

本資料のうち、枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

火山影響評価について

平成28年2月

東京電力株式会社

第6条：外部からの衝撃による損傷の防止

目次

別添3－1

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 火山防護施設のうち評価対象設備の抽出
 - 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設備の組合せについて
3. 降下火砕物による摩耗について
4. 塗装による降下火砕物の化学的影響（腐食）について
5. 積雪量の重畳の考え方について
6. 降下火砕物による送電鉄塔への影響について
7. 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
8. 降下火砕物のその他設備への影響について
9. 火山灰の金属腐食研究
10. 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
11. 安全保護系計装盤への降下火砕物の影響
12. 6号機及び7号機の建屋及び屋外タンクの降灰除去について

13. アクセスルートにおける降下火砕物除去作業の検証実験
14. 降下火砕物降灰時のバグフィルタ取替についての手順
15. 観測された諸噴火の最盛期における噴出率と継続時間
16. 重大事故等対処設備への考慮
17. 軽油タンクからの燃料移送について
18. 水質汚染に対する補給水等への影響について

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（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第五号）」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、火山影響評価を行い、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 1.1 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柏崎刈羽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小さ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。

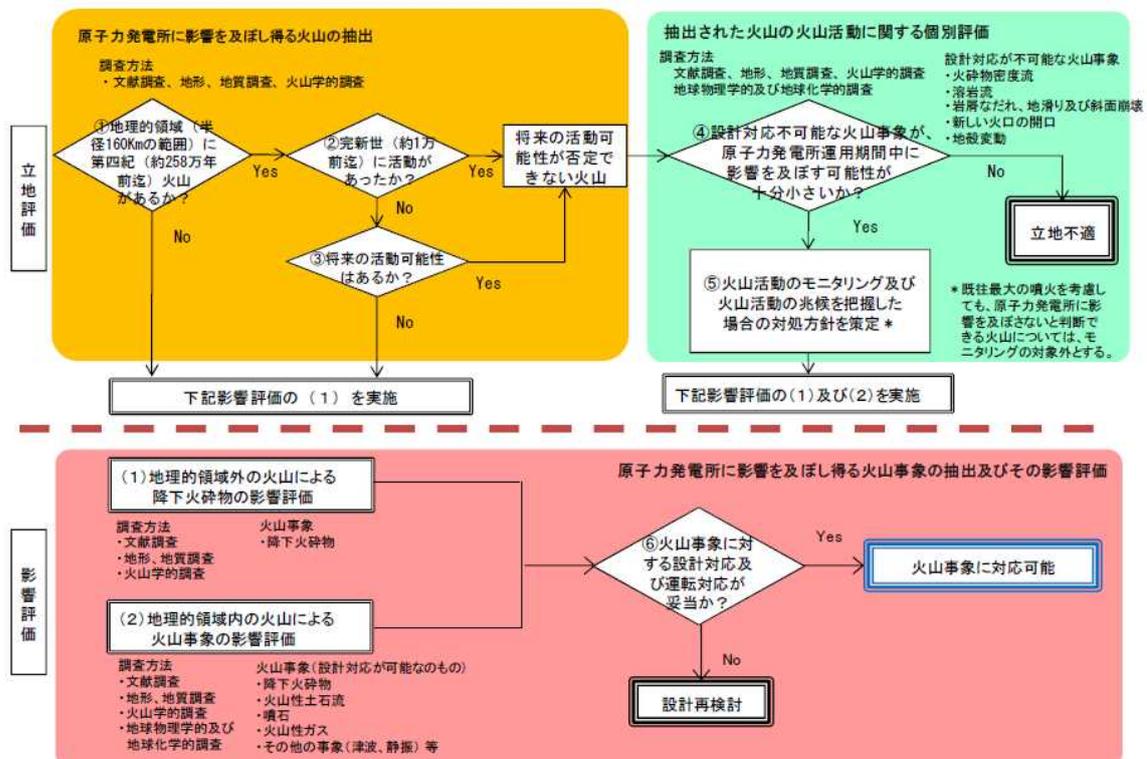


図 1.1 火山影響評価の基本フロー「原子力発電所の火山影響評価ガイド」から抜粋

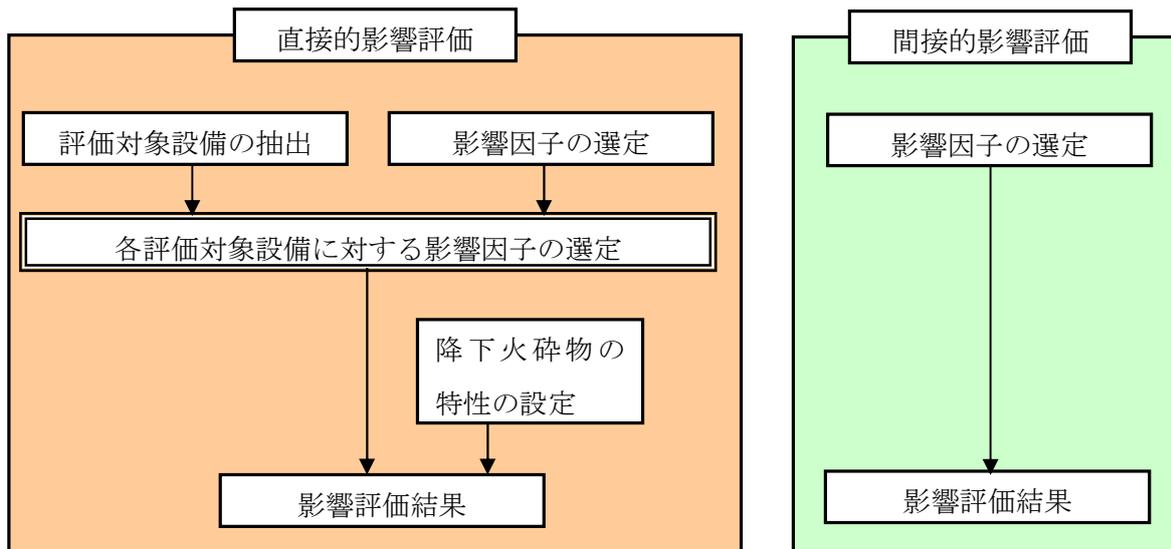


図 1.2 影響評価のフロー

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（81 火山）について、完新世における活動の有無を確認し、将来の活動可能性のある火山、若しくは将来の活動可能性が否定できない火山を抽出した。

その結果、黒岩山、苗場山、妙高山、志賀高原火山群、新潟焼山、新潟金山、黒姫山、燧ヶ岳、志賀、沼沢、飯縄山、草津白根山、日光白根山、子持山、四阿山、白馬大池、榛名山、男体・女峰火山群、赤城山、烏帽子火山群、鼻曲山、浅間山、高原山、那須岳、立山、磐梯山、上廊下、吾妻山、鷲羽・雲ノ平、北八ヶ岳、安達太良山及び環諏訪湖の 32 火山を将来の活動可能性のある火山若しく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若しく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 32 火山を対象として、文献調査に基づき、運用期間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周辺では確認されておらず、敷地まで十分に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小さいと評価した。

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小さいと評価した。

新しい火口の開口については、敷地周辺で深部低周波地震の活動がないこと、地温勾配が小さく、また地殻熱流量が小さいことから、発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価した。

いと評価した。

地殻変動については、敷地周辺が過去の火山活動に伴う火口及びその近傍に位置しないことから、発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価した。

以上の検討結果より、発電所の運用期間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小さいと評価した。また、これらの火山活動は、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、柏崎刈羽原子力発電所6，7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。）のみが柏崎刈羽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。

地質調査において、発電所敷地周辺で確認されている降下火砕物堆積層について、給源が特定できる降下火砕物については、各火山の活動性を評価し、同規模の噴火が発生する可能性は小さいと評価した。また、給源不明の降下火砕物（阿相島テフラ等）は、敷地で最大35cmを確認しているが、水系等の影響を受けて堆積したと推定され、当時の堆積環境と異なる現在において、これらに基づいて将来の降下火砕物の層厚を想定することは適切でないと判断した。

一方、プラント運用期間中に、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、既往解析結果の知見、降下火砕物シミュレーション結果を用い評価した。評価対象火山は、網羅的に抽出するため、発電所敷地からの位置関係、過去の噴火規模を考慮して妙高山、沼沢、四阿山、赤城山、浅間山、立山を対象火山として評価を実施し、約23.1cmという結果を導いた。想定する降下火砕物堆積量は、評価結果（約23.1cm）を基に設定するが、敷地で最大層厚35cmが確認されていることも踏まえ、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35cmと設定した。そのほか得られた降下火砕物の特性を表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、プラント寿命期間を考慮して年超過発生頻度 10^{-2} 規模の積雪を踏まえ設定した。

表 1.1 降下火砕物特性の設定結果

項目	設定	備考
層度	35cm	鉛直荷重に対する健全性評価 に使用
密度	湿潤密度：1.5g/cm ³	
荷重 ^{※1}	8,542N/m ²	
粒径	8.0mm 以下	水循環系の閉塞並びに換気， 電気系及び計装制御系に対す る機械的影響評価に使用

※1：湿潤状態の降下火砕物の荷重（35cm×1500kg/m³×9.80665m/s²）＋積雪荷重（115.4cm^{※2}×29.4N/（m²・cm）^{※3}）＝8,542N/m²（小数点以下を切り上げ）

※2：積雪量＝1日あたりの積雪量の年超過確率10⁻²/年の値（84.3cm）

＋最深積雪量の平均値（31.1cm）＝115.4cm

※3：新潟県建築基準法施行細則に基づく積雪の単位荷重（積雪1cm 当たり 29.4N/m²）

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、柏崎刈羽原子力発電所 6，7 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、降下火砕物のみが柏崎刈羽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設備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) 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である 7 日間の外部電源の喪失，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，発電所の安全性を維持するために必要となる電源の供給が継続でき，安全機能を損なわない設計とする。

3.3 火山防護施設のうち評価対象設備の抽出

「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）」第六条において、「安全施設は，想定される自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。」とされている。

また，安全施設とは，「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されているクラス 1，2 及び 3 に該当する構築物，系統及び機器（以下，「安全重要度クラス 1，2，3 に属する構築物，系統及び機器」という。）を指していることから，火山防護施設としては，安全重要度クラス 1，2，3 に属する構築物，系統及び機器とする。

火山防護施設のうち，降下火砕物に対して必要な構築物，系統及び機器の中から屋外設備，屋外に開口している設備（降下火砕物を含む海水及び気体の流路となる設備），外気を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設備及び該当する設備を内包している建屋を評価対象設備として抽出した。

降下火砕物に対して必要な構築物，系統及び機器は，以下の点を踏まえ，原子炉停止，炉心冷却，使用済燃料プール冷却を維持するために必要な構築物，系統及び機器と設定した。

- ・降下火砕物襲来時の設備損傷状況を踏まえ，必要に応じプラント停止の措置をとること

- ・プラント停止後は、その状態を維持することが重要であること

また、上記以外の設備については、降下火砕物に対して機能維持する、若しく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、安全上支障のない期間に除灰、修復すること等の対応が可能な設計とする。

以上を踏まえた、抽出フローを図 1.3 に示す。抽出した評価対象設備を表 1.2 及び表 1.3 に示すとともに、評価対象設備の設置場所を図 1.4 に示す。

設計基準事象に対して耐性を確保する必要があるのは設計基準事故対処設備であり、重大事故等対処設備ではないが、設置許可基準規則第 43 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が同時にその機能が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といった観点から、代替手段により必要な機能を維持できることを確認する。

なお、降下火砕物に対する重大事故等対処設備の設計方針は、設置許可基準規則第 43 条（重大事故等対処設備）にて考慮する。

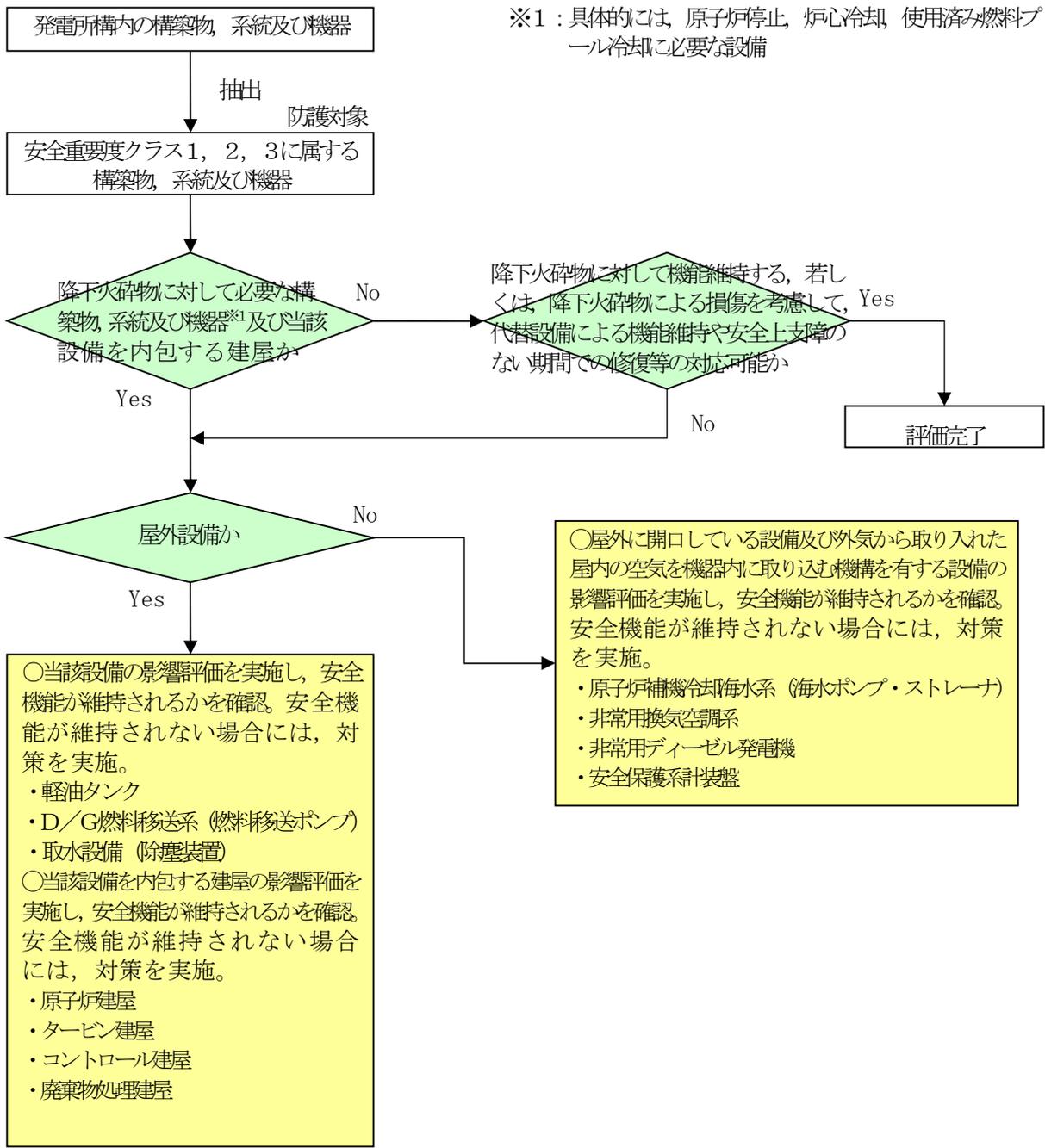


図 1.3 落下火砕物に対する安全施設の評価フロー

表 1.2 評価対象設備

安全重要クラス 1, 2, 3 に属する構築物, 系統及び機器のうち降下火砕物襲来時に必要な構築物, 系統及び機器	
屋外設備	<ul style="list-style-type: none"> ・軽油タンク (クラス 2) ・D/G 燃料移送系 (クラス 2) ・取水設備 (除塵設備) (クラス 3)
当該設備を内包する建屋	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・コントロール建屋 ・廃棄物処理建屋
屋外に開口している設備又は外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機能を有する設備	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉補器冷却海水系 (クラス 1) (海水ポンプ・海水ストレーナ) ・非常用換気空調系 (クラス 1) (中央制御室換気空調系, 非常用 DG 換気空調系, 非常用 DG/Z 換気空調系, C/B 計測制御電源盤区域換気空調系, 熱交換器エリア換気空調系) ・非常用ディーゼル発電機 (クラス 1) ・安全保護系計測制御盤 (クラス 1)

表 1.3 評価対象設備の抽出 (1 / 4)

分類	安全機能の重要度分類		設備設置箇所	降下火砕物に対して必要な構築物、系統、及び機器	屋外設備	屋外に開口している設備等	降下火砕物に接触し継続する若しくは降下火砕物による損壊を考慮して、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の対応可能	評価対象設備
	機能	構築物、系統又は機能						
PS-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	R/B	○	×	×	—	原子炉建屋
	過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング・制御棒駆動機構	R/B	○	×	×	—	原子炉建屋
	炉心形状の維持機能	炉心支持構造物、燃料集合体	R/B	○	×	×	—	原子炉建屋
MS-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、制御棒駆動系)	R/B	○	×	×	—	原子炉建屋
	未臨界維持機能	原子炉停止系(制御棒駆動系、ほう酸水注入系)	R/B	○	×	×	—	原子炉建屋
	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)	R/B	○	×	×	—	原子炉建屋
	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、原子炉隔離時冷却系、高圧炉心注水系、逃がし安全弁、自動減圧系)、原子炉格納容器(サブプレッションプール)	R/B	○	×	×	—	原子炉建屋
		復水補給水系(復水貯蔵槽)	Rw/B	○	×	×	—	原子炉建屋
	炉心冷却機能	非常用炉心冷却系(残留熱除去系、原子炉隔離時冷却系、高圧炉心注水系、自動減圧系)、原子炉格納容器(サブプレッションプール)	R/B	○	×	×	—	原子炉建屋
		復水補給水系(復水貯蔵槽)	Rw/B	○	×	×	—	廃棄物処理建屋
	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、原子炉格納容器隔離弁及び原子炉格納容器バウンダリ配管、残留熱除去系	R/B	○	×	×	—	原子炉建屋
		原子炉建屋	R/B	○	×	×	—	原子炉建屋
		非常用ガス処理系、可燃性ガス濃度制御系	R/B	—	—	—	○ (屋内設備のため、影響なし)	—
	排気筒(非常用ガス処理系配管の支持機能)	屋外	屋外	—	—	—	○ (影響なし)	—
		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	R/B, C/B	○	×	○	—
安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系	R/B, C/B, T/B	○	×	×	—	原子炉建屋 コントロール建屋 タービン建屋	
	非常用ディーゼル発電機	R/B	○	×	×	—	原子炉建屋	
	非常用ディーゼル発電機給気系	R/B	○	×	○	—	原子炉建屋 非常用ディーゼル 発電機給気系	
	中央制御室及びその遮へい・中央制御室換気空調系	C/B	○	×	○	—	コントロール建屋 中央制御室換気空調系	
	非常用換気空調系	R/B, C/B, T/B	○	×	○	—	原子炉建屋 コントロール建屋 タービン建屋 非常用換気空調系	
	原子炉補機冷却水系・原子炉補機冷却海水系	R/B, T/B	○	×	○	—	原子炉建屋 タービン建屋 原子炉補機冷却海水系 取水設備(除塵機)	
	直流電源系・計測制御電源系	R/B, C/B	○	×	×	—	原子炉建屋 コントロール建屋	

○ : YES × : No — : 該当せずもしくは評価完了

表 1.3 評価対象設備の抽出 (2 / 4)

分類	安全機能の重要度分類		設備設置箇所	降下火砕物に対して必要な構築物、系統、及び機器	屋外設備	屋外との接続がある設備	降下火砕物に代りて能 維持する、若しくは降下 火砕物による損傷を考慮し て、代替設備による機能維 持が安全上支障のない期間 での稼働等の対応可能	評価対象設備
	機能	構築物、系統又は機能						
PS-2	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ナ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ナダリに直接接続されていないものは除く)	原子炉冷却材浄化系 (原子炉冷却材圧力バウナダリから外れる部分)、主蒸気系	R/B	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-
		原子炉隔離時冷却系タービン蒸気供給ライン (→MS-1 炉心冷却機能に記載)	R/B	○	×	×	-	原子炉建屋
	原子炉冷却材圧力バウナ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	使用済燃料プール(使用済燃料貯蔵ラックを含む)、新燃料貯蔵庫 (臨界を防止する機能)	R/B	○	×	×	-	原子炉建屋
		放射性気体廃棄物処理系(活性炭希ガスホールドアップ装置)	T/B	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-
	燃料を安全に取り扱う機能	燃料交換機、原子炉建屋クレーン	R/B	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-
	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)	R/B	○	×	×	-	原子炉建屋
MS-2	安全上特に重要な関連機能の 間接関連系	軽油タンク、非常用ディーゼル発電機燃料移送系	屋外	○	○	-	-	軽油タンク 非常用ディーゼル 発電機燃料移送系
		非常用所内電源系空調	R/B・C/B・T/B	○	×	○	-	原子炉建屋 コントロール建屋 タービン建屋 非常用所内電源系 空調
	燃料プール水の補給機能	残留熱除去系	R/B	○	×	×	-	原子炉建屋
	放射線物質放出の防止機能	燃料プール冷却浄化系の燃料プール入口 逆止弁	R/B	○	×	×	-	原子炉建屋
		原子炉建屋原子炉棟	R/B	×	-	-	○ (影響なし)	-
		放射性気体廃棄物処理系(オフガス系) 隔離弁	T/B	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-
		排気筒(非常用ガス処理系排気管の支持 機能以外の部分)	屋外	×	-	-	○ (影響なし)	-
		非常用ガス処理系、空調機(間接関連 系:MS-2)	R/B	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-
	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 (格納容器エリアモニタ)	C/B	○	×	×	-	コントロール建屋
	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)	R/B	○	×	×	-	原子炉建屋

○ : YES × : No - : 該当せずもしくは評価完了

表 1.3 評価対象設備の抽出 (3 / 4)

分類	安全機能の重要度分類		設備設置箇所	降下火砕物に対して必要な構築物、系統、及び機器	屋外設備	屋外との接続がある設備	降下火砕物にさらされ維持する 若しくは降下火砕物による損傷を考慮して代替となる機器の安全に支障のない期間での修復等の対応可能	評価対象設備
	機能	構築物、系統又は機能						
PS-3	原子炉冷却材保持機能 (PS-1, PS-2 以外のもの)	原子炉冷却材圧力バウンダリから除外される計装等の小口径配管、弁	R/B	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-
	原子炉冷却材の循環機能	原子炉再循環系	R/B	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-
	放射性物質の貯蔵機能	サブプレッションプール水サージタンク	屋外	×	-	-	○ (運用停止中のため影響なし)	-
		復水貯蔵槽、液体廃棄物処理系、固体廃棄物処理系	Rw/B	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-
		固体廃棄物貯蔵庫、ドラム缶	固体廃棄物貯蔵庫	×	-	-	○ (補修を実施(放射性物質の拡散防止について適切な処置を実施))	-
		固体廃棄物処理建屋、固体廃棄物処理設備	固体廃棄物処理建屋	×	-	-	○ (補修を実施(放射性物質の拡散防止について適切な処置を実施))	-
		新燃料貯蔵庫、新燃料貯蔵ラック	R/B	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-
	電源供給機能 (非常用を除く)	タービン、発電機及び励磁装置、復水系、給水系、循環水系	T/B	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-
		送電線	屋外送電線	×	-	-	○ (代替設備(非常用ディーゼル発電機)により機能維持可能)	-
		変圧器、開閉所	屋外	×	-	-	○ (代替設備(非常用ディーゼル発電機)により機能維持可能)	-
	プラント計測・制御機能 (安全保護機能を除く)	原子炉制御系 (RWM 含む)、原子炉核計装、原子炉プロセス計装	C/B	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-
	プラント運転補助機能	補助ボイラ設備	補助ボイラ建屋	×	-	-	○ (補修を実施)	-
		計装用圧縮空気系	T/B	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし(建屋内は、外気取入口にバグフィルタが設置されている換気空調系によって、空調管理されているため、屋内の空気取り込みによる影響なし))	-
	核分裂生成物の原子炉冷却材中の放射防止機能	燃料被覆管	R/B	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-
	原子炉冷却材の浄化機能	原子炉冷却材浄化系	R/B	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-
復水浄化系		T/B	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-	

○ : YES × : No - : 該当せずもしくは評価完了

表 1.3 評価対象設備の抽出 (4 / 4)

分類	安全機能の重要度分類		設備設置箇所	降下火砕物に対して必要な構築物、系統、及び機器	屋外設備	屋外との接続がある設備	降下火砕物にさらされて維持する 若しく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が安全上英断の期間での修復が可能な	評価対象設備	
	機能	構築物、系統又は機能							
MS-3 緊急時対策上重要なものおよび異常状態の把握機能	原子炉圧力上昇の緩和機能	逃がし安全弁 (逃がし弁機能)	R/B	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-	
		タービンバイパス弁	T/B	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-	
	出力上昇の抑制機能	原子炉冷却材再循環系 (再循環ポンプトリップ機能)、制御棒引抜監視装置	R/B	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-	
	原子炉冷却材の補給機能	制御棒駆動水圧系、原子炉隔離時冷却系	R/B	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-	
	原子炉冷却材の再循環流量低下の緩和機能	原子炉冷却材再循環ポンプ MG セット	Rw/B	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-	
	通信 連絡 設備	原子力発電所緊急時対策所		免震重要棟 R/B(3号炉)	×	-	-	○ (設計荷重に対して影響ないことを確認)	-
		試料採取系		R/B	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-
		所外 通信	無線系	マイクロ波無線鉄塔	×	-	-	○ (代替設備 (衛星系) により機能維持可能)	-
			有線系	送電鉄塔	×	-	-	○ (代替設備 (衛星系) により機能維持可能)	-
		所内外 通信	有線系 無線系 衛星系	免震重要棟 (屋外設備含む)	×	-	-	○ (建屋内設備は影響なし。屋外設備 (無線系、衛星系) は、灰が積もりにくい形状であるとともに、適切に除灰するなどの対応により機能維持可能)	-
				R/B (3号炉) (屋外設備含む)	×	-	-	○ (建屋内設備は影響なし。屋外設備 (無線系、衛星系) は、灰が積もりにくい形状であるとともに、適切に除灰するなどの対応により機能維持可能)	-
		所内 通信	有線系	各建屋 (地下設備含む)	×	-	-	○ (建屋 (免震重要棟除く) 内及び地下布設のため影響なし)	-
				屋外設備	×	-	-	○ (復旧 (PHS 基地局) により機能維持可能)	-
		放射線監視設備 (モニタリングポスト)		屋外	×	-	-	○ (代替設備 (可搬型モニタリング設備) により機能維持可能)	-
		放射線監視設備 (放射能観測車)		可搬型 SA 設備 保管場所	×	-	-	○ (適切に除灰するなどの対応により機能維持可能)	-
		放射線監視設備 (建屋内)		各建屋内	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-
		事故時監視計器の一部		R/B	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-
				気象観測装置	×	-	-	○ (代替設備 (可搬型気象観測装置) により機能維持可能)	-
		消火系		給水建屋 水処理建屋	×	-	-	○ (代替設備 (防火水槽) により機能維持可能)	-
	ろ過水タンク (屋外配管含む)			×	-	-	○ (代替設備 (防火水槽) により機能維持可能)	-	
泡消火設備	×			-	-	○ (代替設備 (消防車) により機能維持可能)	-		
安全避難通路、非常照明		各建屋内	×	-	-	○ (屋内設備のため、影響なし)	-		

○ : YES × : No - : 該当せずもしくは評価完了

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

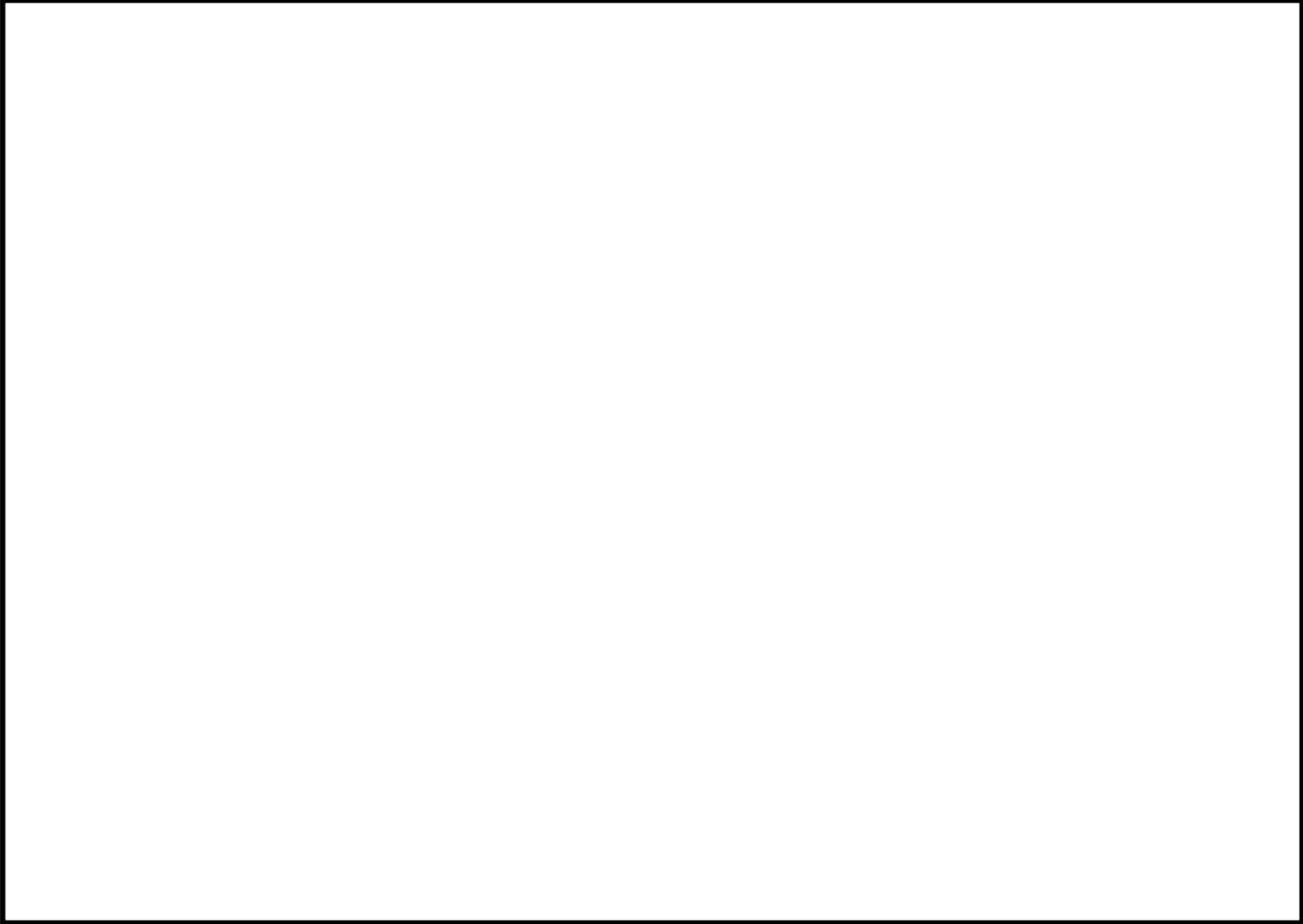


図 1.4 評価対象設備の設置場所 (1/6)

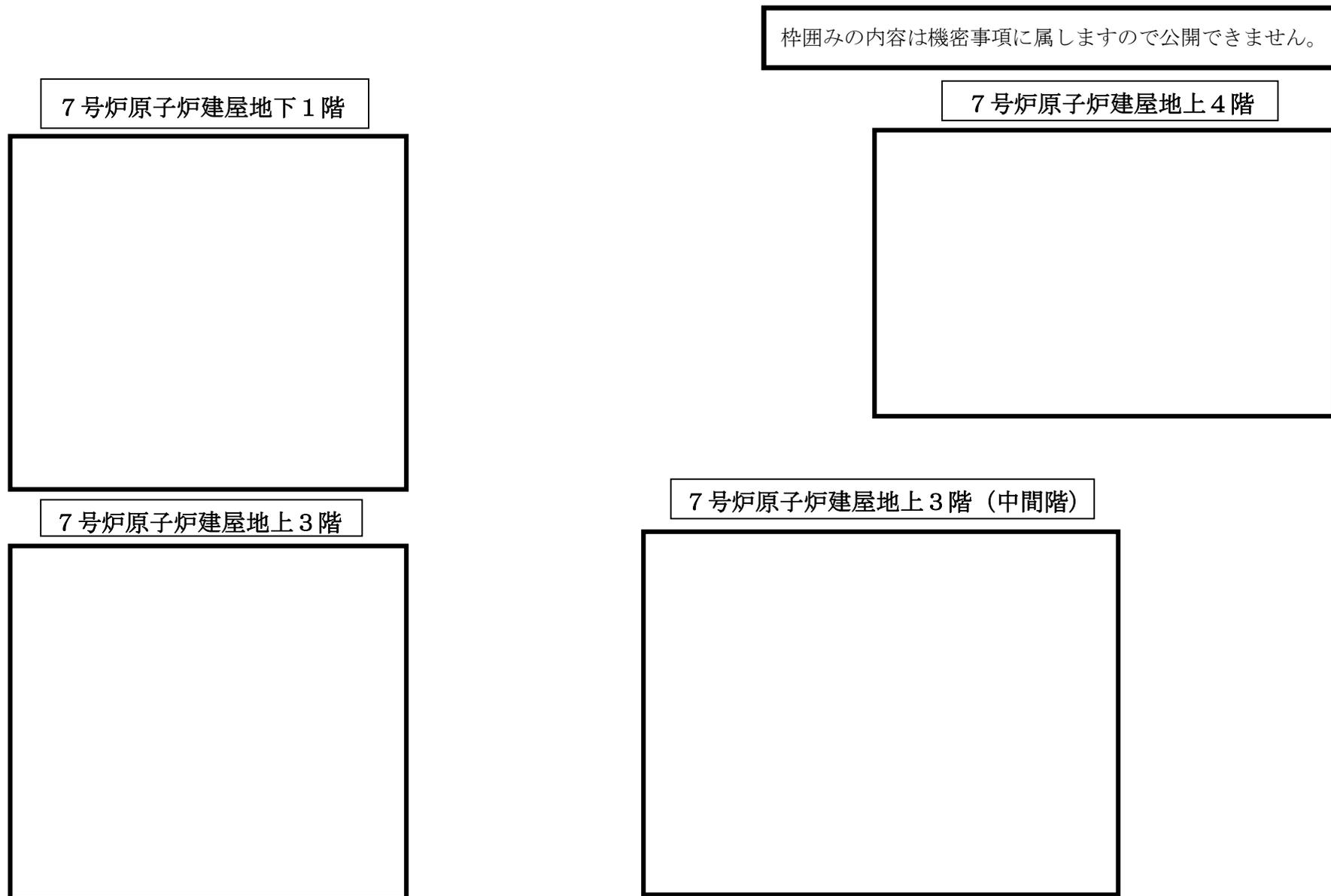
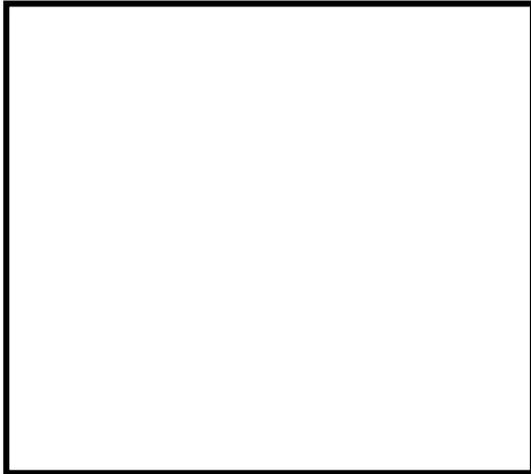


図 1.4 評価対象設備の設置場所 (2/6)

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

7号炉タービン建屋地下1階



7号炉タービン建屋地下2階



7号炉タービン建屋地上3階

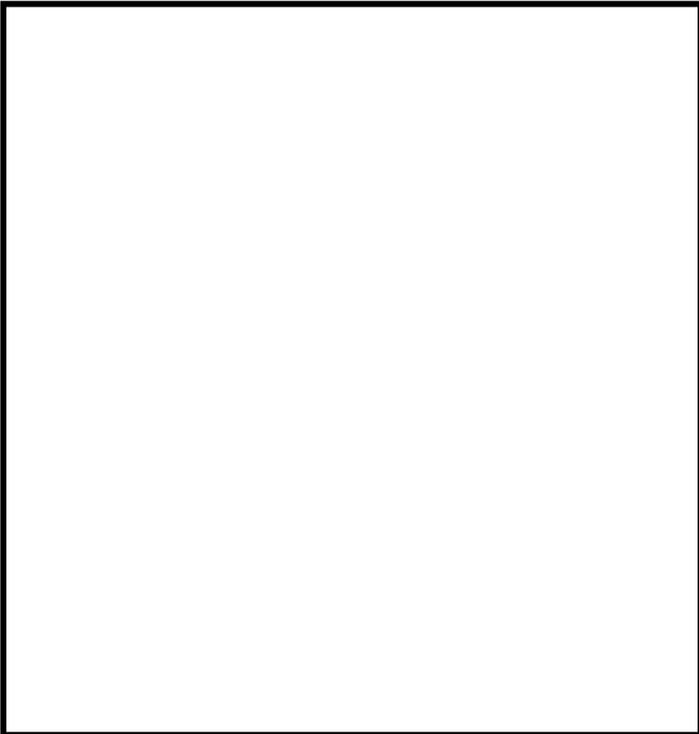


図 1.4 評価対象設備の設置場所 (3/6)

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

6号炉原子炉建屋地上3階



6号炉原子炉建屋地上4階



6号炉原子炉建屋地上3階（中間階）

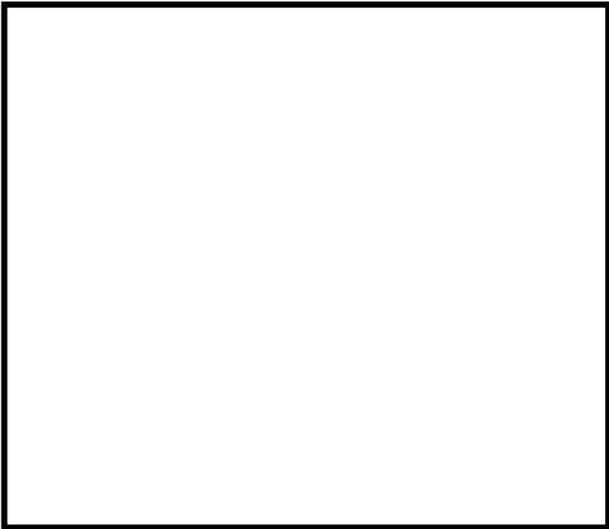


図 1.4 評価対象設備の設置場所（4/6）

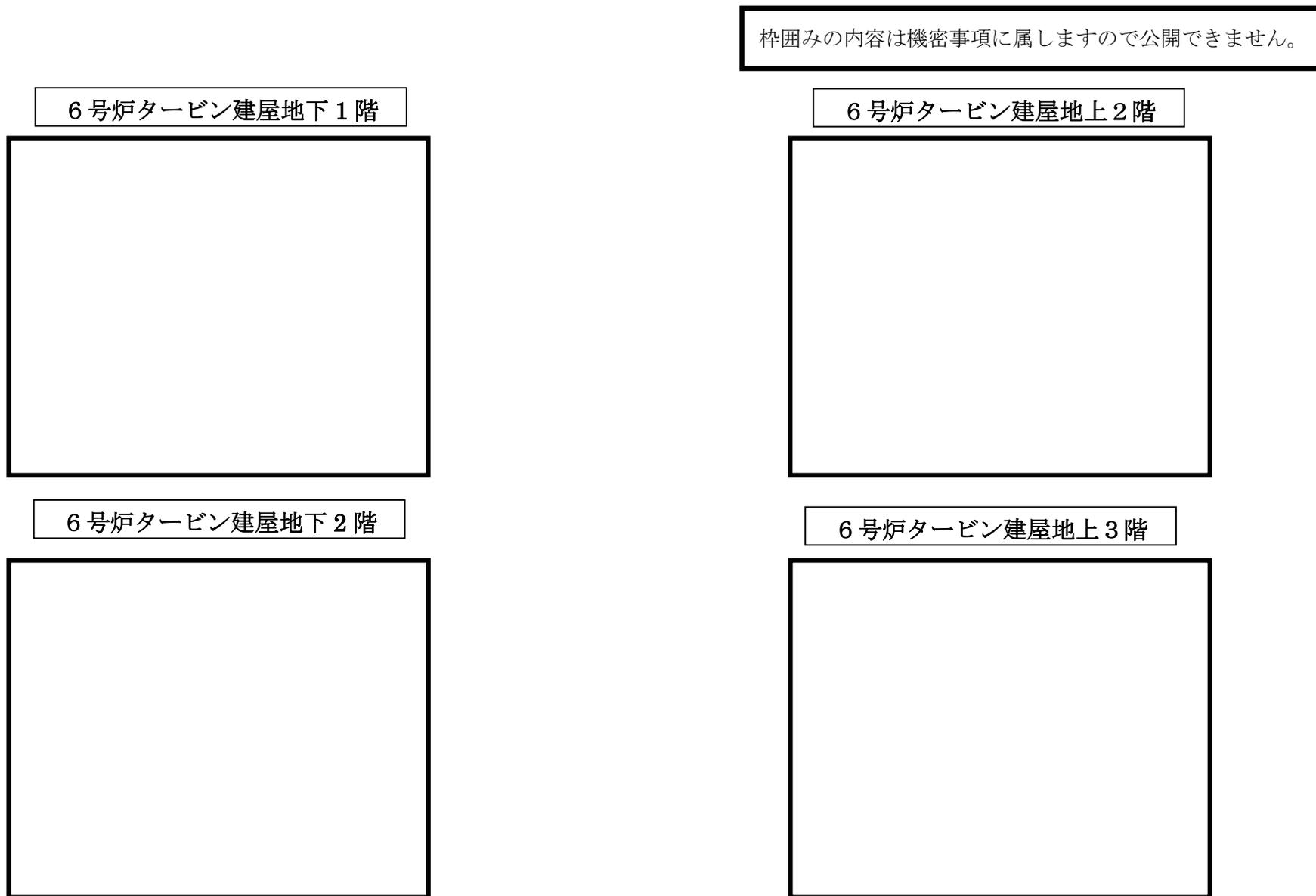


図 1.4 評価対象設備の設置場所 (5/6)

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

6, 7号炉コントロール地上2階



6, 7号炉コントロール建屋屋上



図 1.4 評価対象設備の設置場所 (6/6)

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設備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， 鉱物結晶片から成る。ただし， 砂よりもろく硬度は低い。
- (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， 直ちに金属腐食を生じさせることはない。
- (3) 水に濡れると導電性を生じる。
- (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）

3.4.2 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， 水質汚染及び絶縁低下を抽出し， 評価対象設備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， 柏崎刈羽原子力発電所 6， 7 号炉で想定される降下火砕物の条件を考慮し， 表 1.4 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， 「竜巻防護に関する基本方針」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設備においては， 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（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」、並びに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、電気系及び計装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、電気系及び計装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、電気系及び計装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、電気系及び計装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、市水道水に降下火砕物が混入することによる汚染が考えられるが、降下火砕物襲来時に評価対象設備へ供給等する必要はないため、プラントの安全機能に影響しない。

(補足資料－18)

(g) 絶縁低下

「絶縁低下」について考慮すべき影響因子は、湿った降下火砕物が、電気系及び計装制御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 1.4 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、降雨条件及び積雪の重畳を考慮する。	○
構造物への化学的影響（腐食）	屋外設備において影響を考慮すべき要因であり、影響がないことを確認する。	○
粒子の衝突	降下火砕物は発電所に到達する降下火砕物は微小であり重量も小さいことから、衝突荷重により設備に影響を与える可能性はない。	—
水循環系の閉塞	海水中に漂う降下火砕物については取水する可能性があるため、海水系において影響を考慮すべき要因であり、狭隘部等における閉塞の影響を考慮する。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磨耗	降下火砕物は、砂等に比べて破砕し易く、硬度が小さいことから、降下火砕物粒子による磨耗が設備に影響を与える可能性は小さい。	—
水循環系の化学的影響（腐食）	海水系において影響を考慮すべき要因であり、降下火砕物成分が海水中に溶出した場合に懸念される腐食について短期的に影響がないことを確認する。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。	○
換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響（摩耗）	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、電気系及び計装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。	○
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いて影響を考慮すべき要因である。	○
水質汚染	水質汚染によって、市水道が汚染する可能性があるが、降下火砕物襲来時に評価対象設備へ補給等する必要はないため、プラントの安全機能に影響はない。	—
絶縁低下	送電網より引き込む開閉所や変圧器周りに碍子洗浄装置などがあり、降下火砕物が確認された場合、洗浄することが可能である。また、絶縁低下により、外部電源喪失に至った場合、非常用ディーゼル発電機により電源の供給を実施する。 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計装盤については、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 評価対象設備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設備に対して評価する必要がない項目もあることから、各評価対象設備と評価すべき直接的影響の要因について整理し、評価対象設備の特性を踏まえて必要な評価項目を表 1.5 の通り選定した。

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) 評価対象設備に常時作用する荷重，運転時荷重

評価対象設備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

降下火砕物の降灰は原子炉冷却材喪失事故などの設計基準事故の起因とはならないため、火山事象と設計基準事故は独立事象となる。

なお、評価対象設備のうち設計基準事故時荷重が生じ得る屋外設備としては、軽油タンク及び非常用ディーゼル発電機燃料移送系であるが、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が変化することはないため、設計基準事故により考慮すべき荷重はなく、降下火砕物及び設計基準事故時荷重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地震及び積雪であり、降下火砕物との荷重と適切に組み合わせる。

(補足資料－5)

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

直接的影響については、評価対象設備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設備が安全機能を損なわない以下の設計とする。（個別評価-1～

個別評価-8)

a. 降下火砕物襲来時に必要な構築物，系統及び機器を内包する建屋

原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋及び廃棄物処理建屋は，「構築物への静的負荷」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，降下火砕物の荷重を短期に生じる荷重とし，建築基準法による短期許容応力度を許容限界とする。

「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って直ちに金属腐食を生じないが，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. 原子炉補器冷却海水ポンプ

「閉塞」については，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設計とするともに，ポンプ軸受部が閉塞しない設計とする。

「腐食」については，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

「閉塞」については，降下火砕物の粒径に対し十分な流路幅を設けるまたは差圧管理される設計とする。

「腐食」については，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. 非常用ディーゼル発電機

「閉塞」については，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は，ガラリ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，換気空調系のフィルタを設置することで，降下火砕物が流路に侵入しにくい設計とする。また，外気取入口に，換気空調系のフィルタを設置することにより，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にくい設計とし，さらに降下火砕物がフィルタに付着した場合でも取替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、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、降下火砕物により閉塞しない設計とする。

「摩耗」については、降下火砕物は砂よりも硬度が低くもろいことから、摩耗の影響は小さい。

構造上の対応として、吸気口の上流側の外気取入口には、ガラリ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、換気空調系のフィルタを設置することで、降下火砕物が流路に侵入しにくい設計とし、仮に当該施設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。

「腐食」については、金属腐食研究の結果より、降下火砕物によって直ちに金属腐食を生じないことから、金属材料を用いることで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。

e.軽油タンク（燃料移送ポンプ含む）

「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。

「腐食」については、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。

「閉塞」については、軽油タンクのベント管を下向きに取り付ける、また、燃料移送ポンプは、降下火砕物が侵入しづらい設計とする。

f.換気空調設備

非常用換気空調系（中央制御室換気空調系、非常用D G換気空調系、非常用D G / Z換気空調系、C / B計測制御電源盤区域換気空調系、熱交換器エリア換気空調系）は、外気取入口に、ガラリ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、換気空調系のフィルタを設置することで、降下火砕物が流路に侵入しにくい設計とする。さらに降下火砕物がフィルタに付着した場合でも取替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。

また、中央制御室換気空調系については、外気取入ダンパ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するため、酸素濃度及び二酸化炭

素濃度の影響評価を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

g.取水設備（除塵装置）

「閉塞」については、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。

「腐食」については、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。

h.安全保護系計装盤

当該機器の設置場所は非常用DG/Z換気空調系，中央制御室換気空調系にて空調管理されており，本換気空調設備の外気取入口には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にくい設計とする。従って，仮に室内に侵入した場合でも降下火砕物は微量であり，粒径は極めて細かな粒子である。

3.6.2 間接的影響に対する設計方針

柏崎刈羽原子力発電所6，7号機の非常用所内交流電源設備は，非常用ディーゼル発電機（3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（3基；18kL以上）を有している。更に，軽油タンク（2基；550kL以上）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燃料プールの冷却に係る機能を担うために必要な電力の供給が継続できる設計とする。

（補足資料－17）

表 1.5 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 計装制御系に対する 機械的影響 （閉塞・摩耗）	換気系、電気系及び 計装制御系に対す 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，タービン 建屋，コントロール建 屋，廃棄物処理建屋	●	●	－(④)	－(④)	－(④)	－(④)	－(④)	－(④)
原子炉補機冷却海水 ポンプ	－(①)	－(①)	● (ポンプ)	● (ポンプ)	－(①) (モータ)	－(①) (モータ)	－(④)	－(④)
海水ストレーナ	－(①)	－(①)	●	●	－(④)	－(④)	－(④)	－(④)
非常用ディーゼル発 電機	－(①)	－(①)	－(④)	－(④)	●	●	－(④)	－(④)
軽油タンク（燃料移送 ポンプ含む）	●	●	－(④)	－(④)	● (燃料移送ポンプ)	● (燃料移送ポンプ)	－(④)	－(④)
換気空調設備	－(①)	－(②)	－(④)	－(④)	●	●	●	－(④)
取水設備（除塵装置）	－(④)	－(②)	●	●	－(④)	－(④)	－(④)	－(④)
屋内の計装盤	－(①)	－(①)	－(④)	－(④)	－(④)	－(④)	－(④)	●

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

【評価除外理由】

- ①：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：腐食があっても、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

表 1.6 降下火砕物による直接的影響の評価結果

評価対象設備	確認結果	個別評価
原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋，廃棄物処理建屋	<ul style="list-style-type: none"> ・考慮する堆積荷重は8,542N/m²であり，建屋の許容堆積荷重はそれ以上の設計とするため，安全性への影響はない。 ・外装塗装がなされていることから，降下火砕物による化学的腐食により直ちに機能に影響を及ぼすことはない。 	1
原子炉補機冷却海水ポンプ	<ul style="list-style-type: none"> ・ポンプの狭隘部は降下火砕物の粒径より大きく，軸受けには異物逃がし溝が設けられているため，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。 ・耐食性のある材料を使用していることから，降下火砕物による化学的腐食により直ちに機能に影響を及ぼすことはない。 	2
海水ストレーナ	<ul style="list-style-type: none"> ・降下火砕物の粒径は，海水ストレーナのフィルタ穴径より僅かに小さいものの，差圧管理されており，自動洗浄されることから閉塞することはない。なお，海水ストレーナのフィルタを通過した降下火砕物は，下流の機器（海水熱交換器等）に対して閉塞等の影響を与えることはない。また，降下火砕物は，破碎し易く摩耗による影響は小さい。 ・海水ストレーナ，及び下流の機器内面に防汚塗装等が施されており，直ちに機能を喪失することはない。 	3
非常用ディーゼル発電機	<ul style="list-style-type: none"> ・外気取り入れ箇所は，降下火砕物が侵入しにくい構造であり，また，フィルタにより降下火砕物が捕集されること，及び侵入した場合でも降下火砕物の硬度が低く破碎しやすいことから，機能に影響を及ぼすことはない。また，フィルタは，必要に応じて清掃及び交換することにより除灰ができる。 	4
軽油タンク（燃料移送ポンプ含む）	<ul style="list-style-type: none"> ・考慮する堆積荷重は8,542N/m²程度であり，軽油タンクの許容堆積荷重は約13,000N/m²（暫定値）以上であるため，安全性への影響はない。 ・軽油タンクには，外面塗装が施されており，直ちに機能を喪失することはない。 ・軽油タンクのベント管は，雪害対策として，ベント管開口部位置をタンク屋根外側に位置しており，地上から約10mの高さがあることから，想定される降下火砕物堆積量に対し，開口部閉塞には至らない。 ・燃料移送ポンプ及び電動機は，その構造上から，降下火砕物が内部に侵入することはない。また，降下火砕物堆積荷重に対しては，別途防護対策を実施するなかで堆積荷重を考慮した設計とする。 	5
非常用換気空調設備	<ul style="list-style-type: none"> ・非常用換気空調設備の外気取入口には，ガラリ及びフィルタ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，降下火砕物が与える影響は小さい。また，フィルタは，必要に応じて清掃及び交換することにより除灰ができる。 ・中央制御室換気空調設備については，外気取入ダンパを閉止し，再循環運転することにより，中央制御室の居住環境が維持されることを確認する。 	6
取水設備（除塵装置）	<ul style="list-style-type: none"> ・降下火砕物の粒径は十分小さく，取水口を閉塞することはない。 ・取水設備（除塵装置）は塗装等の対応を実施しており，直ちに腐食により機能に影響を及ぼすことはない。 	7
安全保護系計装盤	<ul style="list-style-type: none"> ・安全保護系計装盤が設置されている部屋は，非常用電気品区域換気空調系，中央制御室換気空調系にて空調管理されており，本空調の外気取入口にはフィルタが設置されていることから，降下火砕物に対する高い防護を有しており，侵入する降下火砕物は微細なものに限られ，またその可能性は小さく，その付着等により短絡等を発生させる可能性はないことから，安全保護系計装盤の安全機能が損なわれることはない。 	8

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 1.5 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。

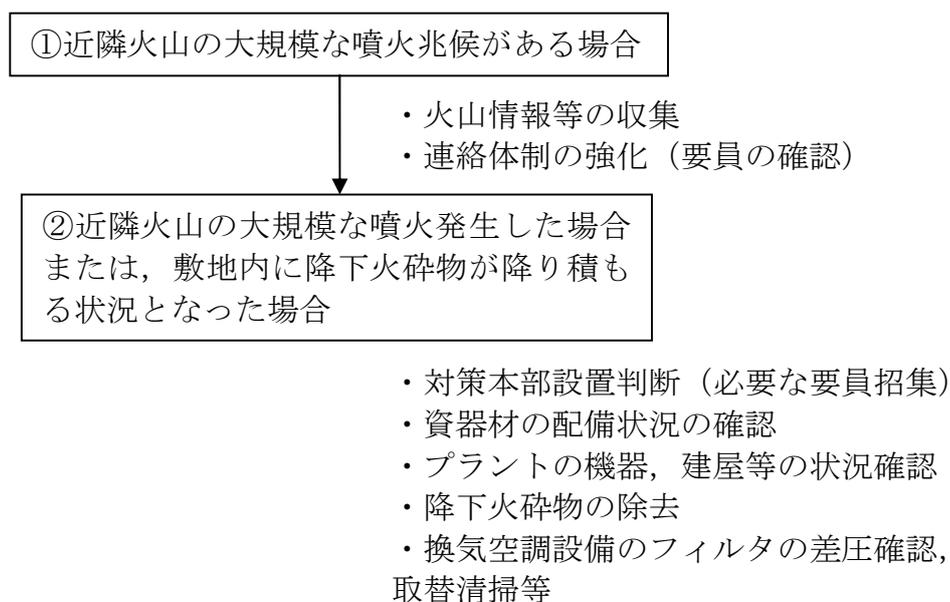


図 1.5 降下火砕物に対応するための運用管理フロー

①近隣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、規模、風向、降灰予測等）を把握し、連絡体制を強化する。

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

担当箇所は、近隣火山において大規模な噴火が確認された場合、または、発電所敷地で降灰が確認された場合に、関係個所と協議の上、対策本部の設置判断をする。

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・建屋等の火山灰の除去のため、発電所内に保管しているホイールローダ・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。

敷地内に火山灰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。

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掛け続けないこと、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、評価対象設備等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、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、状況に応じて清掃や取替え等を実施する。

4. まとめ

降下火砕物による直接的影響およ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、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、火山灰の除去等を実施する。

建屋に係る影響評価

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通り評価した。

(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，タービン建屋，コントロール建屋，廃棄物処理建屋の健全性に影響がないことを評価する。なお，堆積荷重は，積雪との重畳を考慮する。

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：35cm
- ・密度：1.5g/cm³

② 積雪条件

- ・積雪量：115.4cm

積雪量＝1日あたりの積雪量の年超過確率 10^{-2} /年の値（84.3cm）
 ＋最深積雪量の平均値（31.1cm）＝115.4cm

- ・単位荷重：29.4N/m²（新潟県建築基準法施行細則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通り。

飽和状態の降下火砕物の荷重（35cm×1500kg/m³×9.80665m/s²）
 ＋積雪荷重（115.4cm×29.4N/（m²・cm））＝8,542N/m²

表 1-1 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，全ての建屋において，許容堆積荷重は設計堆積荷重を十分に上回っていることから，対象建屋の安全性への影響はない。

表 1-1 建屋の堆積荷重概略評価結果

号機	評価対象建屋	対象設備エリア	許容堆積荷重※1 (N/m ²)	降下火砕物 堆積荷重 (N/m ²)	評価結果
K6	原子炉建屋	燃料プール上部	12,000	8,542	○
	コントロール建屋	中央制御室上部（全体） K7 共通	21,000		○
	タービン建屋	熱交エリア上部	10,000		○
K7	原子炉建屋	燃料プール上部	12,000		○
	コントロール建屋	中央制御室上部（全体） K6 共通	21,000		○
	タービン建屋	熱交エリア上部	11,000		○
	廃棄物処理建屋	CSP 位置上部（K6 と共通）	9,000※2		○

※1：許容堆積荷重は、以下の方法で算出した。

- ① 建屋の屋根部を構成する構造部材の断面性能を元に、各構造部材で発生する応力が短期許容応力度となるような屋根部の鉛直荷重（以下、耐荷重という）を計算する。
- ② 屋根部に作用する荷重としては堆積物による荷重以外に、常時作用する荷重（固定荷重、機器荷重及び配管荷重等）があるため、①で計算した耐荷重から常時作用する荷重の差し引いた値を許容堆積荷重として設定する（有効数字2桁で切り下げ）。

※2：廃棄物処理建屋については、屋上のルーフブロックを撤去することとしており、許容堆積荷重の暫定値として記載。

② 構造物への化学的影響（腐食）

原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋，廃棄物処理建屋については，外壁塗装を施していることから，火山灰による化学的腐食により直ちに機能に影響を及ぼすことはない。（補足資料－4）

原子炉補機冷却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に係る影響評価について以下の通り評価した。

(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海水ポンプにより取水した場合に、流水部、軸受け部等が閉塞し、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

降下火砕物が混入した海水を海水ポンプにより取水した場合に、摩耗による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海水ポンプにより取水した場合に、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。

(2) 評価条件

① 降下火砕物条件

- ・粒径：8.0mm 以下

(3) 評価結果

① 水循環系の閉塞

- ・流水部の閉塞

原子炉補機冷却海水ポンプ流水部の狭隘部は数十 mm であり、想定する降下火砕物の粒径は 8mm 以下であるため、閉塞には至らない。

- ・軸受部の閉塞

原子炉補機冷却海水ポンプの軸受けの隙間は、約 1mm～4mm 程度の許容値以下で管理されている。一部の降下火砕物は軸受けの隙間より、軸受け内部に入り混む可能性があるが、異物逃がし溝（約 5mm 程度）が設けられており、軸受部の閉塞には至らない。

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

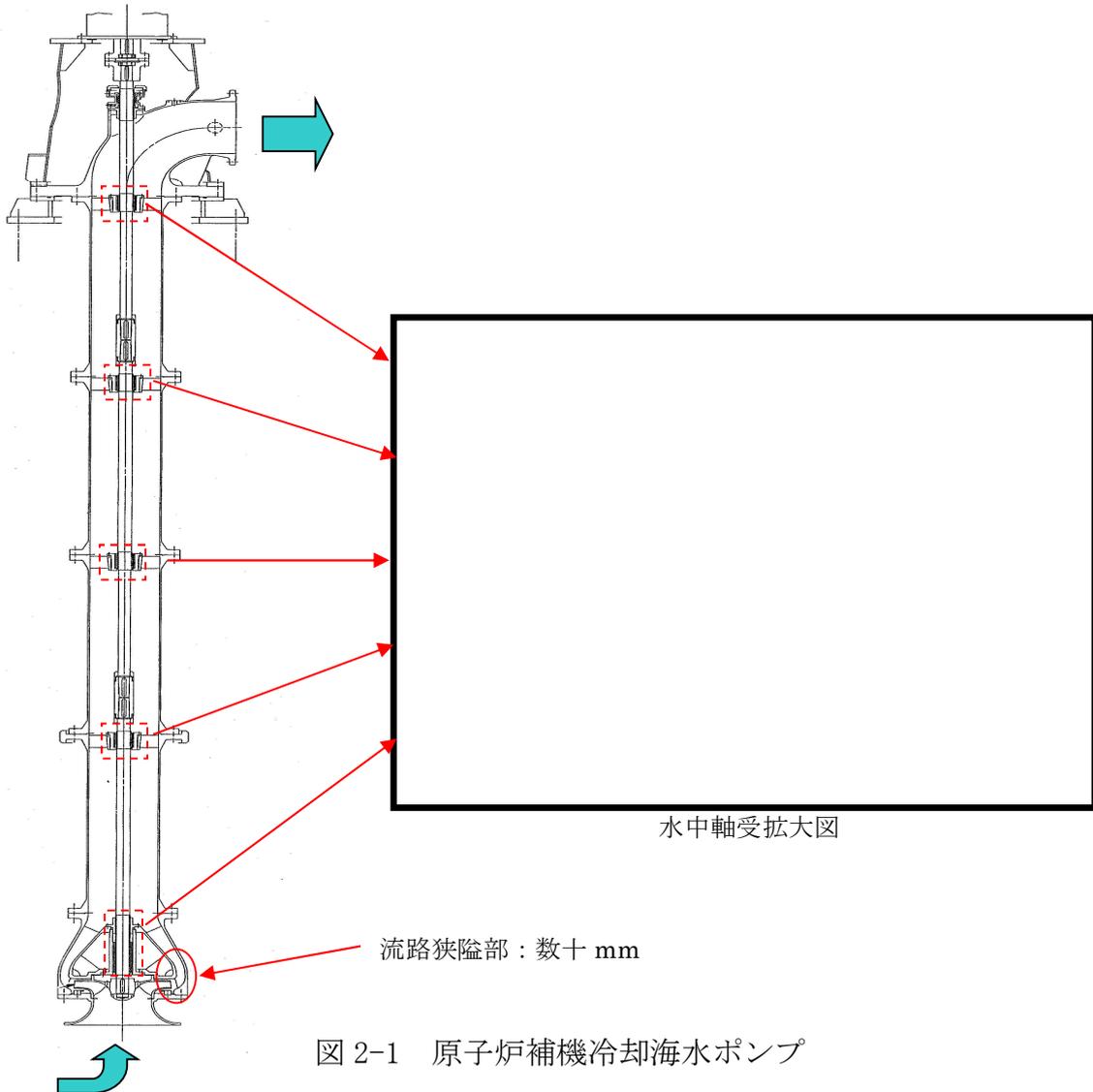


図 2-1 原子炉補機冷却海水ポンプ

② 水循環系の摩耗

降下火砕物は破碎し易く、硬度が小さ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、また、日常の保守管理等により補修が可能。

(補足資料-3)

③ 水循環系の化学的影響 (腐食)

原子炉補機冷却海水ポンプは、ステンレス製であり、また、塗装等の対応を実施していることから、腐食により原子炉補機冷却海水ポンプの機能に影響を及ぼすことはない。

(補足資料-4)

海水ストレーナに係る影響評価

降下火砕物による海水ストレーナに係る影響評価について以下の通り評価した。

(1) 評価項目

① 水循環系の閉塞

降下火砕物によって海水ストレーナの閉塞により、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

降下火砕物によって海水ストレーナの摩耗により、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）

降下火砕物によって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。

(2) 評価結果

① 水循環系の閉塞

各号機の海水ストレーナのフィルタ穴径を示す。

	6号炉	7号炉
フィルタ穴径	8mm	7mm

想定する降下火砕物の粒径は、最大で8mmであるが、7mm以上の粒径割合は、およそ4%程度であり、また、取水口からポンプ取水箇所までの距離が数十mあるため、海水ストレーナは閉塞する可能性は少ない。また、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、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（6号炉：1,700mmAq、7号炉：1,800mmAq）で自動洗浄される。

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、下流設備の熱交換器の伝熱管の穴径（6号炉：23.0mm、7号炉：16.6mm）に対して、想定する降下火砕物の粒径は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。

原子炉補機冷却海水ポンプの定格流量は1台あたり、約1,800m³/hと大きく、冷却器管内で流れが一様になり、降下火砕物がストレーナ内で堆積し、閉塞する可能性は低い。

②水循環系の摩耗

降下火砕物は破碎し易く、硬度が小さ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、また、日常の保守管理等により補修が可能。

(補足資料-3)

③水循環系の化学的影響(腐食)

海水ストレーナは、ライニングが施工されていることから、直ちに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、耐食性に優れた材料(アルミニウム黄銅管)を用いていること、及び連続通水状態であり著しい腐食環境にならないことから、腐食により下流設備に影響を及ぼすことはない。

非常用ディーゼル発電機（機関）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について以下の通り評価した。

(1) 評価項目

① 換気系、電気系及び計装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、電気系及び計装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）への侵入等により、化学的影響（内部腐食）によって、機能に影響がないことを評価する。

(2) 評価条件

- ・粒径：8.0mm 以下

(3) 評価結果

① 換気系、電気系及び計装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（機関）の吸気系統は、非常用ディーゼル発電機非常用送風機室の機関給気口より上流側に、換気空調系のフィルタ（粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して80%以上の捕獲）が設置されており、降下火砕物の侵入を防止している。

粒径が $2\mu\text{m}$ 程度のものについては、図 4-1 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。

また、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は、当該間隙内に侵入し、摩耗発生が懸念されるが、降下火砕物は、砂と比較しても破碎しやすく^{*1}、硬度が低く^{*2}、これまでの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の可能性は小さい。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、更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。また、潤滑油系には機関付フィルタが設置されているが、メッシュ寸法が ($30\mu\text{m}$) と取り込んだ降下火砕物によって閉塞することはなく長期的な影響も少ないと考えられる。

(補足資料-3, 10)

また、シリンダから排出される排気ガスの温度は、約 500°C であることから、融点が約 $1,000^{\circ}\text{C}$ である降下火砕物の溶融による影響はない。

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

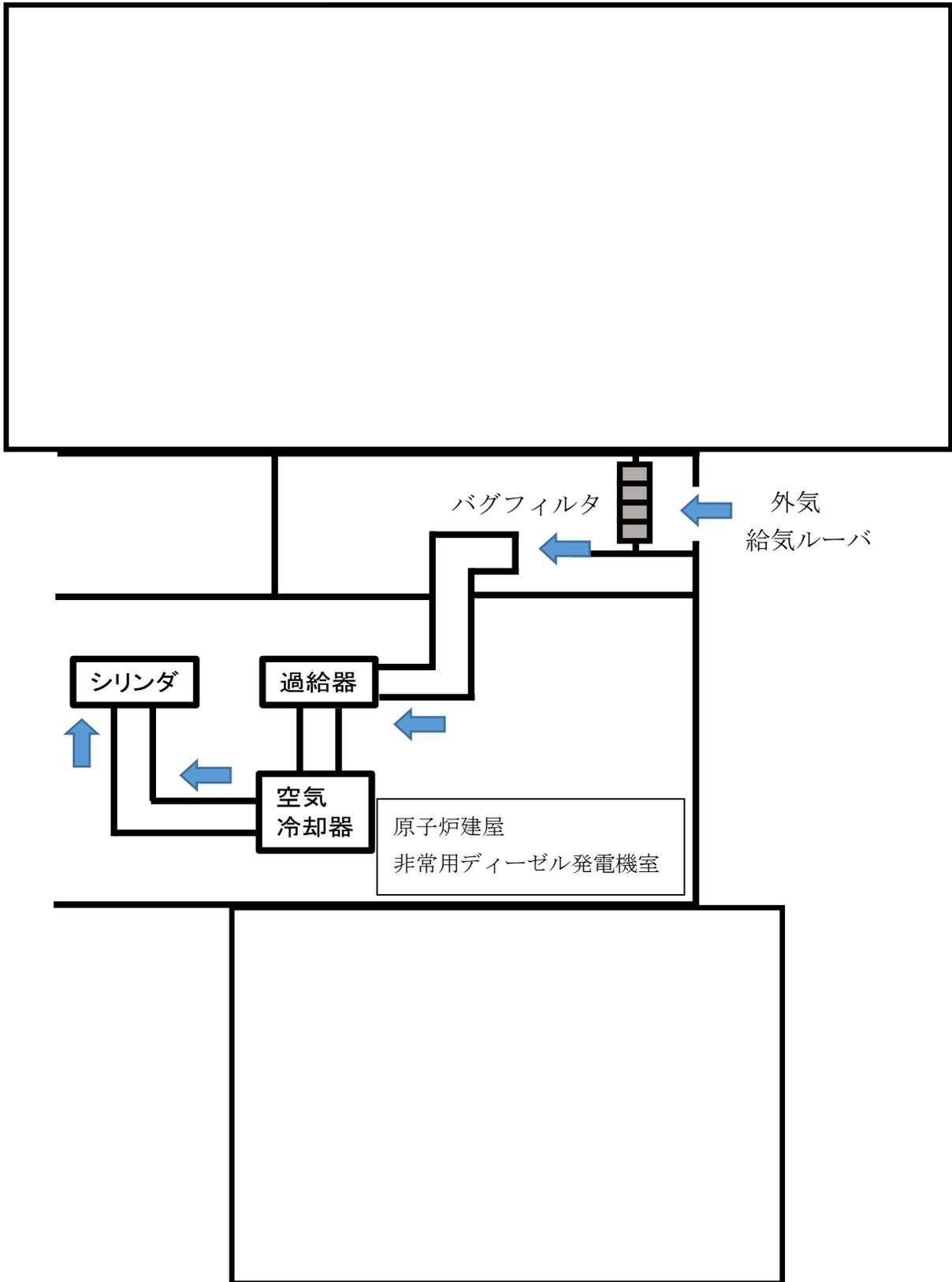


図 4-1 非常用ディーゼル機関給気系統構造図

※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

② 換気系，電気系及び計装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，降下火砕物によって直ちに金属腐食を生じないことから，金属材料を用いることで非常用ディーゼル発電機の機能に影響を与えにくい。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－9）

軽油タンク（燃料移送ポンプ含む）に係る影響評価

降下火砕物による軽油タンク（燃料移送ポンプ含む）への影響について以下の通り評価した。

(1) 評価項目

① 構造物への静的負荷

軽油タンクについては、降下火砕物の堆積による堆積荷重に対して健全性に影響がないことを評価する。

燃料移送ポンプについては、鋼板性のカバーで覆われており、直接堆積しない構造であるが、別途、堆積荷重を考慮した防護対策を実施する。

② 構造物への化学的影響（腐食を含む）

降下火砕物の軽油タンク及び燃料移送ポンプへの付着や堆積による化学的腐食により、機能への影響がないことを評価する。

③ 換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響

軽油タンクのベント管が、降下火砕物の閉塞による影響がないことを評価する。
燃料移送ポンプについては、軸受け等への侵入による、機能に影響がないことを評価する。

④ 換気系、電気系及び計装制御系に対する化学的影響（腐食）

燃料移送ポンプモータへの侵入による、化学的影響（内部腐食）によって、機能に影響がないことを評価する。

(2) 評価条件

- ・ 堆積荷重：8,542N/m²
- ・ 粒径：8.0mm 以下

(3) 評価結果

① 構造物への静的負荷

表に、軽油タンク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、全ての軽油タンクにおいて、許容堆積荷重は堆積荷重を上回っていることから、降下火砕物の荷重により、各軽油タンクの機能が喪失しないことを確認した。なお、燃料移送ポンプについては、別途防護対策を実施するなかで、堆積荷重を考慮した設計とする。

表 5-1 軽油タンクの堆積荷重評価結果（値は暫定値）

号機	評価対象構造物	評価対象部位	設計耐荷重 (N/m ²)	降下火砕物 堆積荷重 (N/m ²)	評価結果
K6	軽油タンク A,B	ラフタボルト部	約 13,000	8,542	○
K7	軽油タンク A,B	ラフタボルト部	約 13,000		○

② 構造物への化学的影響（腐食を含む）

軽油タンクの化学的影響については、外面塗装が施されており、直ちに機能を喪失することはない。（補足資料－４）

また、燃料移送ポンプの化学的影響については、当該ポンプ全体に常時カバーが設置されており、降下火砕物が燃料移送ポンプと直接接触する可能性は低いことから、直ちに機能を喪失することはない。

③換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響
（軽油タンク）

軽油タンクのベント管は、雪害対策として、ベント管開口部が下向きに取り付けられている。また、開口部はタンク屋根外側に位置しており、地上から約 10m の高さがあることから、想定される降下火砕物堆積量に対し、開口部閉塞には至らない。

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

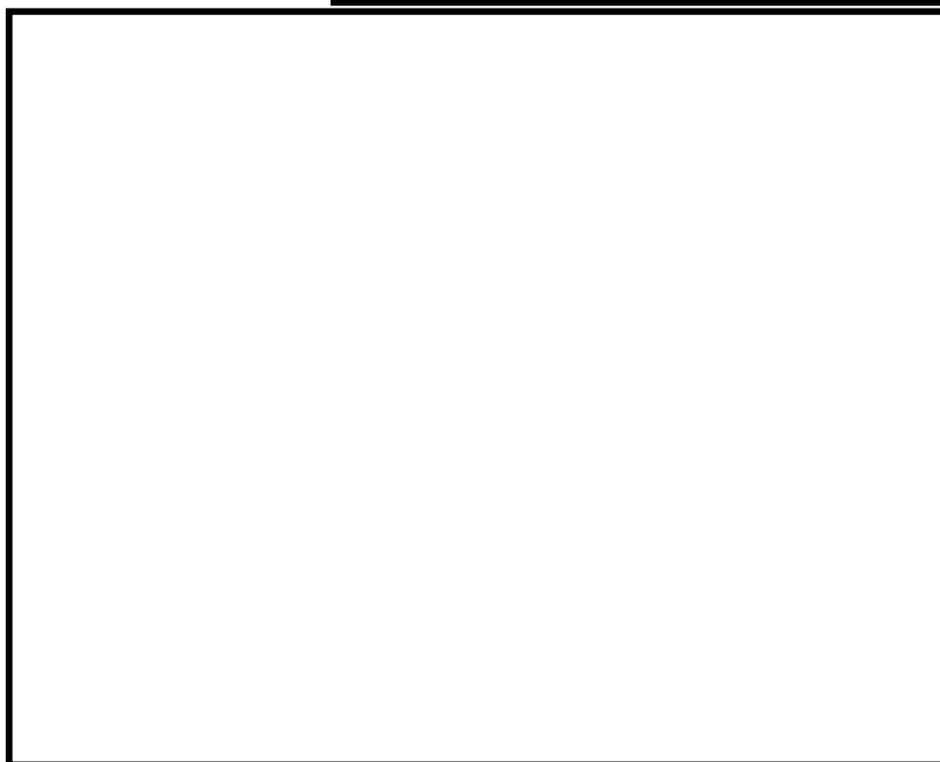


図 5-1 軽油タンク外形図

(燃料移送ポンプ)

ポンプ本体への異物混入経路としては、軸貫通部があるが、当該部はオイルリング等を用いて潤滑剤や内部流体の漏えいの無いよう適切に管理されていることから、火山灰がポンプ本体へ侵入することはない。

動力源となる電動機については「全閉外扇屋外型」であり、ケーシングの放熱フィン等に堆積した火山灰もしくは浮遊中の火山灰が冷却ファン側から吸入された場合でも電動機内部に火山灰が侵入することはない。

④換気系、電気系及び計装制御系に対する化学的影響（腐食）

上記のように、ポンプ本体及び電動機内部に火山灰が侵入することはないため影響はない。



図 5-2 燃料移送ポンプ外形写真

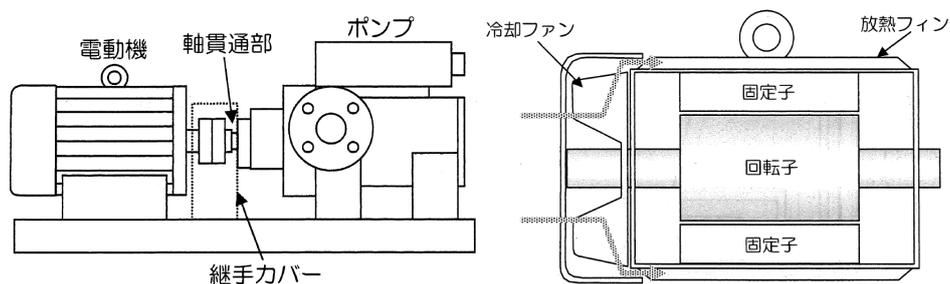


図 5-3 燃料移送ポンプ概略構造図

換気空調設備（外気取入口）に係る影響評価

降下火砕物による 非常用換気空調系（中央制御室換気空調系，非常用DG換気空調系，非常用DG/Z換気空調系，C/B計測制御電源盤区域換気空調系，熱交換器エリア換気空調系）（外気取入口）への影響について以下の通り評価した。

（1）評価項目

① 換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞，摩耗）

降下火砕物の換気空調設備（外気取入口）に対する，機器の機能に影響がないことを評価する。

② 換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響（腐食）

換気空調設備（外気取入口）に対する，化学的影響（内部腐食）によって，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発電所周辺の大気が換気空調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無いことを評価する。

（2）評価条件

① 降下火砕物条件

- ・ 粒径：8.0mm 以下

（3）評価結果

① 換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞，摩耗）

各評価対象設備の外気取入口には，ガラリ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%以上捕獲）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，給気を供給する系統および機器に対して降下火砕物が与える影響は少ない。

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交換することが可能である。

（補足資料7，14）

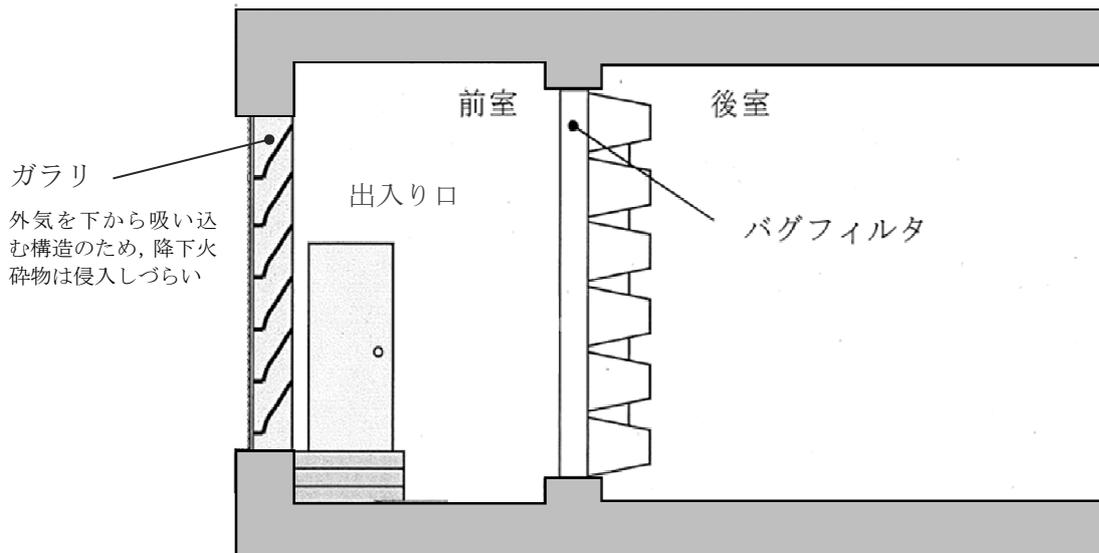


図 6-1 換気空調系の外気取入口イメージ図



図 6-2 非常用ディーゼル発電機換気空調系の外気取入口

② 換気系、電気系及び計装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、降下火砕物によって直ちに金属腐食を生じないことから、金属材料を用いることで換気空調設備（外気取入口）の機能に影響を与えにくい。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－9）

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設備によって空調管理されており、他の非常用空調設備と同様、外気取入口には、ガラリ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%以上捕獲）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。

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。

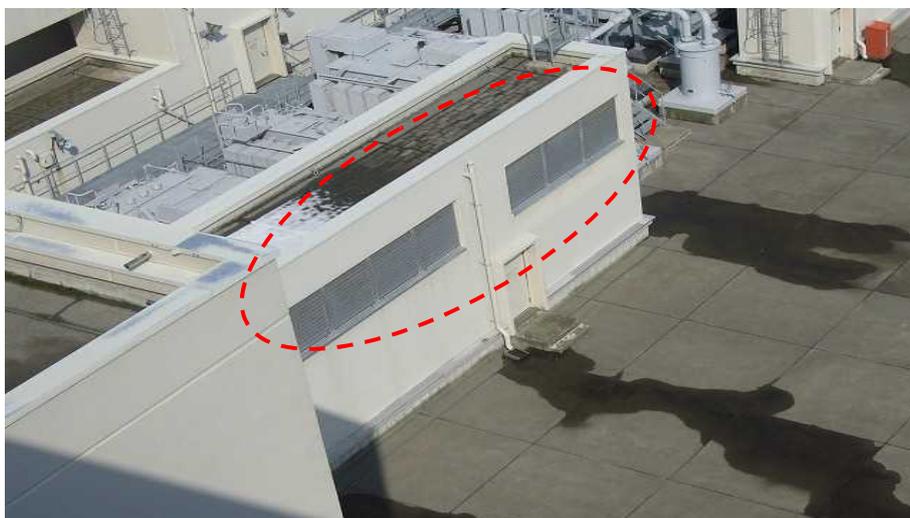


図 6-3 中央制御室換気空調設備の外気取入口

○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 18名
- ・ 中央制御室バウンダリ内体積 m³
- ・ 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 0.066m³/h・人（「空気調和・衛生工学便覧」の歩行でのO₂消費量）
- ・ 許容酸素濃度 18%以上（労働安全衛生規則）

【評価結果】

表 6-1 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	455 時間
酸素濃度	20.8%	20.7%	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 18名
- ・ 中央制御室バウンダリ内体積 m³
- ・ 空気流入はないものとする。
- ・ 初期二酸化炭素濃度 0.030%（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 0.030m³/h・人（「空気調和・衛生工学便覧」の軽作業でのCO₂排出量）
- ・ 許容二酸化炭素濃度 0.5%以下（労働安全衛生規則）

【評価結果】

表 6-2 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	158 時間
二酸化炭素濃度	0.07 %	0.11%	0.14%	0.50%

以上の結果から、158 時間外気取入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。

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より、取水設備が閉塞しないことを評価する。

② 水循環系の摩耗

降下火砕物が混入した海水を取水することに伴う、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：8.0mm 以下

（3）評価結果

① 水循環系の閉塞

取水設備（トラベリングスクリーンメッシュ幅 9mm）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メッシュ幅より小さく、また、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、除塵装置が閉塞することはない。

② 水循環系の摩耗

降下火砕物は破碎し易く、硬度が小さ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）

海水系の化学的影響については、取水設備は塗装等の対応を実施しており、海水と金属が直接接することはないため、直ちに腐食により取水設備の機能に影響を及ぼすことはない。

（補足資料－4）

安全保護系計装盤に係わる影響評価

降下火砕物による安全保護系計装盤への影響について以下のとおり評価する。

(1) 評価項目

①絶縁低下

降下火砕物が盤内に侵入する可能性及び侵入した場合の影響について評価する。

(2) 評価条件

- ・粒径：8.0mm 以下

(3) 評価結果

安全保護系計装盤については、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、換気に伴い、降下火砕物が計装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、非常用DG/Z換気空調系、中央制御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（数 μ m以上の粒子を補修可能）を介した換気空気を吸入している。従って、降下火砕物が大量に盤内に侵入する可能性は少なく、その付着により短絡を発生させる可能性はないため、安全保護系計装盤の安全機能が損なわれることはない。

(補足資料-11)

1. 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、以下の表に示す。

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
<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、新規制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>原子力発電所の運用期間中に火山活動が想定され、それによる設計対応不可能な火山事象が原子力発電所に影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価できない場合には、原子力発電所の立地は不適と考えられる。</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. 3 関連法規等</p> <p>本評価ガイドは、以下を参考としている。</p> <p>(1) 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成25年原子力規制委員会規則第5号）</p> <p>(2) 使用済燃料中間貯蔵施設の安全審査における「自然環境」の考え方について（平成20年10月27日原子力安全委員会了承）</p> <p>(3) 日本電気協会 「原子力発電所火山影響評価技術指針」（JEAG4625-2009）</p> <p>(4) IAEA Safety Standards “Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations” (No. SSG-21, 2012)</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」にそって、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"> ・ 立地評価 ・ 影響評価

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

2. 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の流れ

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。
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)

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。

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。

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。

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)

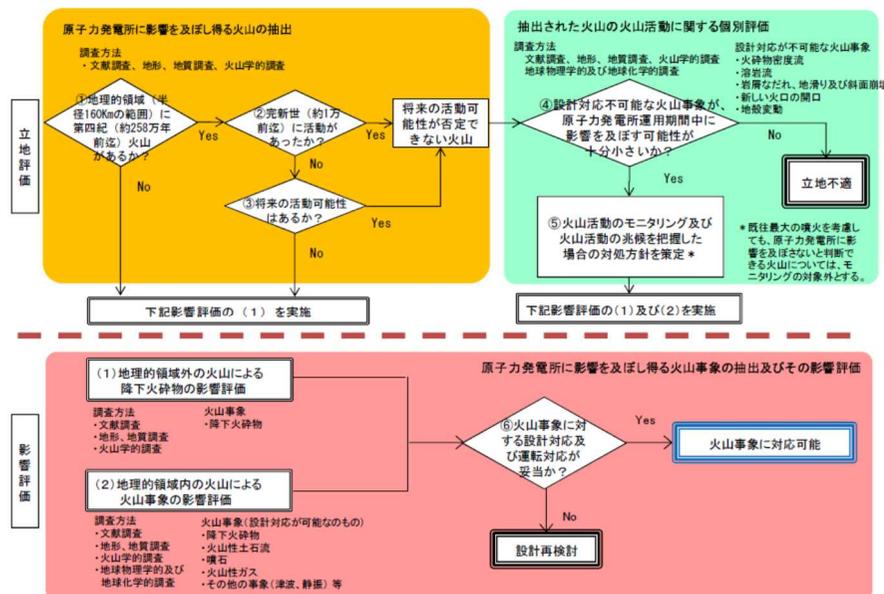


図1 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の基本フロー

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
<p>【立地評価】（項目名のみ記載）</p> <ul style="list-style-type: none">3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出3. 1 文献調査3. 2 地形・地質調査及び火山学的調査3. 3 将来の火山活動可能性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4. 1 設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価4. 2 地球物理学的及び地球化学的調査5. 火山活動モニタリング5. 1 監視対象火山5. 2 監視項目5. 3 定期的評価5. 4 火山活動の兆候を把握した場合の対処	<p>【立地評価】</p> <p>立地評価及び原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出の結果、降下火砕物（発電所敷地の層厚35cm）のみが柏崎刈羽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。</p> <p>（原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合にて別途審査中）</p> <p>よって、以降の評価は降下火砕物による影響評価について記す。</p>

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

6. 原子力発電所への火山事象の影響評価

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。

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。

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）

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）

以下に、各火山事象の影響評価の方法を示す。

表1 原子力発電所に影響を与える可能性のある火山事象及び位置関係¹⁾

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、気中及び水中の研磨性及び腐食性粒子	注2
2. 火砕物密度流：火砕流、サージ及びブラスト	動的な物理的負荷、大気の過圧、飛来物の衝撃、300℃超の温度、研磨性粒子、毒性ガス	160km
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. 岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊	動的な物理的負荷、大気の過圧、飛来物の衝撃、水のせき止め及び洪水	50km
5. 火山性土石流、火山泥流及び洪水	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	120km
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、水中の研磨性粒子	10km
7. 火山ガス	毒性及び腐食性ガス、酸性雨、ガスの充満した湖、水の汚染	160km
8. 新しい火口の開口	動的な物理的負荷、地盤変動、火山性地震	注3
9. 津波及び静振	水の氾濫	注4
10. 大気現象	動的過圧、落雷、ダウンバースト風	注4
11. 地殻変動	地盤変位、沈下又は隆起、傾斜、地滑り	注4
12. 火山性地震とこれに関連する事象	継続的微小、多重衝撃	注4
13. 熱水系及び地下水の異常	熱水、腐食性の水、水の汚染、氾濫又は涌昇、熱水変質、地滑り、カルスト及びサーモカルストの変異、水圧の急変	注4

（参考資料：IAEA SSG-21 及び JEAG4625）

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。

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。

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。

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、個々に検討を行う。

「影響評価」

6. 原子力発電所への火山事象の影響評価

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として、降下火砕物の堆積量を評価した。

考慮すべき降下火砕物の層厚は、文献調査、地質調査及びシミュレーション結果から35cmとした。

（原子力発電所の新規規制基準適合性に係る審査会合にて別途審査中）

原子力発電所の火山影響評価ガイド

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。

解説-15. 原子力発電所との位置関係について

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。

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。

6. 1 降下火砕物

(1) 降下火砕物の影響

(a) 直接的影響

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。

降雨・降雪などの自然現象は、火山灰等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。

(b) 間接的影響

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。

(2) 降下火砕物による原子力発電所への影響評価

降下火砕物の影響評価では、降下火砕物の堆積物量、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付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、17、18)

降下火砕物（火山灰）に対する設備影響

6. 1 降下火砕物

(1) 降下火砕物の影響

(a) 直接的影響

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。

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。

(b) 間接的影響

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。

(2) 降下火砕物による原子力発電所への影響評価

火山防護施設としては、安全重要度クラス 1, 2, 3 に属する構築物、系統及び機器とする。

火山防護施設のうち、本評価における対象としては、降下火砕物襲来時に必要な構築物、系統及び機器とし、その中から屋外設備、屋外との接続がある設備及び該当する設備を内包している建屋等を評価対象施設として抽出した。降下火砕物襲来時に必要な構築物、系統及び機器は、原子炉の高温・冷温停止、使用済燃料プール冷却・給水を維持するために必要な構築物、系統及び機器と設定した。

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
<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。</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"> ✓ 類似する火山の降下火砕物堆積物の情報を基に求める。 ✓ 対象となる火山の噴火量、噴煙柱高、全体粒度分布、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、並びに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。 	<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、タービン建屋、軽油タンク等の健全性が維持されることを確認した。</p> <p>②降下火砕物により、原子炉補機冷却海水ポンプ、海水ストレーナ、非常用ディーゼル発電機、取水設備等が閉塞等によりその機能を喪失しないことを確認した。</p> <p>③降下火砕物が外気取入口に侵入した場合であっても、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>④必要に応じ、建屋や屋外設備における降下火砕物の除去、換気空調系のフィルタの清掃・取り換えが可能な設計であることを確認した。</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プール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>

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
<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、原子力発電所への間接的な影響も含めて評価する。</p> <p>解説-18. 火山灰の特性としては粒度分布、化学的特性等がある。</p> <p>（6. 1～6. 13の項目については、項目名のみ記載）</p> <p>6. 1 降下火災物</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 津波及び清振</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>

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

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、及び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「表 1.5 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」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。

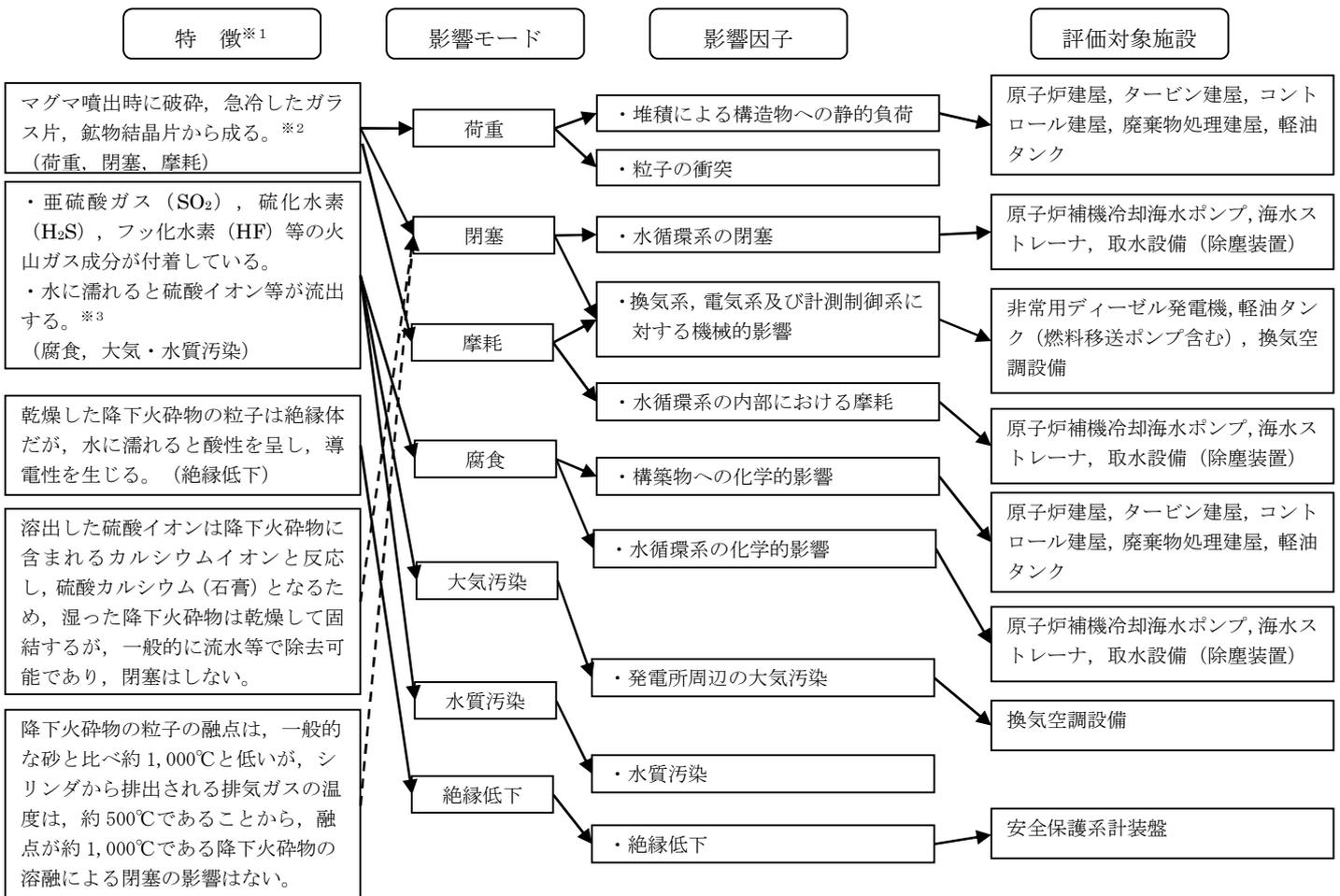


図 2-1 降下火砕物の特徴と影響因子

※ 1 : (参考文献) (内閣府) 広域的な火山防災対策に係る検討会 (第 3 回) (資料 2)

※ 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，桜島火山灰による金属腐食の程度は，実際の自然条件より厳しい条件においても表面厚さに対して十数 μm のオーダーの腐食。

<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 (1990 年) : 火山環境における金属材料の腐食

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

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^{※1}、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設備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閉塞が考えられるが、水循環系においては、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閉塞としては、換気空調系のフィルタの閉塞が考えられるが、換気空調系の外気取入口にはガラリが設置されており、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火山灰の侵入は減少すると考えられる。なお、侵入した火山灰は、換気空調系のフィルタによって除去されるが、湿った火山灰がフィルタに付着し固結した場合においても、フィルタの取り替えが可能なことから、固結による影響はない。

一方、評価対象設備に対して間接的な影響を与え得る事象としては、降下火砕物による排水路の閉塞時の降水事象が考えられる。ただし、評価対象設備に有意な影響を及ぼし得る大雨に対しては、雨水が排水路に流れ込むことで、降下火砕物は除去されるため影響はない。なお、少量の雨に対しては有意な影響を及ぼさないと考えられる。

3. 降下火砕物による摩耗について

水循環系において最も磨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、プラントの運用期間中において海水取水中に含まれる砂等の磨耗によるトラブルは発生していないこと、及び降下火砕物は、砂等に比べて硬度が低く、破碎し易いことから、降下火砕物による磨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（火山灰）と砂の破碎しやすさの違いについて

火山灰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、「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火山灰は、砂と比較して破碎しやすいと考えられる。

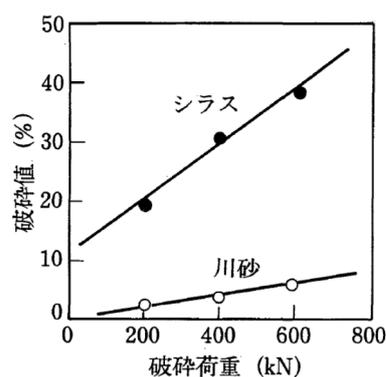


図-4 シラスの破碎試験結果

2 降下火砕物（火山灰）と砂及び設備材料の硬度の比較について

鉱物の硬度は搔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、降下火砕物の硬度は砂より低いいため、設備への影響は軽微と考える。

- ・火山灰の主成分は、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。
- ・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、プラント運用期間中において海水取水中に含まれる砂等による磨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、磨耗による設備への影響は軽微と考える。

4. 塗装による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。

原子力発電所には、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、アクリルシリコン樹脂、長油性フタル酸樹脂系等の塗料が複数層で塗布されており、酸性物質を帯びた降下火砕物が堆積したとしても、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、ポリウレタン樹脂、塩化ゴム等の耐食性塗料（樹脂ライニング含む）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。

なお、定期的に外観の点検を行い、塗装の状態についても確認を行っている。

表4-1 柏崎刈羽原子力発電所6, 7号炉における塗装の例

	下塗り	中塗り	上塗り
原子炉建屋 タービン建屋 コントロール建屋 廃棄物処理建屋	エポキシ樹脂 アクリルゴム	アクリルシリコン樹脂	アクリルシリコン樹脂
軽油タンク	鉛・クロムフリーさび止めペイント	長油性フタル酸樹脂	長油性フタル酸樹脂
海水ポンプ	エポキシ樹脂	－	ポリウレタン樹脂
除塵機	エポキシ樹脂	エポキシ樹脂	ポリウレタン樹脂

5. 積雪量の重畳の考え方について

設備影響評価における降下火砕物の条件としては、想定される降下火砕物の層厚を35cmとして、設定を行った。また、設計基準における積雪の条件は、規格・基準類として、建築基準法及び同施行令第86条第3項に基づく新潟県建築基準法施行細則で定められている積雪量、観測記録として、柏崎市に設置されている気象庁地域気象観測システム（アメダス）に記録されている日降雪量の最大値、及び観測記録をもとに算出した年超過確率（年超過頻度 10^{-4} /年）結果を参照し、設計基準積雪深を167cmと設定している。

一方、火山（降下火砕物）と積雪は相関性が低い事象の組み合わせであるため、重畳を考慮する際は、Turkstra 規則を適用する。Turkstra 規則の考え方は、建築基準法や、土木学会「性能設計における土木構造物に対する作用の指針」、国土交通省「土木・建築にかかる設計の基本」、ANSI(米国国家規格協会)等で採用されている。Turkstra 規則は、主たる作用（主事象）の最大値と、従たる作用（副事象）の任意時点の値（平均値）の和として作用の組み合わせを考慮する。単純性・保守性のために、主事象は設計基準で想定している規模、副事象はプラント寿命期間中に発生し得る程度の規模（年超過発生頻度 10^{-2} ）を想定する。この想定は、副事象として想定すべき任意時点の値（平均値）より厳しい値を想定することとなるため、保守性があると考える。

以上の考えをもとに、設計基準で想定している規模の火山灰（35cm）に重畳させる積雪量は、1日あたりの積雪量の年超過確率 10^{-2} /年の値（84.3cm）に最深積雪量の平均値（31.1cm）を合算した115.4cmとした。

なお、主事象を積雪、副事象を火山灰とした場合は、設計基準として想定している積雪量167cmに火山灰3.5cm*の荷重を重畳させることを想定するが、前者の荷重に包含される。

※火山灰については、確率論的評価を実施していないことから、副事象として想定する噴火規模は、設計基準規模として設定している噴火規模（VEI5）から1段階噴火規模を下げたVEI4相当として設定した。

柏崎市における積雪の観測記録

年超過確率の推定に使用するデータについては、発電所の最寄りの気象官署又はアメダスとする。従って、柏崎市に設置されているアメダスの観測記録から年超過確率を推定する。

表1 柏崎市における毎年の積雪観測記録

年	雪(寒候年・cm)		
	降雪の合計	日降雪の最大	最深積雪
1981	594 *	67 *	122 *
1982	224 *	32 *	34 *
1983	516	61	107 *
1984	951	51	171
1985	733	72	139
1986	966	64	162
1987	347	44	50
1988	446	37	75
1989	135	24	25
1990	227	49	59
1991	396	37	73 *
1992	84 *	29 *	26 *
1993	140	23	24
1994	315	43	62
1995	425	27	59
1996	523	39	78
1997	274	26	29
1998	272	37	42
1999	274	31	42
2000	350	40	63
2001	441	32	67
2002	170	41	36
2003	294	34	54
2004	240	36	43
2005	434	43	68
2006	461	40	53
2007	53	23	22
2008	250	24	34
2009	138	20	19
2010	427	66	105
2011	278	29	67
2012	514	35	111

値*：資料不足値

統計値を求める対象となる資料が許容する資料数を満たさない場合。

統計処理では、上記の観測記録を使用して評価を実施。

平均積雪量の算出

平均積雪量は、柏崎市のアメダスの観測記録から積雪があった日数（N）と、その日の最深積雪量（ S_{Ni} ）から算出する。

$$(\text{平均積雪量}) = \frac{1}{N} \sum_i S_{Ni}$$

上式は、積雪があった場合に平均的な積雪量を与える式となる。

柏崎市のアメダスの記録から、平均積雪量を計算すると以下の通りとなる。

観測期間：1980年11月1日～2013年3月31日

積雪のあった日数（N）：1,925日

積雪量の合計：59,766 cm

$$\text{平均積雪量} = \frac{59,766}{1,925} = 31.1 \text{ [cm]}$$

年超過確率の推定方法

1. 評価方法

年超過確率の推定は、気象庁の「異常気象リスクマップ」の確率推定方法を採用して評価を実施する[1]。

評価フローを以下に示す。

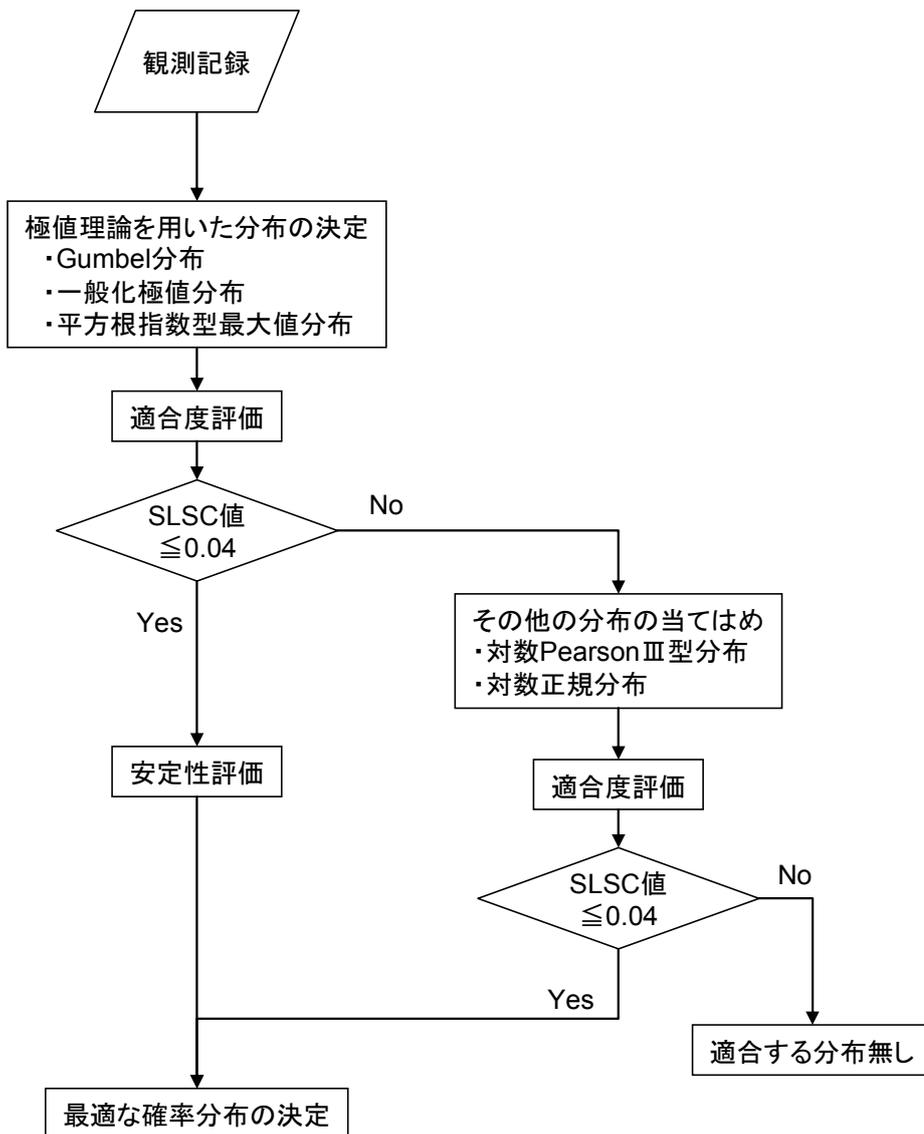


図1 年超過確率評価フロー

(1)確率分布の算出

観測記録から、観測値の平均、分散値等を算出し、確率分布を算出する。ここでは、極値理論からの分布や従来から使用されている分布等を用いて確率分布を決定する。

(2)適合度評価

算出した分布がどの程度、観測記録と適合しているかを確認し分布の適合度を評価する。

本評価では、分布の適合度を SLSC (Standard Least Squares Criterion) と呼ばれる指標で評価する。

SLSC は、観測値はプロットイングポジション公式と並べた場合と、確率分布から推定した場合との確率の差を指標化した値である。SLSC が小さいほど、適合度が高い。本評価では SLSC が 0.04 以下で適合していると判断する。

プロットイングポジション公式とは、経験的に求められた公式であり、いくつかの式が提案されているが、本評価においては以下の式を採用する。

$$T(i) = \frac{N + 0.2}{i - 0.4}$$

ここで、 N はデータの個数であり、大きい方から i 番目のデータの再現期間 $T(i)$ とする。

(3)安定性評価

(2)で分布の適合度を評価し、SLSC が 0.04 以下を満足した場合には、次に分布の安定性を評価する。現在得られている観測値をランダムにピックアップした場合に、結果が大きく変化しないことを評価する。本評価では安定性評価には Jack knife 法を用いる。

[1]気象庁 HP (http://www.data.kishou.go.jp/climate/riskmap/cal_qt.html)

2. 評価結果

表2 一日あたりの積雪量に対する年超過確率

	Gumbel 分布	平方根指数型 最大値分布	一般化 極値分布
SLSC	0.038	0.060	0.036

確率年	積雪量		
10	58.0	68.0	57.9
100	84.3	117.6	88.8
10000	135.9	249.8	165.2

確率年	Jack knife 推定誤差		
10	4.8	2.8	4.8
100	8.4	3.5	10.2
10000	15.9	5.0	43.7

積雪・火山灰堆積状態での地震発生時の影響評価について

1. 評価内容

自然現象の重畳評価において抽出された組合せ「雪・火山灰が堆積している状態での地震発生」についての評価を実施した。自然現象の重畳評価においては主事象（設計基準規模）×副事象（年超過発生確率 10^{-2} 規模）を想定することを基本としていることから、表 1 に示す 8 パターンを考慮した。

これらの組み合わせのうち、荷重の大きさ等の観点で代表性のある、主事象：地震，副事象：積雪の組み合わせ，及び主事象：火山灰，副事象：地震（ベース負荷：積雪）の 2 通りの評価を実施するものとする。代表性の判断の際の基準については表 2 に示す。

表 1 重畳評価ケース

No.	主事象 (設計基準規模)	副事象 (10^{-2} 規模)	ベース負荷 (平均規模)	備考
1	地震(Ss 等)	積雪(115.4cm)	—	—
2	地震(Ss 等)	火山灰(3.5cm)	積雪(31.1cm)	No.1 に包絡
3	風(40.1m/s)	火山灰(3.5cm)	積雪(31.1cm)	No.1 に包絡
4	風(40.1m/s)	積雪(115.4cm)	—	No.1 に包絡
5	火山灰(35.0cm)	地震(10^{-2} 相当地震動)	積雪(31.1cm)	—
6	積雪(167.0cm)	地震(10^{-2} 相当地震動)	—	No.5 に包絡
7	火山灰(35.0cm)	風(27.9m/s)	積雪(31.1cm)	No.5 に包絡
8	積雪(167.0cm)	風(27.9m/s)	—	No.5 に包絡

※ 除雪に期待できる施設は積雪荷重について除雪能力を考慮した値とする。

※ 火山灰については、確率論的評価を実施していないことから、副事象として考慮する場合は、設計基準規模として設定している噴火規模（VEI5）から 1 段階噴火規模を下げた VEI4 相当を考慮する。

表 2 水平荷重・堆積荷重の比較

a. 水平荷重

		せん断力(kN) (K6 R/B 躯体 38.2(m) - 49.7(m))	判定
比較 a-1	設計用地震力	43.35×10^3	地震 > 風
	風 (40.1m/s)	2.65×10^3	
比較 a-2	地震 (10^{-2} 相当地震動)	9.7×10^3	地震 > 風
	風 (27.9m/s)	1.29×10^3	

b. 堆積荷重

		堆積荷重 (N/m ²)	判定
比較 b-1	積雪(115.4cm)	3,393	積雪(115.4cm) > 火山灰(3.5cm) + 積雪 (31.1cm)
	火山灰(3.5cm) + 積雪(31.1cm)	1,429	
比較 b-2	積雪(167.0cm)	4,910	積雪(167.0cm) < 火山灰(35.0cm) + 積雪 (31.1cm)
	火山灰(35.0cm) + 積雪(31.1cm)	6,060	

2. 評価対象設備について

評価対象設備の抽出フローを図 1 に示す。地震の防護対象が耐震重要度分類 S,B,C クラス，積雪の防護対象が安全重要度クラス 1，2，3 であることから，地震と積雪・火山灰の重畳については，その両方に含まれる設備を評価対象とする。

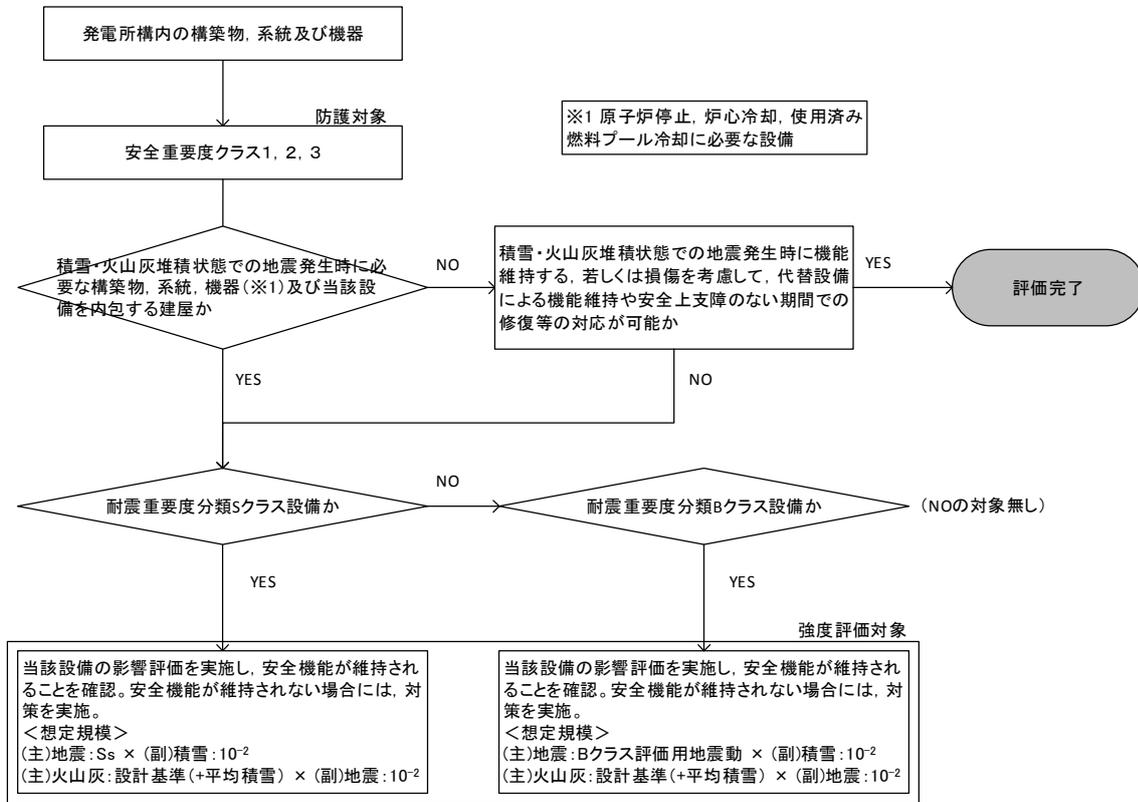


図 1 防護対象設備・評価対象設備の考え方

3. 安全施設の健全性評価結果

抽出された各評価対象設備（安全施設）の直上付近の屋根の健全性について確認した。屋根強度評価用の値は、除雪能力を考慮した値とする。

【主な評価対象設備】

建屋等	評価部位	評価対象設備	判定
R/B	R/B 屋根全体	使用済燃料プール等	○
C/B	C/B 屋根全体	中央制御室等	○
T/B	熱交換器エリア直上の屋根部分	非常用所内電源系，非常用所内電源系空調，原子炉補機冷却水系・原子炉補機冷却海水系	○
屋外	—	軽油タンク，非常用ディーゼル発電機燃料移送系	防護対策を実施

4. 重畳評価の保守性について

上記の副事象の規模の考え方（年超過発生頻度 10^{-2} 規模）については、Turkstra 規則における想定（平均的な値）よりもかなり保守的な設定としている。

年超過確率については、1年で特定の規模以上の事象が発生する確率となっていることから、例えば年超過確率 10^{-2} /年の規模（言い換えると100年に1回以上発生する確率が約63%の規模）は、平均的な規模（年に数回の規模）や年最大値の平均（おおよそ1年に1回の規模）よりも、一般的に大きくなると言える。

例として、本資料で対象としている地震と積雪の重畳について、同じく Turkstra 規則を参照している建築基準法における評価と比較したものを以下に示す。

表 3 組み合わせる積雪荷重について（建築基準法との比較）

	積雪の想定する規模	堆積積雪深
建築基準法 （建築物荷重指針・同解説(2004)）	地震との組合せを考慮する場合（短期荷重），平均的な積雪荷重を想定し，建築基準法施行令第 86 条に規定する積雪荷重によって生ずる力の 0.35 倍	柏崎市 $130\text{cm} \times 0.35 = 45.5\text{cm}$ 刈羽村 $170\text{cm} \times 0.35 = 59.5\text{cm}$
今回の重畳評価に採用する考え方	再現期間 100 年における最大値を想定	1 日当たり積雪量の年超過確率 10^{-2} の規模の値 84.3cm + 最深積雪量の平均値 $31.1\text{cm} = 115.4\text{cm}$

※建築基準法では上記の通り，簡易式（短期積雪荷重の 0.35 倍）により算出しているが，そこでの想定規模の考え方に基づいて，経験データから冬季の平均的な積雪量を算出した場合， 31.1cm となる。

6. 降下火砕物による送電鉄塔への影響について

送電鉄塔に使用されている碍子は、降下火砕物が堆積しにくい構造となっており、静的荷重の影響は受けにくく機能への影響を及ぼすことはない。

火山活動により大量の降下火砕物による影響が想定される場合には、開閉所の洗浄装置等で碍子の洗浄を実施するなど、事故の未然防止に努める。

7. 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

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、万一閉塞した場合の影響について、以下のとおり評価する。

1. 閉塞までに要する時間について

以下の想定時における非常用ディーゼル発電機の吸気フィルタの閉塞までの時間を試算したところ、約 58 時間運転が可能であるという結果を得た。

① 非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ灰捕集容量 (g/枚)	800
② フィルタ 1 枚当たりの定格風量 (m ³ /h)	4,250
③ 降下火砕物の大気中濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ※	3,241
④ 閉塞までの時間 (h) =①/②/③	58

※噴火による降下火砕物の大気中濃度に関する知見は少ないが、観測記録があるアイスランド南部エイヤヒャトラ氷河で発生(H22年4月)した火山噴火地点から約 40km 離れたヘイマランド地区における大気中の火山灰濃度値 (24 時間観測ピーク値) を参照した。

2. フィルタ交換, 清掃に必要な時間等について

非常用ディーゼル発電機のバグフィルタは 7 号炉で 46 枚, 6 号炉で 39 枚設置されており、フィルタ交換, 清掃には複雑な作業が必要ないことから、フィルタ交換, 清掃に要する時間は、要員 4 名で 4 時間程度を見込んでいる。

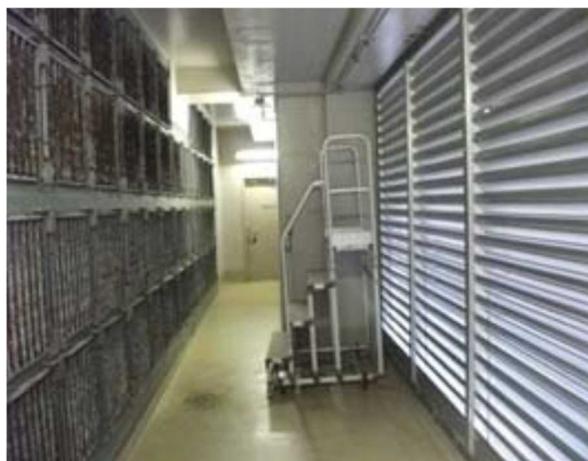


図 7-1 非常用ディーゼル発電機のバグフィルタ

3. その他

非常用ディーゼル発電機は1ユニットあたり3系統設置されており、もしフィルタが詰まったときには、1系統を停止し、フィルタの取替えや清掃を行うことが可能である。

8. 降下火砕物のその他設備への影響について

1. 評価対象設備

降下火砕物の影響を受ける可能性のある、その他設備について評価を実施する。

- (1)3号炉原子炉建屋内緊急時対策所
- (2)免震重要棟内緊急時対策所
- (3)排気筒（非常用ガス処理系）

2. 評価結果

(1) 3号炉原子炉建屋内緊急時対策所

3号炉原子炉建屋内緊急時対策所の評価として、3号炉原子炉建屋に対する、荷重評価を行ない、降下火砕物による静的負荷により機能を喪失することはないことを確認した。

降下火砕物堆積荷重：8,542N/m² < 許容堆積荷重：19,700 N/m²

また、大気汚染に対する居住性の観点から、外気取入遮断時の3号炉緊急時対策所の居住環境について「空気調和・衛生工学便覧 空調設備編」に基づき、酸素濃度及び二酸化炭素濃度について評価した。

○酸素濃度

【評価条件】

- ・在室人数 180名
- ・3号炉原子炉建屋内緊急時対策所バウンダリ内体積 m³
- ・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 0.066m³/h・人（「空気調和・衛生工学便覧」の歩行でのO₂消費量）
- ・許容酸素濃度 18%以上（労働安全衛生規則）

【評価結果】

表 8-1 3号炉原子炉建屋内緊急時対策所における酸素濃度の時間変化

時間	0時間	15時間	16時間
酸素濃度	20.95%	18.0%	17.8%

○二酸化炭素濃度

【評価条件】

- ・ 在室人数 180 名
- ・ 3号炉原子炉建屋内緊急時対策所バウンダリ内体積 m³
- ・ 空気流入はないものとする。
- ・ 初期二酸化炭素濃度 0.030%（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 0.030m³/h・人（「空気調和・衛生工学便覧」の軽作業でのCO₂排出量）
- ・ 許容二酸化炭素濃度 0.5%以下（労働安全衛生規則）

【評価結果】

表 8-2 3号炉原子炉建屋内緊急時対策所における二酸化炭素濃度の時間変化

時間	0 時間	5 時間	6 時間
二酸化炭素濃度	0.03 %	0.48%	0.57%

以上の結果から、3号炉原子炉建屋内緊急時対策所において、外気取入を遮断した場合においても、5時間程度の居住性が確保される結果となった。なお、本評価は保守的に外気取入を遮断して評価をしているが、間欠して建屋内の空気や外気を取入れること、並びに、要員を免震重要棟内緊急時対策所に分散配置することで、3号炉原子炉建屋内緊急時対策所の居住環境がより長時間維持される。

(2) 免震重要棟内緊急時対策所

免震重要棟内緊急時対策所の評価として、免震重要棟に対する、荷重評価を行わない、降下火砕物による静的負荷により機能を喪失することはないことを確認した。

$$\text{降下火砕物堆積荷重} : 8,542\text{N/m}^2 < \text{許容堆積荷重} : 14,800 \text{ N/m}^2$$

また、大気汚染に対する居住性の観点から、外気取入遮断時の免震重要棟内緊急時対策所の居住環境について「空気調和・衛生工学便覧 空調設備編」に基づき、酸素濃度及び二酸化炭素濃度について評価した。

○酸素濃度

【評価条件】

- ・ 在室人数 176 名

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

- ・ 免震重要棟内緊急時対策所バウンダリ内体積 m³
- ・ 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 0.066m³/h・人（「空気調和・衛生工学便覧」の歩行でのO₂消費量）
- ・ 許容酸素濃度 18%以上（労働安全衛生規則）

【評価結果】

表 8-3 免震重要棟内緊急時対策所における酸素濃度の時間変化

時間	0 時間	28 時間	29 時間
酸素濃度	20.95%	18.0%	17.9%

○二酸化炭素濃度

【評価条件】

- ・ 在室人数 176 名
- ・ 免震重要棟内緊急時対策所バウンダリ内体積 m³
- ・ 空気流入はないものとする。
- ・ 初期二酸化炭素濃度 0.030%（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 0.030m³/h・人（「空気調和・衛生工学便覧」の軽作業でのCO₂排出量）
- ・ 許容二酸化炭素濃度 0.5%以下（労働安全衛生規則）

【評価結果】

表 8-4 免震重要棟内緊急時対策所における二酸化炭素濃度の時間変化

時間	0 時間	9 時間	10 時間
二酸化炭素濃度	0.03 %	0.47%	0.51%

以上の結果から、免震重要棟内緊急時対策所において、外気取入を遮断した場合においても、9時間程度の居住性が確保される結果となった。なお、本評価は保守的に外気取入を遮断して評価をしているが、間欠して建屋内の空気や外気を取入れること、並びに、要員を3号炉原子炉建屋内緊急時対策所に分散配置することで、免震重要棟内緊急時対策所の居住環境がより長時間維持される。

(3) 排気筒（非常用ガス処理系）

排気筒内に降下火砕物が侵入することにより、非常用ガス処理系配管が閉塞しないことを評価する。

○評価結果

排気筒内に設置されている非常用ガス処理系の配管内には、降下火砕物が侵入する可能性があるが、配管頂部は閉止されている。また、当該系統からの空気は、配管頂部付近にある配管側面に設けられた開口より放出する構造となっており、降下火山灰は配管内に侵入しづらく、閉塞する可能性は少ないと考えられる。

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

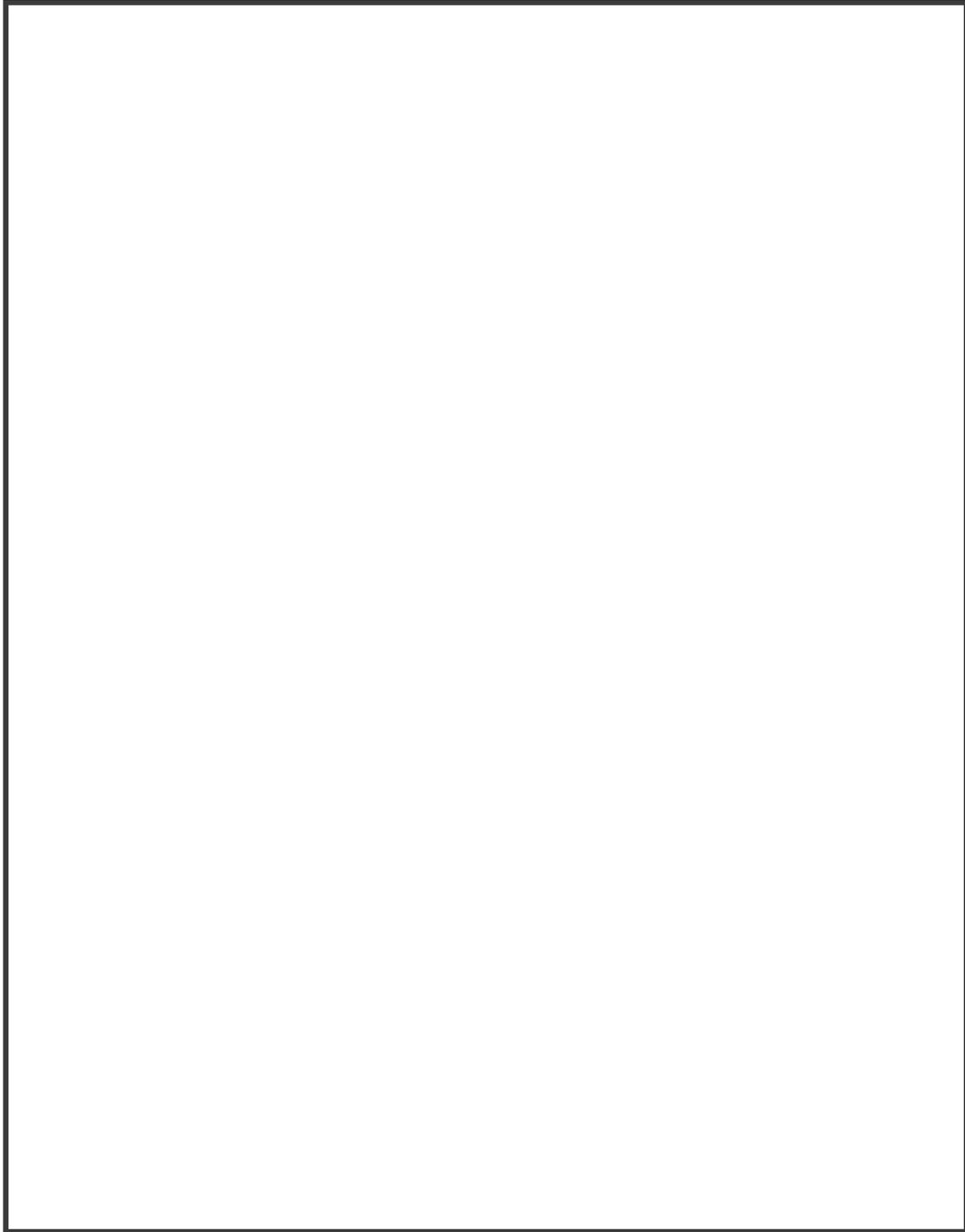


図 8-1 排気筒及び排気筒内非常用ガス処理系配管外形図

【参考】酸素消費量及び二酸化炭素排出量

○「空気調和・衛生工学便覧」成人呼吸量（酸素消費量換算に使用）

作業	呼吸数（回/min）	呼吸量（L/min）
仰が（臥）	14	5
静座	16	8
歩行	24	24
走行（150m/min）	40	64
走行（300m/min）	45	100

$$\text{酸素消費量}^* = 24(\text{L/min}) \times (0.2095 - 0.1640) = 1.092(\text{L/min}) \div 0.066(\text{m}^3/\text{h})$$

※空気調和・衛生工学便覧における酸素消費量換算式

○「空気調和・衛生工学便覧」労働強度別CO₂吐出し量

作業程度	エネルギー代謝率 RMR	作業例 （産業衛生学会誌より）	CO ₂ 吐出し量 （m ³ /h）
安静時	0	—	0.013
極軽作業	0～1	電話応対（座位）0.4，記帳0.5，計器監視（座位）0.5，ひずみとり（ハンマーで軽く，98回/分）0.9，自動車運転1.0	0.022
軽作業	1～2	旋盤（ベアリング，0.83分/個）1.1，監視作業（立位）1.2，平地歩行（ゆっくり，45m/分）1.5，歩行（普通，71m/min）2.1	0.030
中等作業	2～4	丸のこ 2.5，歩行（速足，95m/分）3.5，自転車（平地，170m/分）3.4	0.046
重作業	4～7	びょう打ち（1.3本/分）4.2，階段歩行（昇り，45m/分）6.5	0.074

9. 火山灰の金属腐食研究

桜島火山灰による金属腐食研究結果を柏崎刈羽原子力発電所における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

火山灰による金属腐食については、主として火山ガス (SO_2) が付着した火山灰の影響によるものである。

火山灰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、実火山灰である桜島火山灰を用いて、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 (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り、火山灰の腐食成分濃度を高濃度で模擬した腐食試験結果であることから、柏崎刈羽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、火山灰を水で洗浄し、可溶性の成分を除去した後、金属試験片に堆積させ、高濃度の 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

図に示すとおり、火山灰の堆積量が多い場合は、火山灰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が、腐食量は表面厚さにして十数 μm 程度との結果が得られ、火山灰層では結露しやすいこと、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。

(3) 試験結果からの考察

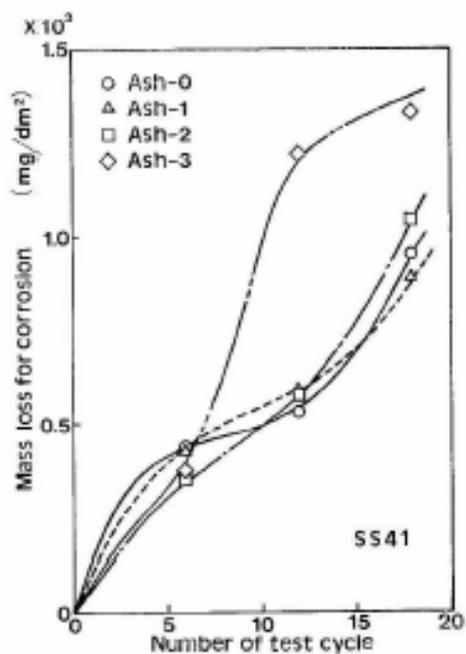
火山灰による腐食については、主として火山ガスが付着した火山灰の影響によるものであり、本研究においては、金属試験片の表面に火山灰を置き、実際の火山環境を模擬して高濃度の SO_2 雰囲気中で暴露し、腐食実験を行っている

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^{*}で金属腐食量を求めており、柏崎刈羽原子力発電所で考慮する火山灰についても十分適用可能である。

【※参考】

- ・ 三宅島火山の噴火口付近の観測記録：20～30ppm
（「宅島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）



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 9-1 SS41 の腐食による腐食変化

10. 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

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。降下火砕物の付着による冷却機能への影響はない。

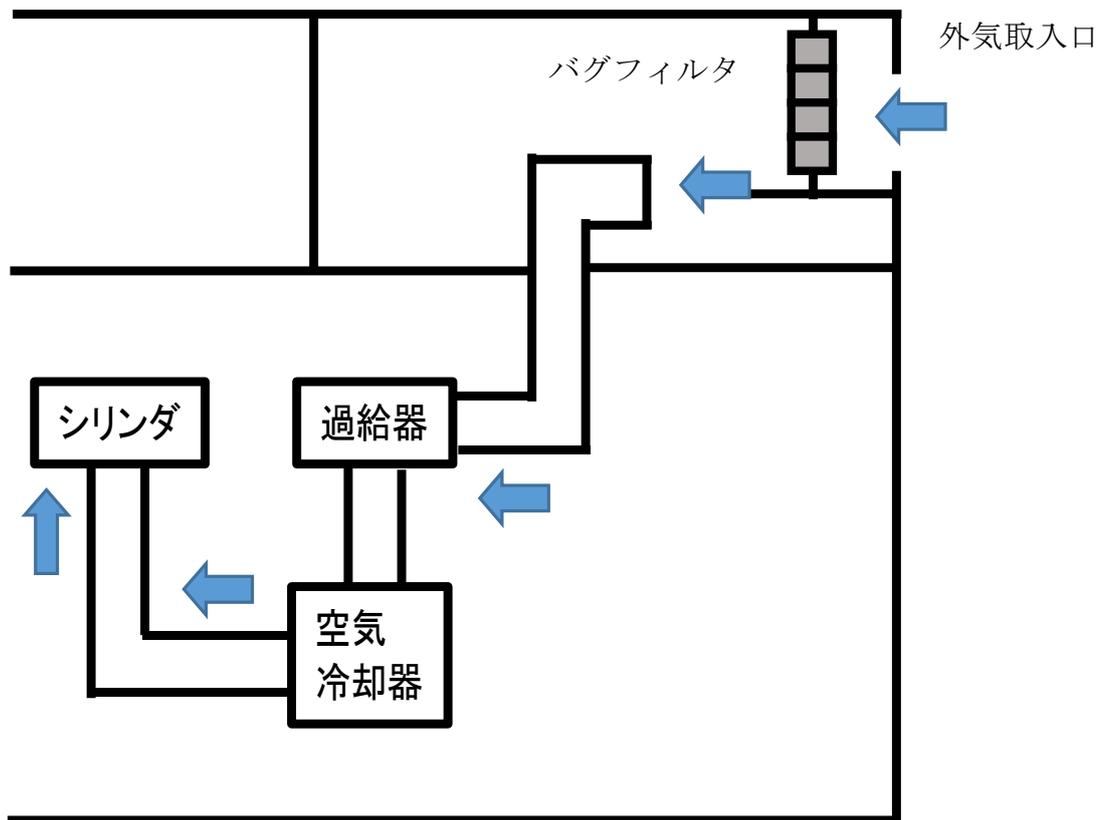


図 10-1 非常用ディーゼル機関給気系概略系統構造図

11. 安全保護系計装盤への降下火砕物の影響

降下火砕物の建屋内侵入については、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、粒径約 $2\mu\text{m}$ 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。

安全保護系の盤については、非常用DG/Z換気空調系または中央制御室換気空調系にて管理されており、外気取り入れ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、安全保護系の計装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

非常用DG/Z換気空調系及び中央制御室換気空調系の外気取入口にはバグフィルタ（主として粒径が $2\mu\text{m}$ より大きい粒子を除去）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. 計装盤に対する降下火砕物の影響

計装盤等において、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。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、直ちに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。

12. 6号機及び7号機の建屋及び屋外タンクの降灰除去について

火山灰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以下に示す。

表 12-1 除灰に要する概算時間

項目	評価諸元	
①堆積面積(m ²)	原子炉建屋	6200
	タービン建屋 (熱交換器建屋含む)	15600
	廃棄物処理建屋	2500
	コントロール建屋	2400
	軽油タンク	400
	免震重要棟	1900
	緊急時対策所	3600
	合計	32600
②堆積厚さ(m)	0.35	
③堆積量=①×②(m ³)	約 11500	
④1m ³ 当たりの作業人工 [*] (人/日)	0.39	

1. 作業量(上記のとおり)

$$0.39 \text{ 人/日} \cdot \text{m}^3 \times 11500 \text{m}^3 = \text{約 } 4500 \text{ 人日}$$

2. 作業日数 (試算例)

(1)作業人数：300人 (6人/組×50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

13. アクセスルートにおける降下火砕物除去作業の検証実験

1. ホイールローダ仕様

- 最大けん引力 : 14.17t
- バケット全幅 : 2,700mm
- 走行速度(1速) : 前進・後進 0～8km/h

2. 降灰除去速度の算出

<降灰条件>

- 厚さ : 35cm
- 単位体積重量 : 1.5t/m³

<除去方法>

アクセスルート上に降り積もった火山灰を、ホイールローダで道路脇へ押し出し除去する。一回の押し出し可能量を 11.3t とし、11.3t の火山灰を集積し、道路脇へ押し出す作業 1 サイクルとして繰り返す。

1 回の集積で進める距離 X

$$= 11.3\text{t} \div (\text{火山灰厚さ } 0.35\text{m} \times \text{幅 } 2.7\text{m} \times 1.5\text{t/m}^3)$$

$$= 7.97\text{m} \approx 7.9\text{m}$$

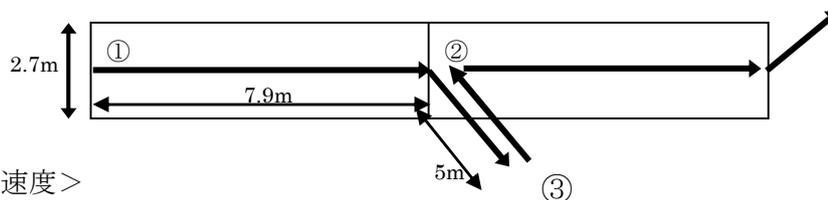
1 サイクル当りの作業時間は、1 速の走行速度(0～8km/h)の平均 4km/h で作業すると仮定して

A : 押し出し(①→②→③) : $(7.9\text{m} + 5\text{m}) \div 4\text{km/h} = 11.6 \text{ 秒} \approx 12 \text{ 秒}$

B : ギア切り替え : 3 秒

C : 後進 : (③→②) : $5\text{m} \div 4\text{km/h} = 4.5 \text{ 秒} \approx 5 \text{ 秒}$

1 サイクル当りの作業時間 (A + B + C) = 12 秒 + 3 秒 + 5 秒 = 20 秒



<降灰除去速度>

$$1 \text{ サイクル当りの除去延長} \div 1 \text{ サイクル当りの除去時間}$$

$$= 7.9\text{m} \div 20 \text{ 秒} = 0.395\text{m/秒} = 1.422\text{km/h} \approx 1.4\text{km/h}$$

3. まとめ

- 火山灰の除灰速度について、1.4km/h とする。

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

①大湊側高台保管場所からのルートで仮復旧に要する時間が最も長いルート

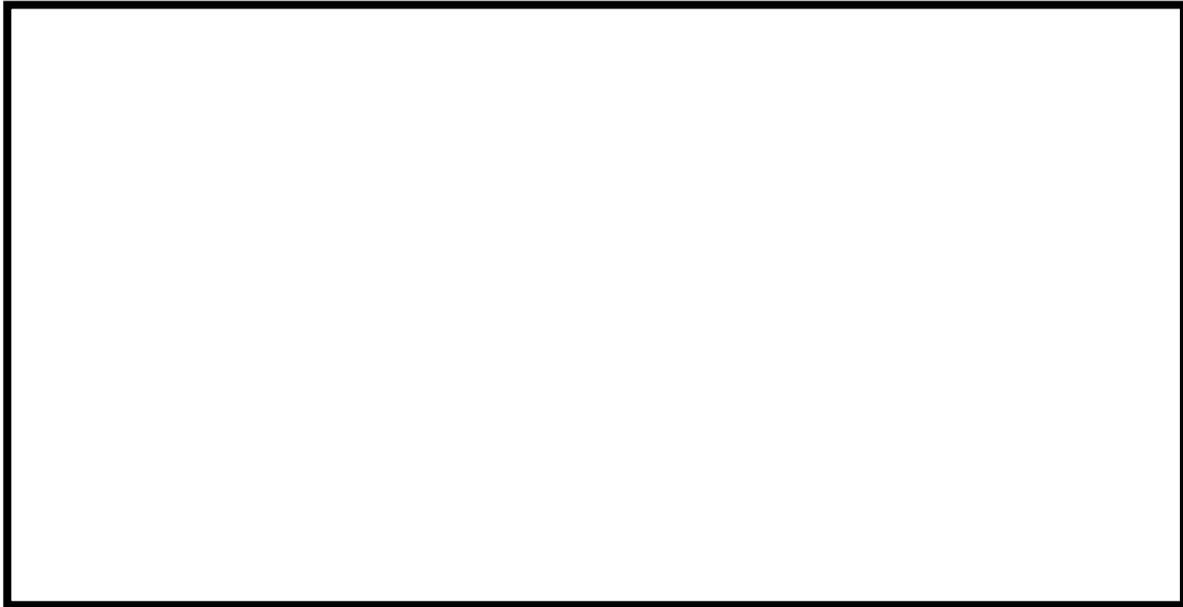


区間	距離(約m)	時間評価項目	速度(km/h)	所要時間(分)	累積(分)
①→②	2,895	徒歩移動	4	44	44
②→③→④	1,008	降灰除去	1.4	44	88
④→③	147	移動	15	1	89
③→⑤→⑥	300	降灰除去	1.4	13	102
⑥→⑤	157	移動	15	1	103
⑤→⑦	800	降灰除去	1.4	35	138

図 13-1 大湊側高台保管場所からの降灰除去ルート及び仮復旧時間

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

②荒浜側高台保管場所からのルートでの仮復旧に要する時間が最も長いルート



区間	距離(約m)	時間評価項目	速度(km/h)	所要時間(分)	累積(分)
①→②	1,666	徒歩移動	4	25	25
②→③→④→⑤	2,155	降灰除去	1.4	93	118
⑤→④→③	208	移動	15	1	119
③→⑥→⑦	238	降灰除去	1.4	11	130
⑦→⑥	157	移動	15	1	131
⑥→⑧	800	降灰除去	1.4	35	166

図 13-2 荒浜側高台保管場所からの降灰除去ルート及び仮復旧時間

※代替緊急時対策所からの移動・作業も想定されるが、仮復旧に要する時間が長い免震重要棟からの時間を算出した。また、参考にサブルートにおける仮復旧に要する時間を算出した結果、大湊側高台保管場所、荒浜側高台保管場所からのルートでそれぞれ 142 分、274 分であった。

14. 降下火砕物降灰時のバグフィルタ取替についての手順

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。

- ・フィルタの取替作業はガラリ内にて行うため、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、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、周囲の火山灰を清掃する。
- ・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、火山灰の再浮遊の影響を低減させるため、作業エリアの火山灰は清掃する。

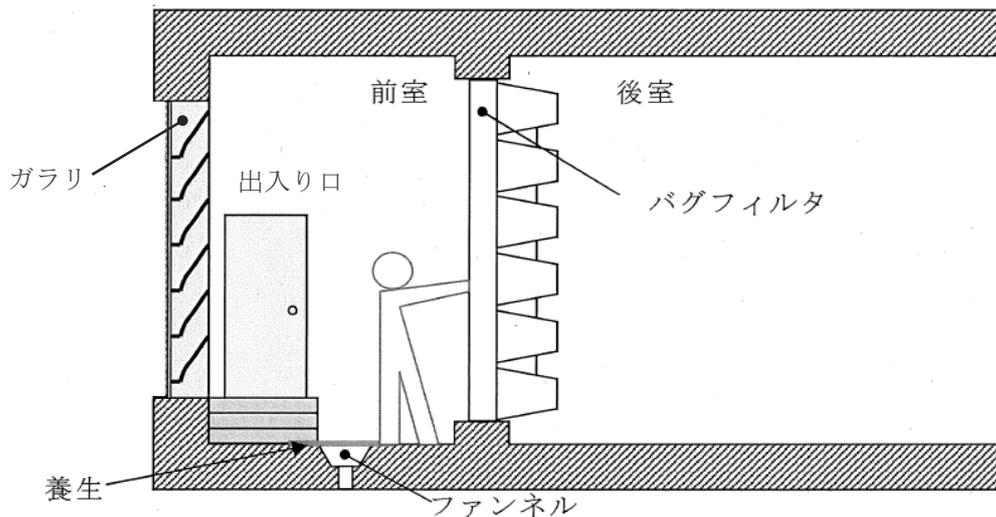


図 14-1 バグフィルタの清掃・取替イメージ

15. 観測された諸噴火の最盛期における噴出率と継続時間

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。

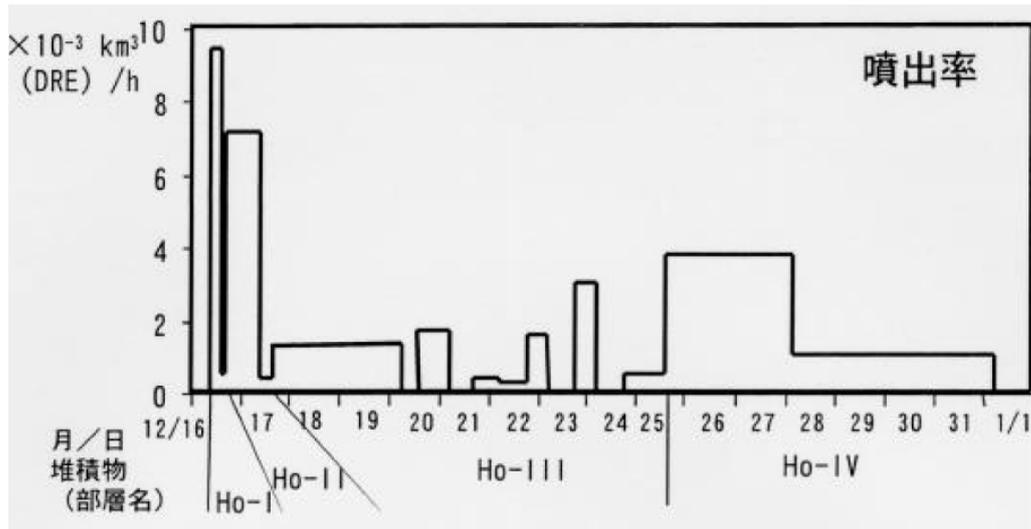


図 15.1 富士山（宝永噴火 1707 年）の噴出率の推移（宮地 他（2007））

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 15-1 観測された諸噴火最盛期における噴出率と継続時間

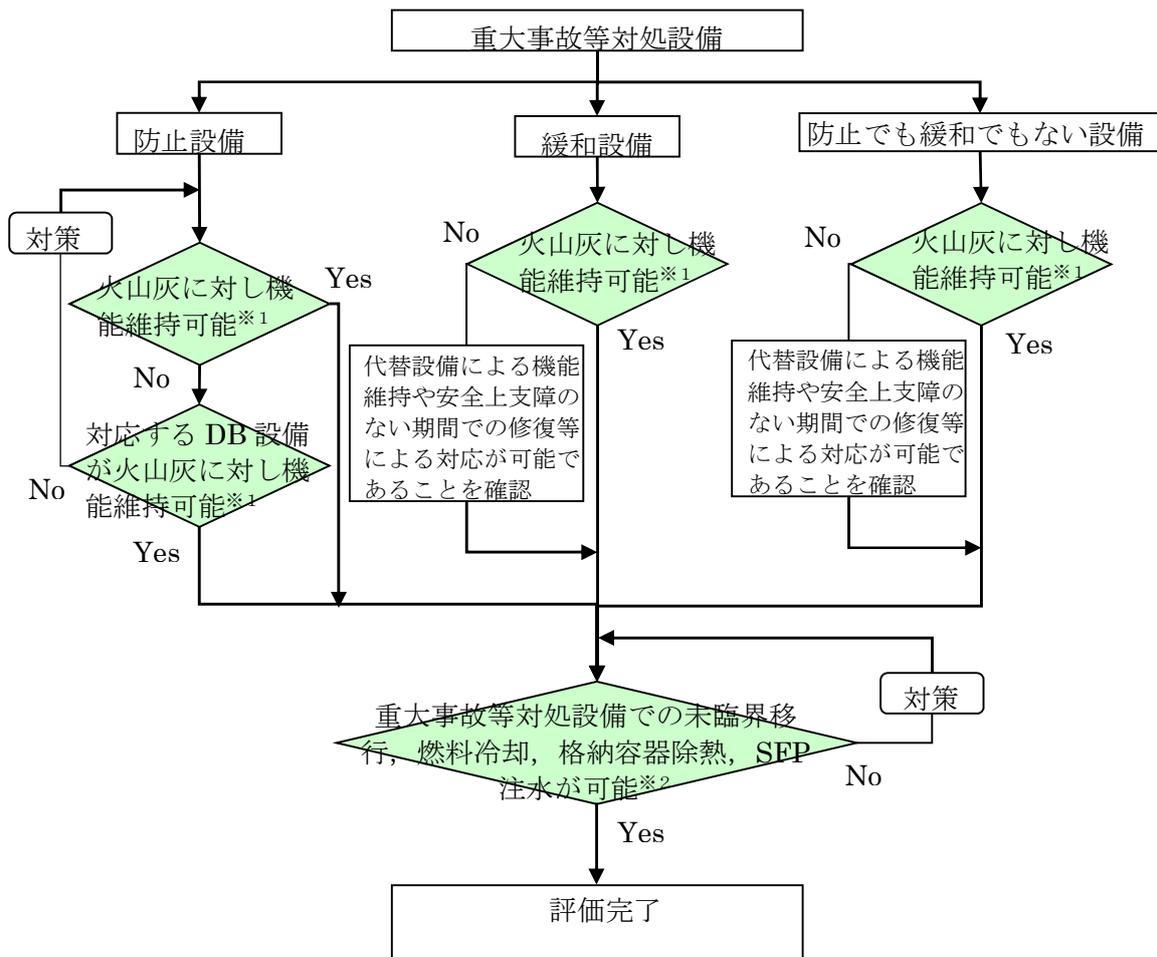
噴 火 年 (地域名)	噴煙柱高度 (km)	噴 出 率 (m ³ /s)	継続時間 (h)
Pinatubo 1991 (フィリピン)	35	250,000	9
Bezymianny 1956 (カムチャツカ)	36	230,000	0.5
Santa Maria 1902 (グアテマラ)	34	17,000-38,000	24-36
Hekla 1947 (アイスランド)	24	17,000	0.5
Soufriere 1979 (西インド諸島)	16	6,200	9
Mt. St. Helens 1980 (アメリカ合衆国)	18	12,600	0.23
伊豆大島 1986 (伊豆)	16	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 (#)	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

16. 重大事故等対処設備への考慮

設計基準事象に対して耐性を確保する必要があるのは設計基準事故対処設備であり、重大事故等対処設備ではないが、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が同時にその機能が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といった観点から、代替手段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。

- (1) 重大事故防止設備は、外部事象によって設計基準設備の安全機能と同時にその機能が損なわれる恐れのないこと
- (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、代替設備も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設備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、タービン建屋、コントロール建屋、廃棄物処理建屋、免震重要棟※3、3号炉緊急時対策所）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設備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。

※3：Ss地震には機能喪失する可能性は否定できないが、降下火砕物の荷重が作用した場合における健全性を確認。

図 16-1 降下火砕物に対する重大事故等対処設備の評価フロー

表 16-1 重大事故等に対処するための機能を有する設備の影響評価（1 / 5）

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設備設置箇所	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）	ホイールローダ	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（適切に除灰する。）
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）	代替制御棒挿入機能	防止設備	R/B	○	建屋内
	代替冷却材再循環ポンプ・トリップ機能	防止設備	R/B	○	建屋内
	ほう酸水注入系	防止設備	R/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）	原子炉隔離時冷却系	（設計基準対象施設）	R/B	○	建屋内
	高圧代替注水系	防止設備	R/B	○	建屋内
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）	代替自動減圧機能	防止設備	R/B	○	建屋内
	減圧制御 [自動減圧系の起動阻止スイッチ]	防止設備	R/B	○	建屋内
	高圧窒素ガスポンプ(供給系配管含む)	防止設備	R/B	○	建屋内
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） [MWC ポンプ]	防止設備・緩和設備	Rw/B	○	建屋内
	低圧代替注水系（可搬型） [消防車]	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし（適切に除灰する。）
	低圧代替注水系（可搬型）（常設箇所） [消防車接続口、配管等]	防止設備・緩和設備	屋外 R/B 廻り	○	影響なし
	低圧代替注水系（常設箇所） [原子炉圧力容器（注入先）、配管等]	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内

○: 各外部事象に対し安全機能を維持できる
 又は各外部事象による損傷を考慮した場合でも、対応する DB 設備が各外部事象に対し安全機能を維持できる(防止設備)
 又は各外部事象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 16-1 重大事故等に対処するための機能を有する設備の影響評価 (2 / 5)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	設備設置箇所	火山		
					評価	防護方法	
第 48 条 (最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備)	代替原子炉補機冷却系 (可搬部) [代替 Hx 設備一式]		防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし (適切に除灰する。)	
	代替原子炉補機冷却系 (常設箇所) [代替 Hx 接続口、配管等]		防止設備・緩和設備	屋外 T/B 廻り	○	影響なし	
	代替原子炉補機冷却系 (常設箇所) [原子炉補機冷却系配管、Hx 等]		防止設備・緩和設備	R/B T/B	○	建屋内	
	真空破壊弁 (S/C→D/W)		防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内	
	耐圧強化ベント系 (W/W 及び D/W)		防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内	
	格納容器圧力逃がし装置 [フィルタベント]		→50 条に記載 (うち、防止設備)		—	—	
	代替格納容器圧力逃がし装置 [地下式フィルタベント]		→50 条に記載 (うち、防止設備)		—	—	
第 49 条 (原子炉格納容器内の冷却等のための設備)	代替格納容器スプレィ冷却系 [MUWC 代替スプレィ]		防止設備・緩和設備	Rw/B R/B	○	建屋内	
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)	格納容器圧力逃がし装置	フィルタ装置、よう素フィルタ、配管等	防止設備・緩和設備 防止でも緩和でもない設備	屋内・屋外	○	設計荷重に対して影響ないことを確認	
		フィルタベントライン計装 [水素濃度計、放射線モニタ等]	防止設備・緩和設備 防止でも緩和でもない設備	R/B, 屋外 R/B 廻り	○	建屋内 (格納容器圧力逃がし装置側水素濃度計) 及び代替設備 (耐圧強化ベント用放射線検出器)	
		格納容器圧力逃がし装置スクラパ水 pH 制御設備 (可搬型)	緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし (適切に除灰する。)	
		窒素供給装置 (可搬型)	緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし (適切に除灰する。)	
	代替格納容器圧力逃がし装置	フィルタ装置、よう素フィルタ、配管等	防止設備・緩和設備 防止でも緩和でもない設備	屋内・屋外 (地下設置)	○	影響なし (屋内・地下)	
		代替フィルタベントライン計装 [水素濃度計、放射線モニタ等]	防止設備・緩和設備 防止でも緩和でもない設備	屋内・屋外 (地下設置)	○	影響なし (屋内・地下)	
		代替格納容器圧力逃がし装置葉液タンク	緩和設備	屋外 (地下)	○	影響なし (地下)	
		窒素供給装置 (可搬型)	緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし (適切に除灰する。)	
	代替循環冷却	復水移送ポンプ		→47, 49 条に記載 (うち、緩和設備)		—	—
		代替 Hx 設備一式 (可搬部)、配管等		→48 条に記載 (うち、緩和設備)		—	—
		代替循環冷却用設備 (常設)		緩和設備	R/B, T/B, Rw/B	○	建屋内
		真空破壊弁 (S/C→D/W)		→48 条に記載 (うち、緩和設備)		—	—
	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)	格納容器下部注水系 (常設)		緩和設備	Rw/B	○	建屋内
格納容器下部注水系 (可搬型) [消防車]		緩和設備	屋外	○	影響なし (適切に除灰する。)		
格納容器下部注水系 (可搬型) (常設箇所) [消防車接続口、配管等]		緩和設備	屋外 R/B 廻り	○	影響なし		
格納容器下部注水系 (常設箇所) [復水補給水系配管等]		緩和設備	R/B Rw/B	○	建屋内		
格納容器下部注水系 (常設箇所) [原子炉格納容器 (注入先)]		→49 条に記載 (うち、緩和設備)		—	—		

○: 各外部事象に対し安全機能を維持できる
 又は各外部事象による損傷を考慮した場合でも、対応する DB 設備が各外部事象に対し安全機能を維持できる (防止設備)
 又は各外部事象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 16-1 重大事故等に対処するための機能を有する設備の影響評価 (3 / 5)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設備設置箇所	火山	
				評価	防護方法
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)	格納容器内の水素濃度監視設備 [格納容器水素濃度系 (SA) 格納容器酸素濃度計]	緩和設備	R/B	○	建屋内
	格納容器圧力逃がし装置	→50 条に記載		—	—
	代替格納容器圧力逃がし装置	→50 条に記載		—	—
	耐圧強化ベント系 (W/W)	→48 条に記載 (窒素供給装置 (可搬型) は 50 条に記載)		—	—
	耐圧強化ベント系 [耐圧強化ベント系放射線モニタ, フィルタ装置水素濃度計]	防止設備・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器 [PAR]	緩和設備	R/B	○	建屋内
	原子炉建屋水素濃度監視設備	緩和設備	R/B	○	建屋内
	原子炉建屋水素濃度計	緩和設備	R/B	○	建屋内
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 (可搬型) [消防車]	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし (適切に除灰する。)
	燃料プール代替注水系 (可搬型) (常設箇所) [消防車接続口、配管等]	防止設備・緩和設備	屋外 R/B 廻り	○	影響なし
	燃料プール代替注水系 (常設箇所) [配管、弁等]	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
	使用済燃料貯蔵プールの水位、プール水温度	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
	使用済燃料貯蔵プール放射線モニタ	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
	使用済燃料貯蔵プール監視カメラ	防止でも緩和でもない設備	R/B	○	建屋内
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)	放水設備一式 [大容量送水車、放水砲]	緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし (適切に除灰する。)
	放射性物質吸着剤	緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし (適切に除灰する。)
	海洋への拡散抑制設備 [汚濁防止膜]	緩和設備	屋外固体廃棄物処理建屋廻り	○	影響なし (適切に除灰する。)
	海洋への拡散抑制設備 [汚濁防止膜設置のための小型船舶]	緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし (適切に除灰する。)
	泡消火設備 [泡原液搬送車、泡原液混合装置]	緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし (適切に除灰する。)
第 56 条 (重大事故等の収束に必要な水の供給設備)	復水貯蔵槽	防止設備・緩和設備	Rw/B	○	建屋内
	サプレッション・プール	緩和設備	R/B	○	建屋内
	防火水槽	— (代替淡水源)	屋外 (地下埋設)	○	影響なし (地下)
	淡水貯水池	— (代替淡水源)	淡水貯水池	○	影響なし
	淡水貯水池～ 防火水槽移送ホース	防止設備・緩和設備	地下敷設	○	影響なし (地下)
	海水	—	屋外	—	—
	海水取水ポンプ、海水ホース (可搬型代替注水ポンプ)	防止設備・緩和設備 →47 条に記載	可搬型 SA 設備保管場所 —	○ —	影響なし (適切に除灰する。) —

○: 各外部事象に対し安全機能を維持できる
又は各外部事象による損傷を考慮した場合でも、対応する DB 設備が各外部事象に対し安全機能を維持できる (防止設備)
又は各外部事象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 16-1 重大事故等に対処するための機能を有する設備の影響評価（4 / 5）

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設備設置箇所	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〔GTG 一式〕	防止設備・緩和設備	ガスタービン発電機 保管場所	○	影響なし（適切に除灰する。）
	常設代替交流電源設備〔第二 GTG 一式〕	防止設備・緩和設備	屋外 R/B 廻り	○	影響なし（適切に除灰する。）
	常設代替交流電源設備〔非常用高圧母線 C・D 系〕	防止設備・緩和設備	C/B	○	建屋内
	可搬型代替交流電源設備〔電源車〕（移動式変圧器含む）	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし（適切に除灰する。）
	可搬型代替交流電源設備（常設箇所）〔電源車接続箇所〕	防止設備・緩和設備	屋外 R/B 廻り	○	影響なし
	常設代替直流電源設備〔AM 用直流 125V 蓄電池〕	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
	常設代替直流電源設備〔蓄電池 A 系、A-2 系〕	防止設備・緩和設備	C/B	○	建屋内
	可搬型代替直流電源設備〔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（適切に除灰する。）
	可搬型代替直流電源設備〔免震棟保管バッテリー〕	防止設備・緩和設備	免震重要棟	○	建屋内
	代替所内電源盤	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内
	6-7 号炉電力融通ケーブル	防止設備・緩和設備	C/B	○	建屋内
	（燃料設備（D/G 軽油タンク））	一設計基準対象施設における評価対象施設		—	—
（燃料設備（タンクローリー））	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	○	影響なし（適切に除灰する。）	
第 58 条（計装設備）	重大事故等発生時の計装（SA 時計装一式） 〔RPV 温度・圧力・水位〕 〔RPV・格納容器への注水量〕 〔格納容器内の温度・圧力・水位・水素濃度・酸素濃度・放射線量率〕 〔未臨界監視〕 〔最終ヒートシンクによる冷却状態の確認〕 〔格納容器バイパス監視〕 〔水源の確保〕 〔原子炉建屋内水素濃度〕	防止設備・緩和設備	C/B R/B Rw/B	○	建屋内
第 59 条（原子炉制御室）	中央制御室及び生体遮蔽	防止設備・緩和設備	C/B	○	建屋内
	中央制御室居住性（空調機）	防止設備・緩和設備	C/B	○	建屋内
	中央制御室待避室及び生体遮へい	緩和設備	C/B	○	建屋内
	中央制御室待避室加圧用ポンペ	緩和設備	C/B	○	建屋内

○：各外部事象に対し安全機能を維持できる
又は各外部事象による損傷を考慮した場合でも、対応する DB 設備が各外部事象に対し安全機能を維持できる（防止設備）
又は各外部事象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 16-1 重大事故等に対処するための機能を有する設備の影響評価 (5 / 5)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	設備設置箇所	火山	
					評価	防護方法
第 60 条 (監視測定設備)	可搬型モニタリング・ポスト		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 (適切に除灰する。)
	放射線サーベイ機器 [可搬型ダスト・よう素サンブラ, GM 汚染サーベイメータ, NaI シンチレーションサーベイメータ, 電離箱サーベイメータ, ZnS シンチレーションサーベイメータ]		防止でも緩和でもない設備	免震重要棟 R/B (3 号炉)	○	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 (適切に除灰する。)
	可搬型気象観測装置		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 (適切に除灰する。)
	モニタリング・ポスト用発電機		防止でも緩和でもない設備	屋外	○	影響なし (適切に除灰する。)
第 61 条 (緊急時対策所)	緊急時対策所 [KK3TSC] 及び生体遮蔽		防止設備・緩和設備	R/B (3 号炉)	○	建屋内
	緊急時対策所 [KK3TSC] 居住性 (空調機)		防止設備・緩和設備	R/B (3 号炉)	○	建屋内
	3 号炉原子炉建屋内緊急時対策所用電源車		防止設備・緩和設備	屋外	○	影響なし (適切に除灰する。)
	プラントのデータ表示システム [KK3TSC データ伝送装置、SPDS 表示装置等]		防止でもない緩和でもない設備	R/B (3 号炉) (屋外設備含む)	○	建屋内 (屋外設備については代替設備 (有線系) にて機能維持可能)
	緊急時対策所 [免震重要棟 TSC] 及び生体遮蔽		防止設備・緩和設備	免震重要棟	○	建屋内
	緊急時対策所 (免震重要棟 TSC) 居住性 (空調機)		防止設備・緩和設備	免震重要棟	○	建屋内
	免震重要棟ガスタービン発電機		防止設備・緩和設備	免震重要棟	○	建屋内
	プラントのデータ表示システム [免震重要棟 TSC データ伝送装置、SPDS 表示装置等]		防止でも緩和でもない設備	免震重要棟 (屋外設備含む)	○	建屋内 (屋外設備については代替設備 (有線系) にて機能維持可能)
(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	携帯型音声呼出電話設備	防止設備・緩和設備	R/B, T/B, C/B, Rw/B	○	建屋内
	所内外通信	衛星電話設備, 無線連絡設備 (所内通信)	防止でも緩和でもない設備	C/B, 免震棟, R/B (3 号炉) (屋外設備含む)	○	影響なし (屋外設備についても、灰が積もりにくい形状であるとともに、適切に除灰するなどの対応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	C/B, 免震棟, R/B (3 号炉) (屋外設備含む)	○	影響なし (屋外設備についても、灰が積もりにくい形状であるとともに、適切に除灰するなどの対応により機能維持可能)

○:各外部事象に対し安全機能を維持できる
 又は各外部事象による損傷を考慮した場合でも、対応する DB 設備が各外部事象に対し安全機能を維持できる(防止設備)
 又は各外部事象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

軽油タンクからの燃料移送について

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉の 7 日間の外部電源の喪失に対して、非常用ディーゼル発電機の燃料として、軽油タンク及び燃料デイタンクを有しており、燃料移送ポンプにより、軽油タンクから燃料デイタンクへ燃料移送される系統構成となっている。

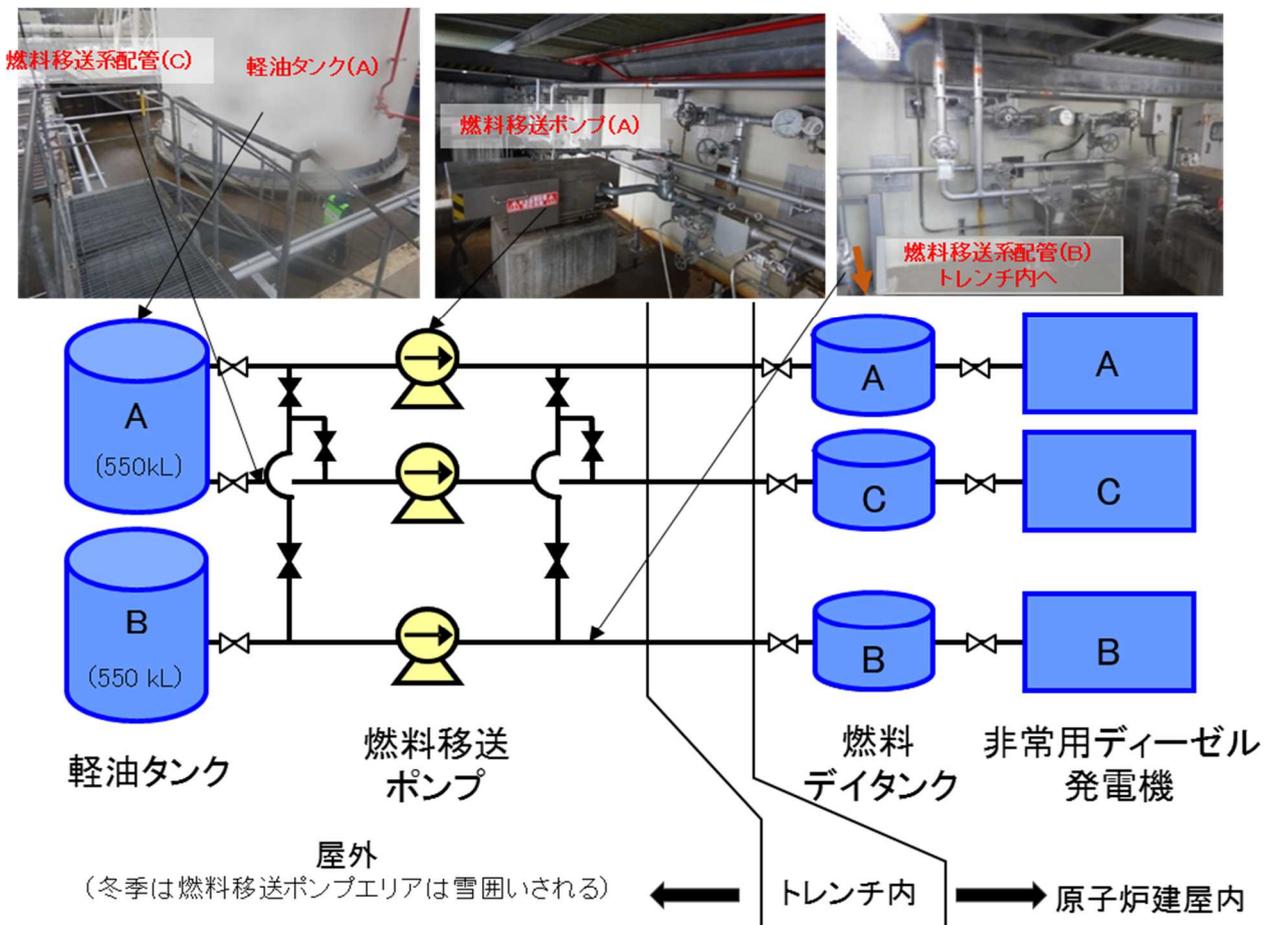


図 17-1 非常用ディーゼル発電機 燃料供給系統の構成

軽油タンク及び燃料移送ポンプは屋外設備であるが、降下火砕物の静的荷重等に対してその機能に影響がないことを確認している（個別評価-5）。また、燃料移送系の配管は、軽油タンクの取り出し口から燃料移送系配管トレンチまでは屋外に設置されているが、その形状は管状であり、その口径は 65A 以下と降下火砕物が堆積しづらい形状であることから、降下火砕物によって機能喪失することは

ない。以上のことから、7日間の外部電源喪失に対して、非常用ディーゼル発電機へ燃料供給が可能であり、原子炉の停止並びに停止後の原子炉及び燃料プールの冷却に係る機能を担うために必要な電力の供給が継続できる。

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

水質汚染については，降下火砕物が柏崎市水道水に混入することで，補給水等の汚染が考えられる。

図 18-1 に示す通り，市水道水は，ろ過水タンク及び純水装置を經由し純水タンクに供給される。ろ過水タンクに貯留された水は消火系及び雑用水系に供給されるが，降下火砕物襲来時に必要な，構築物，系統及び機器は含まれていない。一方，純水タンクに貯留された純水は純水補給水系に供給される設備には，復水貯蔵槽及び原子炉補器冷却水サージタンク等への補給並びにホウ酸水注入系の封水等があるが，何れも，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ではなく，水質汚染はプラントの安全機能に影響を及ぼさない。

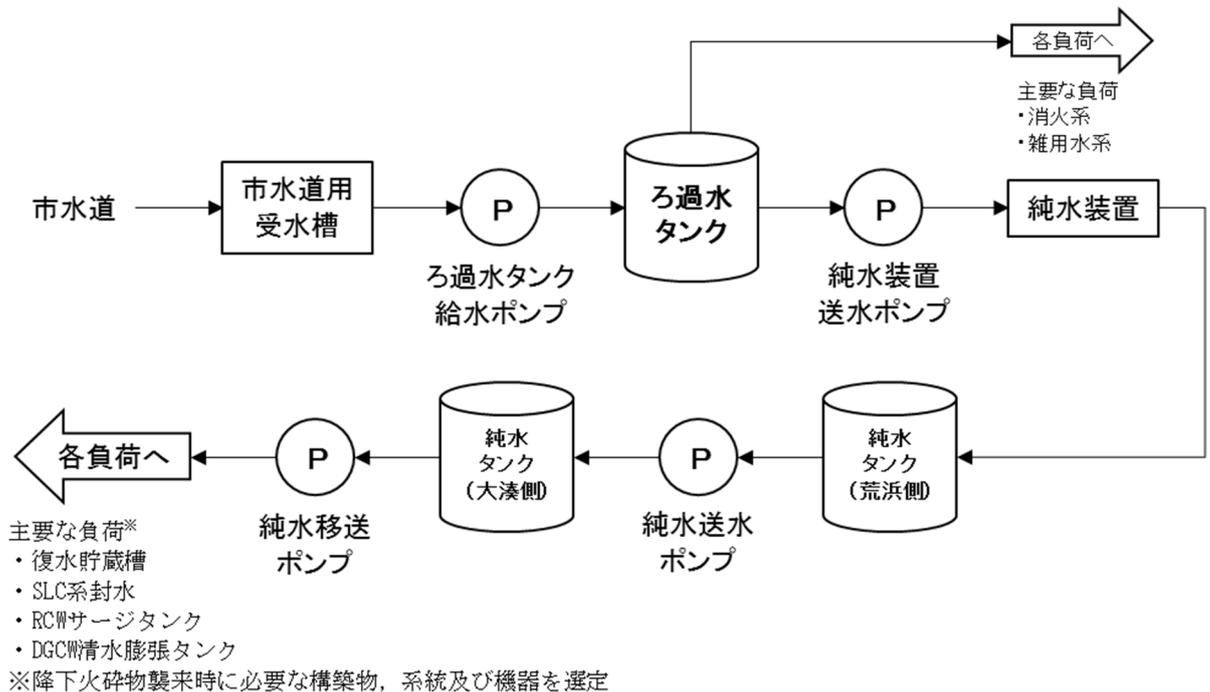


図 18-1 外部から供給される水源の概略系統図

(参考資料) 建屋の許容堆積荷重の考え方

(設計上各部材で考慮する) 長期荷重: $VL=DL+SNL$

DL:雪荷重以外で設計上考慮する荷重, SNL:雪荷重

■先行電力の考え方

許容堆積荷重: $1.5(DL+SNL)-(DL+SNL) = 0.5(DL+SNL)$

短期荷重として負担できる荷重: $1.5VL = 1.5(DL+SNL)$

■当社の考え方

②

許容堆積荷重: $1.5\alpha(DL+SNL)-DL = DL(1.5\alpha-1)+1.5\alpha SNL$

※堆積物に雪積が含まれるため, 設計上考慮する荷重から雪荷重分を除外し差分を算出。

VLに対して構造部材のもつ余裕率: α

(α は構造部材毎に個別に計算できる値)

①

構造部材として負担できる最大の長期荷重: VL_{max}

$$VL_{max} = \alpha VL$$

構造部材として負担できる最大の短期荷重: VL_{Smax}

$$VL_{Smax} = 1.5VL_{max} = 1.5\alpha VL = 1.5\alpha (DL+SNL)$$