

女川原子力発電所 2号炉

外部事象の考慮について

平成 30 年 6 月

東北電力株式会社

## 第6条：外部からの衝撃による損傷の防止

### <目次>

1. 基本方針
  - 1.1 要求事項の整理
2. 追加要求事項に対する適合方針
  - 2.1 その他自然現象等
    - 2.1.1 設計基準上考慮すべき事象の抽出及び当該事象に対する設計方針
      - 2.1.1.1 自然現象
      - 2.1.1.2 人為事象
    - 2.1.2 自然現象の組合せ
    - 2.1.3 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対する重要安全施設への考慮
  - 2.2 竜巻
    - 2.2.1 竜巻に対する防護に関して、設計上対処すべき施設を抽出するための方針
    - 2.2.2 発生を想定する竜巻の設定
      - 2.2.2.1 竜巻検討地域の設定
      - 2.2.2.2 基準竜巻の設定
      - 2.2.2.3 設計竜巻の設定
    - 2.2.3 設計荷重の設定
      - 2.2.3.1 設計竜巻荷重
        - (1) 風圧力の設定
        - (2) 気圧差による圧力
        - (3) 飛来物の衝撃荷重
        - (4) 設計竜巻荷重の組合せ
      - 2.2.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重
    - 2.2.4 評価対象施設の設計方針
      - 2.2.4.1 設計方針
    - 2.2.5 竜巻随件事象に対する評価対象施設の設計方針
    - 2.2.6 参考文献
  - 2.3 火山
    - 2.3.1 火山活動に対する防護に関して、評価対象施設を抽出するための方針
    - 2.3.2 降下火砕物による影響の選定

- 2.3.3 設計荷重の設定
- 2.3.4 降下火砕物の直接的影響に対する設計方針
- 2.3.5 降下火砕物の間接的影響に対する設計方針
- 2.3.6 参考文献
- 2.4 外部火災
  - 2.4.1 外部火災に対して，設計上対処すべき施設を抽出するための方針
  - 2.4.2 考慮すべき外部火災
  - 2.4.3 外部火災に対する設計方針
    - 2.4.3.1 森林火災
      - (1) 発生を想定する発電所敷地外における森林火災の想定及び影響評価
      - (2) 森林火災に対する設計方針
    - 2.4.3.2 近隣の産業施設の火災・爆発
      - (1) 近隣の産業施設からの火災及びガス爆発の想定及び影響評価
      - (2) 想定される近隣の産業施設の火災・爆発に対する設計方針
    - 2.4.3.3 発電所敷地内における航空機墜落等による火災
      - (1) 発生を想定する発電所敷地内における航空機墜落等による火災の設定及び影響評価
      - (2) 航空機墜落等による火災に対する設計方針
    - 2.4.3.4 ばい煙及び有毒ガス
- 3. 外部からの衝撃による損傷の防止
  - 別添 1-1 外部事象の考慮について
  - 別添 2-1 竜巻影響評価について
  - 別添 2-2 竜巻影響評価におけるフジタモデルの適用について
  - 別添 3-1 火山影響評価について
  - 別添 4-1 外部火災影響評価について
- 4. 運用，手順能力説明資料
  - 別添 1-2 運用，手順能力説明資料（外部事象）
  - 別添 3-2 運用，手順能力説明資料（火山）
  - 別添 4-2 運用，手順能力説明資料（外部火災）
- 5. 現場確認のプロセス
  - 別添 4-3 森林火災評価に係る植生確認プロセスについて

女川原子力発電所 2 号炉

火山影響評価について

## <目 次>

1. 基本方針
  - 1.1 概要
  - 1.2 火山影響評価の流れ
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
  - 2.2 運用期間における火山活動に関する個別評価
3. 影響評価
  - 3.1 火山事象の影響評価
  - 3.2 火山事象（降下火砕物）に対する設計の基本方針
  - 3.3 安全施設のうち評価対象施設の抽出
  - 3.4 降下火砕物による影響の選定
  - 3.5 設計荷重の設定
  - 3.6 降下火砕物に対する設計
  - 3.7 降下火砕物の除去等の対策
4. まとめ

## 補足資料

1. 評価ガイドとの整合性について
2. 降下火砕物の特徴及び影響モードと、影響モードから選定された影響因子に対し影響を受ける評価対象施設の組合せについて
3. 降下火砕物による摩耗について
4. 降下火砕物の化学的影響（腐食）について
5. 降下火砕物による非常用ディーゼル発電機の吸気に係るバグフィルタの影響評価について
6. 降下火砕物の侵入による非常用ディーゼル機関空気冷却器への影響について
7. 降下火砕物の侵入による潤滑油への影響について
8. 火山灰の金属腐食研究について
9. 屋内の電源盤への降下火砕物の影響について
10. 建屋等の降灰除去について
11. 降下火砕物降灰時のバグフィルタ取替手順について
12. 観測された諸噴火の最盛期における噴出率と継続時間について

13. 重大事故等対処設備への考慮について
14. 水質汚染に対する補給水等への影響について
15. 気中降下火砕物の対策に係る検討状況について
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

# 1. 基本方針

## 1.1 概要

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。)第六条において、外部からの衝撃による損傷防止として、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ないとしており、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、火山の影響を挙げている。

火山の影響により発電用原子炉施設の安全性を損なわない設計であることを評価するため、火山影響評価を行い、発電用原子炉施設へ影響を与えないことを評価する。

## 1.2 火山影響評価の流れ

火山影響評価は、図 1.2-1 に従い、立地評価と影響評価の2段階で行う。

立地評価では、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出を行い、抽出された火山の火山活動に関する個別評価を行う。具体的には設計対応不可能な火山事象が女川原子力発電所の運用期間中に影響を及ぼす可能性の評価を行う。

設計対応不可能な火山事象が影響を及ぼす可能性が十分低いと評価された場合は、原子力発電所に影響を与える可能性のある火山事象の抽出とその影響評価を行う。

影響評価では、個々の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。影響評価の詳細フローを図 1.2-2 に示す。

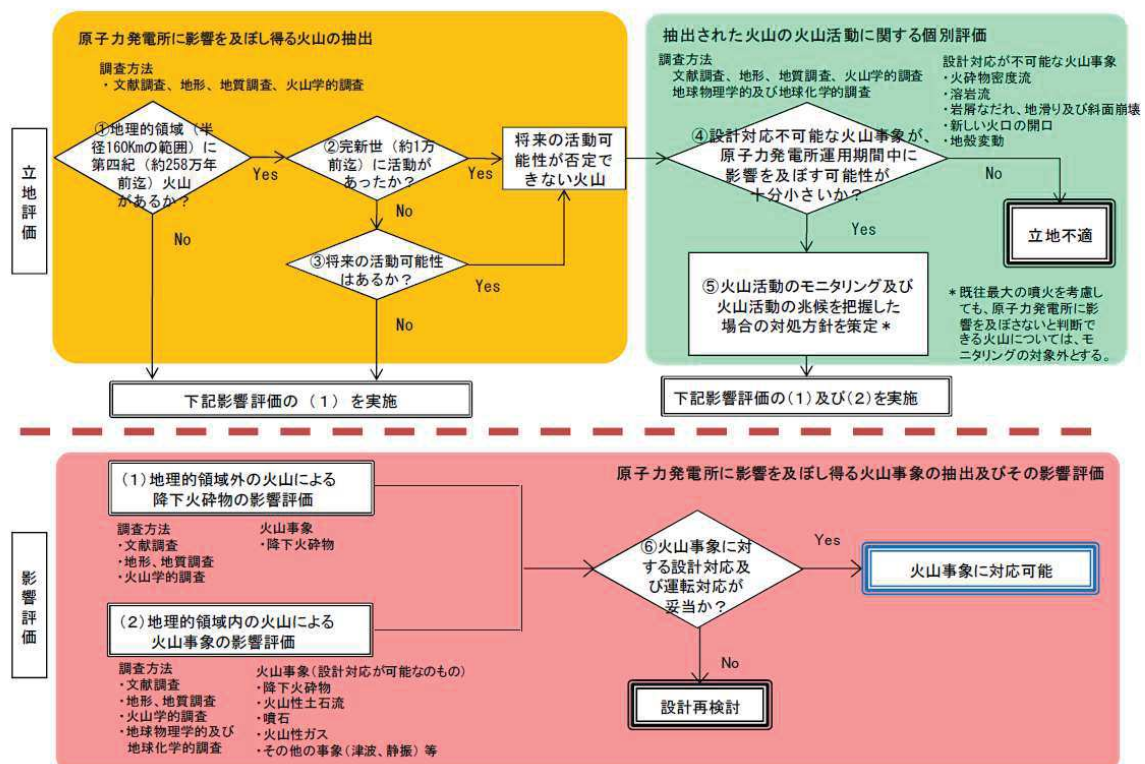


図 1.2-1 火山影響評価の基本フロー「原子力発電所の火山影響評価ガイド」から抜粋

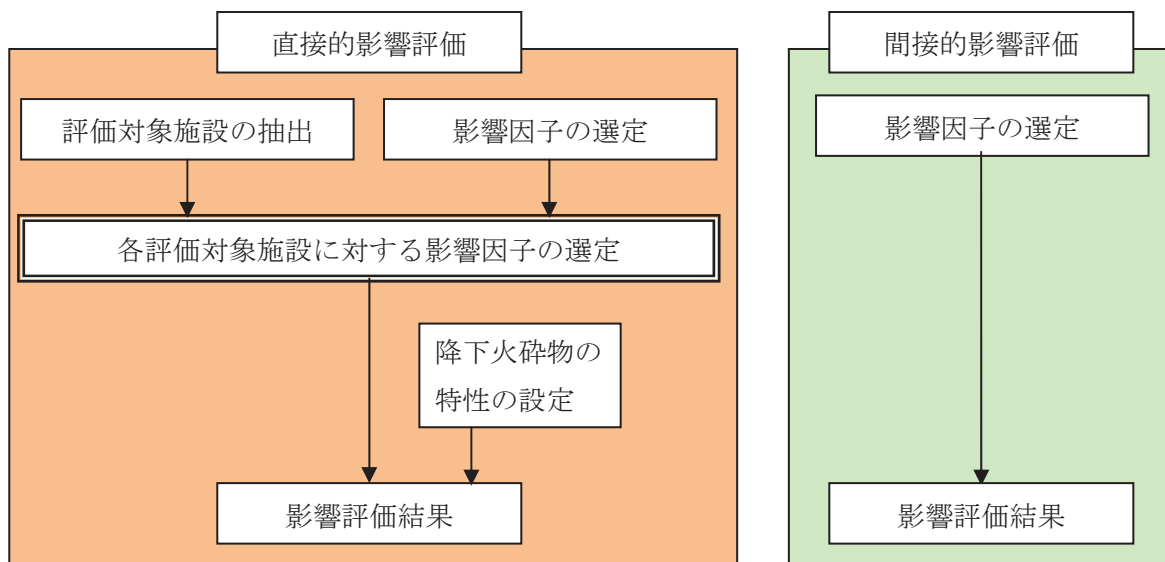


図 1.2-2 影響評価のフロー

## 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、完新世における活動の有無及び噴火履歴より将来の火山活動の可能性を検討し、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山を抽出した。

その結果、焼石岳、鳥海山、栗駒山、鳴子カルデラ、肘折カルデラ、月山、蔵王山、笹森山、吾妻山、安達太良山及び磐梯山の 11 火山を将来の活動可能性のある火山又は将来の活動可能性を否定できない火山として評価した。

### 2.2 運用期間における火山活動に関する個別評価

将来の活動可能性のある火山又は将来の活動可能性を否定できない火山として抽出した 11 火山を対象として、文献調査に基づき、女川原子力発電所 2 号炉の運用期間中における火山活動に関する設計対応不可能事象（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）の個別評価を行った。

火砕物密度流による堆積物が敷地及び敷地周辺では確認されておらず、敷地まで十分な離隔距離があることから、発電所に影響を及ぼす可能性は十分に低いと評価した。

溶岩流、岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊については、それぞれの火山と敷地との位置関係より、敷地まで十分な離隔距離があることから、発電所に影響を及ぼす可能性は十分に低いと評価した。

新しい火口の開口及び地殻変動については、敷地が火山フロントより前弧側に 50km 以上離れていること、敷地周辺では火成活動が確認されていないことから、発電所に影響を及ぼす可能性は十分に低いと評価した。

以上の検討結果より、発電所の運用期間中に設計対応不可能な火山事象が、発電所に



影響を及ぼす可能性は十分に低いと評価した。また、これらの火山事象は、既往最大規模の噴火を考慮しても、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した。

### 3. 影響評価

#### 3.1 火山事象の影響評価

将来の活動可能性が否定できない火山について、女川原子力発電所2号炉の運用期間中の噴火規模を考慮し、それが噴火した場合、原子力発電所の安全機能に影響を及ぼし得る火山事象を抽出した結果、降下火砕物（火山灰）（以下、「降下火砕物」という。）のみが女川原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象であるという結果となった。

原子力発電所敷地内の地質調査において確認した降下火砕物の最大層厚は10cmであり、肘折カルデラを給源とする降下火砕物（肘折尾花沢テフラ）であることを確認している。なお、原子力発電所敷地内では沖積層がジュラ系の地層を不整合に覆っており、更新世の地層が確認されないことを確認している。

一方、女川原子力発電所2号炉の運用期間中に、この様な規模の降下火砕物が敷地周辺に生じる蓋然性を確認するため、文献調査結果、敷地周辺で実施した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評価した。降下火砕物シミュレーションの対象火山は、網羅的に抽出するため、原子力発電所敷地周辺で確認されている降下火砕物の給源火山、過去の噴出物のタイプを考慮して鳴子カルデラ、蔵王山、肘折カルデラ及び十和田とし、風速や風向の不確かさを考慮して、約12.5cm（鳴子カルデラ）という層厚を導いた。想定する降下火砕物堆積量は、この評価結果（約12.5cm）を基に設定するが、原子力発電所敷地内では更新世の地層が確認されないことも踏まえ、更に、堆積量評価結果に保守性を考慮することとし、基準降下火砕物堆積量を15cmと設定した。そのほか得られた降下火砕物の特性を表3.1-1に示す。なお、鉛直荷重については、湿潤状態の降下火砕物に、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を考慮し設定する。又、粒径については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踏まえて、2mm以下と設定した。

表 3.1-1 降下火砕物特性の設定結果

項目	設定	備考
層度	15cm	「構造物への静的負荷」の評価に使用
密度	湿潤密度：1.5g/cm <sup>3</sup>	
堆積荷重 <sup>※1</sup>	2508N/m <sup>2</sup>	
粒径	2mm 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。

※1：湿潤状態の降下火砕物の荷重 ( $0.15\text{m} \times 1500\text{kg}/\text{m}^3 \times 9.80665\text{m}/\text{s}^2$ )  
 +降下火砕物による荷重と組合せる積雪荷重 ( $43\text{cm}^{※2} \times 20\text{N}/(\text{m}^2 \cdot \text{cm})^{※3} \times 0.35^{※4}$ )  
 =2,508N/m<sup>2</sup>

※2：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]

※3：建築基準法施行令に基づく積雪の単位荷重 (積雪1cm当たり20N/m<sup>2</sup>)

※4：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

### 3.2 火山事象（降下火砕物）に対する設計の基本方針

将来の活動可能性が否定できない火山について，女川原子力発電所2号炉の運用期間中の噴火規模を考慮し，それが噴火した場合，原子力発電所の安全機能に影響を及ぼし得る火山事象を抽出した結果，降下火砕物のみが女川原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象であるという結果となった。

降下火砕物に対し，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，火山事象に対する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として考慮する，広範囲にわたる送電網の損傷による7日間の外部電源の喪失及び発電所外での交通の途絶によるアクセス制限事象に対し，発電用原子炉の停止及び停止後の発電用原子炉の冷却，並びに使用済燃料プールの冷却に係る機能を担うために必要となる電源の供給が非常用ディーゼル発電機により継続できる設計とすることにより，安全機能を損なわない設計とする。

### 3.3 安全施設のうち評価対象施設の抽出

降下火砕物の影響から防護する施設は、当該施設が降下火砕物の影響により安全機能を損なわないよう、降下火砕物の影響を考慮すべき施設（以下「評価対象施設」という。）として、各施設の構造や設置状況等を考慮して以下のとおり抽出する。女川原子力発電所2号炉における評価対象施設の抽出フローを図3.3-1、抽出結果を表3.3-1、評価対象施設の設置場所を図3.3-2にそれぞれ示す。

#### (1) 外部事象防護対象施設の抽出

安全施設（安全重要度クラス1，2，3）及び安全施設以外の施設から外部事象防護対象施設<sup>※</sup>を抽出する。

※：外部事象防護対象施設は、「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」（以下「重要度分類指針」という。）における安全重要度クラス1，2に属する施設，安全評価上期待する安全重要度クラス3に属する施設及び、それらを内包する建屋等を選定する。

また、上記以外の「その他の施設」については、降下火砕物に対して機能維持、又は、降下火砕物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、必要に応じプラントを停止し、安全上支障のない期間での除灰、修復等の対応、又は、それらを適切に組合せることで安全機能を損なわない設計とする。

#### (2) 評価対象施設の抽出

外部事象防護対象施設に対し、以下の観点で評価対象施設を抽出する。

##### a. 降下火砕物発生時に必要となる施設

降下火砕物発生時に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、使用済燃料プール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機能を有する構築物、系統及び機器を抽出する。

##### b. 屋外に設置されている施設

##### c. 屋外に開口している施設（降下火砕物を含む海水又は空気の流路となる施設）

##### d. 外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設

##### e. 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設

なお、上記以外の安全施設については、降下火砕物による影響を受ける場合を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、又は安全上支障が生じない期間に除灰あるいは修復等の対応が可能とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

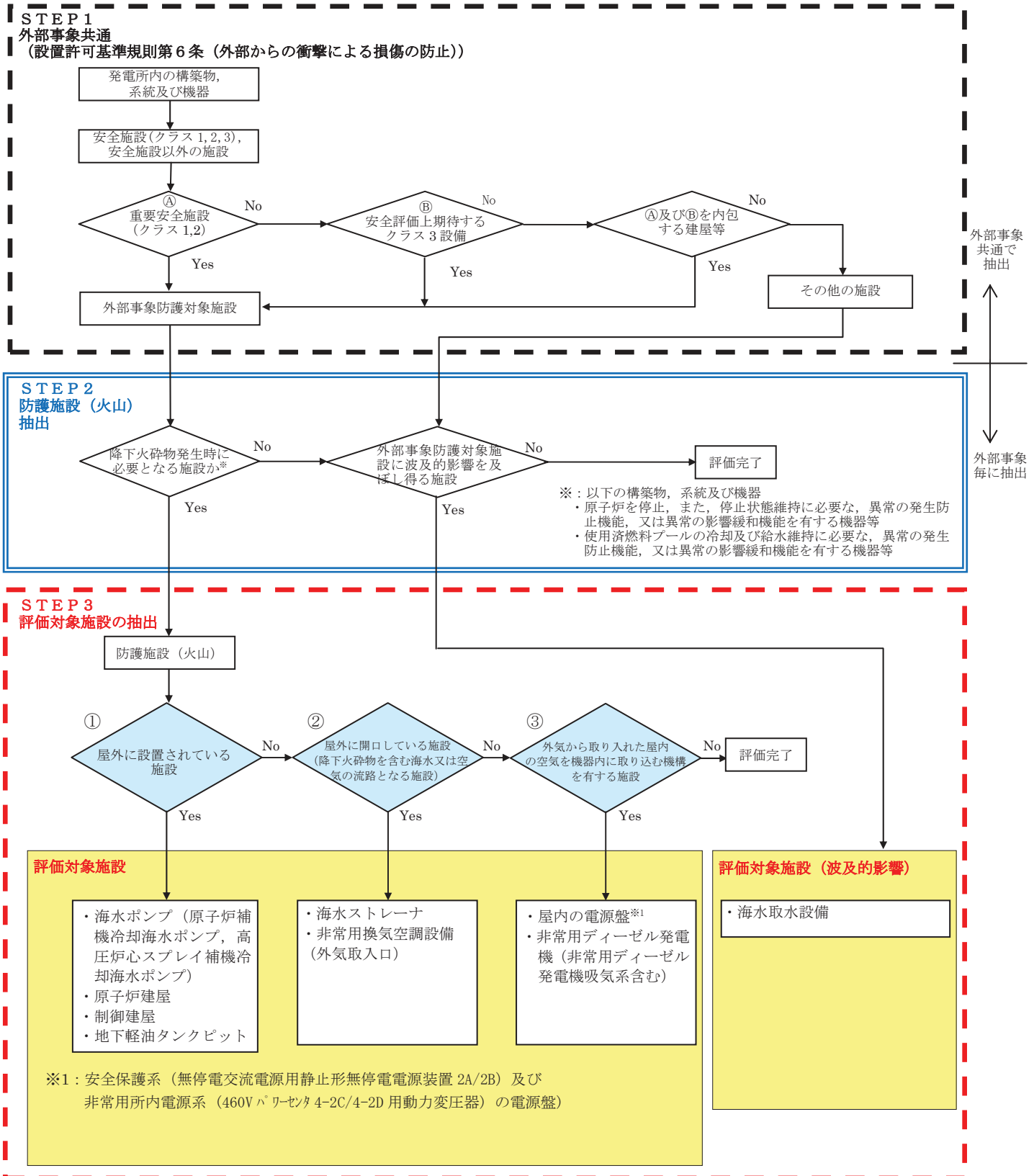


図 3.3-1 評価対象施設の抽出フロー

表 3.3-1 外部事象防護対象施設のうち評価対象施設（火山）の抽出結果（1/7）

重要度分類指針				女川原子力発電所2号炉		抽出の観点 <sup>*1</sup>			設置場所 <sup>**2</sup>	評価対象施設	備考	
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	構築物、系統又は機器	STEP2	STEP3						
						①	②	③				
PS-1	その損傷又は故障により発生する事象によって、(a)炉心の著しい損傷、又は(b)燃料の大量の破損を引き起こすおそれのある構築物、系統及び機器	1)原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系（計装等の小口径配管・機器は除く。）	原子炉圧力容器	○	×	×	×	R	-		
				原子炉再循環ポンプ	○	×	×	×	R	-		
				配管、弁	○	×	×	×	R	-		
				原子炉圧力容器バウンダリ隔離弁	○	×	×	×	R	-		
				制御棒駆動機構ハウジング	○	×	×	×	R	-		
				中性子束計装ハウジング	○	×	×	×	R	-		
		2)過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング	制御棒カップリング	○	×	×	×	R	-		
				制御棒駆動機構カップリング	○	×	×	×	R	-		
		3)炉心形状の維持機能	炉心支持構造物（炉心シュラウド、シュラウドサポート、上部格子板、炉心支持板、制御棒案内管）、燃料集合体（ただし、燃料を除く。）	炉心シュラウド	○	×	×	×	R	-		
				シュラウドサポート	○	×	×	×	R	-		
				上部格子板	○	×	×	×	R	-		
				炉心支持板	○	×	×	×	R	-		
				燃料支持金具	○	×	×	×	R	-		
				制御棒案内管	○	×	×	×	R	-		
				制御棒駆動機構ハウジング	○	×	×	×	R	-		
				燃料集合体（上部タイププレート）	○	×	×	×	R	-		
燃料集合体（下部タイププレート）	○			×	×	×	R	-				
燃料集合体（スペーサ）	○			×	×	×	R	-				
直接関連系（燃料集合体）	チャンネルボックス	○	×	×	×	R	-					
MS-1	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、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、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（制御棒及び制御棒駆動系（スクラム機能））	制御棒	○	×	×	×	R	-		
				制御棒案内管	○	×	×	×	R	-		
				制御棒駆動機構	○	×	×	×	R	-		
				制御棒駆動機構カップリング	○	×	×	×	R	-		
		直接関連系（制御棒駆動水圧系）	水圧制御ユニット（スクラムパイロット弁、スクラム弁、アキユムレータ、窒素容器、配管、弁）	○	×	×	×	R	-			
		2)未臨界維持機能	原子炉停止系（制御棒による系、ほう酸水注入系）	制御棒	○	×	×	×	R	-		
				制御棒カップリング	○	×	×	×	R	-		
				直接関連系（制御棒駆動水圧系）	制御棒駆動機構	○	×	×	×	R	-	
				制御棒駆動機構ハウジング	○	×	×	×	R	-		
		ほう酸水注入系（ポンプ、注入弁、タンク出口弁、貯蔵タンク、ポンプ吸込配管及び弁、注入配管及び弁）	○	×	×	×	R	-				
3)原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	逃がし安全弁（安全弁としての開機能）	主蒸気逃がし安全弁（安全弁としての開機能）	○	×	×	×	R	-				

※1：設計対象施設の抽出の観点：①＝屋外に設置されている施設，②＝屋外に開口している施設，③＝外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設

※2：R＝原子炉建屋，C＝制御建屋，T＝タービン建屋，L0＝地下軽油タンクピット，D＝固体廃棄物貯蔵所，HB＝補助ボイラー建屋，TSC＝緊急時対策所



表 3.3-1 外部事象防護対象施設のうち評価対象施設（火山）の抽出結果（2/7）

重要度分類指針				女川原子力発電所2号炉		抽出の観点 <sup>※1</sup>			設置場所 <sup>※2</sup>	評価対象施設	備考
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	構築物、系統又は機器		STEP2	STEP3				
							①	②	③		
MS-1	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、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	4) 原子炉停止後の除熱機能	残留熱を除去する系統（残留熱除去系（原子炉停止時冷却モード）、原子炉隔離時冷却系、高圧炉心スプレイ系、逃がし安全弁（手動逃がし機能）、自動減圧系（手動逃がし機能））	残留熱除去系（ポンプ、熱交換器、原子炉停止時冷却モードのルートとなる配管及び弁）		○	×	×	×	R	-
				直接関連系（残留熱除去系）	熱交換器バイパス配管及び弁	○	×	×	×	R	-
				原子炉隔離時冷却系（ポンプ、サブプレッションチェンバ、タービン、サブプレッションチェンバから注水先までの配管、弁）		○	×	×	×	R	-
				直接関連系（原子炉隔離時冷却系）	タービンへの蒸気供給配管、弁	○	×	×	×	R	-
					ポンプミニマムフローラインの配管、弁	○	×	×	×	R	-
					サブプレッションチェンバ内のストレーナ	○	×	×	×	R	-
					復水貯蔵タンク	×	-	-	-	屋外	-
					ポンプの復水貯蔵タンクからの吸込弁	×	-	-	-	R	-
					ポンプの復水貯蔵タンクからの吸込配管、弁	×	-	-	-	R	-
					潤滑油冷却器及びその冷却器までの冷却水供給配管	○	×	×	×	R	-
					高圧炉心スプレイ系（ポンプ、サブプレッションチェンバ、サブプレッションチェンバからスプレイ先までの配管、弁、スプレイヘッド）	○	×	×	×	R	-
				直接関連系（高圧炉心スプレイ系）	ポンプミニマムフローラインの配管、弁	○	×	×	×	R	-
					サブプレッションチェンバ内のストレーナ	○	×	×	×	R	-
					復水貯蔵タンク	×	-	-	-	屋外	-
					ポンプの復水貯蔵タンクからの吸込弁	×	-	-	-	R	-
					ポンプの復水貯蔵タンクからの吸込配管、弁	×	-	-	-	R	-
					主蒸気逃がし安全弁（手動逃がし機能）	○	×	×	×	R	-
直接関連系（主蒸気逃がし安全弁（手動逃がし機能））	原子炉圧力容器から主蒸気逃がし安全弁までの主蒸気配管	○	×	×	×	R	-				
	駆動用窒素源（アキュムレータ、アキュムレータから主蒸気逃がし安全弁までの配管、弁）	○	×	×	×	R	-				
	自動減圧系（手動逃がし機能）	○	×	×	×	R	-				
直接関連系（自動減圧系（手動逃がし機能））	原子炉圧力容器から主蒸気逃がし安全弁までの主蒸気配管	○	×	×	×	R	-				
	駆動用窒素源（アキュムレータ、アキュムレータから主蒸気逃がし安全弁までの配管、弁）	○	×	×	×	R	-				

※1：設計対象施設の抽出の観点：①＝屋外に設置されている施設，②＝屋外に開口している施設，③＝外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設

※2：R＝原子炉建屋，C＝制御建屋，T＝タービン建屋，L0＝地下軽油タンクピット，D＝固体廃棄物貯蔵所，HB＝補助ボイラー建屋，TSC＝緊急時対策所

表 3.3-1 外部事象防護対象施設のうち評価対象施設（火山）の抽出結果（3/7）

重要度分類指針				女川原子力発電所2号炉				抽出の観点*1	設置場所**2	評価対象施設	備考				
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	構築物、系統又は機器								STEP2	STEP3		
				①	②	③	④						⑤		
MS-1	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、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	5) 炉心冷却機能	非常用炉心冷却系（低圧炉心スプレィ系、低圧注水系、高圧炉心スプレィ系、自動減圧系）	残留熱除去系（低圧注水モード）（ポンプ、サブプレッションチェンバ、サブプレッションチェンバから注水先までの配管、弁（熱交換器バイパスライン含む）、注水ヘッダ）	○	×	×	×	R	-					
				直接関連系（残留熱除去系（低圧注水モード））	○	×	×	×	R	-					
				低圧炉心スプレィ系（ポンプ、サブプレッションチェンバ、サブプレッションチェンバからスプレィ先までの配管、弁、スプレィスパーチャ）	○	×	×	×	R	-					
				直接関連系（低圧炉心スプレィ系）	○	×	×	×	R	-					
				高圧炉心スプレィ系（ポンプ、サブプレッションチェンバ、サブプレッションチェンバからスプレィ先までの配管、弁、スプレィスパーチャ）	○	×	×	×	R	-					
				直接関連系（高圧炉心スプレィ系）	○	×	×	×	R	-					
				ポンプミニマムフローラインの配管、弁	○	×	×	×	R	-					
				サブプレッションチェンバ内のストレーナ	○	×	×	×	R	-					
				復水貯蔵タンク	×	-	-	-	屋外	-					
				ポンプの復水貯蔵タンクからの吸込弁	×	-	-	-	R	-					
		ポンプの復水貯蔵タンクからの吸込配管、弁	×	-	-	-	R	-							
		自動減圧系（主蒸気逃がし安全弁）	○	×	×	×	R	-							
		直接関連系（自動減圧系（主蒸気逃がし安全弁））	○	×	×	×	R	-							
		原子炉圧力容器から主蒸気逃がし安全弁までの主蒸気配管	○	×	×	×	R	-							
		駆動用窒素源（アキュムレータ、アキュムレータから主蒸気逃がし安全弁までの配管、弁）	○	×	×	×	R	-							
		6) 放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器、原子炉格納容器隔離弁、原子炉格納容器スプレィ冷却系、原子炉建屋、非常用ガス処理系、非常用再循環ガス処理系、可燃性ガス濃度制御系	原子炉格納容器（格納容器本体、貫通部、所員用エアロック、機器搬出入用ハッチ）	○	×	×	×	R	-					
				直接関連系（原子炉格納容器）	○	×	×	×	R	-					
				ベント管	○	×	×	×	R	-					
				スプレィ管	○	×	×	×	R	-					
				真空破壊弁	○	×	×	×	R	-					
主蒸気逃がし安全弁排気管のクエンチャ	○			×	×	×	R	-							
原子炉建屋（原子炉建屋原子炉棟）（ブローアウトパネル付き）	○			×	×	×	△	○	（外殻施設）						
直接関連系（原子炉建屋（原子炉建屋原子炉棟））	○			×	×	×	R	-							
原子炉棟給排気隔離弁	○			×	×	×	R	-							
原子炉格納容器隔離弁及び格納容器バウンダリ配管	○			×	×	×	R	-							
直接関連系（原子炉格納容器隔離弁及び格納容器バウンダリ配管）	○	×	×	×	R	-									
主蒸気隔離弁駆動用空気又は窒素源（アキュムレータ、アキュムレータから主蒸気隔離弁までの配管、弁）	○	×	×	×	R	-									
主蒸気流量制限器	○	×	×	×	R	-									

※1：設計対象施設の抽出の観点：①＝屋外に設置されている施設，②＝屋外に開口している施設，③＝外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設

※2：R＝原子炉建屋，C＝制御建屋，T＝タービン建屋，L0＝地下軽油タンクピット，D＝固体廃棄物貯蔵所，HB＝補助ボイラー建屋，TSC＝緊急時対策所

表 3.3-1 外部事象防護対象施設のうち評価対象施設（火山）の抽出結果（4/7）

重要度分類指針				女川原子力発電所2号炉				抽出の観点 <sup>*1</sup>	設置場所 <sup>**2</sup>	評価対象施設	備考				
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	構築物、系統又は機器								STEP2	STEP3		
													①	②	③
MS-1	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、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	6) 放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器、原子炉格納容器隔離弁、原子炉格納容器スプレイ冷却系、原子炉建屋、非常用ガス処理系、非常用再循環ガス処理系、可燃性ガス濃度制御系	残留熱除去系（格納容器スプレイ冷却モード）（ポンプ、熱交換器、サブプレッションチェンバ、サブプレッションチェンバからスプレイ先（ドライウエル及びサブプレッションチェンバ気相部）までの配管、弁、スプレイヘッド（ドライウエル及びサブプレッションチェンバ））				○	×	×	×	R	-		
				直接関連系（残留熱除去系（格納容器スプレイ冷却モード））		ポンプミニマムフローラインの配管、弁		○	×	×	×	R	-		
				直接関連系（サブプレッションチェンバ内のストレーナモード）				○	×	×	×	R	-		
				非常用ガス処理系（乾燥装置、排風機、フィルタ装置、原子炉建屋原子炉棟吸込口から排気筒までの配管、弁）				○	×	×	×	R	-		
								×	-	-	-	屋外	-		
				直接関連系（非常用ガス処理系）		乾燥装置（乾燥機能部分）		○	×	×	×	R	-		
				可燃性ガス濃度制御系（再結合装置、格納容器から再結合装置までの配管、弁、再結合装置から格納容器までの配管、弁）				○	×	×	×	R	-		
				直接関連系（可燃性ガス濃度制御系）		残留熱除去系（再結合装置への冷却水供給をつかさどる部分）		○	×	×	×	R	-		
				遮へい設備（原子炉遮へい壁、一次遮へい壁、二次遮へい壁）				○	×	×	×	R	-		
MS-1	2) 安全上必要なその他の構築物、系統及び機器	1) 工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	安全保護系	原子炉保護系への作動信号の発生機構 ・原子炉保護系の安全保護回路				○	×	×	○	R, C	○	屋内の電源盤（無停電交流電源用静止型無停電電源装置2A, 2B）	
				工学的安全施設への作動信号の発生機構 ・非常用炉心冷却系作動の安全保護回路 ・主蒸気隔離の安全保護回路 ・原子炉格納容器隔離の安全保護回路 ・非常用ガス処理系作動の安全保護回路				○	×	×	×	R, C	-		
			2) 安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系、制御室及びその遮へい、非常用換気空調系、非常用補機冷却水系、直流電源系（いずれも、MS-1 関連のもの）	非常用所内電源設備（ディーゼル機関、発電機、発電機から非常用負荷までの配電設備及び電路）				○	×	×	○	R	○	非常用ディーゼル発電機（機関）  屋内の電源盤（460V バリセントラ 4-2C, 4-2D 用動力変圧器）  関連設備として非常用換気空調設備（原子炉補機室換気空調系）を抽出

※1：設計対象施設の抽出の観点：①＝屋外に設置されている施設，②＝屋外に開口している施設，③＝外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設

※2：R＝原子炉建屋，C＝制御建屋，T＝タービン建屋，L0＝地下軽油タンクピット，D＝固体廃棄物貯蔵所，HB＝補助ボイラー建屋，TSC＝緊急時対策所



表 3.3-1 外部事象防護対象施設のうち評価対象施設（火山）の抽出結果（5/7）

重要度分類指針				女川原子力発電所2号炉		抽出の観点 <sup>※1</sup>			設置場所 <sup>※2</sup>	評価対象施設	備考		
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	構築物、系統又は機器		STEP2	STEP3						
							①	②	③				
MS-1	2)安全上必要なその他の構築物、系統及び機器	2)安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系、制御室及びその遮へい、非常用換気空調系、非常用補機冷却水系、直流電源系（いずれも、MS-1 関連のもの）	直接関連系 （非常用所内電源設備）	燃料系（デイトンクからディーゼル機関まで）	○	×	×	×	R	-		
					始動用空気系（空気だめからディーゼル機関まで）	○	×	×	×	R	-		
					吸気系	○	×	×	○	R	○	非常用ディーゼル発電機（吸気系）	
					冷却水系	○	×	×	×	R	-		
					潤滑油系	○	×	×	×	R	-		
					燃料移送系（軽油タンクからデイトンクまで）	○	×	×	×	R, LO	-		
					軽油タンク	○	×	×	×	LO	-		
					中央制御室及び中央制御室遮へい	○	×	×	×	C	-		
					中央制御室換気空調系（放射線防護機能及び有毒ガス防護機能） （再循環送風機、再循環フィルタ装置、空気調和装置、送風機、排風機、ダクト及びダンパ）	○	×	○	-	C	○	非常用換気空調設備（外気取入口）	
					原子炉補機冷却水系（ポンプ、熱交換器、非常用系負荷冷却ライン配管、弁（MS-1 関連））	○	×	×	×	R	-		
					直接関連系 （原子炉補機冷却水系）	サージタンク	○	×	×	×	R	-	
					高圧炉心スプレー補機冷却水系（ポンプ、熱交換器、配管、弁）		○	×	×	×	R	-	
					直接関連系 （高圧炉心スプレー補機冷却水系）	サージタンク	○	×	×	×	R	-	
					原子炉補機冷却海水系（ポンプ、配管、弁、ストレーナ（MS-1 関連））		○	○	-	-	R, 屋外	○	原子炉補機冷却海水ポンプ
					直接関連系 （原子炉補機冷却海水系）	ストレーナ（異物除去機能をつかさどる部分）	○	×	○	-	R	○	原子炉補機冷却海水ストレーナ
						取水路（屋外トレンチ含む）	○	×	×	×	屋外	-	（地下埋設）
					高圧炉心スプレー補機冷却海水系（ポンプ、配管、弁、ストレーナ）		○	○	-	-	R, 屋外	○	高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプ
					直接関連系 （高圧炉心スプレー補機冷却海水系）	ストレーナ（異物除去機能をつかさどる部分）	○	×	○	×	R, 屋外	○	高圧炉心スプレー補機冷却海水ストレーナ
		取水路（屋外トレンチ含む）	○	×	×	×	屋外	-	（地下埋設）				
	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））		○	×	×	×	R, C	-					
	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））		○	×	×	○	R, C	-	関連設備として非常用換気空調設備（計測制御電源室換気空調系）を抽出				

※1：設計対象施設の抽出の観点：①＝屋外に設置されている施設，②＝屋外に開口している施設，③＝外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設

※2：R＝原子炉建屋，C＝制御建屋，T＝タービン建屋，LO＝地下軽油タンクピット，D＝固体廃棄物貯蔵所，HB＝補助ボイラー建屋，TSC＝緊急時対策所

表 3.3-1 外部事象防護対象施設のうち評価対象施設（火山）の抽出結果（6/7）

分類	定義	重要度分類指針		女川原子力発電所 2号炉		抽出の観点 <sup>※1</sup>			設置場所 <sup>※2</sup>	評価対象施設	備考			
		機能	構築物、系統又は機器	構築物、系統又は機器		STEP2	STEP3							
							①	②				③		
PS-2	1) その損傷又は故障により発生する事象によって、炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが、敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物、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。）	主蒸気系、原子炉冷却材浄化系（いずれも、格納容器隔離弁の外側のみ）	原子炉冷却材浄化系（原子炉冷却材圧力バウンダリ以外の部分）		×	-	-	-	R	-			
				主蒸気系（原子炉冷却材圧力バウンダリ以外の部分）		×	-	-	-	R, T	-			
		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であって、放射性物質を貯蔵する機能	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）、使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む。）	原子炉隔離時冷却系（原子炉冷却材圧力バウンダリ以外の部分でタービン止め弁まで）		○	×	×	×	R	-			
				気体廃棄物処理系（活性炭式希ガスホールドアップ装置） 使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む）		×	-	-	-	T	-			
		3) 燃料を安全に取り扱う機能	燃料取扱設備	新燃料貯蔵庫（臨界を防止する機能）（新燃料貯蔵ラック）		×	-	-	-	R	-			
				燃料交換機		×	-	-	-	R	-			
				原子炉建屋クレーン		×	-	-	-	R	-			
		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、炉心冷却が損なわれる可能性の高い構築物、系統及び機器	1) 安全弁及び逃がし弁の吹き止まり機能	逃がし安全弁（吹き止まり機能に関連する部分）	直接関連系（燃料取扱設備）		○	×	×	×	R	-		
					原子炉ウエル		○	×	×	×	R	-		
		MS-2	1) PS-2の構築物、系統及び機器の損傷又は故障により敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようにする構築物、系統及び機器	1) 燃料プール水の補給機能	非常用補給水系	残留熱除去系（ポンプ、サブプレッションチェンバ、サブプレッションチェンバ内のストレーナから燃料プールまでの配管、弁）		○	×	×	×	R	-	
直接関連系（残留熱除去系）						○	×	×	×	R	-			
ポンプミニマムフローラインの配管、弁 サブプレッションチェンバ内のストレーナ						○	×	×	×	R	-			
2) 放射性物質放出の防止機能	燃料集合体落下事故時放射能放出を低減する系			放射性気体廃棄物処理系の隔離弁、排気筒（非常用ガス処理系排気筒の支持機能以外）		気体廃棄物処理系の隔離弁		×	-	-	-	T	-	
				原子炉建屋（原子炉建屋原子炉棟）（ブローアウトパネル付き）		排気筒		×	-	-	-	屋外	-	
				原子炉建屋（原子炉建屋原子炉棟）（ブローアウトパネル付き）		燃料プール冷却浄化系の燃料プール注入逆止弁		○	×	×	×	R	-	
				直接関連系（原子炉建屋原子炉棟）		原子炉棟給排気隔離弁		○	×	×	×	R	-	(外殻施設)
				非常用ガス処理系（乾燥装置、排風機、フィルタ装置、原子炉建屋原子炉棟吸込口から排気筒までの配管、弁）		非常用ガス処理系		○	-	-	-	R	-	
				直接関連系（非常用ガス処理系）		乾燥装置（乾燥機能部分）		×	-	-	-	屋外	-	
				直接関連系（非常用ガス処理系）		乾燥装置（乾燥機能部分）		○	×	×	×	R	-	

※1：設計対象施設の抽出の観点：①＝屋外に設置されている施設，②＝屋外に開口している施設，③＝外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設

※2：R＝原子炉建屋，C＝制御建屋，T＝タービン建屋，L0＝地下軽油タンクピット，D＝固体廃棄物貯蔵所，HB＝補助ボイラー建屋，TSC＝緊急時対策所

表 3.3-1 外部事象防護対象施設のうち評価対象施設（火山）の抽出結果（7/7）

重要度分類指針				女川原子力発電所 2号炉	抽出の観点 <sup>※1</sup>			設置場所 <sup>※2</sup>	評価対象施設	備考	
分類	定義	機能	構築物、系統又は機器	構築物、系統又は機器	STEP2	STEP3					
						①	②	③			
MS-2	2) 異常状態への対応上特に重要な構築物、系統及び機器	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	・中性子束（起動領域モニタ） ・原子炉スクラム用電磁接触器の状態 ・制御棒位置	○	×	×	×	R, C	-	
				・原子炉水位（広帯域、燃料域） ・原子炉圧力	○	×	×	×	R, C	-	
				・原子炉格納容器圧力 ・サブプレッションプール水温度 ・格納容器内雰囲気モニタ（放射線レベル）	○	×	×	×	R, C	-	
				[低温停止への移行] ・原子炉圧力 ・原子炉水位（広帯域）	○	×	×	×	R, C	-	
				[ドライウェルスプレイ] ・原子炉水位（広帯域、燃料域） ・原子炉格納容器圧力	○	×	×	×	R, C	-	
				[サブプレッションチェンバ冷却] ・原子炉水位（広帯域、燃料域） ・サブプレッションプール水温度	○	×	×	×	R, C	-	
		[可燃性ガス濃度制御系起動] ・格納容器内雰囲気モニタ（水素・酸素濃度）	○	×	×	×	R, C	-			
	2) 異常状態の緩和機能	BWR には対象機能なし	(対象外)								
	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（安全停止に関連するもの）	中央制御室外原子炉停止装置	○	×	×	×	C	-		
MS-3	2) 異常状態への対応上必要な構築物、系統及び機器	1) 緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	原子力発電所緊急時対策所、試料採取系、通信連絡設備、放射線監視設備、事故時監視計器の一部、消火系、安全避難通路、非常用照明	放射線監視設備（気体廃棄物処理設備排気放射線モニタ）	×	-	-	-	T	-	
外殻となる施設				制御建屋	○	○	×	×		○	外殻施設
				地下軽油タンクピット	○	○	×	×		○	外殻施設

※1：設計対象施設の抽出の観点：①＝屋外に設置されている施設，②＝屋外に開口している施設，③＝外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設

※2：R＝原子炉建屋，C＝制御建屋，T＝タービン建屋，L0＝地下軽油タンクピット，D＝固体廃棄物貯蔵所，HB＝補助ボイラー建屋，TSC＝緊急時対策所

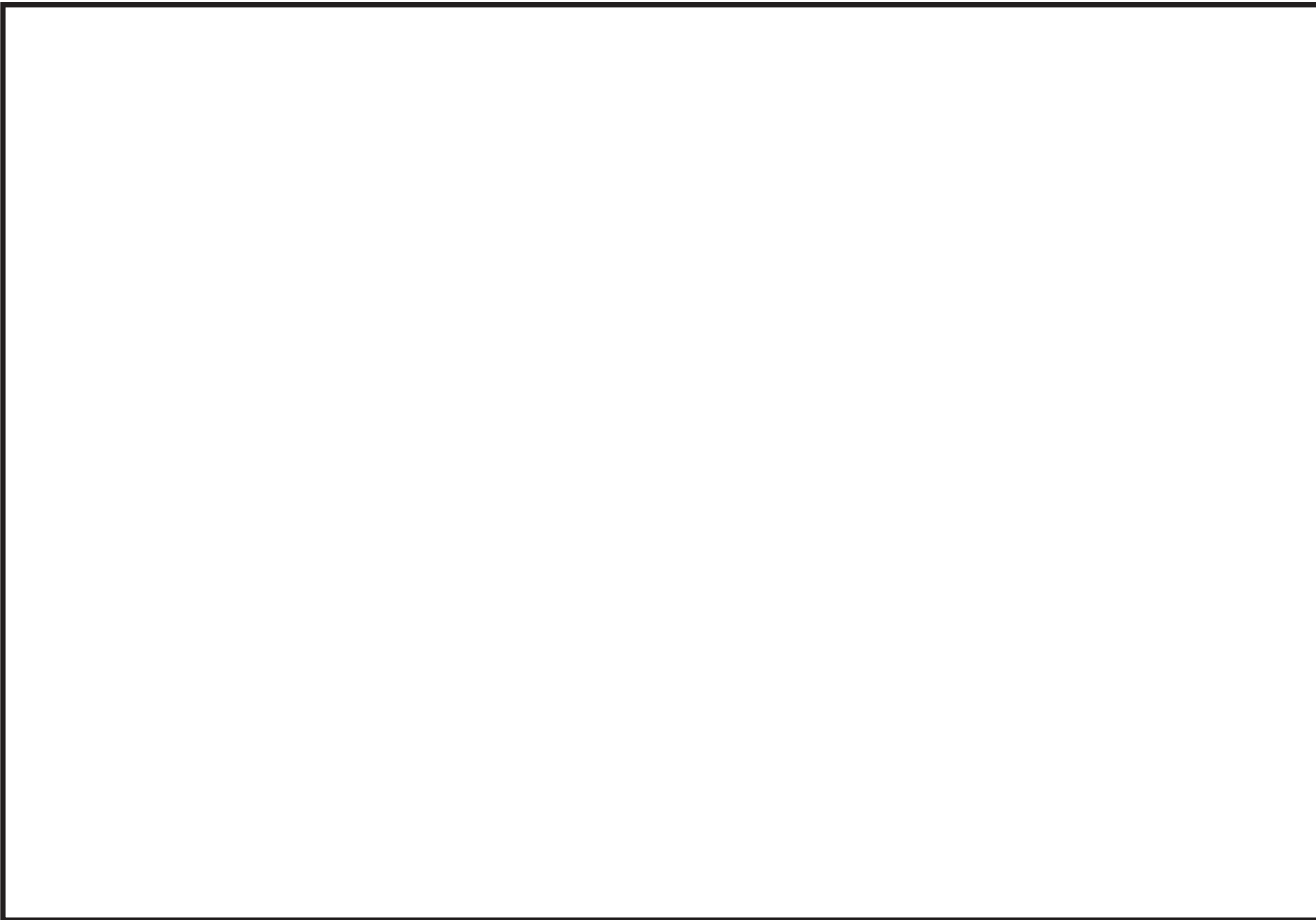


図 3.3-2 評価対象施設の設置場所 (1 / 3)

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

非常用換気空調設備(外気取入口)

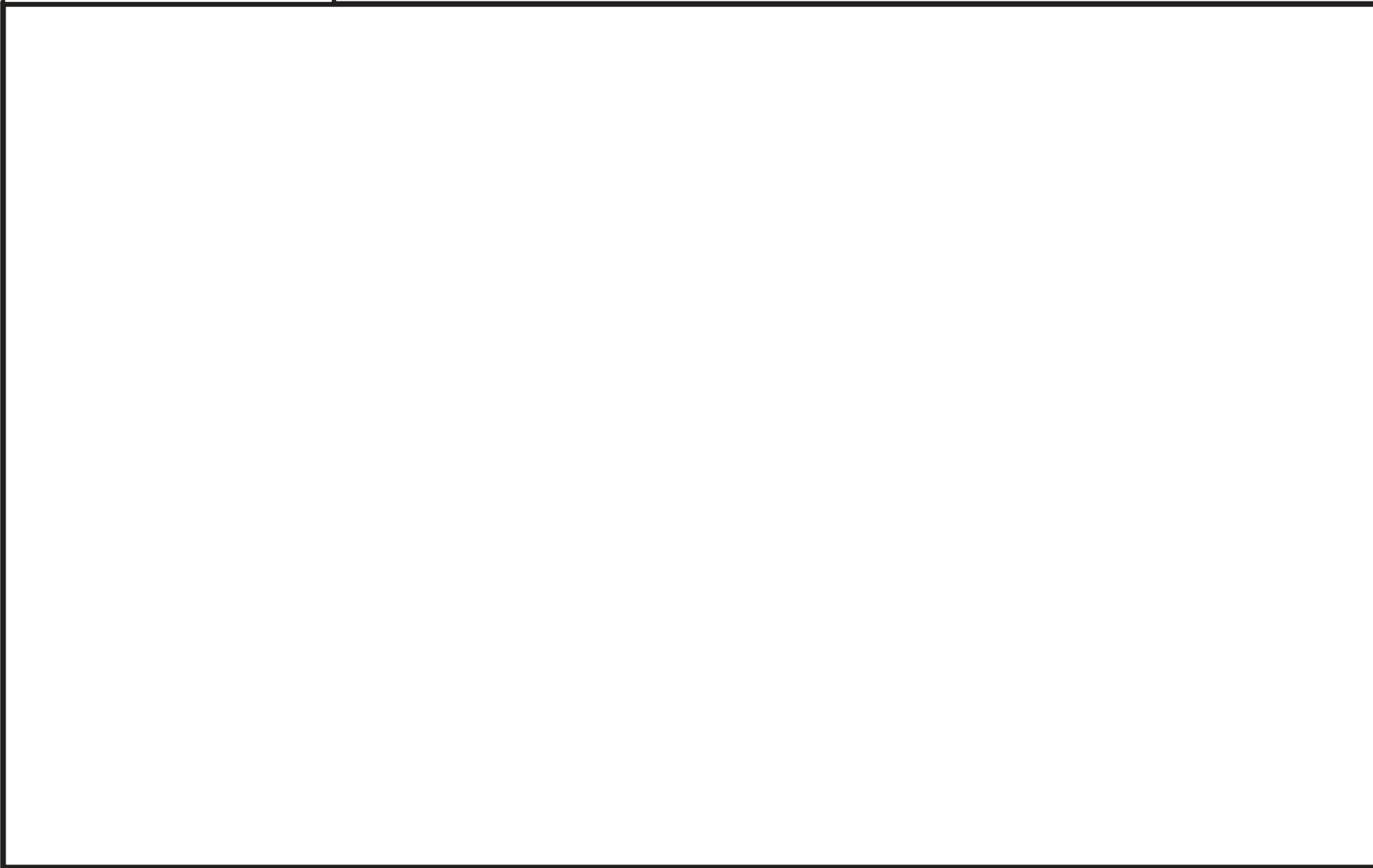


図 3.3-2 評価対象施設の設置場所 (2 / 3)

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

屋内の電源盤

図 3.3-2 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

### 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、降下火砕物が直接及ぼす影響（以下「直接的影響」という。）とそれ以外の影響（以下「間接的影響」という。）を選定する。

#### 3.4.1 降下火砕物の特徴

各種文献の調査結果より、降下火砕物は以下の特徴を有する。

- (1) 火山ガラス片、鉍物結晶片から成る。ただし、火山ガラス片は砂よりもろく硬度は低く、主要な鉍物結晶片の硬度は砂と同等、又はそれ以下である。
- (2) 硫酸等を含む腐食性のガス（以下「腐食性ガス」という。）が付着している。ただし、金属腐食研究の結果より、短期での金属腐食による影響は小さい。
- (3) 水に濡れると硫酸イオン等が流出し、導電性を生じる。
- (4) 湿った降下火砕物は乾燥すると固結する。
- (5) 降下火砕物粒子の融点は約 1,000℃ であり、一般的な砂に比べ低い。

（補足資料－2，3，8）

#### 3.4.2 直接的影響

降下火砕物の特徴から直接的影響の要因となる荷重、閉塞、摩耗、腐食、大気汚染、水質汚染及び絶縁影響を抽出し、評価対象施設の構造や設置状況等を考慮して直接的な影響因子を以下のとおり選定する。なお、女川原子力発電所2号炉で想定される降下火砕物の条件を考慮し、表 3.4.2-1 に示す項目について評価を実施する。

##### (1) 直接的影響の要因の選定と評価手法

###### (a) 荷重

「荷重」について考慮すべき影響因子は、建屋及び屋外設備の上に堆積し静的な負荷を与える「構造物への静的負荷」、並びに建屋及び屋外設備に対し降灰時に衝撃を与える「粒子の衝突」である。

粒子の衝突による影響については、「別添 2－1 竜巻影響評価について」に包絡される。

なお、評価対象とした建屋については、建築基準法における積雪の荷重の考え方に準拠し、降下火砕物及び積雪の除去を適切に行うことから、短期許容応力度を許容限界とする。

また、建屋を除く評価対象施設においては、許容応力を「日本工業規格」、「日本機械学会の基準・指針類」及び「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会）」に準拠する。

###### (b) 閉塞

「閉塞」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物を含む海水が流路の狭隘部等を閉塞させる「水循環系の閉塞」、及び降下火砕物を含む空気が機器の狭隘部や換気系の流路を閉塞させる「換気系、電気系及び計測制御系の機械的影響（閉塞）」である。

(c) 摩耗

「摩耗」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物を含む海水が流路に接触することにより配管等を摩耗させる「水循環系の内部における摩耗」、並びに降下火砕物を含む空気が動的機器の摺動部に侵入し摩耗させる「換気系、電気系及び計測制御系の機械的影響（摩耗）」である。

(d) 腐食

「腐食」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物に付着した腐食性ガスにより建屋及び屋外施設の外面を腐食させる「構築物への化学的影響（腐食）」、換気系、電気系及び計測制御系において降下火砕物を含む空気の流路等を腐食させる「換気系、電気系及び計測制御系に対する化学的影響（腐食）」、並びに海水に溶出した腐食性成分により海水管等を腐食させる「水循環系の化学的影響（腐食）」である。

(e) 大気汚染

「大気汚染」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物により汚染された原子力発電所周辺の大気が運転員の常駐する中央制御室内に侵入することによる居住性の劣化、並びに降下火砕物の除去、屋外設備の点検等、屋外における作業環境を劣化させる「発電所周辺の大気汚染」である。

(f) 水質汚染

「水質汚染」については、外部から供給される水源である、河川水に降下火砕物が混入することによる「給水の汚染」が考えられるが、女川原子力発電所では給水処理設備により水処理した給水を使用しており、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いることから、プラントの安全機能に影響しない。

(補足資料－14)

(g) 絶縁影響

「絶縁影響」について考慮すべき影響因子は、湿った降下火砕物が電気系絶縁部に導電性を生じさせることによる盤の「絶縁低下」である。



表 3.4.2-1 降下火砕物が設備に影響を与える可能性のある因子

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	屋外の構築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の負荷が大きくなるため、降雨条件及び積雪との重畳を考慮する。	○
構造物への化学的影響（腐食）	屋外設備は外装の塗装等や金属材料の使用によって、短期での腐食の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、「別添2-1 竜巻影響評価について」で設定している設計飛来物の衝突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の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による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。	○
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	原子力発電所では給水処理設備により水処理した給水を使用しており、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いることから、プラントの安全機能に影響はない。	-
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。	○

### 3.4.3 間接的影響

降下火砕物によって原子力発電所に間接的な影響を及ぼす因子は、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」、並びに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」である。

### 3.4.4 評価対象施設に対する影響因子の想定

評価すべき直接的影響の要因については、その内容によりすべての評価対象施設に対して評価する必要がない項目もあることから、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表 3.4.4-1 のとおり選定した。

### 3.5 設計荷重の設定

設計荷重は、以下のとおり設定する。

#### (1) 評価対象施設に常時作用する荷重、運転時荷重

評価対象施設に作用する荷重として、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

外部事象防護対象施設は、降下火砕物によって安全機能を損なわない設計とするため、設計基準事故とは独立事象である。

また、評価対象施設のうち設計基準事故時荷重が生じる屋外施設としては、原子炉補機冷却海水ポンプ、及び高圧炉心スプレイ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、通常運転時の系統内圧力及び温度と変わらないため、設計基準事故により考慮すべき荷重はなく、設計基準事故時荷重と降下火砕物による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み合わせ

降下火砕物と組み合わせを考慮すべき火山以外の自然現象は、荷重の影響において風（台風）及び積雪であり、降下火砕物との荷重と適切に組み合わせる。

### 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

直接的影響については、評価対象施設の構造や設置状況等（形状、機能、外気吸入や海水通水の有無等）を考慮し、想定される各影響因子に対して、影響を受ける各評価対象施設が安全機能を損なわない設計とする。評価が必要となる設備については、表 3.4.4-1 の影響因子を踏まえて評価を実施した。評価結果を表 3.6.1-1 に示す。（個別評価-1～7）

##### a. 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、制御建屋及び地下軽油タンクピットは、「構造物への静的負荷」について、当該施設の許容荷重が、降下火砕物による荷重に対して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。なお、建築基準法における積雪の荷重の考え方に準拠し、降下火砕物の除去を適切に行うことから、降下火砕物の荷重は短期に生じる荷重とする。

「構造物への化学的影響（腐食）」については、金属腐食研究の結果より、降下

火砕物に含まれる腐食性ガスにより短期的な金属腐食の影響は小さいが、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。なお、降灰後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により状況に応じて補修が可能な設計とする。

#### b. 海水ポンプ

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは「構造物への静的負荷」について、当該施設の許容荷重が、降下火砕物による荷重に対して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。

「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）」については、金属腐食研究の結果より、降下火砕物に含まれる腐食性ガスによる短期的な金属腐食の影響は小さいことを踏まえて、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。なお、降灰後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

「水循環系の閉塞」については、主要な降下火砕物は粘土質ではないことから水中で固まり閉塞することはないが、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設計とする。

「水循環系の摩耗」については、主要な降下火砕物は砂と同等又は砂より硬度が低くもろいことを踏まえて、摩耗により安全機能を損なわない設計とする。

「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）」については、海水ポンプモータは外気を直接モータ内部に取込まない構造とし、降下火砕物が侵入しない設計とする。また、降下火砕物に空気中の水分が混ざり、凝集する場合でも、原子炉補機冷却海水ポンプモータの空気冷却器冷却管は外気を下方向から取込む構造とし、降下火砕物が侵入し難い設計とする。

「換気系、電気系及び計測制御系に対する化学的影響（腐食）」については、海水ポンプモータは外気を直接モータ内部に取り込まない構造とし、モータ内部に降下火砕物が侵入しない設計とする。また、金属腐食研究の結果より、降下火砕物に含まれる腐食性ガスによる短期的な金属腐食の影響を踏まえて、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。なお、降灰後の長期的な腐食の影響については、日常の保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

#### c. 海水ストレーナ

原子炉補機冷却海水ストレーナ、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ストレーナ及び海水を供給している下流の設備は「水循環系の閉塞」について、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。

「水循環系の摩耗」については、主要な降下火砕物は砂と同等又は砂より硬度が低くもろいことから、摩耗の影響は小さく、また、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能であることを踏まえて、摩耗により安全機能を損なわない設計とする。

「水循環系の化学的影響（腐食）」については、金属腐食研究の結果より、降

下火砕物に含まれる腐食性ガスによる短期的な金属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。なお、降灰後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

d. 海水取水設備（除塵装置）

海水取水設備（除塵装置）は、「水循環系の閉塞」について、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。

「水循環系の摩耗」については、主要な降下火砕物は砂と同等又は砂よりも硬度が低くもろいことから、摩耗の影響は小さく、また、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能であることを踏まえて、摩耗により安全機能を損なわない設計とする。

「水循環系の化学的影響（腐食）」については、金属腐食研究の結果より、降下火砕物に含まれる腐食性ガスによる短期的な金属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。なお、降灰後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

e. 非常用換気空調設備

非常用換気空調設備（中央制御室換気空調系、原子炉補機室換気空調系、計測制御電源室換気空調系）は、「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）」について、外気取入口にルーバが取り付けられており、下方から吸い込む構造であること、また、換気空調系のバグフィルタ（粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して80%以上を捕獲する性能）を設置することで、降下火砕物が流路に侵入し難い設計とする。さらに降下火砕物がフィルタに付着した場合でも清掃又は交換が可能な構造とすることで、降下火砕物により閉塞しない設計とする。

「換気系、電気系及び計測制御系に対する化学的影響（腐食）」については、金属腐食研究の結果より、降下火砕物に含まれる腐食性ガスによる短期的な金属腐食の影響を踏まえて、金属材料を用いることによって、短期での腐食により安全機能を損なわない設計とする。なお、降灰後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

「発電所周辺の大気汚染」については、中央制御室換気空調系の外気取入ダンプの閉止及び再循環運転を可能とすることにより、中央制御室内への降下火砕物の侵入を防止すること、さらに外気取入遮断時において室内の居住性を確保できる設計とする。

f. 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）

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）は、「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）」について、非常用ディーゼル発電機の吸気口の上流側の外気取入口にルーバが取り付けられており、下方から吸い込む構造であること、また、非常用換気空調系のバグフィルタ（粒径 $2\mu\text{m}$ に対して80%以上を捕獲する性能）を設置することで、フィルタメッシュより大きな降下火砕物が内部に侵入し難い設計とし、さらに、降下火砕物がバグフィルタに付着した場合でも取替え又は清掃が可能な構造とすることで、



降下火砕物により閉塞しない設計とする。なお、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降下火砕物により閉塞しない設計とする。また、主要な降下火砕物は砂と同等又は砂より硬度が低くもろいことから、摩耗の影響は小さく、かつ構造上の対応として、吸気口の上流側の外気取入口には、ルーバが取り付けられており、下方から吸い込む構造であること、非常用換気空調系のバグフィルタを設置することで、降下火砕物が流路に侵入し難い設計とし、仮に当該設備の内部に降下火砕物が侵入した場合でも耐摩耗性のある材料を使用することで、摩耗により安全機能を損なわない設計とする。

「換気系、電気系及び計測制御系に対する化学的影響（腐食）」については、金属腐食研究の結果より、降下火砕物に含まれる腐食性ガスによる短期的な金属腐食の影響を踏まえて、金属材料を用いることによって、短期での腐食により安全機能を損なわない設計とする。なお、降灰後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

#### g. 屋内の電源盤

降下火砕物発生時に必要となる屋内の電源盤のうち、屋内の空気を取込む機構を有するもの（安全保護系の電源盤：無停電交流電源用静止形無停電電源装置、非常用所内電源系の電源盤：460Vパワーセンタ用動力変圧器）について、当該機器の設置場所は、原子炉補機室換気空調系及び計測制御電源室換気空調系にて空調管理されており、外気取入口にはバグフィルタ（粒径約  $2\mu\text{m}$  に対して80%以上を捕獲する性能）を設置することで、降下火砕物が当該機器の設置場所に侵入し難い構造とすることにより、降下火砕物による絶縁低下により安全機能を損なわない設計とする。

### 3.6.2 間接的影響に対する設計方針

女川原子力発電所2号炉の非常用所内交流電源設備は、非常用ディーゼル発電機（非常用ディーゼル発電機2台/号炉、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機1台/号炉）とそれぞれに必要な耐震Sクラスの燃料ディタンク（非常用ディーゼル発電機用： $20\text{m}^3 \times 2$ 基、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用： $14\text{m}^3 \times 1$ 基）を有している。さらに、軽油タンク（ $110\text{m}^3 \times 3$ 基 $\times 2$ 系列）を有している。

これらにより、7日間の外部電源喪失に対して、また、原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮した場合においても、原子炉の停止並びに停止後の原子炉及び使用済燃料プールの冷却に係る機能を担うために必要となる電源の供給が継続できる設計とする。

表 3.4.4-1 降下火砕物が影響を与える評価と影響因子の組み合わせ

影響因子 評価対象施設	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)
海水ストレータ	－(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	－(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 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)	●

【評価除外理由】

凡例 ●：詳細な評価が必要な設備  
 ー：評価対象外( )内数値は理由

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で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こり難い  
 ④：影響因子と直接関連しない

表 3.6.1-1 降下火砕物による直接的影響の評価結果 (1/2)

評価対象施設	確認結果	個別評価
原子炉建屋，制御建屋，地下軽油タンクピット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 考慮する堆積荷重は 2,508N/m<sup>2</sup> であり，各施設の許容堆積荷重はそれを十分に上回っていることから，安全性への影響はない。</li> <li>・ 外壁塗装が施されていること，又は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により，機能に影響を及ぼすことはない。</li> </ul>	1
海水ポンプ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 海水ポンプに発生する応力は許容値に対して十分な裕度を有しており，機器の機能に影響を及ぼすことはない。</li> <li>・ 海水ポンプ及びモータは外面塗装が施されており，降下火砕物による短期での腐食により，機器の機能に影響を及ぼすことはない。</li> <li>・ 海水ポンプ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。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。また，降下火砕物は破碎し易く，摩耗による影響は小さいことから，降下火砕物による閉塞・摩耗により，機器の機能に影響を及ぼすことはない。</li> <li>・ 海水ポンプ内面は耐食性のある材料等を使用しているため，降下火砕物による短期での腐食により，機器の機能に影響を及ぼすことはない。</li> <li>・ 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，モータ内部に降下火砕物の侵入はない。また，原子炉補機冷却海水ポンプモータは空気冷却器冷却管があるが，外気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おり降下火砕物が侵入し難い構造である。仮に侵入した場合にも，冷却管内径に対して降下火砕物の粒径は十分小さく閉塞の可能性は低い。したがって，モータ軸受部の摩耗及び空気冷却器冷却管への侵入による摩耗・閉塞により機器の機能に影響を及ぼすことはない。</li> <li>・ 海水ポンプモータが冷却流に接する部分には金属材料を用いているが，金属腐食研究の結果より，降下火砕物による短期での腐食により，機器の機能に影響を及ぼすことはない。</li> </ul>	2
海水ストレーナ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 降下火砕物の粒径は，海水ストレーナのフィルタの穴径及び下流設備である熱交換器の伝熱管内径に対して十分小さいこと，また海水ストレーナは差圧管理により切替・洗浄が可能であることから，降下火砕物による閉塞により，機器の機能に影響を及ぼすことはない。</li> <li>・ 降下火砕物は破碎し易く摩耗による影響は小さいことから，降下火砕物による摩耗により機器の機能に影響を及ぼすことはない。</li> <li>・ 海水ストレーナ内面は塗装や耐食性のある材料を使用している。また，下流設備である熱交換器の伝熱管は耐食性の高い材料を使用しているため，降下火砕物による短期での腐食により，機器の機能に影響を及ぼすことはない。</li> </ul>	3

表 3.6.1-1 降下火砕物による直接的影響の評価結果 (2/2)

評価対象施設	確認結果	個別評価
非常用ディーゼル発電機 (発電機吸気系含む)	<ul style="list-style-type: none"> <li>外気取入口は、降下火砕物が侵入し難い構造であり、また、バグフィルタ（粒径約<math>2\mu\text{m}</math> に対して80%以上を捕獲する性能）により降下火砕物が捕集されること、また、バグフィルタは必要に応じて、取替え又は清掃することにより除灰が可能であることから、降下火砕物による閉塞により機器の機能に影響を及ぼすことはない。</li> <li>機関吸気に降下火砕物が侵入した場合でも、シリンダライナー及びピストンリング間隙が非常に狭く、降下火砕物が侵入しても閉塞する可能性は小さい。また、降下火砕物は砂と比較して破碎しやすく、硬度は砂と同等又は低いことから、降下火砕物による摩耗の影響は小さい。</li> <li>金属材料を用いることで、降下火砕物による短期の腐食により、機器の機能に影響を及ぼすことはない。</li> </ul>	4
非常用換気空調設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>外気取入口には、ルーバ及びバグフィルタ（粒径約<math>2\mu\text{m}</math> に対して80%以上を捕獲する性能）が設置されていることから、給気を供給する設備に対して、降下火砕物を与える影響は小さい。また、金属腐食研究の結果から、降下火砕物による短期の腐食により、機器の機能に影響を及ぼすことはない。</li> <li>中央制御室換気空調系については、外気取入ダンパを閉止し、再循環運転を行った場合でも、中央制御室の居住性が維持されることを確認した。</li> </ul>	5
海水取水設備 (除塵装置)	<ul style="list-style-type: none"> <li>降下火砕物の粒径は取水設備に設置されているメッシュスクリーン幅に対して十分小さく、取水口を閉塞することはない。また、降下火砕物は破碎し易く、摩耗による影響は小さいことから、降下火砕物による閉塞・摩耗により、機器の機能に影響を及ぼすことはない。</li> <li>取水設備（除塵装置）は塗装等の対応を実施しており、降下火砕物による短期での腐食により、機器の機能に影響を及ぼすことはない。</li> </ul>	6
屋内の電源盤	<ul style="list-style-type: none"> <li>降下火砕物発生時に必要となる屋内の電源盤が設置されている部屋は、原子炉補機室換気空調系及び計測制御電源室換気空調系にて空調管理されており、本換気空調系の外気取入口にはバグフィルタ（粒径約<math>2\mu\text{m}</math> に対し80%以上を捕獲する性能）が設置されていることから、降下火砕物が大量に盤内に侵入すること可能性は小さい。また、侵入する降下火砕物は微細なものに限られ、その付着等により短絡等を発生させる可能性はない。</li> </ul>	7



### 3.7 降下火砕物の除去等の対策

#### 3.7.1 降下火砕物に対応するための運用管理

降下火砕物に備え、手順を整備し、図 3.7.1-1 のフローのとおり段階的に対応することとしている。その体制については地震、津波、火山噴火等の自然災害に対し、保安規定に基づく保安管理体制として整備し、その中で体制の移行基準、活動内容についても明確にする。

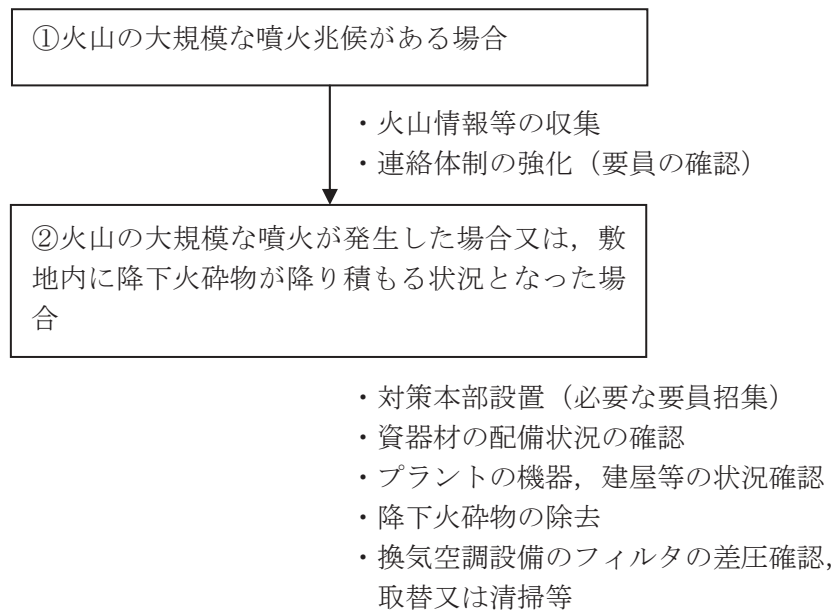


図 3.7.1-1 降下火砕物に対応するための運用管理フロー

#### ① 火山の大規模な噴火兆候がある場合

担当箇所は、火山情報（火山の位置、噴火規模、風向、降灰予測等）を把握し、連絡体制を強化する。

#### ② 火山の大規模な噴火発生した場合又は、降下火砕物が降り積もる状況となった場合

担当箇所は、火山の大規模な噴火が確認された場合、又は、原子力発電所敷地で降灰が確認された場合に、関係箇所と協議の上、対策本部を設置する。

換気空調設備の取替用フィルタの配備状況を確認するとともに、アクセスルート・屋外廻りの機器・屋外タンク・建屋等の降下火砕物の除去のため、発電所内に保管しているブルドーザ・スコップ・マスク等の資機材の配備状況の確認を行う。

プラントの機器、建屋等の現在の状態（屋外への開口部が開放されていないか）を確認する。

敷地内に降下火砕物が到達した場合には、降灰状況を把握する。

プラント及び屋外廻りの監視を強化し、アクセスルート・屋外廻りの機器・屋外タンク・建屋等の降下火砕物の除去を行うとともに、換気空調設備のフィルタ差圧を確認し、フィルタの取替、清掃等を行う。

降下火砕物により安全機能を有する設備が損傷等により機能が確保できなくなった場合、必要に応じプラントを停止する。

(補足資料－10)

### 3.7.2 手順

火山に対する防護については、降下火砕物に対する影響評価を行い、安全施設が安全機能を損なわないよう手順を定める。

降灰が確認された場合には、建屋や屋外の設備等に長期間降下火砕物の荷重をかけ続けられないこと、また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ために、評価対象施設に堆積した降下火砕物の除灰を適切に実施する。

降灰が確認された場合には、状況に応じて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により、建屋内への降下火砕物の侵入を防止する手順を定める。

降灰が確認された場合には、非常用換気空調設備の外気取入口のバグフィルタについて、バグフィルタ差圧を確認するとともに、状況に応じて取替え又は清掃等を実施する。

## 4. まとめ

降下火砕物による直接的影響及び間接的影響のすべての項目について評価した結果、降下火砕物による直接的及び間接的影響はなく、発電用原子炉施設の安全機能を損なうことはない。

降下火砕物の飛来の恐れがある場合は、火山噴火対策を行うための体制を構築し、プラント及び屋外廻りの監視の強化、降下火砕物の除去等を実施する。

## 建屋等に係る影響評価

降下火砕物による原子炉建屋等への影響について以下のとおり評価した。

## 1. 評価項目

## (1) 構造物への静的負荷

降下火砕物の堆積荷重（降雨の影響含む）により原子炉建屋，制御建屋及び地下軽油タンクピットの健全性に影響がないことを評価する。なお，堆積荷重は，積雪及び風（台風）の荷重を考慮し，適切に組み合わせる。

## (2) 構造物への化学的影響（腐食）

降下火砕物の構造物への付着や堆積による化学的影響（腐食）により，構造物への影響がないことを評価する。

## 2. 評価条件

## (1) 降下火砕物条件

- ・堆積量：15cm
- ・密度：1.5g/cm<sup>3</sup>（湿潤密度）

## (2) 積雪条件

- ・積雪量：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]
- ・単位荷重：積雪量1cm当たり20N/m<sup>2</sup>（建築基準法施行令に基づく積雪の単位荷重）

## 3. 評価結果

## (1) 構造物への静的負荷

設計堆積荷重は以下のとおり。

湿潤状態の降下火砕物の荷重（15cm×1.5g/cm<sup>3</sup>×9.80665m/s<sup>2</sup>）

$$+ \text{降下火砕物による荷重と組合せる積雪荷重} (43\text{cm} \times 20\text{N}/(\text{m}^2 \cdot \text{cm}) \times 0.35) \\ = 2,508\text{N}/\text{m}^2$$

表1に建屋ごとに裕度が最も小さい部位の評価結果を示す。評価の結果，各建屋において，許容堆積荷重は堆積荷重を十分に上回っている。また，地下軽油タンクピットについては，上載荷重として，4,900N/m<sup>2</sup>を考慮した設計を行っており，上載荷重は設計堆積荷重を十分に上回っていることから，安全性への影響はない。

表1 建屋の堆積荷重概略評価結果

評価対象建屋	対象施設エリア	許容堆積荷重 <sup>※1</sup> (N/m <sup>2</sup> )	降下火砕物 堆積荷重(N/m <sup>2</sup> )	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		○

※1：降下火砕物堆積荷重は短期荷重として評価した。評価においては，許容応力度の比（短期／長期＝1.5以上）から，短期では少なくとも長期の1.5倍の荷重が負担できるため，短期荷重として負担できる荷重と長期荷重の差分を許容堆積荷重とした。（許容堆積荷重の算定フローを図1に示す）

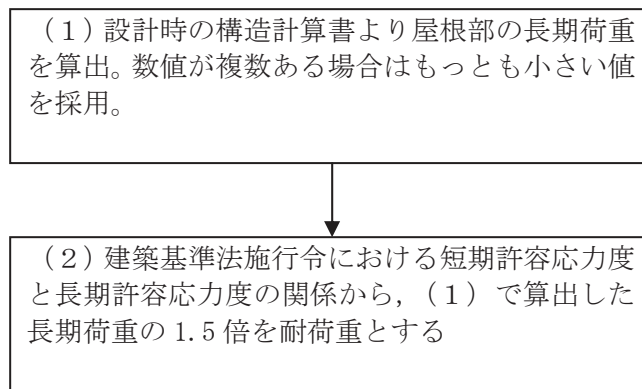


図1 許容堆積荷重算定フロー

## (2) 構造物への化学的影響（腐食）

原子炉建屋，制御建屋及びへの化学的影響（腐食）については，外壁塗装を施していることから，降下火砕物による短期での腐食により機能に影響を及ぼすことはない。地下軽油タンクピットへの化学的影響（腐食）については，ピット頂版はコンクリート構造物であること，また，ハッチ部については金属材料（ステンレス鋼）を用いていることから，降下火砕物に含まれる腐食性ガスによる金属腐食の影響を考慮し，外装塗装\*を実施することで降下火砕物による短期での腐食により機能に影響を及ぼすことはない。（補足資料－4，8）

※：ハッチ（ステンレス鋼）部は酸，アルカリなどに水分の加わった強度腐食環境での塗装としてエポキシ樹脂－ウレタン樹脂の塗装を実施

以 上

## 海水ポンプに係る影響評価

降下火砕物による原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ（以下「海水ポンプ」という。）に係る影響評価について以下のとおり評価した。

## 1. 評価項目

## (1) 構造物への静的負荷

降下火砕物の堆積荷重により原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの機能に影響がないことを評価する。なお、堆積荷重は、積雪及び風（台風）の荷重を考慮し、適切に組み合わせる。

## a. 原子炉補機冷却海水ポンプ

評価部位は、モータの外扇カバーに降下火砕物が堆積した場合に荷重の影響を受けるモータフレームとする。モータフレームに生じる応力は、保守的に電動機上面の投影面積の最も大きい外扇カバー全面に均等に降下火砕物が堆積した場合を想定し、その上で運転時荷重（ポンプスラスト荷重）が加わる状態で荷重評価を行う。図1に原子炉補機冷却海水ポンプの概要及び降下火砕物の堆積範囲を示す。

## b. 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

評価部位は、雨よけカバーに降下火砕物が堆積した場合に荷重の影響を受けるモータフレームとする。モータフレームに生じる応力は、保守的に電動機上面の投影面積の最も大きい雨よけカバー全面に均等に降下火砕物が堆積した場合を想定し、その上で運転時荷重（ポンプスラスト荷重）が加わる状態で荷重評価を行う。図2に高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの概要及び降下火砕物の堆積範囲を示す。

## (2) 構造物への化学的影響（腐食）

降下火砕物のポンプ及びモータへの付着や堆積による化学的影響（腐食）により、機器の機能に影響がないことを評価する。

## (3) 水循環系の閉塞・摩耗

降下火砕物が混入した海水を海水ポンプにより取水した場合でも、流水部、軸受部等が閉塞し、又は、内部構造物との摩耗により機器の機能に影響がないことを評価する。

## (4) 水循環系の化学的影響（腐食）

降下火砕物が混入した海水を海水ポンプにより取水した場合に、内部構造物に対する化学的影響（腐食）により機器の機能に影響がないことを評価する。

## (5) 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）

降下火砕物の海水ポンプモータ冷却空気への侵入による地絡・短絡、モータ軸受部の摩耗及び空気冷却器冷却管への侵入による閉塞によって、機器の機能に影響がないことを評価する。

## (6) 換気系、電気系及び計測制御系に対する化学的影響（腐食）

降下火砕物の海水ポンプモータ冷却空気への侵入による内部の腐食及び外装への接触による腐食によって、機器の機能に影響がないことを評価する。

## 2. 評価条件

### (1) 降下火砕物条件

- ・粒径 : 2mm 以下
- ・堆積量 : 15cm
- ・密度 : 1.5g/cm<sup>3</sup> (湿潤密度)

### (2) 積雪条件

- ・積雪量 : 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]
- ・単位荷重 : 積雪量 1cm 当たり 20N/m<sup>2</sup> (建築基準法施行令に基づく積雪の単位荷重)

### (3) 堆積荷重

湿潤状態の降下火砕物の荷重 (15cm×1.5g/cm<sup>3</sup>×9.80665m/s<sup>2</sup>)  
 +積雪荷重 (43cm×20N/(m<sup>2</sup>・cm)) ×0.35=2,508N/m<sup>2</sup>

### (4) 荷重条件

- ・原子炉補機海水ポンプ (モータフレーム)  
 堆積荷重 (2,508N/m<sup>2</sup>) +モータ自重+ポンプスラスト荷重
- ・高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ (モータフレーム)  
 堆積荷重 (2,508N/m<sup>2</sup>) +モータ自重+ポンプスラスト荷重

## 3. 評価結果

### (1) 構造物への静的負荷

表1に評価結果を示す。評価結果のとおり、原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプに発生する応力は許容値に対して十分な裕度を有しており、機器の機能に影響を及ぼすことはない。

表1 海水ポンプモータに対する降下火砕物の堆積荷重による発生応力の評価

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

※:各部位の許容応力は、JEAG4601-1987の「その他の支持構造物」における許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sに基づく。



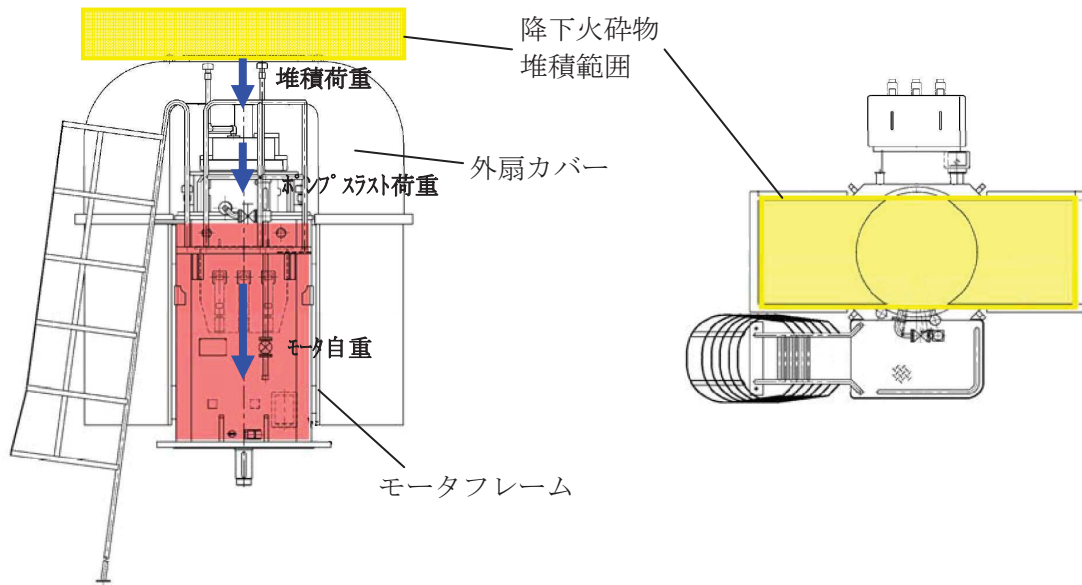


図1 原子炉補機冷却海水ポンプモータ

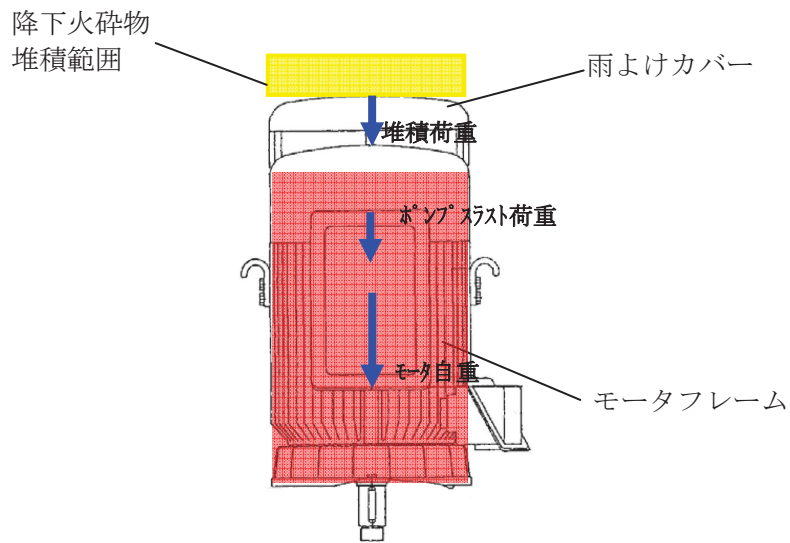


図2 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプモータ

(2) 構造物への化学的影響（腐食）

海水ポンプ及びモータは外面塗装が施されており，降下火砕物による短期での腐食により，機器の機能に影響を及ぼすことはない。

なお，降灰後の長期的な腐食の影響については，日常の保守管理等により，状況に応じて補修が可能な設計とする。



（補足資料－4）

(3) 水循環系の閉塞・摩耗

a. 流水部の閉塞

海水ポンプ流水部の狭隘部の寸法は、図 3, 4 に示すように原子炉補機冷却海水ポンプが約 55mm であり、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプが約 29mm である。想定する降下火砕物の粒径は約 2mm 以下であり、閉塞には至らない。

b. 軸受部の閉塞

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの軸受の隙間はそれぞれ、1.2mm, 0.7mm の許容値以下で管理されている。想定する粒径は約 2mm 以下であり、一部の降下火砕物は軸受の隙間より、軸受け内部に入り込む可能性があるが、図 3, 4 に示すように軸受溝部間隙 (  ~  ) を設けているため、軸受部の閉塞に至らない。

c. 水循環系の摩耗

降下火砕物は破碎しやすく、砂と同等又は砂より硬度が低くもろいことから、降下火砕物による摩耗が、海水ポンプに与える影響は小さい。(補足資料-3)

評価の結果より、降下火砕物による海水ポンプの閉塞・摩耗により機器の機能に影響を及ぼすことはない。

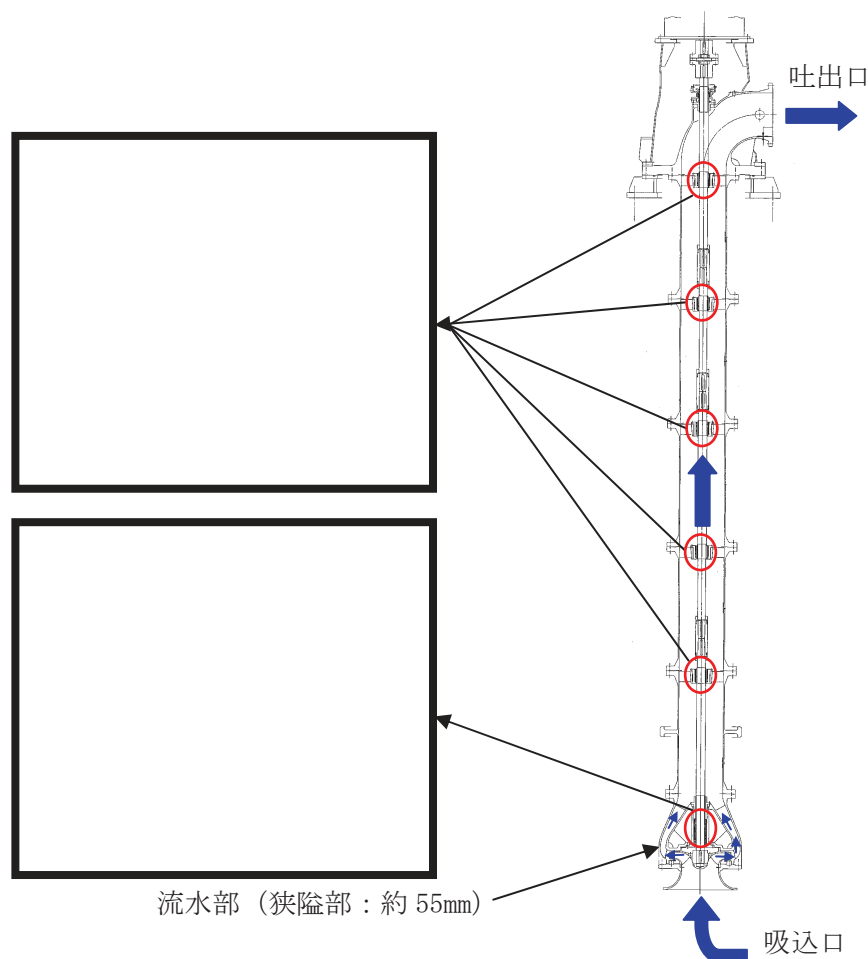


図 3 原子炉補機冷却海水ポンプ構造

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



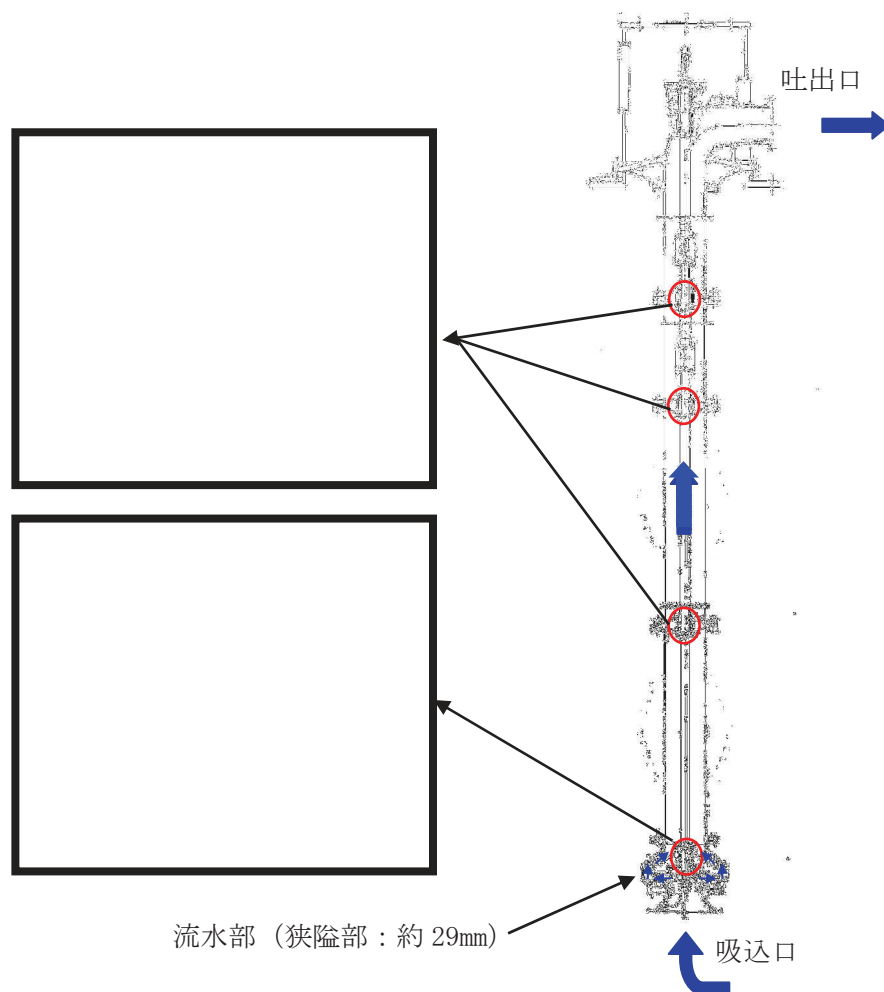


図4 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ構造

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

(4) 水循環系の化学的影響（腐食）

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、内面ゴムライニングや塗装等の対応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により機器の機能に影響を及ぼすことはない。

（補足資料－4， 8）

(5) 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）

海水ポンプモータは、図5,6に示すように外気を直接モータ内部に取り込まない冷却方式であり、モータ内部に降下火砕物の侵入はない。したがって、地絡，短絡及びモータ軸受部への影響はない。

また、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影響が考えられる。

外気の入込口は下向きに設置され外気を取込む構造であり、吸込部には金網が設置されているため、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難いこと、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。したがって、

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く、機器へ影響を及ぼすことはない。

(6) 換気系、電気系及び計測制御系に対する化学的影響（腐食）

海水ポンプモータは外気を直接モータ内部に取り込まない冷却方式であり、モータ内部に降下火砕物の侵入がない。また、モータが冷却流に接する部分には金属材料（炭素鋼、防錆塗装あり）を用いているが、金属腐食研究の結果より、降下火砕物に含まれる腐食性ガスによる短期的な金属腐食の影響は小さいことを確認している。したがって、降下火砕物の海水ポンプモータ冷却空気への侵入による腐食によって、機器の機能に影響を及ぼすことはない。

なお、降灰後の長期的な腐食の影響については、日常の保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。 (補足資料－8)

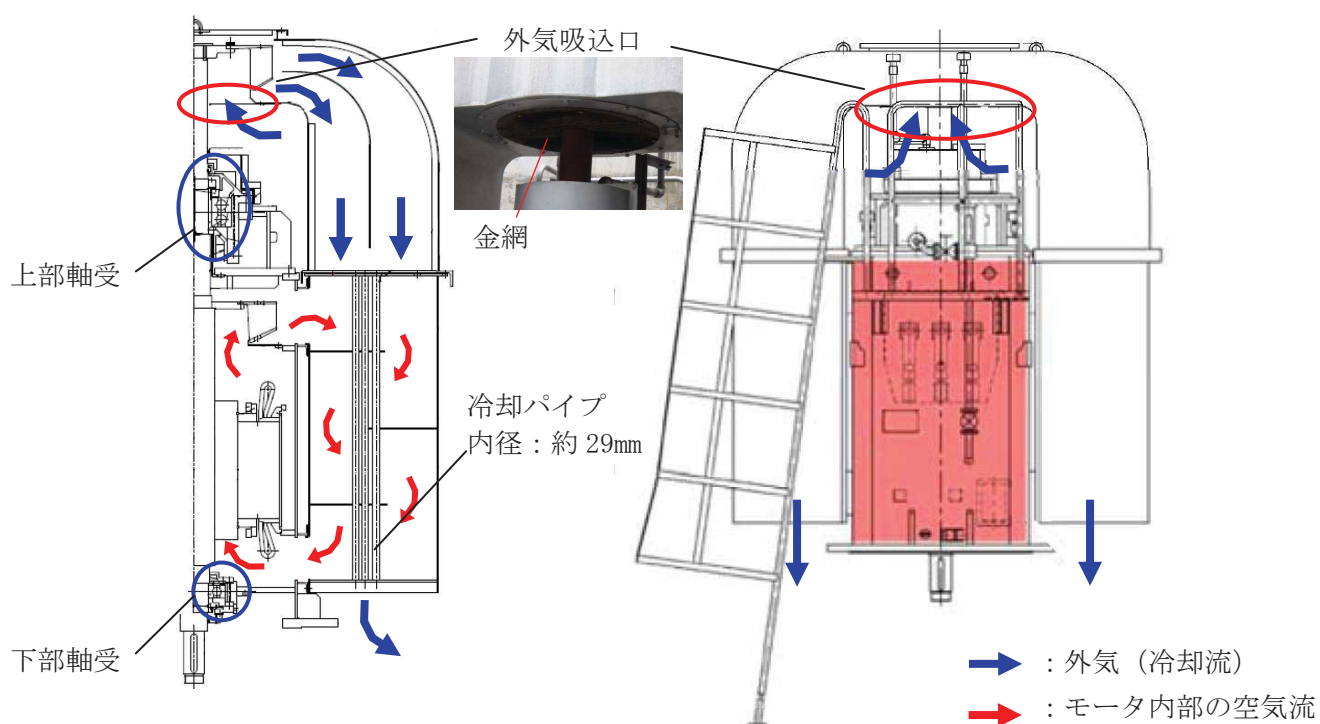


図5 原子炉補機冷却海水ポンプモータの冷却方式

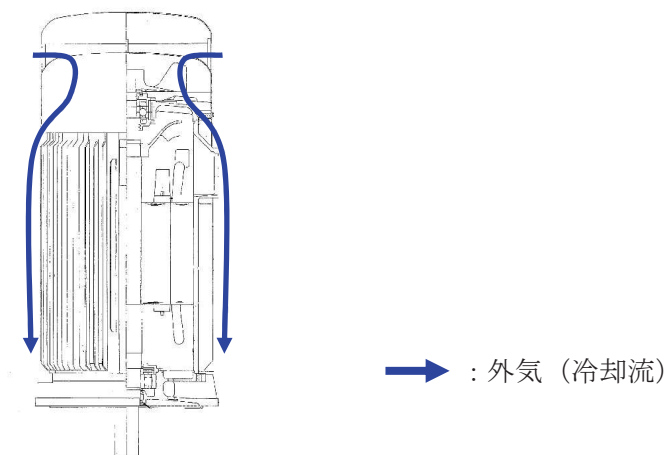


図6 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプモータの冷却方式 以上

## 海水ストレーナに係る影響評価

降下火砕物による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（以下「海水ストレーナ」という。）に係る影響評価について以下のとおり評価した。

## 1. 評価項目

## (1) 水循環系の閉塞

降下火砕物による海水ストレーナの閉塞により、機器の機器の機能に影響がないことを評価する。

## (2) 水循環系の摩耗

降下火砕物による海水ストレーナの摩耗により、機器の機器の機能に影響がないことを評価する。

## (3) 水循環系の化学的影響（腐食）

降下火砕物による海水ストレーナの内部構造物の化学的影響（腐食）により、機器の機能に影響がないことを評価する。また、海水を供給している下流の設備への影響についても同様に評価する。

## 2. 評価条件

## (1) 降下火砕物条件

粒 径：2mm 以下

## 3. 評価結果

## (1) 水循環系の閉塞

想定する降下火砕物の粒径は約 2mm 以下であり、海水ストレーナのフィルタ穴径は 8mm であることから、フィルタ穴径に対して十分小さい。また、降下火砕物には粘性を生じさせる粘土鉱物等は含まれていないことから、海水ストレーナが閉塞することはない。なお、原子炉補機冷却海水ストレーナはフィルタが閉塞することがないように差圧管理されており、一定の差圧（15.2kPa）で自動洗浄される。高圧炉心スプレイ補機冷却海水ストレーナはフィルタが閉塞することがないように、ストレーナ差圧が上昇した場合には切替・洗浄が可能である。

また、海水ストレーナのフィルタを通過した降下火砕物の粒子は、表 1 に示す下流設備である原子炉補機冷却水系及び高圧炉心スプレイ補機冷却水系熱交換器（以下「熱交換器」という。）の伝熱管内径に対して、降下火砕物の粒径が十分小さく、伝熱管等の閉塞により、下流設備に影響を及ぼすことはない。よって、降下火砕物による閉塞により、機器の機能に影響を及ぼすことはない。

表 1 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

(2) 水循環系の内部における摩耗

降下火砕物は破碎し易く、砂と同等又は砂より硬度が低くもろいことから降下火砕物による摩耗が設備に与える影響は小さく、機器の機能に影響を及ぼすことはない。

(補足資料－3)

(3) 水循環系の化学的影響（腐食）

海水ストレーナの内面は、ライニングが施工されており、その他の部材も耐食性の高い材料（ステンレス鋼）を使用していることから、短期での腐食により海水ストレーナの機能に影響を及ぼすことはない。

また、海水ストレーナの下流設備の熱交換器（伝熱管）には、耐食性の高い材料（アルミニウム黄銅管）を使用していることから、短期での腐食により下流設備の機能に影響を及ぼすことはない。

(補足資料－4，8)

以上

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）に係る影響評価

降下火砕物による非常用ディーゼル発電機に係る影響評価について以下のとおり評価する。

### 1. 評価項目

#### (1) 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）

降下火砕物の非常用ディーゼル発電機（機関）への侵入等による閉塞・摩耗により，機器の機能に影響がないことを評価する。

#### (2) 換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響（腐食）

降下火砕物の非常用ディーゼル発電機（機関）への侵入等による化学的影響（腐食）により，機器の機能に影響がないことを評価する。

### 2. 評価条件

#### (1) 降下火砕物条件

粒径：2mm 以下

### 3. 評価結果

#### (1) 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）

非常用ディーゼル発電機吸気系は，原子炉補機室換気空調系の外気取入口より上流側に，バグフィルタ（粒径約  $2\mu\text{m}$  に対して 80%以上を捕捉する性能）が設置されており，降下火砕物の大半は捕捉される。実際に使用しているバグフィルタの粒径別捕集効率を図1に示す。また，バグフィルタは取替え又清掃が可能である。

粒径が  $2\mu\text{m}$  程度の微細な粒子については，図2に示すように過給器，空気冷却器（空気側）に侵入する可能性はあるが，機器の間隙は十分大きく閉塞に至らない。

又，機関シリンダ内に降下火砕物が混入した場合，シリンダライナー／ピストリング間隔と同程度のものが当該間隙内に侵入し，摩耗が発生することが懸念されるが，主要な降下火砕物は，砂と比較しても破碎し易く<sup>\*1</sup>，硬度は同等又は低い<sup>\*2, 3</sup>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，降下火砕物の摩耗による影響は小さいと考えられる。

降下火砕物の熔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  $500^{\circ}\text{C}$  であり，シリンダ内の金属表面近傍はシリンダ冷却水およびピストン冷却用潤滑油の効果により冷却されていることを踏まえると，火山灰は熔融には至らないと考えられる。よって，短期的な非常用ディーゼル発電機（機関）の閉塞・摩耗により，機器の機能に影響を及ぼすことはない。

長期的な影響についても，シリンダライナー及びピストンの間隙内に侵入した降下火砕物は，シリンダとピストン双方の往復運動が繰り返されるごとに，さらに細かい粒子に破碎され，破碎された粒子はシリンダライナーとピストンリング間隙に付着している潤滑油により機関外へ除去されると考える。潤滑油系には機関付フィルタが設置されているが，フィルタのメッシュ寸法が  $30\mu\text{m}$  程度である

ことから、潤滑油に含まれる降下火砕物によって閉塞する可能性は小さい。さらに、バグフィルタを通過した降下火砕物が潤滑油へ混入した場合を想定し、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した。非常用ディーゼル機関は定期的に分解点検を実施しており、長期的な影響については保守点検において適切に対応を行うこととする。(補足資料－2, 3, 6, 7, 8)

(2) 換気系, 電気系及び計測制御系に対する化学的影響(腐食)

金属腐食研究の結果より、降下火砕物に含まれる腐食性ガスによる短期的な金属腐食の影響は小さいことから、金属材料を用いることで、短期での腐食により非常用ディーゼル発電機の機能に影響を及ぼすことはない。なお、降灰後の長期的な腐食の影響については、日常の保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

(補足資料－8)

- ※1: 武若耕司(2004): シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状, コンクリート工学, Vol. 42, No. 3, P38-47
- ※2: 恒松修二 他(1976): シラスを主原料とする結晶化ガラス, 窯業協会誌, 84[6], P32-40
- ※3: Properties of volcanic ash: volcanic ash hazards and ways to minimize them”, USGS(米国地質調査所)



図1 バグフィルタの粒径別捕集効率

防護上の観点又は機密に係わる事項を含む為、公開できません



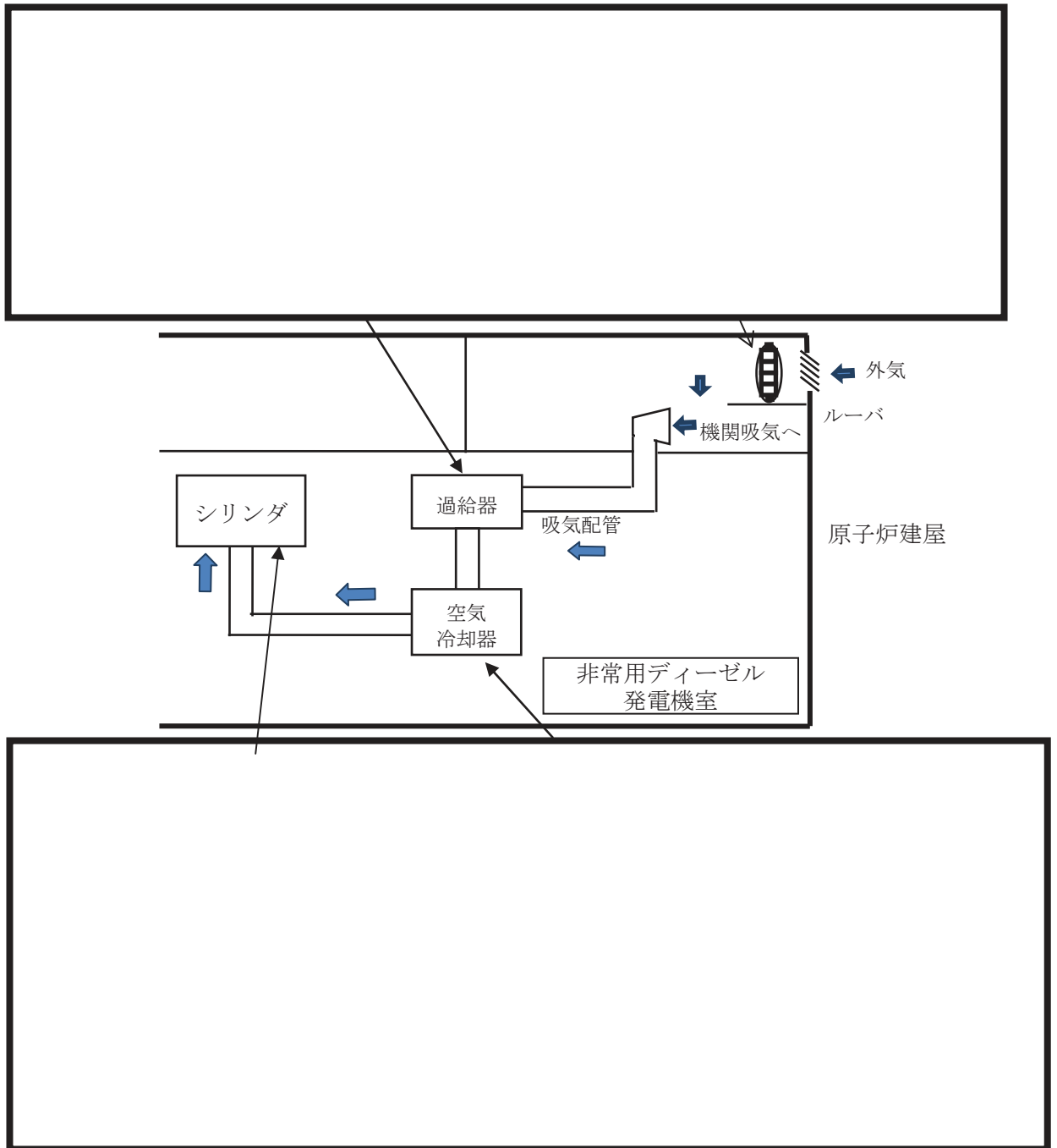


図2 非常用ディーゼル機関吸気系統構造図

防護上の観点又は機密に係わる事項を含む為、公開できません

以上

## 非常用換気空調設備に係る影響評価

降下火砕物による非常用換気空調設備（中央制御室換気空調系，原子炉補機室換気空調系，計測制御電源室換気空調系）への影響について以下のとおり評価した。

## 1. 評価項目

- (1) 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）

降下火砕物による換気空調設備に対する機械的影響（閉塞，摩耗）により，機器の機能に影響がないことを評価する。

- (2) 換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響（腐食）

降下火砕物による換気空調設備に対する化学的影響（腐食）により，機器の機能に影響がないことを評価する。

- (3) 発電所周辺の大気汚染

降下火砕物により汚染された原子力発電所周辺の大気が換気空調等設備を経て運転員が駐在している中央制御室の居住性に影響がないことを評価する。

## 2. 評価条件

- (1) 降下火砕物条件

粒径：2mm 以下

## 3. 評価結果

- (1) 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）

各評価対象施設の外気取入口には，ルーバが取り付けられており，下方から吸い込む構造となっていることから，上方より降下してくる火砕物に対し，取り込み難い構造となっている。また，外気取入口にはバグフィルタ（粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して80%以上を捕獲する性能）が設置されており，想定する降下火砕物は十分除去されるため，給気を供給する系統及び機器に対して降下火砕物が及ぼす影響は少ない。

なお，バグフィルタには差圧計が設置されており，必要に応じて清掃及び取替することが可能である。よって，非常用換気空調設備の閉塞，摩耗により機器の機能に影響を及ぼすことはない。換気空調系の外気取入口イメージ図を図1に，原子炉補機(A)室換気空調系の外気取入口を図2に示す。

(補足資料－5， 11)

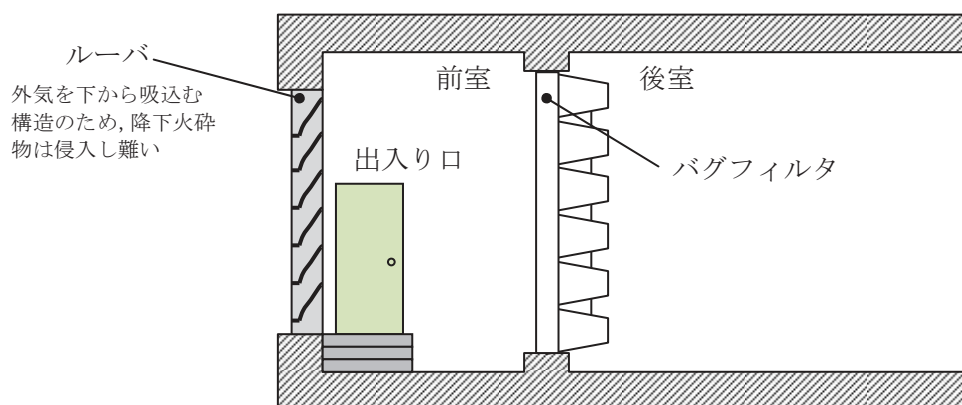


図1 換気空調系の外気取入口イメージ図  
6条－別添3-1(火山)－42



図2 原子炉補機（A）室換気空調系の外気取入口

(2) 換気系，電気系及び計測制御系に対する化学的影響（腐食）

非常用換気空調系の外気取入口はアクリル樹脂塗装を実施したアルミニウム合金を使用しているため，金属腐食研究の結果より，降下火砕物に含まれる腐食性ガスによる短期的な金属腐食の影響は小さいことから，金属材料を用いることで短期での腐食により非常用換気空調設備（外気取入口）の機能に影響を及ぼすことはない。なお，降灰後の長期的な腐食の影響については，日常の保守管理等により，状況に応じて補修が可能な設計とする。

（補足資料－8）

(3) 発電所周辺の大気汚染

運転員が常駐している中央制御室は，中央制御室換気空調系によって空調管理されており，他の空調設備と同様，外気取入口には，ルーバが取り付けられており，下方から吸い込む構造となっていることから，上方より降下してくる火砕物に対し，取り込み難い構造となっている。また，外気取入口にはバグフィルタ（粒径 $2\mu\text{m}$ 以上に対して約80%を捕獲する性能）が設置されており，想定する降下火砕物は十分除去されるから，降下火砕物が与える影響は少ない。中央制御室換気空調系の外気取入口の写真を図3に示す。

なお，大気汚染による人に対する居住性の観点から，運転員が常駐する中央制御室については，中央制御室排風機の停止及び外気取入ダンパの閉止を行い再循環運転することにより，中央制御室の居住環境を維持できる。以下に，外気取入ダンパを閉止した状態の酸素濃度及び二酸化炭素濃度について評価した結果を示す。



図3 中央制御室換気空調系の外気取入口

## ○酸素濃度

「空気調和・衛生工学便覧 空調設備編」に基づき、酸素濃度について評価した。

### 【評価条件】

- ・在室人数 7名
- ・中央制御室バウンダリ内体積 8,800m<sup>3</sup>
- ・空気流入はないものとする。
- ・初期酸素濃度 20.95%（「空気調和・衛生工学便覧」成人呼吸気の酸素量）
- ・酸素消費量 0.066m<sup>3</sup>/h・人（「空気調和・衛生工学便覧」の歩行（中等作業相当）での酸素消費量）
- ・許容酸素濃度 18%以上（酸素欠乏症等防止規則）

### 【評価結果】

表1 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%

## ○二酸化炭素濃度

「空気調和・衛生工学便覧 空調設備編」に基づき、二酸化炭素濃度について評価した。

### 【評価条件】

- ・在室人数 7名
- ・中央制御室バウンダリ内体積 8,800m<sup>3</sup>
- ・空気流入はないものとする。
- ・初期二酸化炭素濃度 0.03%（原子力発電所中央制御室運転員の事故時被ばくに関する規程（JEAC4622-2009））
- ・二酸化炭素排出量 0.046m<sup>3</sup>/h・人（「空気調和・衛生工学便覧」の中等作業での二酸化炭素排出量）
- ・許容二酸化炭素濃度 1.0%以下（「労働安全衛生規則」の許容二酸化炭素濃度 1.5%に余裕を見た値）

### 【評価結果】

表2 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
炭酸濃度	0.08 %	0.12%	0.17%	1.0%

表1, 2の結果から、266時間外気取入れを遮断したままでも、中央制御室内に滞在する運転員の操作環境に影響を与えない、なお、噴火継続時間に関する最近の観測記録（補足資料-12）に比較し、十分な裕度が確保できていることを確認した。

以上

## 海水取水設備（除塵装置）に係る影響評価

## 1. 評価項目

## (1) 水循環系の閉塞

降下火砕物が混入した海水を取水することに伴う、海水取水設備が閉塞しないことを評価する。

## (2) 水循環系の内部における摩耗

降下火砕物が混入した海水を取水することに伴う、海水取水設備の摩耗により、機器の機能に影響がないことを評価する。

## (3) 水循環系の化学的影響（腐食）

降下火砕物が混入した海水を取水することによる構造物内部の化学的影響（腐食）により、機器の機能に影響がないことを評価する。

## 2. 評価条件

- ・粒径：2mm 以下

## 3. 評価結果

## (1) 水循環系の閉塞

海水取水設備（トラベリングスクリーンメッシュ幅 12mm）への降下火砕物を想定しても、想定する降下火砕物の粒径はスクリーンメッシュ幅に対して十分小さく、また、降下火砕物には粘性を生じさせる粘土鉱物等は含まれていないことから、海水取水設備が閉塞することはない。

## (2) 水循環系の内部における摩耗

主要な降下火砕物は破碎し易く、砂と同等又は硬度が低いことから、降下火砕物による摩耗が、設備に影響を与える影響は小さい。

（補足資料－3）

## (3) 水循環系の化学的影響（腐食）

海水系の化学的腐食については、海水取水設備は塗装等を実施しており、海水と金属が直接接することはないため、降下火砕物による短期での腐食により海水取水設備の機能に影響を及ぼすことはない。

（補足資料－4）

以 上

## 屋内の電源盤に係る影響評価

降下火砕物発生時に必要となる屋内の電源盤のうち、屋内の空気を取込む機構を有するもの（安全保護系の電源盤：無停電交流電源用静止形無停電電源装置，非常用所内電源系の電源盤：460Vパワーセンタ用動力変圧器）への降下火砕物による影響について以下のとおり評価する。

## 1. 評価項目

降下火砕物が電源盤に侵入する可能性及び侵入における、絶縁低下の影響について評価する。

## 2. 評価条件

- ・粒径：2mm 以下

## 3. 評価結果

電源盤については、その発熱量に応じて盤内に換気ファンを設置している場合があるため、降下火砕物が電源盤内に侵入する可能性がある。

当該盤が設置されているエリアは、原子炉補機室換気空調系又は計測制御電源室換気空調系にて空調管理されており、外気取入口に設置されているバグフィルタ（粒径約  $2\mu\text{m}$  に対して 80%以上を捕捉する性能）を介した換気空気を吸入している。したがって、降下火砕物が大量に盤内に侵入すること可能性は少なく、その付着により短絡を発生させる可能性はないため、電源盤の安全機能が損なわれることはない。

（補足資料－ 9）

以 上



## 評価ガイドとの整合性について

原子力発電所の火山影響評価ガイドと降下火砕物（火山灰）に対する設備影響の評価の整合性について、以下の表 1 に示す。

表1 原子力発電所の火山影響評価ガイドと降下火砕物（火山灰）に対する設備影響の評価の整合性 (1/7)

原子力発電所の火山影響評価ガイド	降下火砕物（火山灰）に対する設備影響の評価の整合性
<p>1. 総則</p> <p>本評価ガイドは、原子力発電所への火山影響を適切に評価するため、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出、抽出された火山の火山活動に関する個別評価、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出及びその影響評価のための方法と確認事項をとりまとめたものである。</p> <p>1.1 一般</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ないとしており、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、火山の影響を挙げている。</p> <p>火山の影響評価としては、最近では使用済燃料中間貯蔵施設の安全審査において評価実績があり、2009年に日本電気協会が「原子力発電所火山影響評価技術指針」（JEAG4625-2009）を制定し、2012年にIAEAがSafety Standards “Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations” (No. SSG-21)を策定した。近年、火山学は基本的記述科学から、以前は不可能であった火山システムの観察と複雑な火山プロセスの数値モデルの使用に依存する定量的科学へと発展しており、これらの知見を基に、原子力発電所への火山影響を適切に評価する一例を示すため、本評価ガイドを作成した。</p> <p>本評価ガイドは、新規基準が求める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の評価方法の一例である。また、本評価ガイドは、火山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>1.2 適用範囲</p> <p>本評価ガイドは、実用発電用原子炉及びその附属施設に適用する。</p>	<p>1.はじめに</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（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第五号）」第6条において、外部からの衝撃による損傷防止として、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ないとしており、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、火山の影響を挙げている。</p> <p>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」に沿って、以下のとおり火山影響評価を行い、安全機能が維持されることを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・立地評価</li> <li>・影響評価</li> </ul>

表1 原子力発電所の火山影響評価ガイドと降下火砕物（火山灰）に対する設備影響の評価の整合性 (2/7)

原子力発電所の火山影響評価ガイド	降下火砕物（火山灰）に対する設備影響の評価の整合性
<p>2. 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の流れ</p> <p>火山影響評価は、図1に従い、立地評価と影響評価の2段階で行う。</p> <p>立地評価では、まず原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出を行い、影響を及ぼし得る火山が抽出された場合には、抽出された火山の火山活動に関する個別評価を行う。即ち、設計対応不可能な火山事象が原子力発電所の運用期間中に影響を及ぼす可能性の評価を行う。(解説-1)</p> <p>影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価された場合は、火山活動のモニタリングと火山活動の兆候把握時の対応を適切に行うことを条件として、個々の火山事象に対する影響評価を行う。一方、設計対応不可能な火山事象が原子力発電所運用期間中に影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価されない場合は、原子力発電所の立地は不適と考えられる。</p> <p>影響評価では、個々の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。</p> <p>解説-1. IAEA SSG-21 では、火砕物密度流、溶岩流、岩屑なだれ・地滑り及び斜面崩壊、新しい火道の開通及び地殻変動を設計対応が不可能な火山事象としており、本評価ガイドでも、これを適用する。</p> <p>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</p>	<p>2. 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の流れ (ガイドどおり)</p>

表1 原子力発電所の火山影響評価ガイドと降下火砕物（火山灰）に対する設備影響の評価の整合性 (3/7)

原子力発電所の火山影響評価ガイド	降下火砕物（火山灰）に対する設備影響の評価の整合性
<p>【立地評価】（項目名のみ記載）</p> <p>3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出</p> <p>3. 1 文献調査</p> <p>3. 2 地形・地質調査及び火山学的調査</p> <p>3. 3 将来の火山活動可能性</p> <p>4. 原子力発電所の運用期間における火山活動に関する個別評価</p> <p>4. 1 設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価</p> <p>4. 2 地球物理学的及び地球化学的調査</p> <p>5. 火山活動のモニタリング</p> <p>5. 1 監視対象火山</p> <p>5. 2 監視項目</p> <p>5. 3 定期的評価</p> <p>5. 4 火山活動の兆候を把握した場合の対処</p>	<p>【立地評価】</p> <p>文献調査、地形・地質調査及び火山学的調査を行い、完新世の活動の有無や将来の活動可能性を検討した結果、原子力発電所の地理的領域内には31の第四紀火山があり、そのうち、将来の活動可能性のある火山又は将来の活動可能性を否定できない火山として、焼石岳、鳥海山、栗駒山、鳴子カルデラ、肘折カルデラ、月山、蔵王山、笹森山、吾妻山、安達太良山及び磐梯山の11火山を抽出した。</p> <p>将来の活動可能性のある火山又は将来の活動可能性を否定できない11火山を対象に、原子力発電所との距離及び地形的条件を考慮するとともに、各火山に関する文献調査の結果から、設計対応不可能な火山事象（火砕物密度流、溶岩流、岩屑なだれ他、新しい火口の開口及び地殻変動）が発電所に影響を及ぼす可能性はないと評価した。また、将来の活動可能性のある火山又は将来の活動可能性を否定できない11火山の既往最大の噴火を考慮しても発電所に影響を及ぼさないと判断されることから、火山活動のモニタリングの必要性はないと評価した。</p> <p>（第189回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合（平成27年1月30日）、第238回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合（平成27年6月12日）、第446回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合（平成29年2月24日）にてご説明済）</p>

表1 原子力発電所の火山影響評価ガイドと降下火砕物（火山灰）に対する設備影響の評価の整合性 (4/7)

原子力発電所の火山影響評価ガイド	降下火砕物（火山灰）に対する設備影響の評価の整合性																																										
<p><b>【影響評価】</b></p> <p>6. 原子力発電所への火山事象の影響評価</p> <p>原子力発電所の運用期間中において設計対応不可能な火山事象によって原子力発電所の安全性に影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価された火山について、それが噴火した場合、原子力発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象を表1に従い抽出し、その影響評価を行う。</p> <p>ただし、降下火砕物に関しては、火山抽出の結果にかかわらず、原子力発電所の敷地及びその周辺調査から求められる単位面積あたりの質量と同等の火砕物が降下するものとする。なお、敷地及び敷地周辺で確認された降下火砕物で、噴出源が同定でき、その噴出源が将来噴火する可能性が否定できる場合は考慮対象から除外する。</p> <p>また、降下火砕物は浸食等で厚さが低く見積もられるケースがあるので、文献等も参考にして、第四紀火山の噴火による降下火砕物の堆積量を評価すること。(解説-14)</p> <p>抽出された火山事象に対して、4章及び5章の調査結果等を踏まえて、原子力発電所への影響評価を行うための、各事象の特性と規模を設定する。(解説-15)</p> <p>以下に、各火山事象の影響評価の方法を示す。</p> <p>解説-14. 文献等には日本第四紀学会の「日本第四紀地図」を含む。</p> <p>解説-15. 原子力発電所との位置関係について</p> <p>表1に記載の距離は、原子力発電所火山影響評価技術指針(JEAG4625)から引用した。JEAG4625では、調査対象火山事象と原子力発電所との距離は、わが国における第四紀火山の火山噴出物の既往最大到達距離を参考に設定している。また、噴出中心又は発生源の位置が不明な場合には、第四紀火山の火山噴出物等の既往最大到達距離と噴出物の分布を参考にしてその位置を想定する。</p> <p>例えば、噴出中心と原子力発電所との距離が、表中の位置関係に記載の距離より短ければ、火山事象により原子力発電所が影響を受ける可能性があると考えられる。</p> <table border="1" data-bbox="436 1050 922 1308"> <caption>表1 原子力発電所が影響を受ける可能性のある火山事象及び位置関係(注1)</caption> <thead> <tr> <th>火山事象</th> <th>潜在的に影響を及ぼす特性</th> <th>原子力発電所との位置関係</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. 降下火砕物</td> <td>静的な物理的負荷、灰中及び水中の放射性及び腐食性粒子</td> <td>注3</td> </tr> <tr> <td>2. 火砕物堆積(深:火砕流、チージ及びグラスト)</td> <td>動的な物理的負荷、大気の流れ、飛来物の衝撃、300℃超の温度、放射性粒子、酸性ガス</td> <td>100km</td> </tr> <tr> <td>3. 溶岩流</td> <td>動的な物理的負荷、洪水及び水のせき止め、700℃超の温度</td> <td>50km</td> </tr> <tr> <td>4. 崩落(なだれ、地滑り及び崩壊)</td> <td>動的な物理的負荷、大気の流れ、飛来物の衝撃、水のせき止め及び洪水</td> <td>50km</td> </tr> <tr> <td>5. 火山性土石流、火山崩落及び洪水</td> <td>動的な物理的負荷、水のせき止め及び洪水、水中の浮遊粒子</td> <td>100km</td> </tr> <tr> <td>6. 火山から発生する飛来物(噴石)</td> <td>粒子の衝突、静的な物理的負荷、水中の放射性粒子</td> <td>10km</td> </tr> <tr> <td>7. 火山ガス</td> <td>腐食性及び放射性ガス、酸性雨、ガスの充満した湖、水の汚染</td> <td>100km</td> </tr> <tr> <td>8. 新しい火口の開口</td> <td>動的な物理的負荷、地震活動、火山性地震</td> <td>注3</td> </tr> <tr> <td>9. 津波及び静振</td> <td>水の圧力</td> <td>注4</td> </tr> <tr> <td>10. 大気現象</td> <td>動的過圧、雷害、ダウンバースト風</td> <td>注4</td> </tr> <tr> <td>11. 地震活動</td> <td>地震活動、落下石(落石)、傾斜、地滑り</td> <td>注4</td> </tr> <tr> <td>12. 火山地帯とこれに関連する事象</td> <td>静的な物理的負荷、多量噴霧</td> <td>注4</td> </tr> <tr> <td>13. 熱水蒸気及び地下水の異常</td> <td>熱水、腐食性の水、水の汚染、蒸気又は液体、熱水浸食、地滑り、カルスト及びピナクルの崩落、水圧の急変</td> <td>注4</td> </tr> </tbody> </table> <p>(※参考資料: IAEA SSG-21及びJEAG4625)</p> <p>注1: 噴出中心と原子力発電所との距離が、表中の位置関係に記載の距離より短ければ、火山事象により原子力発電所が影響を受ける可能性があるものとする。</p> <p>注2: 降下火砕物に関しては、原子力発電所の敷地及び敷地付近の調査から求められる単位面積あたりの質量と同等の火山灰等が降下するものとする。</p> <p>注3: 新火口の開口については、原子力発電所の運用期間中に、新火口の開口の可能性を検討する。</p> <p>注4: 火山活動によるこれらの事象は、原子力発電所との位置関係によらず、厳格に検討を行う。</p>	火山事象	潜在的に影響を及ぼす特性	原子力発電所との位置関係	1. 降下火砕物	静的な物理的負荷、灰中及び水中の放射性及び腐食性粒子	注3	2. 火砕物堆積(深:火砕流、チージ及びグラスト)	動的な物理的負荷、大気の流れ、飛来物の衝撃、300℃超の温度、放射性粒子、酸性ガス	100km	3. 溶岩流	動的な物理的負荷、洪水及び水のせき止め、700℃超の温度	50km	4. 崩落(なだれ、地滑り及び崩壊)	動的な物理的負荷、大気の流れ、飛来物の衝撃、水のせき止め及び洪水	50km	5. 火山性土石流、火山崩落及び洪水	動的な物理的負荷、水のせき止め及び洪水、水中の浮遊粒子	100km	6. 火山から発生する飛来物(噴石)	粒子の衝突、静的な物理的負荷、水中の放射性粒子	10km	7. 火山ガス	腐食性及び放射性ガス、酸性雨、ガスの充満した湖、水の汚染	100km	8. 新しい火口の開口	動的な物理的負荷、地震活動、火山性地震	注3	9. 津波及び静振	水の圧力	注4	10. 大気現象	動的過圧、雷害、ダウンバースト風	注4	11. 地震活動	地震活動、落下石(落石)、傾斜、地滑り	注4	12. 火山地帯とこれに関連する事象	静的な物理的負荷、多量噴霧	注4	13. 熱水蒸気及び地下水の異常	熱水、腐食性の水、水の汚染、蒸気又は液体、熱水浸食、地滑り、カルスト及びピナクルの崩落、水圧の急変	注4	<p><b>【影響評価】</b></p> <p>6. 原子力発電所への火山事象の影響評価</p> <p>将来の活動可能性のある火山又は将来の活動可能性を否定できない11火山を対象に、原子力発電所との距離及び地形的条件を考慮し、火山性土石流、飛来物(噴石)、火山性ガス及びその他の火山事象のうち影響を評価すべき事象はないと評価した。</p> <p>降下火砕物に関しては、文献調査、敷地内での地質調査、敷地周辺での露頭調査を実施するとともに、これらの調査結果を踏まえたシミュレーションを行い、原子力発電所で考慮する降下火砕物の層厚を15cmと評価した。</p> <p>(第446回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合(平成29年2月24日)にてご説明)</p>
火山事象	潜在的に影響を及ぼす特性	原子力発電所との位置関係																																									
1. 降下火砕物	静的な物理的負荷、灰中及び水中の放射性及び腐食性粒子	注3																																									
2. 火砕物堆積(深:火砕流、チージ及びグラスト)	動的な物理的負荷、大気の流れ、飛来物の衝撃、300℃超の温度、放射性粒子、酸性ガス	100km																																									
3. 溶岩流	動的な物理的負荷、洪水及び水のせき止め、700℃超の温度	50km																																									
4. 崩落(なだれ、地滑り及び崩壊)	動的な物理的負荷、大気の流れ、飛来物の衝撃、水のせき止め及び洪水	50km																																									
5. 火山性土石流、火山崩落及び洪水	動的な物理的負荷、水のせき止め及び洪水、水中の浮遊粒子	100km																																									
6. 火山から発生する飛来物(噴石)	粒子の衝突、静的な物理的負荷、水中の放射性粒子	10km																																									
7. 火山ガス	腐食性及び放射性ガス、酸性雨、ガスの充満した湖、水の汚染	100km																																									
8. 新しい火口の開口	動的な物理的負荷、地震活動、火山性地震	注3																																									
9. 津波及び静振	水の圧力	注4																																									
10. 大気現象	動的過圧、雷害、ダウンバースト風	注4																																									
11. 地震活動	地震活動、落下石(落石)、傾斜、地滑り	注4																																									
12. 火山地帯とこれに関連する事象	静的な物理的負荷、多量噴霧	注4																																									
13. 熱水蒸気及び地下水の異常	熱水、腐食性の水、水の汚染、蒸気又は液体、熱水浸食、地滑り、カルスト及びピナクルの崩落、水圧の急変	注4																																									

表1 原子力発電所の火山影響評価ガイドと降下火砕物（火山灰）に対する設備影響の評価の整合性 (5/7)

原子力発電所の火山影響評価ガイド	降下火砕物（火山灰）に対する設備影響の評価の整合性
<p>6. 1 降下火砕物</p> <p>(1) 降下火砕物の影響</p> <p>(a) 直接的影響</p> <p>降下火砕物は、最も広範囲に及ぶ火山事象で、ごくわずかな火山灰の堆積でも、原子力発電所の通常運転を妨げる可能性がある。降下火砕物により、原子力発電所の構造物への静的負荷、粒子の衝突、水循環系の閉塞及びその内部における磨耗、換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的及び化学的影響、並びに原子力発電所周辺の大気汚染等の影響が挙げられる。</p> <p>降雨・降雪などの自然現象は、火山灰等の堆積物の静的負荷を著しく増大させる可能性がある。火山灰粒子には、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）が含まれている。</p> <p>(b) 間接的影響</p> <p>前述のように、降下火砕物は広範囲に及ぶことから、原子力発電所周辺の社会インフラに影響を及ぼす。この中には、広範囲な送電網の損傷による長期の外部電源喪失や原子力発電所へのアクセス制限事象が発生しうることも考慮する必要がある。</p> <p>(2) 降下火砕物による原子力発電所への影響評価</p> <p>降下火砕物の影響評価では、降下火砕物の降灰量、堆積速度、堆積期間及び火山灰等の特性などの設定、並びに降雨等の同時期に想定される気象条件が火山灰等特性に及ぼす影響を考慮し、それらの原子炉施設又はその附属設備への影響を評価し、必要な場合には対策がとられ、求められている安全機能が担保されることを評価する。(解説-16、18)</p>	<p>6. 1 降下火砕物</p> <p>(1) 降下火砕物の影響</p> <p>(a) 直接的影響</p> <p>降下火砕物は、最も広範囲に及ぶ火山事象で、ごくわずかな火山灰の堆積でも、原子力発電所の通常運転を妨げる可能性がある。原子力発電所の構造物への静的負荷（降雨等の影響を含む）、粒子の衝突、閉塞、摩耗、腐食、大気汚染、水質汚染及び絶縁影響等、降下火砕物が設備に影響を与える可能性のある因子を網羅的に抽出・評価し、その中から詳細に検討すべき影響因子を選定した。</p> <p>影響評価において、必要となる降下火砕物の粒径及び密度については、文献調査・地質調査を基に設定した。なお、降下火砕物の密度については、降雨の影響を考慮した。</p> <p>(b) 間接的影響</p> <p>降下火砕物は広範囲に及ぶことから、広範囲にわたる送電網の損傷による長期の外部電源喪失の可能性や原子力発電所へのアクセス制限事象の可能性も考慮し、間接的影響を確認した。</p> <p>(2) 降下火砕物による原子力発電所への影響評価</p> <p>降下火砕物の影響を考慮すべき設備としては、外部事象防護対象施設のうち、屋外の構築物、系統及び機器、又は、屋内設置であるが屋外に開口している設備を抽出し、評価対象施設としている。ただし、その他の構築物、系統及び機器で、機能喪失することで当該施設の運転に影響を及ぼす場合は評価対象施設として抽出した。なお、建屋についてはクラス1、クラス2及び安全評価上期待するクラス3に属する構築物、系統及び機器を内包している建屋を評価対象施設として抽出した。</p>



表1 原子力発電所の火山影響評価ガイドと降下火砕物（火山灰）に対する設備影響の評価の整合性 (6 / 7)

原子力発電所の火山影響評価ガイド	降下火砕物（火山灰）に対する設備影響の評価の整合性
<p>(3) 確認事項</p> <p>(a) 直接的影響の確認事項</p> <p>① 降下火砕物堆積荷重に対して、安全機能を有する構築物、系統及び機器の健全性が維持されること。</p> <p>② 降下火砕物により、取水設備、原子炉補機冷却海水系統、格納容器ベント設備等の安全上重要な設備が閉塞等によりその機能を喪失しないこと。</p> <p>③ 外気取入口からの火山灰の侵入により、換気空調系統のフィルタの目詰まり、非常用ディーゼル発電機の損傷等による系統・機器の機能喪失がなく、加えて中央制御室における居住環境を維持すること。(解説-17)</p> <p>④ 必要に応じて、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取れること。</p> <p>(b) 間接的影響の確認事項</p> <p>原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮し、燃料油等の備蓄又は外部からの支援等により、原子炉及び使用済燃料プールの安全性を損なわないように対応が取れること。</p> <p>解説-16. 原子力発電所内及びその周辺敷地において降下火砕物の堆積が観測されない場合は、次の方法により堆積物量を設定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 類似する火山の降下火砕物堆積物の情報を基に求める。</li> <li>✓ 対象となる火山の総噴火量、噴煙柱高度、全粒径分布、及びその領域における風速分布の変動を高度及び関連パラメータの関数として、原子力発電所における降下火砕物の数値シミュレーションを行うことより求める。数値シミュレーションに際しては、過去の噴火履歴等の関連パラメータ、及び類似の火山降下火砕物堆積物等の情報を参考とすることができる。</li> </ul> <p>解説-17. 堆積速度、堆積期間については、類似火山の事象やシミュレーション等に基づいて評価する。また、外気取入口から侵入する火山灰の想定に当たっては、添付1の「気中降下火砕物濃度の推定手法について」を参照した気中降下火砕物濃度を用いる。堆積速度、堆積期間及び気中降下火砕物濃度は、原子力発電所への間接的な影響の評価にも用いる。</p> <p>解説-18. 火山灰の特性としては粒度分布、化学的的特性等がある。</p>	<p>(3) 降下火砕物の影響の確認結果</p> <p>(a) 直接的影響の確認結果</p> <p>① 降下火砕物による静的荷重影響に対して、原子炉建屋、制御建屋、地下軽油タンクピット及び海水ポンプの健全性が維持されることを確認した。</p> <p>② 降下火砕物による化学的影響に対して、原子炉建屋、制御建屋、地下軽油タンクピット、海水ポンプ、海水取水設備（除塵装置）、海水ストレーナ、非常用換気空調設備、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）、の機能が維持されることを確認した。</p> <p>③ 降下火砕物の機械的影響に対して、海水ポンプ、非常用ディーゼル発電機（機関）、換気空調設備の機能が維持されることを確認した。</p> <p>④ 降下火砕物により、海水ポンプ、海水取水設備（除塵装置）及び海水ストレーナが、閉塞・摩耗によりその機能を喪失しないことを確認した。</p> <p>⑤ 降下火砕物が換気系の外気取入口に侵入した場合であっても、バグフィルタによって除去されることから、給気を供給する系統及び機器の機能喪失がなく、加えて、中央制御室空調系については、外気取入ダンパを閉止し再循環運転をすることにより、中央制御室の居住性に影響を及ぼさないことを確認した。</p> <p>(b) 間接的影響の確認結果</p> <p>原子力発電所外での影響（長期の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮した場合においても、発電所内に貯蔵されている燃料油等の備蓄により、7日間は原子炉及び使用済燃料ピットの安全性を損なわないように対応が取れることを確認した。</p>

表1 原子力発電所の火山影響評価ガイドと降下火砕物（火山灰）に対する設備影響の評価の整合性 (7/7)

原子力発電所の火山影響評価ガイド	降下火砕物（火山灰）に対する設備影響の評価の整合性
<p>【立地評価の結果を考慮し評価する項目】（項目名のみ記載）</p> <p>6. 2 火砕物密度流</p> <p>6. 3 溶岩流</p> <p>6. 4 岩屑なだれ，地滑り及び斜面崩壊</p> <p>6. 5 火山性土石流，火山泥流及び洪水</p> <p>6. 6 火山から発生する飛来物（噴石）</p> <p>6. 7 火山ガス</p> <p>6. 8 新しい火口の開口</p> <p>6. 9 津波及び静振</p> <p>6. 10 大気現象</p> <p>6. 11 地殻変動</p> <p>6. 12 火山性地震とこれに関連する事象</p> <p>6. 13 熱水系及び地下水の異常</p>	<p>将来の活動可能性がある火山について，運用期間中の噴火規模を考慮し，敷地において考慮する火山事象を評価した結果，降下火砕物以外の火山事象については，原子炉施設の安全機能に影響を及ぼすことはないと評価した。</p> <p style="text-align: right;">以上</p>

降下火砕物の特徴及び影響モードと、影響モードから選定された影響因子に対し影響を受ける評価対象施設の組合せについて

降下火砕物の特徴から抽出される影響モード，影響モードから選定される影響因子，影響因子から影響を受ける評価対象施設の組合せについて，本資料「表 3. 4 降下火砕物が影響を与える評価対象施設と影響因子の組合せ」にて，評価すべき組合せを検討した結果，図 1 に示す結果となった。なお，選定された影響因子は，「原子力発電所の火山影響評価ガイド」に示されたものと同じ項目となった。

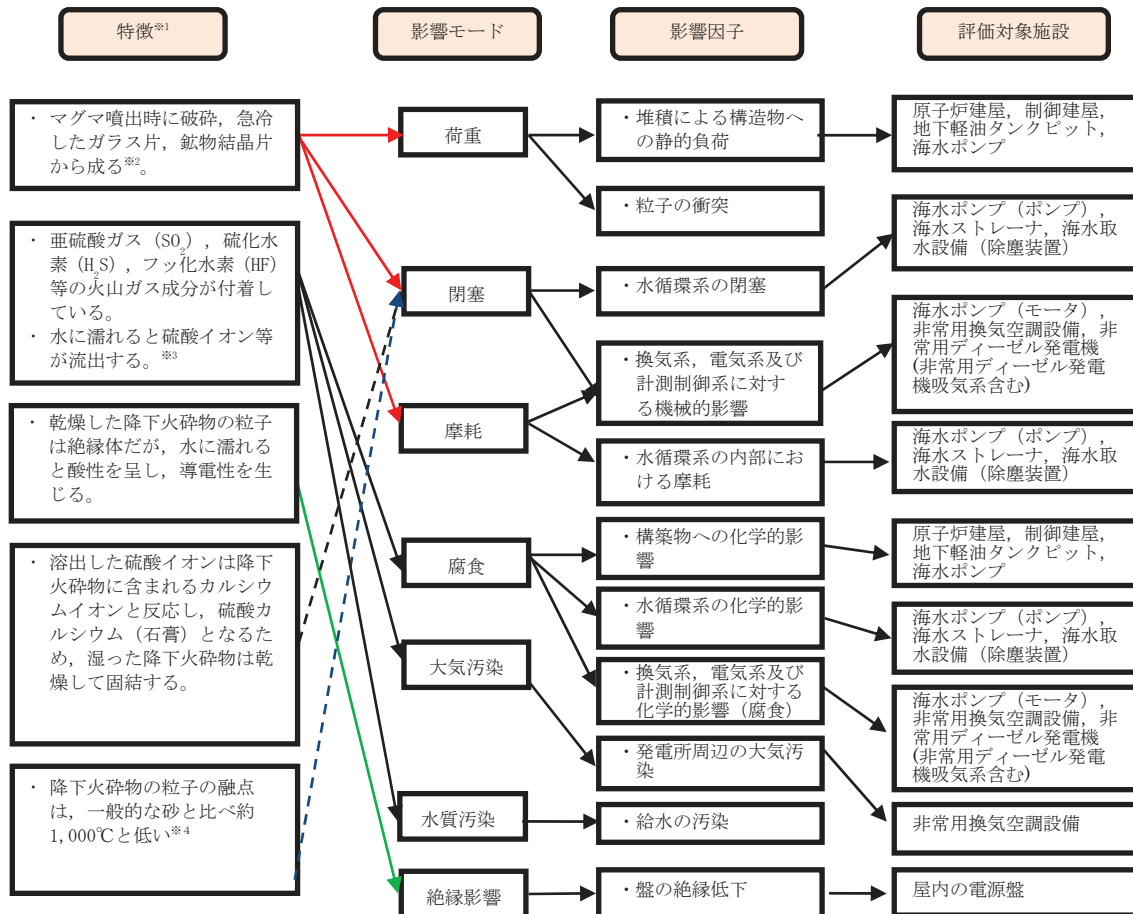


図 1 降下火砕物の特徴と影響因子

※1：「広域的な火山防災対策に係る検討会（第3回）（資料2）」（事務局：内閣府（防災担当），消防庁，国土交通省水管理・国土保全局砂防部，気象庁：平成24年11月）

※2：粘性を生じさせる粘土鉱物等は含まれていない。

※3：〔火山灰による金属腐食の研究報告の例〕

4種類の金属材料（Zn メッキ，Al，SS41，Cu）に対して，桜島の降下火砕物を水で洗浄し，可溶性の成分を除去した後，金属試験片に堆積させ，実際の自然条件より厳しい条件である高濃度のSO<sub>2</sub>ガス雰囲気（150～200ppm）で加熱，冷却を繰り返すことで，結露，蒸発を繰り返した金属腐食の程度は，表面厚さとして十数～数十μmのオーダーの腐食。（補足資料－8参照）

（試験条件・・・温度，湿度，保持時間 [①（40℃，95%，4h）～②（20℃，80%，2h）×18サイクル]）

〔参考文献〕出雲茂人，末吉秀一他，火山環境における金属材料の腐食，1990，防食技術 Vol. 39，pp. 247-253）

⇒設計時の腐食代（数mmオーダー）を考慮すると，構造的健全性に影響を与えることはないと考えられる。

※4：鳴子カルデラの主要な噴出物はデイサイト・流紋岩であり，参考文献において，リキダス温度（完全に溶解する温度）は1000～900℃との記載があることから，火山灰も同等と考えられる。

〔参考文献〕下鶴大輔，荒牧重雄，井田喜明，中田節也，火山の事典 第2版，2008.6，P147

## 降水による降下火砕物の固結の影響について

降下火砕物は、湿ったのち乾燥することで固結する特徴をもっており、影響モードとして閉塞が考えられるが、一般的に流水等で除去可能である。

降下火砕物が固結した場合の評価対象施設に対する影響モードとしては、水循環系の閉塞及び換気系、電気系及び計測制御系に対する機械的影響（閉塞）が考えられるが、水循環系の閉塞においては、大量の海水が通水しているため、固結による影響はない。

換気系、電気系及び計測制御系に対する機械的影響（閉塞）としては、非常用換気空調系のバグフィルタ（粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して80%以上を捕獲する性能）の閉塞が考えられるが、非常用換気空調系の外気取入口にはルーバが設置されており、下向から吸い込む構造となっていることから、平時に比べ雨が降っている場合の降下火砕物の侵入は減少すると考えられる。なお、侵入した降下火砕物は、非常用換気空調系のバグフィルタによって除去されるが、湿った降下火砕物がバグフィルタに付着し固結した場合においても、バグフィルタの取替えが可能なことから、固結による影響はない。

一方、評価対象施設に対して間接的な影響を与え得る事象としては、固結した降下火砕物によって、構内排水に影響を及ぼす事象が考えられる。構内に降った雨水は、最終的には、北側及び南側に設置されている各幹線排水路に集水され海域に排水される。各幹線排水路は、評価対象施設に有意な影響を及ぼし得る大雨時の流入量に対して、十分な裕度を有していることから、構内の排水に対して影響を及ぼさない。

なお、原子炉建屋等については、溢水対策として建屋貫通部の止水処置等を実施していることから、評価対象施設への影響はない。

以 上

## 降下火砕物による摩耗について

水循環系において最も摩耗の影響を受けやすい箇所はライニングが施されていない各冷却器の伝熱管と考えられるが、発電所の運用期間中において海水取水中に含まれる砂等の摩耗によるトラブルは発生していないこと、及び主要な降下火砕物は、砂と同等又は砂より硬度が低くもろいことから、降下火砕物による摩耗が設備に影響を与える可能性はないと評価している。

## 1. 降下火砕物と砂の破碎しやすさの違いについて

降下火砕物と砂の破碎しやすさの違いについては、「武若耕司 (2004) : シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状, コンクリート工学, vol. 42, No. 3, P38-47.」による調査報告があり, 図 1 に示すとおり, 「シラスは川砂などに比べて極めて脆弱な材料である」とされており, シラスと同様, 火山ガラスを主成分とする降下火砕物は, 砂と比較して破碎しやすいと考えられる。

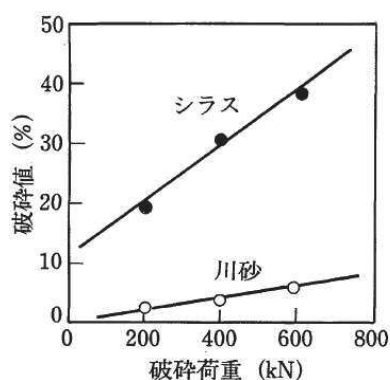


図 1 シラスの破碎試験結果

## 2. 降下火砕物と砂及び設備材料の硬度の比較について

鉱物の硬度は掻傷硬度で表されており, ここではモース硬度による比較を行う。以下のとおり, 主要な降下火砕物の硬度は砂と同等又は砂より低いため, 設備への影響は軽微と考える。

- ・降下火砕物の主成分は, 火山ガラスであり, 「恒松修二・井上耕三・松田応作 (1976) : シラスを主原料とする結晶化ガラス, 窯業協会誌 84[6], P32-40.」によると, 火山ガラスのモース硬度は 5 と記載されている。
- ・降下火砕物の成分である鉱物結晶は石英, 長石, 雲母, 斜方輝石, 角閃石等であり, これらのモース硬度は 5~7\*とされている。
- ・砂の主成分は, 石英であり, 石英のモース硬度は 7 とされている。

また, 発電所運用期間中において海水取水中に含まれる砂等による摩耗によるトラブルは経験していないことから, 設備材料は砂に対して耐性を有すると考える。また, 東北地方太平洋沖地震に伴う津波による海水中の砂に対しても, 海水ポンプの運転が継続している実績があることから, 摩耗による設備への影響は軽微と考える。

\*: Properties of volcanic ash: volcanic ash hazards and ways to minimize them”, USGS(米国地質調査所)

以上



## 降下火砕物の化学的影響（腐食）について

降下火砕物による「構造物への化学的影響（腐食）」については、評価対象施設が塗装されていることで直ちに機能に影響を及ぼすことはないと評価している。その詳細について以下に示す。

原子力発電所では、炭素鋼、低合金鋼及びステンレス鋼の機器、配管、制御盤及びダクト等の外表面に対する塗装基準が定められており、耐放射線性、耐水性、除染性、耐熱性、耐油性等を考慮した塗料に係る基準が規定されている。

屋外設備については、海塩粒子等の腐食性有害物質が付着しやすく、最も厳しい腐食環境にさらされるため、エポキシ樹脂系、ポリウレタン樹脂系の塗料が塗布されている。また、非常用換気空調系（外気取入口）も屋外環境を考慮し、アクリル樹脂系の塗装を実施している。

降下火砕物は、主として火山ガス（SO<sub>2</sub>）が付着しており、水に濡れると硫酸イオン等が流出する等の特徴を持つ。降下火砕物が堆積したとしても、エポキシ樹脂系、ポリウレタン樹脂系の塗料は耐薬品性\*が強いことから、直ちに金属表面等の腐食が進むことはない。

また、海水ポンプ、海水管等の海水に直接触れる部分については、エポキシ樹脂系、ポリウレタン樹脂等の耐食性塗料（ゴムライニング含む）が施されている。よって、降下火砕物が外表面に堆積及び混入した海水を取水したとしても、直ちに金属表面の腐食が進むことはない。

非常用換気空調系（外気取入口）のルーバはアクリル樹脂系の塗装を実施していることから、直ちに金属表面の腐食が進むことはない。

なお、定期的に外観点検を行い、塗装の状態についても確認を行っている。女川原子力発電所における塗装の例を表1に示す。

表1 女川原子力発電所2号炉における塗装の例

	下塗り	中塗り	上塗り
原子炉建屋，制御建屋	エポキシ樹脂系	アクリルゴム系	アクリルウレタン樹脂系
原子炉補機冷却海水ポンプ，高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプ	有機ジンクリッチ系	エポキシ樹脂系	ポリウレタン樹脂系
原子炉補機冷却海水ポンプモータ，高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプモータ	有機ジンクリッチ系	エポキシ樹脂系	ポリウレタン又はポリエステル樹脂系
非常用換気空調系（外気取入口）	アクリル樹脂系		

※：塗装ハンドブック（石塚末豊，中道敏彦 編集）によると、酸，アルカリなどに水分の加わった強度腐食環境での塗装には耐薬品性のある塗料として、フェノール樹脂塗料，塩化ゴム系塗料，エポキシ樹脂塗料，タールエポキシ樹脂塗料，ウレタン樹脂塗料，シリコンアルキド樹脂塗料，フッ素樹脂塗料などが記載されている。

以上



## 降下火砕物による非常用ディーゼル発電機の吸気に係る バグフィルタの影響評価について

非常用ディーゼル発電機の吸気は換気空調系のバグフィルタ（粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して80%以上を捕捉する性能）を介した換気空気を吸入しているため、降下火砕物の侵入による非常用ディーゼル発電機への影響は小さいと考えられる。なお、バグフィルタの手前には、外気取入口に下向き羽根のついたルーバが設置されており、降下火砕物により容易に閉塞しないと考えられるが、閉塞までの灰捕集容量について、以下のとおり評価する。

### 1. 降下火砕物によるバグフィルタ閉塞試験

バグフィルタの閉塞試験は、実機で使用しているバグフィルタを用い、実際の火山灰を用いて実施した。

#### (1) 試験装置の構成

試験装置は図1に示すように、下流側にブロアを設置し、フィルタ通過風量が非常用ディーゼル発電機運転時と同様となるように流量調整が可能な設計とする。上流には粉塵発生装置を設置し、規定の火山灰を供給する。

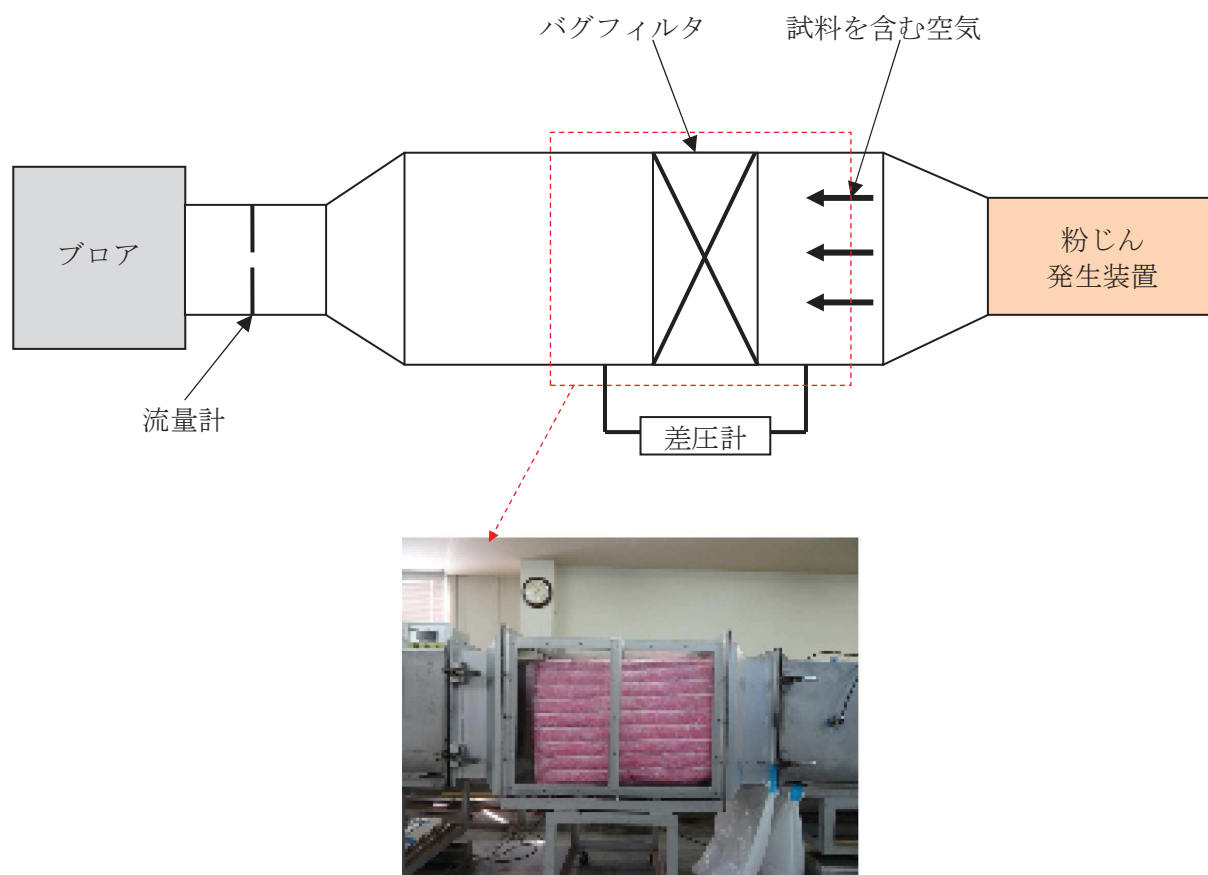


図1 試験装置の構成

(2) 試験条件及び試験方法

a. 試験条件

・ 降下火砕物の濃度

降下火砕物の大気中濃度には、評価対象火山のうち堆積層厚の最大値を与える鳴子カルデラに対して、「原子力発電所の火山影響評価ガイド」に示される数値シミュレーション (Tephra2) により気中降下火砕物濃度を推定する手法に基づき、算出される値  $2.7\text{g}/\text{m}^3$  (以下「参考濃度」という。) を用いた。

・ 降下火砕物の粒径

降下火砕物の粒径は、参考濃度の算出で用いる数値シミュレーション (tephra2) によって得られた粒径分布を基に表 1 のとおり設定した。

表 1 試験にて噴霧する降下火砕物の粒径



・ 試験風量

非常用ディーゼル発電機の吸気に係わるバグフィルタの定格風量 (  ) とした。

・ 試験方法

フィルタの差圧を連続的に測定し、差圧が設定値 (系統要求値) に到達するまでの火山灰の供給量を測定する。

(3) 判定基準

バグフィルタ差圧 (圧力損失) の判定基準は、設計値 (系統要求値) の  とした。

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

(4) 試験結果

バグフィルタの差圧と捕集重量の関係を図2に示す。図2より、バグフィルタの差圧が設定値である [ ] に到達したときの灰捕集量は約 [ ] であった。



図2 バグフィルタ閉塞試験の結果

表2に吸気バグフィルタ閉塞までの保持容量の比較を示す。吸気バグフィルタの閉塞までの灰捕集容量は設計値である粉塵保持容量 [ ] に対して [ ] 倍程度となった。

なお、本試験は現在継続中であり、今後実施予定の試験等についても適切に反映していく。

表2 吸気バグフィルタ閉塞までの保持容量の比較

	粉塵保持容量※1	降下火砕物による試験結果に基づく灰捕集容量
① バグフィルタ ダスト保持容量 (g/枚)	[ ]	[ ]
② バグフィルタ 1枚あたりの定格風量 (m <sup>3</sup> /h)	[ ]	
③ 降下火砕物の大気中濃度 (g/m <sup>3</sup> )		2.7

※1：定格風量で最終圧力損失に達した時点においてバグフィルタが保持している粉塵量の設計値。（試験用粉体は換気用エアフィルタユニットの性能試験方法（JIS B 9908）で用いられる、JIS Z 8901の試験粉体1-15種を使用）

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

## 2. バグフィルタの閉塞に対する対応

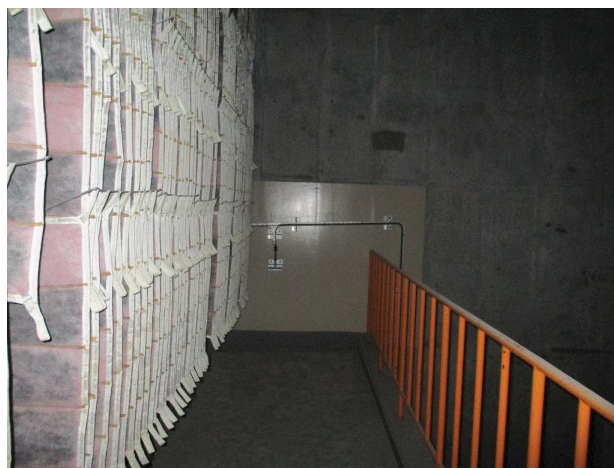
非常用ディーゼル発電機の吸気バグフィルタは1系統あたり最大で48枚で構成されており、バグフィルタの取替え又は清掃に複雑な作業の必要はない。

ただし、参考濃度を想定した場合には取替え又は清掃時のバグフィルタの重量が通常時よりも重くなることで、時間や要員が多く必要になると考えられるため、取替え又は清掃に要する要員及び手順については、これらの結果を踏まえて今後検討を行うこととする。非常用ディーゼル発電機のバグフィルタの写真を図3に示す。

なお、今後実施予定の試験等についても適切に対応に反映していく。



(バグフィルタ入口側)



(バグフィルタ出口側)

図3 非常用ディーゼル発電機のバグフィルタ

以上

降下火砕物の侵入による非常用ディーゼル機関空気冷却器への影響について

非常用ディーゼル機関空気冷却器への降下火砕物による冷却機能への影響について以下に示す。

非常用ディーゼル機関の吸気系統の構造は以下のようになっており，給気ルーバから給気された大気中の降下火砕物がフィルタや過給機を経て一部空気冷却器に侵入し，空気冷却器を通過する際に，仮に冷却器内が結露していた場合，伝熱管に降下火砕物が付着し冷却機能へ影響を及ぼす可能性があるが，空気冷却器出口温度は，吸入空気の温度（外気温度）より常に高い状態で運転されるため冷却器は結露することはない。図1に非常用ディーゼル機関吸気系の概略系統図を示す。

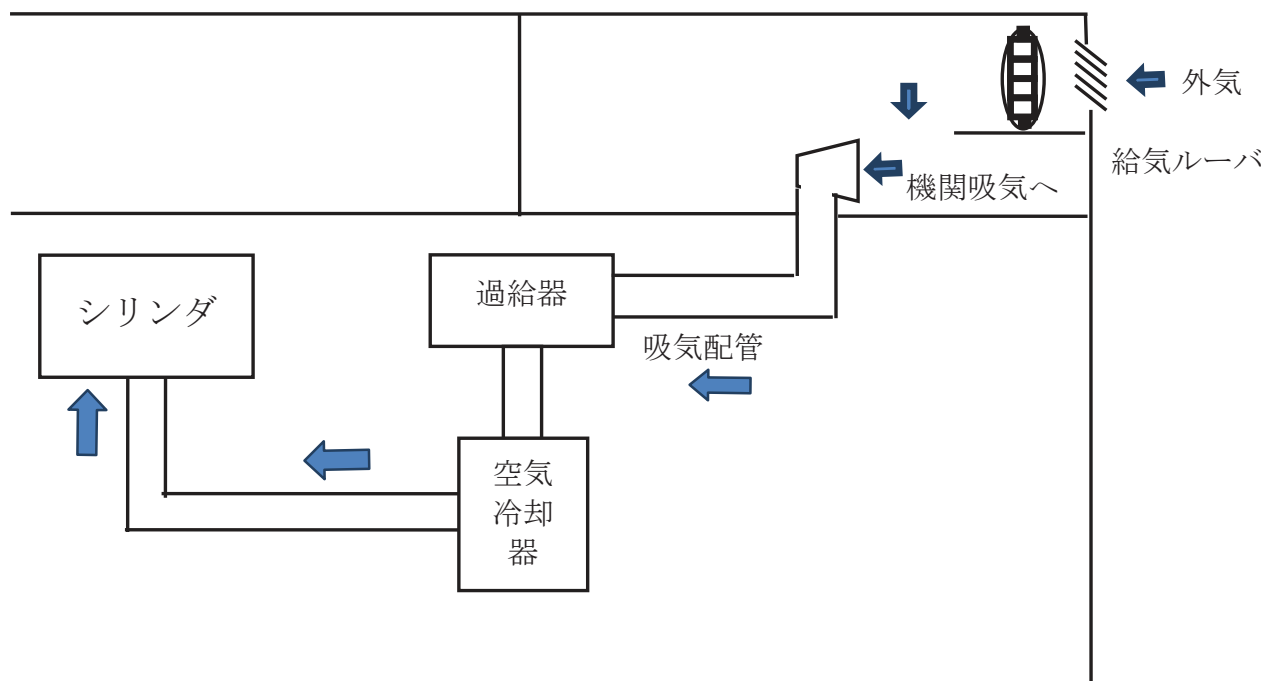


図1 非常用ディーゼル機関吸気系概略系統図

以 上

降下火砕物の侵入による潤滑油への影響について

降下火砕物が、非常用ディーゼル発電機吸気口上流に設置されているバグフィルタを通過し、燃焼用空気とともに機関内に取り込まれ、潤滑油へ混入する場合を想定し、潤滑油に降下火砕物を混入させた状態での潤滑油の成分分析を実施した結果を以下に示す。

1. 試験概要

非常用ディーゼル発電機に使用しているものと同様の潤滑油（マリン T103）に降下火砕物を混入・攪拌させ、間接的影響で期待される運転期間である7日間保管した後、粘性等の成分分析を実施した。

2. 試験条件

(1) 潤滑油中の降下火砕物濃度

想定される潤滑油中の降下火砕物の濃度は、表 1 より [ ] となるが、本試験においては保守的に降下火砕物の濃度を [ ] とした。  
 また、潤滑油中の降下火砕物の濃度依存性を確認するため、参考に [ ] の降下火砕物の濃度においても試験を実施した。

表 1 想定される潤滑油中の降下火砕物濃度

	非常用ディーゼル発電機
①非常用ディーゼル発電機の吸気用として外気取込口から取込まれる降下火砕物の総量(g) = a × b × c	[ ]
a. 非常用ディーゼル発電機の吸気風量(m <sup>3</sup> /h)	[ ]
b. 気中降下火砕物算定時に仮定する降灰継続時間(h)	24
c. 火山影響評価ガイドに定める手法で算定した気中降下火砕物濃度(g/m <sup>3</sup> ) <sup>※1</sup>	2.7
②非常用ディーゼル発電機(機関)に取込まれる降下火砕物(g) = ① × (100-d) / 100 × e / 100	[ ]
d. 非常用換気空調系のバグフィルタの除去効率(%)	80
e. 非常用換気空調系のバグフィルタを通過する降下火砕物の粒径割合(%) <sup>※2</sup>	[ ]
③非常用ディーゼル発電機潤滑油系の潤滑油量(ℓ)	[ ]
④潤滑油中の降下火砕物濃度(g/ℓ) = ② ÷ ③	[ ]

※1：降下火砕物の大気中濃度は、評価対象火山の一つである鳴子カルデラに対して、「原子力発電所の火山影響評価ガイド」に示される気中降下火砕物濃度を数値シミュレーションにより推定する手法に基づき、算出される値 2.7g/m<sup>3</sup>を用いた。

※2：2 μm 以下の降下火砕物の割合。

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



## (2) 粒径

混入させる降下火砕物の粒径は、原子炉補機室換気空調系のバグフィルタ（粒径約  $2\mu\text{m}$  に対し 80%以上を捕獲する性能）を通過した際に想定される  $2\mu\text{m}$  程度とする。

なお、 $2\mu\text{m}$  程度は、潤滑油に有意な影響を与える非常用ディーゼル発電機の機関付メッシュ寸法 ( $30\mu\text{m}$ ) と比べて十分小さいため本試験においても降下火砕物の粒径分布は設定しない。

## (3) 潤滑油温度

潤滑油の温度は、非常用ディーゼル発電機の運転時における潤滑油の最高温度である  とする。

非常用ディーゼル発電機の運転時における潤滑油の状況を考慮し、降下火砕物を潤滑油に混入させた後の保管期間（7日間）中は、潤滑油の温度を上記温度に保つとともに、定期的に攪拌を実施した。

## 3. 試験項目及び判定基準等

降下火砕物が混入した際の潤滑油の粘性等への影響を確認する観点から、表2の試験項目について分析を実施した。

補足資料-2より、降下火砕物の影響としては、その粒子による機械的影響（閉塞等）や水に濡れると酸性を呈することによる化学的影響（腐食等）が想定される。そのため、表2の試験項目は、降下火砕物（酸性の可能性のある物質）が混入した場合における塩基価を確認することとした。

また、表2の試験項目については、非常用ディーゼル発電機の分解点検の際にも確認している項目であり、判定基準については分解点検の基準と同様とした。なお、各試験項目における分析方法については、JIS規格等に定まるそれぞれの方法にて実施した。

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

表2 試験項目及び判定基準等

試験項目	選定理由	判定基準	試験方法
引火点 PM	本項目は潤滑油の粘性に直接影響する項目ではないが、石油製品全般の安全管理面で最も重要視される項目の一つであることから選定した。		(JIS K2265) 引火点試験器を用いて、試料の引火点を求める。
動粘度 (40℃)	潤滑油の油膜厚さが適正に保持できるかを示す項目であるため選定した。動粘度が高いと油温度の異常な上昇、始動不良等の原因となり、動粘度が低すぎると油膜強度不足による以上摩耗が発生することから選定した。		(JIS K2283) 粘度計を用いて、試料の動粘度を求める。
水分 (蒸留法)	水分は発錆の原因となるとともに、潤滑油の酸化を促進させ、油膜切れによる潤滑不良を起こすことから選定した。		(JIS K2275) 蒸留フラスコ中の試料に、水に不溶な溶剤を加えて、加熱しながら還流させ、検水管の捕集水量から試料中の水分を求める。
塩基価	塩基価は潤滑油中に混入する酸性物質を中和するために添加されている塩基成分を把握できることから選定した。		(JIS K2501) 試料を溶剤に溶かし、ガラス電極と比較電極を用いて、電位差滴定する。電位計の読みと、これに対応する液の滴定量との関係を作図し求める。
ペンタン不溶分 (A法)	潤滑油の不溶分が増加すると粘度の上昇、潤滑油系統の清浄性の悪化、フィルタ目詰まり等を起こすことから選定した。		(ASTM D893) 試料に溶剤を加えて均一に溶解した後、遠心分離処理し上澄み液を除去し不溶分を分離する。この操作を数回繰り返す、不溶分を乾燥させ重量を測定する。
トルエン不溶分 (A法)			

※1：トルエン不溶分とペンタン不溶分には相関関係があり、ペンタン不溶分からトルエン不溶分を差し引いた値が、潤滑油の熱・酸化劣化物の量を表すため、ペンタン不溶分のみを判定基準とした。

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

#### 4. 試験結果

以下の表3のとおり、各試験項目における判定基準を満足していることから、潤滑油の各性状に影響がないことを確認した。

なお、降下火砕物が潤滑油に混入した際の影響の度合いは、降下火砕物の給源や非常用ディーゼル発電機の運転状態（非常用ディーゼル発電機が運転している状態においては、潤滑油に運転圧が加わる）によって異なる可能性があるが、系統内において常にその運転圧が加わることがないこと、また、想定される潤滑油中の降下火砕物の濃度より保守的な条件（約370倍）で実施した本試験においても潤滑油の性状に有意な変化がなかったことから、想定される降下火砕物の濃度に対して、非常用ディーゼル発電機の機能に影響はないと判断した。

表3 潤滑油の成分分析結果

試験結果	代表性状	判定基準 <sup>※1</sup>	試験結果 <sup>※3</sup>	判定	参考 <sup>※4</sup>
引火点[°C]	258	208 以上		○	
動粘度[mm <sup>2</sup> /s]	97.9	122 以下		○	
水分[%]	-	0.5 以下		○	
塩基価[mgKHO/g]	13	6 以上		○	
ペンタン不溶[%]	-	5 以下		○	

※1 引火点及び動粘度については、構内に保管してある新油を基準値とするが、今後データ採取をする計画であるため、今回の比較では代表性状（カタログ値）を参照した。

※2 引火点の試験結果が代表性状に比べて低い値となっているのは、代表性状を確認するため新油に対して実施される試験方法「C.O.C法」に比べ、今回実施した「P.M法（分解点検等の際に実施される）」では、引火点が測定値より10～20度程度低く示される。なお、試験結果の比較より、降下火砕物濃度が [ ] より低い [ ] の場合においても、引火点に大きい違いは見られなかったことから、降下火砕物の侵入による引火点への影響はなかったものと考えられる。

※3 降下火砕物濃度: [ ]

※4 降下火砕物濃度: [ ]

以 上

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

## 火山灰の金属腐食研究について

火山灰を用いた火山ガス ( $\text{SO}_2$ ) による金属腐食研究結果を女川原子力発電所における降下火砕物 (火山灰) による金属腐食の影響評価に適用する考え方について以下に示す。

## 1. 適用の考え方

降下火砕物による金属腐食については、主として火山ガス ( $\text{SO}_2$ ) が付着した降下火砕物の影響によるものである。

降下火砕物による腐食影響において引用した研究文献「火山環境における金属材料の腐食」では、桜島の降下火砕物を用いて、実際の火山環境に近い状態を模擬するため、高濃度の亜硫酸ガス ( $\text{SO}_2$ ) 雰囲気を保った状態で金属腐食試験を行なったものである。

火山ガスの成分は亜硫酸ガス、硫化水素、フッ化水素などが挙げられ、成分構成は各火山、同一火山でも噴火ごとに異なるとされている<sup>\*1</sup>が、硫酸イオンが金属腐食の原因となることを踏まえた、降下火砕物の主要な腐食成分である亜硫酸ガスを高濃度で模擬した腐食試験結果であることから、特定の火山によらず、女川原子力発電所で考慮する火山についても本研究結果が十分適用可能である。

## 2. 研究文献「火山環境における金属材料の腐食」の概要

## (1) 試験概要

「火山環境における金属材料の腐食 (出雲茂人, 末吉秀一他), 防食技術 Vol. 39, pp. 247-253, 1990」によると、降下火砕物を水で洗浄し、可溶性の成分を除去した後、金属試験片 (SS41, Cu, Al, Zn めっき鋼板) に堆積させ、高濃度の  $\text{SO}_2$  ガス雰囲気 (150~200ppm) で、加熱 (温度 40℃, 湿度 95% を 4 時間), 冷却 (温度 20℃, 湿度 80% を 2 時間) を最大 18 回繰り返すことにより、結露, 蒸発を繰り返し金属試験片の腐食を観察している。

## (2) 試験結果

図 1 に例として SS41 の腐食による質量変化を示す。降下火砕物の堆積量が多い場合は、降下火砕物の堆積なし、又は堆積量が少ない場合と比較して、金属試験片の腐食が促進される。腐食量は表面厚さにして数十  $\mu\text{m}$  程度との結果が得られた。

これは火山灰が金属表面に堆積していると結露しやすいこと、並びに保水効果が大きいことにより腐食が促進されると結論づけられている。同様に、降下火砕物の堆積の影響は、Cu, Al, Zn めっき鋼板とも降下火砕物の堆積量が多い場合のほうが、腐食が促進される傾向である。腐食量も表面厚さにして十数~数十  $\mu\text{m}$  程度である。

## (3) 試験結果からの考察

降下火砕物による腐食については、主として火山ガスが付着した降下火砕物の影響によるものであり、本研究においては、金属試験片の表面に降下火砕物を置き、実際の火山環境を模擬して高濃度の  $\text{SO}_2$  雰囲気中で暴露し、腐食実験を行っているものである。

腐食の要因となる火山ガスを高濃度の雰囲気を常に保った状態で行っている試験であり、自然環境に存在する火山灰よりも高い腐食条件<sup>\*2</sup>で金属腐食量を求めて

いる。女川原子力発電所の評価対象施設のうち、地下軽油タンクピットのハッチ（ステンレス鋼）については、降下火砕物に付着した火山性ガスが水に濡れたときに生ずる硫酸イオン等により腐食が発生する可能性がある。このため、ハッチについては、外装塗装<sup>※3</sup>を施すことによって、降下火砕物による短期での腐食により機能に影響を及ぼすことはない設計とする。

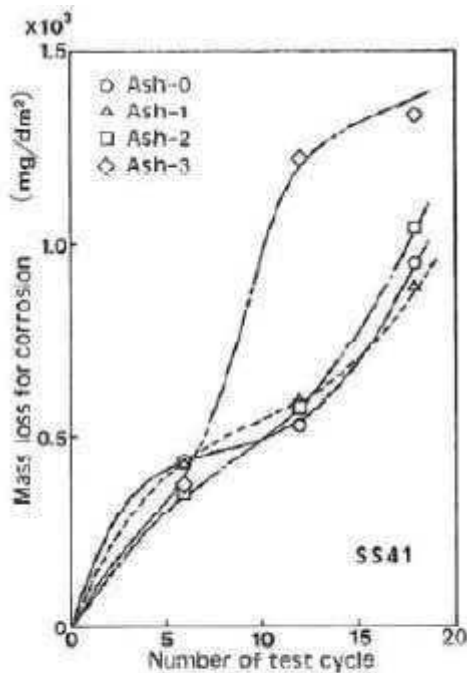
※1：「火山噴火等から電気設備を守るには（河内清高），電気設備学会誌 33 巻（2013）3号」

※2：

・三宅島火山の噴火口付近の観測記録：20～30ppm（「三宅火山ガスに関する検討会報告書」より）

・桜島火山上空の噴煙中火山ガスの観測記録：17～68ppm（「京大防災研究所年報」より）

※3：ハッチ（ステンレス鋼）部は酸，アルカリなどに水分の加わった強度腐食環境での塗装としてエポキシ樹脂－ウレタン樹脂の塗装を実施



Ash-0：降下火砕物のない状態

Ash-1：表面が見える程度に積もった状態

Ash-2：表面が見えなくなる程度に積もった状態

Ash-3：約 0.8mm の厚さに積もった状態

図1 SS41 の腐食による質量変化

以上

## 屋内の電源盤への降下火砕物の影響について

降下火砕物の建屋内侵入については、非常用換気空調設備（外気取入口）からの侵入が考えられるが、バグフィルタは、粒径  $2\mu\text{m}$  以上に対して 80%以上の捕獲する性能を有していることから、系統内へ侵入する降下火砕物の影響は小さいと考えられるものの、ここでは降下火砕物の粒子が一部侵入した場合を想定し、その影響を確認する。

降下火砕物発生時に必要となる屋内の電源盤の設置されるエリアは空調管理されており、外気取入口にバグフィルタが設置されており、降下火砕物の侵入を防止することができる。

しかしながら、屋内の電源盤についてはその発生熱量に応じて盤内に換気ファンを設置している盤があり、強制的に盤内に室内空気を取り込むことから、仮に、降下火砕物が侵入することを考慮し、以下のとおり検討した。

## 1. 侵入する降下火砕物の粒径

外気を取り込む屋内の電源盤の設置されるエリアの換気空調系である、原子炉補機室換気空調系及び計測制御電源室換気空調系の外気取入口にはバグフィルタ（粒径  $2\mu\text{m}$  以上に対して 80%以上を捕獲する性能）が設置されている。

このため、仮に室内に侵入したとしても、降下火砕物の粒径は、概ね  $2\mu\text{m}$  以下の細かな粒子であると推定される。

## 2. 電源盤に対する降下火砕物の影響

電源盤等において、数  $\mu\text{m}$  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。また、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。したがって、万が一、細かな粒子の降下火砕物が盤内に侵入した場合においても、降下火砕物の付着等により短絡等を発生させる可能性はない。

以 上



## 建屋等の降灰除去について

降下火砕物の除灰に要する概算時間について、土木工事の人力作業※を参考に試算した結果を表1に示す。

表1 除灰に要する概算時間

項目		評価緒元
①堆積面積(m <sup>2</sup> )	原子炉建屋	6,620
	制御建屋	1,860
	地下軽油タンクピット	650
	合計	9,130
②堆積厚さ(m)		0.15
③堆積量=①×② (m <sup>3</sup> )		1,370
④1m <sup>3</sup> 当たりの作業人工※ (人日)		0.39

## 1. 作業量 (上記のとおり)

0.39 人日・m<sup>3</sup>×1,370 m<sup>3</sup>=約 535 人日

## 2. 作業日数 (試算例)

(1) 作業人数： 36 人 (6 人/組×6 組)

・1 組あたり 6 人体制とする。

原子炉建屋	: 3 組
制御建屋	: 2 組
地下軽油タンクピット	: 1 組
合計	6 組

(2) 所要日数： 約 15 日

※「国土交通省土木工事積算基準 (H24)」における人力掘削での人工を保守的に採用

以 上

## 降下火砕物降灰時のバグフィルタ取替手順について

換気空調系の外気取入口のフィルタの取替作業を行う際は、以下の手順を実施することとしている。図1にバグフィルタの取替・交換イメージを示す。

- ・ フィルタの取替作業はルーバ内にて行うため、降灰の影響を受けにくいと考えられるが、保護具（マスク，めがね）装備する。
- ・ 開口部に対して養生を行う。
- ・ 設備影響を勘案し、必要に応じて対象となる系統の運転を停止し、系統を隔離してから取り替え作業を行う。
- ・ 取り替え作業前に、空調機内への取り込み低減のため、周囲の降下火砕物を清掃する。
- ・ 交換後、フィルタ差圧にて差圧が低下することを確認する。
- ・ 作業終了後、降下火砕物の再浮遊の影響を低減させるため、作業エリアの降下火砕物は清掃する。

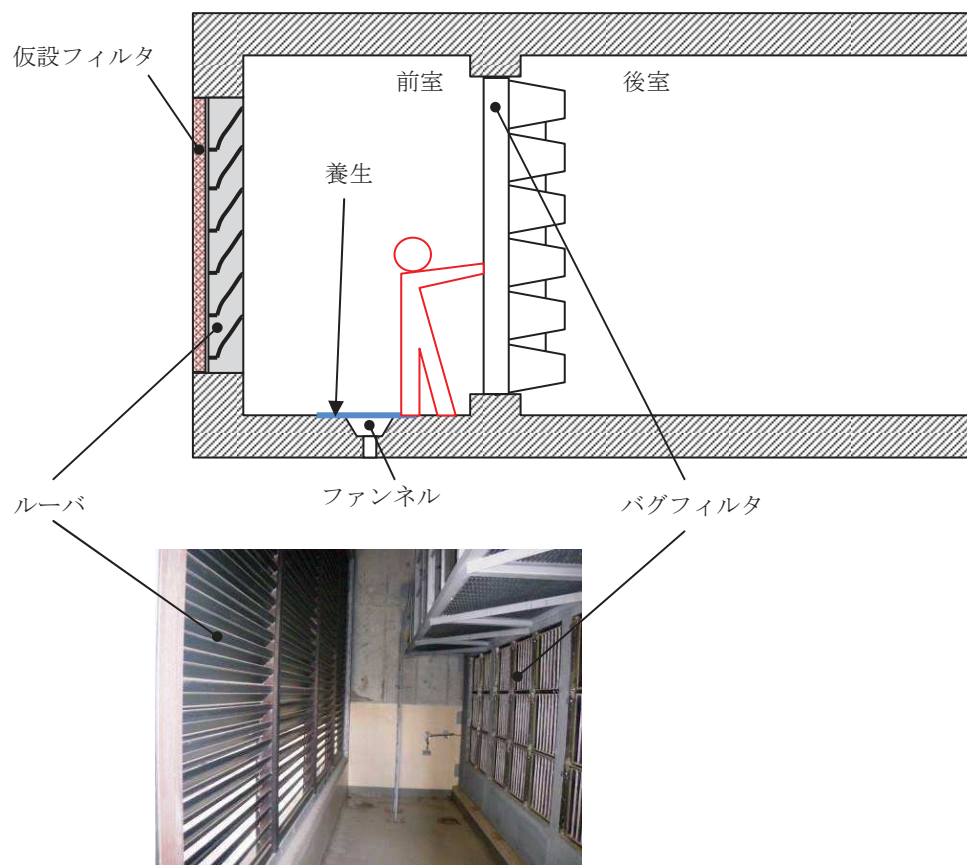


図1 バグフィルタの清掃・取替イメージ

以上

観測された諸噴火の最盛期における噴出率と継続時間について

図1 に示すとおり、富士山（宝永噴火 1707 年）の噴出継続時間は、断続的に約 16 日間継続している。

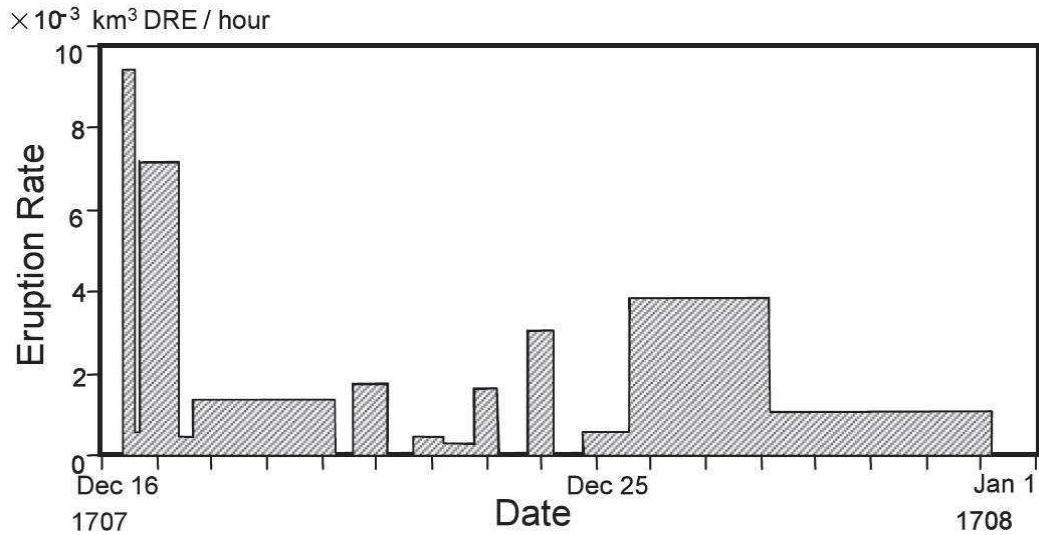


図1 富士山（宝永噴火 1707 年）の噴出率の推移（宮地・小山（2007））

表1 に示すとおり、火山観測データが存在する最近の観測記録では、噴火の継続時間は殆どが数時間程度であり、長いものでも 36 時間程度である。

表1 観測された諸噴火最盛期における噴出率と継続時間

噴火年（地域名）	噴煙柱高度 (km)	噴出率 (m <sup>3</sup> /s)	継続時間 (h)
Pinatubo 1991 (フィリピン)	35	250,000	9
Bezymianny 1956 (カムチャッカ)	36	230,000	0.5
Santa Maria 1902 (グアテマラ)	34	17,000-38,000	24-36
Hekla 1947 (アイスランド)	24	17,000	0.5
Soufriere 1979 (西インド諸島)	16	6,200	9
Mt. St. Helens 1980 (アメリカ合衆国)	18	12,600	0.23
伊豆大島 1986 (伊豆)	16	1,000	3
Soufriere 1902 (西インド諸島)	14.5-16	11,000-15,000	2.5-3.5
Hekla 1970 (アイスランド)	14	3,333	2
駒ヶ岳 1929 (北海道)	13.9	15,870	7
有珠山 1977-I (北海道)	12	3,375	2
Fuego 1971 (グアテマラ)	10	640	10
桜島 1914 (九州)	7-8	4,012	36
三宅島 1983A-E (伊豆)	6	570	1.5
Heimaey 1973 (アイスランド)	2-3	50	8.45
Ngauruhoe 1974 (ニュージーランド)	1.5-3.7	10	14

[Wilson et al. (1978), Cas & Wright (1987), 遠藤ほか(1986), 早川(1991b), Pyle (2000) から編集]

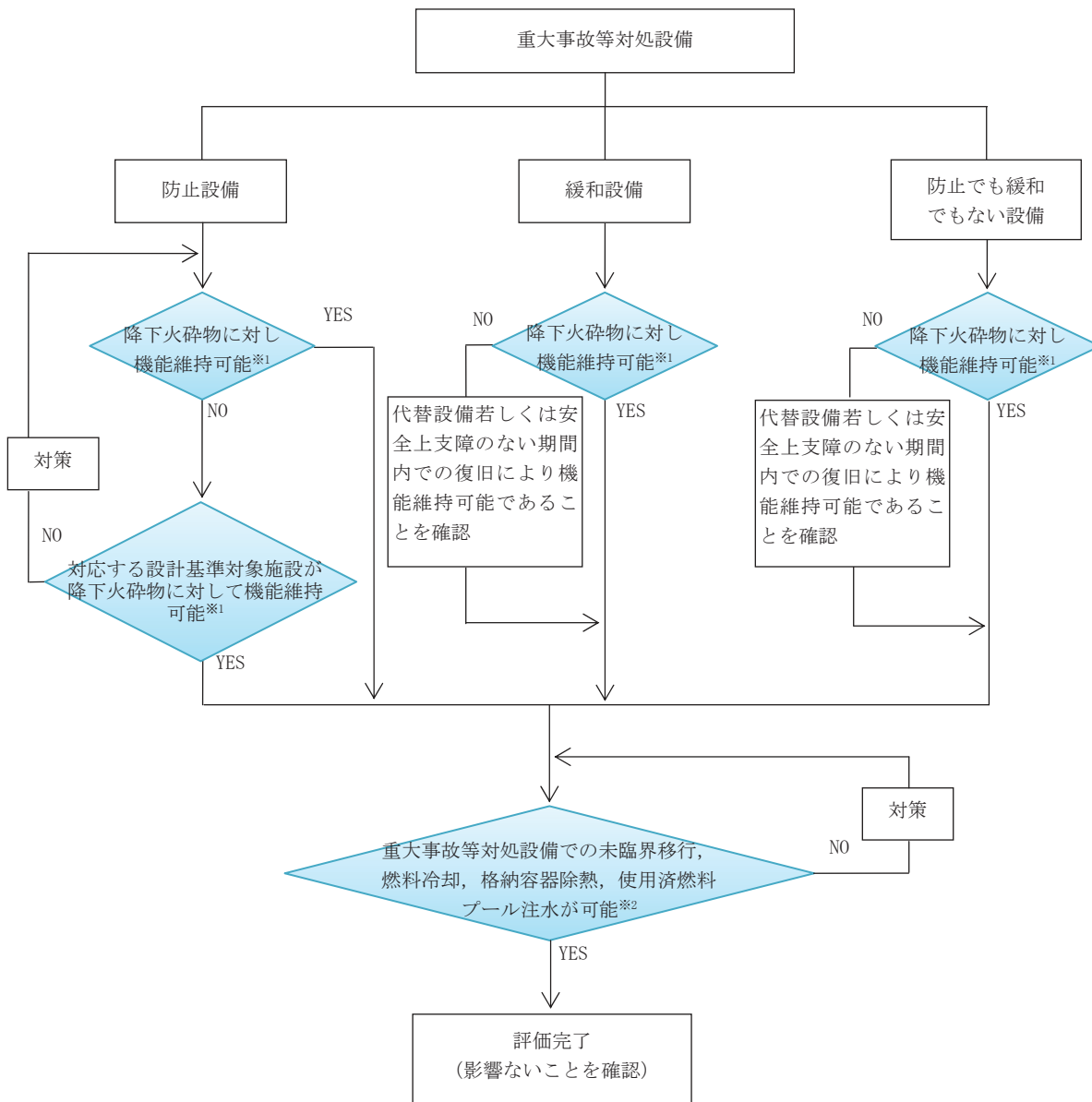
以上

## 重大事故等対処施設に対する考慮について

第四十三条の要求を踏まえ、設計基準事象によって、設計基準事故対処設備の安全機能と重大事故等対処設備の機能が同時に損なわれることがないことを確認するとともに、重大事故等対処設備の機能が喪失した場合においても、外殻となる建屋による防護に期待できる代替手段等により必要な機能を維持できることを確認する。

重大事故等対処設備の機能維持は、以下の方針に従い評価を実施する。評価フローを図1、影響評価結果を表1に示す。

- (1) 重大事故防止設備は、外部事象によって設計基準事故対処設備の安全機能と同時にその機能が損なわれるおそれのないこと
- (2) 重大事故等対処設備であって、重大事故防止設備でない設備は、代替設備若しくは安全上支障のない期間内での復旧により機能維持可能であること
- (3) 外部事象が発生した場合においても、重大事故等対処設備によりプラント安全性に関する主要な機能（未臨界移行機能，燃料冷却機能，格納容器除熱機能，使用済燃料プール注水機能）が維持できること（各外部事象により重大事故等対処設備と設計基準事故対処設備の機能が同時に損なわれることはないが，安全上支障のない期間内での復旧により機能維持可能であることを確認する）



※1：屋内設備については、当該設備を内包する建屋（原子炉建屋，制御建屋，緊急時対策建屋）の影響評価を実施し，安全機能が維持されることを確認

※2：降下火砕物により重大事故等対処設備と設計基準対象施設の機能が同時に損なわれることはないが，安全上支障のない期間内の復旧により機能維持可能であることを確認

図1 降下火災物に対する重大事故等対処設備の評価フロー

表 1 降下火砕物に対する重大事故等対処設備の影響評価 (1/8)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	保管・設置箇所*	火山		
				評価	防護方法	
第 37 条 (重大事故等の拡大の防止等)	—	—	—	—	—	
第 38 条 (重大事故等対処施設の地盤)	—	—	—	—	—	
第 39 条 (地震による損傷の防止)	—	—	—	—	—	
第 40 条 (津波による損傷の防止)	—	—	—	—	—	
第 41 条 (火災による損傷の防止)	—	—	—	—	—	
第 42 条 (特定重大事故等対処施設)	特定重大事故等対処施設	→申請範囲外	—	—	—	
第 43 条 (重大事故等対処設備)	ブルドーザ	防止でも緩和でもない設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし (適切に除灰)	
第 44 条 (緊急停止失敗時に発電用原子炉を未臨界にするための設備)	ATWS 緩和設備 (代替制御棒挿入機能), 制御棒, 制御棒駆動機構, 制御棒駆動水圧系 (水圧制御ユニット, 制御棒駆動水圧系配管)	防止設備	R/B, C/B	○	建屋内	
	ATWS 緩和設備 (代替原子炉再循環ポンプトリップ機能)	防止設備	R/B, C/B	○	建屋内	
	ほう酸水注入系	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内	
	ATWS 緩和設備 (自動減圧系作動阻止機能)	防止設備	R/B, C/B	○	建屋内	
第 45 条 (原子炉冷却材圧力バウンダリ高圧時に発電用原子炉を冷却するための設備)	高圧代替注水系	高圧代替注水系ポンプ, 配管等 復水貯蔵タンク	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
	原子炉隔離時冷却系	原子炉隔離時冷却系ポンプ, 配管等 復水貯蔵タンク	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		高圧炉心スプレイス系	高圧炉心スプレイスポンプ, 配管等 復水貯蔵タンク	(設計基準対象施設)	R/B	○
	高圧炉心スプレイス系	サプレッションチェンパ	56 条に記載		—	—
		ほう酸水注入系	44 条に記載		—	—
	第 46 条 (原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧するための設備)	主蒸気逃がし安全弁, 逃がし弁機能用アキュムレータ, 自動減圧機能用アキュムレータ, 主蒸気系配管 (排気管含む)	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
代替自動減圧回路 (代替自動減圧機能)		防止設備	R/B, C/B	○	建屋内	
ATWS 緩和設備 (自動減圧系作動阻止機能)		44 条に記載		—	—	
可搬型代替直流電源設備		57 条に記載		—	—	
高圧窒素ガス供給系 (非常用)		高圧窒素ガスポンプ, 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ, 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
代替高圧窒素ガス供給系		高圧窒素ガスポンプ, ホース, 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
HPCS 注入隔離弁		(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内	
原子炉建屋ブローアウトパネル	防止設備	屋外 R/B 廻り	○	影響なし (灰が積もりにくい配置)		

○: 降下火砕物に対し安全機能を維持できる  
 又は降下火砕物による損傷を考慮した場合でも, 対応する設計基準事故対処設備が降下火砕物に対し安全機能を維持できる (防止設備)  
 又は降下火砕物による損傷を考慮して, 代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)  
 —: 他の項目にて整理



表 1 降下火砕物に対する重大事故等対処設備の影響評価 (2/8)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所*	火山	
					評価	防護方法
第 47 条(原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備)	低圧代替注水系(常設)(復水移送ポンプ)	復水移送ポンプ, 配管等	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
		復水貯蔵タンク	56 条に記載		—	—
	低圧代替注水系(常設)(直流駆動低圧注水ポンプ)	直流駆動低圧注水ポンプ, 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		復水貯蔵タンク	56 条に記載		—	—
	低圧代替注水系(可搬型)	可搬箇所: 大容量送水ポンプ(タイプ I), ホース延長回収車, ホース等	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし(適切に除灰)
		常設箇所: 接続口, 配管等	防止設備・緩和設備	屋外 R/B 廻り	○	影響なし(適切に除灰)
		常設箇所: 配管等	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
	残留熱除去系(低圧注水モード)	淡水貯水槽 (No. 1), 淡水貯水槽 (No. 2)	56 条に記載		—	—
		残留熱除去系ポンプ, 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
	残留熱除去系(原子炉停止時冷却モード)	サブプレッションチェンバ	56 条に記載		—	—
		残留熱除去系ポンプ, 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
	低圧炉心スプレィ系	低圧炉心スプレィ系ポンプ, 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		サブプレッションチェンバ	56 条に記載		—	—
	原子炉補機冷却水系(原子炉補機冷却海水系を含む)	48 条に記載		—	—	
非常用取水設備	その他の設備に記載		—	—		
第 48 条(最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備)	原子炉補機代替冷却水系	可搬箇所: 熱交換器ユニット, 大容量送水ポンプ(タイプ I), ホース延長回収車, ホース等	防止設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし(適切に除灰)
		常設箇所: 残留熱除去系熱交換器, 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		常設箇所: 接続口, 配管等	防止設備	屋外 R/B 廻り	○	影響なし(適切に除灰)
	耐圧強化ベント系	配管, 弁等	防止設備	R/B	○	建屋内
		排気筒	防止設備	屋外	○	影響なし(灰が積もりにくい形状)
	原子炉格納容器フィルタベント系	フィルタ装置等	50 条に記載		—	—
		淡水貯水槽 (No. 1), 淡水貯水槽 (No. 2)	56 条に記載		—	—
	残留熱除去系(原子炉停止時冷却モード)	47 条に記載		—	—	
	残留熱除去系(格納容器スプレィ冷却モード)	49 条に記載		—	—	
	残留熱除去系(サブプレッションプール水冷却モード)	49 条に記載		—	—	
	原子炉補機冷却水系(原子炉補機冷却海水系を含む)	原子炉補機冷却水ポンプ, 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		原子炉補機冷却海水ポンプ, 配管等	(設計基準対象施設)	屋外	○	影響なし(設計基準対象施設として評価)
	高圧炉心スプレィ補機冷却水系(高圧炉心スプレィ補機冷却海水系を含む)	高圧炉心スプレィ補機冷却水ポンプ, 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプ, 配管等	(設計基準対象施設)	屋外	○	影響なし(設計基準対象施設として評価)
非常用取水設備	その他の設備に記載		—	—		

○: 降下火砕物に対し安全機能を維持できる  
 又は降下火砕物による損傷を考慮した場合でも, 対応する設計基準事故対処設備が降下火砕物に対し安全機能を維持できる (防止設備)  
 又は降下火砕物による損傷を考慮して, 代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)  
 —: 他の項目にて整理

表 1 降下火砕物に対する重大事故等対処設備の影響評価 (3/8)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所*	火山	
					評価	防護方法
第 49 条(原子炉格納容器内の冷却等のための設備)	原子炉格納容器代替スプレィ冷却系	可搬箇所：大容量送水ポンプ(タイプ I)，ホース延長回収車，ホース等	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし(適切に除灰)
		常設箇所：接続口，配管等	防止設備・緩和設備	屋外 R/B 廻り	○	影響なし(適切に除灰)
		常設箇所：配管等	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
		淡水貯水槽 (No. 1)，淡水貯水槽 (No. 2)	56 条に記載		—	—
	残留熱除去系(格納容器スプレィ冷却モード)	残留熱除去系ポンプ，配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		サブプレッションチェンバ	56 条に記載		—	—
	残留熱除去系(サブプレッションプール水冷却モード)	残留熱除去系ポンプ，配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		サブプレッションチェンバ	56 条に記載		—	—
	原子炉補機冷却水系(原子炉補機冷却海水系を含む)	48 条に記載		—	—	
	非常用取水設備	その他の設備に記載		—	—	
第 50 条(原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備)	代替循環冷却系	代替循環冷却ポンプ，残留熱除去系熱交換器，配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		原子炉補機代替冷却水系(可搬箇所：熱交換器ユニット，大容量送水ポンプ(タイプ I)，ホース延長回収車，ホース等)	緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし(適切に除灰)
		原子炉補機代替冷却水系(常設箇所：残留熱除去系熱交換器，配管等)	緩和設備	R/B	○	建屋内
		原子炉補機代替冷却水系(常設箇所：接続口，配管等)	緩和設備	屋外 R/B 廻り	○	影響なし(適切に除灰)
		サブプレッションチェンバ	56 条に記載		—	—
		非常用取水設備	その他の設備に記載		—	—
	原子炉格納容器フィルタベント系	常設箇所：フィルタ装置，圧力開放板，配管，遠隔手動弁操作設備等	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
		常設箇所：配管	防止設備・緩和設備	屋外 R/B 廻り	○	影響なし(灰が積もりにくい構造)
		可搬箇所：可搬型窒素ガス供給装置，ホース等	緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし(適切に除灰)
		常設箇所：接続口，配管等	緩和設備	R/B 内及び屋外 R/B 廻り	○	影響なし(一方は建屋内)
		可搬箇所：大容量送水ポンプ(タイプ I)，ホース延長回収車，ホース等	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし(適切に除灰)
		常設箇所：接続口，配管等	防止設備・緩和設備	R/B 内及び屋外 R/B 廻り	○	影響なし(一方は建屋内)
		淡水貯水槽 (No. 1)，淡水貯水槽 (No. 2)	56 条に記載		—	—

○：降下火砕物に対し安全機能を維持できる  
 又は降下火砕物による損傷を考慮した場合でも，対応する設計基準事故対処設備が降下火砕物に対し安全機能を維持できる(防止設備)  
 又は降下火砕物による損傷を考慮して，代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能(緩和設備，防止でも緩和でもない設備)  
 —：他の項目にて整理

表 1 降下火砕物に対する重大事故等対処設備の影響評価 (4/8)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所*	火山	
					評価	防護方法
第 51 条(原子炉格納容器下部の溶融炉心を冷却するための設備)	原子炉格納容器下部注水系(常設)	復水移送ポンプ, 配管等	緩和設備	R/B	○	建屋内
		復水貯蔵タンク	56 条に記載		—	—
	原子炉格納容器下部注水系(可搬型)	大容量送水ポンプ(タイプ I), ホース延長回収車, ホース等	緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし(適切に除灰)
		常設箇所: 接続口, 配管等	緩和設備	屋外 R/B 廻り	○	影響なし(適切に除灰)
		淡水貯水槽 (No. 1), 淡水貯水槽 (No. 2)	56 条に記載		—	—
	高压代替注水系	45 条に記載		—	—	
	ほう酸水注入系	44 条に記載		—	—	
	低压代替注水系(常設)	47 条に記載		—	—	
	低压代替注水系(可搬型)	47 条に記載		—	—	
第 52 条(水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備)	(原子炉格納容器調気系)		(設計基準対象施設)	—	—	—
	原子炉格納容器フィルタベント系	フィルタ装置等	50 条に記載	—	—	—
		フィルタ装置出口水素濃度, フィルタ装置出口放射線モニタ	58 条に記載	—	—	—
		淡水貯水槽 (No. 1), 淡水貯水槽 (No. 2)	56 条に記載	—	—	—
格納容器内水素濃度 (D/W), 格納容器内水素濃度 (S/C), 格納容器内雰囲気水素濃度, 格納容器内雰囲気酸素濃度	緩和設備		R/B	○	建屋内	
第 53 条(水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備)	静的触媒式水素再結合装置, 静的触媒式水素再結合装置動作監視装置		緩和設備	R/B	○	建屋内
	原子炉建屋原子炉棟	その他の設備に記載		—	—	
	原子炉建屋内水素濃度	緩和設備	R/B	○	建屋内	

○: 降下火砕物に対し安全機能を維持できる  
 又は降下火砕物による損傷を考慮した場合でも, 対応する設計基準事故対処設備が降下火砕物に対し安全機能を維持できる (防止設備)  
 又は降下火砕物による損傷を考慮して, 代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)  
 —: 他の項目にて整理

表 1 降下火砕物に対する重大事故等対処設備の影響評価 (5/8)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所*	火山	
					評価	防護方法
第 54 条(使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備)	燃料プール代替注水系(常設配管)	可搬箇所: 大容量送水ポンプ(タイプ I), ホース延長回収車, ホース等	防止設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし(適切に除灰)
		常設箇所: 接続口, 配管等	防止設備	屋外 R/B 廻り	○	影響なし(適切に除灰)
		常設箇所: 配管等	防止設備	R/B	○	建屋内
		淡水貯水槽 (No. 1), 淡水貯水槽 (No. 2)	56 条に記載		—	—
	燃料プール代替注水系(可搬型)	可搬箇所: 大容量送水ポンプ(タイプ I), ホース延長回収車, ホース等	防止設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし(適切に除灰)
		淡水貯水槽 (No. 1), 淡水貯水槽 (No. 2)	56 条に記載		—	—
	燃料プールのスプレイ系	可搬箇所: 大容量送水ポンプ(タイプ I), ホース延長回収車, ホース等	緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし(適切に除灰)
		可搬箇所: スプレイノズル, ホース	緩和設備	R/B	○	建屋内
		淡水貯水槽 (No. 1), 淡水貯水槽 (No. 2)	56 条に記載		—	—
	大気への放射性物質の拡散抑制		55 条に記載		—	—
	使用済燃料プール水位/温度(ヒートサーモ式), 使用済燃料プール水位/温度(ガイドパルス式), 使用済燃料プール上部空間放射線モニタ(高線量, 低線量), 使用済燃料プール監視カメラ		防止設備・緩和設備	R/B	○	○
	重大事故等時における使用済燃料プールの除熱	燃料プール冷却浄化系(燃料プール冷却浄化系ポンプ, 熱交換器, 配管等)	防止設備	R/B	○	建屋内
		原子炉補機代替冷却水系(可搬箇所: 熱交換器ユニット, 大容量送水ポンプ(タイプ I), ホース延長回収車, ホース等)	防止設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし(適切に除灰)
		原子炉補機代替冷却水系(常設箇所: 燃料プール冷却浄化系熱交換器, 配管等)	防止設備	R/B	○	建屋内
原子炉補機代替冷却水系(常設箇所: 接続口, 配管等)		防止設備	屋外 R/B 廻り	○	影響なし(適切に除灰)	
非常用取水設備		その他の設備に記載		—	—	
第 55 条(工場等外への放射性物質の拡散を抑制するための設備)	大気への放射性物質の拡散抑制(大容量送水ポンプ(タイプ II), ホース延長回収車, ホース, 放水砲)		緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし(適切に除灰)
	航空機燃料火災への泡消火(大容量送水ポンプ(タイプ II), ホース延長回収車, ホース, 泡消火薬剤混合装置, 放水砲)		緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし(適切に除灰)
	海洋への放射性物質の拡散抑制(放射性物質吸着材, シルトフェンス)		緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし(適切に除灰)
第 56 条(重大事故等の収束に必要な水の供給設備)	復水貯蔵タンク		防止設備・緩和設備	屋外	○	影響なし(荷重評価, 腐食評価)
	サブプレッションチェンバ		緩和設備	R/B	○	建屋内
	淡水貯水槽 (No. 1), 淡水貯水槽 (No. 2)		—(代替淡水源)	屋外(地下)	○	地下設置
	ほう酸水注入系貯蔵タンク		44 条に記載		—	—
	水の供給	大容量送水ポンプ(タイプ I), 大容量送水ポンプ(タイプ II), ホース延長回収車, ホース等	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし(適切に除灰)
		常設箇所: 接続口, 配管等	防止設備・緩和設備	屋外及び屋外(地下)	○	影響なし(一方は地下)
非常用取水設備		その他の設備に記載		—	—	

○: 降下火砕物に対し安全機能を維持できる  
 又は降下火砕物による損傷を考慮した場合でも, 対応する設計基準事故対処設備が降下火砕物に対し安全機能を維持できる(防止設備)  
 又は降下火砕物による損傷を考慮して, 代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能(緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)  
 —: 他の項目にて整理

表 1 降下火砕物に対する重大事故等対処設備の影響評価 (6/8)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所*	火山	
					評価	防護方法
第 57 条(電源設備)	常設代替交流電源設備	ガスタービン発電機	防止設備・緩和設備	屋外(緊急用電気品建屋)	○	影響なし(防護壁内)
		ガスタービン発電設備軽油タンク	防止設備・緩和設備	屋外(地下)	○	地下設置
		ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ, 配管等	防止設備・緩和設備	屋外	○	影響なし(適切に除灰)
	可搬型代替交流電源設備	電源車	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし(適切に除灰)
		軽油タンク	防止設備・緩和設備	屋外(地下)	○	地下設置
		ガスタービン発電設備軽油タンク	防止設備・緩和設備	屋外(地下)	○	地下設置
		タンクローリ	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし(適切に除灰)
	電源車接続口	電源車接続口	防止設備・緩和設備	R/B 内及び屋外 R/B 廻り	○	影響なし(一方は建屋内)
		電源車接続口	防止設備・緩和設備	R/B 内及び屋外 R/B 廻り	○	影響なし(一方は建屋内)
	所内常設蓄電式直流電源設備	125V 蓄電池 2A, 125V 蓄電池 2B, 125V 充電器盤 2A, 125V 充電器盤 2B	防止設備・緩和設備	C/B	○	建屋内
	常設代替直流電源設備	125V 代替蓄電池	防止設備・緩和設備	C/B	○	建屋内
		250V 蓄電池	防止設備	C/B	○	建屋内
	可搬型代替直流電源設備	125V 代替蓄電池, 125V 代替充電器盤	防止設備・緩和設備	C/B	○	建屋内
		250V 蓄電池, 250V 充電器盤	防止設備	C/B	○	建屋内
		電源車	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし(適切に除灰)
		軽油タンク	防止設備・緩和設備	屋外(地下)	○	地下設置
		ガスタービン発電設備軽油タンク	防止設備・緩和設備	屋外(地下)	○	地下設置
		タンクローリ	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし(適切に除灰)
		電源車接続口	防止設備・緩和設備	R/B 内及び屋外 R/B 廻り	○	影響なし(一方は建屋内)
		電源車接続口	防止設備・緩和設備	R/B 内及び屋外 R/B 廻り	○	影響なし(一方は建屋内)
	代替所内電気設備	ガスタービン発電機接続盤, 緊急用高圧母線 2F 系, 緊急用高圧母線 2G 系, 緊急用動力変圧器 2G 系, 緊急用低圧母線 2G 系, 緊急用交流電源切替盤 2G 系, 緊急用交流電源切替盤 2C 系, 緊急用交流電源切替盤 2D 系, 非常用高圧母線 2C 系, 非常用高圧母線 2D 系	防止設備・緩和設備	R/B, 緊急用電気品建屋	○	建屋内
	非常用交流電源設備	非常用ディーゼル発電機, 燃料デイトタンク, 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	(設計基準対象施設)	屋外(地下)	○	地下設置
		軽油タンク, 配管等	防止設備・緩和設備	屋外(地下)	○	地下設置
	高圧炉心スプレイ系用交流電源設備	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機, 燃料デイトタンク, 配管等	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内
		高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	(設計基準対象施設)	屋外(地下)	○	地下設置
		軽油タンク, 配管等	防止設備・緩和設備	屋外(地下)	○	地下設置
高圧炉心スプレイ系用直流電源設備	125V 蓄電池 2H, 125V 充電器盤 2H	(設計基準対象施設)	R/B	○	建屋内	
燃料補給設備	軽油タンク, ガスタービン発電設備軽油タンク	防止設備・緩和設備	屋外(地下)	○	地下設置	
	タンクローリ	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし(適切に除灰)	

○: 降下火砕物に対し安全機能を維持できる  
 又は降下火砕物による損傷を考慮した場合でも, 対応する設計基準事故対処設備が降下火砕物に対し安全機能を維持できる(防止設備)  
 又は降下火砕物による損傷を考慮して, 代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能(緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)  
 ー: 他の項目にて整理



表 1 降下火砕物に対する重大事故等対処設備の影響評価 (7/8)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所*	火山	
					評価	防護方法
第 58 条 (計装設備)	重大事故等時の計装 (SA 時計装一式) [原子炉圧力容器内の温度・圧力・水位] [原子炉圧力容器・原子炉格納容器への注水量] [原子炉格納容器内の温度・圧力・水位・水素濃度・放射線量率] [未臨界の維持又は監視] [最終ヒートシンクの確保 (代替循環冷却系・原子炉格納容器フィルタベント系・耐圧強化ベント系・残留熱除去系)] [格納容器バイパスの監視] [水源の確保] [原子炉建屋内の水素濃度] [原子炉格納容器内の酸素濃度] [使用済燃料プールの監視]		防止設備・緩和設備・(設計基準対象施設)	R/B, 屋外 (地下)	○	建屋内又は地下設置
	[発電所内の通信連絡]		防止でも緩和でもない設備	C/B, 緊急時対策建屋	○	建屋内
	[温度, 圧力, 水位, 注水量の計測・監視]		防止でも緩和でもない設備	C/B, 緊急時対策建屋	○	建屋内
第 59 条 (運転員が原子炉制御室にとどまるための設備)	居住性の確保	中央制御室, 中央制御室待避所	(重大事故等対処施設)	C/B	○	建屋内
		中央制御室遮蔽, 中央制御室送風機, 中央制御室排風機, 中央制御室再循環送風機, 中央制御室再循環フィルタ装置, ダクト等	防止設備・緩和設備	C/B	○	建屋内
		中央制御室待避所遮蔽, 中央制御室待避所加圧設備 (空気ポンプ, 配管等)	緩和設備	C/B	○	建屋内
		差圧計, 酸素濃度計, 二酸化炭素濃度計, データ表示装置 (待避所)	防止でも緩和でもない設備	C/B	○	建屋内
		トランシーバ (固定), 衛星電話 (固定)	62 条に記載		—	—
	照明の確保	可搬型照明 (SA)	防止でも緩和でもない設備	C/B	○	建屋内
	被ばく線量の低減	非常用ガス処理系 (排風機, 配管等)	緩和設備	R/B	○	建屋内
		排気筒	緩和設備	屋外	○	影響なし (灰が積もりにくい形状)
原子炉建屋ブローアウト閉止装置		緩和設備	R/B	○	建屋内	
第 60 条 (監視測定設備)	可搬型モニタリングポスト, 代替気象観測設備		防止でも緩和でもない設備	可搬型 SA 設備保管場所 (コンテナ内), 緊急時対策建屋	○	影響なし (建屋内, 適切に除灰)
	可搬型放射線計測装置 (可搬型ダスト・よう素サンプリャ, $\gamma$ 線サーバイメータ, $\beta$ 線サーバイメータ, $\alpha$ 線サーバイメータ, 電離箱サーバイメータ)		防止でも緩和でもない設備	緊急時対策建屋	○	建屋内
	小型船舶		防止でも緩和でもない設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし (適切に除灰)
	常設代替交流電源設備		57 条に記載		—	—

○: 降下火砕物に対し安全機能を維持できる  
又は降下火砕物による損傷を考慮した場合でも, 対応する設計基準事故対処設備が降下火砕物に対し安全機能を維持できる (防止設備)  
又は降下火砕物による損傷を考慮して, 代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)  
—: 他の項目にて整理



表 1 降下火砕物に対する重大事故等対処設備の影響評価 (8/8)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	保管・設置箇所*	火山		
					評価	防護方法	
第 61 条(緊急時対策所)	居住性の確保	緊急時対策所	(重大事故等対処施設)	緊急時対策建屋	○	建屋内	
		緊急時対策所遮蔽, 緊急時対策建屋非常用送風機, 緊急時対策建屋非常用フィルタ装置, 配管等	緩和設備	緊急時対策建屋	○	建屋内	
		緊急時対策所加圧設備 (空気ボンベ, 配管等)	緩和設備	緊急時対策建屋	○	建屋内	
		差圧計, 酸素濃度計, 二酸化炭素濃度計	防止でも緩和でもない設備	緊急時対策建屋	○	建屋内	
		緊急時対策所可搬型エリアモニタ	緩和設備	緊急時対策建屋	○	建屋内	
		可搬型モニタリングポスト	60 条に記載		—	—	
	電源の確保 (緊急時対策所)	ガスタービン発電機, ガスタービン発電設備軽油タンク, ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ, ガスタービン発電機接続盤, 緊急用高圧母線 2F 系	57 条に記載			—	—
		電源車	防止設備・緩和設備	屋外緊急時対策建屋廻り及び可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし (適切に除灰)	
		緊急時対策所軽油タンク, 緊急時対策所燃料移送系配管等	防止設備・緩和設備	緊急時対策建屋	○	建屋内	
		緊急時対策所用高圧母線 J 系	防止設備・緩和設備	緊急時対策建屋	○	建屋内	
		必要な情報の把握	安全パラメータ表示システム (SPDS)	62 条に記載		—	—
	通信連絡 (緊急時対策所)	トランシーバ (固定), トランシーバ (携帯), 衛星電話 (固定), 衛星電話 (携帯), 統合原子力防災ネットワークを用いた通信連絡設備	62 条に記載		—	—	
	第 62 条(通信連絡を行うために必要な設備)	所内通信	携行型通話装置	防止設備・緩和設備	C/B	○	建屋内
			トランシーバ (固定), トランシーバ (携帯)	防止設備・緩和設備	C/B, 緊急時対策建屋 (屋外設備含む)	○	影響なし (建屋内設置, 屋外設備は代替設備 (有線系) にて機能維持可能)
			安全パラメータ表示システム (SPDS)	緩和設備	C/B, 緊急時対策建屋 (屋外設備含む)	○	影響なし (建屋内設置, 屋外設備は代替設備 (有線系) にて機能維持可能)
所内外通信		衛星電話 (固定), 衛星電話 (携帯)	防止設備・緩和設備	C/B, 緊急時対策建屋 (屋外設備含む)	○	影響なし (建屋内設置, 屋外設備は灰が積もりにくい形状であるとともに, 除灰により機能維持可能)	
所外通信		統合原子力防災ネットワークを用いた通信連絡設備, データ伝送設備	防止でも緩和でもない設備	緊急時対策建屋 (屋外設備含む)	○	影響なし (建屋内設置, 屋外設備は灰が積もりにくい形状であるとともに, 除灰により機能維持可能)	
その他の設備	重大事故等時に対処するための流路, 注水先, 注入先, 排出元等	原子炉圧力容器, 原子炉格納容器, 使用済燃料プール	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内	
		原子炉建屋原子炉棟	緩和設備	R/B	○	影響なし (設計基準対象施設として評価)	
	非常用取水設備	取水口, 取水路, 海水ポンプ室	防止設備・緩和設備	屋外	○	影響なし (設計基準対象施設として評価)	

○: 降下火砕物に対し安全機能を維持できる  
 又は降下火砕物による損傷を考慮した場合でも, 対応する設計基準事故対処設備が降下火砕物に対し安全機能を維持できる (防止設備)  
 又は降下火砕物による損傷を考慮して, 代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能 (緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)  
 —: 他の項目にて整理

水質汚染に対する補給水等への影響について

(1) 外部から供給される水源の概略系統及び供給先

純水を補給する設備には、復水貯蔵タンク、ほう酸水貯蔵タンク、原子炉補機冷却水サージタンクがあるが、点検時の水張りや系統内でリークが生じた際に補給等が必要になるもので、降下火砕物襲来時に補給が必要となるものではない。

しかし、降下火砕物が河川水に混入することによる、水質汚染（補給水等の汚染）が考えられることから以下のとおり確認した。

図1に示すとおり、河川水はまず原水タンクに受け入れられる。原水タンクに受け入れられた水は、前処理装置の除濁槽とろ過器を経由してろ過水タンクへ移送されるが、この過程で降下火砕物粒子は除去される。プラント系統に補給される用水は純水装置を経由して純水タンクに移送されるが、この過程で降下火砕物が水に濡れた場合に溶出すると考えられるイオン成分は脱塩処理される。

また、前処理装置のろ過器が降下火砕物粒子によって差圧が上昇した場合には逆洗により再生が可能であり、また、純水装置の脱塩装置がイオン成分処理によってイオン交換能力が低下した場合には再生剤による再生が可能である。

さらに、ろ過水タンク及び純水タンクにおいて水質管理も行っていることから、河川水が適切に処理されていることを確認した上で使用することができる。

以上から、河川水に降下火砕物が混入した場合にも、各負荷に補給される水の水質に影響を及ぼすことはない。

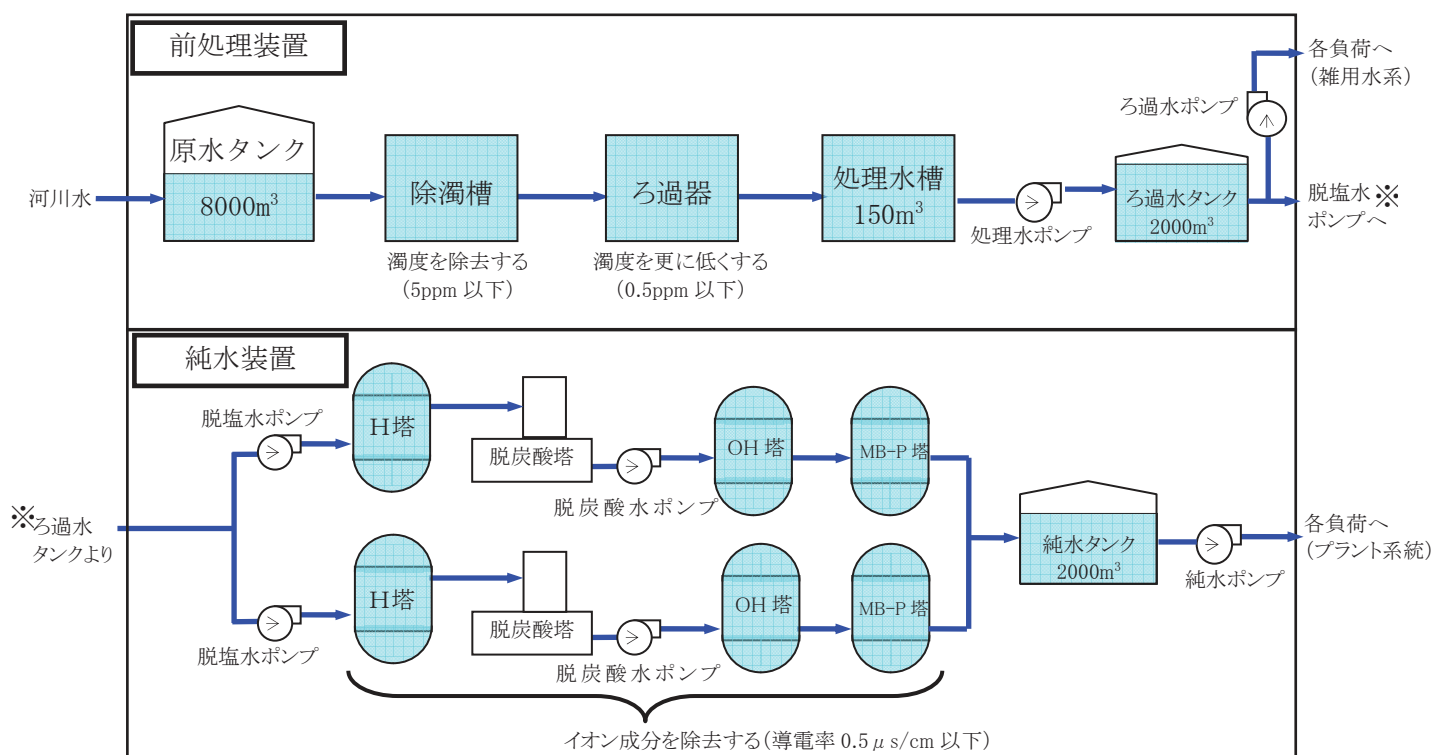


図1 外部から供給される水源の概略系統図

以上

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。現在の対応状況を表 1 に示す。

表 1 実用炉規制の一部改正に関する対応状況

条項	規則	対応状況	
第 84 条の 2 第 5 項	一	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ために必要な次に掲げる事項を定め、これを要員に守らせること。	－
	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"> <li>・火山灰の取り込みを抑制するために火山灰フィルタを設置等の対策を行う</li> <li>・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</li> </ul>
	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。	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。	原子炉隔離時冷却系（RCIC）を用いた全交流電源喪失時の対応手順により対応する

「実用炉規則第 84 条の 2 第 5 項イ」の対応としては、図 1 の手段が考えられる。

今後、気中降下火砕物濃度の環境下において、非常用ディーゼル発電機の機能を維持するため最適な対策を検討し、保安規定認可までに対応を行う。

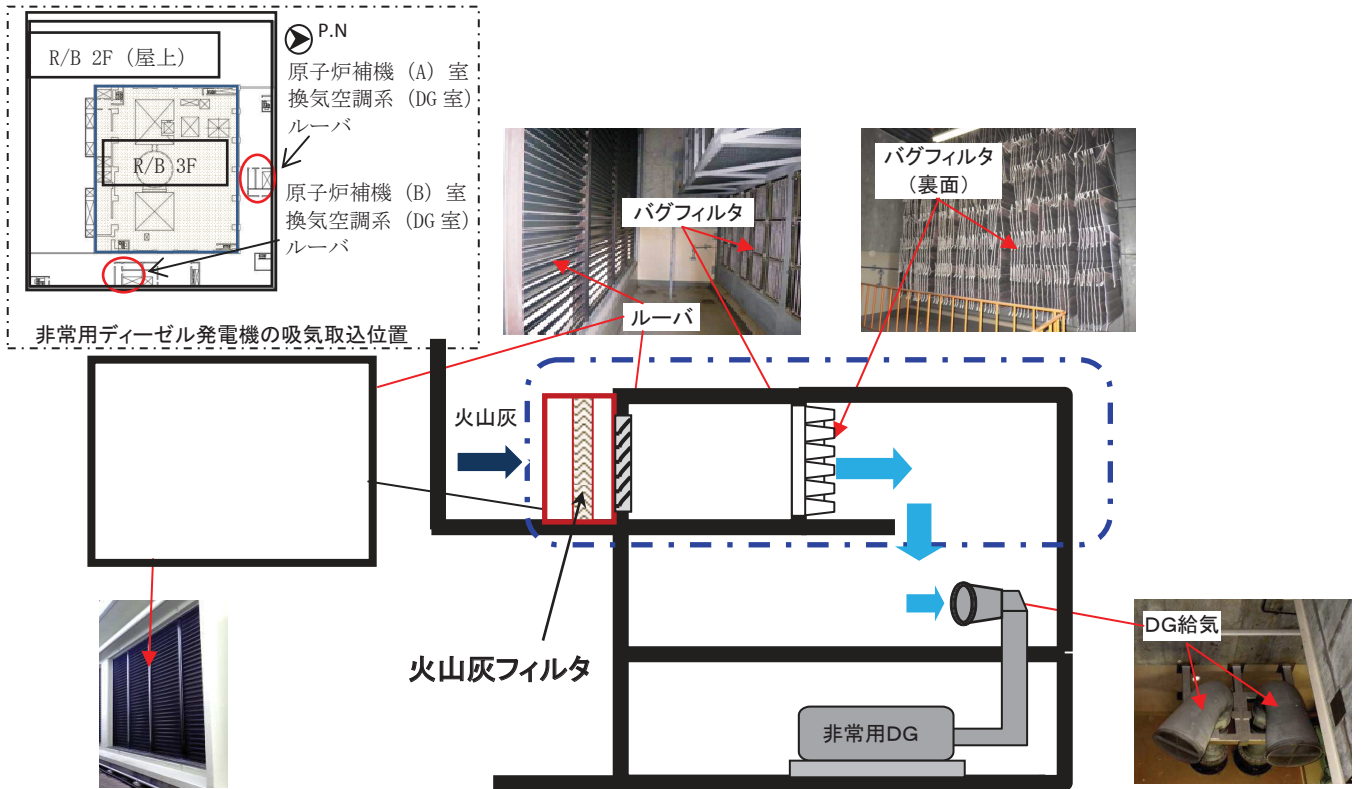


図 1 実用炉規則第 84 条の 2 第 5 項イ（非常用DGの 2 系統維持）対応案

以上

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

## 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

## 1. 降下火砕物濃度の推定手法

試算に用いる大気中の降下火砕物濃度は、「原子力発電所の火山影響評価ガイド（平成29年11月29日改正）」（以下「ガイド」という。）の添付1「気中降下火砕物濃度の推定手法について」に定められた手法により推定した気中降下火砕物濃度とする。ガイドに定められている手法は以下の2つである。

- a. 降灰継続時間を仮定して、降灰量から気中降下火砕物濃度を推定する手法
- b. 数値シミュレーションにより気中降下火砕物濃度を推定する手法

## 2. 気中降下火砕物濃度の算出

女川原子力発電所では、上記手法のうちaの手法により気中降下火砕物の濃度を推定した。本手法は、原子力発電所の敷地において発電所の運用期間中に想定される降下火砕物が降灰継続時間（24時間）に堆積したと仮定し、降下火砕物の粒径の割合から求められる粒径毎の堆積速度と終端速度から算出される粒径毎の気中濃度の総和を気中降下火砕物濃度として求める。以下に計算方法を示す。女川原子力発電所における入力条件及び計算結果を表1、2に示す。

粒径  $i$  の降下火砕物の降灰量  $W_i$  は

$$W_i = p_i W_T \quad (p_i : \text{粒径 } i \text{ の割合} \quad W_T : \text{総降灰量}) \cdots (A)$$

で表され、粒径  $i$  の堆積速度  $v_i$  は

$$v_i = \frac{W_i}{t} \quad (t : \text{降灰継続時間}) \cdots (B)$$

粒径  $i$  の気中濃度  $C_i$  は

$$C_i = \frac{v_i}{r_i} \quad (r_i : \text{粒径 } i \text{ の降下火砕物の終端速度}) \cdots (C)$$

で表され、気中降下火砕物濃度  $C_T$  は

$$C_T = \sum_i C_i \cdots (D)$$

となる。

表 1 気中降下火砕物濃度の入力条件及び計算結果

入力条件		数値	備考
①	降灰継続時間 $t$ [h]	24	ガイドより
②	堆積層厚 [cm]	15	女川原子力発電所で想定する降下火砕物堆積量
③	降下火砕物密度 [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]	1	Tephra2 における設定値
④	降下火砕物の総降灰量 $W_T$ [ $\text{g}/\text{m}^2$ ]	150,000	② $\times$ ③ $\times 10^4$
⑤	粒径ごとの降灰量 $W_i$ [ $\text{g}/\text{m}^2$ ]	表 2 参照	粒径の割合は Tephra2 によるシミュレーション結果を使用
⑥	粒径ごとの堆積速度 $v_i$ [ $\text{g}/\text{s} \cdot \text{m}^2$ ]	表 2 参照	(B) 式
⑦	粒径ごとの終端速度 $r_i$ [m/s]	表 2 参照	
⑧	粒径ごとの気中濃度 $C_i$ [ $\text{g}/\text{m}^3$ ]	表 2 参照	(C) 式
⑨	気中降下火砕物濃度 $C_T$ [ $\text{g}/\text{m}^3$ ]	2.7	(D) 式

表 2 粒径ごとの入力条件及び計算結果

粒径 $i$ $\phi$ ( $\mu\text{m}$ )	-1~0 (1,414)	0~1 (707)	1~2 (354)	2~3 (177)	3~4 (88)	4~5 (44)	5~6 (22)	6~7 (11)	合計
割合 $p_i$ (wt%)	$2.9 \times 10^{-5}$	14.0	59.0	17.0	7.9	2.2	0.26	0.032	
降灰量 $W_i$ ( $\text{g}/\text{m}^2$ )	0.044	21,000	88,500	25,500	11,850	3,300	390	48	$W_T=150,000$
堆積速度 $v_i$ ( $\text{g}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ )	$5.1 \times 10^{-7}$	0.24	1.0	0.30	0.14	$3.8 \times 10^{-2}$	$4.5 \times 10^{-3}$	$5.6 \times 10^{-4}$	
終端速度 $r_i$ (cm/s)	250	180	100	50	35	10	3	1	
気中濃度 $C_i$ ( $\text{g}/\text{m}^3$ )	$2.0 \times 10^{-7}$	0.14	1.0	0.59	0.39	0.38	0.15	$5.6 \times 10^{-2}$	$C_T=2.7$