいと考えられる。

降下火砕物の溶融による影響については, 降下火砕物の融点が約 $1,000^{\circ}\text{C}$ であることに対して, シリンダから排出される排気ガスの温度が, 約 500°C であることから火山灰は溶融には至らないため, 影響は小さいと考えられる。

※2: 降下火砕物に付着した火山性ガスによる影響を確認するため, 潤滑油に降下火砕物を混入させた状態における潤滑油の成分分析を実施した結果, 潤滑油の性状に影響がないことを確認

別添3-1 火山影響評価について
3.6.1 直接的影響に対する設計方針
個別評価-4, 補足資料-3.6.7.8

3. 影響評価(18/21)

(5) 非常用換気空調設備(外気取入口)の設計方針及び評価結果

表14 非常用換気空調設備(外気取入口)の設計方針及び評価結果

評価項目	設計方針	評価結果
換気系, 電気系及び計測制御系に対する機械的影響(閉塞・摩耗)	換気空調系のバグフィルタにより大きな降下火砕物が内部に侵入しにくい設計とする	バグフィルタにより粒径約2 μ m以上のものは, 80%以上捕捉できることから降下火砕物が内部に侵入しにくいことを確認
換気系, 電気系及び計測制御系に対する化学的影響(腐食)	火山性ガスの腐食の影響を踏まえて, 短期での腐食により安全機能を損なわない設計とする	金属材料を用いていることから降下火砕物による短期での腐食の影響は小さいことを確認
発電所周辺の大気汚染	中央制御室換気空調系の外気取入ダンパの閉止及び再循環運転をすることにより, 中央制御室内への降下火砕物の侵入を防止することで, 安全機能を損なわない設計とする	中央制御室換気空調系の外気取入ダンパの閉止及び再循環運転が実施可能であり, 居住性に影響を及ぼさないことを確認(表15及び表16参照)

表15 中央制御室再循環運転における酸素濃度の時間変化

時間	12 時間	24 時間	36 時間	565 時間
酸素濃度	20.8%	20.8%	20.7%	18.0%

表16 中央制御室再循環運転における二酸化炭素濃度の時間変化

時間	12 時間	24 時間	36 時間	266 時間
二酸化炭素濃度	0.08%	0.12%	0.17%	1.0%

別添3-1 火山影響評価について
3.6.1 直接的影響に対する設計方針
個別評価-5, 補足資料5,8,11,12

3. 影響評価(19/21)

(6) 海水取水設備(除塵装置)の設計方針及び評価結果

表17 海水取水設備(除塵装置)の設計方針及び評価結果

評価項目	設計方針	評価結果
水循環系の閉塞	降下火砕物の粒径に対し十分な流路幅を設ける設計とする	降下火砕物の粒径(2mm)は取水設備のトラベリングスクリーンのメッシュ幅(12mm)に対して十分小さいことを確認
水循環系の摩耗	主要な降下火砕物の摩耗により機能を損なわない設計とする	降下火砕物は破碎し易く、摩耗による影響は小さいことを確認
水循環系の化学的影響(腐食)	耐食性のある材料の使用や塗装の実施等によって、短期での腐食により機能を損なわない設計とする	海水取水設備は塗装等を実施しており、海水と金属が接することはないことから、降下火砕物による短期での腐食の影響は小さいことを確認

(7) 屋内の電源盤の設計方針及び評価結果

表18 屋内の電源盤の設計方針及び評価結果

評価項目	設計方針	評価結果
絶縁低下	換気空調系のバグフィルタにより大きな降下火砕物が内部に侵入しにくい設計とすることで、絶縁低下による安全機能を損なわない設計とする	バグフィルタにより粒径約 $2\mu\text{m}$ 以上のものは、80%以上捕捉できることから降下火砕物が内部に侵入しにくいことを確認 細かな粒子の降下火砕物が盤内に侵入した場合でも、降下火砕物の付着等により短絡等を発生させることはない※

※ フィルタ(粒径 $2\mu\text{m}$ に対して80%以上捕捉)を介した換気空気を吸入しているため盤内に侵入する降下火砕物の粒径は $2\mu\text{m}$ 以下と推定される電源盤等において、数 μm 程度の線間距離となるのは、集積回路(ICなど)の内部であり、これら部品はモールド(樹脂)で保護されているため、降下火砕物が侵入することはない

端子台等の充電部が露出している箇所については、端子間の距離は数mm程度あることから、降下火砕物が付着しても、短絡等を発生させることはない

別添3-1 火山影響評価について
3.6.1 直接的影響に対する設計方針
個別評価-6.7, 補足資料-3.4.9

3. 影響評価(20/21)

間接的影響に対する設計方針及び評価結果

表19 間接的影響に対する設計方針及び評価結果

評価項目	設計方針	評価結果
外部電源喪失	湿った降下火砕物が送電線の碍子、開閉所の充電露出部等に付着することによる絶縁低下で生じる、広範囲の送電網の損傷に伴う外部電源喪失に対して、安全施設の安全機能が損なわれない設計とする	非常用ディーゼル発電設備は7日間の外部電源喪失、交通の途絶を考慮した場合でも、原子炉の停止及び、停止後の原子炉の冷却並びに使用済燃料プールの冷却に係る機能を担うための電源供給が可能であることを確認(図12参照)
アクセス制限	降下火砕物が道路に堆積することによる交通の途絶に伴うアクセス制限に対して、安全施設の安全機能が損なわれない設計とする	

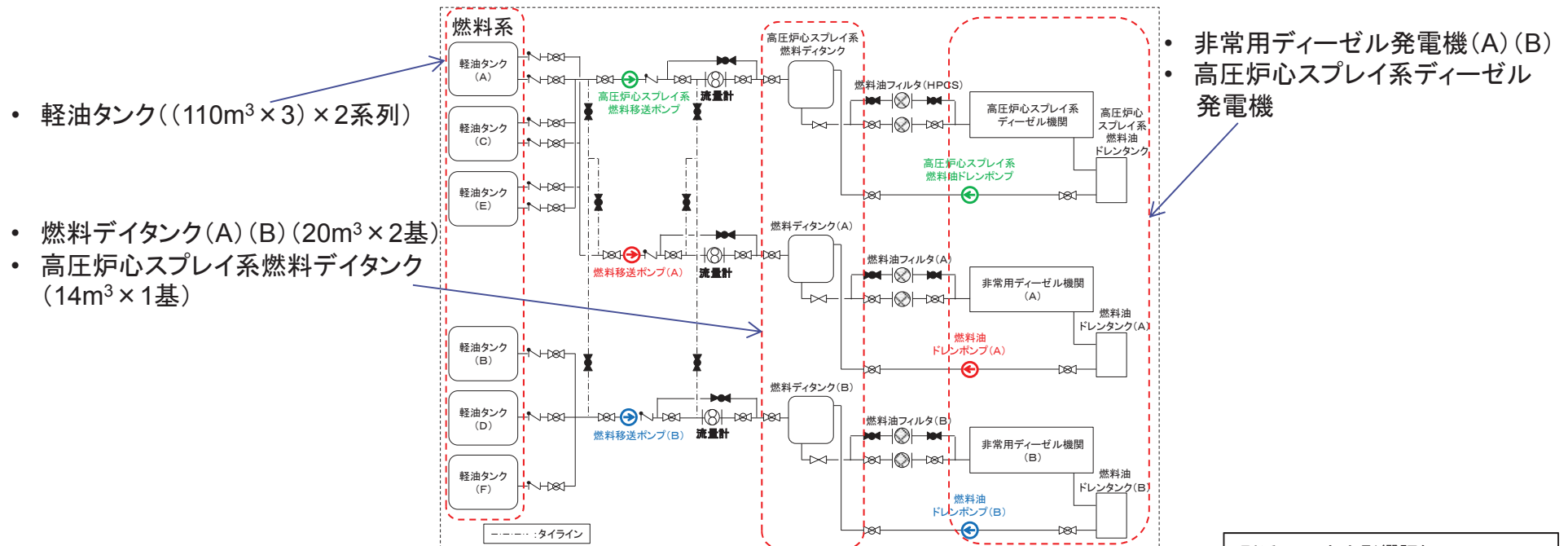


図12 非常用ディーゼル発電機の系統構成

3. 影響評価(21/21)

3.7 降下火砕物の除去等の対策

- 降下火砕物が及ぼす影響に備えて、運用手順を定め、段階的に対応する。体制は保安規定に基づき整備し、その中で活動内容について明確にする

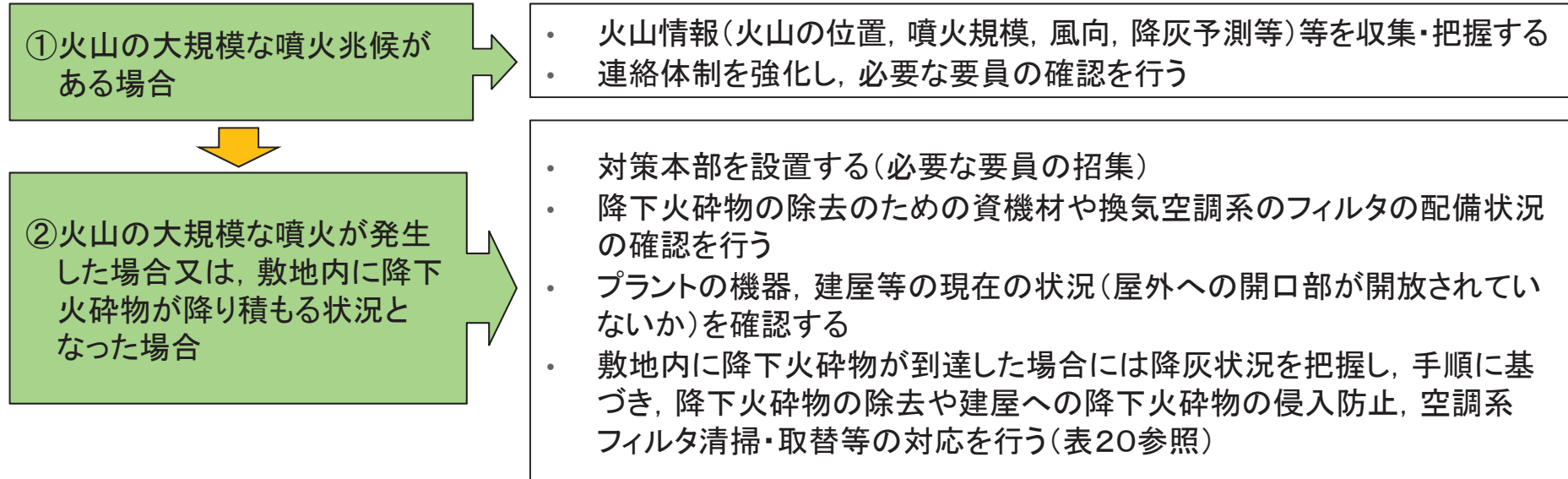


表20 降灰時の手順と目的

降灰時の手順	目的
設備等の除灰	<ul style="list-style-type: none"> 建屋や屋外の設備等に降下火砕物の荷重が長期間加わることを防ぐ 降下火砕物の付着による腐食等が生じる状況を緩和する
建屋内への降下火砕物の侵入の防止	建屋内への降下火砕物の侵入を防止するため, 外気取入ダンパの閉止, 換気空調設備の停止又は再循環運転を実施する
空調系フィルタ清掃・取替	降下火砕物による換気空調系フィルタの差圧を確認し, 状況に応じてフィルタの清掃や取替を実施する

4. 気中降下火砕物の対策に係る検討状況について

- 平成29年12月14日に実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則(以下「実用炉規則」という。)の一部改正で追加された、火山影響等発生時における発電用原子炉施設の保全のための活動を行う体制の整備については、保安規定認可までに対応を図る
- 実用炉規則第八十四条の二の第5号イ、ロ、ハに対する対応状況を以下に示す

表21 火山影響発生時の対応(手順の整備)

実用炉規則第八十四条の二第五号		当社の対応
イ	火山影響等発生時における非常用交流動力電源設備の機能を維持するための対策に関すること。	<ul style="list-style-type: none"> 火山灰の取り込みを抑制するために火山灰フィルタの設置等の対策を行う 非常用ディーゼル発電機の吸気に係る既設のフィルタに対して、実際の火山灰による閉塞試験結果を踏まえて、機能維持のための対策を行う
ロ	イに掲げるもののほか、火山影響等発生時における代替電源設備その他の炉心を冷却するために必要な設備の機能を維持するための対策に関すること。	<ul style="list-style-type: none"> 炉心を冷却するための設備として、高圧代替注水系(HPAC)により対応する
ハ	ロに掲げるもののほか、火山影響等発生時に交流動力電源が喪失した場合における炉心の著しい損傷を防止するための対策に関すること。	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉隔離時冷却系(RCIC)を用いた全交流動力電源喪失時の対応手順により対応する

具体的な内容、要求されている手順の成立性は、
保安規定の審査において別途説明

別添3-1 火山影響評価について
補足資料-15 気中降下火砕物の
対策に係る検討状況について

4. 気中降下火砕物の対策に係る検討状況について

- 2系統の非常用ディーゼル発電機を24時間機能維持するために非常用ディーゼル発電機の吸気系統に対して以下の対応を実施

【対策案】

- 火山灰の取り込みを抑制するために火山灰フィルタの設置等の対策を行う
- 非常用ディーゼル発電機の吸気に係る既設のフィルタに対して、火山灰による閉塞試験結果を踏まえて、機能維持のための対策を行う

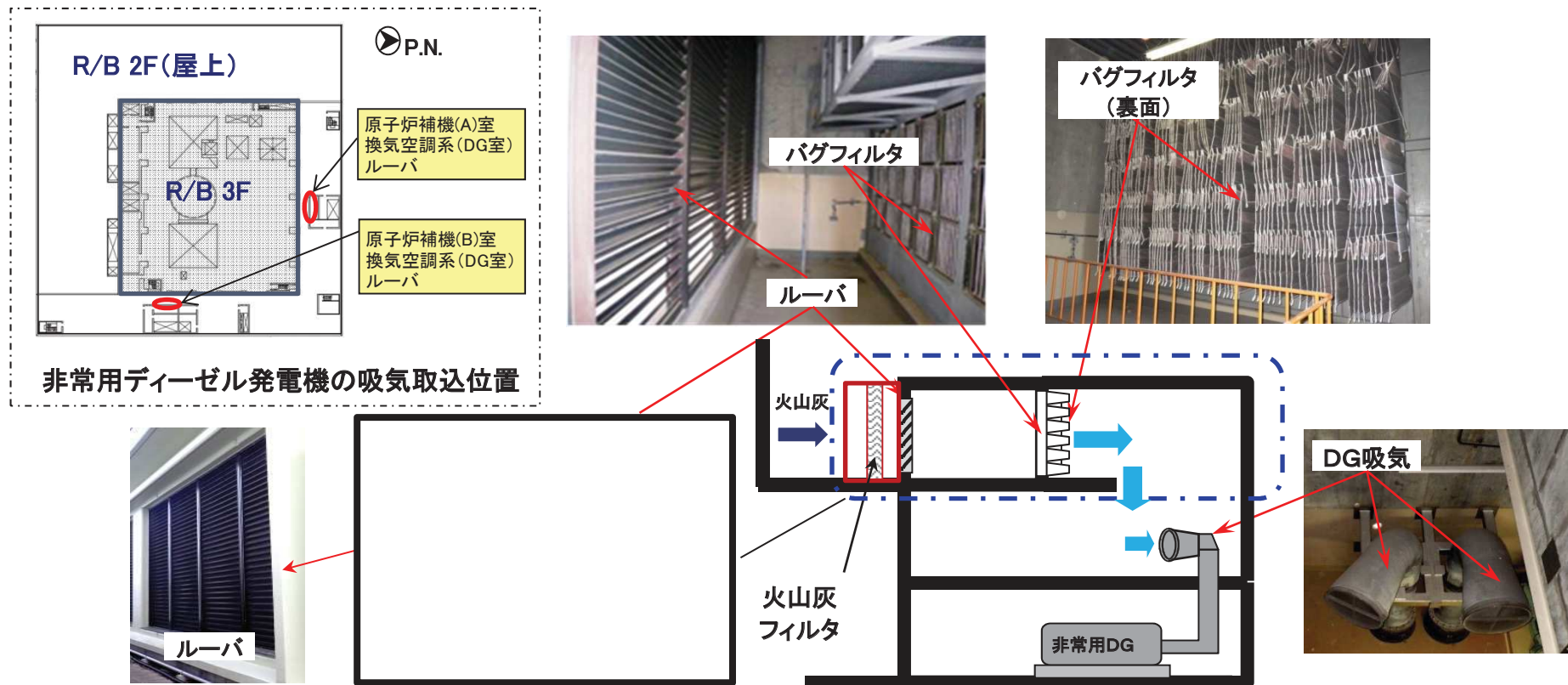


図13 非常用ディーゼル発電機に対する気中降下火砕物の対策(案)

枠囲みの内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

別添3-1 火山影響評価について
補足資料-15 気中降下火砕物の
対策に係る検討状況について

(参考) 気中降下火砕物濃度の算出(1/2)

1. 気中降下火砕物濃度の算出方法

火山影響評価ガイドに基づく気中降下火砕物濃度の算出方法を以下に示す

- | | | |
|---------------|-------------------------|----------------------------|
| ①粒径 i の降灰量 | $W_i = p_i W_T$ | p_i : 粒径 i の割合 |
| ②粒径 i の堆積速度 | $v_i = \frac{W_i}{t}$ | t : 降灰継続時間 |
| ③粒径 i の気中濃度 | $C_i = \frac{v_i}{r_i}$ | r_i : 粒径 i の降下火砕物の終端速度 |
| ④気中降下火砕物濃度 | $C_T = \sum_i C_i$ | |

2. 入力条件及び計算結果

別表1 気中降下火砕物濃度の入力条件及び計算結果(1/2)

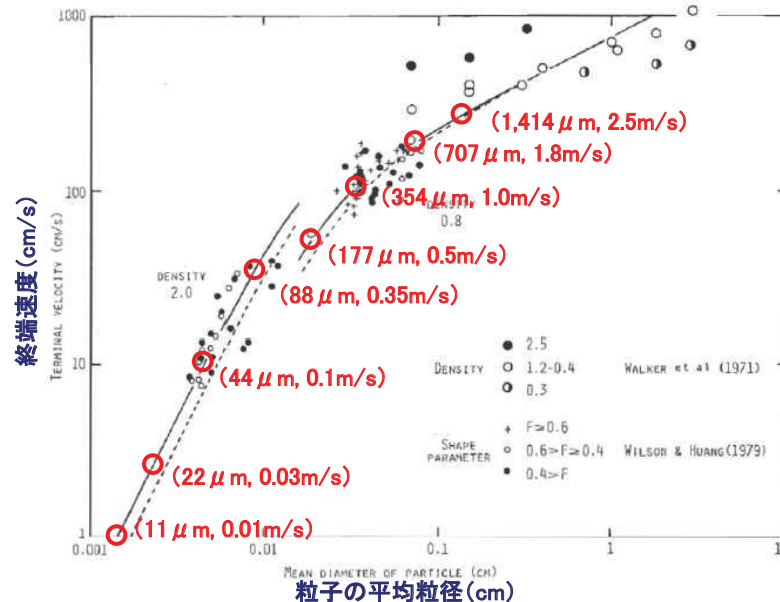
入力条件／計算結果	数値	備考	
設計層厚	15cm	女川原子力発電所で想定する降下火砕物堆積量	
総降灰量 W_T	150,000g/m ²	設計層厚 × 降下火砕物密度1g/cm ³	
降灰継続時間 t	24h	火山影響評価ガイドより	
粒径 i の割合 p_i	別表1 参照	tephra2による粒径分布の計算値	
粒径 i の降灰量 W_i		式①	
粒径 i の堆積速度 v_i		式②	
粒径 i の終端速度 r_i		Suzuki(1983)参考	
粒径 i の気中濃度 C_i		式③	
気中降下火砕物濃度 C_T		2.7g/m ³	式④

別添3-1 火山影響評価について
補足資料-16 女川原子力発電所における
気中降下火砕物濃度の算出について

(参考) 気中降下火砕物濃度の算出(1/2)

別表1 気中降下火砕物濃度の入力条件及び計算結果(2/2)

Φ	-1~0	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	合計
粒径 i (mm)	1.4	7.1×10^{-1}	3.5×10^{-1}	1.8×10^{-1}	8.8×10^{-2}	4.4×10^{-2}	2.2×10^{-2}	1.1×10^{-2}	
割合 p_i (wt%)	2.9×10^{-5}	14.0	59.0	17.0	7.9	2.2	0.26	0.032	
降灰量 W_i (g/m ²)	0.044	21,000	88,500	25,500	11,850	3,300	390	48	$W_T=150,000$
堆積速度 v_i (g/s·m ²)	5.1×10^{-7}	0.24	1.0	0.30	0.14	3.8×10^{-2}	4.5×10^{-3}	5.6×10^{-4}	
終端速度 R_i (cm/s)	250	180	100	50	35	10	3	1	
気中濃度 C_i (g/m ³)	2.0×10^{-7}	0.14	1.0	0.59	0.39	0.38	0.15	5.6×10^{-2}	$C_T=2.7$



※Suzuki,T.(1983) A theoretical model for dispersion of tephra ,
Arc Volcanism: Physics and Tectonics
:95-116, Terra Scientific Publishing

別図1 Suzuki(1983)※における降下火砕物の粒径と終端速度との関係図
(粒径 i の終端速度を赤丸表示)

別添3-1 火山影響評価について
補足資料-16 女川原子力発電所における
気中降下火砕物濃度の算出について