

電気技術指針

原子力編

原子力発電所火山影響評価技術指針
(案)

JEAG4625-201X

一般社団法人 日本電気協会

原子力規格委員会

原子力発電所火山影響評価技術指針

目 次

第1章 基本事項	1
1.1 適用範囲	1
1.2 用語の定義	1
1.3 原子力発電所への影響評価の基本方針	1
第2章 火山及び火山現象の調査と評価	2
2.1 調査	2
2.1.1 調査対象及び調査範囲	2
2.1.1.1 調査対象の火山	2
2.1.1.2 調査対象の火山現象	3
2.1.1.3 調査対象範囲	3
2.1.2 調査手法	4
2.1.3 整理項目	5
2.1.4 表示の様式	5
2.2 考慮すべき火山及び火山現象の評価	6
2.2.1 原子力発電所の安全性への影響を考慮する火山及び火山現象	6
2.2.1.1 活動の可能性を考慮する火山	6
2.2.1.2 原子力発電所の安全性への影響を考慮する火山現象	7
2.2.1.3 火山活動のモニタリング	9
2.2.2 詳細設計段階において施設への影響を評価するための検討項目	9
第3章 機械・電気設備等の影響評価	11
3.1 詳細設計段階で考慮する火山現象	11
3.2 検討条件	11
3.3 評価対象範囲及び評価対象設備の抽出	12
3.3.1 評価対象範囲	12
3.3.2 評価対象設備の抽出	12
3.4 設備対策設計の実施	13
3.4.1 屋外タンク	13
3.4.2 取水設備及び原子炉補機冷却海水系	14
3.4.2.1 取水設備	14
3.4.2.2 原子炉補機冷却海水系	14
3.4.2.2.1 原子炉補機冷却海水ポンプ	14

3.4.2.2.2 原子炉補機冷却系熱交換器	14
3.4.3 建屋換気空調設備	19
3.4.4 排気筒	21
3.4.5 非常用ディーゼル発電機及び燃料移送ポンプ	23
3.4.5.1 非常用ディーゼル発電機	23
3.4.5.2 燃料移送ポンプ	23
3.4.6 主蒸気逃がし弁（PWR）	25
3.4.7 建屋	26
3.5 運転員及び作業員の安全確保	27
3.6 火山現象の間接的影響への配慮	28
第4章 重大事故等対処施設の影響評価	33
4.1 詳細設計段階で考慮すべき火山現象	35
4.2 評価対象となる重大事故等対処施設の抽出	36
4.3 設備対策設計の実施	37
4.3.1 代替注水設備	37
4.3.1.1 代替注水設備（ポンプ）	37
4.3.1.2 代替注水設備（タンク等）	38
4.3.2 代替除熱設備	39
4.3.2.1 代替除熱設備（フィルタベントシステム）	39
4.3.2.2 代替除熱設備（代替熱交換器システム）	40
4.3.3 可搬型設備	41
4.3.3.1 電源車，可搬型注水設備，移動式代替熱交換器設備，燃料補給用 タンクローリー	41
附属書2.1 火山影響評価の流れ（その1）	42
附属書2.2 調査対象とする火山現象と敷地との位置関係	43
附属書2.3 火山活動のモニタリング	44
附属書3.1 火山影響評価の流れ（その2）	46
附属書3.2 火山灰評価例	47
附属書3.3 プラント停止に関連する設備の抽出例	49
附属書3.4 火山評価対象設備例	50
附属書3.5 タンクの座屈荷重	52
附属書3.6 主排気筒に対する火山灰影響評価例	53
附属書3.7 火山灰・火山ガス環境下での作業時の装備品例	55
参考文献	56
参考資料	

第1章 基本事項

1.1 適用範囲

本技術指針は、原子力発電所の立地及び設計上の考慮を行う段階において、火山及び火山現象が原子力発電所の安全性に与える影響の有無を評価し対策を実施する場合に適用する。

【解説】

本技術指針は原子力発電所を対象としているが、その他の原子力関係施設にも基本的な考え方は参考とすることができる。ただし、使用期間等が原子力発電所と大きく異なる施設において、本技術指針を参考にする場合は、それらの差異に留意する必要がある。

1.2 用語の定義

(1) 火山

地下のマグマが地表又は地表近くに達して、溶岩や火山砕屑物として噴出し、噴出口周辺に堆積した結果、噴出口付近の地表に形成された特徴的な構造あるいは地形。

なお、通常地形的高まりである凸の地形であるが、カルデラのように、沈降・陥没によって生じた凹地形の場合もある。

(2) 火山現象

マグマが地表又は地表近くに達して引き起こす現象のすべて。

なお、マグマが、溶岩・火山砕屑物等の形態により地上へ放出・堆積される現象（噴火）のほか、火山性地震、地殻変動、火山性の熱水作用等も含む。

1.3 原子力発電所への影響評価の基本方針

本技術指針は、原子力発電所の立地における配慮及び自然現象に対する設計上の考慮が必要な、重要度の特に高い安全機能を有する構築物、系統及び機器、並びにそれらに影響を与える構築物、系統及び機器の設計にあたり考慮する必要がある自然現象のうち、火山現象について、原子力発電所の安全性に与える影響の有無の評価及びそのために必要な調査・検討並びに必要な設計上の考慮事項について規定するものである。

【解説】

原子力発電所の供用期間中に極めてまれではあっても、発生する可能性があり、構築物、系統及び機器の設計にあたり考慮することが適切な火山現象について規定する。

ここで、設計上の考慮事項の対象施設は、プラントを安全に停止し、高温停止状態から、低温停止状態へ移行し、かつ、低温停止状態を維持し、使用済燃料貯蔵プールについては冷却機能を維持するために使用しなければならない構築物、系統及び機器である。

プラントの安全を確保するための施設には、設計基準事象に対する設計基準対象施設と、想定を超えた場合の事象に対する重大事故等対処施設があり、これらを対象とし、設計上の考慮事項等を規定する。

第2章 火山及び火山現象の調査と評価

本章は、調査及び評価の方法について示す。

調査及び評価の流れを「附属書 2.1 火山影響評価の流れ（その1）」に示す。

【解説】

火山の活動履歴や噴火に伴う現象は、火山ごとに特徴があり、自然現象特有のゆらぎ等もあることから、原子力発電所の安全性に与える影響の有無の評価及びそのために必要な調査・検討の各項目においては、個々の火山の特性に応じた判断が適切と考えられる。

このような火山現象の不確かさを反映した評価のためには、確率論的なリスク評価に基づく評価を行うことが考えられるが、火山現象は非常に多様な現象であり、現時点では、全ての現象に対して確率論的手法が確立されているわけではない。したがって、評価及び調査・検討の各項目においては、現時点における火山学に関する最新知見に基づき判断することになるが、前述のように、火山現象の不確かさをも踏まえたうえでの、合理的な判断を下すことを基本とする。

2.1 調査

2.1.1 調査対象及び調査範囲

2.1.1.1 調査対象の火山

調査対象の火山は、第四紀に活動した火山とする。

【解説】

気象庁（2013）^(2.1.1-1) は、我が国の活火山を、「概ね過去1万年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山」と定義し、110の活火山を選定し、火山災害の防止や軽減のための施策を検討するため、活火山カタログなど火山に関する基礎的資料を整備している。

一方、日本火山学会は、日本の第四紀火山カタログ（第四紀火山カタログ編集委員会編，1999^(2.1.1-2)）として、産業技術総合研究所は日本の第四紀火山（HP）^(2.1.1-3) として、いずれも、我が国に分布する第四紀の火山カタログを整備している。

一つの火山については、それぞれ活動期間、すなわち寿命があり、日本列島が位置する島弧の火山は数十万年程度が平均的な活動期間と考えられている（兼岡・井田，1997^(2.1.1-4)）。

上記のカタログ等によれば、日本列島においては、第四紀火山のほとんどは、第四紀になってから活動を開始している。一つの火山の寿命は平均すると40万年程度であり、活動休止期間も十数万年程度のものが多い（Demboya et al., 2007^(2.1.1-5)）。

以上のことから、原子力発電所の供用期間中に「活動の可能性を考慮する火山」としては、1万年前以降活動した火山のみでなく、第四紀に活動した火山を検討対象とする。

第四紀よりも前の時代、すなわち鮮新世あるいはより前の時代にも、当然火山活動はあったが、鮮新世に活動していながら第四紀の活動が認められない火山は既にその活動を停止しているとみなせる。したがって、鮮新世に活動していながら第四紀の活動が認められない火山が原子力発電所の供用期間中に活動を再開するとは考えられず、立地にあたりそれらの火山まで、考慮対象の火山とすることは、少なくとも日本列島では必要としない。

なお、本技術指針での日本列島の範囲には、陸域のみでなく、周辺海域をも含む。
注）ここで、第四紀とは日本の第四紀火山カタログ（第四紀火山カタログ編集委員会編，1999^(2.1.1-2)）で対象としている時代を指す。

2.1.1.2 調査対象の火山現象

調査対象の火山現象は、以下の火山現象とする。

- ① 火山灰等の降下
- ② 火山弾等の放出
- ③ 火砕流及び火砕サージ
- ④ 溶岩流
- ⑤ 火山ガスの噴出
- ⑥ 岩屑なだれ
- ⑦ 火山泥流
- ⑧ 新火口の形成

【解説】

火山灰等の降下については、風の影響を強く受け、風下方向に長距離流される粒径が概ね 64mm 以下の降下火砕物^(2.1.1-6)を対象とする。

岩屑なだれについては、非火山性であるものを除く。

なお、火山に付随する現象としては、ほかに、火山体における地すべり、斜面崩壊、洪水、地盤の変形、火山性の地震、火山体崩壊に関連する津波、地下水異常、火山雷、空振等があるが、これらの現象に関しては、必要に応じ以下のように検討する。

地すべり、斜面崩壊、地盤変形、地震、津波、地下水異常の検討に関しては、原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987^(2.1.1-7)，JEAG4601-2008^(2.1.1-8)）等を参考にすることができる。

火山現象に伴う洪水は、⑦火山泥流の一部として検討する。火山現象に伴わない洪水は、火山現象とは別に、水理として考慮される。

火山雷は、原子力発電所の耐雷指針（JEAG4608-1998）^(2.1.1-9)に基づく設計がなされていれば、発電用原子力設備の安全性が損なわれることはないと考えられる。

空振は、爆発で空気が強く圧縮された状態が音波として物理的に伝播する現象であり、原子力発電所のような堅牢な施設で安全性に影響が及ぶような事態は考えられない。

2.1.1.3 調査対象範囲

調査対象範囲は、火山現象・火山噴出物ごとに、噴出中心又は発生源と敷地との位置関係等から、調査対象となる火山及び火山現象を適切に選択し、設定する。

調査対象とする火山現象に関する噴出中心又は発生源と敷地との位置関係を「附属書 2.2 調査対象とする火山現象と敷地との位置関係」に示す。

「2.1.1.1 調査対象の火山」で対象とした火山に関し、本項で調査対象とする火山現象について、「2.1.2 調査手法」で述べる調査を実施し、「2.2 考慮すべき火山及び火山現象の評価」で述べる評価を実施する。

【解説】

調査対象火山現象と敷地との距離は、解表 2.1.1.3-1 に示す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た。

噴出中心又は発生源の位置が不明な場合には、噴出物の分布を参考にしてその位置を想定する。

解表 2.1.1.3-1 わが国における第四紀火山の火山噴出物等の既往最大到達距離

種 別	火山名	噴出物名	到達距離 (km)	備 考
火山弾等	桜島火山	2000 年 10 月 7 日 噴石	5.6	富士山ハザードマップ検討委員会 (2004) ^(2.1.1-10) より
火砕流 堆積物	阿蘇火山	阿蘇 4 火砕流 堆積物	142	小野 (1984) ^(2.1.1-11) より測定
			155	安藤ほか (1996) ^(2.1.1-6) より
溶岩	富士火山	三島溶岩	43	地表部は富士火山地質図 (1988) ^(2.1.1-12) より測定し、町 田ほか (2006) ^(2.1.1-13) より地表 下における分布を推定。狩野川 沿いに河口まで流下したと推定
岩屑なだ れ堆積物	八ヶ岳火 山	韮崎泥流 堆積物	42	関東地方土木地質図 (1996) ^(2.1.1-14) より測定
			32	Ui (1983) ^(2.1.1-15) より
火山泥流 堆積物	富士火山	相模川泥流 堆積物	113	諏訪編 (1992) ^(2.1.1-16) を参考 に、20 万分の 1 地勢図「静岡」 「甲府」「東京」「横須賀」よ り測定
		酒匂川への泥流 堆積物	56	

2.1.2 調査手法

調査は、文献調査、地形調査、地質調査を適切に組み合わせて実施する。また、必要に応じて地球物理学的調査等を実施する。

調査の実施にあたっては、調査の考え方、判断の根拠等を記録に残す。

【解説】

一般に、過去のある程度規模の大きな火山活動については、火山噴出物の分布と性状を調査することによって、その活動規模や活動時期などの活動履歴を認識することができる。今後活動する可能性が高い火山の火山現象については、当該火山の過去の噴出物を調査することにより、今後の活動の可能性を検討することができる。

(1) 文献調査

文献調査では、調査対象範囲の火山・火山現象・火山噴出物に関する既往の文献を収集してその内容を集約し、敷地周辺の第四紀火山・火山噴出物について、それらの火山噴出中心位置、噴出物種類、活動時期、噴出物分布等の評価に資する。調査結果は、地形・地質調査の調査方針、範囲、仕様等の設定のための基礎資料として用いる。

【解説】

日本列島の、第四紀の火山に関する基本的な資料としては、第四紀火山カタログ編集委員会編 (1999) ^(2.1.1-2) や産業技術総合研究所 HP ^(2.1.1-3)、町田・新井 (2003) ^(2.1.2-1) 等がある。この他に公刊カタログ・データベースや公刊地質図、個別火山を対象とした公刊文献がある。また、文献調査にあたっては、その内容をよく吟味したうえで、最新の知見を参照すること。

(2) 地形調査

地形調査では、地形図、空中写真等を用いた判読を実施し、火山現象に特有な地形の把握を行う。

【解説】

地形調査においては、火山現象や火山噴出物が形成した地形を判読し、火山噴出物の種類や前後関係を識別することにより、(3)の地質調査のための基礎資料とする。また、必要に応じ、数値標高モデル (DEM) を整備し、溶岩流、火砕流等の流動範囲を検討する場合の基礎資料とする。

(3) 地質調査

地質調査では、文献調査・地形調査のみでは、活動位置・規模・様式や噴出時期等の活動履歴の評価に十分な資料が得られなかった場合、地表地質調査等を行い、調査対象の火山噴出物の噴出中心位置、噴出物種類、活動時期、噴出物分布等の評価に必要な資料を得る。

調査においては、適宜火山噴出物の試料採取・分析・年代測定等を行い、また、必要に応じ、ボーリング、ピット掘削等を実施する。

なお、「2.1.1 調査対象及び調査範囲」で調査対象とされた火山現象でも、地形的障害物の存在等により、原子力発電所の安全性への影響がないと判断されるものは、地質調査の対象から除外することができる。

【解説】

地質調査においては、別途実施する地質調査〔例えば、原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG4601-2008) ^(2.1.1-8) に基づき実施する地質調査〕の結果を参照することができる。

(4) 地球物理学的調査等

調査対象地点付近のマグマ活動に関連する地下構造等の更なる資料が必要な場合には、地球物理学的調査等を実施し、マグマ活動の評価に必要な資料を得る。

調査においては、マグマによる地震活動の有無、重力異常、弾性波速度分布等を把握する。また、必要に応じ、地震観測、地殻変動調査等を実施する。

【解説】

地球物理学的調査等には、地球化学的調査を含むものとする。

地球物理学的調査においては、別途実施する地球物理学的調査〔例えば、原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG4601-2008) ^(2.1.1-8) に基づき実施する地質調査〕の結果を参照することができる。

なお、地球化学的調査を実施する場合は、噴気・熱水等の温度や化学成分などを把握し、マグマ活動の評価のための基礎資料とすることができる。

2.1.3 整理項目

調査結果は、調査対象とした火山ごとに、位置、噴出物種類・分布、噴出時期等について整理する。

2.1.4 表示の様式

調査結果は、火山現象ごとに適切な縮尺と範囲の図として表示する。

火山現象によっては、複数の火山現象を一枚の図として表示することができる。

【解説】

敷地から 160km 程度以内の範囲について、火山噴出中心及び火山噴出物の分布域のみを表示する場合には、原縮尺 50 万分の 1 程度の図として表示する。

火山噴出物の種類ごとにその分布域を表示する場合には、分布範囲に応じた適切な縮尺の図として表示する。火山噴出物の表示区分については、産業技術総合研究

所発行の火山地質図の表示区分を参考とする。

これらの火山噴出物の分布図については、火山噴出物以外の地層については、表示を省略することができる。

広域火山灰の分布図については、当該火山灰の分布域を覆う範囲について、適切な縮尺の図で表示する。その場合、原則として噴出源の火山の位置を含めた範囲とする。

2.2 考慮すべき火山及び火山現象の評価

2.2.1 原子力発電所の安全性への影響を考慮する火山及び火山現象

2.2.1.1 活動の可能性を考慮する火山

「2.1 調査」で、調査対象とした火山及び火山現象のうち、調査結果に基づき、原子力発電所の供用期間中に噴火する可能性がある火山については、「活動の可能性を考慮する火山」として抽出する。抽出結果は、その根拠とともに、記録に残す。

「活動の可能性を考慮する火山」であるか否かは、当該火山の噴火規模、時期、噴火タイプ等の活動様式の変遷、最大休止期間と、最新噴火からの経過期間との比較等により判断する。

【解説】

火山は、その全ての活動期間において必ずしも同じ様式の活動を繰り返すものではない。すなわち、活発な時期や比較的穏やかな時期といった変化があり、活動様式が時代とともに変わりうることから、当該火山の噴火規模、時期、噴火タイプ等の活動様式の変遷等に基づき、今後の噴火の可能性について、適切な評価を行う必要がある。

当該火山の最大休止期間に関しては、信頼できる資料がない場合がある。その場合でも、最大休止期間は全活動期間を超えることはないので、全活動期間と最新噴火からの経過期間との比較により、噴火の可能性を判断することができる。また、当該火山の最大休止期間や全活動期間に関し、信頼できる資料がない場合には、類似火山の資料で代えることができる。ただし、火山は寿命、活動の位置・様式・規模とも、地域による違いや、マグマの性質による違い、個々の火山による違いが小さくないことに留意する必要がある。類似した火山の選定にあたっては、その種類、噴火規模、噴火タイプ、噴火パターン、活動間隔、地形等について慎重に検討する必要がある。また、より古い時代の火山噴出物については、年代値の精度は時代が古くなるほど悪くなること、より新しい時代の噴出物に覆われること、大規模な活動、侵食等により噴出物自体が失われてしまうこともあること等により、情報が乏しくなっている可能性があることに留意する必要がある。

2.2.1.2 原子力発電所の安全性への影響を考慮する火山現象

「2.2.1.1 活動の可能性を考慮する火山」において「活動の可能性を考慮する火山」とされた火山については、以下の要件に基づき、それが噴火した場合、「原子力発電所の安全性に与える影響を考慮する火山現象」を抽出する。抽出結果は、その根拠とともに、記録に残す。

①火山灰等の降下については、噴出源にかかわらず、敷地及び敷地付近の調査から求められる厚さと同等の厚さの火山灰等が降下するものとする。

②火山弾等の放出については、噴出源からの距離が、附属書 2.2 に示した範囲内には、到達する可能性があるものと評価する。

③火砕流及び火砕サージ、④溶岩流、⑥岩屑なだれ、⑦火山泥流については、それらの火山現象あるいは火山噴出物が今後敷地に到達する可能性について、当該火山の活動規模、時期、噴火タイプ等の活動様式の変遷に基づき検討する。敷地への到達を想定することが適切と判断される場合は、「原子力発電所の安全性に与える影響を考慮する火山現象」とする。

⑤火山ガスの噴出については、敷地が、窪地や谷地形等火山ガスが滞留しやすい場所に位置する場合には、「原子力発電所の安全性に与える影響を考慮する火山現象」とする。

⑧新火口の形成については、当該火山の過去の火口・火道の分布範囲及びその近傍に敷地が位置する場合には、原子力発電所の供用期間中に、新火口が形成される可能性を検討する。この場合の新火口の形成には、火山性熱水地帯や熱水変質地帯における水蒸気爆発を含む。

【解説】

火山現象あるいは火山噴出物が敷地に到達する可能性の検討にあたっては、当該火山における過去の火山活動を考慮し、適切な規模の火山現象を考慮する。その際には、類似した火山の火山現象を参照することができる。類似した火山の選定にあたっては、その種類、規模、噴火パターン、活動間隔、形状等について慎重に検討する必要がある。

敷地に到達していない場合でも、当該火山及び類似火山からの類推から、今後噴出が予想される溶岩流、火砕流、岩屑なだれ等については、噴出源の位置や敷地との間の地形等の情報を用いて敷地に到達する可能性を検討する。当該火山及び類似火山に関する分析結果から必要が認められる場合には、シミュレーション解析で将来の到達の可能性を検討する。検討の結果、敷地に到達する可能性がある場合には、それらの火山現象あるいは火山噴出物が「原子力発電所の安全性に与える影響を考慮する火山現象」とする。ただし、明らかな地形的障害物がある場合には、敷地に到達する可能性の検討は不要である。これは、当該火山と敷地との間の山地、丘陵、海峡等の地形的障害物により、流走する火山噴出物の到達が遮蔽される場合などが挙げられる。

火山灰等の敷地における層厚の想定にあたっては、敷地及び敷地付近における層厚資料のみでなく、文献により等層厚線図が公表されているものについては、それによる層厚についても検討する。文献による等層厚線図の例を解図 2.2.1.2-1 に示す。現在敷地に見出されない場合でも、敷地付近に当該火山灰等が分布する場合には、堆積後に削剥された可能性について検討が必要である。

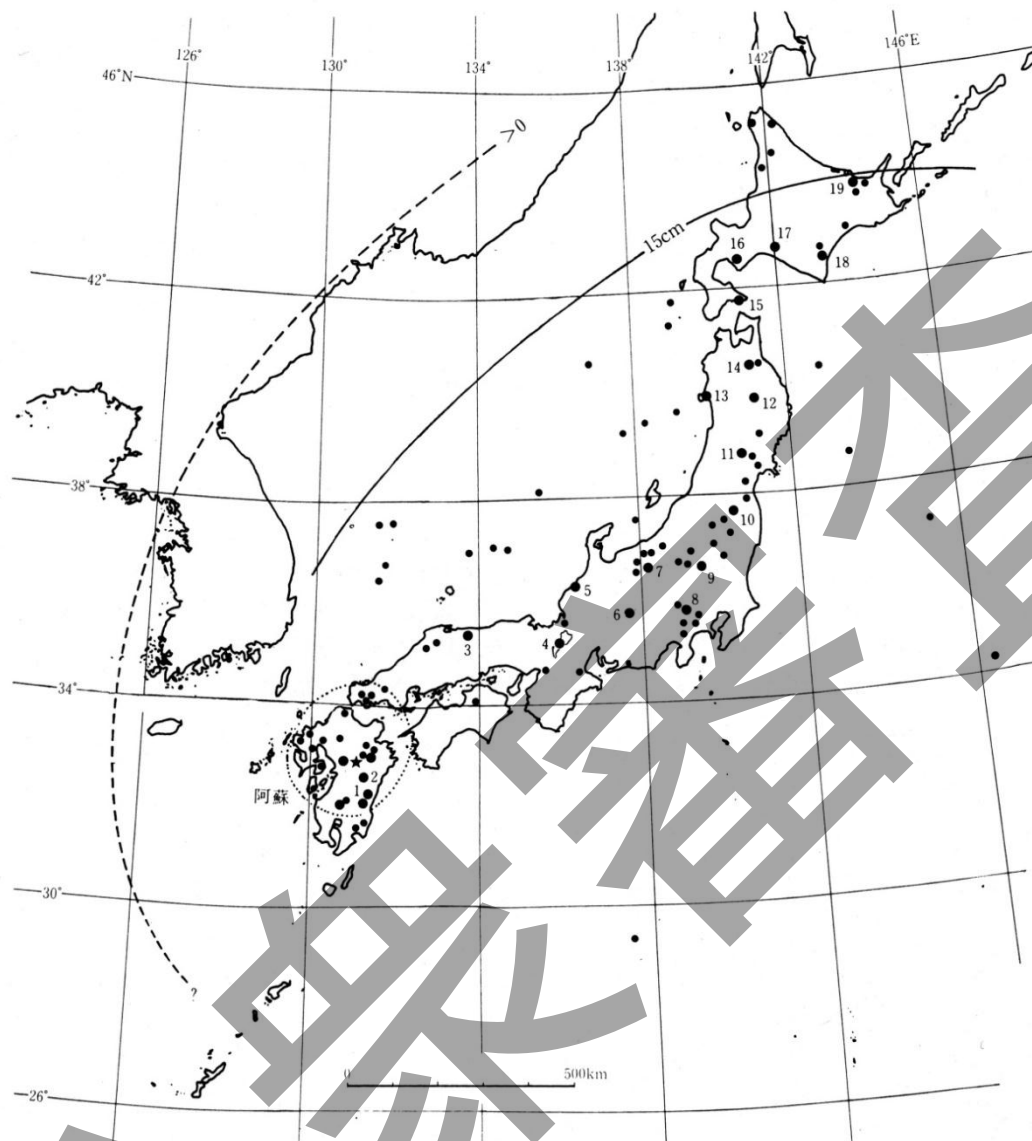


図 2.1-11 阿蘇 4 火山灰 (Aso-4) の等層厚線図と主な産出地点。

点線内は阿蘇 4 火砕流堆積物 [Aso-4 (pfl)] の分布範囲を示す。

模式地：1. 国富町川上, 2. 竹田市・荻町一帯, 3. 関金町大山池, 4. 琵琶湖高島沖, 5. 加賀市黒崎, 6. 木曽福島町, 7. 長野市高野, 8. 上野原町鶴島, 9. 新里村高泉, 10. 福島市佐原町, 11. 鳴子町鬼首北滝, 12. 玉山村新田, 13. 男鹿市安田海岸, 14. 五戸町鹿内, 15. 尻岸町女那川, 16. 伊達市館山, 17. 厚真町軽舞, 18. 広尾町ピラオトリ, 19. 網走市藻琴湖西岸。

解図 2.2.1.2-1 阿蘇 4 火山灰の等層厚線図 (町田・新井 (2003) (2.1.2-1) による)

2.2.1.3 火山活動のモニタリング

「2.2.1.2 原子力発電所の安全性への影響を考慮する火山現象」において、詳細設計段階での対応可能性を示すことができない火山現象について供用期間中の敷地への到達を想定することが必要ないと判断した場合においても、当該現象が過去に発電所の位置に到達したと考えられる場合には、供用期間中に当該火山のモニタリングを行う。

【解説】

本モニタリングの目的は、供用期間中の敷地への到達を想定することが必要ないと判断した場合において、その判断根拠となった火山の活動状況に変化がないことを継続的に確認することを目的として、実施するものである。

モニタリングに用いる観測機器及びその運用について例示した。（附属書 2.3 参照）

2.2.2 詳細設計段階において施設への影響を評価するための検討項目

「原子力発電所の安全性に与える影響を考慮する火山現象」については、必要に応じて詳細設計段階において、原子力発電所の安全機能を有する構築物、系統及び機器への影響を評価するための検討項目を整理する。整理結果は、その根拠とともに記録に残す。

【解説】

2.1.1.2 に示した原子力発電所の安全機能を有する構築物、系統及び機器への影響を考慮する火山現象について、詳細設計段階において工学的対処を検討することが必要となる可能性のある項目については、以下が考えられる。

これらの項目については、類似火山・火山現象等に関する最新の知見を参考とする。

①火山灰等

火山灰等の堆積については、荷重としての影響が懸念される。考慮する項目として、例えば、粒径、密度及び飽和密度等がある。

大気中に浮遊する火山灰については、建屋の換気系や内燃機器の給気系等に影響を及ぼすことが懸念される。考慮する項目として、例えば地表付近の大気中に浮遊する火山灰の程度、粒径等がある。

海面に浮遊又は海水中に懸濁する火山灰等については、火山灰等が冷却水の取水域で浮遊・懸濁し、非常用冷却水の取水に影響を及ぼすことが懸念される。考慮する項目として、例えば、海面に浮遊する軽石の量、粒径、海水中に懸濁する細粒火山灰の量、濃度、粒径等がある。

②火山弾、③火砕流・火砕サージ、④溶岩流、⑥岩屑なだれ、⑦火山泥流

これらの影響を考慮する火山現象が原子力発電所へ及ぼす影響は荷重（動荷重を含む）、高温等であるが、現時点では詳細設計を行う上で必要となる総流量、時間当たり流量、粒径、密度、温度等の技術的知見が十分に得られていないため、本指針では詳細設計段階での対応可能性を示すことが出来ない。そのため、立地を再検討することとなるが、今後火山現象に対する知見の収集を進めることにより、これらの火山現象に対して新たな知見が得られた場合には、本指針に反映する。

⑤火山ガス

火山ガスについては、作業員及び中央制御室内の運転従事者に影響を及ぼすことが懸念される。考慮する項目として、例えば、空中に拡散する火山ガスの種類及び濃度等がある。

⑧新火口の形成

当該火山の過去の火口・火道の分布範囲及びその近傍に敷地が位置し、原子力発電所の供用期間中に新火口が形成される可能性が高いと評価された範囲においては、原子力発電所の安全機能を有する構築物、系統及び機器への影響を防止するのは困

難であり，立地を再検討することになる。

なお，敷地周辺に調査対象の火山が認められない場合においても，火山学的知見から，新たに火山活動が起こる可能性がある場合には，原子力発電所の供用期間中に新たな火山活動が起こる可能性について検討する。

重要事項

第3章 機械・電気設備等の影響評価

本章は、「2.2.2 詳細設計段階において施設への影響を評価するための検討項目」に記載された検討項目について、機械・電気設備等の詳細設計段階での評価方法を示す。

本章における評価の流れを「附属書 3.1 火山影響評価の流れ（その2）」に示す。

【解説】

本章は、第2章に基づき実施する調査（文献調査、地形調査、地質調査）にて得られる火山影響評価データを基に、「原子力発電所の安全性に与える影響を考慮する火山現象」がある地点に原子力発電所を立地する場合において、機械・電気設備等の設計時における詳細設計段階での評価方法を記載する。

3.1 詳細設計段階で考慮する火山現象

詳細設計段階で考慮する火山現象は、噴出源に関わらず、その到達範囲が広域に及ぶ火山灰、軽石（以下、「火山灰等」という。）及び火山ガスとする。

【解説】

本指針においては、詳細設計段階で考慮する事象の選定に当たり、火山灰等のデータが充実していることから、広範囲に降下し、海流等によってサイトに到達することがある火山灰等及び火山ガスに対する機械・電気設備等の規格を策定する。

3.2 検討条件

第2章に基づき調査した結果、原子力発電所の安全機能を有する構築物、系統及び機器への影響を評価する場合の検討条件を設定する。

検討条件の例を以下に示す。

検討項目（例）	データ調査方法（例）
堆積量	地質調査及び文献調査
粒径	文献調査
密度	文献調査
飽和密度	文献調査
海水中濃度	文献調査

【解説】

地質調査、文献調査等により検討条件を設定することができない場合は、類似した火山のデータを参照することができる。類似した火山の選定にあたっては、その噴火規模、様式、マグマの性質等について慎重に検討する必要がある。

2.2.2 に基づき、火山灰等に対する機械・電気設備等への影響評価にあたり検討すべきデータ及びその調査方法について例示した。（附属書 3.2 参照）

3.3 評価対象範囲及び評価対象設備の抽出

3.3.1 評価対象範囲

火山灰等がサイトに到達したとしても、プラントを安全に停止し、高温停止状態から、冷温停止状態へ移行し、かつ、冷温停止状態を維持し、使用済燃料貯蔵プールについては冷却機能を維持することを目的とし、その目的の達成のために使用しなければならない設備を評価対象設備とする。ただし、安全重要度が下位の設備であっても、その停止により、上位の安全重要度の設備の運転に影響を及ぼす場合は、下位の安全重要度の設備も評価対象とする。

3.3.2 評価対象設備の抽出

原子炉の安全停止に関わる系統及び使用済燃料貯蔵プールの冷却に関わる設備を整理し、火山現象の影響を受ける設備を抽出する。設備の抽出にあつては、間接系も対象とする。

【解説】

プラント停止の主要イベントから、安全停止に必要な系統を洗い出し、直接系と直接系の機能を維持するための間接系の設備を抽出する。抽出された設備に対して、火山現象に対する故障モードを分析し、評価対象とするかの要否を検討する。

プラント停止に関連する設備の抽出例を附属書3.3に示す。

解表3.3.1-1 設備抽出例

BWR	PWR
復水貯蔵タンク	燃料取替用水タンク
原子炉補機冷却海水系	原子炉補機冷却海水系
非常用ディーゼル発電機	非常用ディーゼル発電機
非常用換気空調系	非常用換気空調系

(附属書 3.4 参照)

上記設備の評価にあたっては、火山噴火の影響が敷地に到達するまでには時間的余裕があることから、噴火までの間に体制を整え、人力による火山灰等の除去など、運用による対応も期待できる。このような対応にあたっては、噴火時に必要な体制を迅速に整えられるよう、静穏期に資機材備蓄、作業体制検討、訓練等の準備を行うことが必要となる。また、火山噴火により発電所が停止した後に実施する施設の影響確認に係る留意事項を参考資料 12 に示す。

3.4 設備対策設計の実施

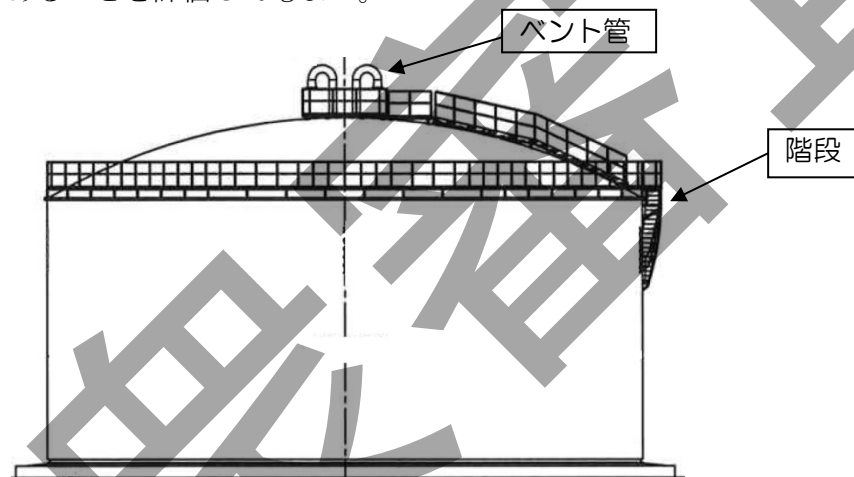
3.4.1 屋外タンク

- (1) 考慮すべき影響モード
火山灰の堆積荷重による座屈等
- (2) 詳細設計段階での配慮に対する事項
火山灰の除去・清掃が容易に実施できるよう設計する。
- (3) 具体的な配慮事項
 - a. タンクの屋根へ容易にアクセスできる階段が設置されている等、堆積した火山灰を除去することができる構造であること。
 - b. 屋外タンクベント管は、吸込み口が下向きに設置されている等、火山灰が管内に侵入し難い構造であること。

【解説】

座屈等が発生する火山灰堆積厚さを求め、火山灰除去の開始時期等を定めた作業計画を策定する。（附属書 3.5 参照）

サイトごとに火山灰堆積厚さを調査・評価して設定し、火山灰堆積荷重に対して耐える構造であることを評価してもよい。



解図 3.4.1-1 屋外タンク概略図（例）

3.4.2 取水設備及び原子炉補機冷却海水系

3.4.2.1 取水設備

- (1) 考慮すべき影響モード
軽石等の浮遊物による取水口の閉塞
- (2) 詳細設計段階での配慮に対する事項
浮遊物が取水口に取り込まれにくい構造とすること。
- (3) 具体的な配慮事項
表層取水方式とする場合は、取水口設備に海水除塵装置等の塵芥を除去する機能を有していること。

3.4.2.2 原子炉補機冷却海水系

3.4.2.2.1 原子炉補機冷却海水ポンプ

- (1) 考慮すべき影響モード
 - a. 火山灰侵入によるポンプ・電動機損傷
 - b. 電動機冷却空気への火山灰混入による地絡・短絡
 - c. 火山灰の堆積荷重による局部曲げによる変形等
- (2) 詳細設計段階での配慮に対する事項
 - a. ポンプ・電動機軸受は火山灰の影響を受けにくい構造であること。
 - b. 電動機は冷却空気に火山灰が侵入しても影響を受けにくい構造であること。
 - c. 火山灰の除去・清掃が容易に実施できるよう設計する。
- (3) 具体的な配慮事項
 - a. ポンプ・電動機軸受は火山灰がかみ込み難い構造であること。
 - b. 電動機冷却空気が電動機巻線を直接冷却しない冷却方式であること。
 - c. 火山灰除去のため、設備上部に容易にアクセスできる構造となっていること。堆積した火山灰を除去することができる構造であること。

3.4.2.2.2 原子炉補機冷却系熱交換器

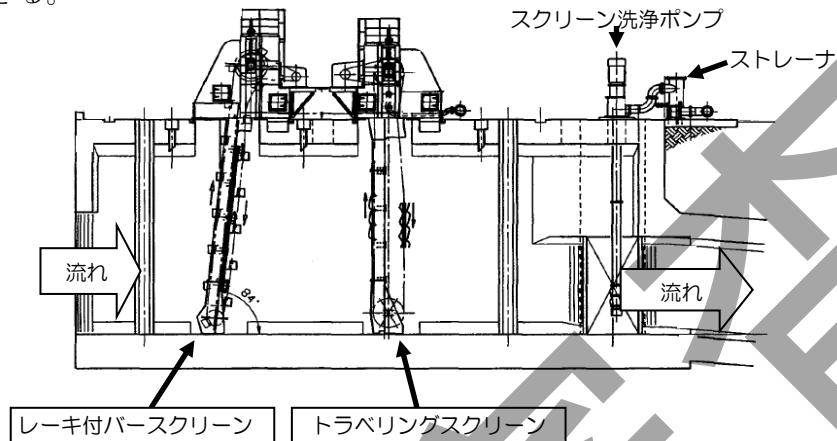
- (1) 考慮すべき影響モード
海水に含まれる火山灰等による熱交換器伝熱管の閉塞
- (2) 詳細設計段階での配慮に対する事項
海水に含まれる異物を除去できる構造であること。
- (3) 具体的な配慮事項
熱交換器伝熱管口径より大きな異物が熱交換器側に侵入しない機能を有すること。

【解説】

3.4.2.1 取水設備

(1) 海水除塵装置の例

海水除塵装置は、くらげや昆布等大きめの塵芥を除去する目的で設置される。本装置により、海水中に含まれる粒径の大きな軽石等を除去することができる。

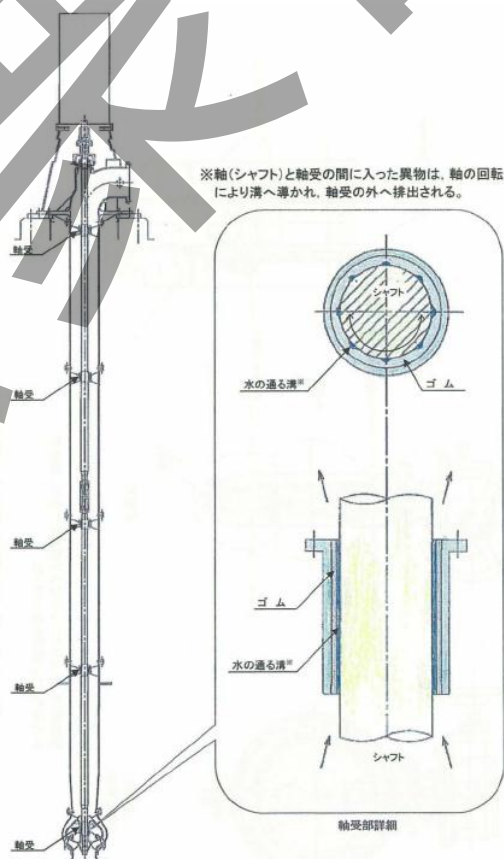


解図 3.4.2.1-1 海水除塵装置概略図（例）

3.4.2.2.1 原子炉補機冷却海水ポンプ

(1) 海水ポンプ軸受の例

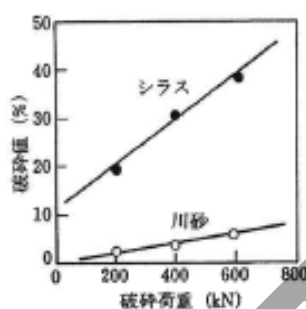
異物排出性に考慮した軸受の例を下図に示す。軸受とポンプシャフトの間に入った異物は、軸の回転により溝に導かれ、軸受外に排出される。



解図 3.4.2.2.1-1 海水ポンプ軸受概略図（例）

砂と火山灰の「破碎し易さ」の違いについては、武若（2004）^{（3.4.2-1）}による調査報告があり、砂に対するガラスを主成分とする火山灰の「破碎し易さ」は、10倍以上ある（解図3.4.2.2.1-2参照）。また、火山灰より「破碎し易さ」が小さい砂等によるポンプ軸受磨耗の既設プラント実績は、運転時間7,000時間において、0.2mm程度である。（取替基準間隔：約1mm）

以上より、ポンプ軸受への火山灰侵入を想定した場合でも、短時間で軸受が損傷することはないと考えられる。

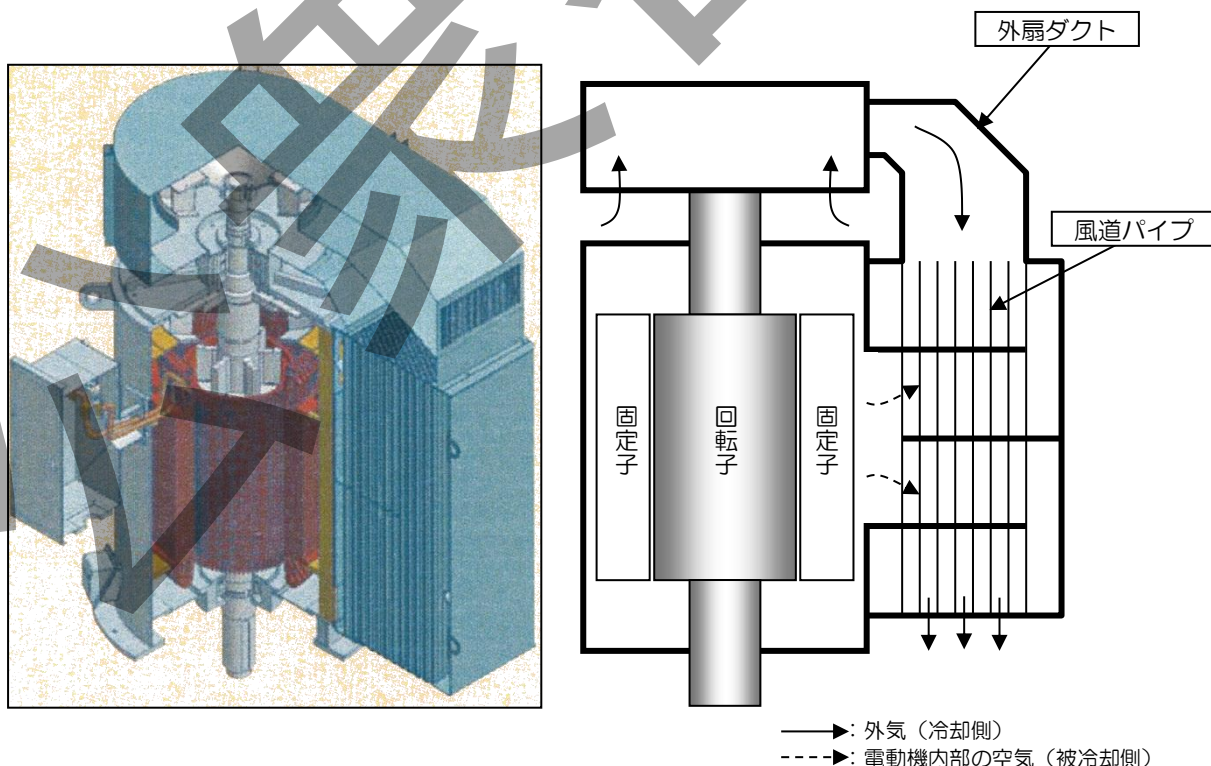


解図3.4.2.2.1-2 シラスの破碎し易さ ^{（3.4.2-1）}

(2) 海水ポンプ電動機の場合

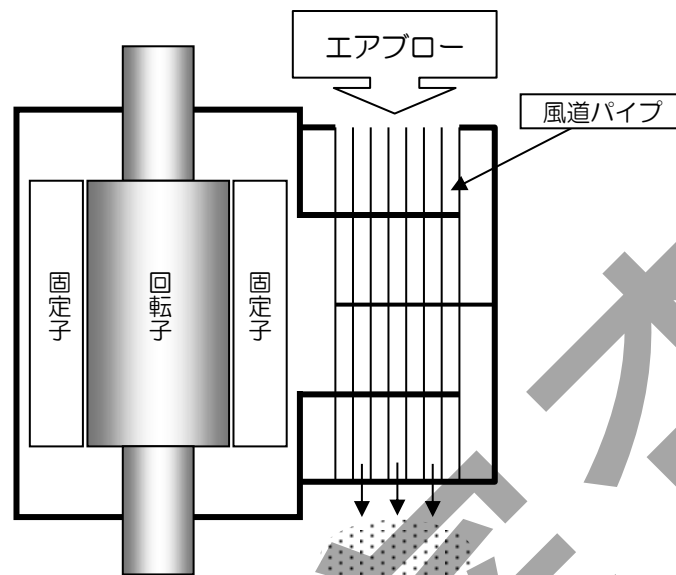
原子炉補機冷却海水ポンプが屋外設置の場合は、電動機冷却空氣に混入した火山灰による影響が懸念される。この場合、下図に示すような、外氣を直接電動機内部に取り込まない冷却方式であることが必要である。

図に示すとおり、電動機内の空氣は風道パイプを介して外氣で冷却され、火山灰が電動機内部に侵入することはない。



解図 3.4.2.2.1-3 海水ポンプ電動機の冷却方式（例） ^{（3.4.2-2）}

風道パイプ内に侵入した火山灰の清掃については、外扇ダクトを取り外し、エアブロー等にて容易に清掃できる構造となっている。

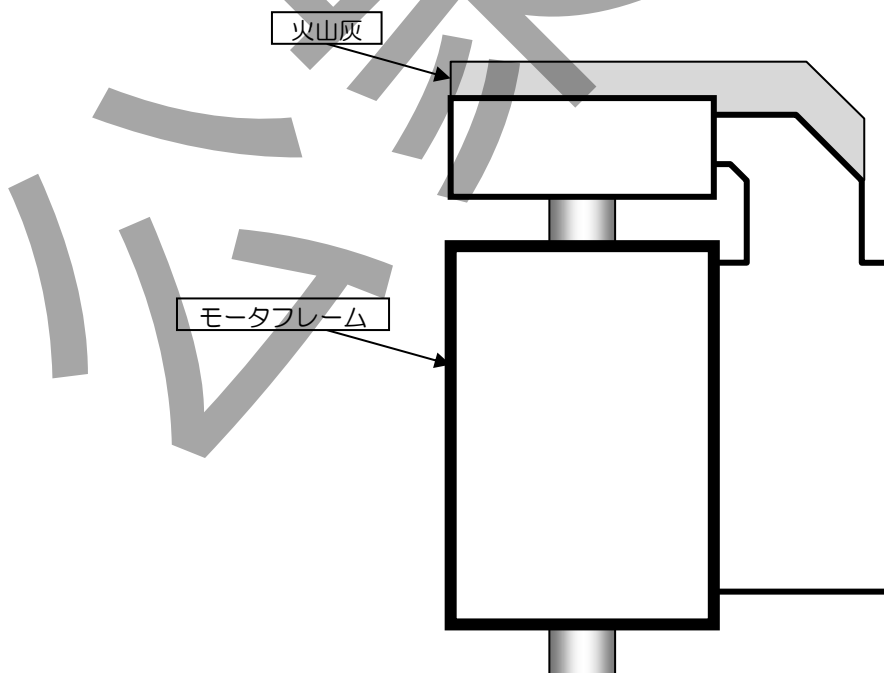


解図 3. 4. 2. 2. 1-4 海水ポンプ電動機風道パイプの清掃方法

(3) 屋外設置海水ポンプの火山灰堆積荷重に対する評価例

設備上部に直接火山灰が堆積する場合、局部曲げによる変形等が発生する火山灰堆積厚さを求め、火山灰除去の開始時期等を定めた作業計画を策定する。

サイトごとに火山灰堆積厚さを調査・評価して設定し、火山灰堆積荷重に対して耐える構造であることを評価してもよい。その場合、堆積荷重が厳しい条件となるモータフレームについて健全性に影響がないことを評価する。



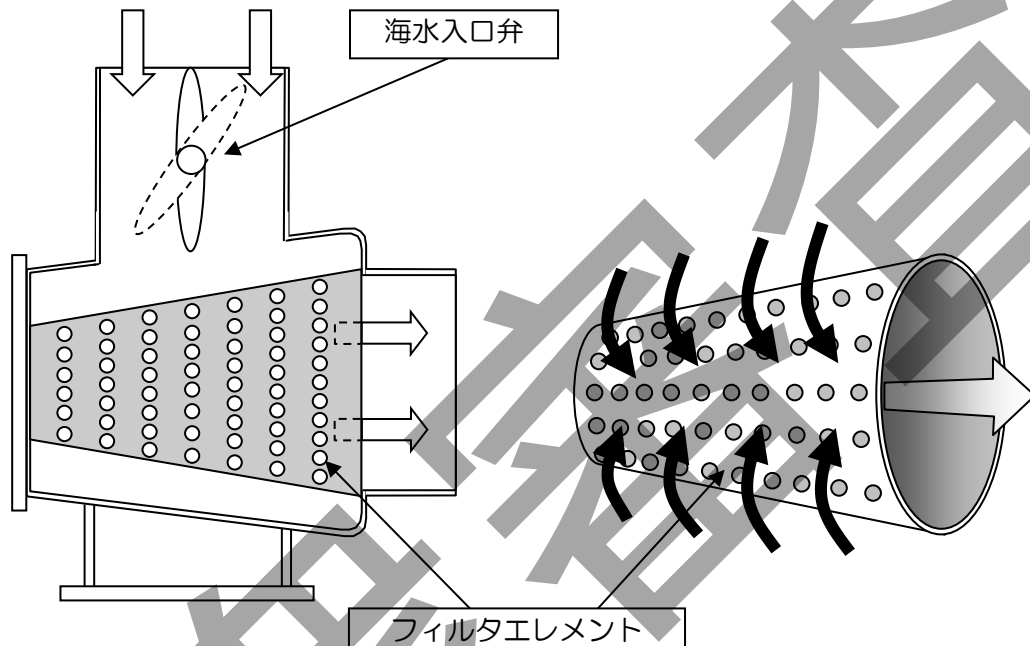
解図 3. 4. 2. 2. 1-5 海水ポンプモータフレームの例

3.4.2.2.2 原子炉補機冷却系熱交換器

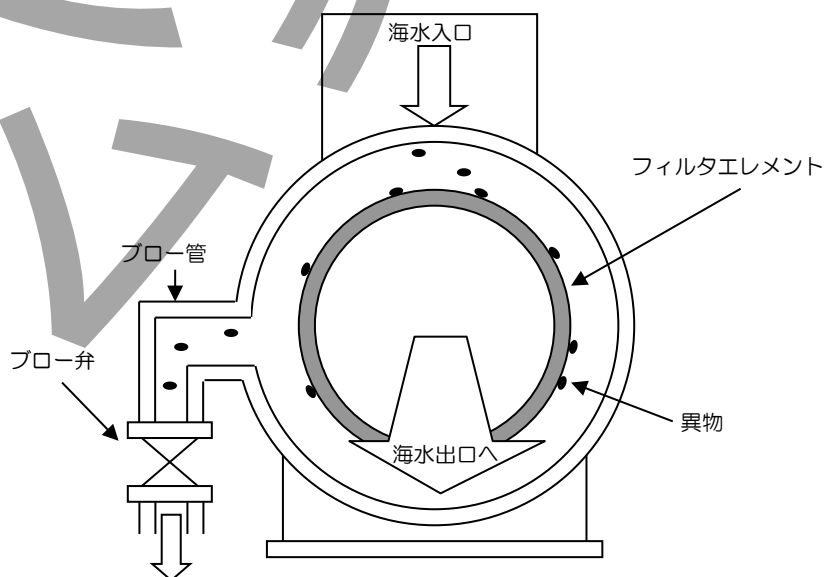
(1) 海水ストレーナの例

海水ストレーナの例を以下に示す。

運転中にフィルタエレメントで捕捉した異物は、差圧監視のもとにおかれ、差圧高によりストレーナ入口上部に設置した海水入口弁（バタフライ弁）のしぼり旋回操作（全開位置より約 30° ）で強い渦流を発生させ、フィルタエレメント洗浄とともに異物をブロー管を通じて系外に排出する構造となっている。



解図 3.4.2.2.2-1 海水ストレーナ概略図（例）



解図 3.4.2.2.2-2 海水ストレーナフィルタエレメントの清掃方法

3.4.3 建屋換気空調設備

(1) 考慮すべき影響モード

火山灰の建屋内侵入による建屋内設備への影響

(2) 詳細設計段階での配慮に対する事項

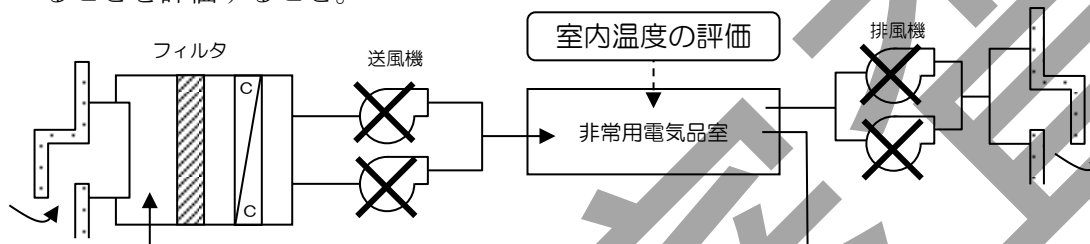
- a. 建屋換気空調設備にフィルタが設置されていること。
- b. 中央制御室換気空調設備は外気を隔離した運転が可能であること。

(3) 具体的な配慮事項

火山灰でフィルタが閉塞した場合、フィルタを交換できる構造であること。

【解説】

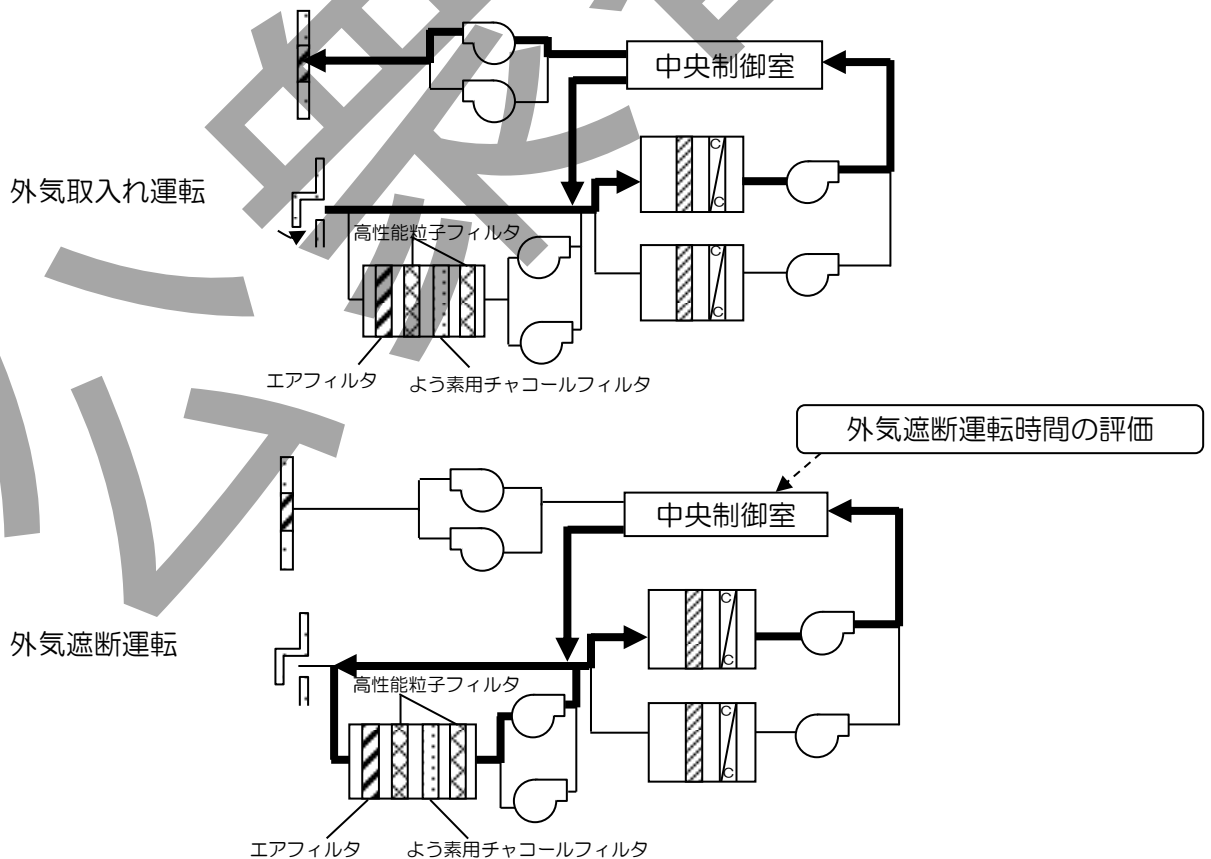
フィルタ交換等、換気空調設備の復旧作業の間、換気空調設備の機能が喪失することになるため、その期間の室温上昇に対して、機械品、電気品の機能が健全であることを評価すること。



解図 3.4.3-1 非常用電気品室換気空調設備の概略図 (例)

中央制御室換気空調設備は、外気遮断運転が可能であり、この運転を行うことで火山灰の侵入を防止する。

なお、外気遮断運転可能時間を評価しておくこと。



解図 3.4.3-2 中央制御室換気空調設備の概略図及び運転モード (例)

常用換気空調設備は、機能が喪失したとしても安全上重要な設備の機能に影響を及ぼすことはないことを評価しておくこと。

なお、建屋内負圧維持のため非常用ガス処理系を運転する必要がある場合でも、負圧維持運転時の非常用ガス処理系の給気口は、建屋内に設置されているため火山灰の影響を受けることはない。

重要事項

3.4.4 排気筒

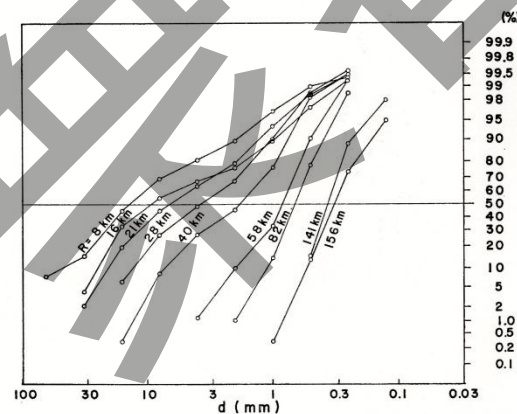
- (1) 考慮すべき影響モード
火山灰の侵入による排気筒の閉塞
- (2) 詳細設計段階での配慮に対する事項
排気筒の機能が喪失しないこと。
- (3) 具体的な配慮事項
 - a. 火山灰の侵入により，非常用ガス処理系の機能に影響を及ぼさないこと。
 - b. 排気筒最下部に堆積した火山灰を除去できること。

【解説】

常用換気空調設備が停止している場合，建屋内負圧維持が必要な時は非常用ガス処理系を運転する必要がある。このため，降灰により非常用ガス処理系の機能が阻害されないことが必要となる。また，灰が排気筒に侵入・堆積することによって排気経路の閉塞が生じ得る場合は，堆積した火山灰が除去出来ることが必要となる。除去作業時は換気空調設備を停止する必要があるため，その期間の室温上昇に対して，機械品，電気品の機能が健全であることを評価すること。排気筒内部から取り出した灰は，汚染の有無を確認し適切な方法で保管・処分すること。

非常用ガス処理系への影響評価の例を以下に示す。

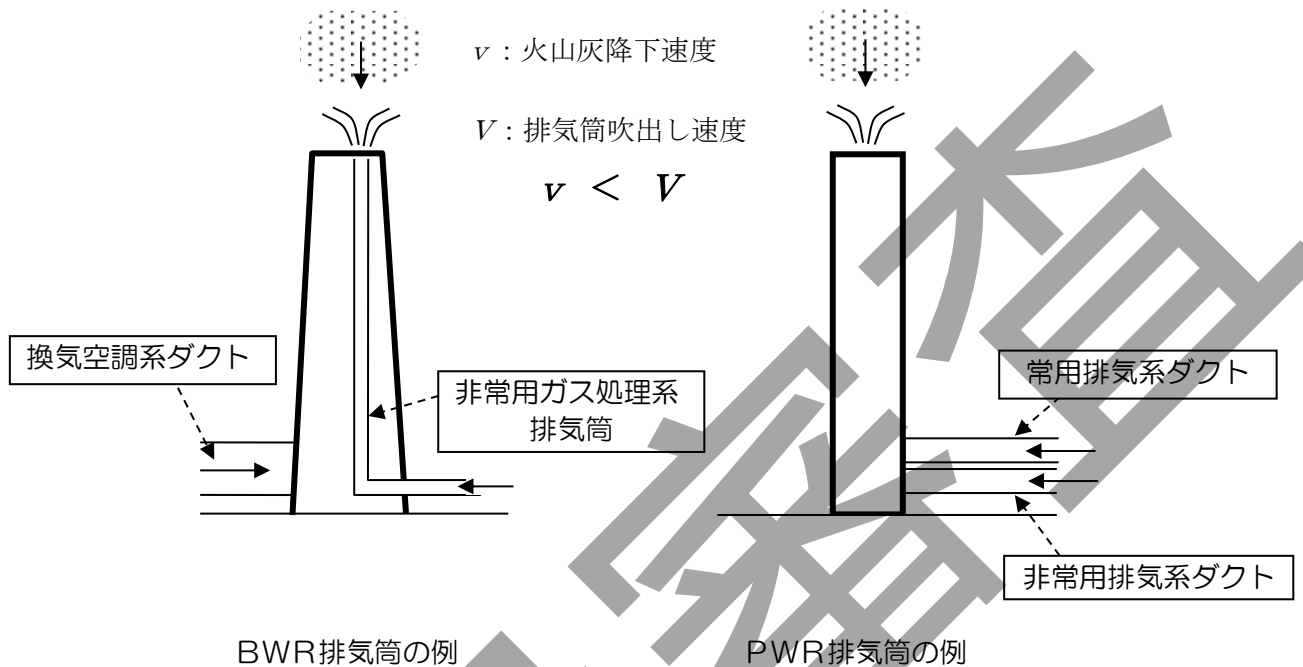
発電所における降下火山灰の粒径は，過去の火山噴火時に得られたデータより想定することができる。



解図 3.4.4-1 樽前山の降下火砕物の距離－粒径分布
(鈴木他 (1973) (3.4.4-1) による)

原子力発電所と想定火山までの距離との関係から，原子力発電所に到達する火山灰の粒径を想定する。

想定した火山灰粒径から求めた降下速度 v と、排気筒からの吹出し速度 V を比較することで、火山灰が排気筒に侵入するか否かを評価することができる。（附属書 3.6 参照）



解図 3.4.4-2 排気筒の概略構造図

3.4.5 非常用ディーゼル発電機及び燃料移送ポンプ

3.4.5.1 非常用ディーゼル発電機

- (1) 考慮すべき影響モード
火山灰の侵入による内燃機関への影響
- (2) 詳細設計段階での配慮に対する事項
火山灰が侵入し難い構造であること。
- (3) 具体的な配慮事項
火山灰が内燃機関内部に侵入しない様、フィルタが設置されていること。
又は、火山灰が給気口に侵入し難い構造となっていること。

3.4.5.2 燃料移送ポンプ

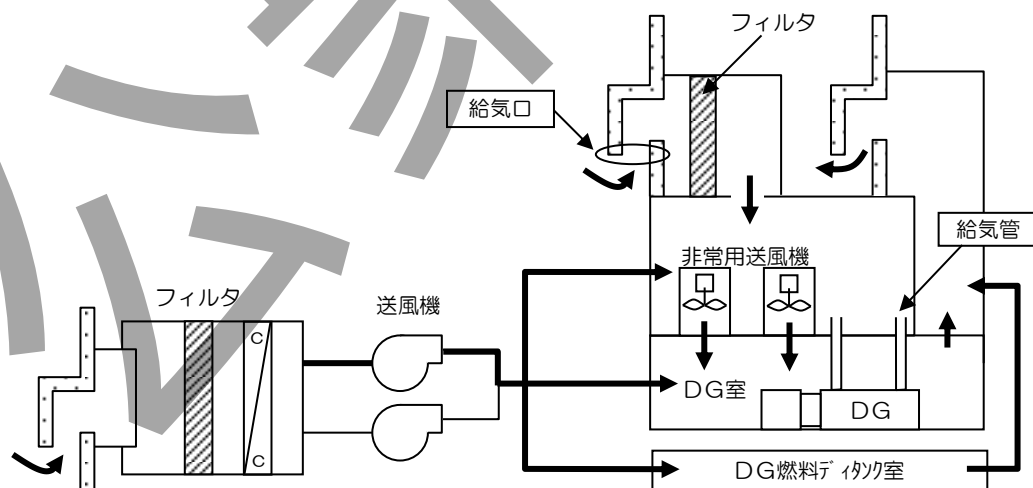
- (1) 考慮すべき影響モード
 - a. 火山灰侵入によるポンプ・電動機損傷
 - b. 電動機冷却空気への火山灰侵入による地絡・短絡
- (2) 詳細設計段階での配慮に対する事項
 - a. ポンプ・電動機軸受は火山灰の影響をうけにくい構造であること。
 - b. 電動機は冷却空気に火山灰が侵入しても影響を受けにくい構造であること。
- (3) 具体的な配慮事項
 - a. ポンプ・電動機軸受は火山灰が侵入し難い構造であること。
 - b. 電動機冷却空気が電動機巻線を直接冷却しない冷却方式であること。

【解説】

3.4.5.1 非常用ディーゼル発電機

(1) 非常用ディーゼル発電機の例

降灰時における非常用ディーゼル発電機の運転継続を考慮し、フィルタ及び火山灰の吸入経路の清掃の手順を検討しておくとともに、予備のフィルタ及び潤滑油ストレーナ等の配備をしておく。

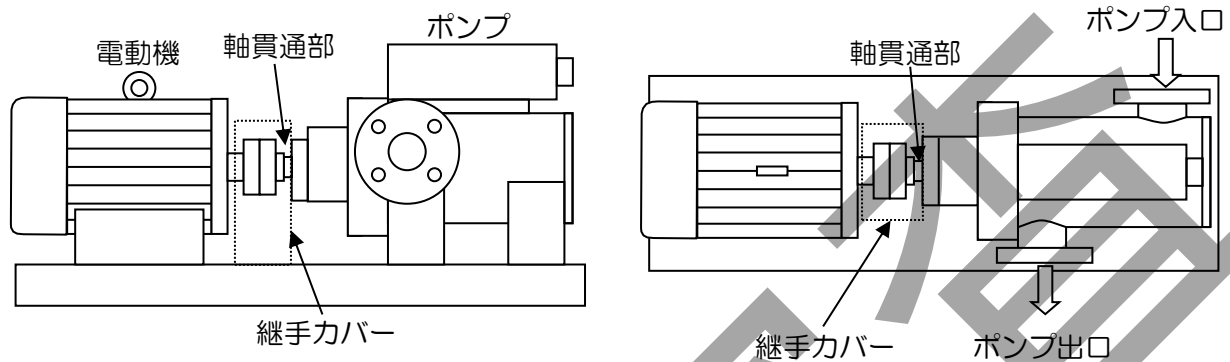


解図 3.4.5.1-1 非常用ディーゼル発電機室換気空調設備 概略系統図
(建屋にフィルタが設置されている場合の例)

3.4.5.2 燃料移送ポンプ

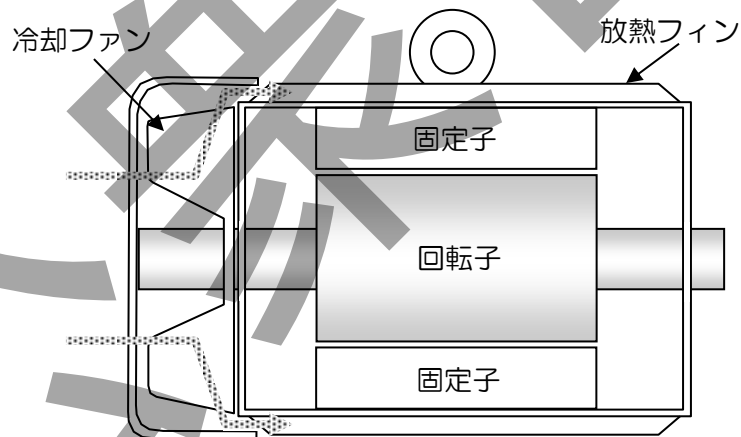
(1) 燃料移送ポンプの例

スクリー式ポンプの構造上、ポンプ本体への異物混入経路として考慮されるのはポンプ駆動側スクリーの軸貫通部であるが、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（ボルト締結時のトルク確認等）されていることから火山灰がポンプ本体に侵入することはない。



解図 3.4.5.2-1 燃料移送ポンプ概略図（例）

駆動側スクリーの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若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。



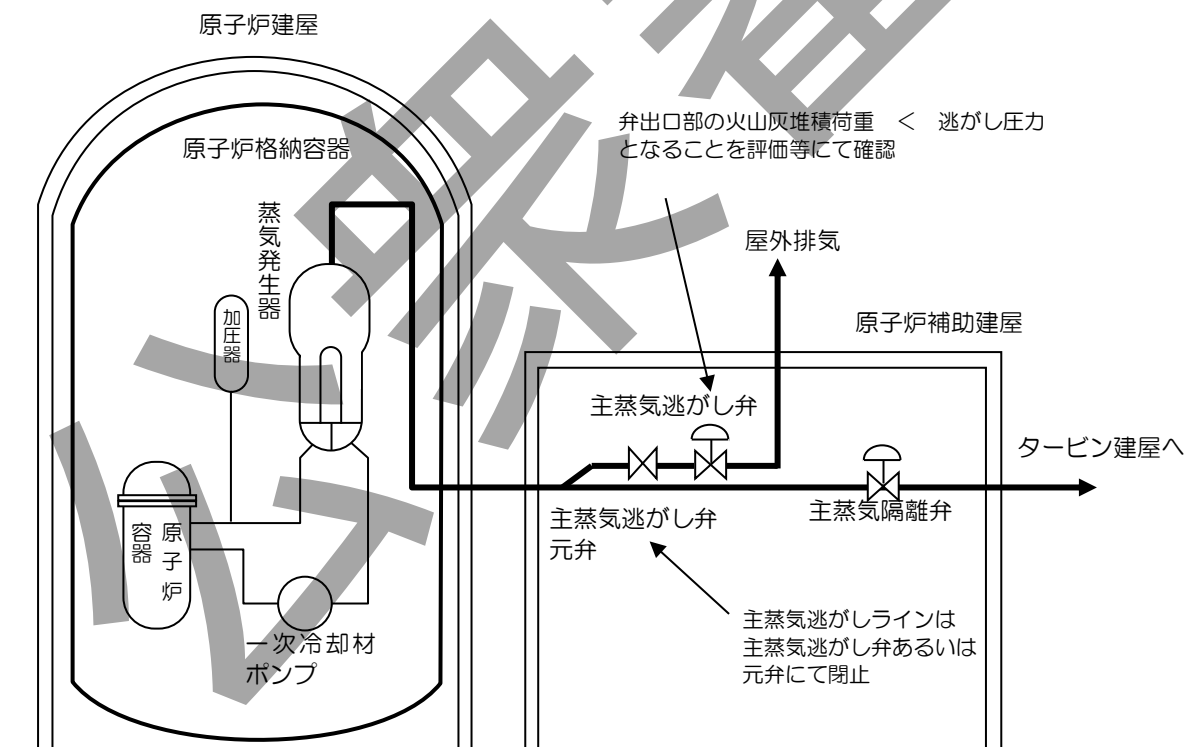
解図 3.4.5.2-2 全閉外扇屋外型電動機の冷却方式

3.4.6 主蒸気逃がし弁（PWR）

- (1) 考慮すべき影響モード
火山灰の侵入による逃がし機能低下への影響
- (2) 詳細設計段階での配慮に対する事項
 - a. 火山灰が侵入し難い構造であること。
 - b. 火山灰が弁出口部に堆積しても逃がし機能に影響を与えない構造であること。また、弁作動後の閉止機能に影響を与えない構造であること。
- (3) 具体的な配慮事項
 - a. 火山灰が弁の出口ライン開口部から弁出口部側に侵入し難い構造となっていること。
 - b. 火山灰が弁出口部に侵入し堆積しても弁の作動に影響を与えないこと、また、弁作動後、逃がしラインを閉止できる構成若しくは構造となっていること。

【解説】

主蒸気逃がし弁を用いて、蒸気発生器の二次側から減圧操作を実施する機能に対して、火山灰の降灰により弁出口配管から弁出口部側に火山灰が侵入し難い構造となっていることを評価等により確認する。また、主蒸気逃がし弁出口部側に火山灰が堆積しても、弁が作動することを評価等により確認するとともに、当該ラインの閉止が可能であることも確認する。



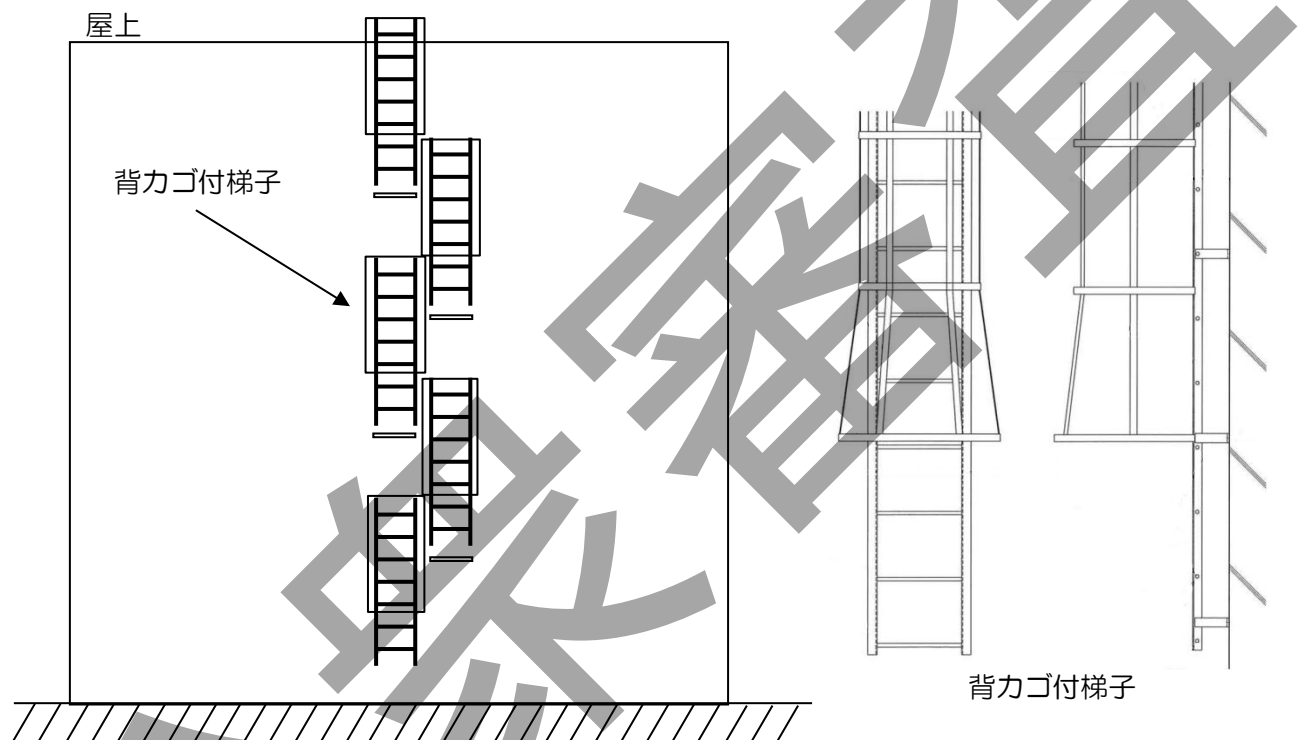
解図 3.4.6-1 主蒸気逃がしライン概略図（例）

3.4.7 建屋

- (1) 考慮すべき影響モード
火山灰の堆積荷重による強度への影響
- (2) 詳細設計段階での配慮に対する事項
火山灰の除去・清掃が容易に実施できるよう設計する。
- (3) 具体的な配慮事項
建屋の屋上へ容易にアクセスでき、堆積した火山灰を除去することができる構造であること。

【解説】

サイトごとに火山灰堆積厚さを調査・評価して設定し、火山灰堆積荷重に対して耐える構造であることを評価してもよい。



解図 3.4.7-1 建屋屋上へのアクセス方法例
(転落防止用背カゴ付梯子)

3.5 運転員及び作業員の安全確保

- (1) 考慮すべき影響モード
火山灰及び火山ガスの吸入による人体への影響
- (2) 具体的配慮事項
 - a. 火山灰及び火山ガス環境下での活動に必要な資機材を準備すること。
 - b. 火山灰及び火山ガスに対する作業員の安全確保に配慮すること。

【解説】

ここでは、火山灰及び火山ガス（考慮する事象と判定された場合）に対する対応について記載している。

具体的配慮事項の例を以下に示す。

- (1) 作業員の装備（附属書3.7参照）
 - （火山灰）・・・保護めがね，防じんマスク
 - （火山ガス）・・・保護めがね，防毒マスク，ガス吸収缶，ガス吸収缶用防じんフィルタ，空気呼吸器，ポータブルガス検知器，ガス検知管
- (2) 作業員の安全確保
 - a. 火山灰雰囲気における屋外作業への配慮
 - ・目の保護のため，保護めがねを装着する。
 - ・火山灰吸入防止のため，防じんマスクを装着する。
 - b. 火山ガス雰囲気における作業への配慮
 - (a) 中央制御室
 - ・外気の火山ガス濃度を定期的に確認する。
 - ・火山ガス濃度が上昇した際は，直ちに中央制御室換気空調設備を外気遮断運転モードに切替える。外気遮断運転モードでの運転可能時間をあらかじめ評価しておく。
 - (b) 屋外及び屋内（中央制御室以外）
 - ・人が立ち入るエリアの火山ガス濃度を定期的に確認する。立ち入るエリアのガス濃度が不明の場合は空気呼吸器を使用し，ガス濃度の測定を行う。
 - ・作業時は保護めがね，防毒マスクを装着するとともに，予備の吸収缶，ポータブルガス検知器を携帯する。
 - ・無風状態等，ガスが拡散しにくい気象条件のときには，ガスが滞留しやすい場所（ピット，防潮壁内部等）に必要以上に立ち入らない。

なお，火山ガス対応策の検討に際しては，平成12年政府防災局公表資料「三宅島島内作業等にかかる今後の進め方等について」における「三宅島島内作業等における火山ガス対策について」等の資料を参考にすることができる。

火山ガスによる被害については，人体，設備のいずれも火山近辺で発生している。過去の被害事例について「参考資料9 火山ガスによる被害事例」に示す。

3.6 火山現象の間接的影響への配慮

原子力発電所外での火山現象が発電所に及ぼす間接的影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶等）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。

【解説】

火山現象が発電所の敷地内に到達しない場合においても、発電所の敷地外の火山現象により、発電所が間接的な影響を受けることが考えられる。したがって、3.4に示す直接的影響に対する設備対策設計に加え、間接的影響を考慮した運用面の対策を取ることが必要である。

(1) 想定される間接的影響及び対策例

a. 外部電源の喪失

(a) 発生の可能性

東日本大震災の経験から、既設発電所に電力を供給する送電線は2ルート以上確保されている。また、送電線に用いられるがいしは、塩じん害などを考慮したものとなっており、火山灰の付着に対して絶縁性能を有している。

上記を考慮すると、送電線は火山現象に対し一定のロバスト性を備えていると考えられるが、広範囲に大量の火山灰が降下する場合や、送電線が敷設される山間部で多発的に土石流が発生する場合等を考慮すると、発電所が外部電源喪失となることが想定される。

(b) 影響の長期化の可能性

火山現象の規模によって、復旧までに必要な期間は異なるが、鉄塔が倒壊したり、点検清掃対象エリアが広大となる場合には、復旧まで長期間が必要となることも考えられる。したがって、外部電源喪失が長期化することを考慮した対応が必要である。

(c) 発電所への影響

外部電源が喪失すると、原子炉が自動停止（又は手動停止^{*1}）するとともに、発電所の所内電源が非常用ディーゼル発電機に切り替わる。

非常用ディーゼル発電機は長期間運転しても支障のないよう設計されているが、燃料油は補給する必要がある。

(d) 発電所の対策例

(i) 噴火初期の混乱が終息し、外部からの支援が可能となるまでに必要な燃料油をあらかじめ備蓄しておく^{*2}。

(ii) 燃料油の残量に注意を払うとともに、必要に応じタンクローリーの手配を行い、燃料油を補給する^{*3}。

なお、b. に示す道路交通の遮断も考慮する必要がある。

b. 道路交通の遮断

(a) 発生の可能性

発電所へのアクセス道路が山間部を経由している場合には、アクセス道路が土石流等により遮断され発電所が孤立する可能性がある。また、道路上に積もった火山灰によりタイヤがスリップし、一般車両の通行が困難となることも想定される。

(b) 影響の長期化の可能性

遮断された道路の復旧作業は自治体等が中心となって対応するが、周辺地区に影響が及ぶような火山噴火を想定すると、住民避難や他の重要施設の保全活動が優先され、道路交通の遮断が長期化する可能性は否定できない。

(c) 発電所への影響

道路が遮断されると、火山対応活動に従事する人員が発電所に参集することが困難となる。また、資機材、物資の搬入も困難となる。

(d) 発電所の対策例

- (i) 火山灰除去作業の要員や当直員等、発電所内の火山活動対応に必要な人員は、噴火予兆段階（道路が通行可能な段階）で極力発電所に招集する^{*4}。
- (ii) 発電所の人員が一定期間外部の支援なしで活動できるよう、資機材や飲料水・食料をあらかじめ発電所に備蓄しておく^{*2}。
- (iii) 代替輸送手段として、船舶やヘリコプターの活用について検討しておく^{*5}。人員や物資だけでなくディーゼル発電機等の燃料油の輸送についても検討する。

c. 工業用水等の停止

(a) 発生の可能性

浄水場のうち、自家発電設備が整備されていないものは、地域の停電により機能を停止する。また、浄水場への火山灰降灰による機能停止、土石流等による取水口の閉塞、火山灰による下水暗渠の閉塞も想定される。

(b) 影響の長期化の可能性

水道は重要度の高いインフラであるため、自治体等により優先的に復旧作業が実施されるものと想定される。ただし地域の停電が長引くことによる復旧の遅れにより、影響が長期化する可能性がある。したがって工業用水等の停止が長期化することを考慮した対応が必要である。

(c) 発電所への影響

常用、非常用水源の補給を工業用水等に頼っている場合は、タンクや貯水槽への水の補給が停止する。

(d) 発電所の対策例

(i) 必要に応じ給水車の手配等を行い、水を補給する。

なお、b. に示す道路交通の遮断も考慮する必要がある。

(ii) プラント内の水源^{*6}を洗浄水等として活用する。ただし、この場合はプラントの運転状態を十分注視する必要がある。

d. 電話回線等の停止

東日本大震災の経験から、原子力発電所では衛星通信設備の配備や、通信設備用電源の非常用化が進められている。このため、火山現象により電話回線等が停止しても、発電所と外部の通信回線は確保される。

(2) 外部支援実施時の考慮事項例

発電所単独での対応に加え、外部支援体制をいち早く構築し、必要に応じて発電所の火山対応活動をバックアップすることが重要である。火山対応活動の外部支援に際して考慮すべき事項の例を以下に示す。

- a. 地元からの物資調達が困難となる場合を想定し、燃料、資機材、食料、飲料水等の広域的な調達計画、輸送計画を定めておく。また、輸送計画策定に当たっては、道路交通の混乱、遮断を考慮し、船舶等の活用について検討しておく。
- b. 発電所地区で必要な人員が確保できない場合や、影響が長期化し人員の交代が必要となる場合に備え、他地区からの応援要員の派遣計画を定めておく。
- c. 自治体等に対して発電所へのアクセスルートを確保するため、発電所近郊の公共道路の除灰作業の支援を要請する指標（タイミング）を定めておく。

以上想定される間接的影響、対策例及び考慮事項について、解表 3.6-1 にまとめる。

解表 3.6－1 想定される間接的影響とその対策例及び考慮事項

間接的影響	発電所への影響	発電所の対策例	外部支援実施時の考慮事項
外部電源の喪失	ディーゼル発電機用燃料の補給が必要となる。	○噴火初期の混乱が終息し、外部からの支援が可能となるまでに必要な燃料油をあらかじめ備蓄しておく。 ○燃料油の残量に注意を払うとともに、必要に応じタンクローリーの手配を行い、燃料油を補給する。 なお、道路交通の遮断を考慮する。	○燃料、資機材、食料、飲料水等の広域的な調達計画、輸送計画を定めておく。 (道路交通の混乱、遮断を考慮し、船舶等の活用について検討しておく。) ○他地区からの応援要員の派遣計画を定めておく。 ○自治体等に対して発電所へのアクセスルートを確保するため、発電所近郊の公共道路の除灰作業の支援を要請する指標(タイミング)を定めておく。
道路交通の遮断	火山対応活動に従事する人員が発電所に参集することが困難となる。また、資機材、物資の搬入も困難となる。	○発電所内の火山活動対応に必要な人員は、噴火予兆段階(道路が通行可能な段階)で極力発電所に招集する。 ○発電所の人員が一定期間外部の支援なしで活動できるよう、資機材や飲料水・食料をあらかじめ発電所に備蓄しておく。 ○代替輸送手段として、船舶やヘリコプターの活用について検討しておく。人員や物資だけでなくディーゼル発電機等の燃料油の輸送についても検討する。	
工業用水等の停止	発電所に駐在する人員の居住性が悪化する。 常用、非常用水源の補給を工業用水等に頼っている場合は、タンクや貯水槽への水の補給が困難となる。	○必要に応じ給水車の手配等を行い、水を補給する。 なお、道路交通の遮断を考慮する。 ○プラント内の水源を洗浄水等として活用する(プラントの運転状態を十分注視する必要がある)。	

なお、実際の対応に当たっては、火山現象の規模はもとより、発電所の立地条件、季節や天候などの自然環境、周辺自治体の災害対応状況に応じて柔軟に対応することが必要である。

＊１：タービンバイパス運転が可能な発電所。

＊２：東日本大震災の経験から、大規模な自然災害発生後外部支援が本格化するまでの期間は２～３日程度必要と考えられるため、余裕を見て７日程度の備蓄を行う。
なお、燃料油については、既設の発電所には燃料油タンクが設置され、７日間程度ディーゼル発電機を運転することができる量が備蓄されている。

＊３：送電線に事故が発生した時点で周辺地区は停電している可能性が高い。地区の停電に伴い燃料油の需要が急増するため、あらかじめ地元の燃料供給事業者と災害時の優先供給契約を結んでおくことも考慮する。

＊４：人員招集のための判断基準を含む招集計画を事前に策定することが有効である。

＊５：東日本大震災や阪神淡路大震災において、フェリー等による緊急輸送が実施され大きな効果を挙げており、火山現象による道路交通の寸断のような事態に対しても船舶輸送の有効性は高い。

船舶の運用のためには港湾が必要であるが、多くの原子力発電所には重量物陸揚げのための港が施設されている。

火山灰の船舶用エンジンに対する影響については実績がほとんどなく不明であるものの、桜島フェリーにおいてもここ数年の火山噴火により運行を停止した実績はないことから、噴火の小康期間を利用することで運用は十分可能である。ただし、厚い軽石浮遊層が形成されている海面ではエンジン冷却用の海水を取り込むことが困難となるため注意が必要である。

ヘリコプターは災害救援活動に広く利用されるが、降灰時にはエンジン給気への火山灰の取り込みによる故障に注意が必要である。

＊６：東日本大震災の経験から、既設原子力発電所では原子炉注水用の水源の多様化や貯水槽の増設が進められている。

第4章 重大事故等対処施設の影響評価

本章は、「2.2.2 詳細設計段階において施設への影響を評価するための検討項目」に記載された検討項目について、重大事故等対処施設の詳細設計段階での評価方法を示す。

本章における評価の流れを「附属書3.1 火山影響評価の流れ（その2）」に示す。

【解説】

「重大事故等対処施設」とは、設計基準事故を超える事故の発生後、重大事故の発生及び拡大の防止に対処するための設備をいう。

「重大事故等対処施設」のうち、設計基準事故対処設備が何らかの原因によりその安全機能を喪失した場合に、必要な機能を代替することにより重大事故の発生を防止するための設備を「重大事故防止設備」といい、重大事故の発生後、その拡大を防止又は影響を緩和するための設備を「重大事故緩和設備」という。

重大事故等対処施設には、可搬型と恒設型のものがあり、評価においては、設備の特徴を考慮する。

規制基準の要求事項の整理を解表4-1に示す。

解表4-1 規制基準※の要求事項の整理

条文		設備分類	機能	直接系		関連系				
						第57条	第56条			
重大事故等対処施設	第43条 重大事故等対処設備 ※常設SAは共通要因により、DBAと同時に機能喪失しないよう措置（可能な限り多様性を考慮）	重大事故防止設備	重大事故に至るおそれが生じた場合に設計基準事故対処設備の機能喪失を代替する機能	第44条 緊急停止失敗		原子炉代替停止設備		代替交流電源／代替直流電源	代替水源	
				第45条 炉心高圧時冷却		高圧代替注水設備				
				第46条 冷却材バウンダリ減圧		原子炉代替減圧設備				
				第47条 炉心低圧時冷却（常設/可搬）		低圧代替注水設備				
				第48条 ヒートシンク（格納容器圧力逃がし装置の場合50条準拠）		最終ヒートシンク代替熱輸送設備				
				第49条 第1項 格納容器冷却（第49条 1項と2項は同一設備でよい）		原子炉格納容器代替冷却設備				
		重大事故緩和設備	重大事故	著しい炉心損傷時	第49条 第2項 格納容器冷却		原子炉格納容器代替冷却設備			
					第50条 格納容器破損防止		原子炉格納容器過圧破損防止設備			
					第51条 原子炉格納容器下部の熔融炉心冷却		原子炉格納容器下部注水設備			
					第52条 水素爆発による格納容器破損防止		原子炉格納容器水素爆発防止設備			
				格納容器破損時	第53条 水素爆発による原子炉建屋等の破損防止		原子炉建屋水素爆発防止設備			
					第54条 使用済燃料貯蔵槽の冷却等		燃料プール代替冷却設備			
	第42条 特定重大事故等対処施設 ※設計基準事故対処設備及び重大事故等対処設備に対して、可能な限り、多重性又は多様性及び独立性を有し、位置的分散を図る	テロ等による格納容器破損防止による放射性物質の異常放出抑制		(a) i. 原子炉冷却材圧力バウンダリの減圧操作機能		後備原子炉減圧設備		専用電源		
				ii. 炉内の熔融炉心の冷却機能		後備原子炉格納容器冷却系				
				iii. 格納容器下部に落下した熔融炉心の冷却機能						
				iv. 格納容器内の冷却・減圧・放射性物質低減機能						
				v. 格納容器の過圧破損防止機能						後備原子炉格納容器減圧設備
				vi. 水素爆発による格納容器の破損防止機能		後備電源設備（電源設備、燃料設備）				
				vii. サポート機能		後備計測制御設備（緊急時制御室，計測制御設備）				
				(計装設備)		通信連絡設備等（通信連絡設備，その他設備）				
				(通信連絡設備)		通信連絡設備等（通信連絡設備，その他設備）				
				viii. 上記の関連機能（減圧弁，配管等）		後備計測制御設備（緊急時制御室，計測制御設備）				
				(b) 上記(a)の機能を制御する緊急時制御室		後備計測制御設備（緊急時制御室，計測制御設備）				

※原子力規制委員会：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（平成二十五年原子力規制委員会規則第五号）

4.1 詳細設計段階で考慮すべき火山現象

重大事故等対処施設について詳細設計段階で考慮すべき火山現象は、火山灰等とし、待機状態時に火山が噴火し、火山灰等がサイトに到達したとしても噴火後の設備及び運用に影響がないことを確認する。

【解説】

本指針においては、詳細設計段階で考慮する事象の選定に当たり、火山灰等のデータが充実していることから、広範囲に降下し、海流等によってサイトに到達することがある火山灰等及び火山ガスに対する重大事故等対処施設の規格を策定する。なお、影響を評価する場合の検討条件については、「3.2 検討条件」を参照。

第3章において、設計基準対象施設に対し、「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」の機能が火山噴火の影響により喪失しないようにハード面及びソフト面の対策を整備することを求めている。このため、設計段階で想定される火山噴火に対し原子力発電所は安全に停止することが可能であることから、重大事故発生の可能性は極めて低く、火山噴火の従属事象として重大事故を考慮する必要はない。

一方、設計想定を超える火山噴火の従属事象として重大事故が発生する場合、及び火山噴火と重大事故が独立事象として同時に発生する場合の想定の必要性については、火山噴火の頻度と重大事故の発生確率から判断する必要があり、確率論的アプローチを用いた手法を検討している。

現時点では、想定を超える規模の噴火の想定や重ね合わせの判断に用いるまでには至っておらず、重大事故と火山噴火の重ね合わせについては、今後継続して検討を進めることとする。したがって、本章では、重大事故等対処施設が火山噴火後においてもその機能を喪失することなく、かつ、運用面での対応を阻害することのないよう、影響評価方針をまとめることとした。

以上のことから、重大事故等対処施設に対する火山現象による影響評価は、当該設備の待機状態を想定して以下のとおりとする。

- ・火山灰堆積荷重に対して耐える構造であること、又は、除灰により座屈等の発生を防止できること。
- ・火山灰等により閉塞しない構造であること、又は、容易に除去できる構造であること。
- ・火山灰等による重大事故対応を阻害する要因を除去できる資機材及び体制が整備されていること。

また、除灰等の作業において、火山灰及び火山ガス雰囲気での屋外作業を伴うことから、運転員及び作業員の装備、安全確保についても考慮することとし、詳細については「3.5 運転員及び作業員の安全確保」に準拠するものとする。

4.2 評価対象となる重大事故等対処施設の抽出

重大事故等対処施設のうち、待機状態で火山灰等の影響を受ける設備を抽出する。設備の抽出にあっては、間接系も対象とする。

【解説】

重大事故等対処施設については、解表4-1にて整理した設備を配備することとし、設計基準対象施設と同様に、直接系と間接系に整理した上で、火山灰等の影響を受ける施設を抽出する。抽出の観点は以下のとおり。

- ・屋外に設置されている施設
- ・屋外に開口しており降下火砕物を含む海水の流路となる施設
- ・屋外に開口しており降下火砕物を含む空気の流路となる施設
- ・屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設
- ・降下火砕物から防護する建屋
- ・降下火砕物の影響を受ける可能性がある施設で、重大事故等対処施設に影響を及ぼし得る施設

重大事故等対処施設の例を以下に示す。

①常設設備

- ・代替注水設備（ポンプ、タンク等）
- ・代替除熱設備（フィルタベントシステム、代替熱交換器システム等）
- ・代替発電機（空冷式ディーゼル発電機等）

②可搬型設備

- ・電源車
- ・可搬型注水設備（消防自動車、放水車等）
- ・移動式代替熱交換器設備
- ・燃料補給用タンクローリー

③建屋

- ・上記設備を収納する建屋

4.3 設備対策設計の実施

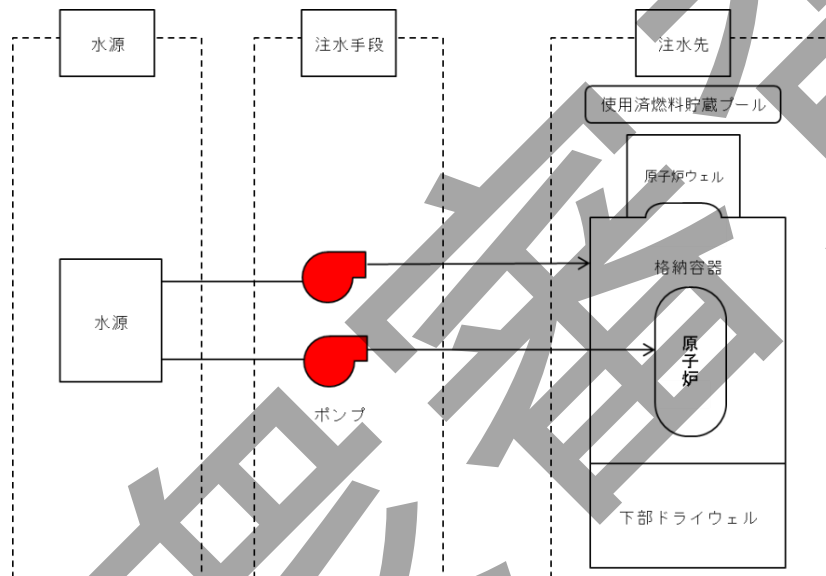
4.3.1 代替注水設備

4.3.1.1 代替注水設備（ポンプ）

- (1) 考慮すべき影響モード
火山灰の堆積荷重による局部曲げによる変形等
- (2) 詳細設計段階での配慮に対する事項
火山灰の除去・清掃が容易に実施できるよう設計する。
- (3) 具体的な配慮事項
火山灰除去のため、設備上部に容易にアクセスできる構造となっていること。堆積した火山灰を除去することができる構造であること。

【解説】

代替注水設備のシステム例を以下に示す。



解図 4.3.1.1-1 代替注水設備のシステム例

設備上部に直接火山灰が堆積する構造の場合、局部曲げによる変形等が発生する火山灰堆積厚さを求め、火山灰除去の開始時期等を定めた作業計画を策定する。

サイトごとに火山灰堆積厚さを調査・評価して設定し、火山灰堆積荷重に対して耐える構造であることを評価してもよい。

なお、火山噴火の影響が敷地に到達するまでには時間的余裕があることから、事前に防護カバー等により、設備への火山灰侵入を防ぐことを考慮してもよい。

4.3.1.2 代替注水設備（タンク等）

- (1) 考慮すべき影響モード
 - a. 火山灰の侵入による水源の汚染
 - b. 火山灰の堆積荷重による座屈等
- (2) 詳細設計段階での配慮に対する事項
 - a. 火山灰が侵入し難い構造であること。
 - b. 火山灰の除去・清掃が容易に実施できるよう設計する。
- (3) 具体的な配慮事項
 - a. 屋外タンクベント管は、吸込み口が下向きに設置されている等、火山灰が管内に侵入し難い構造であること。
 - b. タンクの屋根へ容易にアクセスできる階段が設置されている等、堆積した火山灰を除去することができる構造であること。

【解説】

水源に火山灰が侵入すると、水質が悪化するとともに冷却水に異物が混入することになる。したがって、火山灰が侵入し難い構造とする必要がある。

屋根部に直接火山灰が堆積する構造の場合、座屈等が発生する火山灰堆積厚さを求め、火山灰除去の開始時期等を定めた作業計画を策定する。（附属書3.5参照）

サイトごとに火山灰堆積厚さを調査・評価して設定し、火山灰堆積荷重に対して耐える構造であることを評価してもよい。

4.3.2 代替除熱設備

4.3.2.1 代替除熱設備（フィルタベントシステム）

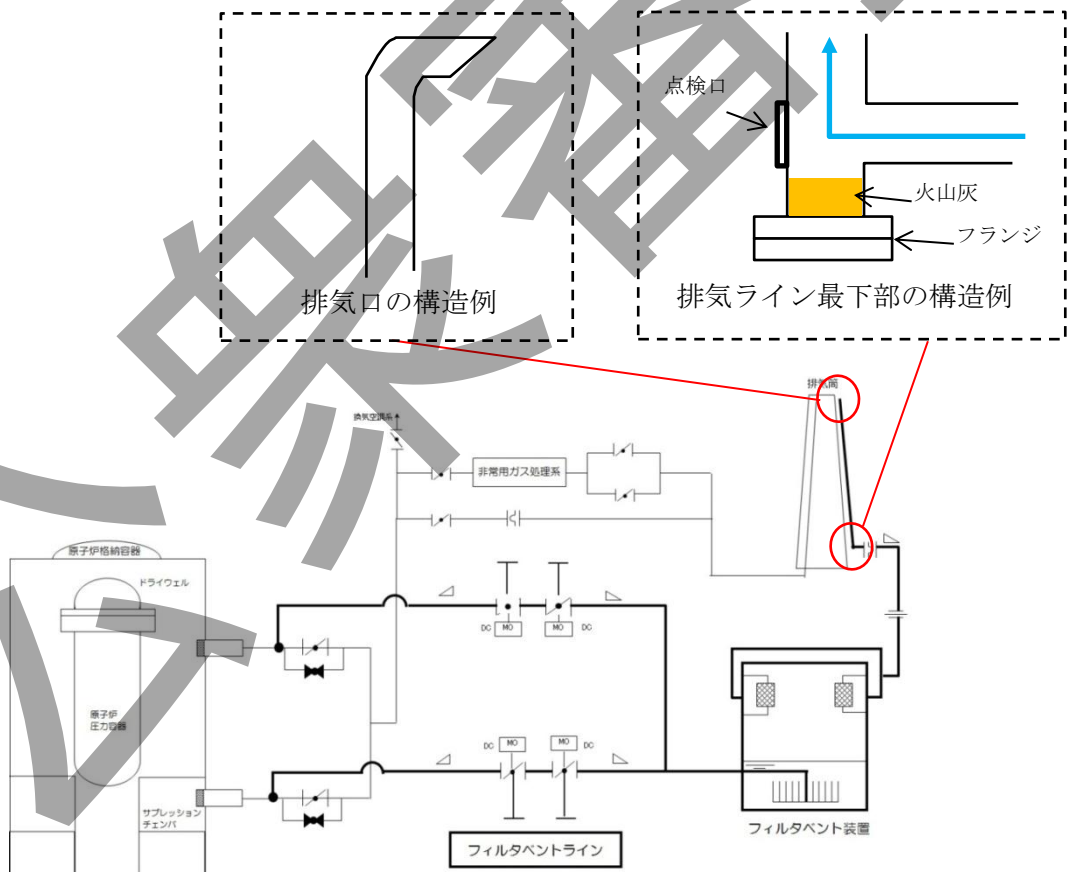
- (1) 考慮すべき影響モード
火山灰の侵入による排気ラインの閉塞
- (2) 詳細設計段階での配慮に対する事項
排気ラインの機能が喪失しないこと。
- (3) 具体的な配慮事項
 - a. 火山灰の侵入により，閉塞し難い構造であること。
 - b. 排気ライン最下部に堆積した火山灰を除去できること。

【解説】

排気口から火山灰が侵入し難い構造（例：下向き）であること。又は，排気ラインを閉塞させないための空間を排気ライン最下部に設ける等の構造とし，火山灰が排気ライン最下部に堆積したとしても機能を喪失しない構造であること。

排気ラインから取り出した灰は，汚染の有無を確認し適切な方法で保管・処分すること。

なお，火山噴火の影響が敷地に到達するまでには時間的余裕があることから，事前に防護カバー等により，設備への火山灰侵入を防ぐことを考慮してもよい。



解図 4.3.2.1-1 排気口及び排気ライン最下部の構造例

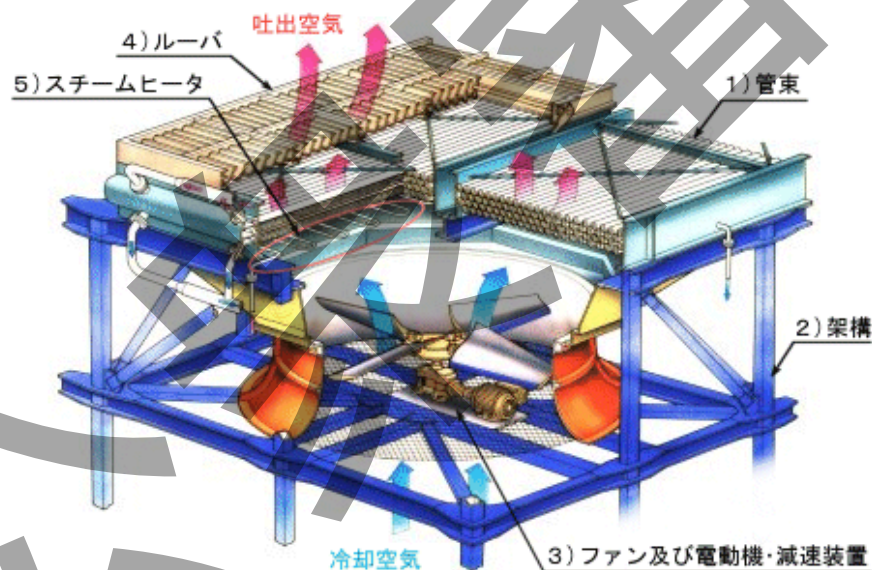
4.3.2.2 代替除熱設備（代替熱交換器システム）

- (1) 考慮すべき影響モード
 - 火山灰の付着による除熱効率の低下
 - 火山灰の堆積荷重による局部曲げによる変形等
 - 火山灰の冷却水への侵入による水質の悪化
- (2) 詳細設計段階での配慮に対する事項
 - 火山灰の除去・清掃が容易に実施できるよう設計する。
 - 火山灰が冷却水に侵入し難い構造となっていること。
- (3) 具体的な配慮事項
 - a. 設備上部へのアクセスができる階段が設置されている等、堆積した火山灰を除去することができる構造であること。
 - b. 冷却水が冷却管等により大気から分離された構造であること。

【解説】

局部曲げによる変形等が発生する火山灰堆積厚さを求め、火山灰除去の開始時期等を定めた作業計画を策定する。

サイトごとに火山灰堆積厚さを調査・評価して設定し、火山灰堆積荷重に対して耐える構造であることを評価してもよい。また、火山噴火の影響が敷地に到達するまでには時間的余裕があることから、事前に吐出空気により火山灰が堆積しない様、設備を運転する運用としてもよい。



解図 4.3.2.2-1 代替熱交換器システムの例（エアフィンクーラー） (4.3.2-1)

4.3.3 可搬型設備

4.3.3.1 電源車、可搬型注水設備、移動式代替熱交換器設備、燃料補給用タンクローリー

- (1) 考慮すべき影響モード
火山灰の堆積荷重による局部曲げによる変形等
- (2) 詳細設計段階での配慮に対する事項
火山灰の除去・清掃が実施できること。
- (3) 具体的な配慮事項
火山灰除去のため、設備上部に容易にアクセスできる構造となっていること。堆積した火山灰を除去することができる構造であること。

【解説】

局部曲げによる変形等が発生する火山灰堆積厚さを求め、火山灰除去の開始時期等を定めた作業計画を策定する。

火山灰が設備に堆積した場合に堆積荷重が厳しい条件となる部位について、健全性に影響がないことを評価してもよい。

評価対象設備は、電源車、消防自動車、放水車、移動式代替熱交換器設備、燃料補給用タンクローリー等。

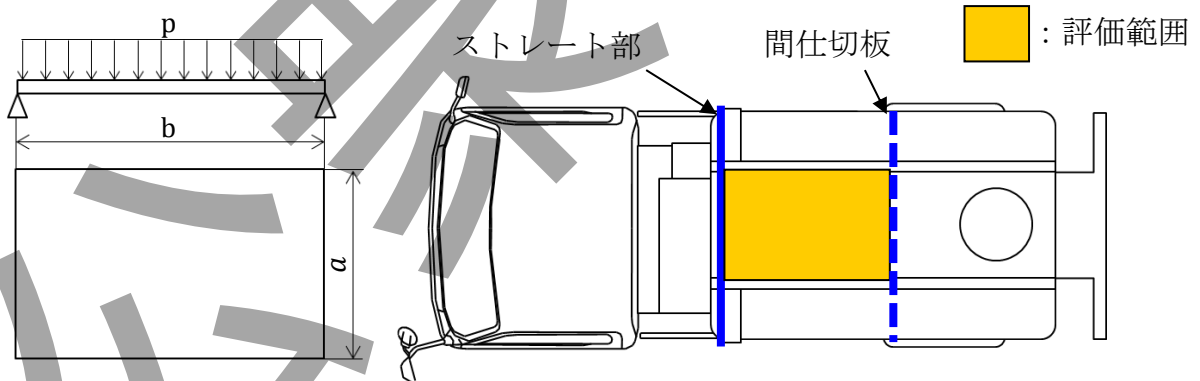
燃料補給用タンクローリーの評価例を以下に示す。

(1) 評価モデル

上部に火山灰が堆積するタンク室を評価対象とし、支持されている範囲の中で、最も面積が大きい防護枠に囲まれた範囲を対象とする。

タンク室を平板と仮定し、等分布荷重が作用する4辺支持板を評価モデルとする。

モデル化範囲は、中間部に間仕切板があるため、間仕切板を支持点と考え、ストレート部から間仕切板までとする。



解図 4.3.3.1-1 評価モデル及び評価対象範囲

(2) 評価方法

機械工学便覧に基づき、等分布荷重の4辺支持条件の最大曲げ応力を求める以下式を用いる。

$$\sigma_{max} = \beta_1 \frac{pa^2}{h^2}$$

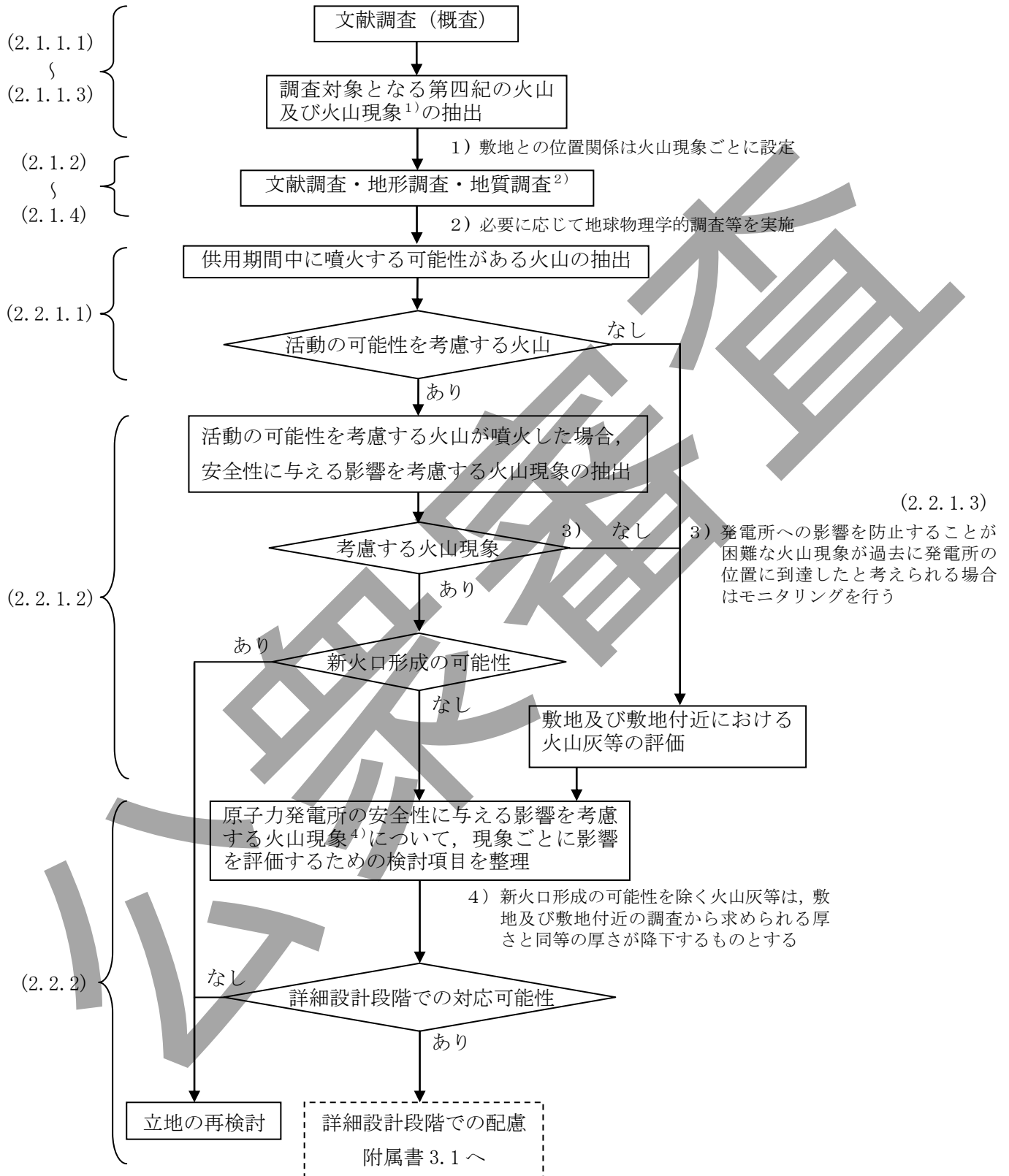
β_1 : 長方形板の最大応力の係数

p : 等分布荷重

a : 短辺の長さ

h : 板厚

附属書 2.1 火山影響評価の流れ（その 1）



附属書 2.2 調査対象とする火山現象と敷地との位置関係

解表 2.1.1.3-1 を踏まえ、調査対象とする火山現象と敷地との位置関係を以下のとおり設定した。

火山現象	敷地との位置関係
②火山弾等の放出	噴出中心が敷地から 10km 以内
③火砕流及び火砕サージ	噴出中心が敷地から 160km 以内
④溶岩流	噴出中心が敷地から 50km 以内
⑤火山ガスの噴出	噴出中心が敷地から 160km 以内
⑥岩屑なだれ	噴出中心が敷地から 50km 以内
⑦火山泥流	噴出中心が敷地から 120km 以内

注) ①火山灰等の降下については、噴出源にかかわらず、敷地及び敷地付近の調査から求められる厚さと同等の厚さの火山灰等が降下するものとする。

⑧新火口の形成については、当該火山の過去の火口・火道の分布範囲及びその近傍に敷地が位置する場合には、原子力発電所の供用期間中に、新火口が形成される可能性を検討する。

(①～⑧は 2.2.1.2 に記載した火山現象に対応する。)

附属書 2.3 火山活動のモニタリング

火山活動の監視項目としては、地震活動、地殻変動、噴気・熱活動の監視があり、各現象の概要、監視に利用できる観測機器の例とその運用について以下に示す。

1. 地震活動

火山活動が活発になる時、火山の周辺では、断層運動による地震とは異なる微弱な地震波が観測され、これを火山性地震・微動と呼ぶ。地震動は急激な断層運動によって引き起こされるが、火山性微動は、地下深部からのマグマ又は熱水・水蒸気などの上昇、または火口直下の火道内での発泡などの物理化学現象によって引き起こされる振動と考えられている。これらの火山性地震・微動を観測することにより噴火の予兆を知ることができる。

(1) 地震計

火山性地震は、低周波成分が卓越する地震や、非常に振幅の小さい火山性微動などがある。噴火の前兆として低周波地震や火山性微動が多発するケースが比較的多いためこれを検出する目的で使用される。火山観測所には、広帯域地震計や高感度地震計が組み合わされて使用されることが多い。

2. 地殻変動

火山活動では、マグマが地下深部から上昇し、マグマ溜りの圧力が上昇するとその周辺は同心円状に隆起し、逆にマグマがなくなって圧力が下がると沈降する。マグマの動きによる地盤の隆起・沈降や水平変動のパターンは、火山活動の活発な地域を中心に、ほぼ同心円状に見られ、圧力源が浅いほど変動の範囲が狭く、深いほど広くなる。これらの地殻変動を観測することにより噴火の予兆を知ることができる。また、マグマの上昇に伴う圧力変化で地殻変動が生じたとすると、地殻変動からマグマの深さを推測することができる。

(1) 傾斜計

マグマの貫入に伴う火山体地下の状況変化に応じて、微少な傾斜変化が生じる場合がある。傾斜計はこれを検出する目的で使用される。

(2) GPS 観測

地盤の隆起、沈降を検出する目的で使用される。

3. 噴気・熱活動

火山活動では、マグマに溶けている水蒸気や二酸化炭素、二酸化硫黄、硫化水素など様々な成分が気体となって放出される。これに伴い、熱等が放出されるため、これを観測することにより噴火の予兆を知ることができる。

(1) 監視カメラ

噴煙等の状態を直接監視する目的で使用される。夜間観測のため高感度カメラが用いられることもある。

(2) 赤外線カメラ

噴気や地熱の変化を検出する目的で使用される。

4. 観測機器の運用

観測機器の運用について、配慮すべき事項を以下に示す。

(1) 機種を選定

各火山の状況によって、使用すべき観測機器は異なってくるため、モニタリング対象火山の状態に合わせ観測機器を選定する必要がある。機種を選定及び設置箇所については、専門家の助言を得て決定することが望ましい。

(2) データの収集

定期的に人がデータを収集しても良いし、テレメータ伝送によっても良い。観測ステーションは山間部に設けられることが多いため、人力でのデータ収集は労力がかかる一方、地理的な要因によりテレメータ伝送が困難な場合もあることに配慮が必要である。

5. 観測データの評価

火山観測結果の評価は専門的知識が必要であり、火山研究者等の専門家の助言を得て評価することが望ましい。

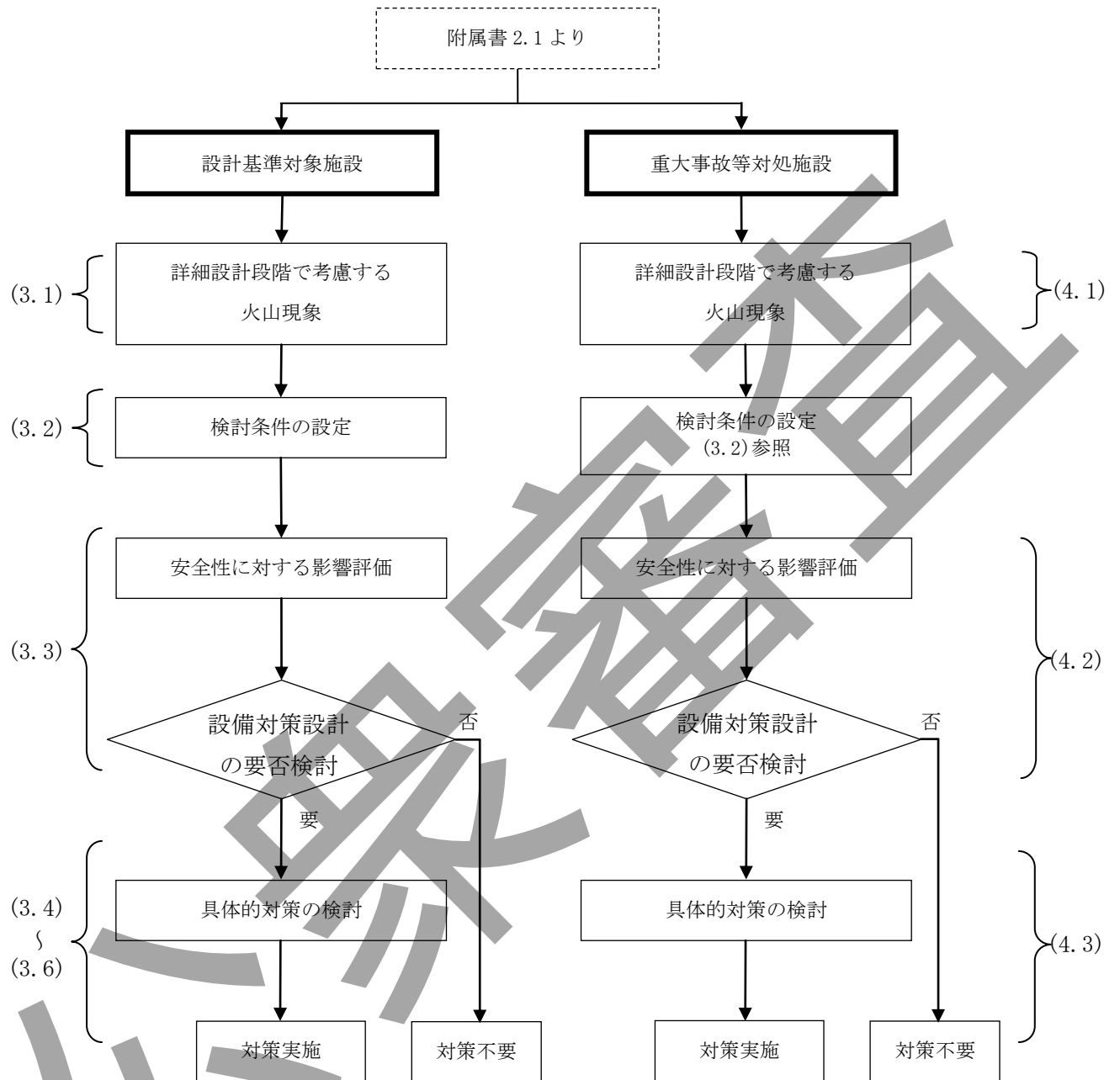
6. 他機関データの活用

モニタリング対象の火山について、公的機関が火山活動を監視している場合においては、その監視データを活用することができる。

以下に気象庁が行っている観測方法及び観測機器の例を示す。

監視項目	観測方法	観測機器
地震活動	地震観測	地震計
地殻変動	傾斜観測	傾斜計
	G P S 連続観測	G P S 機器
噴気・熱活動	噴気・熱観測	監視カメラ 赤外線カメラ

附属書 3.1 火山影響評価の流れ（その2）



附属書 3.2 火山灰評価例

以下に、原子力発電所敷地における火山灰の評価例を示す。

対象火山灰：敷地に分布する火山灰のうち最大厚さを示す火山灰

(洞爺火山灰(Toya) (2.1.2-1)) *¹

最大厚さ：敷地における Toya の実績厚さから約 20cm

雨水に飽和した場合の比重を 1.5 とすると、荷重は 3,000N/m²

粒径：噴出源からの距離別の火山灰の粒度組成の例を以下に示す。

火山灰の粒度組成は、噴出源から離れるほど細粒となる。

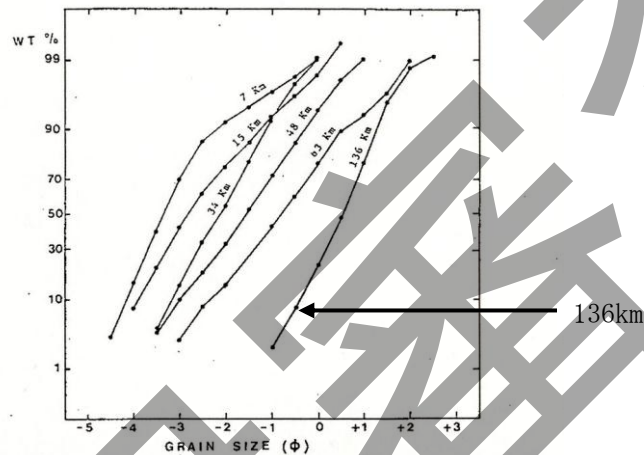


Fig. 8. Log normal probability curves for grain size distribution of Ho-Ia, showing the variation with distance (km) from the source along the axis of isopach map.

附図 3.2-1 富士火山 1707 年噴火の火山灰 Ho-Ia の累積粒度曲線
(宮地(1984) (附 3.2-1) による) *²

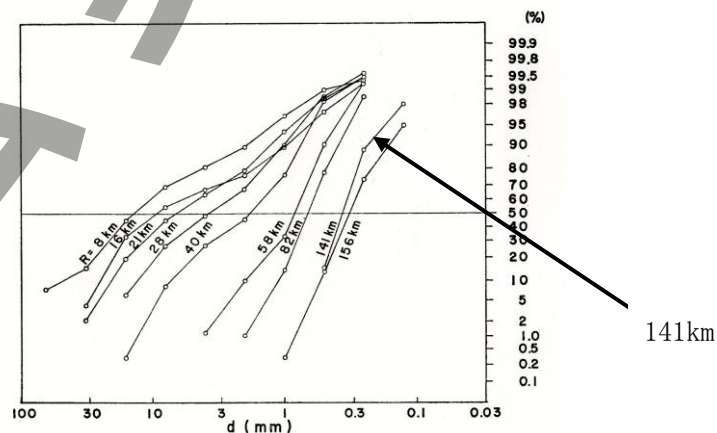


Fig. 10. Cumulative weight-percentage curves of the particle size distribution of Ta-b deposit plotted on logarithmic probability paper. The samples are collected along the distribution axis of pumice-fall. Arabic numerals are distance from Mt. Tarumai.

附図 3.2-2 樽前火山 1667 年噴火の火山灰 Ta-b の累積粒度曲線 (3.4.4-1) *²

Toya 噴出源と敷地との距離は約 120km であり、Ho-Ia の 136km の粒度組成又は Ta-b の 141km の粒度組成を参考として、敷地における Toya の粒度は、0.05～2mm 程度、代表的な粒径としては、0.2～1mm 程度とする。

粒径が小さい粒子についてはデータが記載されていないが、その終端速度は小さく降下に非常に多くの時間を要することから降下しないものとみなす。

降下継続時間：火山灰の降下継続時間は、以下の A+B+C からなるとする。

A：噴出源における噴煙柱継続時間

B：噴出源から敷地上空への移動時間の幅

C：敷地上空から敷地地表への降下時間の幅

A：日本の同程度の規模の噴火の 52.8hr 又は日本の噴火の平均の 15.8hr。
(Wilson and Hildreth (1997) (附 3.2-2) を参考とした。なお、Mastin 他 (2009) (附 3.2-3) による近年の実測値と同等である。)

B：移動時間は、洞爺カルデラと敷地との距離約 120km を速度 100km/hr (ジェット気流の速度を参考) で移動するとして、1.2hr。幅はこれと同等のオーダーとする。

C：降下時間は、0.2mm 又は 1mm の粒子が、終端速度 0.7m/s 又は 5m/s (附 3.2-4) で高度 10km から降下するとして 4.0hr 又は 0.6hr。幅はこれと同等とする。

以上の合計から 20～60 時間程度。

海水中の濃度：Toya の総噴出量は、 150km^3 と見積もられている。(2.1.2-1)

発電所敷地全面海域の面積は、概ね $50\text{km} \times 50\text{km} = 2,500\text{km}^2$

当該海域は、Toya の等層厚線図 (2.1.2-1) により、層厚 20cm と 30cm のほぼ円弧形の等層厚線 (中心角約 20°) に概ね挟まれていることから、その範囲に降下する火山灰の平均的な層厚は 25cm、面積 $4,884\text{km}^2$ とする。

降下する火山灰量は、 $4,884\text{km}^2 \times 25 \times 10^{-5}\text{km} \div 1.2\text{km}^3$ 。

保守的に、海流による影響はないものとする。

1.2km^3 の火山灰が、敷地全面海域の 250km^3 (厚さは 0.1km と仮定) の海水中に懸濁したとしても、濃度は 0.5% 以下に過ぎず、高濃度ではない。

*1：解図 2.2.1.2-1 に示した阿蘇 4 火山灰と同等の大規模噴火による降灰として例示。

*2：噴出源からの距離と火山灰粒度分布・粒径の関係がよく整理された代表例として引用。

附属書 3.3 プラント停止に関連する設備の抽出例（A B W R の例）

【時間】	【主要イベント】	【系統】	【関連設備及び評価対象】			
0	火山噴火			設備名称	評価	理由
			直接系	制御棒駆動水圧ユニット スクラム弁（非常用電源）	— —	建屋内設置のため 建屋内設置のため
0	外部電源喪失	・原子炉緊急停止系(制御棒)	直接系	ディーゼル機関 空気だめ 燃料デイトンク 軽油タンク 空気圧縮機	○ — — ○ —	建屋内設置であるが、火山灰侵入の可能性あり 建屋内設置であり、静的機器のため 建屋内設置であり、静的機器のため 火山灰の堆積による損傷・座屈 ディーゼル機関の運転に直接必要なし
			間接系	燃料移送ポンプ 補機冷却系 原子炉補機冷却系 原子炉補機冷却海水系 海水ポンプ 海水ストレーナ	○ — — ○ ○	火山灰の侵入による作動不良 建屋内設置のため 火山灰の侵入による作動不良 火山灰等の侵入による閉塞
数十秒	原子炉スクラム (制御棒緊急挿入)	・タービンバイパス弁 使用不能 ・給水喪失 ・原子炉再循環ポンプ 全台トリップ	直接系	主蒸気逃がし安全弁 電磁弁	— —	建屋内設置のため 建屋内設置のため
			間接系	蓄電池・直流電源盤	—	建屋内設置のため
数十秒	非常用ディーゼル発電機 自動起動	・原子炉緊急停止系(制御棒)	直接系	真空タンク コンデンサ タービン油用冷却器 駆動用蒸気タービン 真空ポンプ 復水ポンプ 電動弁	— — — — — — —	建屋内設置のため 建屋内設置のため 建屋内設置のため 建屋内設置のため 建屋内設置のため 建屋内設置のため 建屋内設置のため
			間接系	蓄電池・直流電源盤	—	建屋内設置のため
約 1 分	主蒸気逃がし安全弁開閉 により炉圧制御	・自動減圧系	直接系	高圧注水ポンプ 電動弁	— —	建屋内設置のため 建屋内設置のため
			間接系	補機冷却系 原子炉補機冷却系 原子炉補機冷却海水系 海水ポンプ 海水ストレーナ 非常用電源 非常用母線 非常用 D/G	— — — ○ ○ — ○	建屋内設置のため 火山灰の侵入による作動不良 火山灰等の侵入による閉塞 建屋内設置のため 上記非常用ディーゼル発電機と同様
約 1 分	隔離時冷却系・高圧注水系に よる炉水位回復	・原子炉隔離時冷却系 ・高圧炉心注水系 (補機冷却系)	直接系	熱交換器 ポンプ 電動弁	— — —	建屋内設置のため 建屋内設置のため 建屋内設置のため
			間接系	補機冷却系 原子炉補機冷却系 原子炉補機冷却海水系 海水ポンプ 海水ストレーナ 非常用電源 非常用母線 非常用 D/G	— — — ○ ○ — ○	建屋内設置のため 火山灰の侵入による作動不良 火山灰等の侵入による閉塞 建屋内設置のため 上記非常用ディーゼル発電機と同様
—	炉圧が十分に低下	・残留熱除去系 (補機冷却系)	直接系	排気筒 取水口 換気空調系	○ ○ ○	火山灰の侵入による閉塞 火山灰等の侵入による海水系設備への影響 フィルタの閉塞
			間接系	補機冷却系 原子炉補機冷却系 原子炉補機冷却海水系 海水ポンプ 海水ストレーナ 非常用電源 非常用母線 非常用 D/G	— — — ○ ○ — ○	建屋内設置のため 火山灰の侵入による作動不良 火山灰等の侵入による閉塞 建屋内設置のため 上記非常用ディーゼル発電機と同様
—	残留熱除去系 による冷却開始	・残留熱除去系（通常停止と同じ条件で使用）	直接系	熱交換器 ポンプ 電動弁	— — —	建屋内設置のため 建屋内設置のため 建屋内設置のため
			間接系	補機冷却系 原子炉補機冷却系 原子炉補機冷却海水系 海水ポンプ 海水ストレーナ 非常用電源 非常用母線 非常用 D/G	— — — ○ ○ — ○	建屋内設置のため 火山灰の侵入による作動不良 火山灰等の侵入による閉塞 建屋内設置のため 上記非常用ディーゼル発電機と同様
—	ディーゼル発電機運転継続 残留熱除去系による長期冷却	・残留熱除去系（通常停止と同じ条件で使用）	直接系	熱交換器 ポンプ 電動弁	— — —	建屋内設置のため 建屋内設置のため 建屋内設置のため
			間接系	補機冷却系 原子炉補機冷却系 原子炉補機冷却海水系 海水ポンプ 海水ストレーナ 非常用電源 非常用母線 非常用 D/G	— — — ○ ○ — ○	建屋内設置のため 火山灰の侵入による作動不良 火山灰等の侵入による閉塞 建屋内設置のため 上記非常用ディーゼル発電機と同様
—	外部電源復旧	・残留熱除去系（通常停止と同じ条件で使用）	直接系	排気筒 取水口 換気空調系	○ ○ ○	火山灰の侵入による閉塞 火山灰等の侵入による海水系設備への影響 フィルタの閉塞
			間接系	補機冷却系 原子炉補機冷却系 原子炉補機冷却海水系 海水ポンプ 海水ストレーナ 非常用電源 非常用母線 非常用 D/G	— — — ○ ○ — ○	建屋内設置のため 火山灰の侵入による作動不良 火山灰等の侵入による閉塞 建屋内設置のため 上記非常用ディーゼル発電機と同様
—	通常状態に復帰	・残留熱除去系（通常停止と同じ条件で使用）	直接系	排気筒 取水口 換気空調系	○ ○ ○	火山灰の侵入による閉塞 火山灰等の侵入による海水系設備への影響 フィルタの閉塞
			間接系	補機冷却系 原子炉補機冷却系 原子炉補機冷却海水系 海水ポンプ 海水ストレーナ 非常用電源 非常用母線 非常用 D/G	— — — ○ ○ — ○	建屋内設置のため 火山灰の侵入による作動不良 火山灰等の侵入による閉塞 建屋内設置のため 上記非常用ディーゼル発電機と同様

○：対象

—：対象外

附属書3.4 火山評価対象設備例

1. PWRの例

	カテゴリ	対象設備	想定影響部位・内容	評価対象(例)※
1	屋外タンク	燃料取替用水タンク	火山灰堆積による損傷(座屈等)	○
		復水タンク		○
		非常用ディーゼル発電機燃料油タンク		○
2	屋外ポンプ	非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	火山灰侵入による作動不良(軸受)	○
			火山灰侵入による作動不良(電動機)	○
		原子炉補機冷却海水ポンプ	火山灰侵入による作動不良(軸受)	○
			火山灰侵入による作動不良(電動機)	○
3	屋外機器	主蒸気逃がし弁	火山灰侵入による作動不良	○
4	非常用電源	非常用ディーゼル発電機ディーゼル機関	火山灰侵入による作動不良	○
5	建屋換気空調設備	非常用換気空調系給気フィルタ(建屋・ディーゼル・中央制御室)	火山灰によるフィルタの閉塞	○
6	排気筒	排気筒	火山灰侵入による閉塞	○
7	取水設備	海水除塵装置	火山灰等侵入による海水系設備への影響	○
8	海水系機器	原子炉補機冷却系熱交換器	火山灰等侵入による閉塞	○
9	建屋	原子炉建屋, 原子炉補助建屋, ディーゼル発電機建屋, 制御建屋, 熱交建屋	火山灰堆積による損傷	○
10	その他	開閉所	火山灰による絶縁低下	○
		変圧器	火山灰による絶縁低下	○

※地下式や屋内設置等, 火山灰が侵入し難い構造の場合は評価対象外とする

2. BWRの例

	カテゴリ	対象設備	想定影響部位・内容	評価対象(例)※
1	屋外タンク	復水貯蔵タンク	火山灰堆積による損傷(座屈等)	○
		非常用ディーゼル発電機燃料油タンク		○
2	屋外ポンプ	非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	火山灰侵入による作動不良(軸受)	○
			火山灰侵入による作動不良(電動機)	○
		原子炉補機冷却海水ポンプ	火山灰侵入による作動不良(軸受)	○
			火山灰侵入による作動不良(電動機)	○
3	非常用電源	非常用ディーゼル発電機ディーゼル機関	火山灰侵入による作動不良	○
4	建屋換気空調設備	非常用換気空調系給気フィルタ(建屋・ディーゼル・中央制御室)	火山灰によるフィルタの閉塞	○
5	排気筒	排気筒	火山灰侵入による閉塞	○
6	取水設備	海水除塵装置	火山灰等侵入による海水系設備への影響	○
7	海水系機器	原子炉補機冷却系熱交換器	火山灰等侵入による閉塞	○
8	建屋	原子炉建屋, 原子炉補助建屋, ディーゼル発電機建屋, 制御建屋, 熱交建屋	火山灰堆積による損傷	○
9	その他	開閉所	火山灰による絶縁低下	○
		変圧器	火山灰による絶縁低下	○

※地下式や屋内設置等, 火山灰が侵入し難い構造の場合は評価対象外とする

附属書 3.5 タンクの座屈荷重

原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601-2008）（附 3.5-1）におけるクラスMC 容器の座屈評価式を用いて、地震荷重と火山灰荷重を組み合わせた場合のタンクの座屈荷重として、限界となる火山灰荷重は以下のとおりとなる。

なお、積雪荷重については、JEAC4601 では建築基準法によることとされており、建築基準法施行令において、積雪荷重を考慮する際の係数として、長期は 0.7、短期は 0.35 と規定されている。火山灰についても、地震荷重との組合せにおいては、同様な考え方が適用できると考えられる。

$$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$$

$$P = (m_e + m_a) \cdot g \cdot (1 + C_V) \quad M = (m_o + m_a) \cdot g \cdot C_H \cdot l_g$$

$$\frac{\alpha_B \cdot g}{f_c \cdot A} \cdot (m_e + m_a) \cdot (1 + C_V) + \frac{\alpha_B \cdot g}{f_b \cdot Z} \cdot (m_o + m_a) \cdot C_H \cdot l_g \leq 1$$

$$\left(\underbrace{\frac{\alpha_B \cdot g}{f_c \cdot A} \cdot (1 + C_V)}_X + \underbrace{\frac{\alpha_B \cdot g}{f_b \cdot Z} \cdot C_H \cdot l_g}_Y \right) \cdot m_a \leq 1 - \underbrace{\frac{\alpha_B \cdot g}{f_c \cdot A} \cdot (1 + C_V) \cdot m_e}_X - \underbrace{\frac{\alpha_B \cdot g}{f_b \cdot Z} \cdot C_H \cdot l_g \cdot m_o}_Y$$

$$\text{限界火山灰荷重 } m_a \leq \frac{1 - X \cdot m_e - Y \cdot m_o}{X + Y}$$

P : 軸圧縮荷重 (N)

A : 容器の断面積 (mm^2)

M : 曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

Z : 断面係数 (mm^3)

f_c : 軸圧縮荷重に対する座屈応力 (MPa)

f_b : 曲げモーメントに対する座屈応力 (MPa)

α_B : 安全率

l : 胴長 (mm)

l_g : 重心高さ (mm)

g : 重力加速度 (m/s^2)

C_H : 水平震度

C_V : 鉛直震度

m_o : タンク質量 (液+雪含) (kg)

m_e : タンク空質量 (雪含) (kg)

m_a : 火山灰質量 (kg)

附属書 3.6 主排気筒に対する火山灰影響評価例

1. 放出源の吹出し速度について

主排気筒，非常用ガス処理系排気筒（以下，SGTS用排気筒）の仕様（例）を以下に示す。

- ・主排気筒高さ：地上高63(m)
- ・主排気筒直径：2.6(m)
- ・SGTS用排気筒直径：0.3(m)

吹出し速度 W と排気風量 F ，排気筒出口直径 D は以下の関係となる。

$$W = \frac{F}{\pi \left(\frac{D}{2} \right)^2}$$

	運転時
非常用ガス処理系排気風量	2,000 (m ³ /h)
SGTS用排気筒出口の吹出し速度	7.9 (m/s)

2. 火山灰の粒径について

原子力発電所の機械・電気品の評価に用いる火山灰の粒径については，歴史時代のデータを参考に想定する。樽前火山1667年噴火を例として，サイトと火山までの距離を120kmと想定すると，附図3.6-1より想定される火山灰の最大の粒径は1～2mm程度となる。

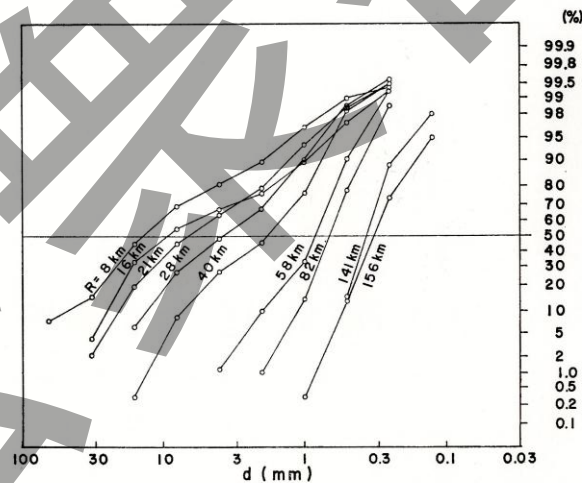


Fig. 10. Cumulative weight-percentage curves of the particle size distribution of Ta-b deposit plotted on logarithmic probability paper. The samples are collected along the distribution axis of pumice-fall. Arabic numerals are distance from Mt. Tarumai.

附図3.6-1 樽前火山1667年噴火の火山灰Ta-b層の累積粒度曲線 (3.4.4-1)

3. 火山灰の終端速度

火山灰が大気中を降下する場合，粒子に働く重力と空気抵抗が釣り合う速度までは加速されるが，それ以降は一定の速度で落下する。これを終端速度という。

終端速度は，火山灰の粒径や抵抗係数の関数であり，附属書3.2に示すFolch (2012) (附3.2-4) の他，小屋口 (2008) (附3.6-1)，安藤他 (1996) (2.1.1-6) などを参考に導出する

ことができる。ただし、降雨等により火山灰が凝集する場合には終端速度が大きくなることに留意する。

4. 評価

求めた終端速度と排気筒出口の吹出し速度を比較し,SGTS用排気筒に火山灰が侵入することがないこと等を評価する。

SGTS用排気筒出口の吹出し速度 7.9(m/s) > 火山灰の終端速度

附属書 3.7 火山灰・火山ガス環境下での作業時の装備品例

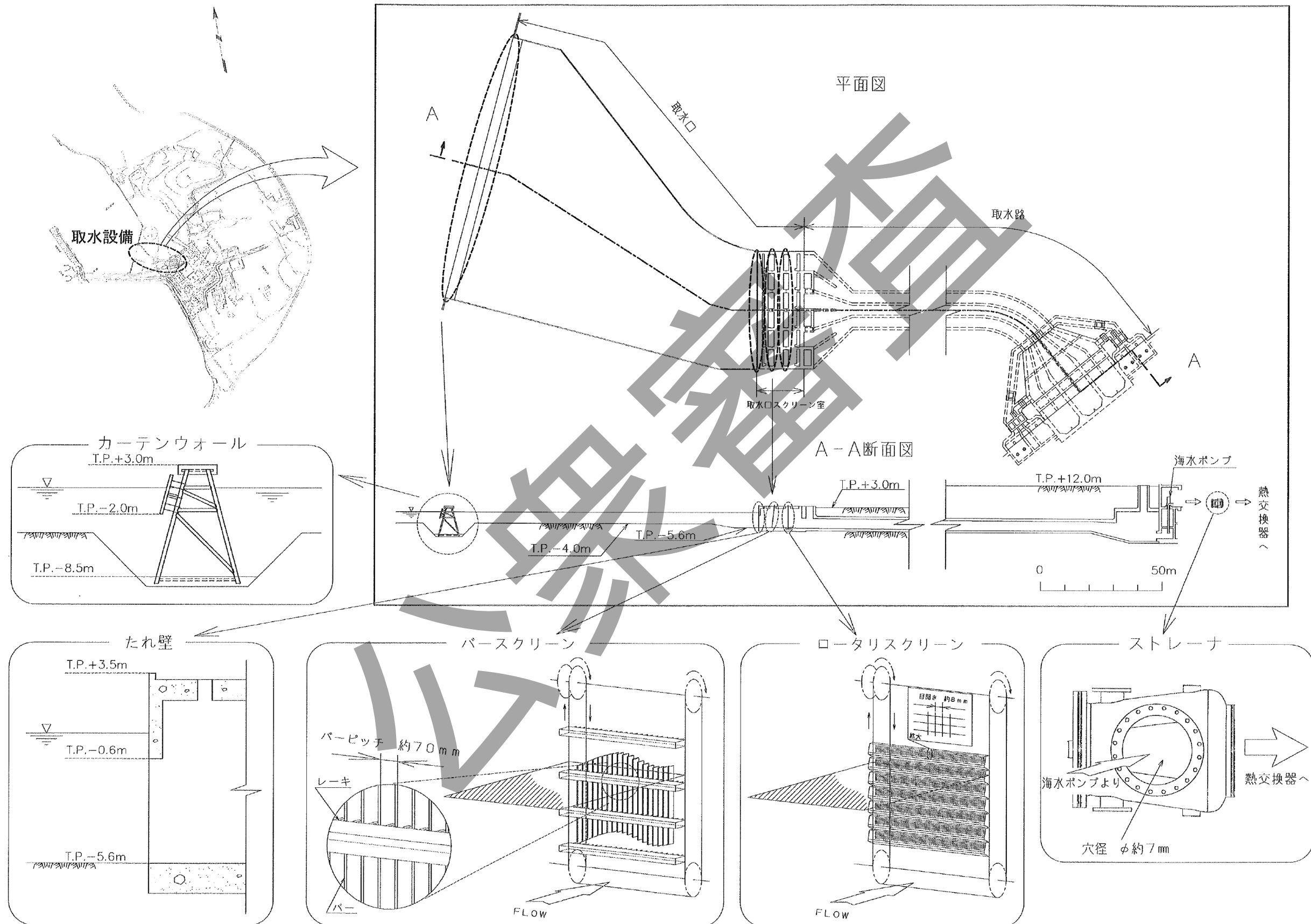
保護めがね 防じん・防毒マスク	保護めがね 防じんマスク 防毒マスク 写真提供 (株)重松製作所
吸収缶 吸収缶用防じんフィルタ	吸収缶 吸収缶用防じんフィルタ 使用可能時間（参考値）：二酸化硫黄 試験濃度 300ppm で 80 分 硫化水素 試験濃度 200ppm で 400 分 塩化水素 試験濃度 300ppm で 500 分 写真提供 (株)重松製作所
空気呼吸器	※ガス濃度が不明 な場合のガス濃 度測定に使用 写真提供 (株)重松製作所
ポータブルガス検知器	写真提供 新コスモス電機(株)
ガス検知管 気体採取器	写真提供 光明理化学工業(株)

〔参考文献〕

- (2. 1. 1-1) 気象庁 編：日本活火山総覧（第4版），2013，（財）気象業務支援センター
- (2. 1. 1-2) 第四紀火山カタログ委員会 編：日本の第四紀火山カタログ，1999，日本火山学会
- (2. 1. 1-3) （独）産業技術総合研究所地質調査総合センター：日本の第四紀火山，Ver. 1. 49 更新 2012. 6. 25，
http://riodb02.ibase.aist.go.jp/strata/VOL_JP/index.htm
- (2. 1. 1-4) 兼岡一郎，井田喜明 編：火山とマグマ，1997，東京大学出版会
- (2. 1. 1-5) Demboya, Nobuhiro et al. : The lifetime of Volcanoes on the Japanese Islands for Reasonable Evaluation of Potentiality of Volcanoes, *Cities on Volcanoes 5 Conference ABSTRACTS VOLUME*, 2007, pp.125-126.
- (2. 1. 1-6) 安藤雅孝他：新版地学教育講座2 地震と火山，1996，東海大学出版会
- (2. 1. 1-7) （一社）日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987，1987
- (2. 1. 1-8) （一社）日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008，2008
- (2. 1. 1-9) （一社）日本電気協会：原子力発電所の耐震指針 JEAG4608-1998，1998
- (2. 1. 1-10) 富士山ハザードマップ検討委員会：富士山ハザードマップ検討委員会報告書，2004
- (2. 1. 1-11) 小野晃司：火砕流堆積物とカルデラ，アーバンクボタ，No. 22，1984，pp. 42-45
- (2. 1. 1-12) 地質調査所：5万分の1特殊地質図「富士火山地質図」，1988
- (2. 1. 1-13) 町田洋他：日本の地形5 中部，2006，東京大学出版会
- (2. 1. 1-14) 関東地方土地地質図編集委員会：20万分の1関東地方土地地質図，1996
- (2. 1. 1-15) Ui, Tadahide : Volcanic Dry Avalanche Deposits - Identification and Comparision with Nonvolcanic Debris Stream Deposits, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol.18, 1983, pp.135-150.
- (2. 1. 1-16) 諏訪彰 編：富士山ーその自然のすべてー，1992，同文書院
- (2. 1. 2-1) 町田洋，新井房夫：新編 火山灰アトラス [日本列島とその周辺]，2003，東京大学出版会
- (3. 4. 2-1) 武若耕司：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. 3，2004，pp. 38-47
- (3. 4. 2-2) 東芝三菱電機産業システム(株)：大型高圧かご型誘導電動機 TM2 1-L シリーズカタログ
- (3. 4. 4-1) 鈴木建夫，勝井義雄，中村忠寿：樽前降下軽石堆積物 Ta-b 層の粒度組成，火山第2集，第18巻，第2号，1973

- (4.3.2-1) (株)IHI プラントエンジニアリング：空冷式熱交換器（エアフィンクーラ）の一般的な構造－Air Cooled Heat Exchanger－,
<http://www.ipec-ihl.jp/business/afc/structure.html>
- (附 3.2-1) 宮地直道：富士火山 1707 年火砕物の降下に及ぼした風の影響, 1984, 火山第 2 集 vol.29, pp.17-30
- (附 3.2-2) Colin J. N. Wilson and Wes Hildreth : The bishop tuff : New insights from eruptive stratigraphy, *The Journal of Geology*, 1997, vol.105, pp.407-439.
- (附 3.2-3) L.G. Mastin et al. : A multidisciplinary effort to assign realistic source parameters to models of volcanic ash-cloud transport and dispersion during eruptions, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2009, vol.186, pp.10-21.
- (附 3.2-4) A. Folch : A review of tephra transport and dispersal models : Evolution, current status, and future perspectives, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* , 2012, vol.235-236, pp.96-115.
- (附 3.5-1) (一社)日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008, 2008
- (附 3.6-1) 小屋口剛博：火山現象のモデリング, 2008, 東京大学出版会

参考資料 1 取水設備概略図



参考資料2 屋外電気設備における火山灰影響評価

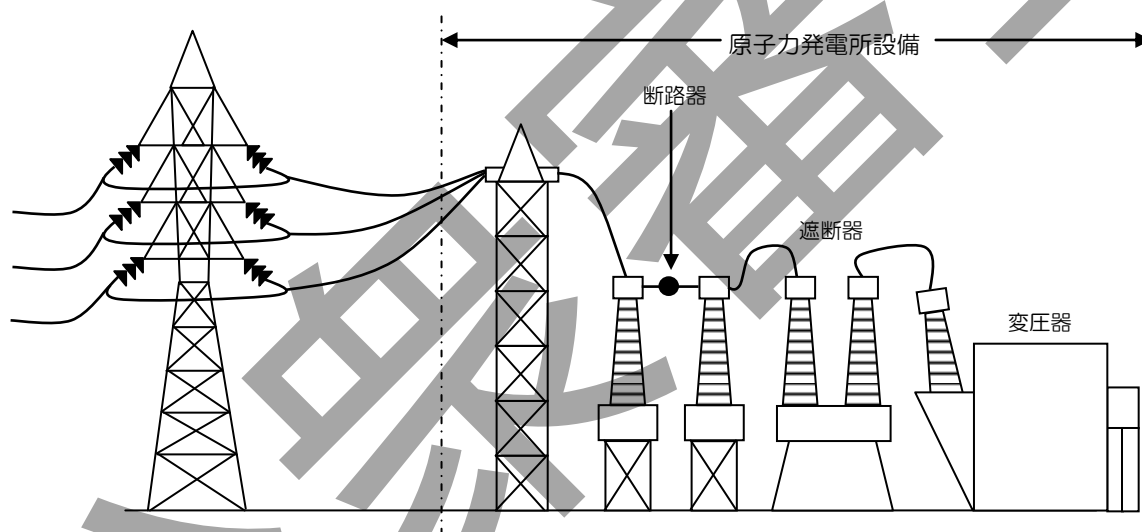
屋外電気設備

- (1) 考慮すべき影響モード
火山灰付着による絶縁への影響
- (2) 詳細設計段階での配慮に対する事項
火山灰の除去及び洗浄が容易に実施できること。
- (3) 具体的な配慮事項
屋外に設置されている変圧器、開閉所のがいし等については、絶縁低下が懸念される場合には、洗浄が可能な設備（雑用水、がいし洗浄設備等）を設置すること。

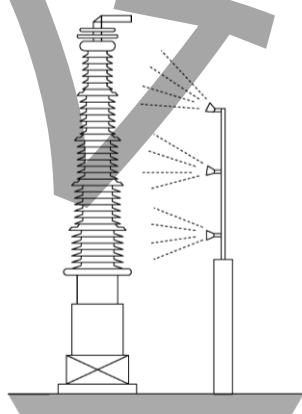
【解説】

屋外電気設備には、開閉所、変圧器等がある。これらの設備に火山灰が付着した場合は、がいし洗浄設備や変圧器消火設備により、火山灰を除去することができる。

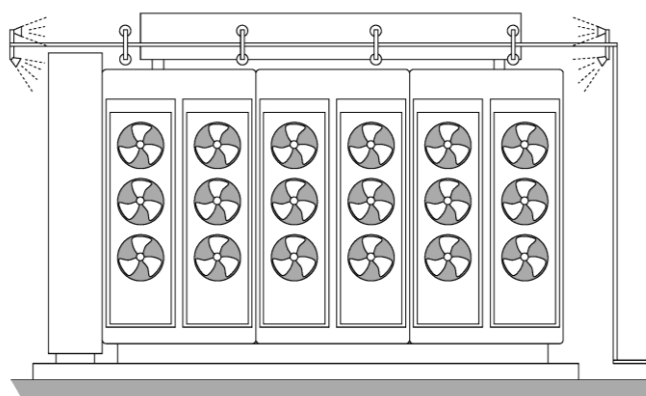
なお、上記設備で除去できない場合は、消火栓を使用し、人手による除去作業を実施することに対応する。



参図 2-1 屋外電気設備概略図



参図 2-2 がいし洗浄設備



参図 2-3 変圧器消火設備

参考資料3 火山灰による腐食の影響について

1. 火山灰の性状

火山活動によって火口から噴出された固体物質はテフラ、火山砕屑物等と総称されるがこれらのうち粒径が2mm以下のものを「火山灰」といい、必要により火山砂(2～1/16mm)、火山シルト(1/16～1/256mm)、火山粘土(1/256mm>)等に細分される。

火山砕屑物と共に噴出する水蒸気を主体とする火山ガスには、 SO_2 、 HCl 、 HF 、 CO_2 等が含まれており、湿分と接触することでハロゲン化合物塩を含む硫酸ミストや塩酸ミストとなって火山灰表面に吸収され、降下後の降雨等によって酸性成分が再溶出し、金属腐食の要因となりうる。

2. 火山灰による金属腐食に関する研究

出雲、末吉他(1990)^(参3-1)により、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について報告がなされている。

各種試験片の表面に火山灰を塗布し、温度、湿度、保持時間について、①～②の条件を1サイクルとして、合計18サイクルの試験を行なっている。

①(40℃, 95%, 4Hr)～②(20℃, 80%, 2Hr)

試験の結果、18サイクル(約216Hr)で1m²あたり約100gの金属が腐食により失われた。

本試験の条件は、金属腐食の影響を確認するために実際の自然条件より厳しく設定されたものであるにも係わらず、表面厚さにして十数μmのオーダーの腐食であった。

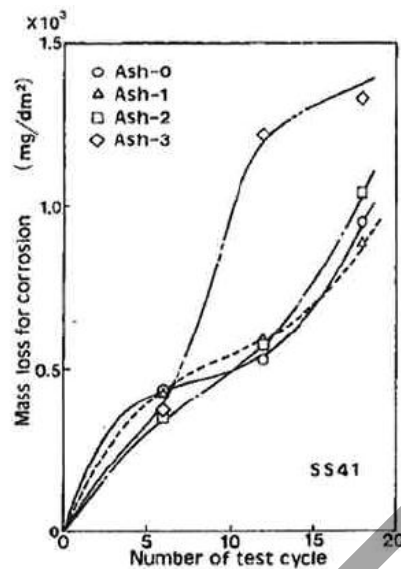
原子力発電所の機器・配管系は、設計時に腐食代を考慮(mmオーダー)しており、この程度の腐食速度では、構造健全性に影響を与えることはないと考えられる。

参表 3-1 実験に使用した桜島火山灰の組成 (参3-1)

成分	含有量[%]	成分	含有量[%]
SiO_2	60.66	MgO	2.84
Al_2O_3	17.54	Na_2O	2.47
Fe_2O_3	7.52	K_2O	1.74
CaO	5.22	TiO_2	1.15

参表 3-2 試験片表面の火山灰の量, 厚さ (参3-1)

記号	火山灰密度[kg/m ²]	火山灰厚さの程度
Ash-0	0	なし
Ash-1	1.1×10^{-2}	試料表面が見える程度
Ash-2	2.2×10^{-2}	試料表面が見えない程度
Ash-3	6.6×10^{-2}	0.8mm



参図 3-1 腐食による質量の変化 (SS41) (参 3-1)

3. 原子力発電所の屋外機器に係る塗装基準

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装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、エポキシ系あるいはウレタン系の塗料が複数層で塗布されるのが一般的である。エポキシ系及びウレタン系は、耐薬品性が強く、酸性物質を帯びた火山灰が堆積したとしても、直ちに金属表面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接触する部分については、タールエポキシ系、塩化ゴム等の耐食性塗料（含むライニング）が施工されることが一般的である。

よって、火山灰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。

参考資料 4 火山灰の降灰継続時間について

火山灰の降灰継続時間は、火山灰の空中滞在時間による降灰までの時間遅れや、一旦降灰した火山灰が風によって再移動する現象が確認されていることから、火山噴火そのものの継続時間よりも長くなるであろうことは容易に想像される。

例えば、セントヘレンズ火山や雲仙普賢岳の噴火においても、噴火中よりも噴火後の火山灰再移動時のほうが空気中の粒子密度が大きかったことが知られている。

観測された諸火山の噴火継続時間については、参表 4-1 のような報告があるが、降灰継続時間は、更に風による再移動時間を考慮する必要があると考えられる。

参表 4-1 観測された諸噴火の噴煙柱高度、噴出率及び継続時間 ^(2.1.2-1)

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

参考資料5 火山灰による被害事例

1. 送電線被害や機器故障等

(1) 配電設備

a. 事故発生状況

九州電力鹿児島営業所管轄地域では、昭和60年の桜島の火山降灰に起因する設備事故を伴わない停電事故が発生した。降灰活動は夏季にもっとも激しく、7月21日から8月16日までの27日の間、連続的に降り続けた。特に鹿児島市北部方面への降灰はひどく、1日に約6.7kg/m²に達した（通常は1日平均約2kg/m²）。

火山灰は電線やがいしに付着しやすく、水分が加わると溶出した塩類により導電性が上昇し、短絡や地絡の原因となる。当該地域における昭和60年までの降灰が原因の配電線事故は下表のような状況であった。

参表 5-1 降灰による配電線事故

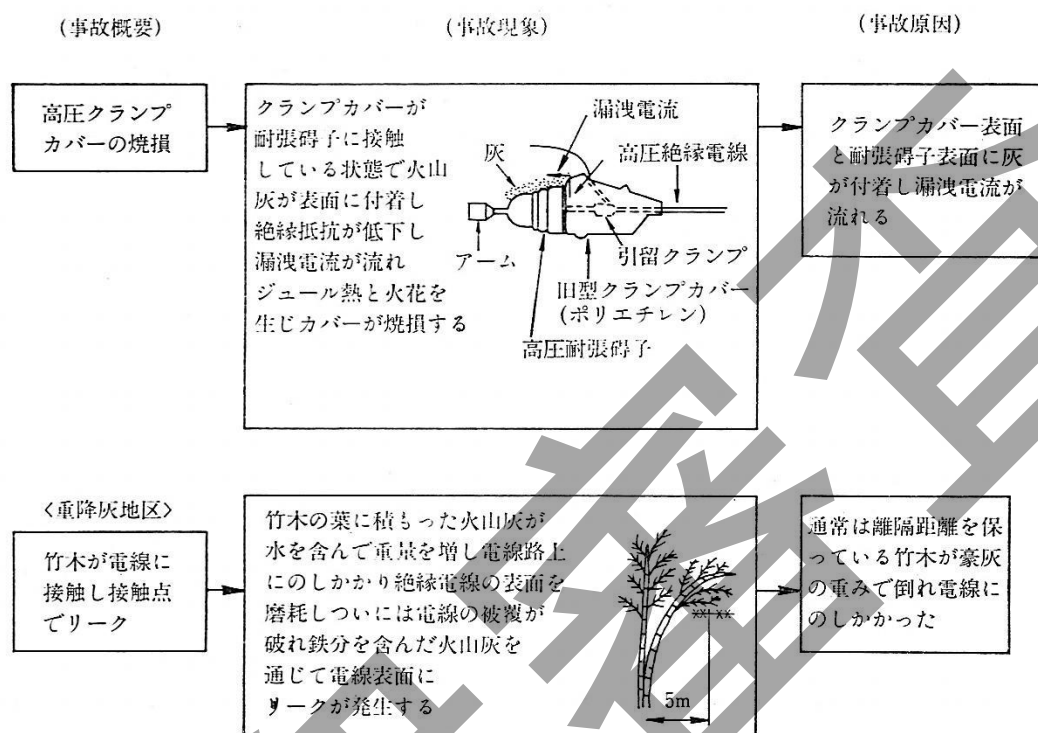
年 度	設 備 被 害 あ り	設 備 被 害 な し
55	0	0
56	0	1
57	0	0
58	0	0
59	0	7
60	2	17
計	2	25

また、近年の事故事例を調査したところ、桜島については、昭和60年以降はがいしの改良により事故はほぼなく、その他の火山についても降灰による地絡・短絡の事例は少ないことがわかった。

参表 5-2 近年の火山災害による停電の事例

場 所	発生年月日	原 因	停電戸数	出 典
雲仙普賢岳(島原市)	H3.5.15	土石流による電柱倒壊	563 戸	高橋・藤井(1996) (参 5-1) より
雲仙普賢岳(島原市)	H3.6.3	火砕流による配電設備損壊	412 戸	
雲仙普賢岳(島原市)	H3.6.8	降灰による地絡	1369 戸	
阿蘇山(一の宮町)	H2	降灰による柱上トランスの短絡	3700 戸	気象庁(2012) (参 5-2) より
有珠山(伊達市)	H12.3.31	電柱の傾斜による地絡	386 戸	内閣府(2003) (参 5-3) より
三宅島	H12	泥流による電柱倒壊	不明	関谷・廣井(2003) (参 5-4) より

降灰による事故事象は、個々の設備により様々であるが、主な事例としては下図のような①配電機器（クランプカバーと耐張がいし）表面に灰が付着し、漏れ電流が流れ、高圧クランプカバーが損傷する場合と②通常は隔離距離を保っている竹木が大量の降灰による重みで倒れ電線にのしかかった場合に発生するとされている。



参図 5-1 火山灰による配電事故の主な原因

b. 事故対応

電力会社による対策としては、当初、塩害対策と同様の工事が行われてきたが、その後、導電率を高める成分が火山灰そのものよりも降雨水が影響しているとの見解が得られた。また、竹木による影響を軽減するため、樹木対策の抜本的見直しも検討された。また、災害対策部設置の目安降灰量を 1 日 500 g/m² とした早期の対策の必要性や、豪灰時には活線注入器では、注水力や作業範囲等の問題でがいしや機器等の洗浄に十分な効果が得られないことから、降灰専用車の導入の必要性も示されている。

(1. (1)は吉崎 (1986) (参 5-5) の報告を抜粋、一部追記した。)

(2) 工場（火力発電所、化学プラント他）の操業継続有無・停止事例・機器の影響

a. 影響事例

火山灰は、配電系に様々な影響を及ぼす可能性がある。最も一般的な問題は、がいしのフラッシュオーバーによる停電、火山灰除去作業中の送電制限、並びに送電線の破損がある。

一般に乾燥した火山灰は、水平面や緩やかな傾斜面の場合は留まる。対照的に湿った火山灰は、表面に張り付く。実験により、豪雨はがいしの火山灰の 66% を洗い流す

が、少量雨では殆ど火山灰は洗い流されないことが明らかになっている。更に、実験により、55km/時を超える風は乾燥した火山灰の95%を除去することが可能であることが明らかになっている。従って、がいしの型、状態、並びに位置が火山灰の付着に影響を及ぼす。エポキシがいしは、火山灰の付着が増すため、磁器がいしよりもフラッシュオーバーに対して脆弱である。また、実験により、火山灰が降る前にがいしが湿っていると付着が増大することが明らかになっている。湿ったがいしの場合、がいしの底面に火山灰が蓄積する可能性を増大させる。きれいなあるいは乾燥したいずれかの沿面距離が30%以上あるがいしは、フラッシュオーバーが起こる確率が低くなる。

(1. (2)はUSGS-HP(2010) (参5-6) による。)

2. 海外火山の噴火による被害事例 (ルアペフ火山 (ニュージーランド))

(1) 送電線の影響

1995年9月2日の噴火により、火山の麓の高圧送電線が短絡した。これにより、電圧変動が発生し、ニュージーランド全域の電気設備に問題を引き起こした。4人で構成される4班の作業員が、9月27日まで18の鉄塔とがいしの清掃に従事した。火山灰は乾燥しており、除去は容易であった。耐張鉄塔は、がいしの構成(水平方向に連なっている)のため、最も影響を受けた。9月26日の雨により、北部の鉄塔とがいしの火山灰を洗い流した。これにより、通常の量の雨が送電線の下側を除いた構造物、導体、並びにがいしの火山灰を洗い流すことが明らかになった。これらのがいしの送電線には、広範囲のフラッシュオーバーによる損傷が見つかったが、電気的問題は確認されなかった。1996年6月17日、変電設備の変圧器が爆発し一部地域が停電する事故が発生した。これは隣にあるビルの屋上での放水(火山灰除去のため)が変圧器にかかり、変圧器に積もった火山灰が水を含んだことによる。

(2. (1)はUSGS-HP(2010) (参5-6) による。)

(2) 発電所の影響

ランギボ発電所は、1983年に発電を開始した地下水力発電所で、トンガリロ川の貯水池を利用して540GWh/年を発電する。1995年9月、同発電所は、ルアペフ火山の噴火により水力タービンへの給水源が大量の侵食性異物(火山灰)に晒された。その7ヵ月後、最近交換した2基のタービンが重大な故障が発生する可能性が非常に高い、安全でない状態まで侵食された。ニュージーランド電力会社は、高濃度の火山灰に耐えられるようプラントの再設計、修繕を行うために発電所を停止した。

(2. (2)はRossen (1997) (参5-7) による。)

参考資料6 噴火シナリオを想定した発電所の活動例

	噴火シナリオ	噴火現象・火山情報	発電所の活動イメージ（例）	配慮が必要な事項
平常時			火山対応計画の策定（体制，対象設備の抽出，作業計画）● 資機材の配備 予備品の配備	①敷地内に灰捨て場を想定しておくことが必要。
異常現象発生期	噴火活動の活発化の兆候があるとき ↓ 火山活動が活発化したとき	●火山性地震増加 ●観測データの異常 ●第1回目の噴火予報発表	火山活動の状況確認●	②海外の火山噴火情報にも注意が必要。
噴火期	↓ 噴火が予想されたとき ↓ 噴火が発生したとき	●火山性地震の群発 ●有感地震の発生 ●噴火予報発表	●火山警戒態勢（仮称） ・火山対策本部発足 ・具体的な作業計画決定 ・休日夜間自宅待機	③予兆なしで噴火が発生した場合は，警戒態勢を経ず緊急態勢に入ることがある。
	↓ 噴火継続中	●火山性微動増加 ●火山性地震増大 ●噴火の可能性大と発表（噴火警報）	(サイトが降灰予想地域外の場合) ●警戒態勢を継続	④火山灰予報は，夜間や悪天候時には精度が低下するため，最新の情報に注意が必要。
終息期	↓ 噴火が終息したとき	●噴煙増大，火柱，噴石→爆発 ●火山灰予報発表（噴火30～40分後） ●噴火規模が大きい場合には，山麓で火砕流，火砕サージ，溶岩流発生 ●火山灰の堆積→泥流発生	(サイトが降灰予想地域内の場合) ●火山緊急態勢（仮称） ・要員非常招集 ・降灰状況監視● ・火山灰除去作業開始●	⑤以下を勘案して判断する。 ・サイトから火山の距離，噴火の規模，風向などから想定される降灰の程度 ・降雨などによる火山灰性状の変化（凝固，導電率上昇）
			↓ ●降灰状況監視継続 ●火山灰除去作業反復 ●フィルタ交換 ●各種清掃作業 ●中央制御室換気空調系の循環運転切替	⑥降灰状況監視には，海水中への懸濁 or 海面での浮遊状況を含む。
		●噴火警報から噴火予報への切替え	●緊急体制解除→警戒態勢 ↓ ●警戒態勢解除	⑦必要に応じ，火山ガス対策を実施する。 ⑧サイト周囲の降灰量が数cm以上となり，交通が途絶した場合に備え，あらかじめ発電所に物資を備蓄しておく必要がある。
			停止の判断● ↓ 早期の冷温停止達成● ↓ 安定 冷却 ↓ 発電再開	⑨発電所の状況について，関係機関に適切に情報提供することが必要。 ⑩送電線の火山灰付着状況について情報収集を行う。

参考資料 7 発電所に配備する資機材・予備品例

種 類	名 称	備 考
保護具	保護めがね 防じんマスク 使い捨て防護服 ヘルメット，手袋	
	防毒マスク 吸収缶 吸収缶用防じんフィルタ 空気呼吸器 空気呼吸器用予備ボンベ ポータブルガス検知器 ガス検知器用予備バッテリー ガス検知管 気体採取器	
作業用具	スコップ，ほうき，台車 掃除機	
	土のう袋	火山灰を詰めて運搬する。
	足場材 照明器具，可搬式発電機 ウインチ	夜間あるいは視界不良下での作業を想定する。
	高圧洗浄機 エアコンプレッサー エアダスター	可搬式とし，高所作業車への搭載を考慮する。直接火山灰を除去する用途の他，交換したフィルタの清掃用としても利用。
	ポータブル局所排風機 蛇腹エアダクト	換気系フィルタ交換時の仮設空調として利用。
予備品	非常用換気空調系 予備フィルタ	交換した後，火山灰を清掃して繰り返し使用する。
	その他消耗品（パッキン等）	

参考資料 8 火山ガスの毒性成分と人体への影響

1. 火山ガスの毒性成分

火山ガスの毒性成分については、以下の6種類があり、各成分について、日本産業衛生学会の勧告(2011)^(参8-1)により以下のように許容濃度が定められている。この許容濃度とは、労働者が1日8時間、週間40時間程度、肉体的に激しくない労働強度で有害物質に曝露される場合に、当該有害物質の平均曝露濃度がこの数値以下であれば、ほとんどすべての労働者に健康上の悪い影響が見られないと判断される濃度である。

参表8-1 火山ガス毒性成分の許容濃度

	ガス成分	許容濃度
1	フッ化水素(HF)	3ppm
2	塩化水素(HCl)	5ppm
3	二酸化硫黄(SO ₂)	2ppm※
4	硫化水素(H ₂ S)	5ppm
5	二酸化炭素(CO ₂)	5000ppm
6	一酸化炭素(CO)	50ppm

※二酸化硫黄(SO₂)の許容濃度については、現在検討中となっているため、米国産業衛生専門家会議(ACGIH)の基準値を使用した。

2. 人体への影響

火山ガスが人体に与える影響について、許容濃度とともに以下に示す。

参表 8-2 火山ガスが人体に与える影響(平林(2003)^(参8-2)による)

ガス成分/濃度	1 ppm	10 ppm	100 ppm	1,000 ppm	
フッ化水素 ^{a)} (HF)	3 許容 濃度	50 2時間	250 1時間	600 30分	
塩化水素 (HCl)	1 臭い 検知	5 許容 濃度	10 粘膜 刺激	1,000 以上 数分間致命的	
二酸化硫黄 (SO ₂)	0.3~1 臭い 検知	5(2) 許容濃度 上気道刺激	20 目刺激 咳	30~40 呼吸 困難	50~100 1時間 耐える
硫化水素 (H ₂ S)	0.06 臭い 検知	1~5 不快臭	5 許容 濃度	200 ~ 400 ~ 700 ~ 眼鼻 灼熱性 疼痛	30~60分 生命危険 即死
二酸化炭素 ^{b)} (CO ₂)				5,000 許容 濃度	5% 呼吸間隔 短縮
一酸化炭素 (CO)		50 許容 濃度	600~700 1時間 頭痛・耳鳴 嘔吐	1,500 1時間 生命危険	10% 30~40 頭痛 めまい 嘔吐 呼吸障害 意識障害

^{a)} モルモットに対する吸入致死濃度。

^{b)} CO₂ 濃度 9% で 5 分間、10% で 1 分間で死亡した例がある。10~15% では数呼吸で昏睡状態になるともいわれている。許容濃度は日本産業衛生学会の基準による。SO₂ の 2 ppm は米国産業衛生専門家会議による基準。

参考資料 9 火山ガスによる被害事例

1. 火山ガスによる人体の被害事例

平林（2003）^{（参8-2）}による我が国の火山ガス事故事例を以下に示す。

日本では、一度に多くの人命が奪われる火山ガス事故は発生していないが、時折火山ガスによる死亡事故が発生している。参表9-1に1950年以降に発生した火山ガス事故をまとめた。この50年間に、28回の火山ガス事故が発生し、49名が亡くなっている。これら事故の原因となった火山ガスの成分は、全体の80%が H_2S で、次いで SO_2 が原因となっている。ただし、 SO_2 による事故は、阿蘇山で発生しているだけである。阿蘇山は、活動的な中岳火口から HCl や SO_2 を多く含む火山ガスが放出されていること、その火口縁に年間100万人近い人が立ち入る観光地であること、これまで被害にあった人の多くは喘息の持病があり、低濃度の SO_2 によっても発作を起こすことなど、阿蘇山の SO_2 によるガス災害は特殊である。また、日本での CO_2 によるガス事故は、八甲田山の事故だけである。

これまでの多くの火山ガス事故は、火山ガスが噴出している周辺の窪地や谷地形などで発生している。また、風が弱く、曇天のときに発生している。これは H_2S 、 SO_2 、 CO_2 など成分は、空気に比べて1.2～2.2倍重いために低い場所にたまりやすい性質であることによる。また、無風・曇天のときには、噴出した火山ガスが拡散しにくく、地表近くが高濃度になりやすいために事故が起こりやすい。この二つの条件が重なると事故の発生確率が高くなる。

参表9-1 1950年以降に日本で発生した火山ガス災害（平林（2003）^{（参8-2）}による）

年 月 日	場 所	事故内容	原因ガス
1951/11/5	箱根、湯ノ花沢	露天風呂で2名死亡	H_2S
1952/3/27	同 上	浴室で1名死亡	H_2S
1954/7/21	立山、地獄谷	露天風呂で1名死亡	H_2S
1958/7/26	大雪山、御鉢平	2名死亡	H_2S
1961/4/23	立山、地獄谷	1名死亡	H_2S
1961/6/18	大雪山、御鉢平	2名死亡	H_2S
1967/11/4	立山、地獄谷	キャンプ中2名死亡	H_2S
1969/8/26	鳴子	浴室で1名死亡	H_2S
1970/4/30	立山、地獄谷	温泉作業員1名死亡	H_2S
1971/12/27	草津白根山振り子沢	スキーヤー6名死亡	H_2S
1972/10/2	箱根、大涌谷	3名中毒、内2名死亡	H_2S
1972/10/28	那須岳、湯本	浴室で1名死亡	H_2S
1972/11/25	立山、地獄谷	温泉作業員1名死亡	H_2S
1975/8/12	立山、地獄谷	1名死亡	H_2S
1976/8/4	草津白根山、本白根	登山中3名死亡	H_2S
1980/12/20	安達太良山、鉄山	雪洞で1名死亡	H_2S
1985/7/22	立山、地獄谷	湯溜まりで1名死亡	H_2S
1986/5/8	秋田焼山 叫び沢	谷で1名死亡	H_2S
1989/2/12	阿蘇山、中岳	火口縁で観光客1名死亡	SO_2
1989/8/26	霧島、新湯	浴室で2名死亡	H_2S
1989/9/1	那須岳	作業員3名死亡	H_2S
1990/3/26	阿蘇山、中岳	火口縁で観光客1名死亡	SO_2
1990/4/18	阿蘇山、中岳	同 上	SO_2
1990/10/19	同 上	同 上	SO_2
1994/5/29	同 上	同 上	SO_2
1997/7/12	八甲田山、田代平	ガス穴で3名死亡	CO_2
1997/9/15	安達太良山、沼ノ平	登山中4名死亡	H_2S
1997/11/23	阿蘇山、中岳	火口縁で観光客2名死亡	SO_2

2. 火山ガスによる機械装置の被害事例

(1) 阿蘇山火口付近架設の4線交走式普通索道の被害

火口付近に架設されている4線交走式普通索道（ロープウェイ）に、支索として使用されていたロックドコイルロープの素線が断線する事象が発生。断線の箇所及び特徴は、①山頂側に近い支柱を中心に前後で発生、②全ロープにおいて山頂に向かって火口側側面に発生、③断線位置が走行面隣接部であった。原因を調査したところ、推定される原因として、火山ガス環境の中で、特に水に溶解しやすい塩化水素ガスがグリースに吸着、浸透しグリース中の水分と反応して塩酸となり素線を腐食させたと考えられた。

(2) 阿蘇中岳第一火口設置の火口カメラの被害

火山ガス（主に SO_2 ）の影響により、火口近傍に設置されていたカメラの固定三脚が腐食しカメラが脱落、レンズカバーの劣化による画質の低下、ネジ等の腐食があった。その後、火山ガスの影響を受けにくい材料（塩ビ管等）を選定し、対策を行った。

(3) 三宅島NTT通信線等の被害

電柱間に通信ケーブルを引くために使用される吊線と呼ばれるワイヤーが、4年以上もの間に潮風と火山ガスにより腐食し、重さに耐えられず脱落していた。また、1202本ある電柱のうち410本が火山ガスによる酸性雨で茶褐色に朽ち、電話線の島内総延長78kmのうち22kmが腐食、公衆電話も24台が錆びて使用不能となっていた。

3. 火山ガスが原子力発電所に及ぼす影響

火山ガスによる被害は、いずれの事例においても火山近辺での事象である。平成25年時点で既に運転開始、建設中及び計画中の原子力発電所は、いずれも火口から十分な距離が確保されており、また、立地地点も海に面していることから、高濃度の火山ガスの到達や、火山ガスの滞留、濃縮はないと考えられる。

4. 火山ガスの拡散評価について

火山ガスの拡散評価については、火山噴火後のガス拡散シミュレーションの実績はあるが、予測評価の手法としては、地形や風向の変化を考慮した数値解析があるものの、パラメータの設定が困難であり、現状では手法が確立されていない。

なお、簡易的な手法として、火力発電所の NO_x 等の環境影響評価で使用される「窒素酸化物総量規制マニュアル」^(参 9-1) で規定されている点煙源プルーム式を活用し、評価を行うことは可能と考えられる。

参考資料 10 国際原子力機関（IAEA）及び米国規制委員会（NRC） における火山灰に関する規制要件

指針の国際性を担保する観点から、本指針策定に当たっては国際原子力機関（IAEA）及び米国規制委員会（NRC）の基準類を参照し、確率論的評価の取扱いについての具体的な記載がない以外は大きな差違はないことを確認している。

以下に火山灰に関する IAEA 及び NRC の規制要件の概略を示す。

1. 国際原子力機関（IAEA）の安全基準

(1) Safety Guide No. NS-G-1.5 「原子力発電所の設計における地震以外の外部事象」^(参 10-1)

第 14 章「火山活動」において、火山の影響の一つとして火山灰や軽石の降下が挙げられており、その影響として屋根への静荷重、給気・給水口の閉塞、屋外安全設備へのアクセス阻害が示されている。また、影響を検討する際に考慮する項目として、粒子サイズ、密度、並びに堆積速度が示されている。

発電所を保護する主要なシステムとして、火山活動監視システム（微震、地盤変動、重力、地磁気等の監視）が挙げられている。

(2) Specific Safety Guide No. SSG-21 「原子力施設の立地評価における火山ハザード」^(参 10-2)

本ガイドの目的は、主に新設原子力施設のサイト選定プロセス期間中に使用されることとしている。また、本ガイドは、既設原子力施設に影響を及ぼす火山ハザードの遡及的な評価にも使用される。すなわち、原子力施設の運用期間全体に亘る、運用期間終了までの火山ハザード評価ガイダンスを提供するものである。

第 6 章「サイトを特定した火山ハザード評価」の第 6.6～6.10 節において、僅かな火山灰の堆積でも発電所の運転を阻害する可能性があるとしており、具体的なハザードとして、構造物への静的荷重、粒子の衝突力、水循環システムの閉塞や摩耗、換気設備、電気設備、計測設備、制御装置に対する機械的・化学的影響が挙げられている。

また、火山灰粒子には一般に酸性析出物（例：SO₄, F, Cl）が表面に付着しており、貯水の汚染に加えて化学腐食を引き起こすとしている。

火山灰ハザードを評価する際に考慮する項目として以下が挙げられている。

- a. 火山灰の発生源
- b. 火山灰を生成する噴火の規模と噴火の物理的特性
- c. 噴火の頻度
- d. 火山灰の移動と堆積に影響を及ぼす火山灰発生源とサイトの間の気象条件
- e. 発電所の運転に影響を及ぼす、火山泥流や化学腐食の可能性増大等の二次的影響

評価手法としては、決定論的手法と確率論的手法が示されている。

(a) 決定論的手法

サイトでの火山灰堆積物の最大厚さのしきい値を求める。例えば、類似の火山の噴火における実際の堆積は、最大堆積厚さを決定するために使用することが可能である。これらの堆積物から粒子サイズ特性（粒径分布及び碎屑物の最大サイズ）を評価することができる。

また、類似の堆積物や噴出物から、火山灰の発生に伴う酸の凝縮による可溶イオンに関する情報も収集可能である。

火山灰の数値モデルは、サイトに関連する固有の噴火や気象条件での火山灰堆積に基づいたしきい値の導出に用いることが可能である。

個々のパラメータの不確実性は適切に考慮すべきである。

(b) 確率論的手法

サイトの火山灰降下の数値シミュレーションを使用する。

解析においては、さまざまな噴火規模、噴煙柱の高度、粒径分布、風速分布、関連パラメータを考慮した上で、火山からの火山灰降下のモンテカルロシミュレーションまたは他の適切なシミュレーションを実施すべきである。

このようなモデルは火山灰堆積の頻度分布を与え、一般にハザード曲線として表される。

ハザード曲線の不確かさは信頼バンドで示すべきである。

火山灰降下の評価結果は、決定論的手法、確率論的手法いずれの場合も、堆積質量、堆積率、粒径分布等のパラメータで示すべきとしている。静的荷重の評価では、影響を及ぼしうる各火山からの寄与を、サイトを特定した単一の最大信頼値または単一の火山灰降下ハザード曲線に統合すべきとしている。

2. 米国規制委員会（NRC）の規制

自然現象に対する設計要件は、10CFR50「生産及び利用施設の許認可^(参 10-3)」、付則A「一般設計指針(GDC)」のI. 全般要件の基準2「自然現象に対する防護の設計基準」に基づいている。同要件の規定は以下のとおりであり、火山事象については明記されていない。

安全上重要な構築物、系統、並びに機器は、安全機能を遂行する能力を喪失する能力を喪失することなく、地震、竜巻、ハリケーン、溢水、津波、ならびに静振等の自然現象に耐えうるよう設計する。これらの構築物、系統、並びに機器の設計根拠には、以下を反映する。

(1) 収集された歴史的なデータの正確度、量、並びに期間に関する十分な余裕をもって、サ

イト及び周辺機器において歴史的に報告されてきた最も過酷な自然現象を適切に考慮する。

(2) 通常及び事故状態による影響と自然現象の影響を適切に組み合わせる。

(3) 安全上重要な機能が発揮できる。

重要事項

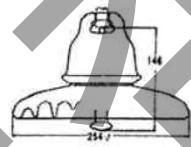
参考資料 11 火山灰によるがいしの絶縁特性

富来, 前田他 (参 11-1) による火山灰による送電線用がいしの絶縁特性に関する報告の概要を以下に示す。

1. 評価方法

新燃岳噴火で実際に採取された火山灰を用い, 最も厳しい条件として火山灰がいしに固着した後, 降雨により湿潤し, 絶縁低下を招くことを模擬して耐電圧を評価している。対象のがいしは送電用に用いられる懸垂がいしと長幹がいしであり, 火山灰付着密度は 20 及び $50\text{mg}/\text{cm}^2$ ^{*1}, 注水は $0.2\text{mm}/\text{分}$, 上方 45 度からがいし下面側に向かって注水し, がいしと注水ノズルの間隔は 1.5m として実施された。

参表 11-1 供試がいし

試料名	250mm 懸垂がいし	長幹がいし (LC-8021)
連結長	146 mm	1,025 mm
漏れ距離	280 mm	2,140 mm
個数	6 個連	1 本
形状		

2. 評価結果

懸垂がいし, 長幹がいし共に 66kV 系統の最高対地電圧である 40kV に対して十分高い値 ($70\sim 116\text{kV}$) であることが確認され, フラッシュオーバーの可能性はないと評価された。

3. 活線洗浄の検証

活線での保守が可能かどうかについても検証が行われ, 40kV を課電した状態で 1 分間の洗浄を行いフラッシュオーバーの有無, 洗浄効果を確認している。結果, 洗浄時にフラッシュオーバーは発生せず, 部分放電もほとんど起こらなかった。また, 洗浄終了後の火山灰付着密度の残留は 1% 以下であり, がいしに付着した火山灰は, ある程度高水圧の洗浄により洗浄が可能であることが確認された。

このことから, 懸垂がいし及び長幹がいしについては, 火山灰による汚損耐電圧が高く, がいしに大量付着しても運転電圧でフラッシュオーバーすることはないと考えられる。また, 洗浄試験の結果より, 従来通りの活線洗浄で保守が可能であると考えられる。

* 1 : 火山灰の密度を $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ とすると, がいしの付着量 $50\text{mg}/\text{cm}^2$ は $0.05\text{cm}=0.5\text{mm}$ の厚さの火山灰に相当する量となる。降灰量とがいし表面付着量の関係は明らかとなっていないものの, がいしの取り付け位置が高所で風の影響を受けやすいことを考慮すると, 相当程度の降灰量まで絶縁性能が維持できると考えられる。

参考資料 12 火山噴火後の施設の影響確認に係る留意事項

1. 適用範囲

本参考資料は、火山現象に際して放出される火山灰等が原子力発電所に到達し、発電所を停止した後の影響確認において留意すべき点をまとめたものである。

【解説】

事業者は火山噴火により発電所停止措置を行った場合、施設に生じた影響を確認するために試験や点検を行い、必要に応じ修理・部品交換等を行う。

ここでは、第3章で整理した火山灰等による施設への影響モードの観点から、その確認のために実施する点検等における留意事項について整理した。

なお、本参考資料で記載した影響確認に係る留意事項は、基本事項を取りまとめたものであり、実施にあたっては各発電所の施設の特徴や被害状況等に応じ、事業者が都度判断する。

2. 想定する火山現象

国内原子力発電所の立地状況から、想定される火山現象は火山灰等が該当し、その形態は以下の3点が想定される。

- ①大気中を浮遊する火山灰
- ②大気中から地表に降下した火山灰
- ③海面に浮遊又は海水中に懸濁する火山灰等

【解説】

ここでは、噴火により発生した火山灰が空中を浮遊して原子力発電所へ到達することを想定し、原子力発電所に影響を及ぼす可能性のある事象として以下の火山現象を抽出した。

- 大気中を浮遊する火山灰
- 大気中から地表に降下した火山灰
- 海面に浮遊又は海水中に懸濁する火山灰等

なお、火山弾等の放出、火砕流及び火砕サージ、溶岩流、岩屑なだれ、火山泥流、新火口の形成については、立地可否の際に除外されるため、対象外とした。

3. 火山噴火による発電所停止後の影響確認対象施設と内容

3. 1 対象範囲について

原子力発電所を安全に停止し、高温停止状態から、冷温停止状態へ移行し、かつ、冷温停止状態を維持し、使用済み燃料プールについては冷却機能を維持することを目的とし、その目的のために使用しなければならない設備を対象とする。ただし、安全

重要度が下位の設備であっても、その停止により、上位の安全重要度の設備の運転に影響を及ぼす場合は、下位の安全重要度の設備も対象とする。

なお、原子力発電所の起動に際して、事業者は運転に必要なすべての施設を対象として点検等を実施することになるが、その際にもここに取りまとめた点検等の考え方を参考とすることができる。

3. 2 対象施設及び確認内容の基本的な考え方

想定される火山現象である①浮遊火山灰の影響、②降下した火山灰の影響、③海面に浮遊又は海水中に懸濁する火山灰等の影響を考慮した対象施設と確認内容の基本的な考え方をフローチャート（参図 12-1）に示す。

基本的な考え方は以下のとおりである。

(1) 屋内設置

①浮遊火山灰の影響

- ・ 屋内設置設備への給気に含まれる火山灰は給気フィルタにて除去されるため、給気フィルタの点検、必要に応じて取替・清掃を実施する必要がある。
- ・ 火山灰はそのほとんどが、換気空調設備の給気フィルタにて除去されると考えられるが、屋内設置設備についての外観目視点検を実施し、異常の有無を確認する必要がある。

【解説】

- ・ 換気空調設備のフィルタのメッシュ以下の粒径の火山灰は、フィルタを抜けて建屋内に侵入することから、屋内設置設備も点検する必要がある。

②降下した火山灰の影響

- ・ 屋内設置設備については、降下した火山灰の堆積荷重等による影響を考慮する必要はない。

【解説】

- ・ 屋内設置設備への給気はフィルタを通じて供給されるため、大量の火山灰が屋内設置設備に降下、堆積することを考慮する必要はない。

③海面に浮遊又は海水中に懸濁する火山灰等の影響

- ・ 設備に想定される影響としては、海水系熱交換器の伝熱性能低下であるため、熱交換器出入口温度等の運転パラメータを確認し、必要に応じて伝熱管の清掃を実施する。
- ・ 海水取水設備にスクリーンやストレーナが設置されておらず、伝熱管等を損傷させるような火山灰等の混入が想定される場合には、ファイバースコープ等を用いた伝熱管等の点検を実施する。

(2) 屋外設置

①浮遊火山灰の影響

- ・ 設備に想定される影響としては、屋外に設置されている電動機等への付着である。運転状態を確認後、必要に応じて清掃、分解点検等を実施する。

【解説】

- ・ 屋外に設置されている電動機が空気冷却式の場合には、放熱面への浮遊火山灰の付着による放熱性能の低下が懸念されるため必要に応じて清掃、分解点検等を実施する。
- ・ 屋外に設置されている機器は、外装塗装がなされていることから、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が、外観目視点検により影響がないことを確認する。

②降下した火山灰の影響

- ・ 設備に想定される影響としては、屋外に設置されている開閉所のがいし等の絶縁低下であり、運転状態を確認後、必要に応じて清掃、分解点検等を実施する。
- ・ 堆積量が多く施設に損傷（座屈等）の恐れがある場合は、強度評価を行い、必要に応じ詳細点検を実施する。

【解説】

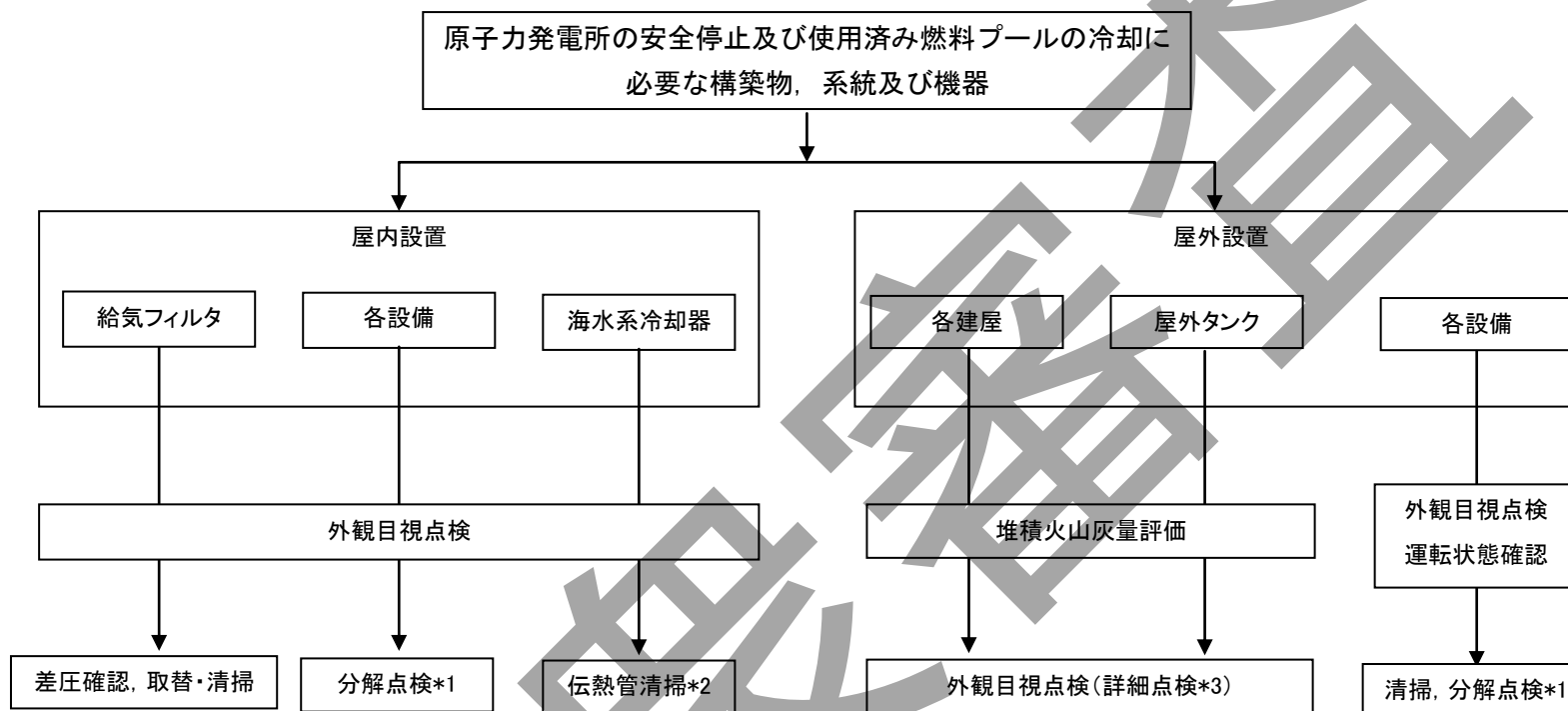
- ・ 屋外に設置されている配管については、形状から構造強度に影響を及ぼすほどの堆積は想定しがたく、堆積した火山灰の荷重評価は不要であるが、清掃後の外観目視点検を実施する。
- ・ 堆積物の荷重が設計条件を上回る場合であっても、その荷重を考慮した構造強度評価にて構造健全性が確認できる場合は、特別な点検は不要である。
- ・ 屋外に設置されている施設は、外装塗装がなされていることから、火山灰による化学的腐食により直ちに機能に影響を及ぼすことはないが、外観目視点検により影響がないことを確認する。

③海面に浮遊又は海水中に懸濁する火山灰等の影響

- ・ 影響が想定される設備は、海水系のポンプ、ストレーナ、除塵装置等であり、運転状態を確認後、必要に応じて清掃、分解点検等を実施する。

【解説】

- ・ 火山灰は砂粒より硬度が低いため、ポンプ等の構造、水中軸受、軸封部の機能に影響を与える可能性は小さいが、ポンプの運転状態を確認し、必要に応じて分解点検を実施する。
- ・ 海流によって運ばれる軽石の状況によっては、除塵装置の損傷が考えられるため、バケット等に異常がないことを確認し、必要に応じて清掃等を実施する。
- ・ 海水系の設備は防汚塗装等がなされており、海水と金属が直接接することはないことから、火山灰等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が、外観目視点検により影響がないことを確認する。



参図 12-1 対象施設と確認内容の基本的な考え方

- * 1: 外観目視点検や運転状態を確認した結果、必要な場合には分解点検を実施すること。
- * 2: 運転パラメータを確認し、伝熱性能の低下が懸念される場合には伝熱管清掃を実施すること。
- * 3: 火山灰の堆積量をもとにした評価の結果、構造健全性が確認できない場合には、浸透探傷検査等の詳細点検を実施すること。

3. 3 対象施設及び点検の具体例

3. 2 の考え方に従って検討した具体例は以下のとおりである。

(1) 浮遊火山灰の影響

対象施設	安全重要度 クラス分類	想定劣化事象	推奨項目	備考
換気空調設備 (例：中央制御室換気 空調系)	1	給気フィルタ閉塞	フィルタの差圧確 認／取替・清掃	・フィルタの機能が 維持されていれば、 浮遊火山灰が屋内 設置設備へ影響す る可能性は小さい が、屋内設置設備の 外観点検を実施す る。
屋外ポンプ・モータ (例：原子炉補機冷却 海水ポンプ)	1	・放熱性能の低下 によるモータ過熱 ・軸封機能の低下	火山灰清掃及び運 転状態確認（有意 な振動、温度上昇 の有無）	・待機状態のポンプ がある場合には、待 機状態のポンプに ついても運転し、異 常がないことを確 認する。
非常用炉心冷却設備 等保安規定で定期試 験が要求されている 設備	1	—	機能確認	・念のため保安規定 に定められる機能 確認を実施し、健全 性を確認する。
屋外開閉所 (例：がいし等)	3	絶縁劣化	火山灰清掃及び運 転状態確認（有意 な温度上昇の有 無）	—

(2) 降下した火山灰の影響

対象施設	安全重要度 クラス分類	想定劣化事象	推奨項目	備考
建屋 (例：原子炉建屋，補助建屋)	—	堆積による損傷（座屈等）	火山灰清掃及び外観目視点検	・建屋排水設備等の清掃も行う必要がある。
屋外タンク (例：燃料取替用水タンク，DG 燃料貯蔵タンク，復水タンク等)	1 2	堆積による損傷（座屈等）	火山灰清掃及び外観目視点検	・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が，外観目視点検により影響がないことを確認する。
屋外ポンプ・モータ (例：原子炉補機冷却海水ポンプ)	1	・放熱性能の低下によるモータ過熱 ・軸封機能の低下	火山灰清掃及び運転状態確認（有意な振動，温度上昇の有無）	・待機状態のポンプがある場合には，待機状態のポンプについても運転し，異常がないことを確認する。
屋外配管，弁 (例：動的機能を有する弁，主蒸気安全弁，主蒸気逃がし弁の排気ライン)	1 2	堆積による損傷	火山灰清掃及び外観目視点検	・電動弁，空気作動弁については動作確認も実施すること。 ・主蒸気安全弁，主蒸気逃がし弁の排気ラインは屋外に設置されているため，プラントごとの配置等に留意し対策を検討する必要がある。
屋外開閉所 (例：がいし等)	3	絶縁劣化	火山灰清掃及び運転状態確認（有意な温度上昇の有無）	—

(3) 海面に浮遊又は海水中に懸濁する火山灰等の影響

対象施設	安全重要度 クラス分類	想定劣化事象	推奨項目	備考
海水系熱交換器	1	伝熱面への火山灰付着による性能低下 伝熱管の閉塞	伝熱管清掃	—
海水系ストレーナ	1	ストレーナ閉塞	差圧確認／ストレーナ点検,清掃	—
海水ポンプ (例：原子炉補機冷却 海水ポンプ)	1	水中軸受，軸封部の機能低下	運転状態確認／分解点検	・運転状態確認の結果，有意な振動，グラブドリーク等がある場合には分解点検を実施する必要がある。
除塵装置	3	・過荷重によるバケット等の損傷 ・火山灰等によるバケットの損傷	外観目視点検／運転状態確認	・許容量を超える火山灰等の負荷がかかった場合には自動停止するが，念のため運転状態（有意な振動の有無，バケット等の破損の有無）について確認し，必要な機能が確保できない場合には，清掃を実施する。
取水口，取水路	1	堆積による閉塞	外観目視点検／ポンプ等の運転状態確認	・海水の取水に影響があるほどの量の火山灰等が取水口，取水路に堆積することは考え難いが，念のため，海水ポンプ等の運転状態を確認し，必要な機能が確保できない場合には，取水路等の清掃を実施する。

〔参考文献〕

- (参 3-1) 出雲茂人, 末吉秀一, 北村一弘他: 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
- (参 5-1) 高橋和雄, 藤井真: 長期化・大規模化した雲仙普賢岳の火山災害におけるライフラインの被害と復旧に関する調査, 1996, 土木学会論文集, 549, pp. 261-276
- (参 5-2) 気象庁: 降灰予報の高度化に向けた検討会 (第 1 回), 2012, 参考資料 2
- (参 5-3) 内閣府: 防災情報 HP「有珠山噴火について」(平成 15 年 9 月 19 日), <http://www.bousai.go.jp/updates/usuzan/pdf/usuzan2.pdf>
- (参 5-4) 関谷直也, 廣井脩: 富士山噴火の社会的影響: 火山灰被害の影響についての企業・行政調査, 2003, 東京大学社会情報研究所調査研究紀要
- (参 5-5) 吉崎信男: 配電設備の降灰対策について, 1986, 電気協会雑誌 749 号
- (参 5-6) Volcanic Ash: Effect & Mitigation Strategies, USGS-HP, 2010 年更新, <http://volcanoes.usgs.gov/ash/power/index.php>
- (参 5-7) Alec van Rossen: Refurbishing and Modifying Rangipo Hydro Turbines - To Survive Volcanic Ash in the Waterway, *Upgrading & Refurbishing Hydro Power Plants*, Montreal, 1997
- (参 8-1) 日本産業衛生学会: 許容濃度等の勧告 (2011 年度), 2011, 産業衛生雑誌 53 巻, pp177-203
- (参 8-2) 平林順一: 火山ガスと防災, 日本質量分析学会誌 vol. 51, pp. 119-124
- (参 9-1) 公害対策研究センター: 窒素酸化物総量規制マニュアル
- (参 10-1) IAEA Safety Guide, No.NS-G-1.5: External Events Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Power Plants, 2003
- (参 10-2) IAEA Specific Safety Guide, No.SSG-21: Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, 2012
- (参 10-3) NRC 10CFR Part 50: Domestic Licensing of Production and Utilization Facilities.
- (参 11-1) 富来健, 前田元宏他: がいしの絶縁特性に及ぼす新燃岳火山灰の影響, 2012, 平成 24 年電気学会全国大会講演論文集, 分冊 7, pp. 160-161