

東海第二発電所

外部からの衝撃による損傷の防止

(火山)

平成 29 年 9 月

日本原子力発電株式会社

第6条 外部からの衝撃による損傷の防止
(火山)

<目次>

1. 基本方針
 - 1.1 要求事項の整理
 - 1.2 追加要求事項に対する適合性（手順等含む）
 - (1) 位置，構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性説明

2. 外部からの衝撃による損傷の防止（火山）
別添資料1 火山影響評価について

3. 運用，手順説明資料
別添資料2 外部からの衝撃による損傷の防止（火山）

< 概 要 >

1. において、設計基準対象施設の設置許可基準規則、技術基準規則の追加要求事項を明確化するとともに、それら要求に対する東海第二発電所における適合性を示す。

2. において、設計基準対象施設について、追加要求事項に適合するために必要となる機能を達成するための設備又は運用等について説明する。

3. において、追加要求事項に適合するための運用、手順等を抽出し、必要となる運用対策等を整理する。

1. 基本方針

1.1 要求事項の整理

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

表 1 設置許可基準規則第 6 条及び技術基準規則第 7 条 要求事項

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

1.2 追加要求事項に対する適合性（手順等含む）

(1) 位置，構造及び設備

ロ 発電用原子炉施設の一般構造

(3) その他の主要な構造

(a) 外部からの衝撃による損傷の防止

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

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

また，自然現象の組合せにおいては，地震，津波，風（台風），積雪及び火山の影響による荷重の組合せを設計上考慮する。

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

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

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

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

(a-2)

安全施設は、発電所の運用期間中において発電所の安全機能に影響を及ぼし得る火山事象として設定した層厚 50cm, 粒径 8mm 以下, 密度 $0.3\text{g}/\text{cm}^3$ (乾燥状態) $\sim 1.5\text{g}/\text{cm}^3$ (湿潤状態) の降下火砕物に対し、その直接的影響である構造物への静的負荷に対して安全裕度を有する設計とすること、水循環系の閉塞に対して狭隘部等が閉塞しない設計とすること、換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）に対して降下火砕物が侵入しにくい設計とすること、水循環系の内部における摩耗並びに換気系、電気系及び計測制御系に対する機械的影響（摩耗）に対して摩耗しにくい設計とすること、構造物の化学的影響（腐食）、水循環系の化学的影響（腐食）並びに換気系、電気系及び計装制御系に対する化学的影響（腐食）に対して短期での腐食が発生しない設計とすること、発電所周辺の大気汚染に対して中央制御室の換気空調設備は降下火砕物が侵入しにくく、さらに外気を遮断できる設計とすること、電気系及び計装制御系の盤の絶縁低下に

対して空気を取り込む機構を有する計装制御設備（安全保護系）の設置場所の換気空調設備は降下火砕物が侵入しにくい設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

また、安全施設は、降下火砕物による静的負荷や腐食等の影響に対して、降下火砕物の除去や換気空調設備外気取入口のフィルタの取替え、清掃、換気空調設備の停止又は閉回路循環運転の実施により安全機能を損なわない設計とする。

さらに、降下火砕物の間接的影響である7日間の外部電源喪失、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ることにより安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料1：(3.2：1-6)】

(2) 安全設計方針

1.8 火山防護に関する基本方針

1.8.1 設計方針

(1) 火山事象に対する施設の基本方針

安全施設が火山事象に対して、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能を損なわないよう、「添付書類六 7. 火山」で評価し抽出された発電所に影響を及ぼし得る火山事象である降下火砕物に対して、対策を行い、建屋による防護、構造健全性の維持又は代替設備の確保等によって、安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 : (3.2 : 1-6)】

(2) 降下火砕物の設計条件

a. 設計条件の検討

東海第二発電所の敷地において考慮する火山事象として、「添付書類六 7. 火山」に示すとおり降下火砕物のみである。

敷地における降下火砕物の層厚は、文献調査、地質調査及び降下火砕物シミュレーション結果等から総合的に判断した結果から、層厚 50cm と評価する。また、密度及び粒径については、文献調査及び地質調査等の結果から、密度 $0.3\text{g}/\text{cm}^3$ （乾燥状態）～ $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ （湿潤状態）、粒径 8mm 以下と評価する。

b. 設計条件の設定

降下火砕物の設計条件は、「a. 設計条件の検討」に示す各種調査、検討の結果を踏まえ堆積厚 50cm、密度 $0.3\text{g}/\text{cm}^3$ （乾燥状態）～ $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ （湿潤状態）、粒径 8mm 以下と設定する。

(3) 火山活動から防護する施設

降下火砕物の影響から防護する施設は、発電用原子炉施設の安全性を確保するため、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されているクラス 1, クラス 2 及びクラス 3 に該当する構築物, 系統及び機器とする。

(4) 降下火砕物による影響の選定

降下火砕物の特徴及び降下火砕物の影響から防護する施設の構造や設置状況等を考慮して、降下火砕物が直接及ぼす影響（以下「直接的影響」という。）とそれ以外の影響（以下「間接的影響」という。）を選定する。

a. 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。

- (a) 火山ガラス片, 鉍物結晶片から成る⁽¹⁾。ただし, 砂よりもろく硬度は低い⁽²⁾。
- (b) 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⁽¹⁾。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⁾。
- (c) 水に濡れると導電性を生じる⁽¹⁾。
- (d) 湿った降下火砕物は乾燥すると固結する⁽¹⁾。
- (e) 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⁽¹⁾。

b. 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，評価対象施設の構造や設置状況等を考慮して直接的な影響因子を以下のとおり選定する。

(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。

【別添資料 1 : (3.4.2 : 1-16)】

評価に当たっては以下の荷重の組み合わせ等を考慮する。

i) 施設に常時作用する荷重，運転時荷重

施設に作用する荷重として，自重等の常時作用する荷重，内圧等の運転時荷重を適切に組み合わせる。

ii) 設計基準事故時荷重

降下火砕物の影響から防護する施設は，降下火砕物によって安全機能を損なわない設計とするため，設計基準事故とは独立事象である。

また，評価対象施設のうち設計基準事故時荷重が生じ得る設備としては，屋外設備の動的機器である海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）が考えられるが，設計基準事故時において海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）に有意な機械的荷重が発生しないことから，設計基準事故時に生じる荷重の組合せは考慮しない。

iii) その他の自然現象の影響を考慮した荷重の組合せ

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

【別添資料 1 : (3.5 : 1-18~19)】

(b) 閉塞

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

【別添資料 1 : (3.4.2 : 1-17)】

(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」及び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。

【別添資料 1 : (3.4.2 : 1-17)】

(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「構造物への化学的影響（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）」、及び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。

【別添資料 1 : (3.4.2 : 1-17)】

(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、及び降下火砕物の除去及び屋外設備の点検等の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。

【別添資料 1 : (3.4.2 : 1-17)】

(f) 水質汚染

「水質汚染」については、給水等に使用する工業用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、発電所では給水処理設備により水処理した給水を使用しており、降下火砕物の影響を受けた工業用水を直接給水として使用しないこと、また水質管理を行っていることから、安全施設の安全機能には影響しない。

【別添資料 1 : (3.4.2 : 1-17～18)】

(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。

【別添資料 1 : (3.4.2 : 1-18)】

c. 間接的影響

(a) 外部電源喪失及びアクセス制限

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、特高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」、及び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。

【別添資料 1 : (3.4.3 : 1-18)】

(5) 降下火砕物の直接的影響に対する設計

降下火砕物の影響から防護する施設が降下火砕物の影響により安全機能を損なわないよう、降下火砕物の影響を設計に考慮すべき施設（以下「評価対象施設」という。）を、各施設の構造や設置状況等（形状、機能、外気吸入や海水通水の有無等）を考慮して以下のとおり分類する。

- ・クラス 1 及びクラス 2 に属する構築物、系統及び機器

屋外に設置されている施設、降下火砕物を含む海水の流路となる施設、降下火砕物を含む空気の流路となる施設、外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設

- ・クラス 3 に属する構築物、系統及び機器

降下火砕物の影響を受ける施設であって、その停止等により、上位の安全重要度の施設の運転に影響を及ぼす可能性のある屋外の施設

なお、それ以外のクラス 3 に属する施設については、降下火砕物による影響を受ける場合を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、又は安全上支障が生じない期間に降下火砕物の除去あるいは修復等の対応が可能とすることにより、安全機能を損なわない設計とするため、評価対象施設から除外する。

上記により抽出した評価対象施設を第 1.8-1 表に示す。

【別添資料 1 : (3.3 : 1-6~15)】

直接的影響については、想定される各影響因子に対して、影響を受ける

各評価対象施設が安全機能を損なわないよう以下の設計とする。

a. 降下火砕物による荷重に対する設計

(a) 構造物への静的負荷

評価対象施設のうち、構造物への静的負荷を考慮すべき施設は、降下火砕物が堆積する以下の施設である。

・屋外に設置されている施設

原子炉建屋，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系），海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系），ディーゼル発電機（吸気口，排気消音器，排気管），中央制御室換気系冷凍機，ディーゼル発電機室ルーフトファン

・降下火砕物の影響を受ける施設であって，その停止等により，上位の安全重要度の施設の運転に影響を及ぼす可能性のある屋外の施設

タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

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。若しくは，降下火砕物が堆積しにくい，又は直接堆積しない構造とすることで，安全機能を損なわない設計とする。

設計対象施設の建屋においては，建築基準法における一般地域の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，構造部材の材料強度による許容値を許容限界とする。

また、建屋を除く評価対象施設においては、許容応力を「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4601-1987（日本電気協会）」に準拠する。

(b) 粒子の衝突

評価対象施設のうち、粒子の衝突を考慮すべき建屋及び屋外施設は、降下火砕物の衝突によって構造健全性が失われないことにより、安全機能を損なわない設計とする。

なお、粒子の衝突による影響については、「1.7 竜巻防護に関する基本方針」に包絡される。

【別添資料 1 : (3.6.1 : 1-19~20)】

b. 降下火砕物による荷重以外に対する設計

降下火砕物による荷重以外の影響は、構造物への化学的影響（腐食）、水循環系の閉塞、内部における摩耗及び化学的影響（腐食）、電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）及び化学的影響（腐食）等により安全機能を損なわない設計とする。

外気取入口からの降下火砕物の侵入に対する設計については、「c. 外気取入口からの降下火砕物の侵入に対する設計」に示す。

(a) 構造物への化学的影響（腐食）

評価対象施設のうち、構造物への化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は、降下火砕物の直接的な付着による影響が考えられる以下の施設である。

・屋外に設置されている施設

原子炉建屋、海水ポンプ（残留熱除去系海水系、ディーゼル発

電機海水系)，海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系），ディーゼル発電機（吸気口，排気消音器，排気管），中央制御室換気系冷凍機，ディーゼル発電機室ルーフトファン，排気筒，非常用ガス処理系排気配管

- ・ 降下火砕物の影響を受ける施設であって，その停止等により，上位の安全重要度の施設の運転に影響を及ぼす可能性のある屋外の施設タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

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。

【別添資料 1 : (3.6.2 : 1-21)】

- (b) 水循環系の閉塞，内部における摩耗及び化学的影響（腐食）

評価対象施設のうち，水循環系の閉塞，内部における摩耗及び化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は，降下火砕物を含む海水の流路となる以下の施設である。

- ・ 降下火砕物を含む海水の流路となる施設

残留熱除去海水系設備（海水ポンプ，海水ストレーナ及び下流設備含む），ディーゼル発電機海水系設備（海水ポンプ，海水ストレーナ及び下流設備含む），海水取水設備

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，当該施設については，降下火砕物の粒径に対し十分な流路幅

を設けることにより、海水の流路となる施設が閉塞しない設計とする。

内部における摩耗については、降下火砕物は砂よりも硬度が低くもろいことから摩耗による影響は小さい。また当該施設については、定期的な内部点検及び日常保守管理により、状況に応じて補修が可能であり、摩耗により安全機能を損なわない設計とする。

化学的影響（腐食）については、金属腐食研究の結果より、降下火砕物によって直ちに金属腐食を生じないが、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わない設計とする。なお、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。

【別添資料 1 : (3.6.2 : 1-21~22)】

(c) 電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）及び化学的影響（腐食）

評価対象施設のうち、電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）及び化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は、電気系及び計装制御系のうち屋外に設置されている以下の施設である。

・屋外に設置されている施設

海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）

（モータ）

機械的影響（閉塞）については、海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（モータ）本体は外気と遮断された全閉構造、空気冷却器の冷却管内径及び冷却流路は降下火砕物粒径以上の幅を設ける構造とすることにより、機械的影響（閉塞）により安全機能を損なわない設計とする。

化学的影響（腐食）については、金属腐食研究の結果より、降下火砕物によって直ちに金属腐食を生じないが、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、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。

【別添資料 1 : (3.6.2 : 1-22~23)】

(d) 絶縁低下及び化学的影響（腐食）

評価対象施設のうち、絶縁低下及び化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は、電気系及び計装制御系のうち外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する以下の施設である。

- ・外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設

計装制御設備（安全保護系）

当該機器の設置場所は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していることから、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。

また、本換気空調設備については、外気取入ダンパを閉止し閉回路循環運転を行うことにより侵入を阻止することも可能である。

これらフィルタの設置により降下火砕物の侵入に対する高い防護性を有すること、また外気取入ダンパの閉止による侵入防止が可能な設計とすることにより、降下火砕物の付着に伴う絶縁低下及び化学的影響（腐食）による影響を防止し、計装制御設備（安全保護系）の安全機能を損なわない設計とする。

c. 外気取入口からの降下火砕物の侵入に対する設計

外気取入口からの降下火砕物の侵入に対して、以下のとおり安全機能を損なわない設計とする。

(a) 機械的影響（閉塞）

評価対象施設のうち、外気取入口からの降下火砕物の侵入による機械的影響（閉塞）を考慮すべき施設は、降下火砕物を含む空気の流路となる以下の施設である。

・降下火砕物を含む空気の流路となる施設

ディーゼル発電機機関，ディーゼル発電機（吸気口），換気空調設備（外気取入口），排気筒，非常用ガス処理系排気配管

各施設の構造上の対応として、ディーゼル発電機（吸気口）の外気取入口は開口部を下向きの構造とすることにより、降下火砕物が流路に侵入しにくい設計とする。

排気筒は、降下火砕物が侵入した場合でも、排気筒の構造から排気流路が閉塞しない設計とする。非常用ガス処理系排気配管は、降下火砕物の侵入防止を目的とする構造物を取り付けることにより、降下火砕物の影響に対して機能を損なわない設計とする。

また、外気を取り入れる換気空調設備（外気取入口）及びディーゼル発電機（吸気口）にそれぞれ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。

ディーゼル発電機機関は、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。

【別添資料 1 : (3.6.3 : 1-24~25)】

(b) 機械的影響（摩耗）

評価対象施設のうち、外気取入口からの降下火砕物の侵入による機械的影響（摩耗）を考慮すべき施設は、外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構及び摺動部を有する以下の施設である。

・外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構及び摺動部を有する施設

ディーゼル発電機機関

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、ディーゼル発電機（吸気口）の開口部を下向きとすることによりディーゼル発電機機関に降下火砕物が侵入しにくい構造とする。

また、仮にディーゼル発電機機関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。

外気を取り入れるディーゼル発電機（吸気口）に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、摩耗により安全機能を損なわない設計とする。

【別添資料 1 : (3.6.3 : 1-25~26)】

(c) 化学的影響（腐食）

評価対象施設のうち、外気取入口からの降下火砕物の侵入による化

学的影響（腐食）を考慮すべき施設は、降下火砕物を含む空気の流路となる以下の施設である。

- ・降下火砕物を含む空気の流路となる施設

ディーゼル発電機機関，換気空調設備（外気取入口），排気筒
非常用ガス処理系排気管

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が，塗装の実施等によって，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。

【別添資料 1 : (3.6.3 : 1-26)】

(d) 大気汚染（発電所周辺の大気汚染）

評価対象施設のうち，大気汚染を考慮すべき中央制御室は，降下火砕物により汚染された発電所周辺の大気が，中央制御室換気空調系の外気取入口を通じて中央制御室に侵入しないようバグフィルタを設置することにより，降下火砕物が外気取入口に到達した場合であっても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閉回路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。

【別添資料 1 : (3.6.3 : 1-26～27)】

(6) 降下火砕物の間接的影響に対する設計方針

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

【別添資料1：(3.8：1-31)】

1.8.2 手順等

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等を定める。

- (1) 発電所内に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による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，評価対象施設等に堆積した降下火砕物の除去に係る手順を定める。
- (2) 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閉回路循環運転により，建屋内への降下火砕物の侵入を防止する手順を定める。
- (3) 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フィルタについて，フィルタ差圧又は流量を確認するとともに，状況に応じて

清掃や取替を実施する。

- (4) 降灰が確認された場合には、取水路前面へオイルフェンスを設置することで、取水路への降下火砕物の侵入を低減する手順を定める。

(3) 適合性説明

第六条 外部からの衝撃による損傷の防止

- 1 安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。
- 2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。
- 3 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

適合のための設計方針

第1項について

発電所敷地で想定される自然現象（地震、津波を除く。）については、敷地及び敷地周辺の自然環境を基に洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災及び高潮を選定し、敷地周辺で得られる過去の記録等を考慮する。また、これらの自然現象毎に関連して発生する可能性がある自然現象も含める。

安全施設は、発電所敷地で想定される自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。ここで、発電所敷地で想定される自然現象に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。また、発電所敷地で想定される自然現象又はその組合せに遭遇した場合において、

自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として安全施設で生じ得る環境条件を考慮する。

以下にこれら自然現象に対する設計方針を示す。

(9) 火山の影響

安全施設のうち、安全重要度クラス1，2に属する構築物，系統及び機器，機能を喪失することで上位クラスの安全機能に影響を及ぼす可能性のある屋外設備は，降下火砕物による直接的影響及び間接的影響のそれぞれに対し，安全機能を損なわないよう以下の設計とする。

a. 直接的影響に対する設計

安全施設は，直接的影響である降下火砕物の構築物への静的負荷に対して安全裕度を有する設計とすること，水循環系の閉塞に対して狭隘部等が閉塞しない設計とすること，換気系，電気系及び計装制御系の機械的影響（閉塞）に対して降下火砕物が侵入しにくい設計とすること，水循環系の内部における摩耗及び換気系，電気系及び計装制御系の機械的影響（摩耗）に対して摩耗しにくい設計とすること，構築物の化学的影響（腐食），水循環系の化学的影響（腐食）及び換気系，電気系及び計装制御系の化学的影響（腐食）に対して短期での腐食が発生しない設計とすること，発電所周辺の大気汚染に対して中央制御室の換気空調設備は降下火砕物が侵入しにくく，さらに外気を遮断できる設計とすること，電気系及び計装制御系の盤の絶縁低下に対して空気を取り込む機構を有する計測制御設備（安全保護系）の設置場所の換気空調設備は降下火砕物が侵入しにくい設計とすることにより，安全機能を損なわない設計とする。

また、安全施設は、降下火砕物の除去や換気空調設備外気取入口のフィルタの点検、清掃や取替え、外気取入ダンパの閉止、換気空調設備の停止又は閉回路循環運転、必要な保守管理等により安全機能を損なわない設計とする。

b. 間接的影響に対する設計

安全施設は、降下火砕物の間接的影響である7日間の外部電源喪失、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、原子炉の停止、並びに停止後の原子炉及び使用済燃料プールの冷却に係る機能を担うために必要となる電源の供給が非常用ディーゼル発電機により継続でき、安全機能を損なわない設計とする。

1.8.3 参考文献

- (1) 広域的な火山防災対策に係る検討会（第3回）資料2 内閣府
- (2) 「シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状」武若耕司，コンクリート工学，Vol139，2004
- (3) 「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.39，1990

第 1.8-1 表 評価対象施設の抽出結果

	設備区分	評価対象施設
クラス 1 及びクラス 2 に属する構造物，系統及び機器	屋外に設置されている施設	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系） ・海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系） ・ディーゼル発電機（吸気口，排気消音器，排気管） ・中央制御室換気系冷凍機 ・ディーゼル発電機室ルーフベントファン ・排気筒 ・非常用ガス処理系排気配管
	降下火砕物を含む海水の流路となる施設	<ul style="list-style-type: none"> ・残留熱除去海水系設備 （海水ポンプ，海水ストレーナ及び下流設備） ・ディーゼル発電機海水系設備 （海水ポンプ，海水ストレーナ及び下流設備）
	降下火砕物を含む空気の流路となる施設	<ul style="list-style-type: none"> ・ディーゼル発電機機関 ・換気空調設備（外気取入口） <li style="margin-left: 20px;"> [<ul style="list-style-type: none"> 中央制御室換気空調系 ディーゼル発電機室換気系] ・排気筒 ・非常用ガス処理系排気配管
	外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設	<ul style="list-style-type: none"> ・計装制御設備（安全保護系）
クラス 3 に属する構造物，系統及び機器	降下火砕物の影響を受ける施設であって，その停止等により，上位の安全重要度の施設の運転に影響を及ぼす可能性のある屋外の施設	<ul style="list-style-type: none"> ・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・海水取水設備（除塵装置） ・換気空調設備（外気取入口）

【別添資料 1 : (3.3 : 1-9)】

東海第二発電所

火山影響評価について

目 次

1. 基本方針
 - 1.1 概要
 - 1.2 火山影響評価の流れ
2. 立地評価
 - 2.1 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出
 - 2.2 抽出された火山の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 火山事象（降下火砕物）から防護する施設
 - 3.4 降下火砕物による影響の選定
 - 3.4.1 降下火砕物の特徴
 - 3.4.2 直接的影響
 - 3.4.3 間接的影響
 - 3.5 設計荷重の設定
 - 3.6 降下火砕物の直接的影響に対する設計方針
 - 3.6.1 降下火砕物による荷重に対する設計方針
 - 3.6.2 降下火砕物による荷重以外に対する設計方針
 - 3.6.3 外気取入口からの降下火砕物の侵入に対する設計方針
 - 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
 - 3.7.2 手順
 - 3.8 降下火砕物の間接的影響に対する設計方針
4. まとめ

資料

- － 1 降下火砕物の特徴について
- － 2 評価すべき影響の要因と評価手法
- － 3 直接的影響の評価結果
- － 4 建屋構築物に係る影響評価
- － 5 海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（モータ含む）に係る影響評価
- － 6 海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（下流設備含む）に係る影響評価
- － 7 海水取水設備に係る影響評価
- － 8 計装制御設備（安全保護系）に係る影響評価
- － 9 換気空調設備に係る影響評価
- － 10 ディーゼル発電機に係る影響評価
- － 11 排気筒（非常用ガス処理系排気配管含む）に係る影響評価
- － 12 間接的影響の評価結果

参考資料

- － 1 原子炉の高温停止及び低温停止に必要な設備について
- － 2 降下火砕物堆積荷重評価への材料強度×1.1の適用について
- － 3 降下火砕物の海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）基礎部堆積による影響評価について
- － 4 降下火砕物と積雪の重ね合わせの考え方について
- － 5 原子力発電所で使用する塗料について
- － 6 降下火砕物の金属腐食研究について
- － 7 給水処理設備に係る影響評価について

- － 8 降下火砕物のその他の設備への影響評価について
- － 9 降下火砕物の除去に要する時間について
- － 1 0 降水による降下火砕物の固結の影響について
- － 1 1 火山影響評価ガイドとの整合性について
- － 1 2 原子炉建屋の健全性評価について
- － 1 3 タービン建屋の健全性評価について
- － 1 4 防潮堤外部事象に対する津波防護施設，浸水防止設備，及び津波監視設備の防護方針について
- － 1 5 原子炉建屋（トラス部）及びタービン建屋（トラス部）除灰時における応力について

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

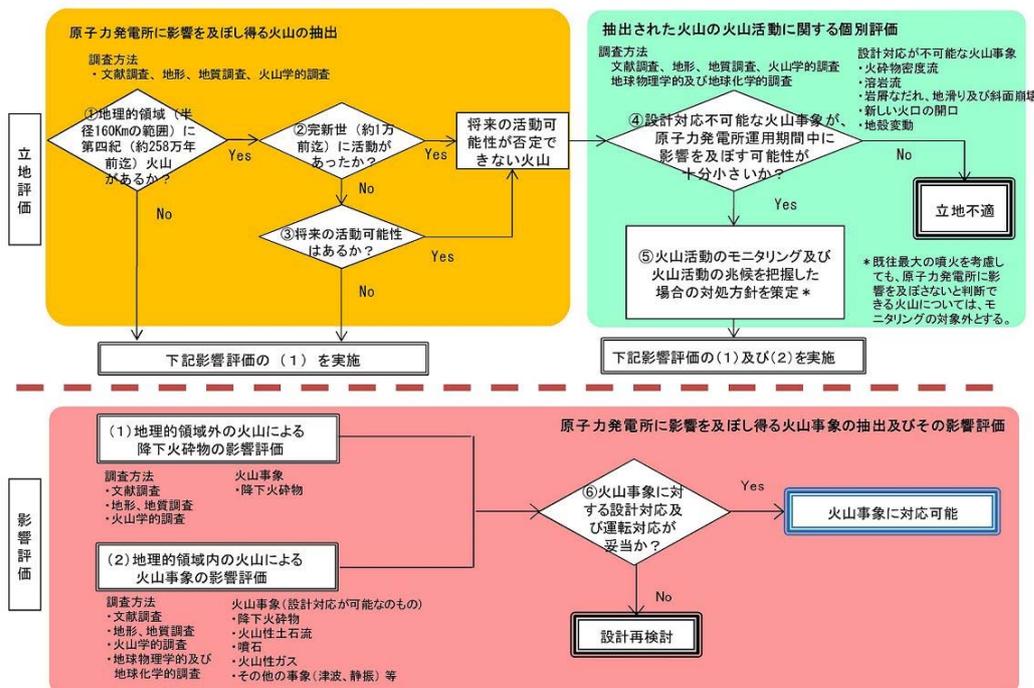
火山影響評価は、「原子力発電所の火山影響評価ガイド」を参照し、第 1.2-1 図のフローに従い立地評価と影響評価の 2 段階で行う。

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東海第二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。

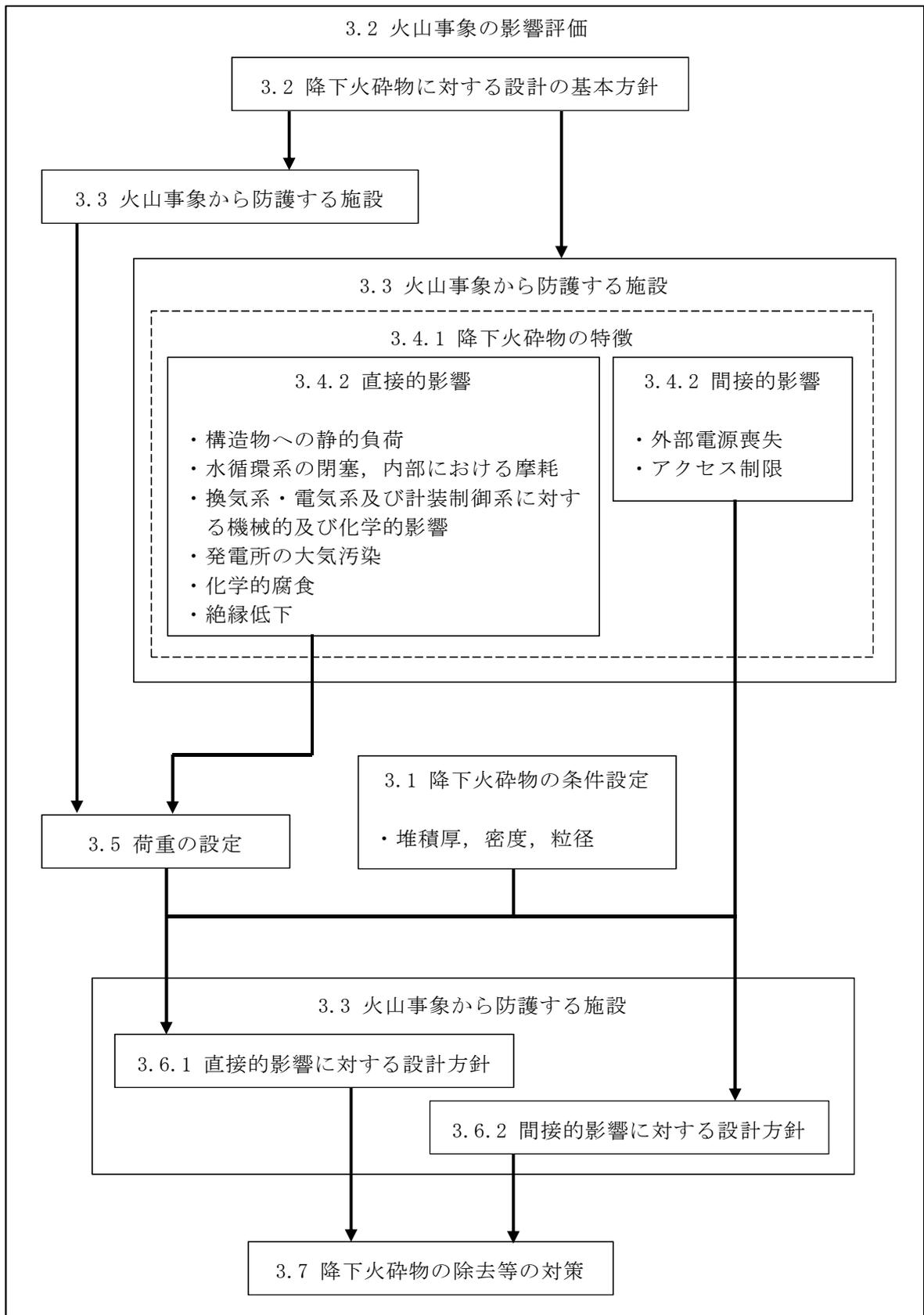
設計対応不可能な火山事象が影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価された場合は、原子力発電所に影響を与える可能性のある火山事象の抽出とその影響評価を行う。

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「3.1 火山事象の影響評価」にて評価を行う。(第 1.2-2 図)

なお、立地評価及び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については、「添付書類六 7. 火山」にて示す。



第 1.2-1 図 火山影響評価の基本フロー



第 1.2-2 図 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（160km）に位置する第四紀火山（32火山）について、完新世の活動の有無，将来の活動性を検討した結果，原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として，高原山，那須岳，男体・女峰火山群，日光白根山，赤城山，燧ヶ岳，安達太良山，磐梯山，沼沢，吾妻山，榛名山，笹森山，子持山の13火山を抽出した。

2.2 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として抽出した13火山について，設計対応不可能な火山事象（火砕物密度流，溶岩流，岩屑なだれ，地滑り及び斜面崩壊，新しい火口の開口，地殻変動）が影響を及ぼす可能性について個別評価を行った。

火砕物密度流については，敷地と火砕物密度流の到達可能性範囲の距離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，敷地と火山の距離から発電所に影響を及ぼす可能性はないと評価した。

新しい火口の開口，地殻変動については，敷地は火山フロントより前弧側（東方）に位置すること，敷地周辺では火成活動は確認されていないことから，この事象が発電所の運転期間中に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価した。

以上から，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なく，この結果から，抽出した13火山はモニタリングの対象とならないと判断した。

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について、東海第二発電所の運用期間中の噴火規模を考慮し、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、降下火砕物のみが東海第二発電所に影響を及ぼし得る火山事象となった。よって、降下火砕物による安全施設への影響評価を行う。

影響評価に用いる条件は、文献調査、地質調査及び降下火砕物シミュレーション結果等から総合的に判断し、第 3.1-1 表のとおり、堆積厚さ 50cm、粒径 8mm 以下、密度 0.3 g/cm^3 (乾燥状態) $\sim 1.5 \text{ g/cm}^3$ (湿潤状態) と設定した。

第 3.1-1 表 降下火砕物の設計条件

項目	設定条件	備考
堆積厚さ	50cm	鉛直荷重に対する健全性評価に使用
密度	$0.3 \text{ g/cm}^3 \sim 1.5 \text{ g/cm}^3$ (乾燥状態) (湿潤状態)	
粒径	8mm 以下	水循環系の閉塞及び換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響評価に使用

3.2 火山事象（降下火砕物）に対する設計の基本方針

将来の活動可能性を否定できない火山について、東海第二発電所の運用期間中の噴火規模を考慮し、東海第二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、「3.1 火山事象の影響評価」に示すとおり該当する火山事象は降下火砕物のみであり、地理的領域（160km）の広範囲に影響を及ぼす降下火砕物に対し、安全施設の安全機能を損なわない設計とする。以下に火山事象（降下火砕物）に対する設計の基本方針を示す。

- (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 火山事象（降下火砕物）から防護する施設

「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日原子炉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。」とされていることから、降下火砕物の影響から防護する施設は、発電用原子炉施設の安全性を確保するため、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されているクラス1、クラス2及びクラス3に該当する構築物、系統及び機器とする。

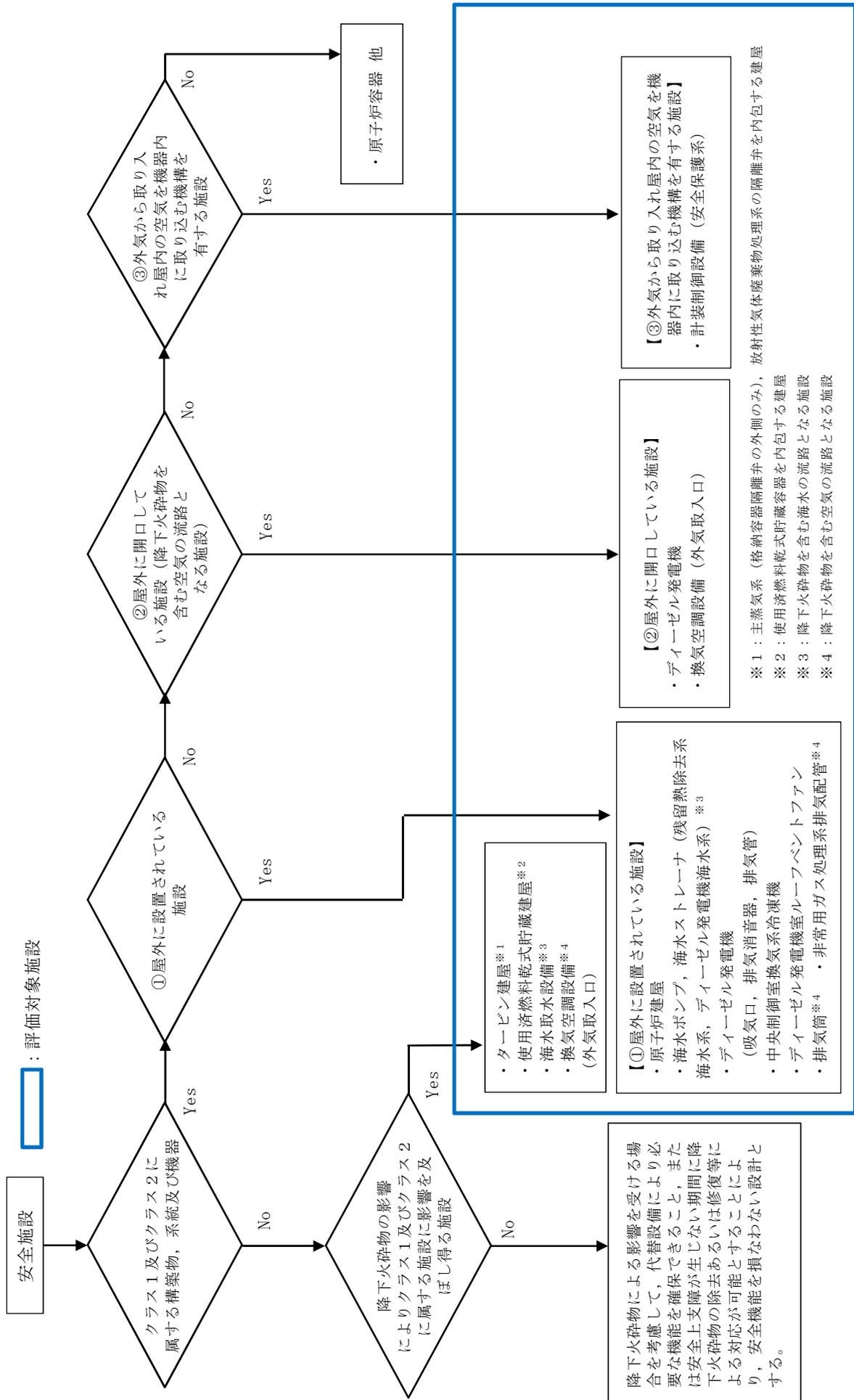
当該施設が降下火砕物の影響により安全機能を損なわないよう、降下火砕物の影響を評価すべき施設（以下「評価対象施設」という。）として各施設の構造や設置状況等を考慮して以下のとおり抽出する。

- (1) クラス 1 及びクラス 2 に属する構築物，系統及び機器
 - a. 屋外に設置されている施設
 - b. 降下火砕物を含む海水の流路となる施設
 - c. 降下火砕物を含む空気の流路となる施設
 - d. 外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設
- (2) クラス 3 に属する構築物，系統及び機器
 - a. 降下火砕物の影響を受ける施設であって，その停止等により，上位の安全重要度の施設の運転に影響を及ぼす可能性のある屋外の施設

なお，それ以外の，クラス 3 に属する施設については，降下火砕物による影響を受ける場合を考慮して，代替設備により必要な機能を確保すること，又は安全上支障が生じない期間に降下火砕物の除去あるいは修復等の対応が可能とすることにより，安全機能を損なわない設計とするため，評価対象施設から除外する。

また，降下火砕物の間接的影響を考慮し，原子炉の高温停止，冷温停止に必要な機能を達成するために必要となる施設を評価対象施設として抽出した。（参考資料－1）

評価対象施設の抽出フローを第 3.3-1 図に，抽出結果を第 3.3-1 表，第 3.3-2 表に示すとともに，評価対象施設の設置場所を第 3.3-2 図に示す。



6条(火山)-1-8

第3.3-1 図 評価対象施設の抽出フロー

第 3.3-1 表 評価対象施設の抽出結果

	設備区分	評価対象施設
クラス 1 及びクラス 2 に属する構築物、系統及び機器	屋外に設置されている施設	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系） ・海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系） ・ディーゼル発電機（吸気口，排気消音器，排気管） ・中央制御室換気系冷凍機 ・ディーゼル発電機室ルーフベントファン ・排気筒 ・非常用ガス処理系排気配管
	降下火砕物を含む海水の流路となる施設	<ul style="list-style-type: none"> ・残留熱除去海水系設備 （海水ポンプ，海水ストレーナ及び下流設備） ・ディーゼル発電機海水系設備 （海水ポンプ，海水ストレーナ及び下流設備）
	降下火砕物を含む空気の流路となる施設	<ul style="list-style-type: none"> ・ディーゼル発電機機関 ・換気空調設備（外気取入口） <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin: 5px 0;"> 中央制御室換気空調系 ディーゼル発電機室換気系 </div> ・排気筒 ・非常用ガス処理系排気配管
	外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設	<ul style="list-style-type: none"> ・計装制御設備（安全保護系）
クラス 3 に属する構築物、系統及び機器	降下火砕物の影響を受ける施設であって，その停止等により，上位の安全重要度の施設の運転に影響を及ぼす可能性のある屋外の施設	<ul style="list-style-type: none"> ・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・海水取水設備（除塵装置） ・換気空調設備（外気取入口）

第 3.3-2 表 評価対象施設の抽出について (1/4)

分類	安全機能の重要度分類		評価対象施設	クラス 3 に属する施設のうち降下火砕物の影響を受ける可能性がある施設で、クラス 1 及びクラス 2 に属する施設に影響を及ぼし得る施設	評価対象施設
	定義	機能			
PS-1	その損傷又は故障により発生する事象によって、 (a) 炉心の著しい損傷、又は (b) 燃料の大量の破損を引き起こすおそれのある構造物、系統及び機器	1) 原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系(計装等の小口径配管・機器は除く)	-	-
		2) 過剰反応度の印加防止機能	制御棒カププリング	-	-
		3) 炉心形状の維持機能	炉心支持構造物(炉心シェラウド、シェラウドサポート、上部格子板、炉心支持板、制御棒案内管)、燃料集合体(ただし、燃料を除く)	-	-
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構造物、系統及び機器	1) 原子炉の緊急停止機能	原子炉停止系の制御棒による系(制御棒及び制御棒駆動系(スクラム機能))	-	-
		2) 未臨界維持機能	原子炉停止系(制御棒による系、ほう酸水注入系)	-	-
		3) 原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	逃がし安全弁(安全弁としての間機能)	-	-
		4) 原子炉停止後の除熱機能	残留熱を除去する系統(残留熱除去系、原子炉停止時冷却モード) 原子炉隔離時冷却系 高圧炉心スプレイ系 逃がし安全弁(手動逃がし機能) 自動減圧系(手動逃がし機能)	-	-
		5) 炉心冷却機能	非常用炉心冷却系(低圧炉心スプレイ系) 非常用炉心冷却系(低圧注水系) 非常用炉心冷却系(高圧炉心スプレイ系) 非常用炉心冷却系(自動減圧系)	-	-
		6) 放射性物質の閉じ込め機能放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器 原子炉格納容器隔離弁 原子炉格納容器スプレイ冷却系 原子炉建屋 非常用ガス処理系 非常用再循環ガス処理系 可燃性ガス濃度制御系	原子炉建屋 排気筒、非常用ガス処理系排気配管	原子炉建屋 排気筒、非常用ガス処理系排気配管

第 3.3-2 表 評価対象施設の抽出について (2 / 4)

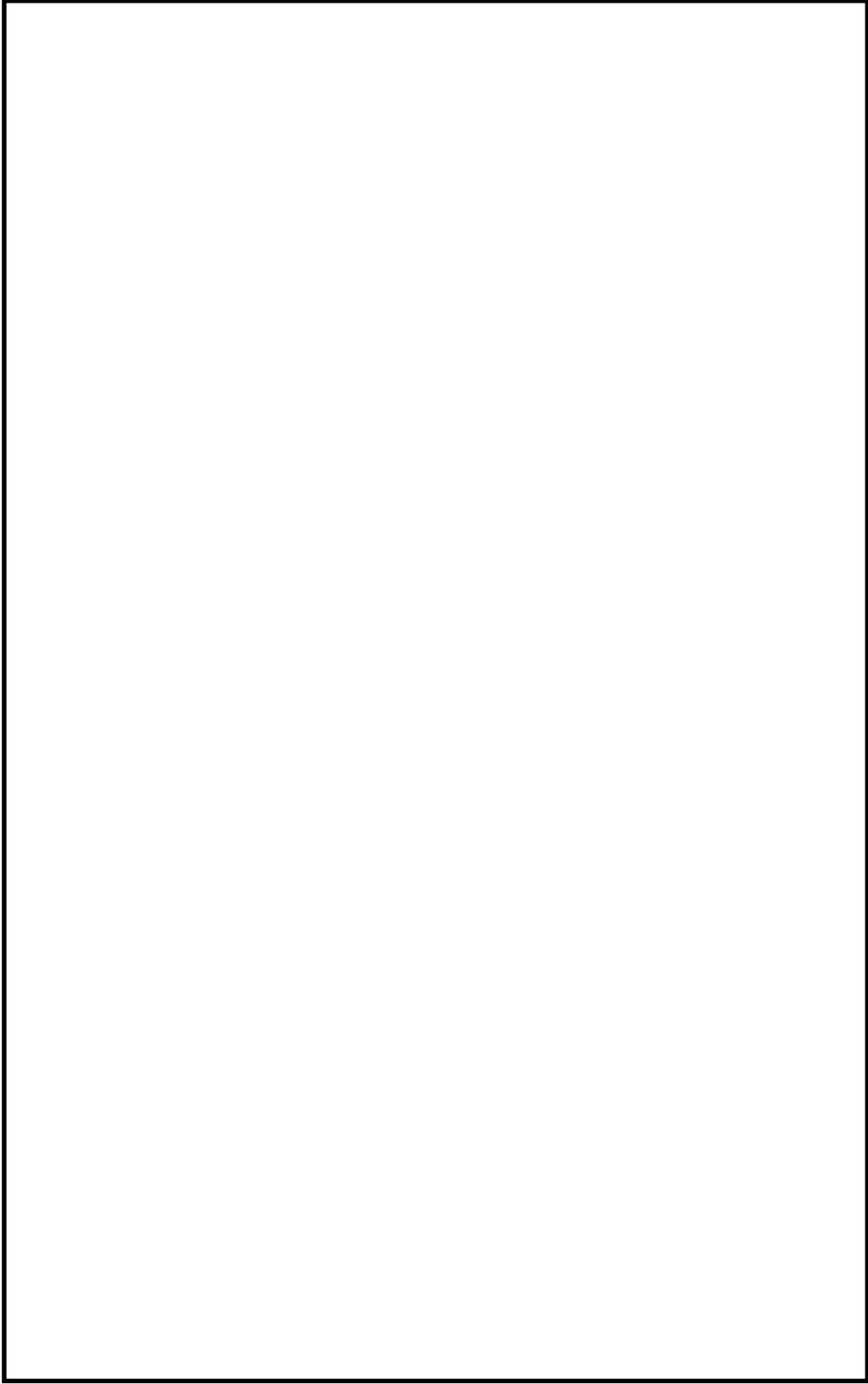
分類	安全機能の重要度分類		降下火砕物の影響を受ける施設 (屋外に設置されている施設、屋外に 開口している施設、又は外気から取り 入れた屋内の空気を取り込む機構を 有する施設)	クラス 3 に属する施設のうち降下火 砕物の影響を受ける可能性のある施 設で、クラス 1 及びクラス 2 に属する 施設に影響を及ぼし得る施設	評価対象施設	
	定義	機能 構造物、系統又は機器				
MS-1	1) 工学的安全施設及び原子炉停 止系への作動信号の発生機能	安全保護系	計装制御設備 (安全保護系)	-	計装制御設備 (安全保護系)	
		非常用所内電源系 (MS-1 関連のもの)	ダイゼル発電機 (非常用ダイゼル発電機、高圧炉心 スプレイスプレイル発電機)	-	ダイゼル発電機 (非常用ダイゼル発電機、高圧炉心ス プレイスプレイル発電機)	
	2) 安全上必須なその他の 構造物、系統及び機器	制御室及びその連へい・非常用換気空調系 (MS-1 関連のもの)	換気空調設備 (中央制御室換気空調系、 ダイゼル発電機換気系)	-	-	換気空調設備 (中央制御室換気空調系、 ダイゼル発電機換気系)
		非常用補機冷却水系 (MS-1 関連のもの)	海水ポンプ、海水ストレーナー (下流設備 含む) (残留熱除去系海水系、非常用ダイ ゼル発電機海水系、高圧炉心スプレ イスダイゼル発電機海水系)	海水取水設備 (除塵装置)	海水ポンプ、海水ストレーナー (下流設備 含む) (残留熱除去系海水系、非常用ダイ ゼル発電機海水系、高圧炉心スプレ イスダイゼル発電機海水系)	海水ポンプ、海水ストレーナー (下流設備 含む) (残留熱除去系海水系、非常用ダイ ゼル発電機海水系、高圧炉心スプレ イスダイゼル発電機海水系)
		直流電源系 (MS-1 関連のもの)	-	-	-	

第 3.3-2 表 評価対象施設の抽出について (3 / 4)

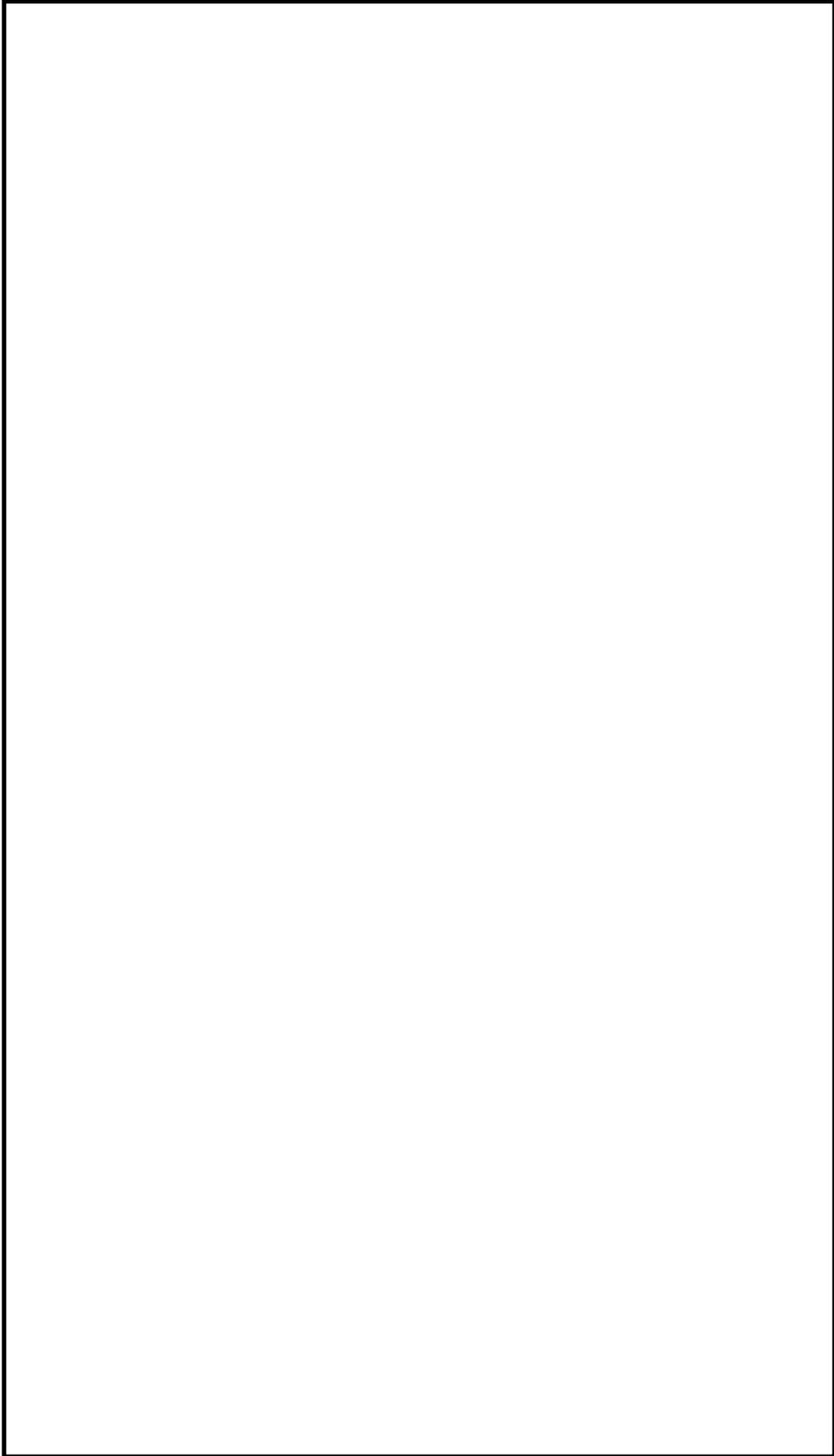
分類	安全機能の重要度分類		降下火砕物の影響を受ける施設 (屋外に設置されている施設、屋外に 開口している施設、又は外気から取り 入れた屋内の空気を取り込む機構を 有する施設)	クラス 3 に属する施設のうち降下火 砕物の影響を受ける可能性がある施 設で、クラス 1 及びクラス 2 に属する 施設に影響を及ぼし得る施設	評価対象施設	
	定義	機能				
PS-2	<p>1) その損傷又は故障によ り発生する事象によっ て、炉心の著しい損傷又 は燃料の大量の破損を 直ちに引き起こすおそ れはないが、敷地外への 過度の放射性物質の放 出のおそれのある構築 物、系統及び機器</p>	<p>1) 原子炉冷却材を内蔵する機能 (ただし、原子炉冷却材圧力 バウンダリから除外されい る計装等の小口径のもの及び バウンダリに直接接続されて いないものは除く。)</p>	<p>主蒸気系 (格納容器隔離弁の外 側のみ)</p>	-	-	
		<p>2) 原子炉冷却材圧力バウンダリ に直接接続されていないもの であって、放射性物質を貯蔵 する機能</p>	<p>放射性廃棄物処理施設(放射能インベ ントリの大きいもの)注 1) 注 1) 現状では、放射性気体廃棄物処理系 が考えられる。</p>	-	-	-
		<p>3) 燃料を安全に取り扱う機能</p>	<p>使用済燃料プール(使用済燃料貯蔵ラック 使用済燃料乾式貯蔵容器 燃料取扱設備)</p>	使用済燃料乾式貯蔵建屋	-	使用済燃料乾式貯蔵建屋
MS-2	<p>2) 通常運転時及び運転時 の異常な過渡変化時に 作動を要求されるもの であって、その故障によ り、炉心冷却が損なわれ る可能性の高い構築物、 系統及び機器</p> <p>1) P S - 2 の構築物、系統 及び機器の損傷又は故 障により敷地周辺公衆 に与える放射線の影響 を十分小さくするよう にする構築物、系統及び 機器</p> <p>2) 異常状態への対応上特 に重要な構築物、系統及 び機器</p>	<p>1) 燃料プール水の補給機能</p>	<p>非常用補給水系</p>	-	-	
		<p>2) 放射性物質放出の防止機能</p>	<p>放射性気体廃棄物処理系の隔離弁 排気筒(非常用ガス処理系排気管の支持機 能以外)</p>	排気筒	-	排気筒
		<p>1) 事故時のプラント状態把握機 能</p> <p>2) 異常状態の緩和機能</p> <p>3) 制御室外からの安全防止機能</p>	<p>燃料集合体落下事故時放射能放出を低減 する系 事故時監視計器の一部注 2) 注 2) 現状では、格納容器雰囲気放射線モニ タが考えられる。 DWR には対象機能なし 制御室外原子炉停止装置(安全停止に関連 するもの)</p>	原子炉建屋	-	原子炉建屋
PS-3	<p>1) 異常状態の起因事象と なるものであって、P S - 1 及び P S - 2 以外の構築 物、系統及び機器</p>	<p>1) 原子炉冷却材保持機能 (P S - 1, P S - 2 以外のもの)</p>	<p>計装配管 燃料採取管</p>	-	-	
		<p>2) 原子炉冷却材の循環機能</p>	<p>原子炉再循環系</p>	-	-	
		<p>3) 放射性物質の貯蔵機能</p>	<p>サブレーションプール排水系、復水貯蔵 タンク、放射性廃棄物処理施設(放射能イ ンベントリの小さいもの)注 3) 注 3) 現状では、液体及び固体の放射性廃 棄物処理系が考えられる。</p>	-	-	

第 3.3-2 表 評価対象施設の抽出について (4/4)

分類	安全機能の重要度分類		降下火砕物の影響を受ける施設 (屋外に設置されている施設、屋 外に開口している施設、又は外気 から取り入れた屋内の空気を取 り込む機構を有する施設)	クラス3に属する施設のうち降下火 砕物の影響を受ける可能性のある施 設で、クラス1及びクラス2に属する 施設に影響を及ぼし得る施設	評価対象施設
	定義	機能 構築物、系統又は機器			
PS-3	1) 異常状態の起因事象と なるものであって、PS- 1及びPS-2以外の構築 物、系統及び機器	4) 電源供給機能 (非常用を除 く。) 5) プラント計測・制御機能 (安 全保護機能を除く。) 6) プラント運転補助機能	タービン	-	-
			発電機及びその励磁装置	-	-
			復水系 (復水器を含む。)	-	-
			給水系	-	-
			循環水系	-	-
			送電線	-	-
			変圧器	-	-
			開閉所	-	-
			原子炉制御系 (制御棒価値ミニマイザを含む。)	-	-
			原子炉核計装	-	-
原子炉プロセス計装	-	-			
所内ボイラ	-	-			
計装用圧縮空気系	-	-			
燃料被覆管	-	-			
原子炉冷却材浄化系	-	-			
復水浄化系	-	-			
速がし安全弁 (速がし弁機能)	-	-			
タービンバイパス弁	-	-			
原子炉冷却材再循環系 (再循環ポンプトリップ 機能)	-	-			
制御棒引技監視装置	-	-			
制御棒駆動水圧系	-	-			
原子炉隔離時冷却系	-	-			
原子炉発電所緊急時対策所	-	-			
試料採取系	-	-			
通信連絡設備	-	-			
放射能監視設備	-	-			
事故時監視計器の一部	-	-			
消火系	-	-			
安全避難通路	-	-			
非常用照明	-	-			
MS-3	1) 運転時の異常な過渡変 化があっても、MS-1, M S-2とあいまって、事象 を緩和する構築物、系統及 び機器 2) 異常状態への対応上必 要な構築物、系統及び機器	1) 核分裂生成物の原子炉冷却材 中への放射防止機能 2) 原子炉冷却材の浄化機能	-	-	-
		1) 原子炉圧力の上昇の緩和機能 2) 出力上昇の抑制機能 3) 原子炉冷却材の補給機能	-	-	-



第3.3-2 図 評価対象施設 (1 / 2)



第3.3-2 図 評価対象施設 (2 / 2)

3.4 降下火砕物による影響の選定

降下火砕物の特徴及び評価対象施設の構造や設置状況を考慮して、降下火砕物が直接及ぼす影響（以下「直接的影響」という。）と発電所外での影響（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。

（資料－ 1）

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，評価対象施設の構造や設置状況等を考慮して直接的な影響因子を以下のとおり選定する。

(1) 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。

(2) 閉塞

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

(3) 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」及び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。

(4) 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「構造物への化学的影響（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）」及び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。

(5) 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及び屋外設備の点検等の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。

(6) 水質汚染

「水質汚染」については、給水等に使用する工業用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、発電所では給水処理設備により水

処理した給水を使用しており，降下火砕物の影響を受けた工業用水を直接給水として使用しないこと，また水質管理を行っていることから，安全施設の安全機能には影響しない。（参考資料－6）

(7) 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。

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，特高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」，及び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。

3.5 設計荷重の設定

設計荷重は，以下のとおり設定する。

(1) 評価対象施設に常時作用する荷重，運転時荷重

評価対象施設に作用する荷重として，自重等の常時作用する荷重，内圧等の運転時荷重であり，降下火砕物との荷重と適切に組み合わせる。

(2) 設計基準事故時荷重

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

なお，評価対象施設のうち設計基準事故時荷重が生じ得る設備としては，屋外設備の動的機器である海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル

発電機海水系)が考えられるが、設計基準事故時において海水ポンプ(残留熱除去系海水系, ディーゼル発電機海水系)に有意な機械的荷重は発生しないことから、設計基準事故時に生じる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自然現象は、荷重の影響において風及び積雪であり、降下火砕物との荷重と適切に組み合わせる。

(参考資料-2)

3.6 降下火砕物の直接的影響に対する設計方針

直接的影響については、評価対象施設の構造や設置状況等(形状、機能、外気吸入や海水通水の有無等)を考慮し、想定される各影響因子に対して、影響を受ける各評価対象施設が安全機能を損なわない以下の設計とする。

(資料-2)

3.6.1 降下火砕物による荷重に対する設計方針

(1) 構造物への静的負荷

評価対象施設のうち、降下火砕物が堆積する建屋及び屋外施設は、以下である。

a. 屋外に設置されている施設

原子炉建屋、海水ポンプ(残留熱除去系海水系, ディーゼル発電機海水系)、海水ストレーナ(残留熱除去系海水系, ディーゼル発電機海水系)、ディーゼル発電機(吸気口, 排気消音器, 排気管)、中央制御室換気系冷凍機、ディーゼル発電機室ルーフベントファン

b. 降下火砕物の影響を受ける施設であって、その停止等により、上位の安全重要度の施設の運転に影響を及ぼす可能性のある屋外の施設

タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

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。若しくは，降下火砕物が堆積しにくい，又は直接堆積しない構造とすることで，安全機能を損なわない設計とする。

設計対象施設の建屋においては，建築基準法における一般地域の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，建築基準法における材料強度による許容値を許容限界とする。

また，建屋を除く評価対象施設においては，許容応力を「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1 9 8 7（日本電気協会）」に準拠する。

(資料－４～６， ９， １０)

(2) 粒子の衝突

評価対象施設のうち，粒子の衝突を考慮すべき建屋及び屋外施設は，降下火砕物の衝突によって構造健全性が失われないことにより，安全機能を損なわない設計とする。

なお，粒子の衝突による影響については，竜巻の影響について評価している設計飛来物に包絡される。

3.6.2 降下火砕物による荷重以外に対する設計方針

降下火砕物による荷重以外の影響は，構造物への化学的影響（腐食），水循環系の閉塞，内部における摩耗及び化学的影響（腐食），電気系及び計装

制御系に対する機械的影響（閉塞）及び化学的影響（腐食）等により安全機能を損なわない設計とする。

外気取入口からの降下火砕物の侵入に対する設計については、「3.6.3 外気取入口からの降下火砕物の侵入に対する設計」に示す。

(1) 構造物への化学的影響（腐食）

評価対象施設のうち、降下火砕物による構造物への化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は、降下火砕物の直接的な付着による影響が考えられる以下の施設である。

a. 屋外に設置されている施設

原子炉建屋，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系），海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系），ディーゼル発電機，中央制御室換気系冷凍機，ディーゼル発電機室ルーフベントファン，排気筒，非常用ガス処理系排気配管

b. 降下火砕物の影響を受ける施設であって，その停止等により，上位の安全重要度の施設の運転に影響を及ぼす可能性のある屋外の施設

タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

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。

（資料－4～6，9～11 参考資料－4，5）

(2) 水循環系の閉塞，内部における摩耗及び化学的影響（腐食）

評価対象施設のうち，水循環系の閉塞，内部における摩耗及び化学的影響

響（腐食）を考慮すべき施設は、降下火砕物を含む海水の流路となる以下の施設である。

a. 降下火砕物を含む海水の流路となる施設

残留熱除去海水系設備（海水ポンプ、海水ストレーナ及び下流設備含む）、ディーゼル発電機海水系設備（海水ポンプ、海水ストレーナ及び下流設備含む）、海水取水設備

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、当該施設については、降下火砕物の粒径に対し十分な流路幅を設けることにより、海水の流路となる施設が閉塞しない設計とする。

内部における摩耗については、降下火砕物は砂よりも硬度が低くもろいことから摩耗による影響は小さい。また当該施設については、定期的な内部点検及び日常保守管理により、状況に応じて補修が可能であり、摩耗により安全機能を損なわない設計とする。

化学的影響（腐食）については、金属腐食研究の結果より、降下火砕物によって直ちに金属腐食を生じないが、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わない設計とする。なお、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。

（資料－5～7，参考資料－4，5，9）

(3) 電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）及び化学的影響（腐食）

評価対象施設のうち、電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）及び化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は、電気系及び計装制御系

のうち屋外に設置されている以下の施設である。

a. 屋外に設置されている施設

海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（モータ）

機械的影響（閉塞）については，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（モータ）本体は外気と遮断された全閉構造，空気冷却器の冷却管内径及び冷却流路は降下火砕物粒径以上の幅を設ける構造とすることにより，機械的影響（閉塞）により安全機能を損なわない設計とする。

化学的影響（腐食）については，金属腐食研究の結果より，降下火砕物によって直ちに金属腐食を生じないが，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，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。

（資料－ 5， 参考資料－ 4， 5）

(4) 絶縁低下及び化学的影響（腐食）

評価対象施設のうち，絶縁低下及び化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は，電気系及び計装制御系のうち外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する以下の施設である。

a. 外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する施設
計装制御設備（安全保護系）

当該機器の設置場所は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していることから、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。

また、本換気空調設備については、外気取入ダンパを閉止し閉回路循環運転を行うことにより侵入を阻止することも可能である。

これらフィルタの設置により降下火砕物の侵入に対する高い防護性能を有すること、また外気取入ダンパの閉止による侵入防止が可能な設計とすることにより、降下火砕物の付着に伴う絶縁低下及び化学的影響（腐食）による影響を防止し、計装制御設備（安全保護系）の安全機能を損なわない設計とする。

（資料－８）

3.6.3 外気取入口からの降下火砕物の侵入に対する設計方針

外気取入口からの降下火砕物の侵入に対して、以下のとおり安全機能を損なわない設計とする。

(1) 機械的影響（閉塞）

評価対象施設のうち、外気取入口からの降下火砕物の侵入による機械的影響（閉塞）を考慮すべき施設は、降下火砕物を含む空気の流路となる以下の施設である。

a. 降下火砕物を含む空気の流路となる施設

ディーゼル発電機機関，ディーゼル発電機（吸気口），換気空調設備（外気取入口），排気筒，非常用ガス処理系排気配管

各施設の構造上の対応として、ディーゼル発電機（吸気口）の外気取入

口は開口部を下向きの構造とすることにより、降下火砕物が流路に侵入しにくい設計とする。

排気筒は、降下火砕物が侵入した場合でも、排気筒の構造から排気流路が閉塞しない設計とする。非常用ガス処理系排気配管は、降下火砕物の侵入防止を目的とする構造物を取り付けることにより、降下火砕物の影響に対して機能を損なわない設計とする。

また、外気を取り入れる換気空調設備（外気取入口）及びディーゼル発電機（吸気口）にそれぞれ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。

ディーゼル発電機機関は、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。

（資料－ 9 ～ 1 1）

(2) 機械的影響（摩耗）

評価対象施設のうち、外気取入口からの降下火砕物の侵入による機械的影響（摩耗）を考慮すべき施設は、外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構及び摺動部を有する以下の施設である。

- a. 外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構及び摺動部を有する施設

ディーゼル発電機機関

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、ディーゼル発電機（吸気口）の開口部を下向きとすることによりディーゼル発電機機関に降下火砕物が侵入しにくい構造とする。

また、仮にディーゼル発電機機関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。

外気を取り入れるディーゼル発電機（吸気口）に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、摩耗により安全機能を損なわない設計とする。

（資料－１０）

(3) 化学的影響（腐食）

評価対象施設のうち、外気取入口からの降下火砕物の侵入による化学的影響（腐食）を考慮すべき施設は、降下火砕物を含む空気の流路となる以下の施設である。

a. 降下火砕物を含む空気の流路となる施設

ディーゼル発電機機関，中央制御室換気空調系，ディーゼル発電機室換気系，排気筒

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が、塗装の実施等によって、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。

（資料－９～１１，参考資料－４，５）

(4) 大気汚染（発電所周辺の大気汚染）

評価対象施設のうち、大気汚染を考慮すべき中央制御室は、降下火砕物により汚染された発電所周辺の大気が、中央制御室空調装置の外気取入口を通じて中央制御室に侵入しないようバグフィルタを設置することにより、降下火砕物が外気取入口に到達した場合であっても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する。

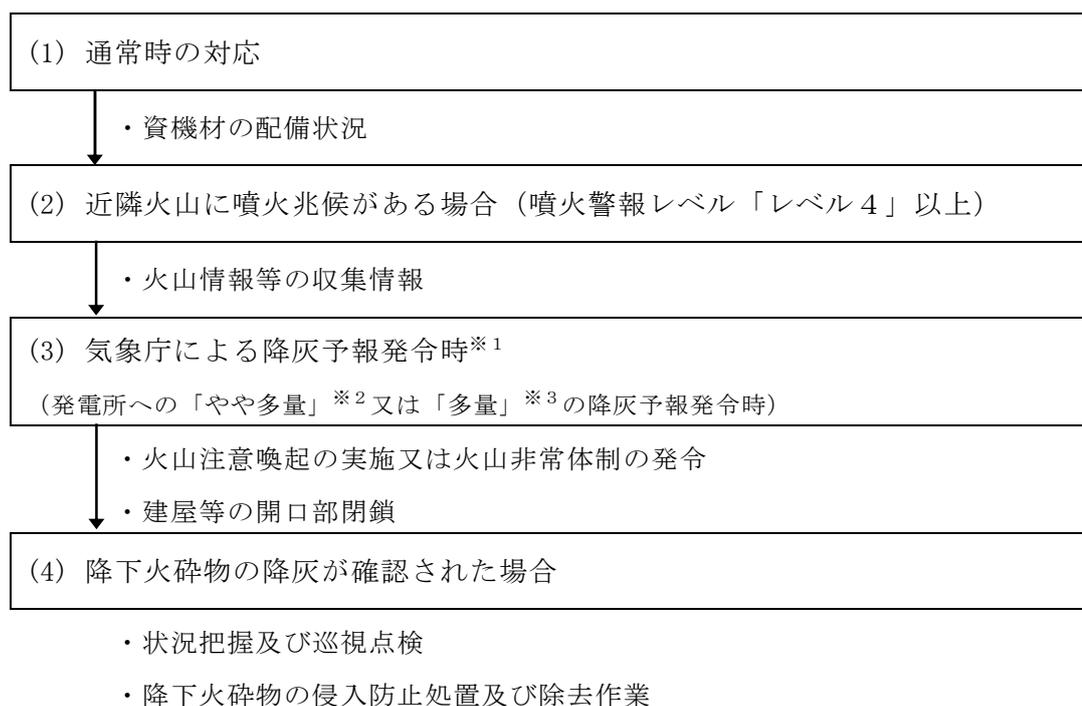
また、中央制御室空調装置については、外気取入ダンパの閉止及び閉回路循環運転を可能とすることにより、中央制御室内への降下火砕物の侵入を防止すること、さらに外気取入遮断時において室内の居住性を確保するため、酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響評価を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

(資料－ 9)

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、第3.7.1-1図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、火山事象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。なお、多くの火山では、噴火前に、震源の浅い火山性地震の頻度が急増し、火山性微動の活動が始まるため、事前に対策準備が可能である。



※1 降灰予報の情報に係らず、発電所に影響を及ぼす降灰が認められた場合は、状況に応じた対応を行う。

※2 降灰時の厚さ 0.1mm 以上 1.0mm 未満

※3 降灰時の厚さ 1.0mm 以上

第3.7.1-1図 降下火砕物に対応するための運用管理フロー

(1) 通常時の対応

火山の噴火事象発生に備え、担当箇所は降下火砕物の除去等に使用する資機材等（シャベル，ゴーグル及び防護マスク等）については，定期的に配備状況を確認する。

(2) 近隣火山の噴火兆候がある場合

近隣火山で噴火警戒レベル3（注意），4（避難準備）となる引上げが発表され発電所において災害の発生のおそれがあると判断された場合，担当箇所は防災管理者の承認を得た上で，監視強化準備体制を発令し，発電所の保安管理体制下において，火山情報等を把握し，連絡体制を強化（要員の確認）する。

(3) 降下火砕物の飛来のおそれがある場合

近隣火山で噴火警戒レベル5（避難）が発表され発電所において災害の発生のおそれがあると判断された場合，防災管理者は監視強化体制を発令し，発電所の各マネージャーは，発電所の保安管理下において，資機材の配備状況確認等に必要な要員を招集する。

また，取水路前面にオイルフェンスを設置することで，取水路への降下火砕物の流入量を低減する，とともに屋外機器・建屋等の降下火砕物の除去のため，発電所内に保管しているスコップ，ほうき，マスク等の資機材の配備状況の確認を行う。

(4) 降下火砕物が堆積する状況となった場合

降下火砕物が確認され発電所の安全機能を有する設備が損傷等により機能を失うおそれがある場合，防災管理者は発生事象の災害区分を「警戒事態」とし，発電所警戒本部を設置する。

発電所警戒本部の指揮の下，発電所及び屋外廻りの監視を強化する。また，屋外機器・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を確認し，フィルタの取替，清掃を行う。

さらに，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を失った場合，災害区分を「非常事態」に移行し，発電所対策本部を設置してその指揮の下，必要な処置を行う。

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に手順を定める。

- (1) 発電所内に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による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，評価対象施設等に堆積した降下火砕物の除去に係る手順を定める。
- (2) 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閉回路循環運転により，建屋内への降下火砕物の侵入を防止する手順を定める。
- (3) 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フィルタについて，フィルタ差圧又は流量を確認するとともに，状況に応じて清掃や取替を実施する。
- (4) 降灰が確認された場合には，取水路前面にオイルフェンスを設置するこ

とで、取水路への降下火砕物の流入量を低減する手順を定める。

3.8 降下火砕物の間接的影響に対する設計方針

広範囲にわたる送電網の損傷による7日間の外部電源喪失及び発電所外での交通の途絶によるアクセス制限事象に対し、原子炉の停止並びに停止後の原子炉及び使用済燃料プールの冷却に係る機能を担うために必要となる電源の供給が非常用ディーゼル発電機（2基）及びそれぞれに必要な耐震Sクラスの軽油貯蔵タンク（2基：800kL以上）により継続できる設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

4. まとめ

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

降下火砕物の飛来のおそれがある場合は、火山事象対策を行うための体制を構築し、発電所及び屋外廻りの監視の強化、降下火砕物の除去等を実施する。

降下火砕物の特徴について

表 1 降下火砕物の特徴

特徴 ^{※1}	影響モード	影響因子
マグマが噴火時に破砕・急冷したものであり、ガラス片・鉱物結晶からなる。 ^{※2}	荷重 閉塞 摩耗	・堆積による構造物への静的負荷 ・粒子の衝突 ・水循環系の閉塞 ・水循環系の内部における摩耗 ・換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響
亜硫酸ガス (SO ₂)、硫化水素 (H ₂ S)、フッ化水素 (HF) 等の火山ガス成分が付着している。	腐食 大気汚染 水質汚染	・換気系、電気系及び計装制御系に対する化学的影響 ^{※3} ・化学的腐食 ^{※3} ・発電所周辺の大気汚染 ・給水の汚染
水に濡れると硫酸イオン等が溶出する。		
乾燥した降下火砕物は絶縁体だが、水に濡れると酸性を呈し導電性を生じる	絶縁低下	・開閉所の絶縁低下
溶出した硫酸イオンは降下火砕物に含まれるカルシウムイオンと反応し硫酸カルシウム (石膏) となるため、湿った降下火砕物は乾燥すると固結する。	閉塞	・固結 ^{※4}
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。	閉塞	・高温部における溶融及び固着 ^{※5}

※1：(参考資料) 広域的な火山防災対策に係る検討会 (平成25年5月16日)

※2：降下火砕物の主成分はガラスであり、粘性を生じさせるような鉱物は含まれていない。

※3：降下火砕物による金属腐食の研究報告では、4種類の金属材料 (Znメッキ, Al, S41, Cu) に対して、桜島の降下火砕物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mmオーダーの腐食であり、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。

※4：流水等により除去が可能である。

※5：発電所内で1,000℃を超える所はないので、降下火砕物は溶融しない。

評価すべき影響の要因と評価手法

降下火砕物による直接的影響の要因については、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摩耗、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が、東海第二発電所で想定される降下火砕物の条件を考慮し、表1に示す項目について評価を実施する。

(1) 直接的影響の要因の選定と評価手法

① 構造物への静的負荷

評価対象とした建屋構築物、屋外機器について、降下火砕物の静的な堆積を想定し、許容堆積荷重または許容応力値以下であることを確認する。荷重条件として、湿潤状態における降下火砕物に建築基準法の考え方を参考とした東海村における平均的な積雪荷重を重畳させ、弾性範囲内とする。なお、構造物の形状により降下火砕物が堆積し難い場合は、降下火砕物の影響はないと判断する。

② 粒子の衝突

想定する降下火砕物は微細な粒子である。粒子の衝突による影響については、「竜巻に対する防護」で評価している設計飛来物(4cm×4cm×4cm)に包絡されており、衝突により建屋構築物、屋外機器に影響を与えないことを確認している。したがって、詳細検討は不要とする。

③ 水循環系の閉塞

評価対象とした機器について、降下火砕物が内部流体中に混入する可能性を検討し、可能性のある機器に対し、狹隘部の寸法を明らかにし、降下火砕物の粒径との関係から流路閉塞の可能性を評価する。

④ 水循環系の内部における摩耗

評価対象とした機器について、降下火砕物が内部流体中に混入する可能性を検討し、可能性のある機器に対し、狹隘部の寸法を明らかにし、接液面との材質等との関係から摩耗の可能性を評価する。

⑤ 換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響

評価対象とした機器について、屋外に連通する開口部の形状等から、降下火砕物が侵入する可能性とその影響程度について検討する。換気系のフィルタについては、清掃、取替え可能な構造となっていること、また閉塞の有無を点検できることを確認する。

さらに、必要に応じて換気系からの給気先への影響についても検討する。

⑥ 換気系、電気系及び計装制御系に対する化学的影響

評価対象とした機器について、降下火砕物の付着に伴う腐食により、その機能に影響がないことを内外面の材質、塗装の有無等によって評価する。

⑦ 発電所周辺の大気汚染

汚染された大気が換気空調系を通じて中央制御室に侵入し、居住性を

阻害することがないか検討する。

⑧ 化学的腐食

評価対象とした建屋・構築物，屋外機器について，降下火砕物が接触し，又は降下火砕物から溶出した成分によって腐食等が発生しないことを機器表面の材質，塗装の有無等によって評価する。

⑨ 水質汚染（給水の汚染）

発電所では給水処理装置により水処理した給水を使用しており，降下火砕物の影響を受ける可能性のある海水及び淡水を直接給水として使用していない。また，給水は水質管理を行っており，給水の汚染が設備に影響を与える可能性はない。したがって，詳細検討は不要とする。

⑩ 絶縁低下

電気系及び計装制御系の盤のうち屋内の空気を取り込む機構を有するものについては，影響がないことを評価する。

評価すべき直接的影響の要因については，その内容によりすべての評価対象施設に対して評価する必要がない項目もあることから，各評価対象施設と評価すべき直接的要因について，表2のとおり整理し，評価対象施設の特性を踏まえて必要な評価項目を選定した。

なお，津波防護施設は「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されているクラス1，クラス2及びクラス3に該当はしないが，外部事象に対する防護方針について参考資料－14に示す。

表1 降下火砕物が設備に影響を与える可能性のある因子

No	影響を与える可能性のある因子	評価方法と詳細検討の要否	詳細検討すべきもの
①	構築物への静的負荷	建屋構築物，屋外機器において降下火砕物堆積荷重による影響を考慮する。なお，降雨，降雪などにより水を含んだ場合の負荷が大きくなるため，水を含んだ場合（湿潤状態）における負荷を考慮する。	○
②	粒子の衝突	想定する降下火砕物の粒径は8mmと微細である。粒子の衝突については「竜巻に対する防護」で評価している設計飛来物（0.04m×0.04m×0.04m）に包絡されており，衝突により建屋構築物，屋外機器に影響を与えないことを確認している。	-
③	水循環系の閉塞	海水系において影響を考慮すべき要因であり，降下火砕物の粒径によって懸念される狭隘部等における閉塞への影響を考慮する。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。	○
④	水循環系の内部における摩耗	海水系において影響を考慮すべき要因であり，降下火砕物による設備内部における摩耗の影響を考慮する。また，必要に応じて，海水を供給している下流設備への影響についても考慮する。	○
⑤	換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響	屋外設備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	○
⑥	換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響	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。	○
⑦	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。	○
⑧	化学的腐食	<ul style="list-style-type: none"> ・ 建屋構築物，屋外機器において降下火砕物の付着により懸念される腐食についての影響を評価する。 ・ 海水系において考慮すべき要因であり，降下火砕物が海水中に溶出した場合に懸念される腐食についての影響を評価する。また，必要に応じて，海水を供給している下流の設備への影響についても考慮する。 	○
⑨	水質汚染（給水の汚染）	発電所では給水処理装置により水処理した給水を使用しており，降下火砕物の影響を受ける可能性のある海水及び淡水を直接給水として使用していない。また，給水は水質管理を行っており，給水の汚染が設備に影響を与えうる可能性はない。（参考資料-6）	-
⑩	絶縁低下	電気及び計装制御系の盤のうち屋内にある空気を取り込む機構を有するものについての影響を考慮する。	○

表 2 評価対象施設と降下火砕物による直接的影響の要因対比 (1 / 2)

評価対象施設	直接的影響の要因							
	①構造物への静的負荷	③水循環系の閉塞	④水循環系の内部における摩耗	⑤換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響	⑥換気系、電気系及び計装制御系に対する化学的影響	⑦発電所周辺の大気汚染	⑧化学的影響	⑩絶縁低下
<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 タービン建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 	○	— ※2	— ※2	— ※3	— ※3	— ※4	○	— ※5
<ul style="list-style-type: none"> 海水ポンプ (残留熱除去系海水系, ディーゼル発電機海水系) 	○	○ (ポンプ)	○ (ポンプ)	○ (モータ)	○ (モータ)	— ※4	○ (ポンプ, モータ)	— ※5
<ul style="list-style-type: none"> 海水ストレーナ (残留熱除去系海水系, ディーゼル発電機海水系) 	○	○ (下流設備含む)	○ (下流設備含む)	— ※3	— ※3	— ※4	○ (下流設備含む)	— ※5
<ul style="list-style-type: none"> 海水取水設備 	— ※1	○	○	— ※3	— ※3	— ※4	○	— ※5
<ul style="list-style-type: none"> 計装制御設備 (安全保護系) 	— ※6	— ※2	— ※2	— ※3	— ※3	— ※4	○	○

○ : 影響因子に対する個別評価を実施

— : 評価対象外

【除外理由】

※1 : 静的負荷の影響を受けにくい構造

※2 : 水循環系の機能と直接関連がない

※3 : 屋外に面した換気系、電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない

※4 : 中央制御室の居住性と直接関連がない

※5 : 絶縁低下と直接関連がない

※6 : 屋内設置設備であり、静的負荷の影響を直接受けけない

表 2 評価対象施設と降下火砕物による直接的影響の要因対比 (2 / 2)

評価対象施設		直接的影響の要因							
		①構造物への静的負荷	③水循環系の閉塞	④水循環系の内部における摩耗	⑤換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響	⑥換気系、電気系及び計装制御系に対する化学的影響	⑦発電所周辺の大気汚染	⑧化学的影響	⑩絶縁低下
・換気空調設備	屋内設備	－ ※6	－ ※2	－ ※2	○	○	○	－ (⑥で評価)	－ ※5
	屋外設備	○	－ ※2	－ ※2	○	○	－ (⑧で評価)	○	－ ※5
・ディーゼル発電機	屋内設備	－ ※6	○ (海水ポンプ下流側設備として評価)	○ (海水ストレーナ下流側設備として評価)	○	○	－ (⑧で評価)	○	－ ※5
	屋外設備	○	－ ※2	－ ※2	○	○	－ (⑧で評価)	○	－ ※5
・排気筒 ・非常用ガス処理系排気配管		－ ※1	－ ※2	－ ※2	○	○	－ ※3	○	－ ※5

○：影響因子に対する個別評価を実施

－：評価対象外

【除外理由】

※1：静的負荷の影響を受けにくい構造

※2：水循環系の機能と直接関連がない

※3：屋外に面した換気系、電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない

※4：中央制御室の居住性と直接関連がない

※5：絶縁低下と直接関連がない

※6：屋内設置設備であり、静的負荷の影響を直接受けない

直接的影響の評価結果

資料－ 2 の表 2 に基づき評価した結果，評価対象施設において降下火砕物の直接的影響がないことを確認した。評価結果を表 1 に示す。

なお，詳細な評価結果を資料－ 4 ～ 1 1 に示す。また，降下火砕物の影響を受ける可能性のある，その他の施設についての評価結果を参考資料－ 6 ～ 7 に示す。

表1 評価対象施設の評価結果 (1 / 2)

評価対象施設	確認結果	個別評価
<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋 	<p>確認結果</p> <p>①降下火砕物等の堆積荷重は、各建屋の許容堆積荷重以下であることから、各建屋の健全性に影響を及ぼすことはない。</p> <p>③各建屋は、外装塗装及び屋上防水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影響を及ぼすことはない。</p>	<p>資料-4</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・海水ポンプ (残留熱除去系海水系, ディーゼル発電機海水系) 	<p>①降下火砕物等の堆積荷重により発生する応力は、海水ポンプモーターフレームの許容応力値以下であることから、海水ポンプ (モーター含む) の機能に影響を及ぼすことはない。</p> <p>③ポンプの狭隘部は降下火砕物の粒径より大きく、軸受には異物逃がし溝が設けられているため、流水部の閉塞、軸受部での軸固着はなく、機能に影響を及ぼすことはない。</p> <p>④降下火砕物は砂等に比べ破砕し易く、硬度が小さいが、これまで砂等を原因とした摩耗の影響によって海水ポンプの機能が喪失した事例はないことから、降下火砕物が設備に影響を与える可能性は小さい。</p> <p>⑤海水ポンプモーターは外気を直接電動機内部に取り込まない冷却方式であり、モーターの冷却流路は降下火砕物の粒径より大きいことから、機能に影響を及ぼすことはない。</p> <p>⑥⑧海水ポンプ (モーター含む) は、外装塗装等を実施しており、降下火砕物による化学的腐食により直ちに影響を及ぼすことはない。</p>	<p>資料-5</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・海水ストレーナ (残留熱除去系海水系, ディーゼル発電機海水系) 	<p>①降下火砕物等の堆積荷重により発生する応力は、海水ストレーナの許容応力値以下であることから、海水ストレーナの健全性に影響を及ぼすことはない。</p> <p>③想定する降下火砕物の粒径は、ストレーナメッシュ径以下であり、ストレーナが閉塞することはない。また、下流設備であるディーゼル発電機用空気冷却器等の熱交換器伝熱管についても、降下火砕物の粒径以上の内径を確保することにより、伝熱管が閉塞することはない。</p> <p>④降下火砕物は砂等に比べ破砕し易く、硬度が小さいが、これまで砂等を原因とした摩耗の影響によって海水ストレーナ及び下流設備の機能が喪失した事例はないことから、降下火砕物が設備に影響を与える可能性は小さい。</p> <p>⑧海水ストレーナはステンレス製で内部に防食亜鉛を設ける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。また、下流設備の熱交換器の伝熱管は耐食性のある材料を用いていることから、降下火砕物による化学的腐食により直ちに影響を及ぼすことはない。</p>	<p>資料-6</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・海水取水設備 	<p>③想定する降下火砕物の粒径は海水取水設備のパーピッチ及び網枠メッシュ間隔より小さいため閉塞することはない。</p> <p>④降下火砕物は砂等に比べ破砕し易く、硬度が小さいが、これまで砂等を原因とした摩耗の影響によって海水ストレーナ及び下流設備の機能が喪失した事例はないことから、降下火砕物が設備に影響を与える可能性は小さい。</p> <p>⑧海水取水設備は防汚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影響を及ぼすことはない。</p>	<p>資料-7</p>

※：確認結果内の丸数字は、資料-2表1記載 影響を与える可能性のある因子 No. を示す

表 1 評価対象施設の評価結果 (2 / 2)

評価対象施設	確認結果	確認結果	詳細評価
<ul style="list-style-type: none"> 計装制御設備 (安全保護系) 	<p>⑧⑩計装制御設備 (安全保護系) が設置されている部屋の空調系の外気取入口にはバグフィルタが設置されているため侵入する降下火砕物は微細なものに限られ、さらに、外気取入ダンプを閉止し閉回路循環運転が可能であることなどから、化学的腐食及び絶縁低下により計装制御設備 (安全保護系) の機能に影響を及ぼすことはない。</p>	○	資料-8
<ul style="list-style-type: none"> 換気空調設備 	<p>①④⑧中央制御室換気系冷凍機及びびディーゼル発電機室ルーフベントファーンについては、全体を防護する構造物を設置することで降下火砕物が直接堆積しない設計とすることから、堆積荷重及び化学的影響により機能に影響を及ぼすことはない、 ⑤外気取入口にはガラリ及びびフィルタが取り付けられており降下火砕物が侵入し難い構造となっており、フィルタは交換・清掃が可能であること等から、フィルタ及びび流路が閉塞することはない。 ⑦中央制御室換気空調系は、外気取入ダンプを閉止した閉回路循環運転により中央制御室の居住性を維持することができるとともに、発電所周辺の大気汚染による短期的な影響はない。</p>	○	資料-9
<ul style="list-style-type: none"> ディーゼル発電機 	<p>①降下火砕物の堆積荷重により吸気口に発生する応力は許容応力値以下であることから、吸気口の健全性に影響を及ぼすことはない。また、排気消音器及び排気管は降下火砕物が堆積し難い形状になっているため、影響はない。 ⑤吸気口及び排気管は降下火砕物が侵入し難い構造であり、また、吸気口はフィルタにより降下火砕物が捕集されること、及びびディーゼル機関に侵入した場合でも降下火砕物の硬度が低く破砕しやすいことから、機能に影響を及ぼすことはない。また、吸気フィルタは必要に応じて清掃及び交換することができる ⑧吸気口、排気消音器及び排気管は、外装塗装を実施しており、降下火砕物による化学的腐食により直ちに影響を及ぼすことはない。</p>	○	資料-10
<ul style="list-style-type: none"> 排気筒 (非常用ガス処理系排気配管含む) 	<p>⑤排気筒は降下火砕物が侵入しても排気流路を閉塞させることはなく、機能に影響を及ぼすことはない。また、非常用ガス処理系排気配管については、降下火砕物に対して健全性を損なわない設計とすることから、機能に影響を及ぼすことはない。 ⑧排気筒外面は外装塗装を実施しており、降下火砕物による化学的腐食により直ちに影響を及ぼすことはない。</p>	○	資料-11

※：確認結果内の丸数字は、資料-2 表 1 記載 影響を与える可能性のある因子 No. を示す

建屋構築物に係る影響評価

降下火砕物による原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋への影響について，以下のとおり評価する。

(1) 評価項目及び内容

① 構築物への静的負荷

降下火砕物の堆積荷重により原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵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 構築物への化学的影響（腐食）

降下火砕物の構築物への付着や堆積による化学的腐食により，構築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

a. 堆積量：50cm

b. 密度：1.5g/cm³（湿潤状態）

② 積雪条件

a. 堆積量：10.5cm（建築基準法の考え方を参考とした東海村における平均的な積雪量）

b. 単位荷重：堆積量1cmごとに20N/m²（建築基準法より）

③ 堆積荷重

降下火砕物の堆積荷重は以下のとおりとなる。

$$0.5(\text{m}) \times 1,500(\text{kg}/\text{m}^3) \times 9.80665(\text{m}/\text{s}^2) = 7,355(\text{N}/\text{m}^2)$$

次に重畳する積雪荷重は以下のとおりとなる。

$$10.5(\text{cm}) \times 20(\text{N}/\text{m}^2/\text{cm}) = 210(\text{N}/\text{m}^2)$$

以上を足し合わせ、構造物への堆積荷重は 7,565 (N/m²) となる。

(3) 評価結果

① 構造物への静的負荷

原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は短期許容応力度を許容堆積荷重とし、タービン建屋は短期許容応力度及び終局強度を許容堆積荷重として健全性評価を行った。建屋の健全性評価の考え方を添付資料－1 に示す。

表 1 のとおり、各建屋は降下火砕物と積雪を足し合わせた荷重に対して裕度を有しているため、原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の健全性を損なうことはない。

表 1 降下火砕物等の荷重による建屋健全性評価結果

対象建屋	評価部位	降下火砕物等堆積荷重 (N/m ²)	短期許容応力度に対する判定【①】		終局強度に対する判定【②】		総合判定
			許容堆積荷重 (N/m ²)	評価結果	許容堆積荷重 (N/m ²)	評価結果	
原子炉建屋	屋根トラス	7,565 ^{*1}	7,780 ^{*1}	○	— ^{*2}	—	○
タービン建屋			6,280	×	7,860 ^{*1}	○	○
使用済燃料乾式貯蔵建屋			49,360 ^{*1}	○	— ^{*3}	—	○

※1: 堆積荷重には、降下火砕物の他に積雪 10.5cm 分を含む。

※2: 安全施設であるため、適用しない。

※3: ①で“○”であるため評価不要。

② 構造物への化学的影響（腐食）

原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は外壁塗装及び屋上防水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短期的に影響を及ぼすことはない。

また，降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については，堆積した降下火砕物を除去し，除去後の点検等において，必要に応じて補修作業を実施する。

(4) 個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を表 2 に示す。

表 2 個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

直接的影響の要因	理由
水循環系の閉塞	水循環系の機能と直接関連がない
水循環系の内部における摩擦	水循環系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
発電所の大気汚染	中央制御室の居住性と直接関連がない
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

降下火砕物等の荷重による建屋健全性評価の考え方について

建屋の健全性評価については、短期許容応力度又は終局強度を用いて許容堆積荷重を算出している。

建屋健全性評価の考え方について、フローを図1に示す。

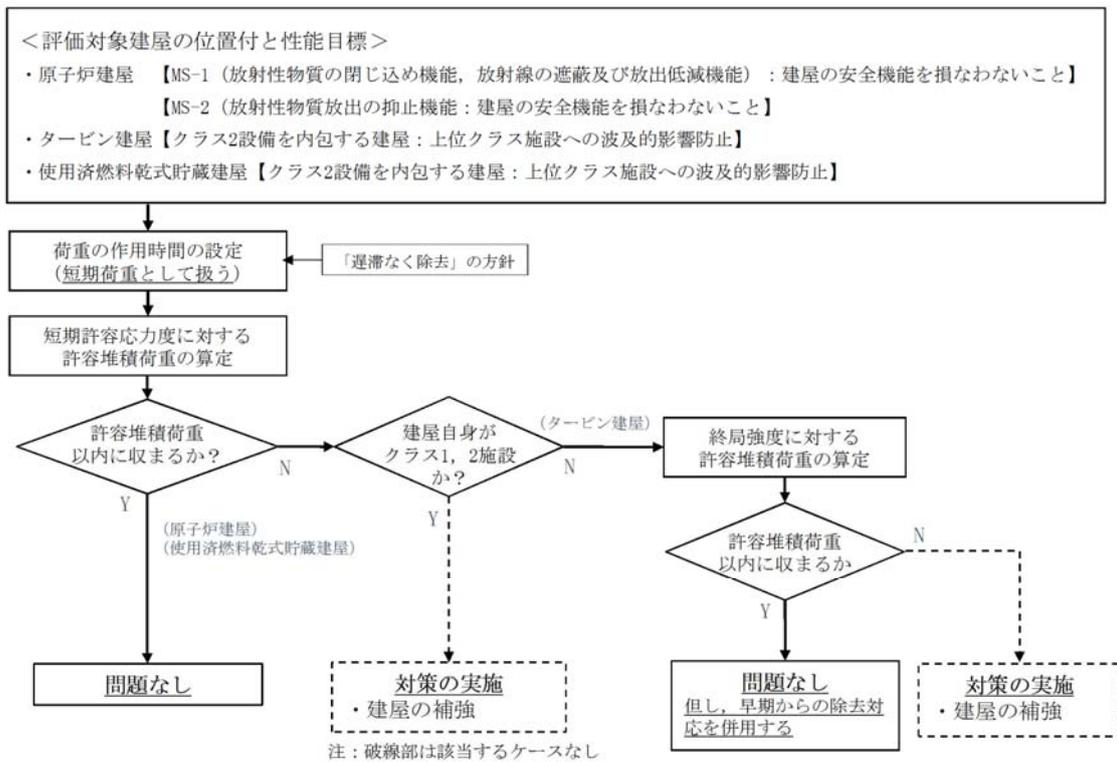


図1 建屋健全性評価のフロー

海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（モータ含む）
に係る影響評価

降下火砕物による海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（モータ含む）への影響について，以下のとおり評価する。

<評価対象>

- ・ 残留熱除去系海水系
- ・ ディーゼル発電機海水系（非常用，高圧炉心スプレイ系）

(1) 評価項目及び内容

① 構造物への静的負荷

降下火砕物が堆積した場合に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。なお，堆積荷重は積雪との重畳を考慮する。

② 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でも，流水部，軸受部等が閉塞せず，機器の機能に影響がないことを評価する。

③ 水循環系の内部における摩耗

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

④ 換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響

降下火砕物の電動機冷却空気への侵入により，地絡・短絡及び空気冷

却器冷却管等への侵入による閉塞等，機器の機能に影響がないことを評価する。

- ⑤ 化学的腐食（換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響を含む）

降下火砕物の付着，堆積による構造物の化学的腐食及び降下火砕物が混入した海水を取水したことによる構造物内部の化学的腐食により，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

- a. 堆積量：50cm
- b. 粒 径：8mm 以下
- c. 密 度：1.5g/cm³（湿潤状態）
- d. 荷 重：7,355N/m²

② 積雪条件

- a. 堆積量：10.5cm（建築基準法の考え方を参考とした東海村における平均的な積雪量）
- b. 単位荷重：堆積量 1cm ごとに 20N/m²（建築基準法より）
- c. 荷 重：210N/m²

(3) 評価結果

① 構造物への静的負荷

降下火砕物の堆積荷重の影響に係る評価部位は，荷重の影響を受けやすいモータフレームとし，堆積面積は保守的に基礎部面積とする。なお，海水ポンプ上部には降下火砕物が一様に堆積し，荷重の偏りは発生

しないこと及び周囲が壁に覆われて風荷重が考慮不要であることから、
 評価応力は圧縮応力のみとする。(表1, 図1, 図2)

表1 海水ポンプモータの評価条件

項目	評価条件	
	残留熱除去系海水系	ディーゼル発電機海水系
モータ荷重	13,700kg	630kg
ポンプロータ荷重	1,500kg	600kg
モータフレーム外径D	1,680mm	1,100mm
モータフレーム内径d	1,648mm	1,076mm

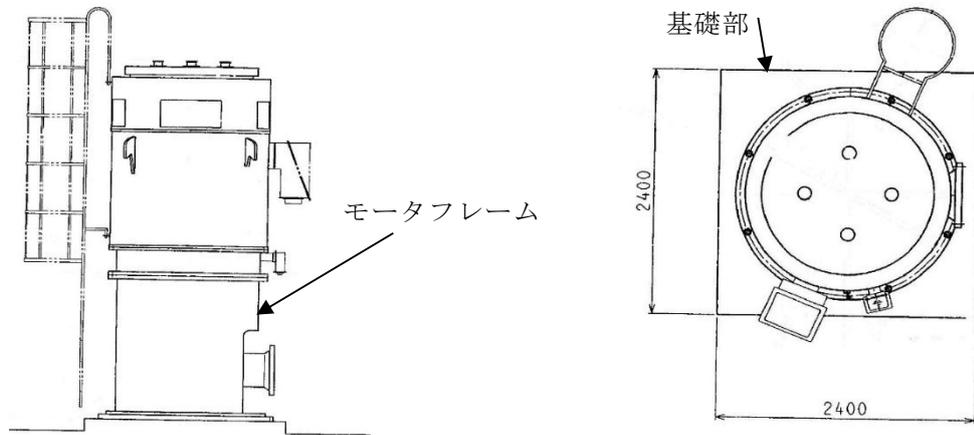


図1 残留熱除去系海水系ポンプ 評価部位概要図

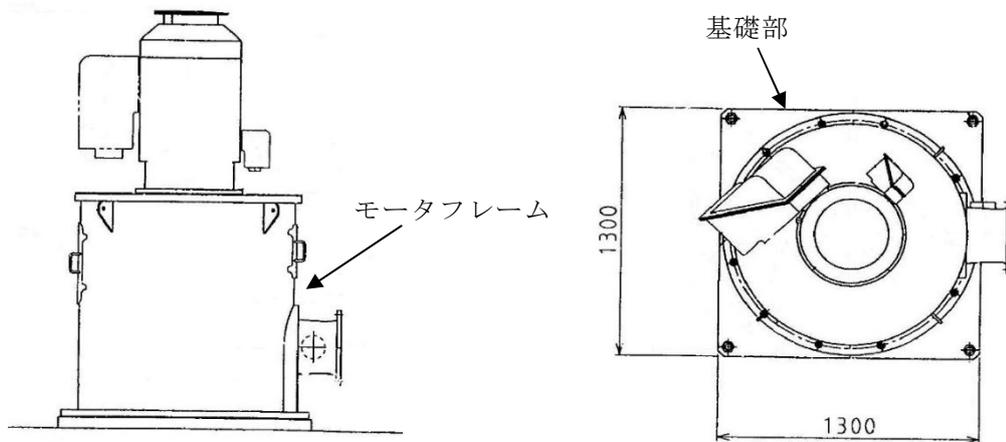


図2 ディーゼル発電機用海水ポンプ 評価部位概要図

【残留熱除去系海水系】

- a. 降下火砕物と積雪による鉛直荷重

モータ上面の降下火砕物が堆積する面積 A は次のとおり。

$$A = 2.4 \times 2.4 = 5.76(\text{m}^2)$$

よって、降下火砕物による鉛直荷重 F_1 は次のとおり。

$$F_1 = 7,355 \times 5.76 = 4.24 \times 10^4(\text{N})$$

同様に、積雪による荷重 F_2 は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 5.76 = 1.21 \times 10^3(\text{N})$$

- b. モータ及びポンプロータによる軸方向荷重

$$\text{軸方向荷重 } F_3 = (13,700 + 1,500) \times 9.80665 = 1.49 \times 10^5(\text{N})$$

- c. フレームに生じる圧縮応力

モータフレームの断面積 S は次のとおり。

$$S = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \times (1,680^2 - 1,648^2) = 8.36 \times 10^{-2}(\text{m}^2)$$

D : フレーム外径 (mm)

d : フレーム内径 (mm)

よって、圧縮応力 σ は次のとおり。

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{4.24 \times 10^4 + 1.21 \times 10^3 + 1.49 \times 10^5}{8.36 \times 10^{-2}} = 2.31\text{MPa}$$

- d. 評価結果

当該ポンプの許容応力 σ_c は、J E A G 4601 の「その他の支持構造物」における III_AS の許容応力より、

$$\sigma_c = 229\text{MPa}$$

よって、 $\sigma < \sigma_c$ となり、発生応力は許容応力を十分下回っており、残留熱除去系海水系海水ポンプの健全性を損なうことはない。

【ディーゼル発電機海水系】

a. 降下火砕物と積雪による鉛直荷重

モータ上面の降下火砕物が堆積する面積 A は次のとおり。

$$A = 1.3 \times 1.3 = 1.69(\text{m}^2)$$

よって、降下火砕物による鉛直荷重 F_1 は次のとおり。

$$F_1 = 7,355 \times 1.69 = 12.43 \times 10^3(\text{N})$$

同様に、積雪による荷重 F_2 は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 1.69 = 3.55 \times 10^2(\text{N})$$

b. モータ及びポンプロータによる軸方向荷重

$$\text{軸方向荷重 } F_3 = (630 + 600) \times 9.80665 = 1.21 \times 10^4(\text{N})$$

c. フレームに生じる圧縮応力

モータフレームの断面積 S は次のとおり。

$$S = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \times (1,100^2 - 1,076^2) = 4.10 \times 10^{-2}(\text{m}^2)$$

D : フレーム外径 (mm)

d : フレーム内径 (mm)

よって、圧縮応力 σ は次のとおり。

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{12.43 \times 10^3 + 3.55 \times 10^2 + 1.21 \times 10^4}{4.10 \times 10^{-2}} \\ &= 0.61\text{MPa} \end{aligned}$$

d. 評価結果

当該ポンプの許容応力 σ_c は、J E A G 4601 の「その他の支持構造

物」におけるⅢ_ASの許容応力より、

$$\sigma_c = 240\text{MPa}$$

よって、 $\sigma < \sigma_c$ となり、発生応力は許容応力を十分下回っておりディーゼル発電機用海水ポンプの健全性を損なうことはない。

② 水循環系の閉塞

a. 流水部の閉塞

海水ポンプ流水部の最も狭い箇所は、ディーゼル発電機用海水ポンプ流水部の約24mmであり、想定する降下火砕物の粒径(8mm)より大きいいため、閉塞には至らない。

b. 軸受部への影響

海水ポンプの軸受の隙間は、約1.0mmの許容値で管理されている。一部の降下火砕物は、軸受けの隙間より、軸受け内部に侵入する可能性があるが、異物逃がし溝(最小約3.7mm)が設けられており、軸受部の閉塞には至らない。また、異物逃がし溝より粒径の大きい降下火砕物は軸受隙間に入り込まずにポンプ揚水とともに吐出口へ流されるため閉塞することはない。

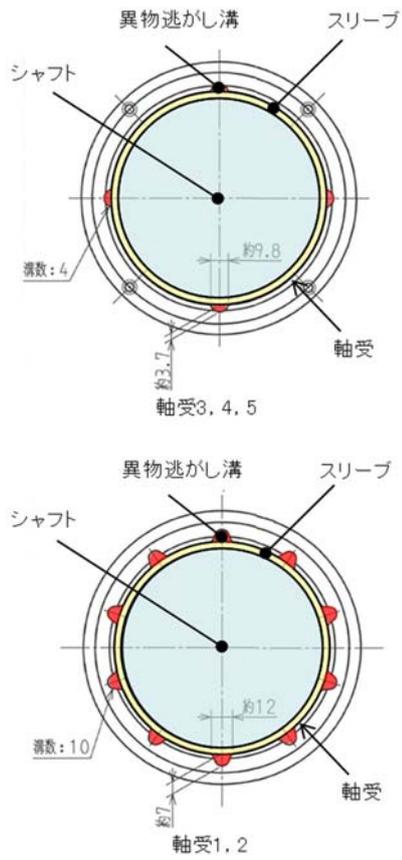


図3 残留熱除去系海水系ポンプ軸受部

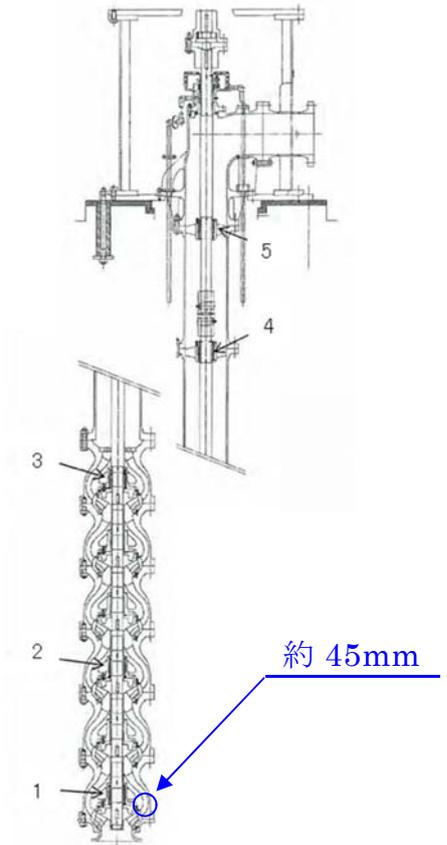


図4 残留熱除去系海水系ポンプ断面図

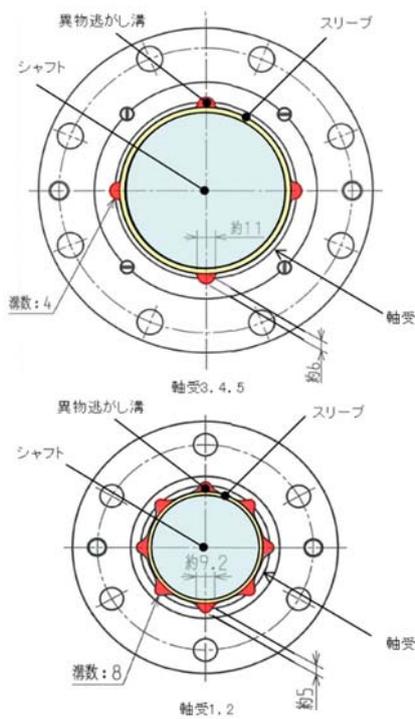


図5 ディーゼル発電機用海水ポンプ軸受部

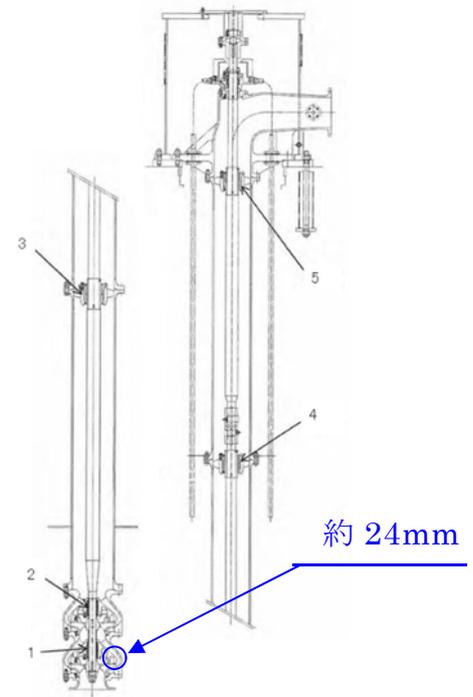


図6 ディーゼル発電機用海水ポンプ断面図

③ 水循環系の摩耗

降下火砕物は砂等に比べて破碎し易く^{※1}，硬度が小さい^{※2}。これまで砂等を原因とした摩耗の影響によって，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）の機能が喪失した事例はなく，砂より硬度が小さい降下火砕物が設備に影響を与える可能性は小さい。

※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，p. 38-47

※2 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]，p. 32-40

④ 換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響

【残留熱除去系海水系】

a. 電動機への冷却空気侵入による地絡・短絡

海水ポンプモータは図7に示すとおり電動機本体を全閉構造とし，空気冷却器を電動機側面に設置して外気を直接電動機内部に取り込まない全閉防まつ屋外型の冷却方式であり，降下火砕物が電動機内部に侵入することはない。

b. 空気冷却器冷却管への侵入による閉塞

図7に示すとおり，冷却管の内径（約26mm）は想定する降下火砕物の粒径（8mm）より大きいため，降下火砕物が侵入としても冷却管が閉塞することはない。

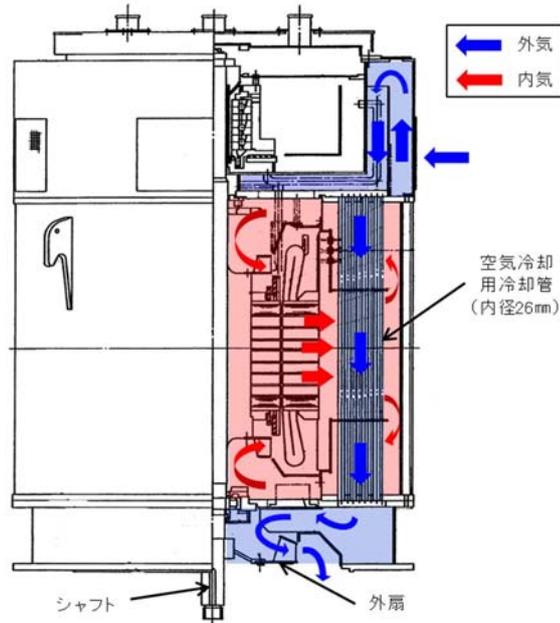


図7 残留熱除去系海水系ポンプ電動機の冷却方式

【ディーゼル発電機海水系】

a. 電動機冷却空気への侵入による地絡・短絡

海水ポンプモータは図8に示すとおり電動機本体を全閉構造とし、電動機上端ファン（外扇）によりハウジングを冷却する構造のため外気を直接電動機内部に取り込まない冷却方式であり、降下火砕物が電動機内部に侵入することはない。

b. 冷却流路への侵入による閉塞

図8に示すとおり電動機上端ファン（外扇）にはキャップが取り付けられており降下火砕物が侵入しにくい構造となっている。

降下火砕物が侵入したとしても、冷却流路の出口径（約28mm）は想定する降下火砕物の粒径（8mm）より大きいため、冷却流路が閉塞することなく機能を損なうことはない。

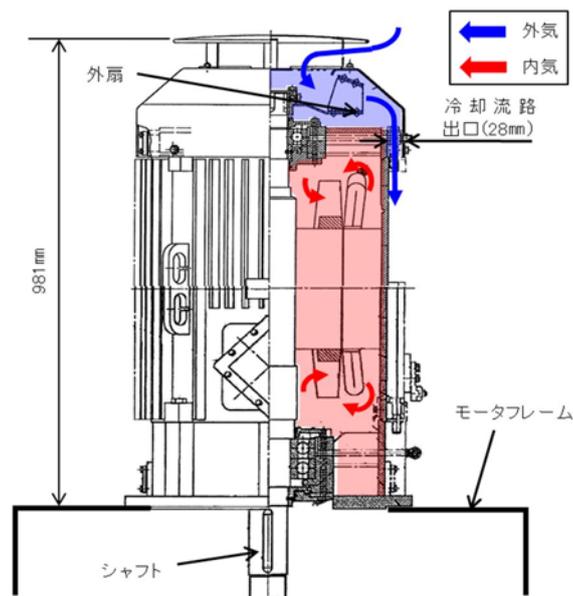


図8 ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機の冷却方式

- ⑤ 化学的腐食（換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響を含む）

海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）の接液部は，耐食性に優れたオーステナイト系ステンレス鋼を採用していること，並びに連続通水状態であり，著しい腐食環境になることはなく，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。

また，海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（モータ）についても外装塗装を実施しており，降下火砕物と金属が直接接触することはない，化学的腐食により短期的に影響を及ぼすことはない。

なお，長期的な影響については，堆積した降下火砕物を除去し，除去後の点検において，必要に応じて補修作業を実施する。

- (4) 個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を表2に示す。

表2 個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

直接的影響の要因	理由
発電所の大気汚染	中央制御室の居住性と直接関連がない
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（下流設備含む）に係る影響評価

降下火砕物による海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（下流設備含む）への影響について，以下のとおり評価する。

<評価対象>

- ・ 残留熱除去系海水系
- ・ ディーゼル発電機海水系（非常用，高圧炉心スプレイ系）

(1) 評価項目及び内容

① 構造物への静的負荷

降下火砕物の堆積荷重により海水ストレーナ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 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，海水ストレーナ（下流設備含む）が閉塞しないことを評価する。

③ 水循環系の内部における摩耗

降下火砕物が混入した海水を取水することによる降下火砕物と構造物との摩耗により機器の機能に影響がないことを評価する。

④ 化学的影響

降下火砕物の付着による構造物の腐食及び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

① 降下火砕物条件

- a. 堆積量：50cm
- b. 粒 径：8mm 以下
- c. 密 度：1.5g/cm³（湿潤状態）
- d. 荷 重：7,355N/m²

② 積雪条件

- a. 堆積量：10.5cm（建築基準法の考え方を参考とした東海村における平均的な積雪量）
- b. 単位荷重：堆積量 1cm ごとに 20N/m²（建築基準法より）
- c. 荷 重：210N/m²

(3) 評価結果

① 構造物への静的負荷

降下火砕物の堆積荷重の影響に係る評価部位は、荷重の影響を受けやすい支持脚とし、堆積面積は保守的に基礎部面積とする。なお、海水ストレーナ上部には降下火砕物が一様に堆積し、荷重の偏りは発生しないこと及び周囲が壁に覆われて風荷重が考慮不要であることから、評価応力は圧縮応力のみとする。（表 1，図 1）

表 1 海水ストレーナの評価条件

項目	評価条件			
	残留熱除去系海水系		ディーゼル発電機海水系	
機器重量 (運転質量)	9,850kg		2,030kg	
支持脚寸法	bx1	150mm	bx1	100mm
	bx2	25mm	bx2	15mm
	by1	174mm	by1	95mm
	by2	25mm	by2	15mm

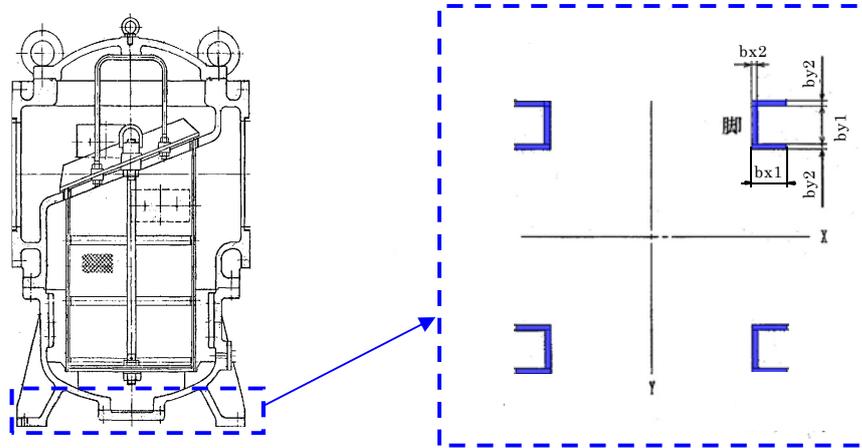


図 1 海水ストレーナ評価部位概要図 (共通)

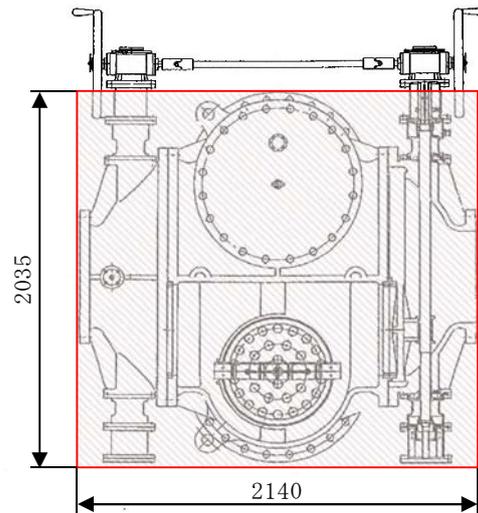


図 2 海水ストレーナ堆積部分 (残留熱除去系海水系)

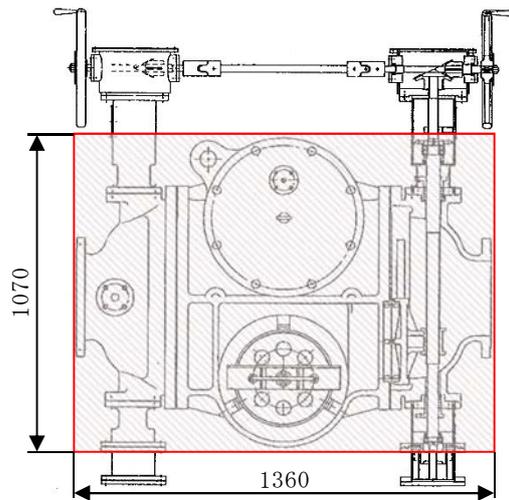


図3 海水ストレーナ堆積部分（ディーゼル発電機海水系）

【残留熱除去系海水系】

a. 降下火砕物と積雪による鉛直荷重

ストレーナ上面の降下火砕物が堆積する面積 A は次のとおり。

$$A = 2.140 \times 2.035 = 4.35(\text{m}^2)$$

よって、降下火砕物による鉛直荷重 F_1 は次のとおり。

$$F_1 = 7,355 \times 4.35 = 3.20 \times 10^4(\text{N})$$

同様に、積雪による荷重 F_2 は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 4.35 = 9.14 \times 10^2(\text{N})$$

b. 機器重量による鉛直荷重

$$\text{機器重量荷重 } F_3 = 9,850 \times 9.80665 = 9.66 \times 10^4(\text{N})$$

c. 支持脚に生じる圧縮応力

支持脚の断面積 S は次のとおり。

$$S = (150 \times 25 \times 2 + 25 \times 174) \times 4 = 4.74 \times 10^{-2}(\text{m}^2)$$

よって、圧縮応力 σ は次のとおり。

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{3.20 \times 10^4 + 9.14 \times 10^2 + 9.66 \times 10^4}{4.74 \times 10^{-2}} = 2.74(\text{MPa})$$

d. 評価結果

当該海水ストレーナ支持脚の許容応力 σ_c は、J E A G 4601 の「その他の支持構造物」における III_AS の許容応力より、

$$\sigma_c = 184\text{MPa}$$

よって、 $\sigma < \sigma_c$ となり、発生応力は許容応力を十分下回っており残留熱除去系海水系ストレーナの健全性を損なうことはない。

【ディーゼル発電機海水系】

a. 降下火砕物と積雪による鉛直荷重

ストレーナ上面の降下火砕物が堆積する面積 A は次のとおり。

$$A = 1.360 \times 1.070 = 1.46(\text{m}^2)$$

よって、降下火砕物による鉛直荷重 F_1 は次のとおり。

$$F_1 = 7,355 \times 1.46 = 10.74 \times 10^3(\text{N})$$

同様に、積雪による荷重 F_2 は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 1.46 = 3.07 \times 10^2(\text{N})$$

b. 機器重量による鉛直荷重

$$\text{機器重量荷重 } F_3 = 2,030 \times 9.80665 = 1.99 \times 10^4(\text{N})$$

c. 支持脚に生じる圧縮応力

支持脚の断面積 S は次のとおり。

$$S = (100 \times 15 \times 2 + 15 \times 95) \times 4 = 1.77 \times 10^{-2}(\text{m}^2)$$

よって、圧縮応力 σ は次のとおり。

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{10.74 \times 10^3 + 3.07 \times 10^2 + 1.99 \times 10^4}{1.77 \times 10^{-2}} = 1.75(\text{MPa})$$

d. 評価結果

当該海水ストレーナ支持脚の許容応力 σ_c は、J E A G 4601 の「その他の支持構造物」における III_AS の許容応力より、

$$\sigma_c = 184\text{MPa}$$

よって、 $\sigma < \sigma_c$ となり、発生応力は許容応力を十分下回っておりディーゼル発電機用海水ストレーナの健全性を損なうことはない。

② 水循環系の閉塞

海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）は粒径 8mm の降下火砕物に対して，ストレーナのメッシュ径を降下火砕物の粒径以上とすることで，降下火砕物の影響に対して機能を損なわない設計とする。

海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）より下流の機器の伝熱管等は，表 2 のとおり，降下火砕物の粒径以上の内径を確保することにより閉塞することがない設計とする。

また，降灰が確認された場合は，取水路内への降下火砕物の流入量を低減するために，取水路前面にオイルフェンスを設置する。

表 2 海水ストレーナより下流の機器の伝熱管

機 器		伝熱管内径 (狭隘部)
ディーゼル発電機用冷却器 (非常用， 高圧炉心スプレイ系)	空気冷却器	取替 (8mm 以上)
	潤滑油冷却器	13.6mm
	清水冷却器	13.6mm
	燃料弁冷却油冷却器	13.6mm
残留熱除去系熱交換器		20.4mm
RCIC, RHR, LPCS, HPCS ポンプ室空調器		13.5mm
格納容器雰囲気モニタリング系冷却器		取替 (8mm 以上)

③ 水循環系の内部における摩耗

降下火砕物は砂等に比べて破碎し易く^{※1}，硬度が小さい^{※2}。これまで砂等を原因とした摩耗の影響によって，海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）及び下流設備の機能が喪失した事例はなく，砂より硬度が小さい降下火砕物が設備に影響を与える可能性は小さい。

※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, p. 38-47

※2 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]，p. 32-40

④ 化学的腐食

海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）はステンレス製で内部に防食亜鉛を設けていること，並びに連続通水状態であり，著しい腐食環境になることはなく，化学的腐食により直ちに機能に影響を及ぼすことはなく，下流設備（伝熱管）は耐食性のある材料を用いていることから，腐食により機能に影響を及ぼすことはない。

なお，長期的な影響については，堆積した降下火砕物を除去し，除去後の点検において，必要に応じて補修作業を実施する。

(4) 個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を表2に示す。

表2 個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

直接的影響の要因	理由
換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
発電所の大気汚染	中央制御室の居住性と直接関連がない
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

海水取水設備に係る影響評価

降下火砕物による海水取水設備への影響について、以下のとおり評価する。

(1) 評価項目及び内容

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、除塵装置が閉塞しないことを評価する。

② 水循環系の内部における摩耗

降下火砕物が混入した海水を取水することによる降下火砕物と構造物との摩耗により機器の機能に影響がないことを評価する。

③ 化学的腐食

降下火砕物の付着による構造物の腐食及び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

降下火砕物粒径：8mm 以下

(3) 評価結果

① 水循環系の閉塞

図 1 に示すとおり、海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）前面には、バースクリーン，回転バースクリーン，トラベリングスクリーンからなる海水取水設備（除塵装置）を設置している。

スクリーンにはそれぞれバー柵、網柵が設置されており、それらのバーピッチ及び網柵メッシュに対して、想定する降下火砕物の粒径は十分小さく、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、海水取水設備（除塵装置）が閉塞することはなく、機能を損なうことはない。各海水取水設備のバーピッチ及びメッシュ間隔を表1に示す。

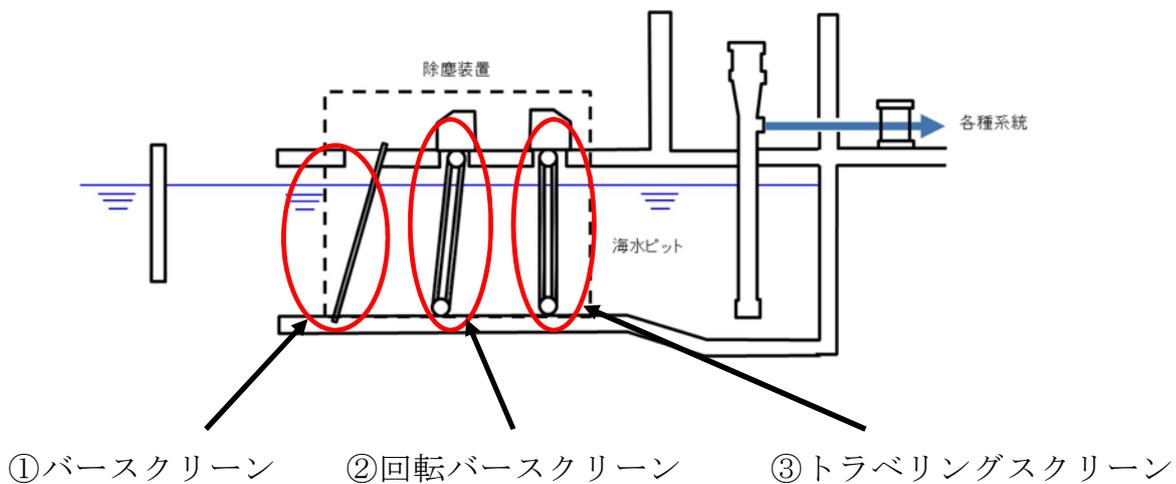


図1 海水取水設備概略図

表1 海水取水設備のバーピッチ及びメッシュ間隔

設備	①バースクリーン	②回転バースクリーン	③トラベリングスクリーン
間隔	バーピッチ：140mm	バーピッチ：25mm	網柵メッシュ：10mm

② 水循環系の内部における摩耗

降下火砕物は砂等比べて破碎し易く^{※1}、硬度が小さい^{※2}。これまで砂等を原因とした摩耗の影響によって、海水取水設備の機能が喪失した事例はなく、砂より硬度が小さい降下火砕物が設備に影響を与える可能性は小さい。

※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, p. 38-47

※2 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], p. 32-40

③ 化学的腐食

海水取水設備は防汚塗装等を施しており, 化学的腐食により短期的に影響を及ぼすことはない。また, 電気, 計装設備等の付帯設備については端子箱等に納入されており, 降下火砕物の直接的影響は受けない。

なお, 長期的な影響については, 堆積した降下火砕物を除去し, 除去後の点検において, 必要に応じて補修作業を実施する。

(4) 個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を表2に示す。

表2 個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

直接的影響の要因	理由
構造物への堆積負荷	静的負荷の影響を受けにくい構造
換気系, 電気系及び計装制御系に対する機械的影響	屋外に面した換気系, 電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
換気系, 電気系及び計装制御系に対する化学的影響	屋外に面した換気系, 電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
発電所の大気汚染	中央制御室の居住性と直接関連がない
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

計装制御設備（安全保護系）に係る影響評価

降下火砕物により電気系及び計装制御系の盤のうち空気を取り込む機構を有する計装制御設備（安全保護系）への影響について、以下のとおり評価する。

空気を取り込む機構の考え方については、資料－ 8（添付資料－ 1）に示す。

(1) 評価項目及び内容

① 化学的腐食

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計装制御設備（安全保護系）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 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計装制御設備（安全保護系）の絶縁低下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

降下火砕物粒径：8mm 以下

(3) 評価結果

① 化学的腐食

計装制御設備（安全保護系）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制御設備（安全保護系）の盤内に侵入する可能性がある。

計装制御設備（安全保護系）が設置されているエリアは、中央制御室換気空調系にて空調管理されており、外気取入口にはバグフィルタ（JIS Z 8901 試験用粉体 11 種に対して 80%以上の捕集効率）が設置されているため、室内に侵入する降下火砕物は微量で、微細な粒子と推定される。

このため、仮に室内に侵入する場合でも降下火砕物は微細なものに限られ、大量に盤内に侵入する可能性は小さいことから、化学的腐食により短期的に影響を及ぼすことはない。さらに、降下火砕物が確認された場合は、外気取入ダンパを閉止し閉回路循環運転を行うことにより降下火砕物の侵入を阻止することが可能であることから、計装制御設備（安全保護系）の機能を損なうことはない。

② 絶縁低下

計装制御設備（安全保護系）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制御設備（安全保護系）の盤内に侵入する可能性がある。

計装制御設備（安全保護系）が設置されているエリアは、中央制御室換気空調系にて空調管理されており、外気取入口にはバグフィルタ（JIS Z 8901 試験用粉体 11 種に対して 80%以上の捕集効率）が設置されているため、室内に侵入する降下火砕物は微量で、微細な粒子と推定される。

微細な粒子が計装制御設備（安全保護系）の盤内に侵入した場合、その付着等により短絡等の影響が懸念される箇所は数 μm の線間距離となっている集積回路の内部であり、これらはモールド（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ため、絶縁低下を発生させる

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、端子間の距離が数 mm 程度あることから、降下火砕物の付着等により短絡等を発生させることはない。さらに、降下火砕物が確認された場合は、外気取入ダンパを閉止し閉回路循環運転を行うことにより侵入を阻止することが可能であることから、計装制御設備（安全保護系）の機能を損なうことはない。

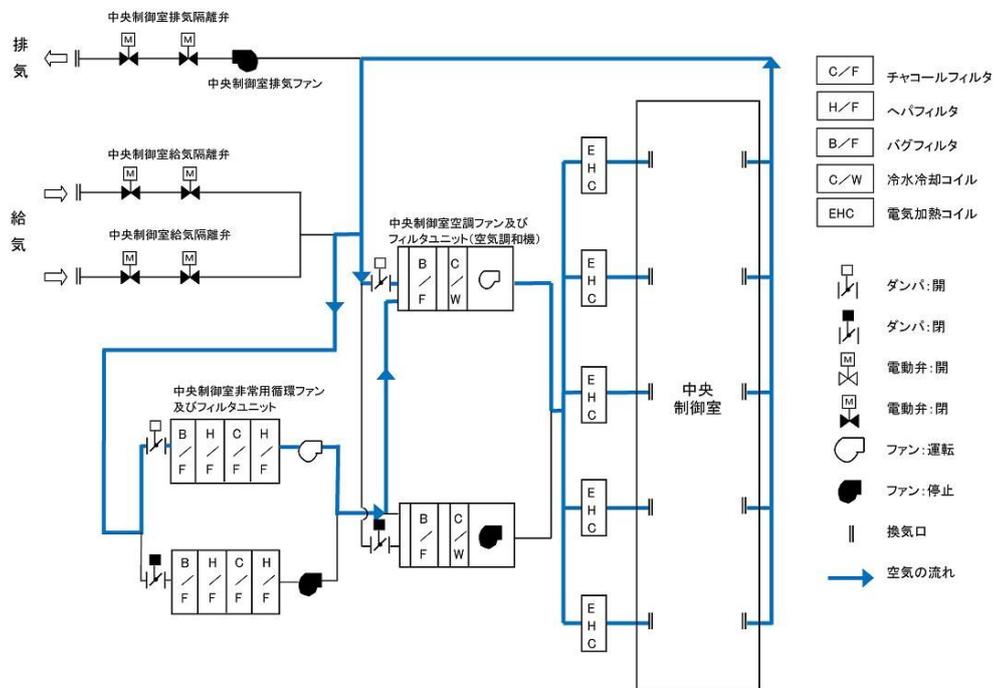


図 1 中央制御室換気空調系（閉回路循環運転）概要図

(4) 個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を表2に示す。

表1 個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

直接的影響の要因	理由
構造物への静的負荷	屋内設置設備であり、静的負荷の影響を直接受けない
水循環系の閉塞	水循環系の機能と直接関連がない
水循環系の内部における摩擦	水循環系の機能と直接関連がない
換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響	屋外に面した換気系、電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
換気系、電気系及び計装制御系に対する化学的影響	屋外に面した換気系、電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
発電所の大気汚染	中央制御室の居住性と直接関連がない
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

電気系及び計装制御系の盤のうち空気を取り込む機構を有する盤について

電気系及び計装制御系の盤のうち空気を取り込む機構を有する盤についての考え方を以下に示す。

○外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する盤

屋内の空気を機器内に取り込む機構とは換気ファンのことであり、安全保護系盤への信号発生元であるロジック盤は発熱量が高いため、盤内に換気ファンが設置されている。(図1)

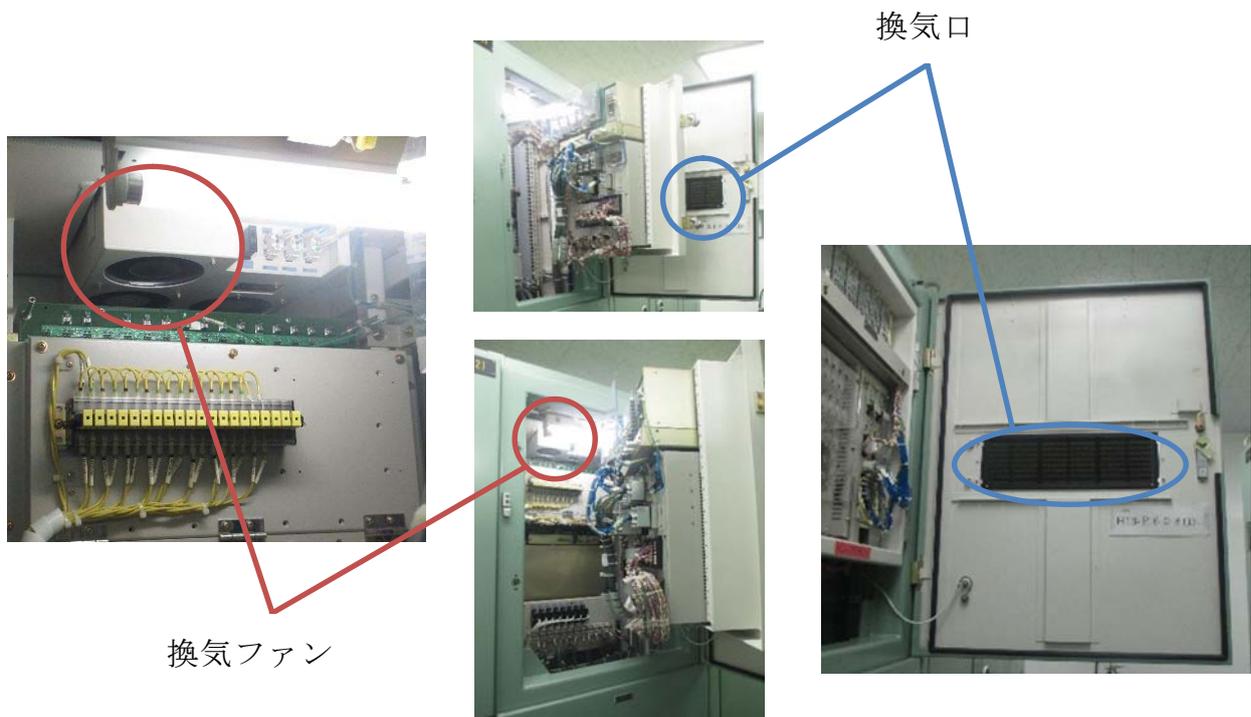


図1 安全保護系ロジック盤

○外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有しない盤

中央制御室に設置されている安全保護系盤はアナログリレー式のため、換気ファンは設置されていない。

また、原子炉制御盤等には換気口はなく、裏側が開放されているため換気ファンは設置されていない。(図2～5)

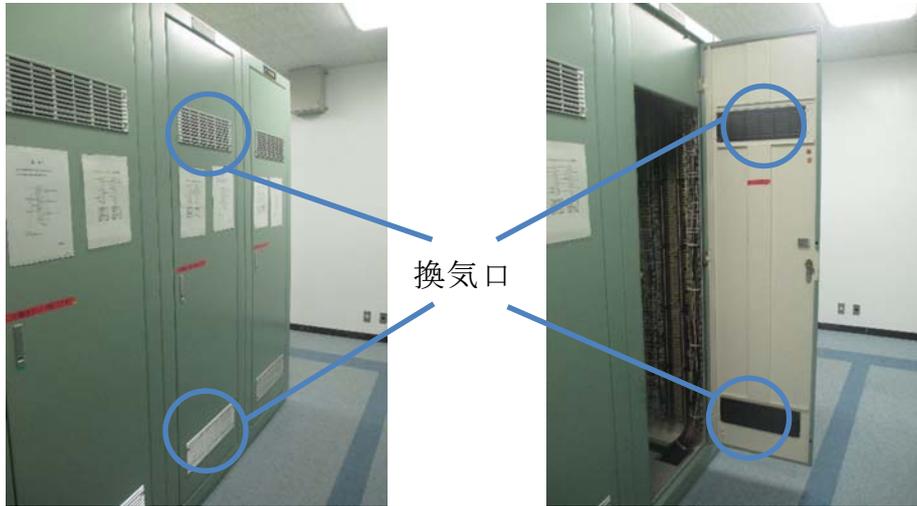


図2 安全保護系盤

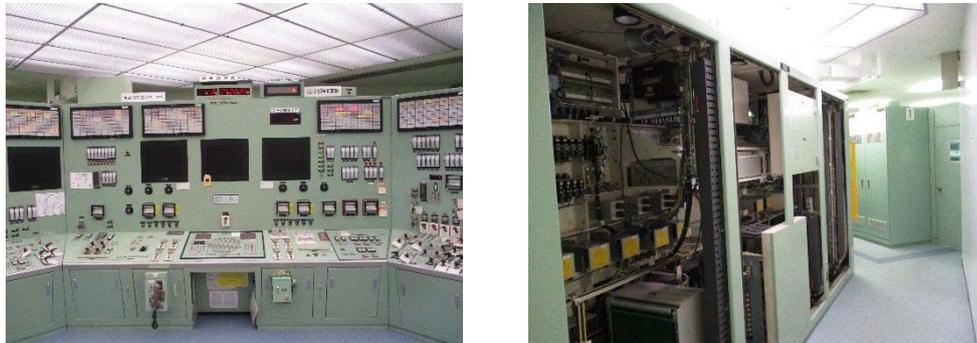


図3 原子炉制御盤（換気口無し）

換気空調設備に係る影響評価

降下火砕物による換気空調設備への影響について、以下のとおり評価する。

<評価対象>

- ・ 中央制御室換気空調系（外気取入口・冷凍機）
- ・ ディーゼル発電機室換気系（外気取入口・ルーフベントファン）

(1) 評価項目及び内容

① 構造物への静的負荷

屋外に設置されている中央制御室換気系冷凍機及びディーゼル発電機室ルーフベントファンについては、降下火砕物の堆積を考慮した防護対策を実施する。

② 換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響

降下火砕物が換気空調設備（給気系外気取入口）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。

③ 換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響（化学的腐食含む）

降下火砕物の付着による構造物の腐食により，機器の機能に影響がないことを評価する。

④ 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常時居住している中央制御室へ侵入することがないことを評価する。

(2) 評価条件

① 降下火砕物条件

- a. 堆積量：50cm
- b. 粒 径：8mm 以下
- c. 密 度：1.5g/cm³（湿潤状態）
- d. 荷 重：7,355N/m²

② 積雪条件

- a. 堆積量：10.5cm（建築基準法の考え方を参考とした東海村における平均的な積雪量）
- b. 単位荷重：堆積量 1cm ごとに 20N/m²（建築基準法より）
- c. 荷 重：210N/m²

(3) 評価結果

① 構造物への静的負荷

中央制御室換気系冷凍機及びディーゼル発電機室ルーフベントファンについては、図1のように全体を防護する構造物を設置し、降下火砕物が直接堆積しない設計とする。また、構造物は降下火砕物の荷重を考慮し、降下火砕物荷重により健全性を損なわない設計とする。

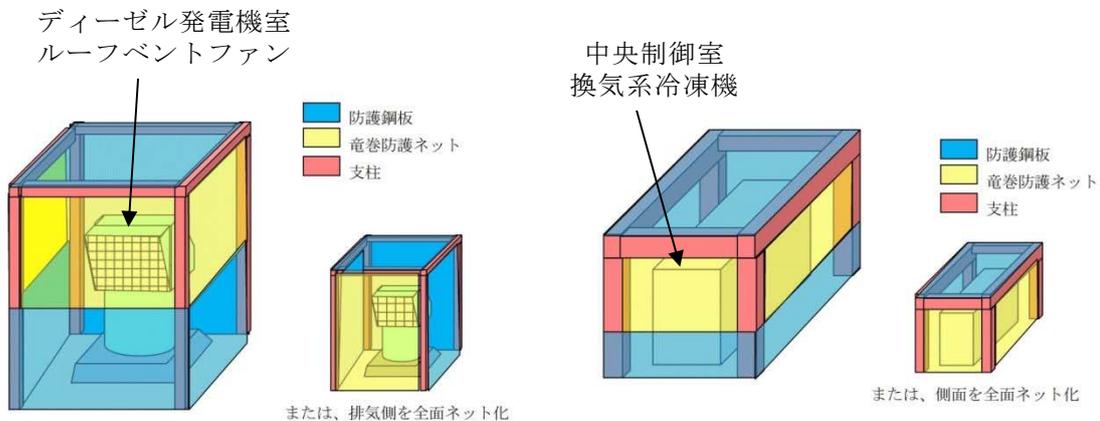


図1 換気空調設備 防護イメージ

② 換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響

中央制御室換気空調設備の外気取入口にはガラリが取り付けられており、降下火砕物が侵入しにくい構造となっている。また、外気取入口にはバグフィルタ（J I S Z 8901 試験用紛体 11 種に対して 80%以上の捕集効率）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ことから、給気を供給する系統及び機器に対して、降下火砕物を与える影響は小さい。また、外気取入口は、地上面又は直下にある平面部から 50cm 以上の高さを確保していることから、堆積によって外気取入口が閉塞に至ることはない。

ディーゼル発電機室換気系については、適切なバグフィルタを設置する。また、バグフィルタには差圧計を設置し、必要に応じて清掃及び取り替えることが可能な設計とする。

ルーフベントファンは、開口部が横方向を向いているため降下火砕物により閉塞することはない。

その他の換気空調設備（外気取入口）には、バグフィルタが設置されており、必要に応じて清掃及び取り替えることが可能な設計とする。

また、各換気空調設備（外気取入口）は、外気取入口の直近にある平面部から 50cm 以上を確保していることから、周囲に降下火砕物が堆積したとしても、閉塞に至ることは無い。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の給気口については、給気口の直近にある平面部から 50cm 以上を確保していることから、周囲に降下火砕物が堆積したとしても、閉塞に至ることは無い。

また、使用済燃料乾式貯蔵建屋の給気口にはガラリが取り付けられており、降下火砕物が侵入しにくい構造となっている。



図2 外気取入口（中央制御室換気空調系）

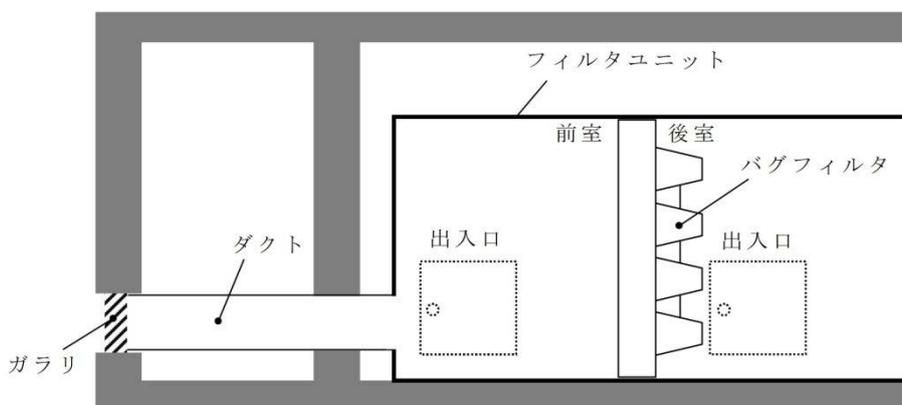


図3 換気空調設備（外気取入口）イメージ図

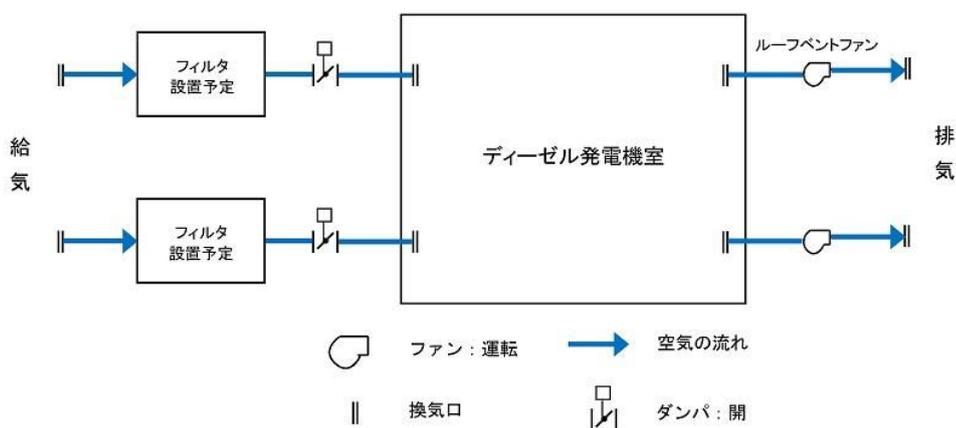


図4 ディーゼル発電機室換気系 概要図

③ 換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的腐食

中央制御室換気系冷凍機及びディーゼル発電機室ルーフベントファンへの化学的影響については，図1のように全体を防護する構造物を設置することにより，降下火砕物が直接堆積することはないため，直ちに化学的腐食により機能に影響を及ぼすことはない。

④ 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，外気取入口にはガラリが設置されている。これにより下方から吸い込む構造となっていることから，降下火砕物が侵入しにくい構造となっている。また，外気取入口にはバグフィルタ（JIS Z 8901 試験用紛体 11 種に対して 80%以上の捕集効率）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ことから，降下火砕物が与える影響は少ない。

また，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，外気取入口ダンパを閉止し，閉回路循環運転をすることにより，中央制御室の居住性を維持できる。

外気取入ダンパを閉止した場合の中央制御室の酸素濃度等の評価を以下に示す。

a. 酸素濃度

「空気調和・衛生工学便覧 第13版 第5編 空気調和設備設計」に基づき，酸素濃度について評価した。

【評価条件】

- ・在室人員は運転員定数に保守性を加え 11 人とする。

- ・中央制御室バウンダリ内体積 2,700m³
- ・空気流入はないものとする。
- ・初期酸素濃度 20.95%
- ・1人あたりの呼吸量は、事故時の運転操作を想定し、歩行時の呼吸量を適用して、24L/min とする。
- ・1人あたりの酸素消費量は、呼気の酸素濃度 16.40%から 65.52L/h とする。
- ・管理濃度は 19%以上とする。(鉱山保安法施行規則)

【評価結果】

上記評価条件から求めた酸素濃度は、表1のとおりであり、72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。

表1 中央制御室再循環運転における酸素濃度

時間	12時間	24時間	48時間	73時間	管理値
酸素濃度	20.6%	20.3%	19.6%	19.0%	19.0%

b. 二酸化炭素濃度

「空気調和・衛生工学便覧 第13版 第5編 空気調和設備設計」に基づき、二酸化炭素濃度について評価した。

【評価条件】

- ・在室人員は運転員定数に保守性を加え 11人とする。
- ・中央制御室バウンダリ内体積 2,700m³
- ・空気流入はないものとする。

- ・初期二酸化炭素濃度 0.03%
- ・1人あたりの二酸化炭素吐出量は、事故時の運転操作を想定し、中等作業での吐出量を適用して $0.046\text{m}^3/\text{h}$ とする。
- ・管理濃度は1.0%未満とする。(鉱山保安法施行規則)

【評価結果】

上記評価条件から求めた二酸化炭素濃度は、表2のとおりであり、約51.7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。

表2 中央制御室再循環運転における二酸化炭素濃度

時間	12時間	24時間	48時間	51.7時間	管理値
二酸化炭素濃度	0.26%	0.48%	0.93%	1.00%	1.00%

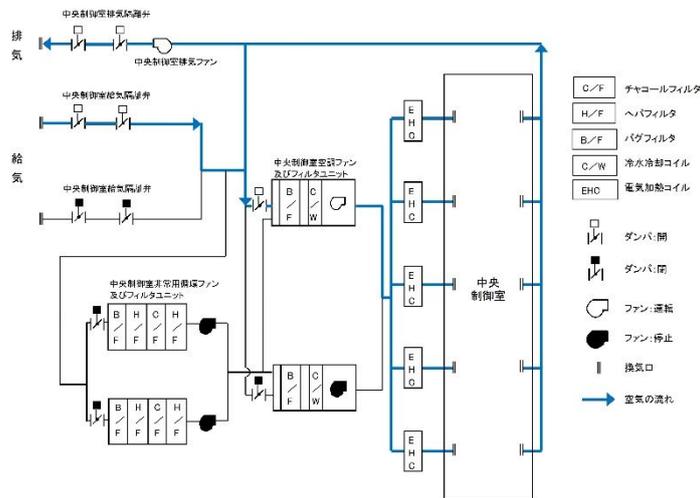


図5 中央制御室換気空調系（通常運転）概要図

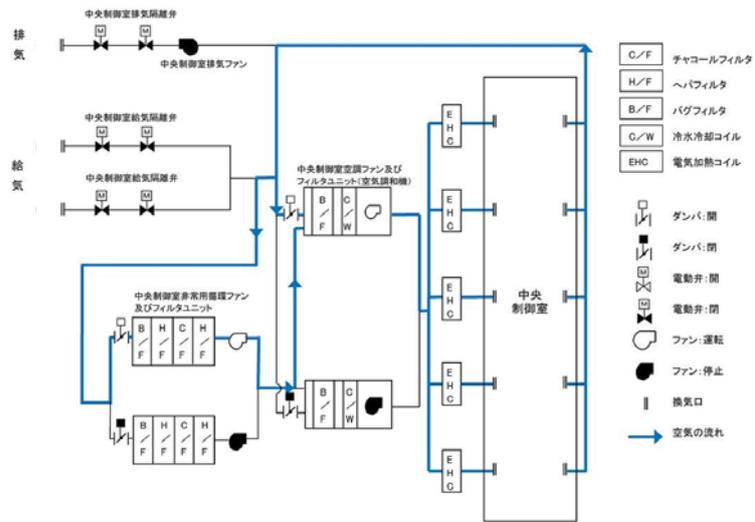


図6 中央制御室換気空調系（閉回路循環運転）概要図

(4) 個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を表2に示す。

表3 個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

直接的影響の要因	理由
構造物への静的負荷	屋内設置設備であり、静的負荷の影響を直接受けない
水循環系の閉塞	水循環系の機能と直接関連がない
水循環系の内部における摩擦	水循環系の機能と直接関連がない
化学的影響	換気系、電気系及び計装制御系に対する化学的影響として評価
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

バグフィルタの取替手順について

換気空調系の外気取入口のバグフィルタの取替作業を行う際は、対象となる系統の運転を停止し、ダンパを閉め、系統を隔離してから行う。また、バグフィルタの取替作業は建屋（ガラリ）内で行うため、降下火砕物の影響を受けにくい。

バグフィルタ取替作業時は、作業前に建屋（ガラリ）内を養生し、作業後は清掃を行う。

これらに加え、バグフィルタ取り替えを行う場合、以下の対応を行う。

- ・フィルタの取替作業は建屋（ガラリ）内で行うが、降下火砕物の影響を考慮し保護具（マスク，めがね）を装備する。
- ・取替作業終了後は降下火砕物の再浮遊の影響を低減させるため、作業エリアの清掃を行う。

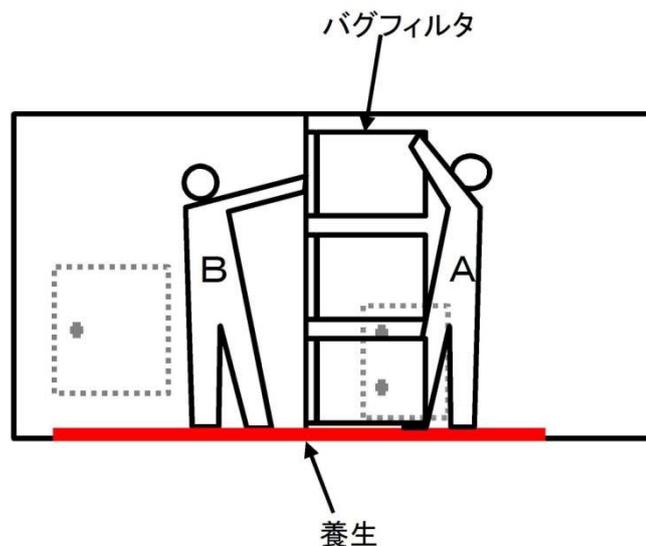


図1 バグフィルタ取替作業イメージ

観測された諸噴火の最盛期における噴出率と継続時間について

富士山（宝永噴火1707年）の噴出は、断続的に16日間継続している。

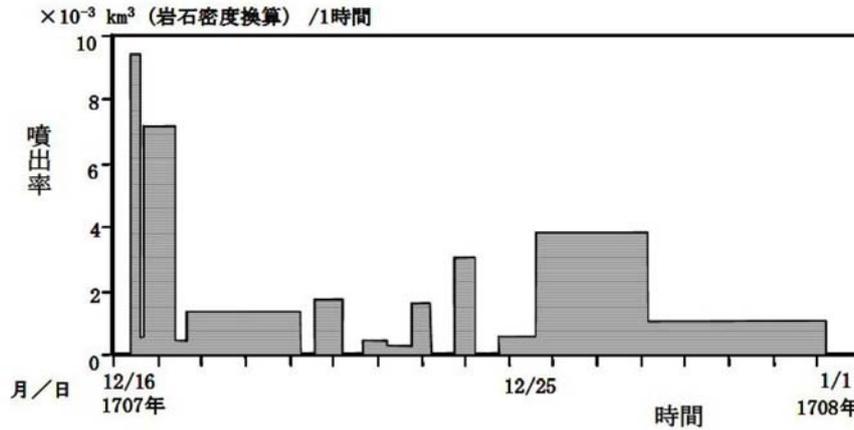


図1 富士山（宝永噴火 1707 年）の噴出率の推移（宮地 他（2002））

火山観測データが存在する最近の観測記録では、噴火の継続時間はほとんどが数時間程度であり、長いものでも 36 時間程度である。

表1 観測された諸噴火の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

ディーゼル発電機に係る影響評価

降下火砕物によるディーゼル発電機への影響について、以下のとおり評価する。

<評価対象>

- ・非常用ディーゼル発電機,
- ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機

(1) 評価項目及び内容

① 構造物への静的負荷

降下火砕物の堆積荷重によりディーゼル発電機（吸気口）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。また、風の影響を考慮し、曲げ応力に対する評価も行う。

また、屋外に設置されている排気消音器及び排気管は、降下火砕物が堆積し難い形状をしているため、荷重の影響を受けることはない。

② 換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響

降下火砕物のディーゼル発電機への侵入等により，ディーゼル発電機の機能に影響がないことを評価する。

③ 化学的腐食

降下火砕物の付着，堆積による構造物の腐食により，機器の機能に影響がないことを評価する。

(2) 評価条件

① 降下火砕物条件

- a. 堆積量：50cm
- b. 粒 径：8mm 以下
- c. 密 度：1.5g/cm³（湿潤状態）
- d. 荷 重：7,355N/m²

② 積雪条件

- a. 堆積量：10.5cm（建築基準法の考え方を参考とした東海村における平均的な積雪量）
- b. 単位荷重：堆積量 1cm ごとに 20N/m²（建築基準法より）
- c. 荷 重：210N/m²

③ 風条件

- a. 風速：30m/s

(3) 評価結果

① 構造物への静的負荷

a. 圧縮応力

堆積荷重の影響に係る評価部位は支持脚とする。なお、非常用ディーゼル発電機吸気口及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気口は同形状、同寸法である。（表 1，図 1）

表 1 吸気口の評価条件

項目	非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用	
吸気口荷重	800kg	
支持脚寸法	bx1	150mm
	bx2	15mm

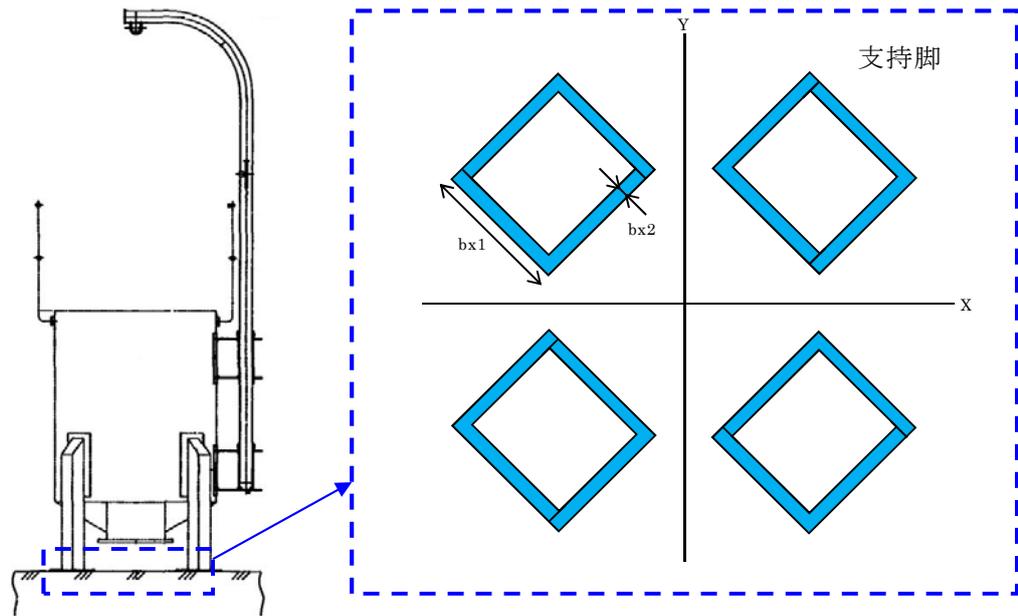


図1 吸気口 評価部位概要図（共通）

(a) 降下火砕物と積雪による鉛直荷重

吸気口の降下火砕物が堆積する面積 A は次のとおり。

$$A = \frac{\pi}{4} \times 1.540^2 = 1.87(\text{m}^2)$$

よって、降下火砕物及び積雪による鉛直荷重 F_1 は次のとおり。

$$F_1 = 7,355 \times 1.87 = 1.38 \times 10^4(\text{N})$$

同様に、積雪による荷重 F_2 は次のとおり。

$$F_2 = 210 \times 1.87 = 3.93 \times 10^2(\text{N})$$

(b) 機器重量による鉛直荷重

$$\text{機器重量荷重 } F_3 = 800 \times 9.80665 = 7.85 \times 10^3(\text{N})$$

(c) 支持脚に生じる圧縮応力

支持脚の断面積 S は次のとおり。

$$S = \{(150 \times 165) - (120 \times 135)\} \times 4 = 3.42 \times 10^{-2}(\text{m}^2)$$

よって、圧縮応力 σ は次のとおり。

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{S} = \frac{1.38 \times 10^4 + 3.93 \times 10^2 + 7.85 \times 10^3}{3.42 \times 10^{-2}}$$

$$= 0.65(\text{MPa})$$

(d) 評価結果

当該吸気口支持脚の許容応力 σ_c は、J E A G 4601 の「その他の支持構造物」における III_AS の許容応力より、

$$\sigma_c = 228\text{MPa}$$

よって、 $\sigma < \sigma_c$ となり、発生応力は許容応力を十分下回っており、ディーゼル発電機吸気口の健全性を損なうことはない。

b. 曲げ応力

堆積荷重の影響に係る評価部位は平板、胴板、支持脚とする。なお、非常用ディーゼル発電機吸気口及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気口は同形状、同寸法である。

(a) 等分布荷重による評価

平板は等分布荷重による評価を行う。平板評価における荷重条件を表 2 に示す。

表 2 平板評価における荷重条件

荷重条件	降下火砕物等堆積荷重
降下火砕物と積雪による鉛直荷重	7,565N/m ²

平板は円形であるため、等分布荷重は作用する周辺支持円盤として評価する。平板モデル図を図 2 に示す。

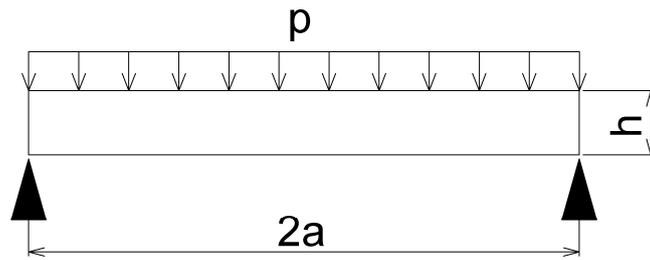


図2 平板モデル図

(b) 1 質点系モデルによる評価

降下火砕物等堆積荷重，自重（鉛直荷重）及び風荷重（水平荷重）の影響に係る評価部位は，胴板，支持脚とする。J E A G 4601 の「四脚たて置円筒形容器」の応力評価を準用し，風荷重による応力を求める。ディーゼル発電機吸気口のモデル図を図3に示す。

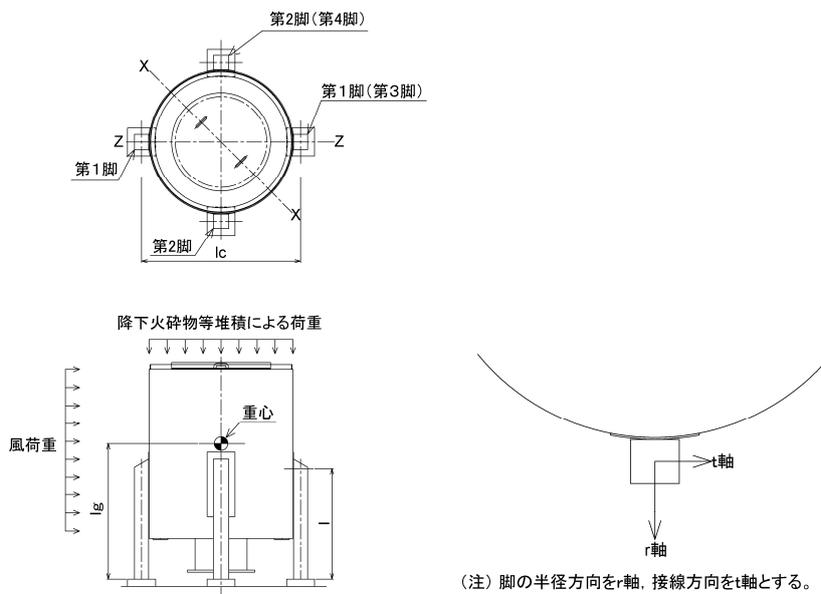


図3 ディーゼル発電機吸気口 モデル図

(c) 評価結果

評価結果を表 3 に示す。発生応力は許容応力を十分下回っており、ディーゼル発電機吸気口の健全性を損なうことはない。許容値は、平板については、弾性範囲である設計降伏点とし、胴板については、J E A G 4601 の「クラス 2, 3 容器」における許容応力状態Ⅲ_{AS} から算出した許容応力、支持脚については、J E A G 4601 の「その他の支持構造物」における許容応力状態Ⅲ_{AS} から算出した許容応力を用いた。

表 3 降下火砕物等の荷重による健全性評価結果

評価部位	応力	許容応力 [MPa]	発生応力 [MPa]	評価結果
平板	曲げ	211	1.13	○
胴板	一次一般膜	236	1.31	○
	一次	354	3.37	○
	一次+二次	482	8.11	○
支持脚	組合せ	241	3.86	○
	座屈（圧縮+曲げ）	1*	0.02*	○

※：検定比（下式）による。

$$\sigma_{st}/f_{br} + \sigma_{st}/f_{bt} + \sigma_{sc}/f_c \leq 1$$

② 換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響

a. ディーゼル機関への影響評価

ディーゼル発電機の吸入空気は図 4 に示すように吸気口下部から吸い込まれる流れとなっているため、降下火砕物が侵入し難い構造であり、吸気口に附属する吸気フィルタ（粒径 5~75 μm 程度において約

56%以上捕集可能であり粒径が大きいほど捕集率が上がる) で比較的大粒径の降下火砕物は捕集される。想定する降下火砕物の粒径は8mm以下であり、粒径が数 μm ~数十 μm 程度のものについては、図2に示すように過給機、空気冷却器に侵入するものの、機器の間隙は降下火砕物の粒径に比べて十分大きいことから閉塞することはない。

また、機関シリンダ内に降下火砕物が侵入した場合でも、粒径がシリンダライナとピストンリングの間隙(油膜厚さ相当:数 μm ~十数 μm)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易く^{*1}、硬度が低い^{*2}こと、またシリンダライナ及びピストンリングはブリネル硬さで230程度(SUS材180程度)の耐摩耗性を有する鋳鉄材であり、これまでの定期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による摩耗が設備に影響を与える可能性は小さい。長期的な影響についても、シリンダライナとピストンリング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、更に細かな粒子に破碎され、破碎された粒子はシリンダライナ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、潤滑油系にはフィルタが設置されているが、メッシュ寸法が約100 μm であり、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。加えて、潤滑油に降下火砕物が混入した場合の影響については、吸気により侵入する降下火砕物はフィルタを通過する際に大部分が捕集され、その後は排気により機関外へ排出されるため、潤滑油に混入する降下火砕物は微細なものに限られ、なおかつ少量なので潤滑油への影響は少ないと考えられる。

また、シリンダから排出される排気ガスの温度は、約 500～600℃であることから、融点が 1,000℃である降下火砕物の溶融による影響はない。

以上のことから、ディーゼル機関に降下火砕物が侵入した場合においても、運転を阻害するに至らない。なお、降下火砕物が確認された場合は、必要に応じて点検等を行う。

※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, p. 38-47

※2 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], p. 32-4

b. 空気冷却器への影響評価

降下火砕物が混入した吸入空気が空気冷却器を通過する際に、冷却器内が結露することにより、冷却器伝熱管表面に水滴とともに降下火砕物が付着し、熱効率が低下することが考えられる。

結露の有無については吸気管吸気温度（冷却器出口温度）が目安となるが、吸気管吸気温度（冷却器出口温度）は、吸入空気の温度（外気温度）よりも常に高い状態で運転している。

したがって、空気冷却器内の結露により降下火砕物が付着する可能性は極めて低く、降下火砕物による空気冷却器への影響はない。

c. 排気管への影響評価

排気管は図 5 に示すとおり、横方向を向いており降下火砕物が侵入し難い構造となっている。また、運転中は排気していること、待機中であっても外気を吸い込む構造ではないため、降下火砕物が侵入することはない。

② 化学的腐食

ディーゼル発電機吸気口，排気消音器及び排気管は，外装塗装を実施しており，降下火砕物と金属が直接接触することはなく，化学的腐食により短期的に影響を及ぼすことはない。また，その内外面の腐食によりディーゼル発電機の機能に有意な影響を与えにくい構造である。

なお，長期的な影響については，堆積した降下火砕物を除去し，除去後の点検等において必要に応じて補修作業を実施する。

③ 関連設備

軽油貯蔵タンクは地下埋設化することにより，降下火砕物の影響により健全性を損なわない設計とする。また，燃料移送ポンプ等についても同様に地下埋設化とし降下火砕物の影響により健全性を損なわない設計とする。

ベント管は開口部を下向きにする等の降下火砕物が侵入し難い構造とし，地表からの吹き上がりによる侵入も考慮した位置にベント管の開口部を設置することにより降下火砕物の影響を受けない設計とする。

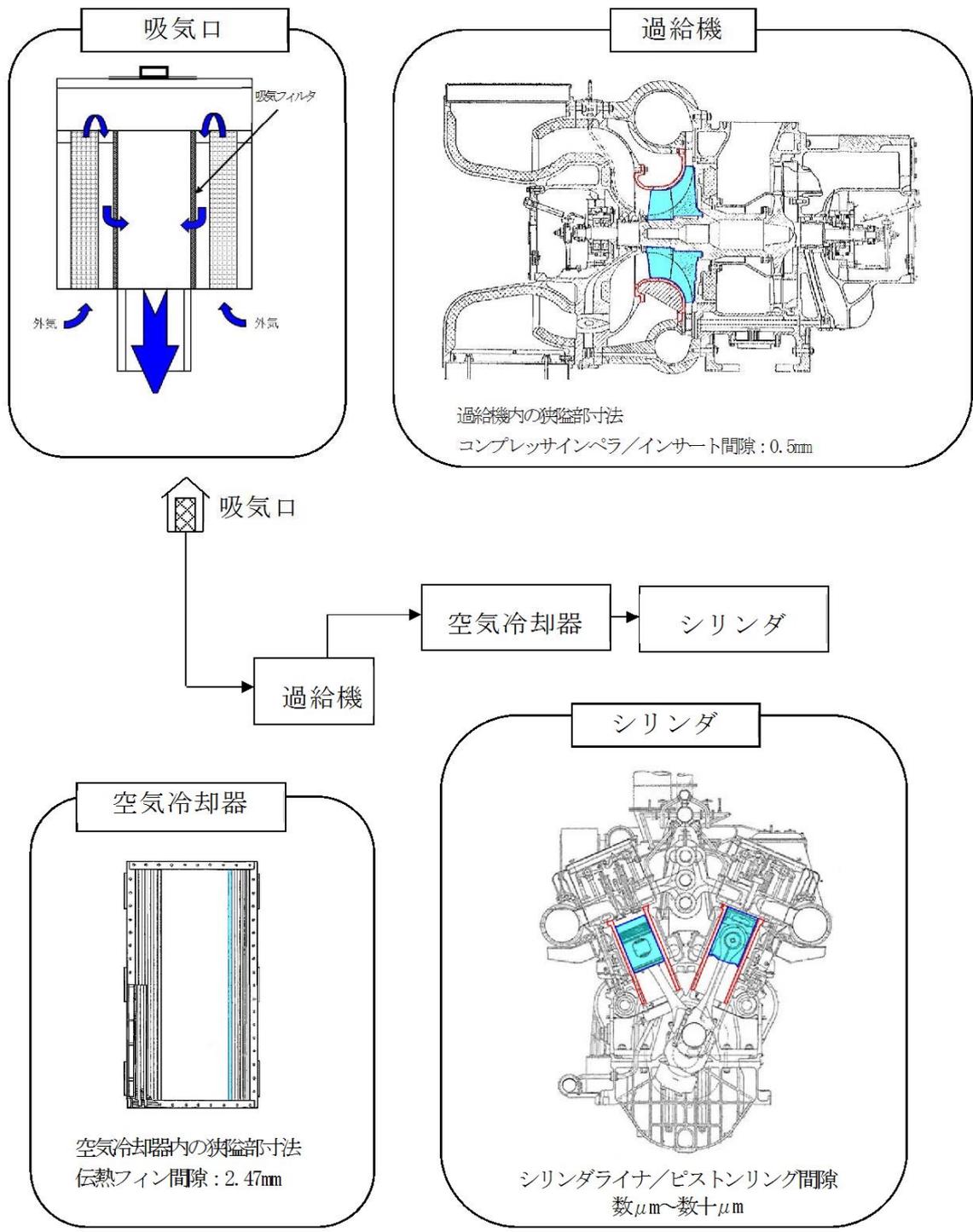


図4 ディーゼル機関吸気系統構造図



図5 ディーゼル発電機 排気管

(4) 個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を表2に示す。

表3 個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

直接的影響の要因	理由
発電所の大気汚染	中央制御室の居住性と直接関連がない
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

非常用ディーゼル発電機吸気フィルタの閉塞について

非常用ディーゼル発電機の吸気は吸気フィルタ（粒径 5～75 μm 程度において約 56%以上捕集可能であり粒径が大きいほど捕集率が上がる）を介して吸入しているため、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、非常用ディーゼル発電機の吸気フィルタは、下方から吸気する構造となっており、降下火砕物により容易に閉塞しないものであるとされるが、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

非常用ディーゼル発電機の吸気フィルタが閉塞するまでの時間を、米国セントヘレンズ火山噴火の濃度値（33,400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を用いて試算した。

(1) セントヘレンズの火山噴火データを用いた試算

表 1 より、吸気フィルタの閉塞時間を試算した結果、約 7 時間となった。

表 1 吸気フィルタ閉塞までの時間

①非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ捕集容量[g/m^2]	1,580
②非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ表面積[m^2]	2.9
③非常用ディーゼル発電機吸気フィルタでのダスト捕集量[g] =①×②	4,582
④降下火砕物の大気中濃度[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	33,400 [*]
⑤非常用ディーゼル発電機吸気流量[m^3/h]	19,200
⑥閉塞までの時間[h] =③/④/⑤	7.14

※米国セントヘレンズ火山で発生（1980年5月）した火山噴火地点から約135km離れた場所における大気中の火山灰濃度（1日平均値）

2. フィルタ取替に必要な時間について

フィルタ取替は下記に示すとおり、複雑な作業が必要はなく、フィルタ取替に要する時間は要員4名で3時間程度を見込んでいる。また、あらかじめフィルタを取り付けたフィルタ枠の予備品を持つことによりフィルタ清掃の手間を省くことができ、さらなる取替時間の短縮が可能である。なお、吸気フィルタは1系統につき2基設置されている。

【吸気フィルタ取替手順：1基あたり約1.5時間（90分）】

- a. フィルタエレメント吊上げ用治具を設置する（約5分）
- b. フィルタケーシングの上蓋を開放する（約10分）
- c. フィルタケーシングからフィルタエレメントを抜き出す（約25分）
- d. フィルタエレメントの内部確認及び清掃を行う（約30分）
- e. フィルタエレメントを挿入する（約15分）
- f. フィルタケーシングの上蓋を復旧する（約5分）

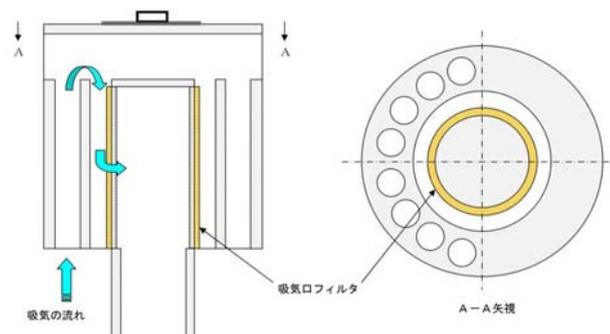


図1 非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ 概略図

3. 非常用ディーゼル発電機切替に必要な時間について

非常用ディーゼル発電機切替に必要な時間は下記に示すとおり、負荷切替時間を考慮しても約0.5時間である。

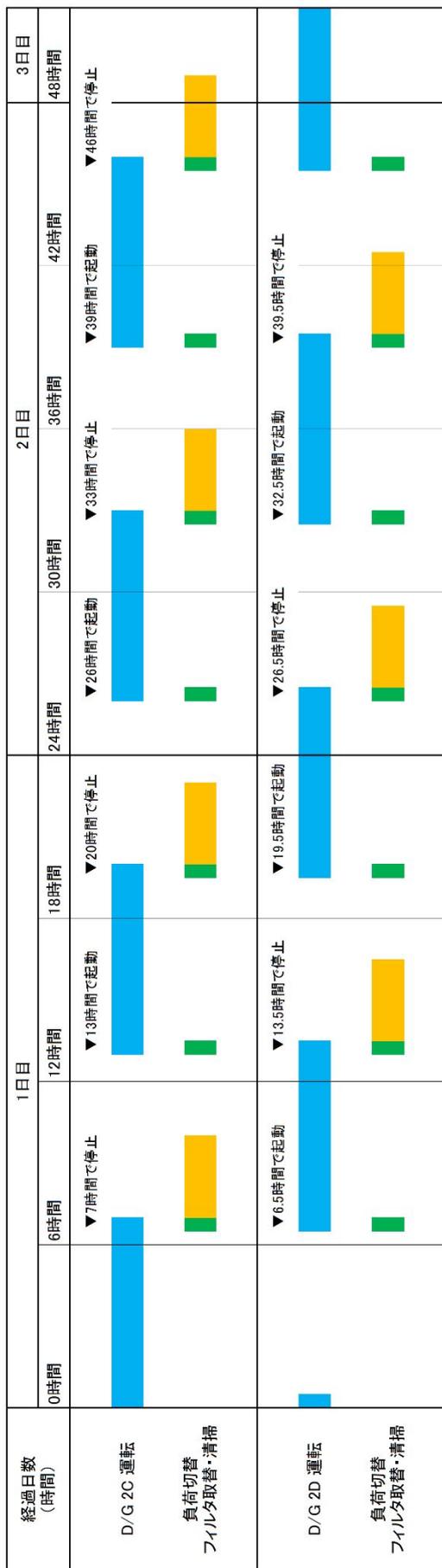
【非常用ディーゼル発電機切替手順：約 0.5 時間（30 分）】

- a. 待機側の非常用ディーゼル発電機起動・並列（約 5 分）
- b. 運転中の R H R 停止時冷却モードを停止（約 2 分）
- c. 計測制御系負荷切替（約 10 分）
- d. 待機側の R H R 停止時冷却モード起動（約 3 分）
- e. 運転中の非常用ディーゼル発電機解列・停止（約 10 分）

4. まとめ

セントヘレンズ火山噴火の濃度におけるフィルタ閉塞時間（約 7.14 時間）に対して、フィルタ取替・清掃は約 3.0 時間、非常用ディーゼル発電機の切替は約 0.5 時間で対応可能であり、フィルタ閉塞前に、フィルタの取替・清掃は可能である。フィルタ取替のタイムチャートを図 2 に示す。

また、閉塞時間の試算においては、ディーゼル発電機吸気口は下方向から吸気することにより降下火砕物を吸い込みにくい構造としている点を考慮せず、大気中濃度のまますべて吸い込まれてフィルタに補集されることを前提とした計算をしているため、実際にはフィルタが閉塞するまでの時間にはさらに余裕があると考えられる。



■ : D/G 運転(約7.0時間)
 ■ : 負荷切替(約0.5時間)
 ■ : フィルタ取替・清掃(約3時間)

図2 デイジーゼル発電機吸気口フィルタ取替のタイムチャート

排気筒（非常用ガス処理系排気配管含む）に係る影響評価

降下火砕物による排気筒及び非常用ガス処理系排気配管への影響について、以下のとおり評価する。

(1) 評価項目及び内容

① 換気系，電気系及び計装制御系に対する機械的影響

降下火砕物の排気筒への侵入により，その機能に影響がないことを評価する。具体的には，降下火砕物が侵入したとしても流路が閉塞しないことを確認する。

② 換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響(化学的腐食含む)

降下火砕物の付着に伴う構造物の腐食により，機器の機能に影響がないことを確認する。

(2) 評価条件

① 堆積量：50cm

(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

a. 排気筒

降下火砕物が排気筒に侵入した場合，図 1 に示すとおり排気筒の底部から流路まで約 21m あり，降下火砕物が 50cm 堆積した場合でも流路が閉塞することはなく，排気筒の機能を損なうことはない。

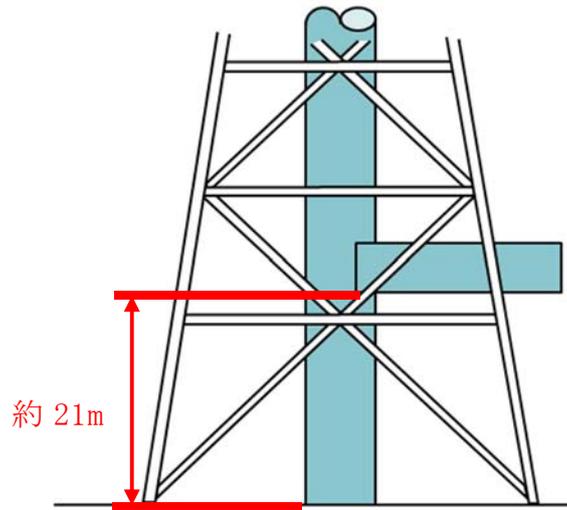


図1 排気筒下部の構造

b. 非常用ガス処理系排気配管

非常用ガス処理系排気配管は図2に示すとおり、降下火砕物の侵入防止を目的とする構造物を取り付けることにより、降下火砕物の影響に対して機能を損なわない設計とする。また、取り付ける構造物は降下火砕物が堆積し難い形状とすることにより、降下火砕物の影響に対して健全性を損なわない設計とする。

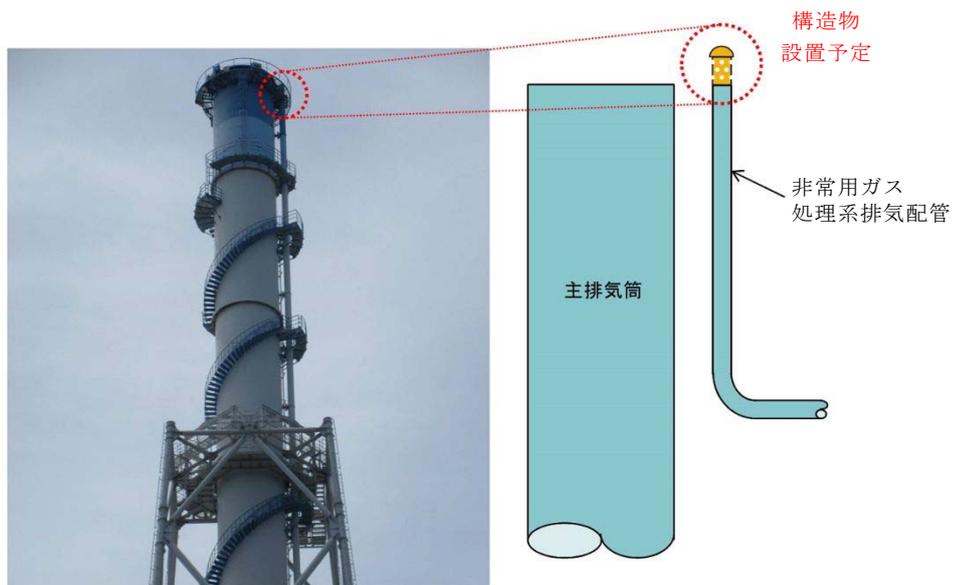


図2 非常用ガス処理系排気配管 概略図

② 換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響（化学的腐食含む）

排気筒（非常用ガス処理系排気配管含む）は，外装塗装を実施しており，降下火砕物による化学的腐食により短期的に影響を及ぼすことはない。

なお，長期的な影響については，堆積した降下火砕物を除去し，除去後の点検等において，必要に応じて補修作業を実施する。

(4) 個別評価から除外した直接的影響の要因

個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由を表2に示す。

表1 個別評価から除外した直接的影響の要因及び理由

直接的影響の要因	理由
構造物への静的負荷	静的負荷の影響を受けにくい構造
水循環系の閉塞	水循環系の機能と直接関連がない
水循環系の内部における摩擦	水循環系の機能と直接関連がない
換気系，電気系及び計装制御系に対する化学的影響	屋外に面した換気系，電気系及び計装制御系の機能と直接関連がない
発電所の大気汚染	中央制御室の居住性と直接関連がない
絶縁低下	絶縁低下と直接関連がない

間接的影響の評価結果

間接的影響について、以下のとおり評価する。

(1) 評価項目及び内容

降下火砕物による間接的影響は、広範囲にわたる送電網の損傷による 7 日間の外部電源喪失及び発電所外の交通の途絶によるアクセス制限に対する評価を行う。

(2) 評価結果

外部電源の喪失に対して、ディーゼル発電機（2 基）及び耐震 S クラスの燃料貯蔵タンク（2 基：800kL 以上）を有する設計とする。

これにより、7 日間の外部電源喪失及び外部との交通の途絶に対して、原子炉の停止、停止後の原子炉及び使用済燃料貯蔵プールの冷却に係る機能を担うために必要とされる電力の供給が継続できることから影響はない。

原子炉の高温停止及び冷温停止に必要な設備について

降下火砕物に起因する外部電源喪失事象により，原子炉の停止が想定されることから，原子炉の高温停止及び冷温停止に必要な機能を以下のとおり抽出した。

- (1) 原子炉停止 : 原子炉停止系（制御棒による系）
- (2) 崩壊熱除去 : 残留熱除去系，原子炉隔離時冷却系，高圧炉心スプレイ系，逃がし安全弁（手動逃がし機能）
- (3) 放射能放出防止 : 原子炉格納容器隔離弁，非常用再循環ガス処理系，非常用ガス処理系
- (4) 上記系統の関連系（安全保護系，非常用所内電源系，中央制御室換気空調系，残留熱除去系海水系，非常用ディーゼル発電機海水系，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系，直流電源系等）

以上の機能を達成するために必要な設備は，表 1 に示すとおり「1.2 追加要求事項に対する適合性」にて抽出した構築物，系統又は機器に含まれていることを確認した。

表 1 原子炉の高温停止及び冷温停止に必要な設備に関する防護対象 (1/2)

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所	高温停止及び冷温停止に必要な機能	
	定義	機能	構築物、系統又は機器			
PS-1	その損傷又は故障により発生する事象によって、 (a) 炉心の著しい損傷 又は (b) 燃料の大量の破損 を引き起こすおそれのある構築物、系統及び機器	1) 原子炉冷却材圧力バウダダリ機能	原子炉冷却材圧力バウダダリを構成する機器、配管系 (排気等の小口径配管・機器は除く。) ・原子炉圧力容器、原子炉再循環ポンプ、配管・弁、隔離弁 等	○		
		2) 過剰反応度の増加防止機能	制御棒カププリング	・制御棒カププリング、制御棒駆動機構カププリング	○	
		3) 炉心形状の維持機能	炉心支持構造物 ・炉心・シュラウド、シュラウドサポート、上部格子板、炉心支持板、制御棒案内管 等 燃料集合体 (ただし、燃料を除く。) ・上部タイラート、下部タイラート、スベーサ	・炉心・シュラウド、シュラウドサポート、上部格子板、炉心支持板、制御棒案内管 等 燃料集合体 (ただし、燃料を除く。) ・上部タイラート、下部タイラート、スベーサ	○	
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、 残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウダダリの 過圧を防止し、敷地内公衆への過度の放射 線の影響を防止する構築物、系統及び機器	1) 原子炉の緊急停止機能	原子炉停止系の制御棒による系 (制御棒及び制御棒駆動系 (スクラム機能)) ・制御棒、制御棒案内管、制御棒駆動機構	○	原子炉停止	
		2) 未聴察維持機能	原子炉停止系 (制御棒による系、ほう酸水注入系) ・制御棒、制御棒駆動機構カププリング、ほう酸水注入系 等	○	原子炉停止	
		3) 原子炉冷却材圧力バウダダリの過圧防止機能	逃がし安全弁 (安全弁閉機能) 残留熱を除去する系 ・残留熱除去系 (ポンプ、熱交換器、原子炉停止時冷却モードとなる配管、弁)、原子炉再循環時冷却系 (ポンプ、サブプレッション・プール、タービン、サブプレッション・プールから注水先までの配管、弁)、高圧炉心スプレイス (ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールから注水先までの配管、弁、スプレイヘッド) 等	○	崩壊熱除去	
		4) 原子炉停止後の除熱機能	非常用炉心冷却系 ・低圧炉心スプレイス (ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールからサブプレッション・プールまでの配管、弁、スプレイヘッド)、残留熱除去系 (低圧注水モード) (ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールから注水先までの配管、弁 (熱交換器、バイパスライン含む)、注水ヘッド) 等	○		
		5) 炉心冷却機能	原子炉格納容器 ・格納器本体、貫通部 等 原子炉格納容器隔離弁 原子炉格納容器スプレイス冷却系 ・ポンプ、熱交換器、サブプレッション・プール 等	○ ○ ○	放射能放出防止	
		6) 放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉建屋 非常用再循環ガス処理系 ・排風機 等 非常用ガス処理系 ・排風機 等 非常用ガス処理系 ・排気筒 (非常用ガス処理系排気管の支持機能) 可燃ガス濃度制御系	○ ○ ○ ○ ○ ○	放射能放出防止 放射能放出防止 放射能放出防止 放射能放出防止 ○ (屋外)	

※1 : 原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋

表1 原子炉の高温停止及び冷温停止に必要な設備に関する防護対象 (2/2)

分類	安全機能の重要度分類		機能	構築物、系統又は機器	設備設置場所		高温停止及び冷温停止に必要な機能
	定義	機能			建屋内部設置※1	屋外設備等	
MS-1	2) 安全上必須なその他の構築物、系統及び機器	1) 工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	安全保護系	○		関連系	
		2) 安全上特に重要な関連機能	非常用炉内電源系 (MS-1 関連のもの) ・ディーゼル機関、発電機 等 非常用炉内電源系 (MS-1 関連のもの) ・非常用ディーゼル発電機燃料移送系 ・駆動貯蔵タンク 制御室及びその遮蔽・非常用換気空調系 (MS-1 関連のもの) ・中央制御室及び中央制御室遮蔽、中央制御室換気空調系 等 非常用補機冷却水系 (MS-1 関連のもの) ・双回路冷却系海水系、非常用ディーゼル発電機海水系、高圧炉心スプレイスプレーセル発電機海水系 等 直流電源系 (MS-1 関連のもの) ・蓄電池 等	○	○ (屋外)	関連系 関連系 関連系 関連系 関連系 関連系	
FS-2	1) その損傷又は故障により発生する事象によって、炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが、敷地外への過剰の放射性物質の放出のおそれのある構築物、系統及び機器	1) 原子炉冷却材を内蔵する機能 (ただし、原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く。)	主蒸気系 (格納容器補機弁の外側のみ)	○	○ (7/F)		
		2) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能	放射形廃棄物処理施設 (放射能インベントリの大きいもの) 使用済燃料プール (使用済燃料貯蔵ラックを含む。) 使用済燃料乾式貯蔵容器 燃料回収設備 ・燃料交換機、原子炉建屋クレーン 等	○	○		
MS-2	2) 異常事態への対応上特に重要な構築物、系統及び機器	1) 安全弁及び逃がし弁の吹き止まり機能	速がし安全弁 (吹き止まり機能に関連する部分)	○	○		
		2) 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであって、その故障により、炉心冷却が損なわれる可能性の高い構築物、系統及び機器	燃料貯蔵設備 ・燃料貯蔵タンク、原子炉建屋クレーン 等	○	○		
MS-2	2) 異常事態への対応上特に重要な構築物、系統及び機器	1) P S-2の構築物、系統及び機器の損傷又は故障により敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようにする構築物、系統及び機器	非常用補給水系 ・残留熱除去系 (ポンプ、サブプレッション・プール、サブプレッション・プールから燃料プールまでの配管、弁) 放射能気体廃棄物処理系の隔離弁	○	○ (7/F)		
		2) 制御室外からの安全停止機能	排気筒 (非常用ガス処理系排気管の支持機能以外) 燃料集合体落下事故時放出を低減する系 ・原子炉建屋 (原子炉棟)、非常用貯蔵ガス処理系及び非常用ガス処理系 事故時監視器の一部 制御室外原子炉停止装置 (安全停止に関連するもの)	○	○ (屋外)		

※1：原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋

降下火砕物堆積荷重評価への材料強度×1.1の適用について

降下火砕物の堆積荷重に対するタービン建屋の評価に、材料強度（以下 F 値という。）×1.1を適用することが可能であると判断した。

1. F 値×1.1を適用可能な理由

F 値×1.1を適用可能であると判断した理由を以下に示す。また、理由の詳細について 2. 以降に示す。

- ・降下火砕物の堆積荷重と同種の荷重である、極めて稀な積雪荷重に対して、F 値×1.1を適用可能なことが、建築基準法等に定められている。
- ・タービン建屋は、内包する安全施設に波及的影響を及ぼさない観点から、天井や壁の構造体又はその一部が崩壊しなければよいが、短期許容応力度に F 値×1.1を適用するタービン建屋の評価には、終局強度（座屈耐力等）に対して保守性が確保されている。

2. 降下火砕物の堆積荷重と積雪荷重について

- ・積雪荷重は、鉛直方向の短期荷重として各応力度を超えないことを建築基準法にて要求されている。
- ・降下火砕物の堆積荷重は、鉛直方向の短期荷重[※]として各強度を超えないことを確認する。

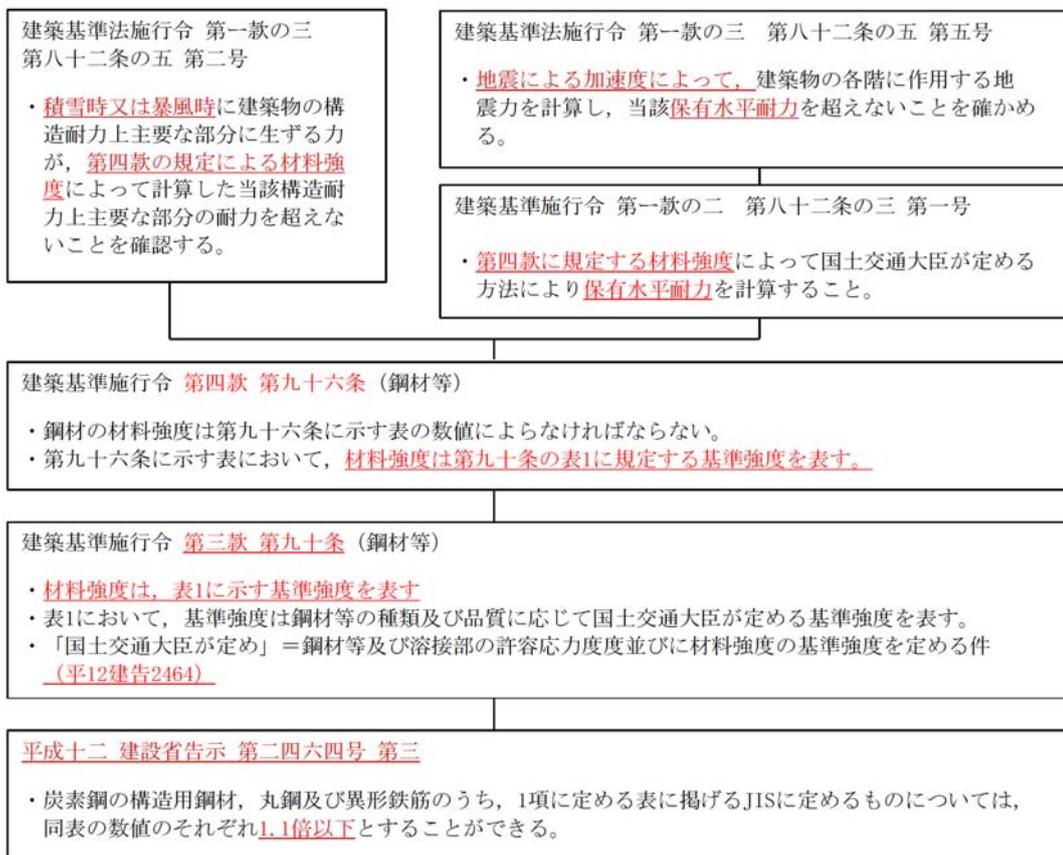
※ 降灰作業を行うことにより、短期荷重として取り扱う。

- ・降下火砕物及び積雪は共に、敷地に一様に堆積される荷重である。
- ・発電所に 50cm の堆積をもたらすような火山事象も極めて稀な事象である。

3. 積雪への適用及び適用事例

積雪時の評価について記載されている建築基準法施工令第82条の5第2号から、平成12年建設省告示2464号第3が導かれることを確認し、材料強度×1.1倍が適用可能であると判断した。また、建築基準法施工令第82条の5第は地震、積雪時又は暴風時に適用される。地震及び暴風時に該当する事例として、既許可プラントの耐震評価及び竜巻影響評価において、材料強度×1.1倍を適用していることを確認している。

建築基準法施行令と平成12年建設省告示2464号の概略を第1図に示す。



第1図 建築基準法施行令と平成12年建設省告示2464号の概要

4. 指針類の扱い

「建築物の構造関係技術基準解説書（建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会）」において、JIS適合品は、材料強度の数値を1.1倍以下の数値を

とることができることを平成 12 年建設省告示 2464 号の解説として記載している。

また、「鋼構造塑性設計指針（日本建築学会）」において、適用する荷重（地震時・暴風時・積雪時等）に対して、主要な構造用鋼材の降伏応力度 σ_y を 1.1 倍することができる」と記載されており、参考文献として「建築物の構造関係技術基準解説書」を挙げている。

指針類には、積雪荷重への F 値の 1.1 倍を使用した事例は確認できなかったが、建築基準法施行令第 82 条の 5 は極めて稀である地震、積雪時又は暴風時に適用される。地震及び暴風時に該当する事例として、既許可プラントの耐震評価及び竜巻影響評価において、材料強度の 1.1 倍を適用していることを確認している。

5. タービン建屋の終局強度に対して算定する強度（F 値の 1.1 倍を適用した場合）の保守性

タービン建屋において最も検定値が厳しくなる鉄骨部材の各圧縮強度（許容応力度～終局強度）レベルの一例を第 1 図に示す。

A：鋼構造設規準に記載される設計式から算定した強度

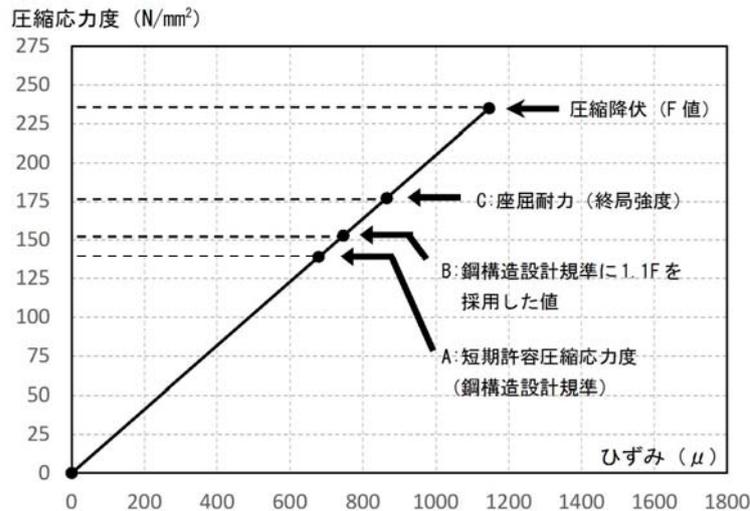
⇒ 短期許容応力度に対する評価で使用

B：鋼構造設計規準に記載される設計式に F 値×1.1 を適用し算定した強度

⇒ タービン建屋の終局強度に対する評価で使用

C：座屈耐力（修正若林モデル※） ⇒ 終局強度

※1：日本建築学会大会学術講演梗概集「原子力発電所建屋の鉄骨架構の復元力特性に関する研究」に基づく



第2図 F値×1.1を適用し算定した強度と座屈耐力の比較

また、第2図に示した各圧縮強度の算出方法を以下に示す。

A: 鋼構造設計規準から求めた短期許容圧縮応力度は以下の式^{※1}を用いて算出する。 ※1 短期許容応力度は、 f_c を1.5倍した強度

$$f_c = \frac{\left\{1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\} \times F}{\nu} \quad (\lambda \leq \Lambda \text{ のとき}) \quad \nu = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$$

f_c : 許容圧縮応力度 λ : 圧縮材の細長比
 Λ : 限界細長比 ν : 安全率

B: 鋼構造設計規準にF値×1.1を適用して求めた圧縮強度は、Aで使用した式^{※2}に対して、F値のみ1.1倍する。

※2 タービン建屋の終局強度に対する評価で算定する圧縮強度は、 f_c' を1.5倍とする。

$$f_c' = \frac{\left\{1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\} \times 1.1F}{\nu} \quad (\lambda \leq \Lambda \text{ のとき}) \quad \nu = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$$

f_c' : 圧縮強度 λ : 圧縮材の細長比
 Λ : 限界細長比 ν : 安全率

C : 座屈耐力として求めた圧縮強度は、初期座屈耐力を求める式において、
A で使用した式において、分母に記載されている $\nu = 1$ とした式と同様。

$$n_o = 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \quad (\lambda \leq \Lambda \text{ のとき}) \quad n_o : \text{無次元化初期座屈耐力}$$

二号イ及び第九条の二において「震害懸念」というものが二百分の一（地震力による構造耐力上主要な部分の震害によつて建築物の崩壊に類しい損傷が生ずるおそれのない場合）によつては、百二十分の一以内であることを確かめなければならない。

(第五五條 九六、附則、第六三條、第七〇、第七二條二一、七三條二二、七五條四六、二七五條)

(五) 「国土交通大臣が定める」必要水平耐力計算及び必要水平耐力は、第五五條の五、七五條第五項

第八十二条の三 建築物の地上部分については、第九号の規定によつて計算した各階の水平力に対する耐力（以下この条及び第八十二条の五において「必要水平耐力」という。）が、第九号の規定によつて計算した必要水平耐力以上であることを確かめなければならない。

一 第四款に規定する材料強度によつて国土交通大臣が定める方法によつて必要水平耐力を計算すること。

二 地震力に対する各階の必要水平耐力を次式によつて計算するものとする。

$$Q_{un} = D_s F_{es} Q_{ed}$$

(この式において、 Q_{un} 、 D_s 、 F_{es} 及び Q_{ed} は、それぞれ次の数値を表すものとする。

Q_{un} 各階の必要水平耐力（単位 キロニュートン）

D_s 各階の構造特性を表すものとして、建築物の構造耐力上主要な部分の構造方法に応じた震害懸念となる階の階数を表すものとする。

第三号 震害懸念として、国土交通大臣が定める数値

F_{es} 各階の形状特性を表すものとして、各階の剛性率及び慣性率に依つて国土交通大臣が定める方法により算出した数値

Q_{ed} 地震力によつて各階に生ずる水平力（単位 キロニュートン）

(第五五條 九六、附則、第六三條四、第七二條二一、七三條二二、七五條四六、二七五條)

(五) 第九号 「国土交通大臣が定める」必要水平耐力計算及び必要水平耐力は、第五五條の五、七五條第五項

第九号 「国土交通大臣が定める」方法及び算出する方法（第五五條第五項）

(震害懸念材料の構造計算)

第八十二条の四 震害懸念材料、外装材及び屋外に面する部材については、国土交通大臣が定める基準に従つた構造計算によつて震害に對して構造耐力上安全であることを確かめなければならない。

(第七二條二一、第四、第七三條二二、第七五條四六、四八條八二条の四第五)

(五) 「国土交通大臣が定める」震害懸念材料及び屋外に面する部材の震害に對する構造耐力上の安全性を確かめらるるための構造計算の基礎を定めるものとする（第七二條四六、五）

第九号の三 限界耐力計算

第八十二条の五 第八十一条第三項第一号ロに規定する限界耐力計算とは、次に定めるところによりする構造計算をいふ。

一 地震による地震時、第八十二条第一号から第三号まで（地震に係る部分を除く）に定めることによること。

二 地震時又は地震時に、建築物の構造耐力上主要な部分に生ずる力を次の表に掲げる式によつて計算し、当該構造耐力上主要な部分に生ずる力が、それぞれ第四款の規定による材料強度によつて計算した当該構造耐力上主要な部分の耐力を超えないことを確かめること。

荷重及び外力について想定する状態	一般の場合	第八十六条第二項ただし書の規定により特定行状が指定する場合	備考
積雪時	$G + P + 1.4S$	$G + P + 1.4S$	
暴風時	$G + P + 1.6W$	$G + P + 1.6W$ 建築物の柱、梁、柱の引抜き等を検討する場合において、 P については、建築物の美観に配慮	

この表において、 G 、 P 、 S 及び W は、それぞれ次の力（水平方向力、曲げモーメント、せん断力等をいう）を表すものとする。

- G 第八十四条に規定する固定荷重によつて生ずる力
- P 第八十五条に規定する積載荷重によつて生ずる力
- S 第八十六条に規定する積雪荷重によつて生ずる力
- W 第八十七条に規定する風圧力によつて生ずる力

三 地震による加速度によつて建築物の地下部分の各階に作用する地盤力及び各階に生ずる層間変位を次に定めるところによつて計算し、当該地盤力が、建築物の各階の構造耐力上主要な部分の断面に生ずる応力が第三款の規定による短期に生ずる力に対する許容応力度に達する場合は、建築物の各階の水平力に対する耐力をいう。以下この号において「四」を越えないことを確かめるとともに、層間変位の当該各階の免れに対する割合が二百分の一（地震力による構造耐力上主要な部分の免れによつて建築物の部分に著しい損傷が生ずるおそれのある場合は、三十百分の一）を超えないことを確かめること。

イ 各階が、積載耐力、引抜き耐力その他のこれに作用す

建四一〇号

建二九六号

る力に相当する時に当該階に生ずる水平方向の層間変位（以下この号において「積載層間変位」といふ）を国土交通大臣が定める方法により計算すること。

ロ 建築物のいずれかの階において、イによつて計算した積載層間変位に相当する変位が生じている時の建築物の固有周期（以下この号及び第七号において「積載固有周期」といふ）を国土交通大臣が定める方法により計算すること。

ハ 地震により建築物の各階に作用する地盤力を、積載層固有周期に基づいて次の表に掲げる式によつて計算した当該階以上の各階に水平方向に生ずる力の総和として計算すること。

$T_d < 0.16$ の場合	$P_d = (0.64 + 6T_d) m_i B_d Z G_s$
$0.16 \leq T_d < 0.64$ の場合	$P_d = 1.6 m_i B_d Z G_s$
$0.64 \leq T_d$ の場合	$P_d = \frac{1.02 m_i B_d Z G_s}{T_d}$

この表において、 T_d 、 P_d 、 m_i 、 B_d 、 Z 及び G_s は、それぞれ次の数値を表すものとする。

T_d 建築物の積載層固有周期（単位：秒）

P_d 各階に水平方向に生ずる力（単位：キロニュートン）

- m_i 各階の質量、各階の固定荷重及び積載荷重との和（第八十六条第二項ただし書の規定によつて特定行状が指定する各階に於いては、更に積雪荷重を加えたものとする。）を重力加速度を除いたもの（単位：ト）
- B_d 建築物の各階に生ずる加速度の分布を表すものとして、積載層固有周期に応じて国土交通大臣が定める基準に依つて算出した数値
- Z 第八十八条第一項に規定する Z の数値
- G_s 表層地盤による加速度の増幅率を表すものとして、表層地盤の硬軟に応じて国土交通大臣が定める方法により算出した数値

ニ 各階が、ハによつて計算した地盤力その他のこれに作用する力に耐えている時に当該階に生ずる水平方向の層間変位を国土交通大臣が定める方法により計算すること。

四 第八十八条第四項に規定する地盤力により建築物の地下部分の構造耐力上主要な部分の断面に生ずる応力を第八十二条第一号及び第二号の規定によつて計算し、それぞれ第三款の規定による短期に生ずる力に対する許容応力度を超えないことを確かめること。

五 地震による加速度によつて建築物の各階に作用する地盤力を次に定めるところによつて計算し、当該地盤力が保有水平耐力を超えないことを確かめること。

【建築基準法施行令 第九十六条 (抜粋)】

一般編 I 建築基準 (基本法) 建築基準法施行令 (九六条)

100/四

(鋼材等)
第九十六条 鋼材の材料強度は、次の表一又は表二の範囲によらなければならない。

種類	材料強度 (単位 二平方メートルにつきニュートン)				
	圧縮	引張り	曲げ	せん断	
炭素鋼					
構造用鋼材	F	F	F	$F \frac{\sqrt{3}}{4}$	
高力ボルト		F		$F \frac{\sqrt{3}}{4}$	
ボルト		F			
農産		F			
仕上げ		F			
					F
					$F \frac{\sqrt{3}}{4}$

この表において、Fは、第九十条の表一に規定する基準強度を表すものとする。

種類	材料強度 (単位 二平方メートルにつきニュートン)				
	圧縮	引張り	曲げ	せん断	
スラン					
レス鋼					
構造用鋼材	F	F	F	F	F
高力ボルト		F			$F \frac{\sqrt{3}}{4}$
ボルト		F			
構造用ケーブル		F			
鋼鋼	F	F	F	F	F
構造用ケーブル					
リベット鋼					$F \frac{\sqrt{3}}{4}$
構造用ケーブル					

この表において、Fは、第九十条の表一に規定する基準強度を表すものとする。

建二四・二五号

建二七三号

この表において、Fは、第九十条の表一に規定する基準強度を表すものとする。

種類	材料強度 (単位 二平方メートルにつきニュートン)				
	圧縮	引張り	張	り	
丸鋼	F				F (当該数値が二九五を超える場合は、二九五)
異形鉄筋	F				F (当該数値が三九〇を超える場合は、三九〇)

この表において、Fは、第九十条の表一に規定する基準強度を表すものとする。

一般編 I 建築基準 (基本法) 建築基準法施行令 (七七条)

100/五

この表において、Fは、第九十条の表一に規定する基準強度を表すものとする。

(第五五条 九六・項四、第五五七〇・平二五三二・平二五三三二・一節五三)

(表) 表一 「国土交通大臣が……定める」 鋼筋のボルトのせん断許容力等については、鋼筋のせん断許容力等と同等と見做す。

(表) 表二 「国土交通大臣が……定める」 鋼筋のボルトのせん断許容力等については、鋼筋のせん断許容力等と同等と見做す。

(表) 表三 「国土交通大臣が……定める」 鋼筋のボルトのせん断許容力等については、鋼筋のせん断許容力等と同等と見做す。

第九十条 コンクリートの材料強度は、次の表の範囲によらなければならない。ただし、異形鉄筋を用いた場合については、国土交通大臣が異形鉄筋の種類及び品質に応じて別に数値を定めた場合は、当該数値によることとなる。

種類	材料強度 (単位 二平方メートルにつきニュートン)				
	圧縮	引張り	張	り	せん断
	F	$F \frac{\sqrt{3}}{4}$	F	F	F

この表において、Fは、第九十条の表一に規定する基準強度を表すものとする。

おきなな鋼材に係る建築部の許容応力度並びに材料強度の基準強度は、その種類及び品質に応じてそれぞれ国土交通大臣が指定した数値とする。

第三 鋼材等の材質規格の基準強度

一 鋼材等の材質規格の基準強度は、次令に定めるものとし、第二の款の範囲とする。ただし、鋼鉄製の構造用鋼材、木構及び鋼鉄被覆のものも、同表に規定するよりも異なるものとして、同表の数値のそれぞれ一・一倍以下の数値とするものとする。

二 当該三十七条第一号の国土交通大臣の指定するものは、第一の款の範囲とする。ただし、鋼材以外の鋼材等及び同表第二号の国土交通大臣の指定したおきなな鋼材に係る建築部の基準強度は、その種類及び品質に応じてそれぞれ国土交通大臣が指定した数値とする。

三 第二第三号の指定は、第二の款の場合に限る。

第四 建築部のおおきなな鋼材の基準強度

一 建築部のおおきなな鋼材の基準強度は、次令に定めるものとし、第二の款の範囲とする。ただし、鋼鉄製の構造用鋼材、木構及び鋼鉄被覆のものも、同表に規定するよりも異なるものとして、同表の数値のそれぞれ一・一倍以下の数値とするものとする。

二 当該三十七条第一号の国土交通大臣の指定するものは、第一の款の範囲とする。ただし、鋼材以外の鋼材等及び同表第二号の国土交通大臣の指定したおきなな鋼材に係る建築部の基準強度は、その種類及び品質に応じてそれぞれ国土交通大臣が指定した数値とする。

附 則 抄

1 昭和三十五年建設省告示第七百九十四号は、廃止する。

附 則 (第二二條第二四六四)

この告示は、附則抄の一節を改定する法律(平成十一年法律第八十八号)の施行の日(平成十三年一月六日)から施行する。

附 則 (第一二四條第六三三)

この告示は、平成十九年六月二十日から施行する。

一般編 I 建築基準(基本表) 鋼材等及び建築部の許容応力度並びに材料強度の基準強度を定める件

二二〇\一〇四六

おきなな鋼材に係る建築部の許容応力度並びに材料強度の基準強度を定める件

(第二二・二二・二二・二二)
 (第二二四六四)

第五 第一二・二二・二二・二二・二二
 第一三・二二・二二・二二・二二
 第一四・二二・二二・二二・二二
 第一九・二二・二二・二二・二二

鋼材等及び建築部の許容応力度並びに材料強度の基準強度を定める件

第一 鋼材等及び建築部の許容応力度並びに材料強度の基準強度を定める件

第一 鋼材等及び建築部の許容応力度並びに材料強度の基準強度を定める件

鋼材等の種類及び品質		基準強度(単位)
鋼材	鋼材の厚さ(ミリメートル)	引張強さ(兆ニュートン)
第一	第一	第一
第二	第二	第二
第三	第三	第三
第四	第四	第四
第五	第五	第五
第六	第六	第六
第七	第七	第七
第八	第八	第八
第九	第九	第九
第十	第十	第十
第十一	第十一	第十一
第十二	第十二	第十二
第十三	第十三	第十三
第十四	第十四	第十四
第十五	第十五	第十五
第十六	第十六	第十六
第十七	第十七	第十七
第十八	第十八	第十八
第十九	第十九	第十九
第二十	第二十	第二十
第二十一	第二十一	第二十一
第二十二	第二十二	第二十二
第二十三	第二十三	第二十三
第二十四	第二十四	第二十四
第二十五	第二十五	第二十五
第二十六	第二十六	第二十六
第二十七	第二十七	第二十七
第二十八	第二十八	第二十八
第二十九	第二十九	第二十九
第三十	第三十	第三十
第三十一	第三十一	第三十一
第三十二	第三十二	第三十二
第三十三	第三十三	第三十三
第三十四	第三十四	第三十四
第三十五	第三十五	第三十五
第三十六	第三十六	第三十六
第三十七	第三十七	第三十七
第三十八	第三十八	第三十八
第三十九	第三十九	第三十九
第四十	第四十	第四十
第四十一	第四十一	第四十一
第四十二	第四十二	第四十二
第四十三	第四十三	第四十三
第四十四	第四十四	第四十四
第四十五	第四十五	第四十五
第四十六	第四十六	第四十六
第四十七	第四十七	第四十七
第四十八	第四十八	第四十八
第四十九	第四十九	第四十九
第五十	第五十	第五十
第五十一	第五十一	第五十一
第五十二	第五十二	第五十二
第五十三	第五十三	第五十三
第五十四	第五十四	第五十四
第五十五	第五十五	第五十五
第五十六	第五十六	第五十六
第五十七	第五十七	第五十七
第五十八	第五十八	第五十八
第五十九	第五十九	第五十九
第六十	第六十	第六十
第六十一	第六十一	第六十一
第六十二	第六十二	第六十二
第六十三	第六十三	第六十三
第六十四	第六十四	第六十四
第六十五	第六十五	第六十五
第六十六	第六十六	第六十六
第六十七	第六十七	第六十七
第六十八	第六十八	第六十八
第六十九	第六十九	第六十九
第七十	第七十	第七十
第七十一	第七十一	第七十一
第七十二	第七十二	第七十二
第七十三	第七十三	第七十三
第七十四	第七十四	第七十四
第七十五	第七十五	第七十五
第七十六	第七十六	第七十六
第七十七	第七十七	第七十七
第七十八	第七十八	第七十八
第七十九	第七十九	第七十九
第八十	第八十	第八十
第八十一	第八十一	第八十一
第八十二	第八十二	第八十二
第八十三	第八十三	第八十三
第八十四	第八十四	第八十四
第八十五	第八十五	第八十五
第八十六	第八十六	第八十六
第八十七	第八十七	第八十七
第八十八	第八十八	第八十八
第八十九	第八十九	第八十九
第九十	第九十	第九十
第九十一	第九十一	第九十一
第九十二	第九十二	第九十二
第九十三	第九十三	第九十三
第九十四	第九十四	第九十四
第九十五	第九十五	第九十五
第九十六	第九十六	第九十六
第九十七	第九十七	第九十七
第九十八	第九十八	第九十八
第九十九	第九十九	第九十九
第一百	第一百	第一百

一般編 I 建築基準(基本表) 鋼材等及び建築部の許容応力度並びに材料強度の基準強度を定める件

二二〇\一〇四六

第三〇四・三〇五号

第三〇四・三〇五号

【建築物の構造関係技術基準解説書 9.2.1 許容応力度及び材料強度の数値（抜粋）】

(3) 平12建告第2464号第1は令第90条の規定に基づき、同告示第3は令第96条の規定に基づき、それぞれ鋼材等の許容応力度及び材料強度の基準強度 F の数値を定めたものである。鋼材等の許容応力度及び材料強度については、法第37条第二号の規定に基づく大臣の認定を受けたものは、大臣が指定する数値とすることとしている。JIS 適合品の基準強度 F については、鋼材等の種類及び品質に応じて定められた数値とし、炭素鋼の構造用鋼材等については、材料強度の数値を計算する際には規定された数値の1.1倍以下の数値をとることができることとしている。

いずれの鋼材等の場合においても、それらを加工する場合は、告示第1第三号イからハまでに該当する場合を除き、加工後の機械的性質等の品質が加工前の品質と同等以上であることを確かめなければならないことが規定されている。加工の影響を受ける部分の品質が加工前と同等以上であることが確かめられない場合には、法第37条第二号に基づく大臣の認定を受けた上で、基準強度 F については、第3第二号に基づき大臣が指定した数値を用いる必要がある。

【鋼構造塑性設計指針（抜粋）】

1.7 降伏応力度

塑性設計に用いる主要な構造用鋼材の降伏応力度 σ_y および引張強さ σ_u は、表 C 1.7.1～C 1.7.5 に示す値を用いる。なお、同表に掲げる降伏応力度 σ_y は、同表の数値の 1.1 倍以下とすることができる^{1.13)}。

海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）
基礎部堆積による影響評価について

1. 評価内容

降下火砕物が海水ポンプ基礎部に堆積し，モータフレーム開口部から降下火砕物が侵入，堆積することにより，海水ポンプの運転を阻害する可能性について評価する。

2. 評価結果

図1，図2に示すとおり，仮にモータフレーム内に降下火砕物が50cm堆積した場合でも，ポンプ回転体露出部まで到達することはなく，海水ポンプの運転を阻害することはない。

また，屋外にポンプを停止させるインターロック機能を持つ計器類もないため，海水ポンプの運転に影響はない。

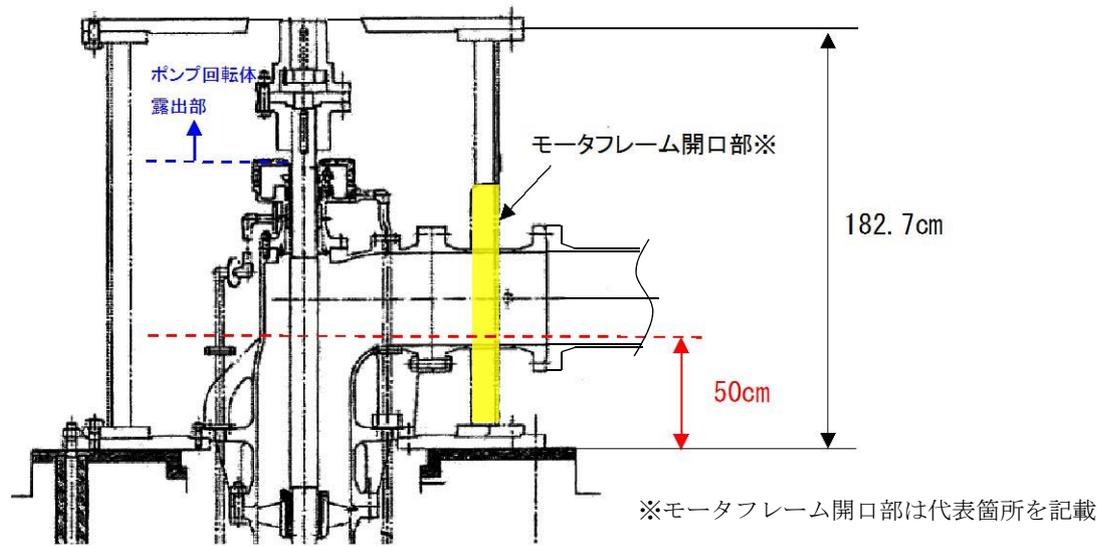


図1 残留熱除去系海水系ポンプ

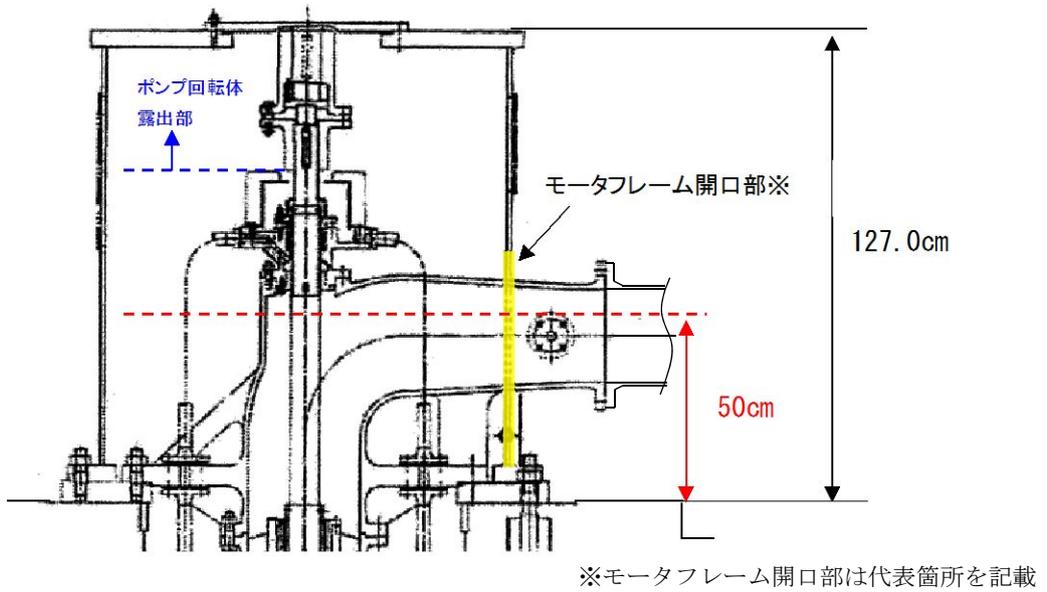


図2 ディーゼル発電機用海水ポンプ

降下火砕物と積雪の重ね合わせの考え方について

「原子力発電所の火山影響評価ガイド」では、降雨・降雪などの自然現象は、降下火砕物等堆積物の静的負荷を著しく増大させる可能性があるとしており、降下火砕物による荷重評価では降下火砕物荷重が保守的となるよう湿潤状態を考慮している。また、冬季には積雪により湿潤状態以上の荷重が生じる可能性があることから、湿潤状態の降下火砕物に積雪を重ね合わせた評価を実施している。

重ね合わせる降雪量については自然現象の重ね合わせを考慮している建築基準法を参考とすると、同法では添付資料－１のとおり多雪区域^{*1}においては暴風時あるいは地震時の荷重評価を実施する際、積雪の重ね合わせた評価を求めているが、多雪区域以外の区域においては積雪の重ね合わせを要求していない。

また、荷重を評価する際、風圧力や地震力を主たる荷重、重ね合わせる積雪荷重を従の荷重とし、従の荷重は稀に起こる積雪荷重ではなく平均的な積雪荷重としており、平均的な積雪荷重は短期積雪荷重の 0.35 倍としている。

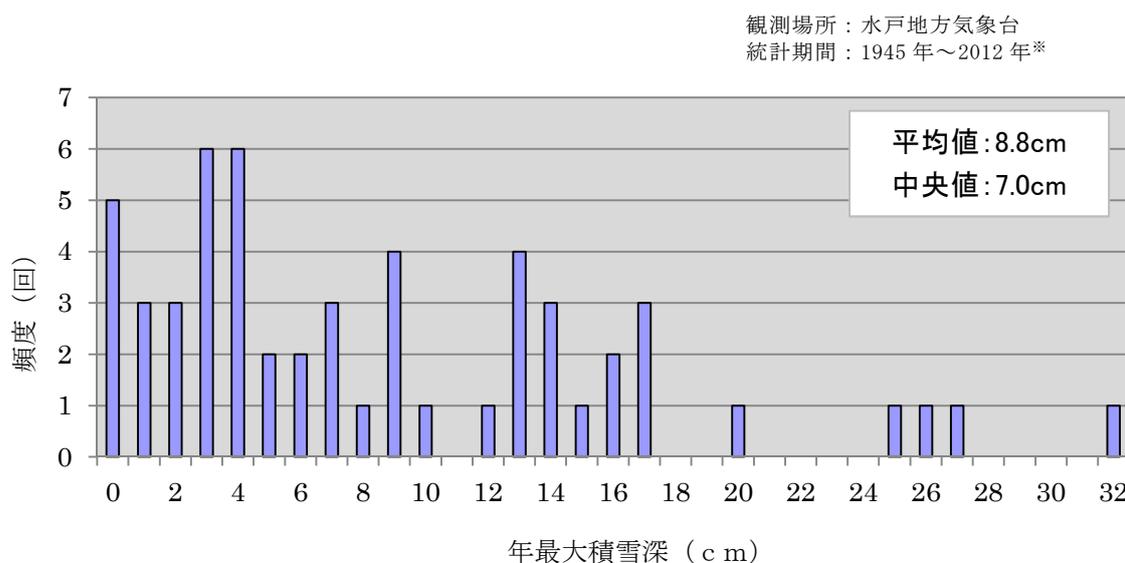
同法を参考とすると東海第二発電所は多雪区域ではないことから積雪との重ね合わせを考慮する必要はなく、また、降下火砕物及び積雪はともに予見性があり緩和措置を講じる十分な時間猶予がある事象であるが、積雪により湿潤状態の降下火砕物以上の荷重の負荷が生じる可能性があることを踏まえ、同法の考え方（主と従の考え方）を参考として評価を実施する。

降下火砕物と積雪の重ね合わせにおいて、降下火砕物の荷重条件は積雪の荷重条件より厳しく、発生した際の荷重が比較的大きいことから、降下火砕物が主荷重となる。したがって、今回の評価においては降下火砕物を主の荷重、積

雪を従の荷重として評価を実施する。

従の荷重となる東海村における平均的な積雪量は、茨城県建築基準法施行細則（昭和 45 年 3 月 9 日茨城県規則第 9 号）による東海村の垂直積雪量 30cm に 0.35 を乗じた 10.5cm となる。また、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を適用することは平均的な値として保守性を有していることを添付資料－ 2 に示す。

10.5cm は水戸地方気象台の年最大積雪深の平均値（1945 年～2012 年）と同等の値である。参考として積雪量のヒストグラムを図 1 に示す。



※ 観測を行っていない年については統計から除外

図 1 積雪量ヒストグラム

※1 垂直積雪量が 1m を超える場合又は 1 年ごとの積雪の継続期間が 30 日を超える場合で、管轄の特定行政庁が規則で指定した区域（建築基準法より）

建築基準法における自然現象の組み合わせによる荷重の考え方

「建築物荷重指針・同解説(2004)」によると、建築基準法における組み合わせは、基本的には Turkstra の経験則^{*1}と同様の考え方であり、同経験則に従えば、考慮すべきは主たる荷重が最大を取る時点の荷重の組み合わせであり、従たる荷重の値としては、その確率過程的な意味での平均的な値を採用することができるとしている。

組み合わせは、一般には短期においてのみであり、固定荷重と積載荷重に組み合わせる自然現象による荷重は単独の「積雪」、「風」及び「地震」である。また、それらを組み合わせることはない。建築基準法における荷重の考え方を表 1 に示す。

表 1 建築基準法施行令からの抜粋

力の種類	荷重及び外力について想定する状態	一般の場合	第 86 条第 2 項ただし書の規定により特定行政庁が指定する多雪区域における場合
長期に生ずる力	常時	G + P	G + P
	積雪時		G + P + 0.7 S
短期に生ずる力	積雪時	G + P + S	G + P + S
	暴風時	G + P + W	G + P + 0.35 S + W
	地震時	G + P + K	G + P + 0.35 S + K

ここで、 G：第 84 条に規定する固定荷重によって生ずる力
 P：第 85 条に規定する積載荷重によって生ずる力
 S：第 86 条に規定する積雪荷重によって生ずる力
 W：第 87 条に規定する風圧力によって生ずる力
 K：第 88 条に規定する地震力によって生ずる力

東海第二発電所は該当しないが、建築基準法では、その地方における垂直積雪量が1mを超える場合又は1年ごとの積雪の継続時間が30日を超える場合は、管轄の特定行政庁が規定でその地方を多雪区域に指定するとともに、その地方における積雪荷重を規定している。一方、東海第二発電所が存在する多雪区域指定のない地域においては、暴風時及び地震時の積雪荷重に関する組み合わせを考慮する必要はないとされている。

構築物の構造計算に当たって考慮すべき積雪荷重として、次の4つの状態が設定されている。^{※2}

① 短期に発生する積雪状態

この状態に対する積雪荷重は、短期積雪荷重と呼ばれており、冬季の最大積雪としておおむね3日程度の継続期間を想定した50年再現期待値として設定される値である。

$$S = d \cdot \rho$$

ここで、

S：短期積雪荷重 (N/m²)

d：垂直積雪量^{※3} (cm)

ρ：積雪の単位荷重^{※4} (N/cm/m²)

② 長期に発生する積雪状態

この状態に対する積雪荷重は、長期積雪荷重と呼ばれ、おおむね3か月程度の継続期間を想定したものである。この荷重は多雪区域における建築物の構造計算を行うときにのみ用いられる荷重であり、その値は短期積雪荷重の0.7倍である。

③ 冬季の平均的な積雪状態

この状態は、多雪区域において積雪時に強い季節風等の暴風又は地震に襲われたときに想定するものである。この場合の荷重・外力を「主の荷重」と「従の荷重」に区分すると、風圧力又は地震力を「主の荷重」、積雪荷重を「従の荷重」とみなすことができる。「従の荷重」として想定する積雪はその地方における冬季の平均的な積雪で、①項の短期積雪荷重の 0.35 倍である。

④ 極めて稀に発生する積雪状態

この状態に対する積雪荷重は、構築物が想定すべき最大級の荷重として、①項の短期積雪荷重の 1.4 倍である。

※1 基準期間中の最大値はある荷重（主荷重）の最大値とその他の荷重（従荷重）の任意時刻における値との和によって近似的に評価できるとするもの

※2 「2007年版 建築物の構造関係技術基準解説書」

※3 東海村における垂直積雪量は 30cm（茨城県建築基準法施行細則（昭和 45 年 3 月 9 日茨城県規則第 9 号）より）

※4 積雪量 1cm 当たり 20N/m^2 （建築基準法より）

建築基準法における平均的な積雪量について

建築基準法において従の荷重として積雪を重ね合わせる場合、その積雪量(荷重)は、その地方における冬季の平均的な積雪量であり、短期積雪荷重の0.35倍としている。

平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35については、有識者によりその妥当性が考察されており、それらの結果を踏まえ、「建築物荷重指針・同解説(2004)」では、暴風時又は地震時において組み合わせるべき雪荷重の値として、表1のとおり積雪期間3ヶ月以上の地点では0.3を推奨しており、積雪期間が1ヶ月以上3ヶ月未満の場合は、積雪期間に応じて直線補正すればよいとしている。

表1 組み合わせ荷重のための係数

積雪期間	1ヶ月未満	1ヶ月以上3ヶ月未満	3ヶ月以上
係数	0	積雪期間に応じて直線補正	0.3

上記考察の一例として神田^{*1}により、積雪深の推移過程を矩形と仮定して、許容応力度設計下で風荷重または地震荷重と組み合わせる時の荷重係数が試算されている。そこでは、積雪期間を3ヶ月、平年の積雪深(年最大積雪深の平均値)を50年期待値の1/2(年最大積雪深の平均値=0.5)としたときの荷重係数は、0.2~0.36になることが得られており、比較的積雪深が大きく積雪期間が長い場合には0.35を用い、積雪深、期間に応じて0.1以下程度まで低減して用いることが合理的であるとされている。

神田の評価手法に水戸地方気象台の観測データ等（積雪期間を1ヶ月^{※2}、平年の積雪深を50年期待値の0.35^{※3}）を当てはめてみると、荷重係数は0.05～0.19となる。

※1 神田 順：雪荷重用荷重組合せ係数に関する一考察，日本建築学会大会学術講演梗概集 B, pp, 127-128, 1990

※2 気象庁 HP より，雪日数（雪が降った日）の最大値は32日であり，保守的に積雪期間として設定

※3 年最大積雪深の平均値（10.5cm）／50年期待値（30cm）＝0.35

なお，30cmは茨城県建築基準法施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）における東海村の垂直積雪量

原子力発電所で使用する塗料について

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屋外設備の外表面に対する塗装には，耐食性等を考慮した塗料を使用している。

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，厳しい腐食環境にさらされるため，エポキシ樹脂系等の塗料が複数層で塗布されている。エポキシ樹脂系は，耐薬品性*が強く，酸性物質を帯びた降下火砕物が付着，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（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）及び残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系配管等の海水と直接接する系統については，ポリエチレン系やゴム系等のライニングが施されている。

したがって，降下火砕物の屋外設備への付着や堆積及び海水系等への混入により，直ちに金属表面の腐食が進むことはない。

※：塗装ハンドブック（石塚末豊，中道敏彦 編集）によると，「酸，アルカリなどに水分の加わった強度腐食環境での塗装には，フェノール樹脂塗料，塩化ゴム系塗料，エポキシ樹脂塗料，タールエポキシ樹脂塗料，ウレタン樹脂塗料，シリコンアルキド樹脂塗料，フッ素樹脂塗料などの耐薬品性のある塗料が使用される。」と記載あり。

表 1 使用塗料の例

設備名称	塗料の種類		
	下塗り	中塗り	上塗り
原子炉建屋 タービン建屋	変性エポキシ樹脂系	ウレタンゴム系	ポリウレタン樹脂系
使用済燃料乾式貯蔵建屋	ウレタンゴム系	ウレタンゴム系	ウレタンゴム系
ディーゼル発電機 吸気口	—	—	フタル酸樹脂系
海水ポンプ（残留熱除去系 海水系，ディーゼル発電機 海水系）	変性エポキシ樹脂系	塩化ゴム系	塩化ゴム系
海水ストレーナ（残留熱除 去系海水系，ディーゼル発 電機海水系）	変性エポキシ樹脂系	塩化ゴム系	塩化ゴム系

降下火砕物の金属腐食研究について

桜島降下火砕物による金属腐食研究成果を東海第二発電所における降下火砕物による金属腐食の影響評価に適用する考え方について、以下に示す。

1. 適用の考え方

降下火砕物による金属腐食については、主として火山ガス(SO_2)が付着した降下火砕物の影響によるものである。

降下火砕物による腐食影響において引用した研究文献「火山環境における金属材料の腐食」では、実降下火砕物である桜島降下火砕物を用いて、実際の火山環境に近い状態を模擬するため、高濃度の亜硫酸ガス(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、降下火砕物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、東海第二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と考える。

2. 研究文献「火山環境における金属材料の腐食」の概要

(1) 試験概要

「火山環境における金属材料の腐食（出雲茂人，末吉秀一他），防食技術 Vol. 39, pp. 247-253, 1990」によると、降下火砕物を水で洗浄し、可溶性の成分を除去した後、金属試験片に堆積させ、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

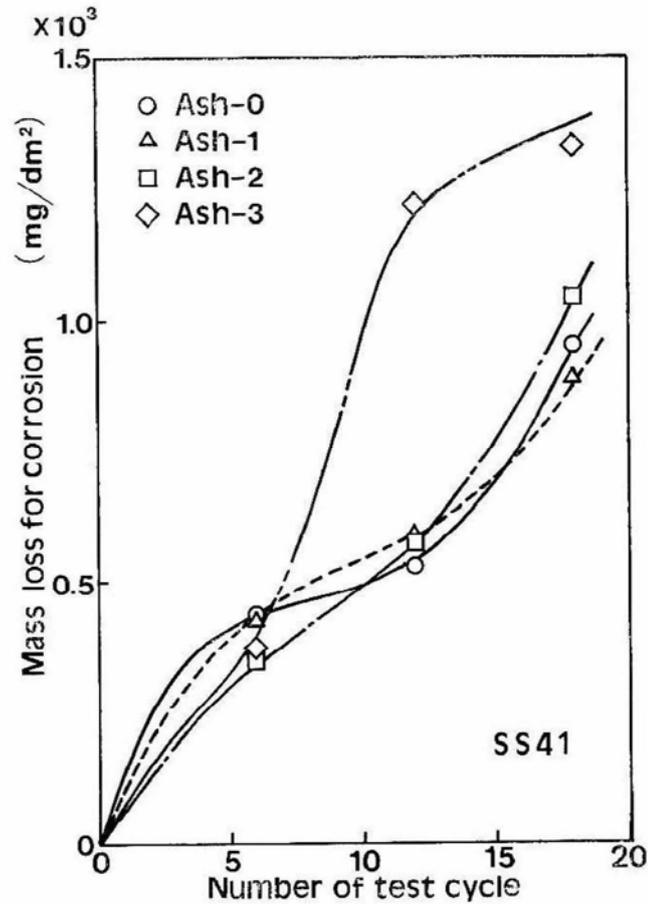
図1に示すとおり、降下火砕物の堆積量が多い場合は、降下火砕物の堆積なし又は堆積量が少ない場合と比較して、金属試験片の腐食が促進されるが、腐食量は表面厚さにして十数 μm 程度との結果が得られ、降下火砕物層では結露しやすいこと並びに保水効果が大きいことにより腐食が促進されると結論づけられている。

(3) 試験結果からの考察

降下火砕物による腐食については、主として火山ガスが付着した降下火砕物の影響によるものであり、本研究においては、金属試験片の表面に降下火砕物を堆積させ、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。

腐食の要因となる火山ガスを常に高濃度の雰囲気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降下火砕物よりも高い腐食条件^{*}で金属腐食量を求めており、東海第二発電所で考慮する降下火砕物についても十分適用可能である。

- ※ ・三宅島火山の噴火口付近の観測記：20～30ppm（「三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 1 SS41 の腐食による質量変化

給水処理設備に係る影響評価について

水質汚染については、工業用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。

図 1 に示すとおり、給水に使用する工業用水はろ過装置、純水装置を経て純水貯蔵タンクに供給される。ろ過水貯蔵タンクに貯留された水は飲料水及び雑用水に供給されるが、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。

純水貯蔵タンクに貯留された純水は補給水系に供給され、復水貯蔵タンク及びほう酸水注入系等へ給水されるが、いずれも、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。

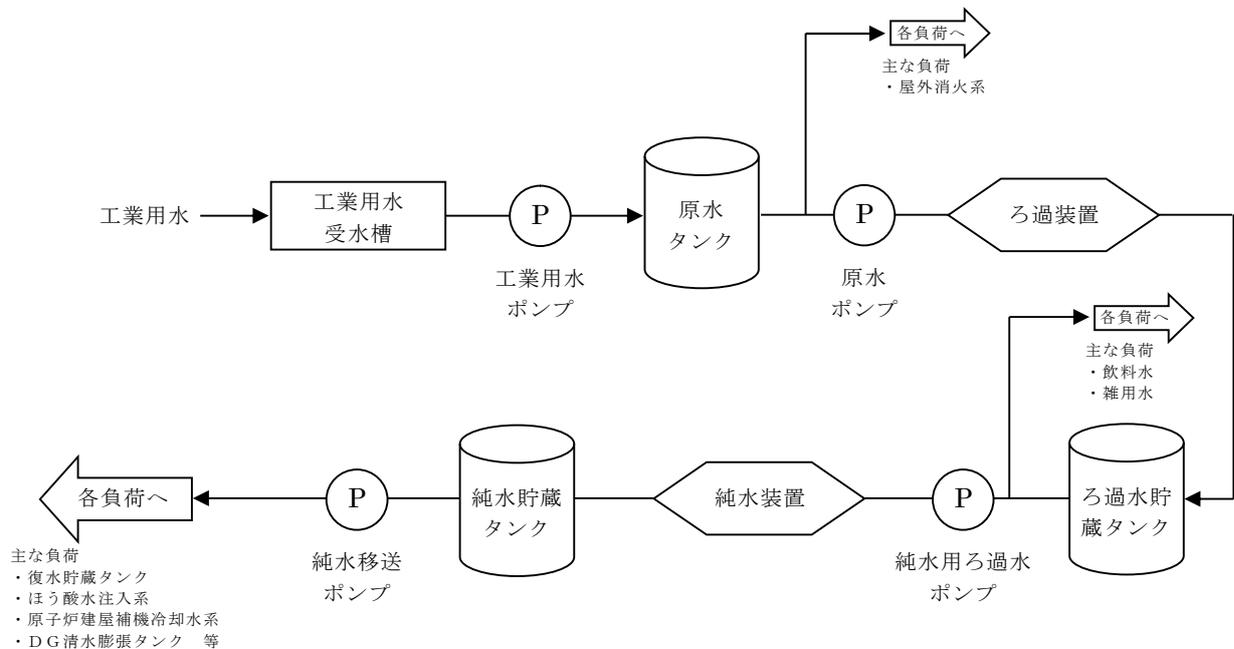


図 1 外部から供給される水源の概略系統図

降下火砕物のその他設備への影響評価について

降下火砕物のその他設備への影響について、以下のとおり評価する。

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) モニタリング設備
- (2) 消火設備
- (3) 通信連絡設備
- (4) 緊急時対策所

2. 評価結果

(1) モニタリング設備

モニタリング設備の検出器は、図1のとおり半球型の構造であり降下火砕物が堆積し難い構造である。

したがって、降下火砕物によりモニタリング設備の機能に影響を及ぼすことはない。



図1 モニタリング設備検出器

(2) 消火設備

電動消火ポンプ及びディーゼル駆動消火ポンプは屋内（タービン建屋）に設置されている。それらが設置されている部屋の給気設備は図2のとおり空気が曲がりながら流れる構造となっており、建屋壁面にはルーバーも設置されているため、多量の降下火砕物が侵入する可能性は小さいと考えられるが、適宜現場の状況を確認し、必要に応じルーバーを閉止もしくは換気空調系を停止することで、降下火砕物の侵入を防止する。

ディーゼル駆動消火ポンプの排気管は、図3のとおり、開口部が横方向であり、降下火砕物は侵入し難い構造となっている。また、運転中は排気していること、待機中であっても外気を吸い込む構造ではないため、降下火砕物が侵入することはない。

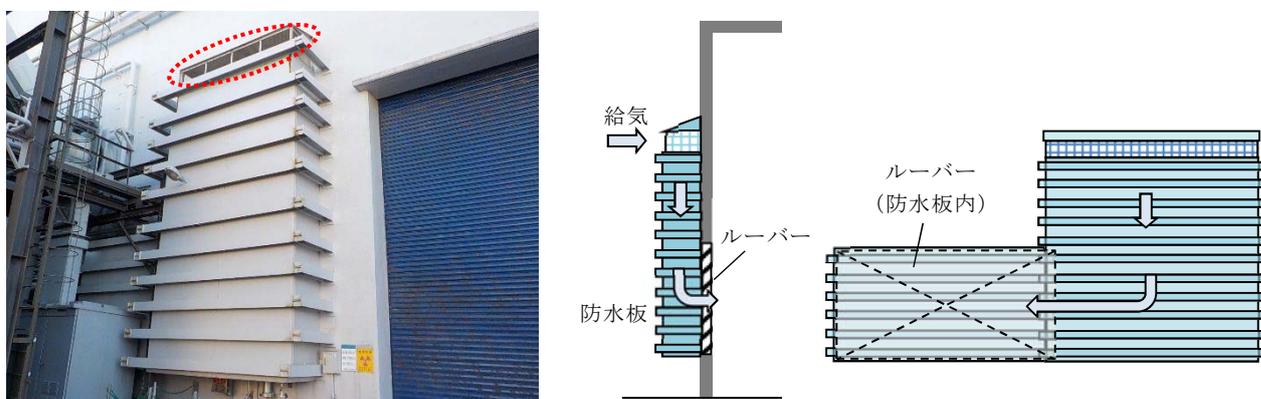


図2 ディーゼル駆動消火ポンプ室給気口

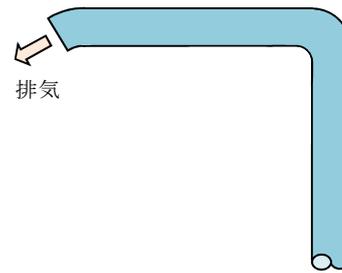
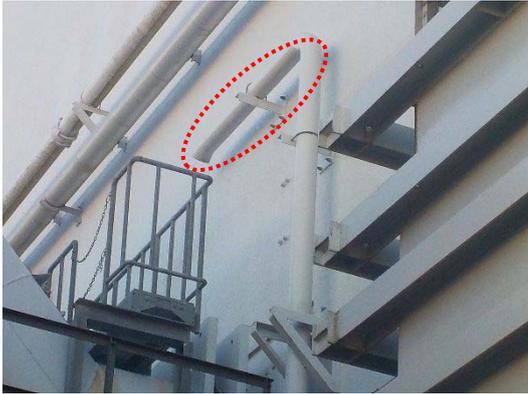


図3 ディーゼル駆動消火ポンプ排気管

(3) 通信連絡設備

通信連絡設備は、表1のとおり多様化を図っており、降下火砕物の影響によりすべての通信機能を喪失することは考え難い。

表1 主な通信設備

発電所外通信連絡設備	発電所内通信連絡設備
<ul style="list-style-type: none"> ・電力保安通信用電話設備 ・衛星電話設備 ・加入電話 ・テレビ会議システム ・統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備 	<ul style="list-style-type: none"> ・電力保安通信用電話設備 ・衛星電話設備 ・無線連絡設備 ・運転指令設備 ・携行型有線電話設備

(4) 緊急時対策所

緊急時対策所については、降下火砕物等の荷重に対して、健全性を損なわない設計とする。

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 第13版 第5編 空気調和設備設計」に基づき、酸素濃度及び炭酸ガス濃度について評価した。

a. 酸素濃度

【評価条件】

- ・ 在室人数：100人（緊急時対策本部に収容する最大の対策要員数）
- ・ 緊急時対策所バウンダリ内体積：2,900m³（基本設計値）
- ・ 空気流入はないものとする。
- ・ 初期酸素濃度：20.95%
- ・ 1人あたりの呼吸量は、歩行時の呼吸量を適用して、24L/minとする。
- ・ 1人あたりの酸素消費量は、呼気の酸素濃度16.40%から65.52L/hとする。
- ・ 管理濃度は19%以上とする。（鉱山保安法施行規則）

【評価結果】

表1 緊急時対策所における酸素濃度の時間変化

時間	2時間	4時間	6時間	8.6時間	管理値
酸素濃度	20.4%	20.0%	19.5%	19.0%	19.0%

b. 炭酸ガス濃度

【評価条件】

- ・ 在室人数：100人（緊急時対策本部に収容する最大の対策要員数）

- ・緊急時対策所バウンダリ内体積：2,900m³（基本設計値）
- ・空気流入はないものとする。
- ・初期二酸化炭素濃度 0.03%
- ・1人あたりの二酸化炭素吐出量は、中等作業での吐出量を適用して0.046m³/hとする。
- ・管理濃度は1.0%未満とする。（鉱山保安法施行規則）

【評価結果】

表2 緊急時対策所における炭酸ガス濃度

時間	1時間	2時間	4時間	6.1時間	管理値
二酸化炭素濃度	0.19%	0.35%	0.67%	1.00%	1.00%

以上の結果から、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6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しているが、間欠して外気を取り入れることで、緊急時対策所の居住性がより長時間維持される。

降下火砕物の除去に要する時間について

降下火砕物の除去に要する時間について，土木工事の人力作業を参考に評価した結果を以下に示す。

1. 評価条件

堆積面積 1m^2 あたりの作業人工等の評価条件を表 1 に示す。

表 1 降下火砕物の除去に要する時間の評価条件

項目	評価値	
①堆積面積 (m^2)	原子炉建屋 (附属棟含む)	約4,490
	タービン建屋	約7,320
	使用済燃料乾式貯蔵建屋	約1,400
	合計	約13,210
②堆積厚さ (m)	0.5	
③堆積量 = ① × ② (m^3)	6,605	
④ 1m^3 当たりの作業人工*	0.39	

※：「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

2. 評価結果

降下火砕物の除去に要する作業量は以下のとおり。

$$0.39 \text{ 人/日} \cdot \text{m}^3 \times 6,605\text{m}^3 = \text{約 } 2,576 \text{ 人日}$$

以上の結果から，降下火砕物の除去に人員を約 120 人動員した場合，3 週間程度で降下火砕物を除去できる。また，人員を増やすことによりさらに期間の短縮が可能である。

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、湿ったのちに乾燥すると固結する特徴を持っており、影響モードとして閉塞が考えられるが、一般的に流水等で除去可能である。

降下火砕物が固結した場合の評価対象施設に対する影響モードとしては、水循環系の閉塞及び換気系、電気系及び計装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、電気系及び計装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はガラリ等が設置されており下方向から吸い込む構造となっていることから、平時に比べ降水の際は降下火砕物の侵入は減少すると考えられる。なお、侵入した降下火砕物は外気取入口のフィルタによって除去されるが、湿った降下火砕物がフィルタに付着し固結した場合においても、フィルタ部の取替が可能なことから、固結による影響はない。

一方、評価対象施設に対して間接的な影響を与え得る事象としては、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が、評価対象施設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、少量の降水に対しては有意な影響を及ぼさないと考えられる。

火山影響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。

東海第二発電所 火山影響評価	原子力発電所の火山影響評価ガイド
<p>1. はじめに</p> <p>原子力規制委員会の定める「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れないものでなければならず、敷地周辺の自然現象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</p> <p>を評価するための「原子力発電所の火山影響評価ガイド」を参照し、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 	<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れないものでなければならず、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。</p> <p>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>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> <ul style="list-style-type: none"> (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) (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) (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) (4) IAEA Safety Standards “Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations” (No. SSG-21, 2012)

原子力発電所の火山影響評価ガイド	東海第二発電所 火山影響評価
<p>【立地評価】（項目名のみ記載）</p> <ol 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. 火山活動のモニタリング 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、降下火砕物のみが東海第二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>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	東海第二発電所 火山影響評価
<p>6. 原子力発電所への火山事象の影響評価</p> <p>原子力発電所の運用期間中において設計対応不可能な火山事象によって原子力発電所の安全性に影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価された火山について、それが噴出した場合、原子力発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象を表1に従い抽出し、その影響評価を行う。</p> <p>ただし、降下火砕物に関しては、火山抽出の結果にかかわらず、原子力発電所の敷地及びその周辺調査から求められる単位面積あたりの質量と同等の火砕物が降下するものとする。なお、敷地及び敷地周辺で確認された降下火砕物で、噴出源が同定でき、その噴出源が将来噴火する可能性が否定でき見積もられるケースがあるため、文献等も参考にして、第四紀火山の噴火による降下火砕物の堆積量を評価すること。(解説-14)</p> <p>抽出された火山事象に対して、4章及び5章の調査結果等を踏まえて、原子力発電所への影響評価を行うための、各事象の特性と規模を設定する。(解説-15)</p> <p>以下に、各火山事象の影響評価の方法を示す。</p> <p>解説-14. 文献等には日本第四紀学会の「日本第四紀地図」を含む。</p> <p>解説-15. 原子力発電所との位置関係について</p> <p>表1に記載の距離は、原子力発電所火山影響評価技術指針(JEAG4625)から引用した。JEAG4625では、調査対象火山事象と原子力発電所との距離は、わが国における第四紀火山の火山噴出物の既往最大到達距離を参考に設定している。また、噴出中心又は発生源の位置が不明な場合には、第四紀火山の火山噴出物等の既往最大到達距離と噴出物の分布を参考にしてその位置を想定する。</p> <p>例えば、噴出中心と原子力発電所との距離が、表中の位置関係に記載の距離より短ければ、火山事象により原子力発電所が影響を受ける可能性があると考えられる。</p>	<p>【影響評価】</p> <p>6. 原子力発電所への火山事象の影響評価</p> <p>原子力発電所に影響を及ぼし得る火山について、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、地質調査、文献調査及び降下火砕物コミュニケーション結果から総合的に判断し50cmとした。</p>

東海第二発電所 火山影響評価	原子力発電所の火山影響評価ガイド
<p>6. 1 降下火砕物</p> <p>(1) 降下火砕物の影響</p> <p>(a) 直接的影響</p> <p>降下火砕物は、最も広範囲に及ぶ火山事象で、ごくわずかな火山灰の堆積でも、原子力発電所の通常運転を妨げる可能性がある。降下火砕物により、原子力発電所の構造物への静的負荷、粒子の閉塞及びその内部における磨耗、換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的及び化学的影響、並びに原子力発電所周辺の大気汚染等の影響が挙げられる。</p> <p>降雨・降雪などの自然現象は、火山灰等堆積物の静的負荷を著しく増大させる可能性がある。火山灰粒子には、化学的腐食や給水の汚染を引き起こす成分（塩素イオン、フッ素イオン、硫化物イオン等）が含まれている。</p> <p>(b) 間接的影響</p> <p>前述のように、降下火砕物は広範囲に及ぶことから、原子力発電所周辺の社会インフラに影響を及ぼす。この中には、広範囲な送電網の損傷による長期外部電源喪失や原子力発電所へのアクセス制限事象が発生しうることも考慮する必要がある。</p> <p>(2) 降下火砕物による原子力発電所への影響評価</p> <p>降下火砕物の影響評価では、降下火砕物の堆積物量、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)</p>	<p>6. 1 降下火砕物</p> <p>(1) 降下火砕物の影響</p> <p>(a) 直接的影響</p> <p>降下火砕物は、最も広範囲に及ぶ火山事象で、ごくわずかな火山灰の堆積でも、原子力発電所の通常運転を妨げる可能性がある。原子力発電所の構造物への静的負荷（降雨等の影響を含む。）、粒子の衝突等、降下火砕物が設備に影響を与える可能性のある因子を網羅的に抽出・評価し、その中から詳細に検討すべき影響因子を選定した。</p> <p>影響評価において必要となる降下火砕物の粒径及び密度については、地質調査及び文献調査を基に設定した。なお、降下火砕物の密度については、降雨の影響を考慮した。</p> <p>(b) 間接的影響</p> <p>降下火砕物は広範囲に及ぶことから、広範囲にわたる送電網の損傷による長期の外部電源喪失の可能性や原子力発電所への交通の途絶の可能性も考慮し、間接的影響を確認した。</p> <p>(2) 降下火砕物による原子力発電所への影響評価</p> <p>降下火砕物の影響評価を考慮すべき施設（評価対象施設）としては、重要安全施設のうち、屋外の構築物、系統及び機器、又は、屋外設置であるが屋外に開口している設備を抽出し、評価対象施設としている。ただし、その構築物、系統及び機器であつても、機能喪失すること、当該施設の運転に影響を及ぼす場合は評価対象施設として抽出する。なお、建物については、クラス1及びクラス2の安全施設及びその機能に影響を及ぼし得る建物を評価対象施設として抽出した。抽出した評価対象施設について影響を評価し、原子炉施設の安全性を損なわないことを確認した。</p>

原子力発電所の火山影響評価ガイド	東海第二発電所 火山影響評価
<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。 <p>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とができる。</p> <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>(3) 降下火砕物の影響の確認結果</p> <p>(a) 直接的影響の確認事項</p> <p>① 降下火砕物堆積荷重に対して、原子炉建屋、海水ポンプ（残留熱除去系海水系、ディーゼル発電機海水系）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、海水ポンプ（残留熱除去系海水系、ディーゼル発電機海水系）、海水ストレーナ（残留熱除去系海水系、ディーゼル発電機海水系）、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、フィルタによって大部分の降下火砕物は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、中央制御室換気空調系については、外気取入ダンプを閉止し閉回路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 必要に応じて、構築物、系統及び機器における降下火砕物の除去、換気空調系フィルタの清掃・取替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）を考慮した場合には、発電所内に貯蔵されている燃料油等により、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>

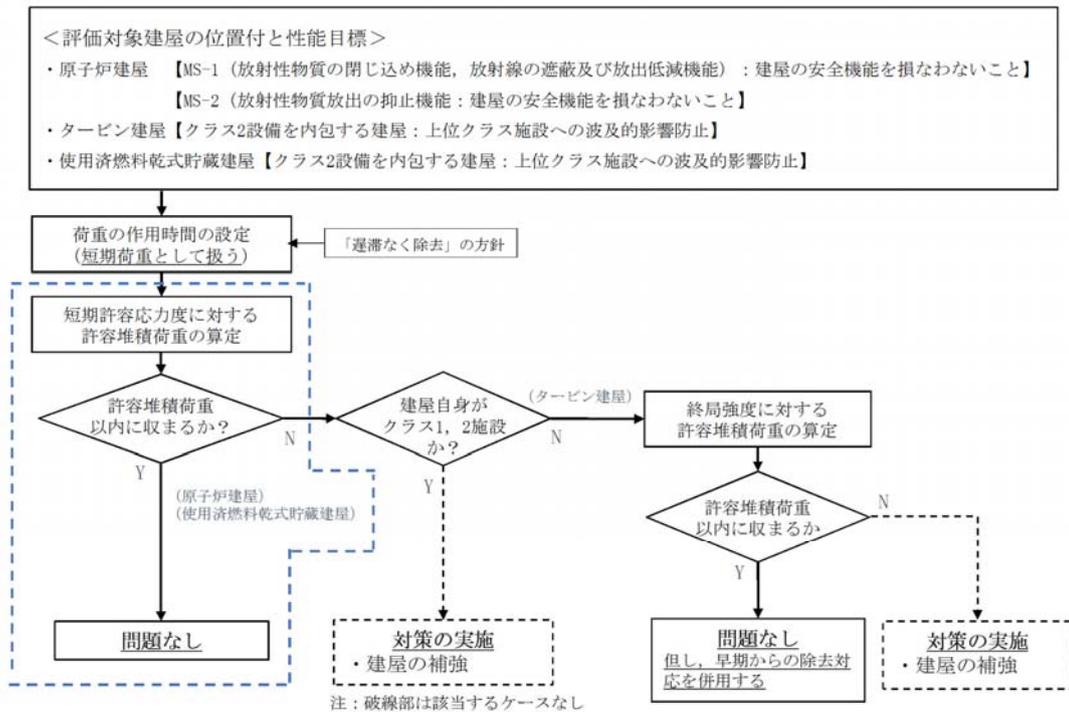
東海第二発電所 火山影響評価	原子力発電所の火山影響評価ガイド
<p>原子力発電所に影響を及ぼし得る火山について、運用期間中の噴火規模を考慮し、敷地において考慮する火山事象を評価した結果、降下火砕物以外の火山事象については、原子炉施設の安全機能に影響を及ぼすことはないとして評価した。</p> <p style="text-align: center;">以 上</p>	<p>【立地評価の結果を考慮し評価する項目】（項目名のみ記載）</p> <ul style="list-style-type: none"> 6. 2 火砕物密度流 6. 3 溶岩流 6. 4 岩層なだれ、地滑り及び斜面崩壊 6. 5 火山性土石流、火山泥流及び洪水 6. 6 火山から発生する飛来物（噴石） 6. 7 火山ガス 6. 8 新しい火口の開口 6. 9 津波及び崩振 6. 1 0 大気現象 6. 1 1 地殻変動 6. 1 2 火山性地震とこれに関連する事象 6. 1 3 熱水系及び地下水の異常 <p>7. 附則</p> <p>この規定は、平成25年7月8日より施行する。</p> <p>評価方法は、本評価ガイドに掲げるものを以外であつても、その妥当性が適切に示された場合には、その方法を用いることを妨げない。また、本評価ガイドは、今後の新たな知見と経験の蓄積に応じて、それらを適切に反映するように見直しして行くものとする。</p>

原子炉建屋の建屋健全性評価について

1. 基本方針

(1) 概要

降下火砕物の堆積荷重に対して原子炉建屋が健全性を有することを、応力解析による評価によって確認する。第 1-1 図に示す建屋健全性評価の考え方フローに従い、原子炉建屋については短期許容応力度に対する評価内容及び評価結果を示す。

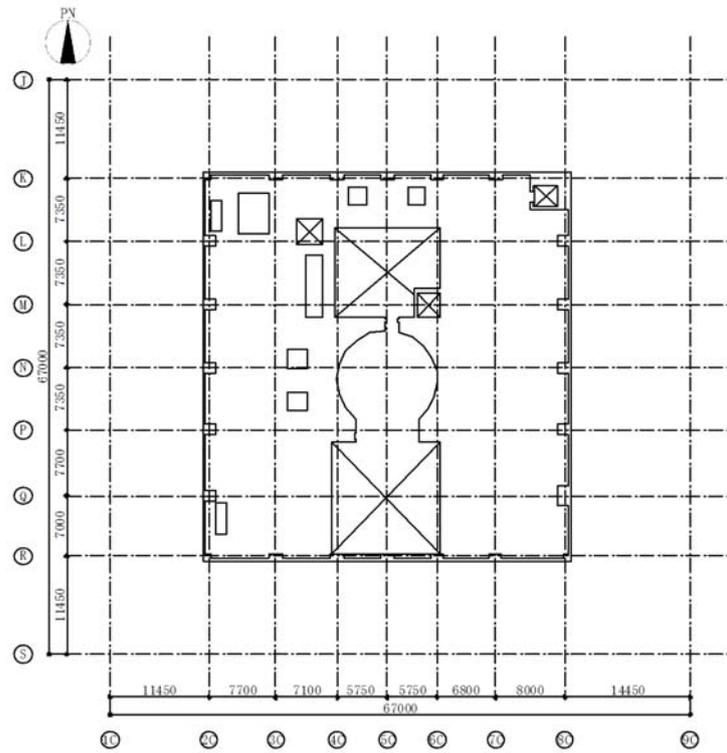


第 1-1 図 建屋健全性評価の考え方

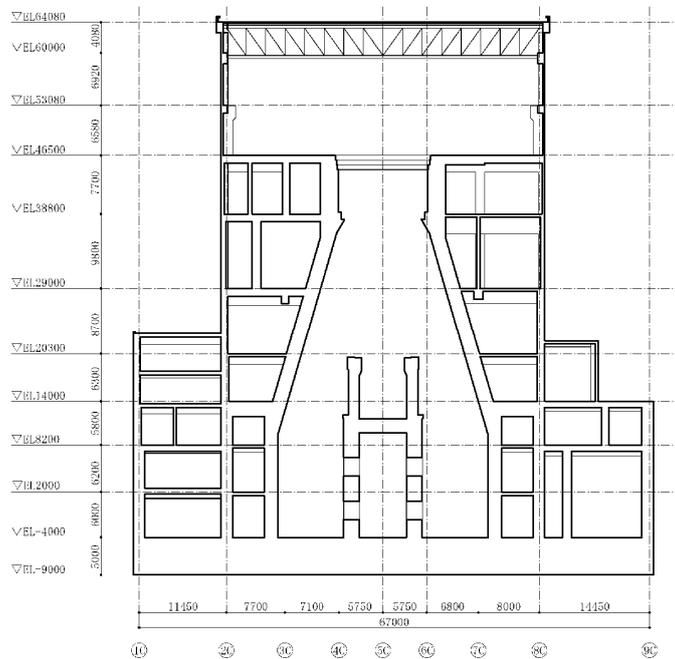
(2) 構造概要

原子炉建屋は、地上 6 階、地下 2 階建で、平面が約 67 m（南北方向）× 約 67 m（東西方向）の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）の建物である。

原子炉建屋の概略平面図を第 1-2 図に、概略断面図を第 1-3 図に示す



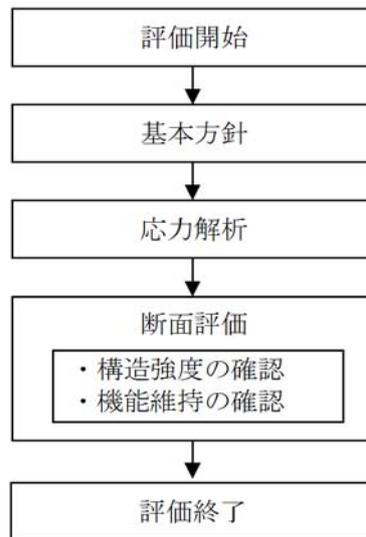
第 1-2 図 原子炉建屋の概略平面図 (EL. +46.5 m)



第 1-3 図 原子炉建屋の概略断面図 (E W方向)

(3) 評価方針

降下火砕物の堆積荷重に対して、応力解析による断面の評価を行うことで、建物の構造強度及び機能維持の確認を行う。第 1-4 図に評価フローを示す。



第 1-4 図 各建屋の評価フロー

(4) 適用規格・基準等

本評価において、準拠する規格基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 平成 12 年建設省告示第 2464 号
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005）
- ・ 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）（以下「技術基準解説書」という。）

2. 応力解析による評価方法

原子炉建屋の応力解析による評価対象部位は屋根トラスとする。

(1) 評価方針及び評価対象部位

- ・評価対象部位は、主要な部材のうち、本構造物では、梁間方向に主トラスが配されており、これが主体構造として降下火砕物等の鉛直荷重に対して抵抗しているため、主トラス（上下弦材、斜材、束材）を選定した。
- ・降下火砕物に対する評価は、降下火砕物の堆積荷重と堆積荷重以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」を参考に設定した許容限界を超えないことを確認する。

(2) 荷重及び荷重の組合せ

a. 荷重

(a) 固定荷重 (DL)

屋根トラスに考慮する荷重を第 2-1 表に示す。

第 2-1 表 固定荷重 (屋根トラス)

固定荷重 (DL)
5,364N/m ²

(b) 積雪荷重 (SNL)

屋根トラスに作用する積載荷重を第 2-2 表に示す。

第 2-2 表 積雪荷重 (SNL)

積雪荷重 (SNL)
210N/m ²

(c) 降下火砕物の堆積荷重 (VAL)

屋根トラスに作用する積載荷重を第 2-3 表に示す。

第 2-3 表 積雪荷重 (VAL)

降下火砕物の堆積荷重 (VAL)
7,355N/m ²

(d) 荷重の組合せ

屋根トラスに作用する荷重の組合せを第 2-4 表に示す。

第 2-4 表 荷重の組合せ

荷重の組合せ
DL+SNL+VAL

(3) 許容限界

応力解析による評価における原子炉建屋の許容限界を第 2-5 表に示す。

また、鋼材の基準強度及び評価基準値を第 2-6 表に示す。

第 2-5 表 応力評価解析における許容限界

機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界
原子炉建屋の安全機能を損なわないこと	主トラス 上弦材 下弦材 斜材 束材	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」における短期許容応力度

第 2-6 表 鋼材の基準強度及び評価基準値

鋼材種類	板厚 (mm)	基準強度 F (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)	
			引張	圧縮及び曲げ
SS400 (SS41)	t ≤ 40	235	235	235*

3. 応力解析モデル及び緒元

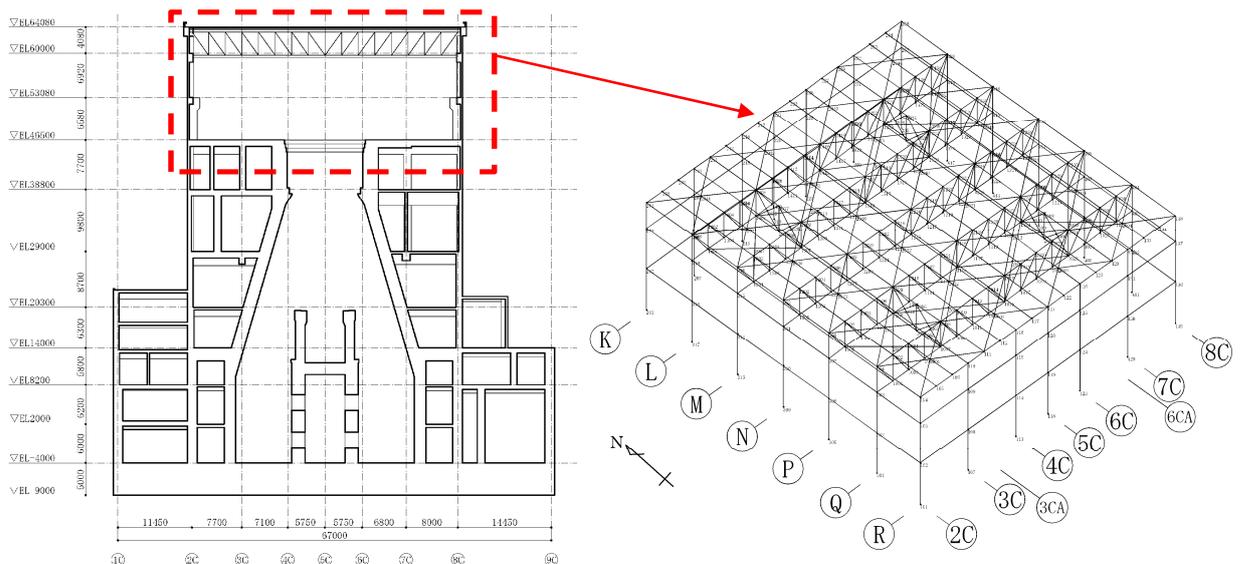
屋根トラスの応力解析モデル及び緒元を以下に示す。

(1) モデル化の基本方針

a. 応力解析モデルの概要

- ・主トラス上・下弦材は、軸・曲げ・せん断剛性のある梁要素，斜材と束材は軸剛性だけのトラス要素とする。
- ・各部材長さは部材芯位置でモデル化する。
- ・オペレーティングフロアより上部構造を 3 次元の立体架構でモデル化する。

原子炉建屋断面図と屋根トラスの検討モデルを第 3-1 図に示す。



第 3-1 図 原子炉建屋断面図 (EW側) 及び立体架構モデル

b. 解析コード

D Y N A 2 E Ver. 8. 0

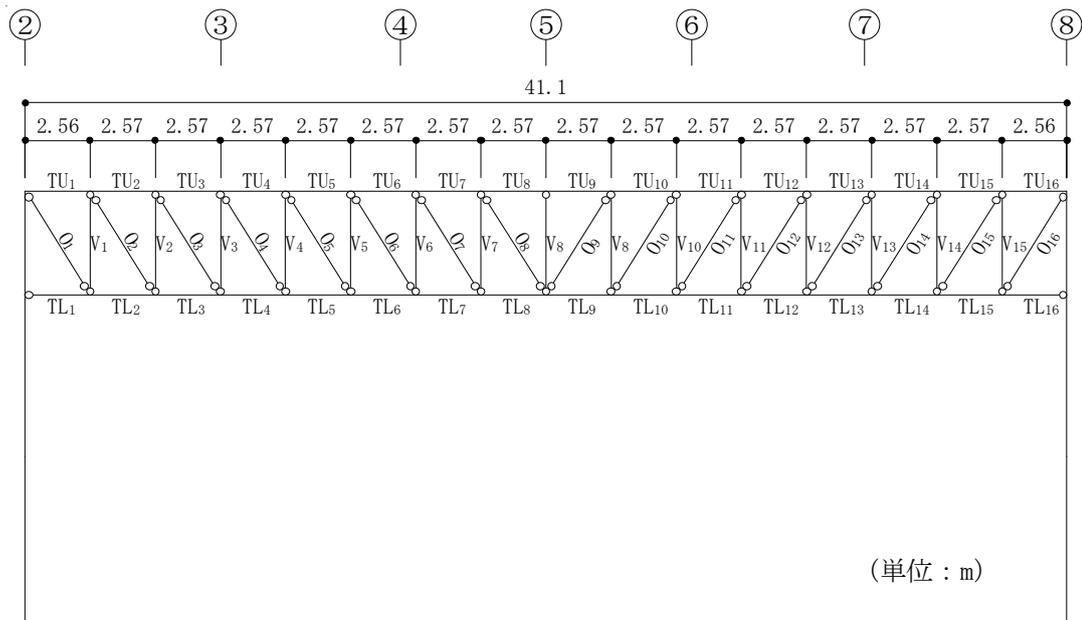
c. 検討部材の形状・寸法

検討部材の形状と寸法を第 3-1 表に示す。また、部材位置を第 3-2 図に示す。

第 3-1 表 検討部材の形状・寸法

部位	部材符号	形状寸法	材質
上弦材	TU ₁ ~TU ₁₆	H-400×400×13×21	SS400* (SS41)
下弦材	TL ₁ ~TL ₁₆	H-400×400×13×21	
斜材	O ₁ , O ₂ , O ₁₅ , O ₁₆	2Ls-200×200×15	
	O ₃ , O ₄ , O ₁₃ , O ₁₄	2Ls-150×150×15	
	O ₅ ~O ₁₂	2Ls-150×100×12	
束材	V ₁ , V ₂ , V ₁₄ , V ₁₅	2Ls-200×200×15	
	V ₃ , V ₁₃	2Ls-150×150×15	
	V ₄ , V ₁₂	2Ls-150×150×15	
	V ₅ ~V ₇ , V ₉ ~V ₁₁	2Ls-150×100×12	
	V ₈	2Ls-150×100×12	

※ JIS G3101 一般構造用圧延鋼材



第 3-2 図 部材位置図

d. 使用材料の物性値

使用材料の物性値を第 3-2 表に示す。

第 3-2 表 使用材料の物性値

項目	物性値
単位体積重量	77.0kN/m ³
ヤング係数	205.0kN/mm ²
せん断弾性係数	79.0kN/mm ²

(2) 評価方法

「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づき、次式をもとに計算した評価対象部位に生じる軸応力及び曲げモーメントによる応力度が短期許容応力度を超えないことを確認する。

a. 軸力のみを負担する部材の評価方法

軸力のみを負担するトラス要素(斜材, 束材等)に発生する応力度 σ_c , σ_t が, 以下の式による応力度比は1以下となることを確認する。

$$\max\left(\frac{\sigma_c}{f_c}, \frac{\sigma_t}{f_t}\right) \leq 1$$

f_c , f_t は以下の式により求める。

$$f_t = \frac{F}{1.5}$$

$$f_c = \frac{\left\{1 - 0.4\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}F}{\nu} \quad (\lambda \leq \Lambda \text{ のとき})$$

$$f_c = \frac{0.277F}{\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2} \quad (\lambda > \Lambda \text{ のとき})$$

f_c : 許容圧縮応力度 (N/mm²)

f_t : 許容引張応力度 (N/mm²)

λ : 圧縮材の細長比

Λ : 限界細長比 $\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$

E : ヤング係数

$$\nu = \frac{3}{2} + \frac{2}{3}\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$$

b. 軸力と曲げを負担する部材の評価方法

軸力と曲げを負担する梁要素（上・下弦材等）は、軸力により生じる軸応力度 σ_c 、 σ_t と曲げモーメントにより生じる曲げ応力度 σ_b の組合せに対して、以下の式により応力度比が 1 以下となることを確認する。

$$\text{【圧縮と曲げにより生じる応力度の確認】} \quad \frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_c} \leq 1$$

$$\text{【引張りと曲げにより生じる応力度の確認】} \quad \frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \leq 1$$

f_c 、 f_t は軸力を負担する場合と同じ。 f_b は以下の式により求める。

$$f_b = 1.1F \quad (\lambda_b \leq_p \lambda_b)$$

$$f_b = \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda_b -_p \lambda_b}{_e \lambda_b -_p \lambda_b} \right) \right\} 1.1F \quad (_p \lambda_b < \lambda_b \leq_e \lambda_b)$$

$$f_b = \frac{1}{\lambda_b^2} 1.1F \quad (_e \lambda_b < \lambda_b)$$

ここに、

$$\lambda_b = \sqrt{\frac{M_y}{M_e}} \quad _e \lambda_b = \frac{1}{\sqrt{0.6}}$$

$$_p \lambda_b = 0.6 + 0.3 \left(\frac{M_2}{M_1} \right) \quad C = 1.75 + 1.05 \left(\frac{M_2}{M_1} \right) + 0.3 \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^2 \leq 2.3$$

$$M_e = C \sqrt{\frac{\pi^4 EI_Y \cdot EI_w}{l_b^4} + \frac{\pi^2 EI_Y \cdot GJ}{l_b^2}}$$

f_b : 圧縮フランジの支点間距離
 l_b : 許容曲げ応力度
 ${}_p\lambda_b$: 塑性限界細長比
 M_e : 弾性横座屈モーメント
 I_Y : 弱軸まわりの断面 2 次モーメント
 I_w : 曲げねじり定数
 J : サンプナンのねじり定数
 λ_b : 弾性限界細長比
 ${}_e\lambda_b$: 曲げ部材の細長比
 C : 許容曲げ応力度の補正係数
 Z : 断面係数
 G : せん断弾性係数
 M_y : 降伏モーメント ($F \cdot Z$)

$$\nu = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda_b}{{}_e\lambda_b} \right)^2$$

4. 評価結果

断面の評価結果は、検定値が最大となる要素を選定し、評価結果を第 4-1 表に示す。降下火砕物の堆積時において、発生応力度が許容値を超えないことを確認した。

第 4-1 表 評価結果

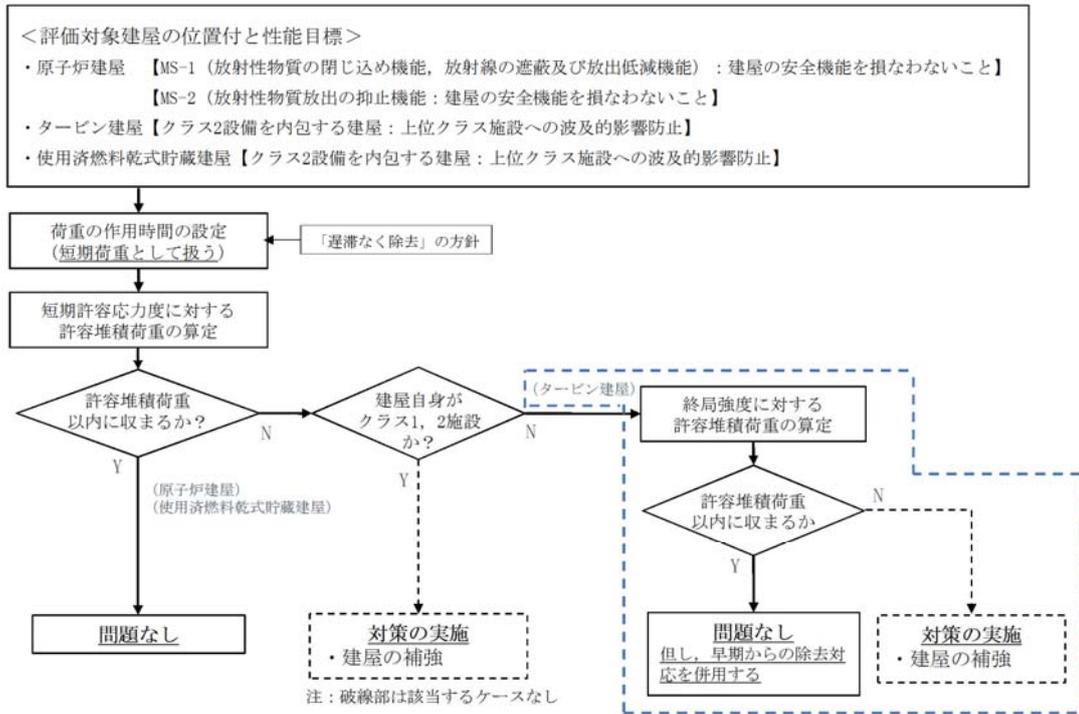
部材	発生応力	応力度 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	検定値	位置
上弦材 H-400×400×13×21	(圧縮)	105	234	0.62	P 通り TU8, TU9
	(曲げ)	38	232		
	(引張)	35	235	0.56	L 通り TU1, TU16
	(曲げ)	96	233		
下弦材 H-400×400×13×21	(圧縮)	73	226	0.46	Q 通り TL1
	(曲げ)	32	233		
	(引張)	147	235	0.81	P 通り TL8, TL9
	(曲げ)	42	178		
斜材 2Ls-150×150×15	(引張)	192	235	0.82	L 通り 03, 014
束材 2Ls-150×150×15	(圧縮)	141	144	0.98	P 通り V13

タービン建屋の建屋健全性評価について

1. 基本方針

(1) 概要

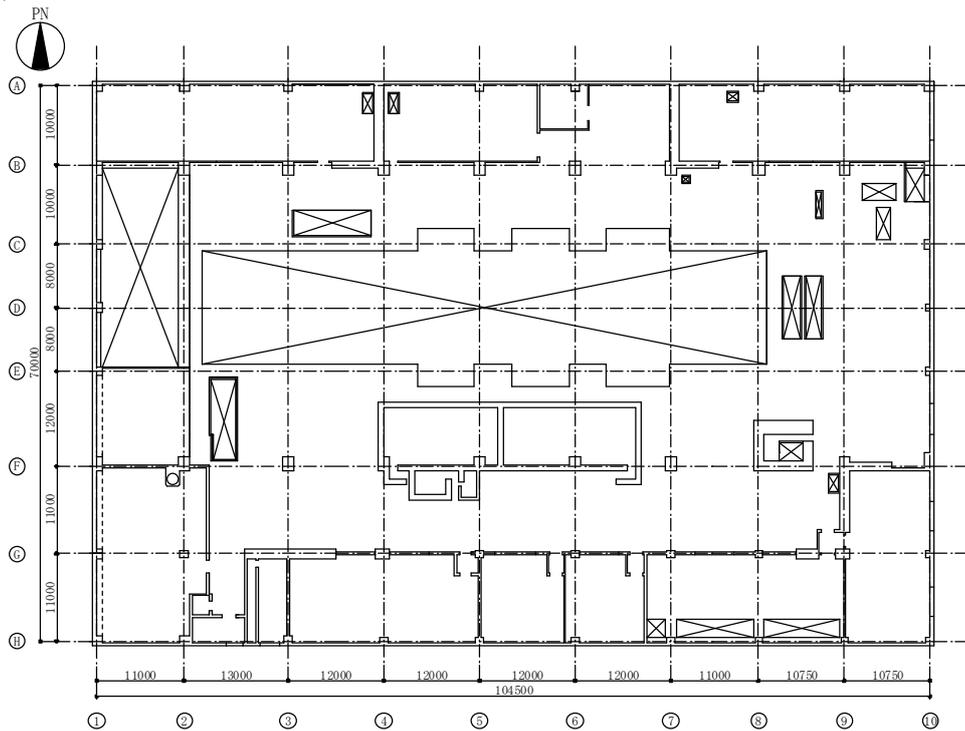
降下火砕物の堆積荷重に対してタービン建屋が健全性を有することを、応力解析による評価によって確認する。第 1-1 図に示す建屋健全性評価の考え方フローに従い、タービン建屋については終局強度に対する評価内容及び評価結果を示す。



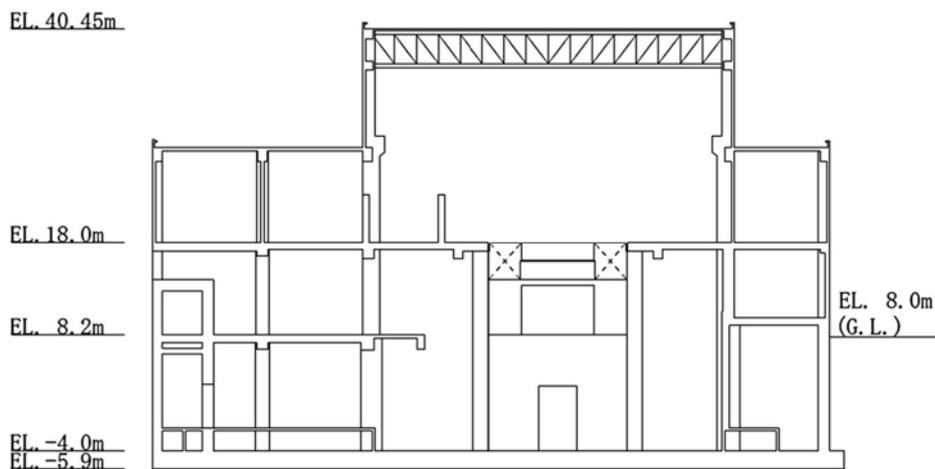
第 1-1 図 建屋健全性評価の考え方

(2) 構造概要

タービン建屋は、地上 2 階、地下 1 階建で、平面が約 105 m（南北方向）×約 70 m（東西方向）の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）の建物である。タービン建屋の概略平面図を第 1-2 図に、概略断面図を第 1-3 図に示す



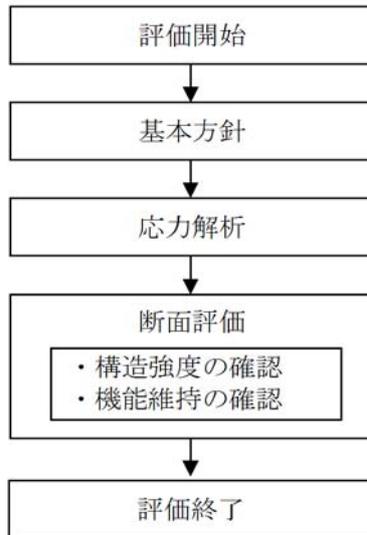
第 1-2 図 タービン建屋の概略平面図 (EL. +18.0 m)



第 1-3 図 タービン建屋の概略断面図 (N S 方向)

(3) 評価方針

降下火砕物の堆積荷重に対して、応力解析による断面の評価を行うことで、建物の構造強度及び機能維持（タービン建屋が内包するクラス 2 設備に波及的影響を及ぼさない）の確認を行う。第 1-4 図に評価フローを示す。



第 1-4 図 各建屋の評価フロー

(4) 適用規格

本評価において、準拠する規格基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 平成 12 年建設省告示第 2464 号
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005）
- ・ 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）（以下「技術基準解説書」という。）

2. 応力解析による評価方法

タービン建屋の応力解析による評価対象部位は屋根トラスとする。

(1) 評価対象部位及び評価方針

- ・評価対象部位は、主要な部材のうち、本構造物では、梁間方向に主トラスが配されており、これが主体構造として降下火砕物等の鉛直荷重に対して抵抗しているため、主トラス（上下弦材、斜材、束材）を選定した。
- ・降下火砕物に対する評価は、降下火砕物の堆積荷重と堆積荷重以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」を参考に設定した許容限界を超えないことを確認する。

(2) 荷重及び荷重の組合せ

a. 荷重

(a) 固定荷重 (DL)

屋根トラスに考慮する荷重を第 2-1 表に示す。

第 2-1 表 固定荷重 (屋根トラス)

固定荷重 (DL)
4,669N/m ²

(b) 積雪荷重 (SNL)

屋根トラスに作用する積載荷重を第 2-2 表に示す。

第 2-2 表 積雪荷重 (SNL)

積雪荷重 (SNL)
210N/m ²

(c) 降下火砕物の堆積荷重 (VAL)

屋根トラスに作用する積載荷重を第 2-3 表に示す。

第 2-3 表 積雪荷重 (VAL)

降下火砕物の堆積荷重 (VAL)
7,355N/m ²

(d) 荷重の組合せ

屋根トラスに作用する荷重の組合せを第 2-4 表に示す。

第 2-4 表 荷重の組合せ

荷重の組合せ
DL+SNL+VAL

(3) 許容限界

応力解析による評価における原子炉建屋の許容限界を第 2-5 表に示す。
タービン建屋に内包するクラス 2 に属する系統、機器及び構築物に波及的影響を及ぼさない観点から、タービン建屋については、平成 12 年建設省告示第 2464 号に準じて、鋼材の許容応力度の基準強度 F 値を 1.1 倍した値を評価基準値とする。なお、F 値とは、鋼材の許容応力度を定める際の基準値となる値であり、平成 12 年建設省告示第 2464 号に、J I S 規格品の場合は、F 値を 1.1 倍以下とすることができるとされている。また、鋼材の基準強度及び評価基準値を第 2-6 表に示す。

第 2-5 表 応力解析評価における許容限界

機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界
タービン建屋が内包するクラス 2 設備に波及的影響を及ぼさないこと	主トラス 弦材 斜材 束材	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	終局強度*

※：平成 12 年建設省告示第 2464 号の第 3 に基づき F 値の 1.1 倍

第 2-6 表 鉄骨の基準強度及び評価基準値

鋼材種類	板厚 (mm)	基準強度 F (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)	
			引張	圧縮及び曲げ
SS400 (SS41)	t ≤ 40	235	235	258*

3. 応力解析モデル及び緒元

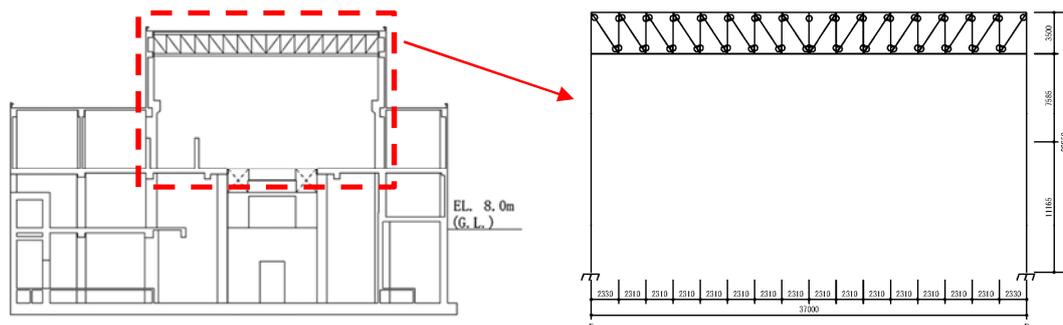
屋根トラスの応力解析モデル及び緒元を以下に示す。

(1) モデル化の基本方針

a. 応力解析モデルの概要

- ・主トラス上・下弦材は、軸・曲げ・せん断剛性のある梁要素，斜材，束材は軸剛性だけのトラス要素とする。
- ・各部材長さは部材芯位置でモデル化する。
- ・オペレーティングフロアより上部構造のうち，最も応力が厳しくなる 1 構面を取り出した 2 次元モデルとする。

タービン建屋断面図と屋根トラスの検討モデルを第 3-1 図に示す。



第 3-1 図 タービン建屋断面図（N S 側）及び屋根トラス検討モデル

b. 解析コード

F A P 3 Ver. 5.0

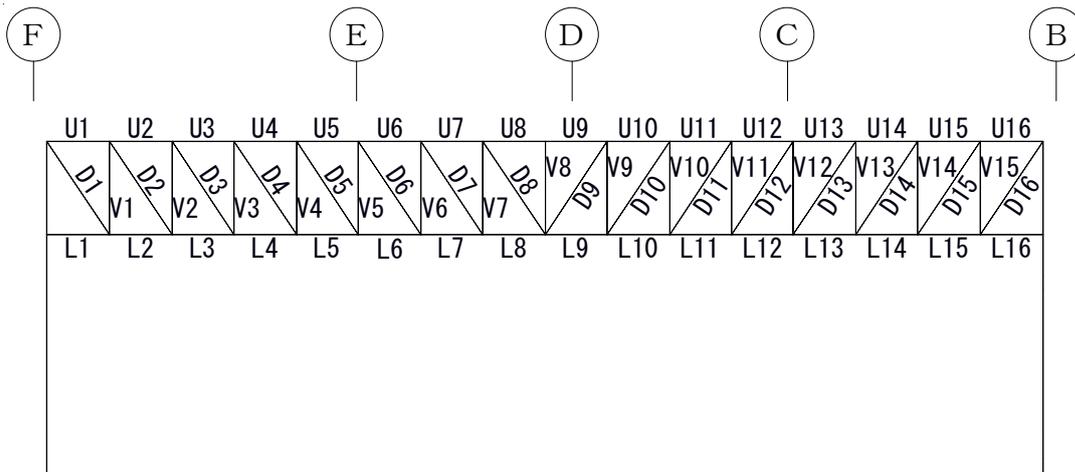
c. 検討部材の形状・寸法

検討部材の形状と寸法を第 3-1 表に示す。また、部材位置を第 3-2 図に示す。

第 3-1 表 検討部材の形状・寸法

部位	部材符号	形状寸法	材質
上弦材	$U_1 \sim U_{16}$	H-428×407×20×35	SS400* (SS41)
下弦材	$L_1 \sim L_{16}$	H-428×407×20×35	
斜材	$D_1 \sim D_3$ $D_{14} \sim D_{16}$	2Ls-200×200×20	
	D_4, D_5, D_{12}, D_{13}	2Ls-150×150×19	
	D_6, D_{11}	2Ls-130×130×12	
	D_7, D_8, D_9, D_{10}	2Ls-100×100×10	
束材	V_1, V_2, V_{14}, V_{15}	2Ls-200×200×20	
	V_3, V_4, V_{12}, V_{13}	2Ls-200×200×15	
	V_5, V_6, V_{10}, V_{11}	2Ls-150×150×15	
	$V_7 \sim V_9$	2Ls-130×130×9	

※ JIS G3101 一般構造用圧延鋼材



第 3-2 図 部材位置図

d. 使用材料の物性値

使用材料の物性値を第 3-2 表に示す。

第 3-2 表 使用材料の物性値

項目	物性値
単位体積重量	77.0kN/m ³
ヤング係数	205.0kN/mm ²
せん断弾性係数	79.0kN/mm ²

(2) 評価方法

応力解析より求めた各部材の発生応力が許容限界を超過しないことを確認する。許容限界は、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（日本建築学会）」に準拠し、「平成 12 年建設省告示第 2464 号」に従った評価基準値を用いて、終局強度以下であることを確認する。

a. 軸力のみを負担する部材の評価方法

軸力のみを負担するトラス要素(斜材, 束材等)に発生する応力度 σ_c 、 σ_t が、以下の式による応力度比は 1 以下となることを確認する。

$$\max\left(\frac{\sigma_c}{f_c}, \frac{\sigma_t}{f_t}\right) \leq 1$$

f_c , f_t は以下の式により求める。

$$f_t = \frac{F}{1.5}$$

$$f_c = \frac{\left\{1 - 0.4\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\} F}{\nu} \quad (\lambda \leq \Lambda \text{ のとき})$$

$$f_c = \frac{0.277F}{\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2} \quad (\lambda > \Lambda \text{ のとき})$$

f_c : 許容圧縮応力度 (N/mm²)

f_t : 許容引張応力度 (N/mm²)

λ : 圧縮材の細長比

Λ : 限界細長比 $\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$

E : ヤング係数

$$\nu = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$$

b. 軸力と曲げを負担する部材の評価方法

軸力と曲げを負担する梁要素（上・下弦材等）は、軸力により生じる軸応力度 σ_c 、 σ_t と曲げモーメントにより生じる曲げ応力度 σ_b の組合せに対して、以下の式により応力度比が 1 以下となることを確認する。

$$\text{【圧縮と曲げにより生じる応力度の確認】} \quad \frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_c} \leq 1$$

$$\text{【引張りと曲げにより生じる応力度の確認】} \quad \frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \leq 1$$

f_c 、 f_t は軸力を負担する場合と同じ。 f_b は以下の式により求める。

$$f_b = 1.1F \quad (\lambda_b \leq_p \lambda_b)$$

$$f_b = \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda_b -_p \lambda_b}{_e \lambda_b -_p \lambda_b} \right) \right\} 1.1F \quad (_p \lambda_b < \lambda_b \leq_e \lambda_b)$$

$$f_b = \frac{1}{\lambda_b^2} 1.1F \quad (_e \lambda_b < \lambda_b)$$

ここに、

$$\lambda_b = \sqrt{\frac{M_y}{M_e}} \quad _e \lambda_b = \frac{1}{\sqrt{0.6}}$$

$$_p \lambda_b = 0.6 + 0.3 \left(\frac{M_2}{M_1} \right) \quad C = 1.75 + 1.05 \left(\frac{M_2}{M_1} \right) + 0.3 \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^2 \leq 2.3$$

$$M_e = C \sqrt{\frac{\pi^4 EI_Y \cdot EI_w}{l_b^4} + \frac{\pi^2 EI_Y \cdot GJ}{l_b^2}}$$

f_b : 許容曲げ応力度

λ_b : 曲げ部材の細長比

l_b : 圧縮フランジの支点間距離

$_e \lambda_b$: 弾性限界細長比

外部事象に対する津波防護施設，浸水防止設備及び
津波監視設備の防護方針について

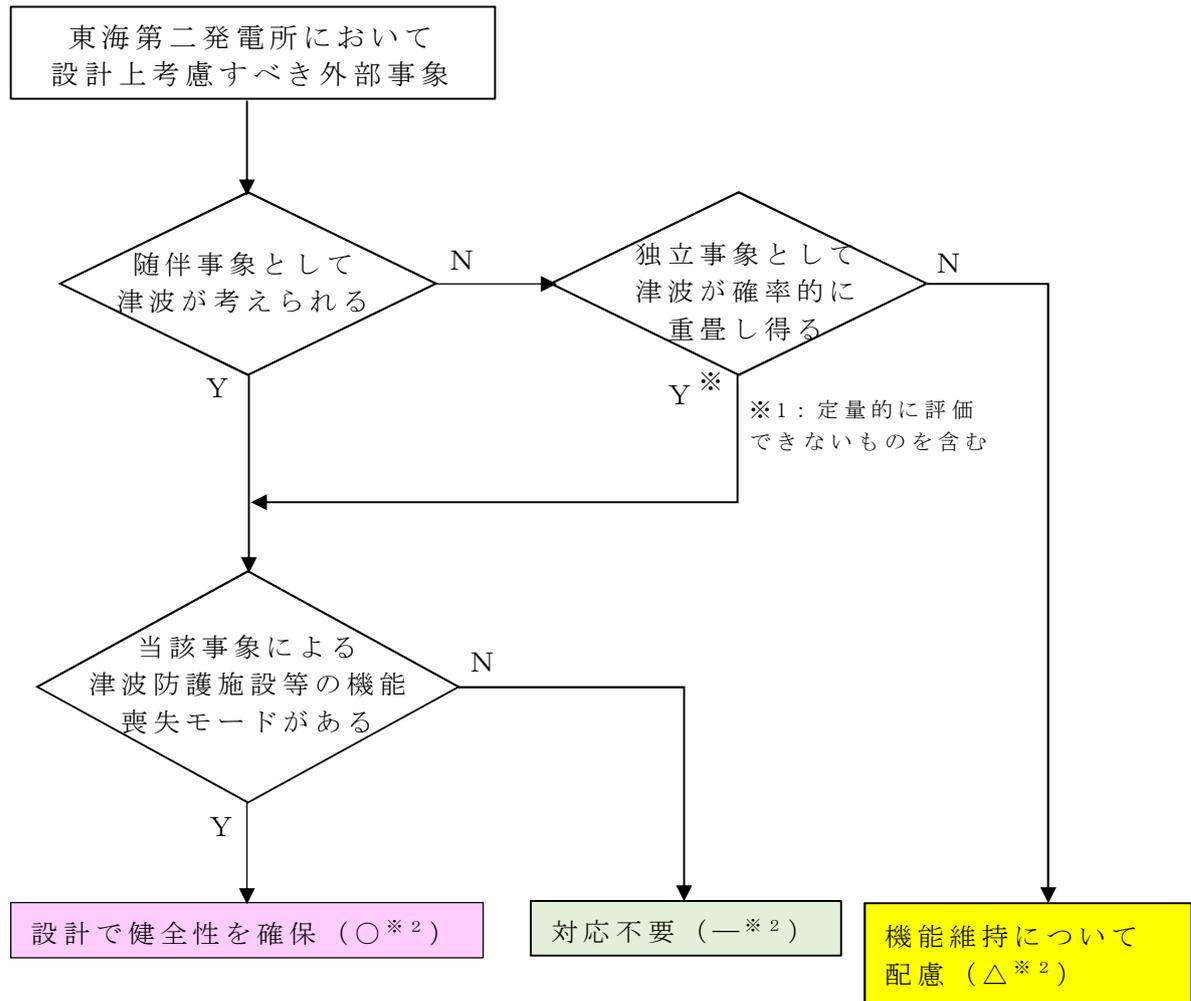
1. 概要

外部事象に対しての，津波防護施設，浸水防止設備，及び津波監視設備（以下「津波防護施設等」という。）の防護方針を以下に示す。

2. 防護に関する考え方

以下の考え方にに基づき，東海第二発電所において設計上考慮すべき外部事象に対する，津波防護施設等の機能維持のための対応の要否について整理した。（フローを別図1-1に示す）

- ・設計上考慮すべき事象が，津波もしくは津波の随伴，重畳が否定できない事象に該当するかを確認する。定量的な重畳確率が求められない事象については，保守的にその影響を考慮する。
- ・津波の随伴，重畳が否定できない場合は，当該事象による津波防護施設等の機能喪失モードの有無を確認する。機能喪失モードが認められる場合は，設計により健全性を確保する。
- ・津波の随伴，重畳が有意でないと評価される事象についても，東海第二発電所の津波防護施設等については，基準津波の高さや防護範囲の広さ等その重要性に鑑み，自主的に機能維持のための配慮を行う。



※2: 「○」, 「△」, 「-」は、後掲の別表 1-1 における整理に対応している

別図 1-1 外部事象に対する津波防護施設等の機能維持対応要否判断フロー

3. 検討結果

上記検討フローに基づく各事象に対する防護方針の検討結果を、以下に示す。(詳細は別表 1-1 のとおり)

3.1 津波の随伴, 重畳が否定できない事象*に対する防護方針

これらの外部事象に対しては、津波との随伴もしくは重畳の可
6条(火山)-1-参考 14-2

能性を否定できないため、荷重の重ね合わせのタイミングも考慮した上で設計への反映の可否を検討し、津波防護施設等への影響が考えられる事象に対しては、津波防護施設等の機能を維持する設計とする。

※：地震，洪水，風（台風），凍結，降水，積雪，落雷，地滑り，生物学的事象，森林火災，高潮）

3.2 津波の随伴，重畳が有意ではない事象（竜巻，火山の影響）に対する防護方針

「竜巻」，「火山の影響」の2つの外部事象に津波は随伴せず，また敷地高さを超える津波との重畳の確率も有意ではないため，津波防護施設等を防護対象施設とはしないものの，津波防護施設等の機能が要求される時にはその機能を期待出来るよう，以下の対応を自主的に実施する。

3.2.1 「火山の影響」

設計で想定する降下火砕物の給源の噴火と安全施設の中で最も低所にある海水ポンプを内包する海水ポンプ室壁頂部の高さに等しい津波が重畳する年超過確率は約 8.6×10^{-8} (1/y) であり，火山と津波の重畳は有意ではないと評価されるが，降下火砕物の堆積荷重について長期荷重に対する構造健全性を確保するとともに，降灰後に適宜除去が可能な設計とする。

3.2.2 「竜巻」

設計竜巻と安全施設の中で最も低所にある海水ポンプの設置高さに等しい津波が重畳する年超過確率は約 3.8×10^{-8} (1/y) であり，竜巻と津波の重畳は有意ではないと評価されるが，竜巻が襲来した場

合には必ず作用する風荷重に対しては，津波防護施設等の健全性を維持する設計とする。また，竜巻が襲来した場合でも，必ずしも津波防護施設に作用するとは限らない竜巻飛来物荷重に対しては，大規模な損傷に至り難い構造とする。

別表 1-1 外部事象に対する津波防護施設等の対応方針整理表

: 津波の随伴, 重量が否定できないため, 設計で健全性を確保する事象 (○)
 : 津波の随伴, 重量は有意ではないが, 機能維持について設計上配慮する事象 (△)
 : 津波の随伴, 重量は有意ではないが, 機能維持について設計上配慮する事象 (○)

設計上考慮すべき外部事象	①随伴事象として津波を考慮	②独立事象として津波が重畳し得る	津波との重量を考慮か②が(“○”)	津波防護施設等の機能喪失の可能性がある	設計への反映否	機能維持のための対応方針
地震	○	—	○	<u>あり</u> 地震荷重により損傷した場合, 安全施設等への津波の到達, 浸水による機能喪失が想定される。	○	耐震Sクラス施設として基準地震動 S_s に対し健全性を維持し, 津波に対する防護機能を維持する。また, 津波と余震(S_d -D1地震動)の組合せも考慮する。

設計上考慮すべき外部事象	① 随伴事象として津波を考慮	② 独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮(①か②が“○”)	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映の要否	機能維持のための対応方針
洪水 (外部洪水)	—	○	○	<p><u>なし</u></p> <p>基準津波の遡上高さと洪水ハザードマップの浸水想定を重ねても、発電所敷地へ侵入し得る高さには達しない。</p> <p>国道 245 号線西側田畑への洪水高さ： ～T.P.10m (審査資料「外部からの衝撃による損傷の防止(その他外部事象)」より)</p> <p>国道 245 号西側田畑への津波遡上分： ～+4m (遡上解析結果より) ⇒合計 T.P.～14m<EL.(=T.P.)15m(国道 245 号線(発電所入口))</p>	—	—
風 (台風)	—	○	○	<p><u>あり</u></p> <p>風荷重により損傷した場合、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。</p>	○	<ul style="list-style-type: none"> ・ 風荷重, 津波荷重を考慮した設計とする。 ・ 津波監視カメラは, 風荷重を考慮した設計とする。

注：防潮壁形状の変更に伴う再解析実施後に再確認し，結論に影響が無いことを確認する。

設計上考慮すべき外部事象	① 随伴事象として津波を考慮	② 独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮(①か②が“○”)	津波防護施設等の機能喪失の可能性がある安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
竜巻	—	—	—	<p><u>なし</u></p> <p>以下のとおり、重畳の頻度は無視し得る。 設計竜巻の確率 P1： 約 $3.9 \times 10^{-6} / y$ (補足 1 参照) 敷地高さ超津波 (> T.P. 3m) の確率 P2： 約 $9.6 \times 10^{-3} / y$ ※ ※：飛来物による海水ポンプ室の壁の損傷を想定し、敷地の最低高とした。 ⇒ 重畳確率：p=約 $3.8 \times 10^{-8} / y$ …目安値 PC=1 $\times 10^{-7}$ 未満で、有意ではない。</p>	△	<p>防潮壁の設計においては、自主的に以下の配慮を行い、信頼性を高める。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・風圧力に対しては、損傷しない様に構造強度を確保する。 ・飛来物については、防潮堤は鉄筋コンクリート等の堅牢な構造であり、大規模な損傷は生じないと考えられる。
極低温 (凍結)	—	○	○	<p><u>あり</u></p> <p>凍害により止水ジョイントが損傷した場合、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。</p>	○	止水ジョイントは最低気温を考慮した設計とする。
降水 (豪雨 (降雨))	—	○	○	<p><u>なし</u></p> <p>降雨による海水面の上昇の影響は無視し得る。</p>	—	—
積雪 (暴風雪)	—	○	○	<p><u>あり</u></p> <p>積雪荷重により損傷した場合、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。</p>	○	積雪荷重と津波荷重を考慮した設計とする。

注：防潮壁形状の変更に伴う再解析実施後に再確認し、結論に影響が無いことを確認する。

設計上考慮すべき外部事象	① 随伴事象として津波を考慮	② 独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮(①か②が“○”)	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映の要否	機能維持のための対応方針
落雷	—	○	○	<u>あり</u> 落雷により津波監視設備の機能喪失が想定される	○	津波監視設備については、既設避雷設備の遮へい範囲内への設置又は避雷設備の設置、避雷設備の接地極を構内接地網と接続し接地抵抗の低減を行うとともに、ライントアースや絶縁回路を設置することにより、雷サージの侵入を防止する設計とする。
地滑り	—	○	○	<u>なし</u> 発電所の敷地及びその近傍には地滑りを起こすような地形は存在しない。	—	—

設計上考慮すべき外部事象	① 随伴事象として津波を考慮	② 独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮(①か②が“○”)	津波防護施設の機能喪失による安全施設等の機能喪失の可能性	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
火山 (火山活動・降灰)	—	—	—	<p>なし</p> <p>以下のとおり、重畳の頻度は無視し得る。 想定する火山の確率：$2.2 \times 10^{-5}/y$ (審査資料「外部からの衝撃による損傷の防止(その他外部事象)より」) 敷地高さ超津波(>T.P.6m)の確率： 約 $3.9 \times 10^{-3}/y$ ※ ※：海水ポンプ室の壁は損傷しないため、ポンプ室水密高さとする。 ⇒ 重畳確率：約 $8.6 \times 10^{-8}/y$ $\dots 1 \times 10^{-7}$ 未満で、有意ではない。</p>	△	設計にて長期荷重に対する構造健全性を確保するとともに、降灰後に適宜除去が可能な設計とする。
生物学的事象	—	○	○	<p>なし</p> <p>生物による影響(閉塞,侵入)による機能喪失モードを有しない。</p>	—	—

注：防潮壁形状の変更に伴う再解析実施後に再確認し、結論に影響が無いことを確認する。

設計上考慮すべき外部事象	① 随伴事象として津波を考慮	② 独立事象として津波が重畳し得る	津波との重畳を考慮か②が“○”	津波防護施設等の機能喪失の可能性がある	設計への反映要否	機能維持のための対応方針
森林火災	—	○	○	<u>あり</u> 熱影響により損傷した場合、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。	○	<ul style="list-style-type: none"> 森林火災の熱影響による強度低下及び止水ジョイントの機能喪失を起ささない設計とする。 防潮堤上の津波監視設備が森林火災の影響で機能を喪失した場合は、速やかに予備品と交換する。 (機能喪失の可能性があるのは、全4台中2台のみ)
高潮	—	○	○	<u>あり</u> 高潮に起因する潮位上昇により防潮堤を越波した場合は、安全施設等への津波の到達、浸水による機能喪失が想定される。	○	高潮と津波の組合せを考慮した設計とする。

原子炉建屋（トラス部）及びタービン建屋（トラス部）除灰時に
おける応力について

除灰作業時，一時的に降下火砕物荷重に加え，原子炉建屋（トラス部）及びタービン建屋（トラス部）に除灰人員の荷重が負荷されることから，影響について以下のとおり評価する。

1. 評価条件

- ・降下火砕物は，50cmの降灰を想定する。
- ・積雪は，10.5cmを想定する。
- ・除灰時の人員荷重は1000N/m²*とする。
- ・原子炉建屋に求められる安全機能は「放射性物質の閉じ込め機能・放射線の遮蔽及び放出低減機能(MS-1)」及び「放射性物質放出の防止機能(MS-2)」及び波及的影響であり，安全機能に影響を及ぼさないことを確認する。
- ・タービン建屋に求められる安全機能は，安全施設への波及的影響の防止であり，安全施設に影響を及ぼさないことを確認する。

※「建築構造設計基準の資料」（国土交通省）における「屋上（通常人が使用しない場合）」の積載荷重の600N/m²に余裕を考慮した。

2. 評価結果

(1) 原子炉建屋（トラス部）

原子炉建屋（トラス部）のうち，最も厳しい検定値箇所の応力評

評価結果を表 1，図 1 に示す。

表 1 原子炉建屋（トラス部）応力評価結果

部材強度レベル	検定値
終局強度をベースとした検定値	0.840
弾性限耐力をベースとした検定値（本評価）	0.959
短期許容応力度をベースとした検定値	1.055

検定式：
$$\frac{\sigma_c}{f_\alpha} \leq 1$$
 σ_c ：圧縮応力 f_α ：各圧縮強度

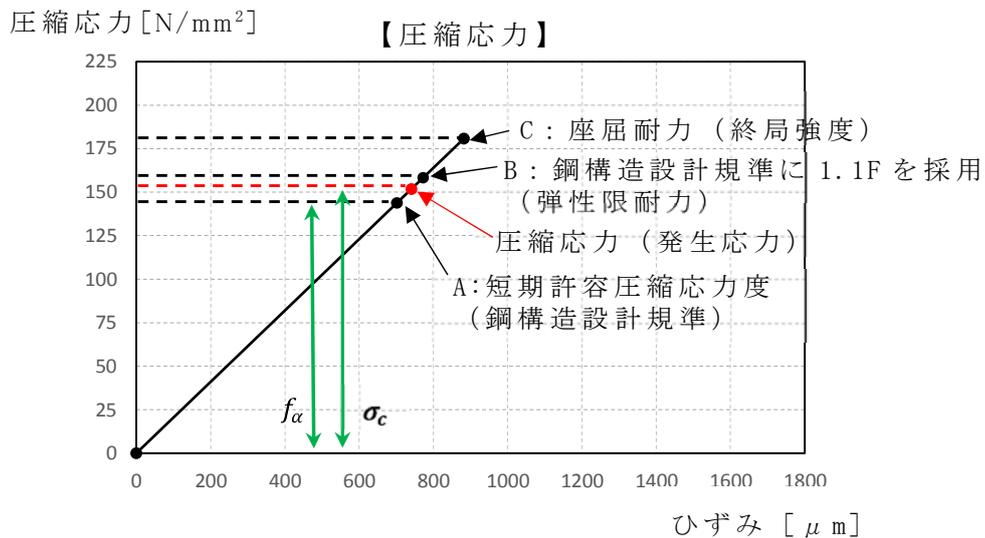


図 1 発生応力状態図（圧縮）

評価結果，最も検定値が厳しくなる箇所の部材強度は，短期許容応力度をベースとした検定比を 5%程度上回る結果となったが，弾性限耐力に対して本部材の検定比は 1.0 以下であり，4%程度の余裕を有していた。

以上のことから，短期許容圧縮応力度を若干上回る結果となった

が、屋根トラスとしての弾性限耐力には至らず、屋根スラブに影響を与えることはないことから、安全機能である「放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮蔽及び放出低減機能」及び「放射性物質放出の防止機能」及び波及的影響に影響を与えることはない。

(2)タービン建屋（トラス部）

タービン建屋（トラス部）のうち、最も厳しい検定値箇所の応力評価結果を表2，図2，図3に示す。

表2 タービン建屋（トラス部）応力評価結果

部材強度レベル	検定値
終局強度をベースとした検定値	0.937
弾性限耐力をベースとした検定値（本評価）	1.032
短期許容応力度をベースとした検定値	1.129

$$\text{検定式} : \frac{\sigma_c}{f_\alpha} + \frac{\sigma_b}{f_\beta} \leq 1$$

σ_c : 圧縮応力 σ_b : 曲げ応力
 f_α : 各圧縮強度 f_β : 各曲げ強度

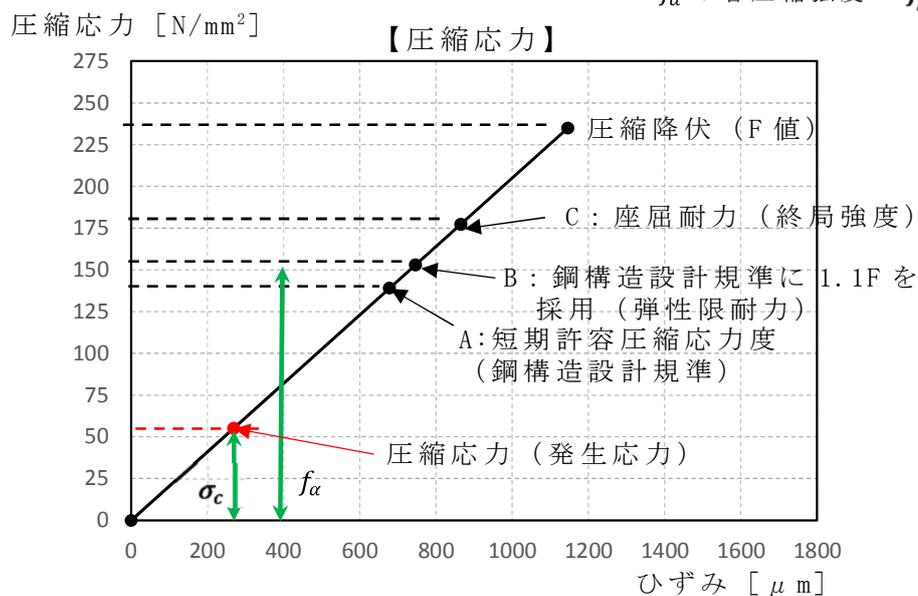


図2 発生応力状態図（圧縮）

6条(火山)-1-参考 15-3

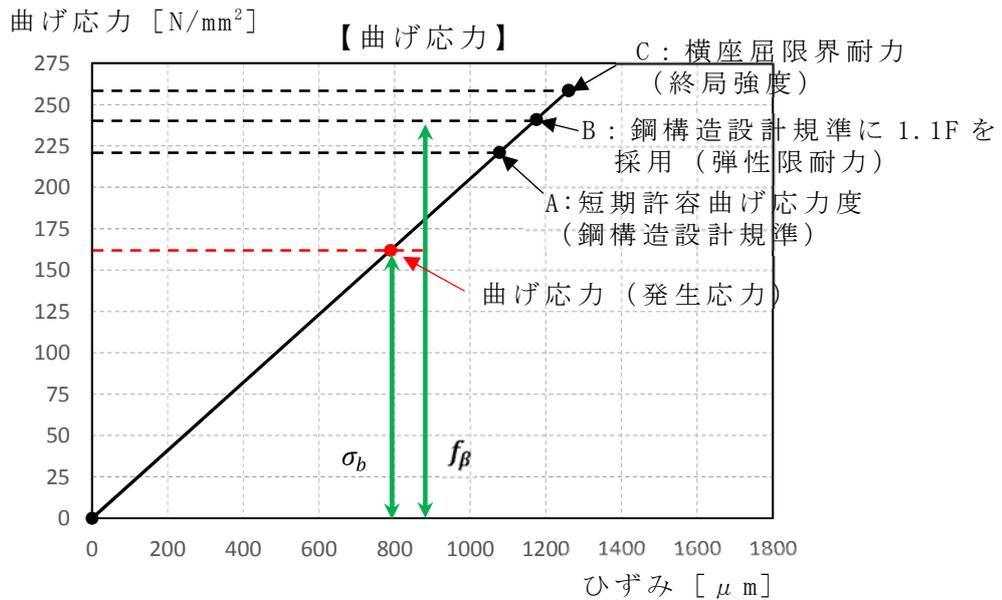


図3 発生応力状態図（曲げ）

評価結果，最も検定値が厳しくなる箇所の部材強度は，弾性限耐力をベースとした検定比を3%程度上回る結果となったが，主トラス構造全体において，本部材以外は検定比1.0以下であり，それら上下弦材の検定値の平均は0.41程度であった。

また，終局強度に対して本部材の検定比は1.0以下であり，6%程度の余裕を有していた。

以上のことから，弾性限耐力を若干上回る結果となったが，構造物としての終局強度には至らず，タービン建屋は崩壊することはないことから，安全施設に影響を及ぼすことはない。

東海第二発電所

運用，手順説明資料

外部からの衝撃による損傷の防止

(火山)

(第六条 火山)

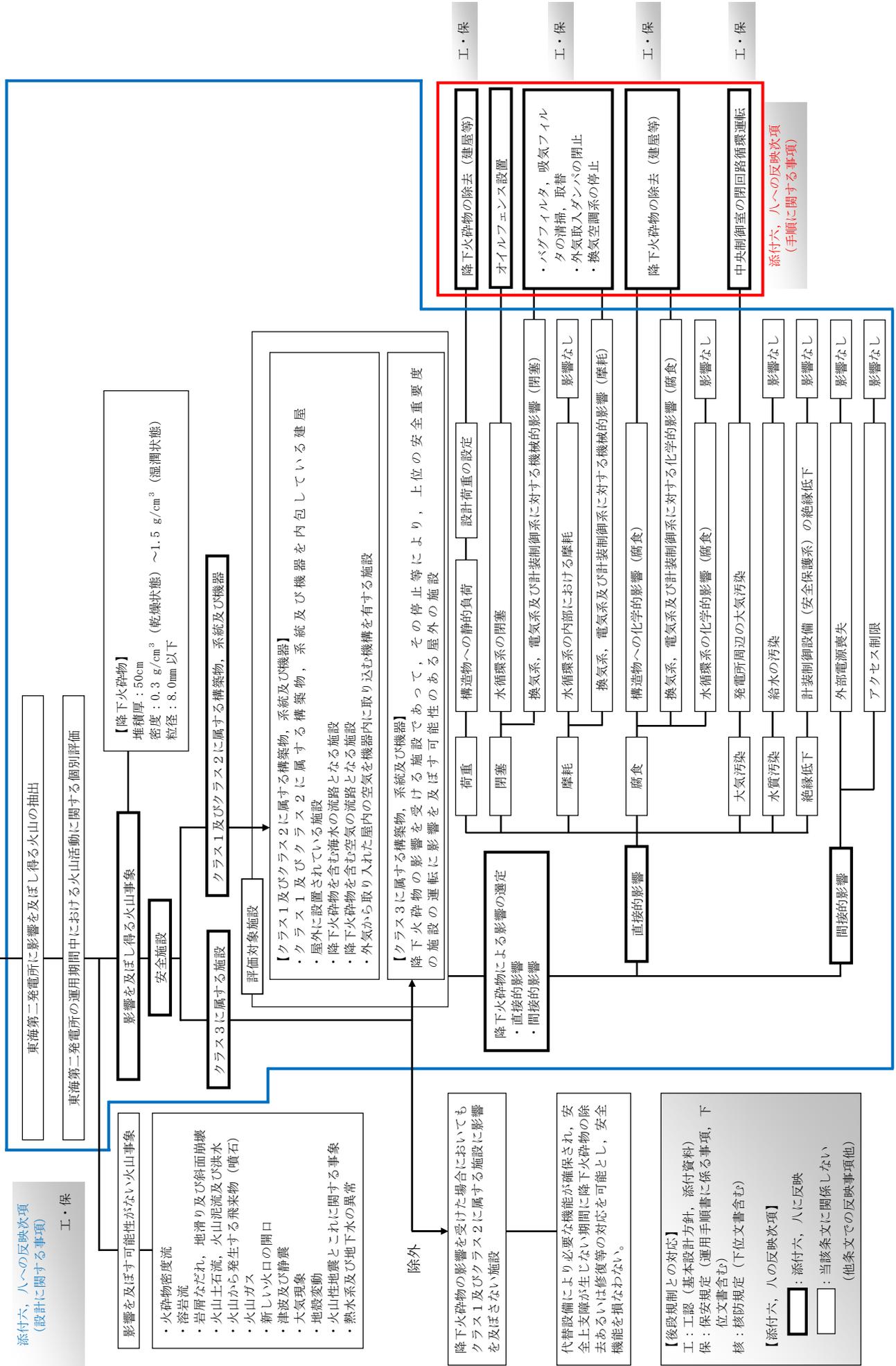
安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項について同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

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

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

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

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



添付六、八への反映次項
(設計に関する事項)

工・保

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

東海第二発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

東海第二発電所の運用期間中における火山活動に関する個別評価

影響を及ぼす可能性がない火山事象

- ・火砕物密度流
- ・溶岩流
- ・岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊
- ・火山土石流、火山泥流及び洪水
- ・火山から発生する飛来物(噴石)
- ・火山ガス
- ・新しい火口の開口
- ・津波及び静震
- ・大気現象
- ・地殻変動
- ・火山性地震とこれに関する事象
- ・熱水系及び地下水の異常

影響を及ぼし得る火山事象

重要安全施設

クラス1及びクラス2に属する構築物、系統及び機器のうち、自然現象の影響を受けやすい施設

評価対象施設

- ・クラス1及びクラス2に属する構築物、系統及び機器
- ・クラス1及びクラス2に属する構築物、系統及び機器を内包している建屋
- ・屋外に設置されている施設

【降下火砕物】

層厚：50cm
密度：0.3 g/cm³ (乾燥状態) ~1.5 g/cm³ (湿潤状態)
粒径：8.0mm 以下

降下火砕物による影響の選定
・直接的影響

【後段規制との対応】

工：工認(基本設計方針、添付資料)

保：保安規定(運用手順書に係る事項、下位文書含む)

核：核防規定(下位文書含む)

【添付六、八への反映次項】

□：添付六、八に反映

□：当該条文に関係しない
(他条文での反映事項他)

降下火砕物の除去

添付六、八への反映次項
(手順に関する事項)

工・保

設計荷重の設定

構築物への静的負荷

荷重

直接的影響

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第6条 外部からの衝撃による損傷の防止	降下火砕物の除去作業及び除去後における降下火砕物による静的荷重や腐食等の影響に対する保守管理	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> 降下火砕物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、評価対象施設等に堆積した降下火砕物の除去を実施する。 降下火砕物による影響がみられた場合、必要に応じて補修を行う。
	外気取入ダンパの閉止，換気空調系の閉止，閉回路循環運転	体制	(担当室による保守・点検の体制) (降下火砕物確認時の体制)
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> 日常点検 定期点検 火山事象時及び火山事象後の巡視点検
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> 運用・手順・保守・点検に関する教育
		運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> 降下火砕物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，換気空調設備の閉止又は閉回路循環運転により、建屋内への降下火砕物の侵入を防止する。
		体制	(運転員の当直体制) (降下火砕物確認時の体制)
		保守・点検	—
	教育・訓練	教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> 運用・手順・体制・保守点検に関する教育

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第六条 外部からの衝撃による損傷の防止	バグフイルタ, 吸気フイルタ取替・清掃作業	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> 降下火砕物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イルタについて, 差圧を確認するとともに, 状況に応じて清掃や取替を実施する。 デューゼル発電機運転時は, 吸気フイルタの巡視点検を行い, 必要に応じて取替・清掃を行う。
		体制	(運転員の当直体制) (降下火砕物確認時の体制)
		保守・点検	・火山事象時の巡視点検
		教育・訓練	・防護施設の保守・点検に関する教育