

資料 3

大飯発電所保安規定審査資料	R0
提出年月日	2021年10月20日

大飯発電所 3 , 4 号炉 大山生竹テフラ噴出規模見直しに伴う 保安規定変更に関する補足説明

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

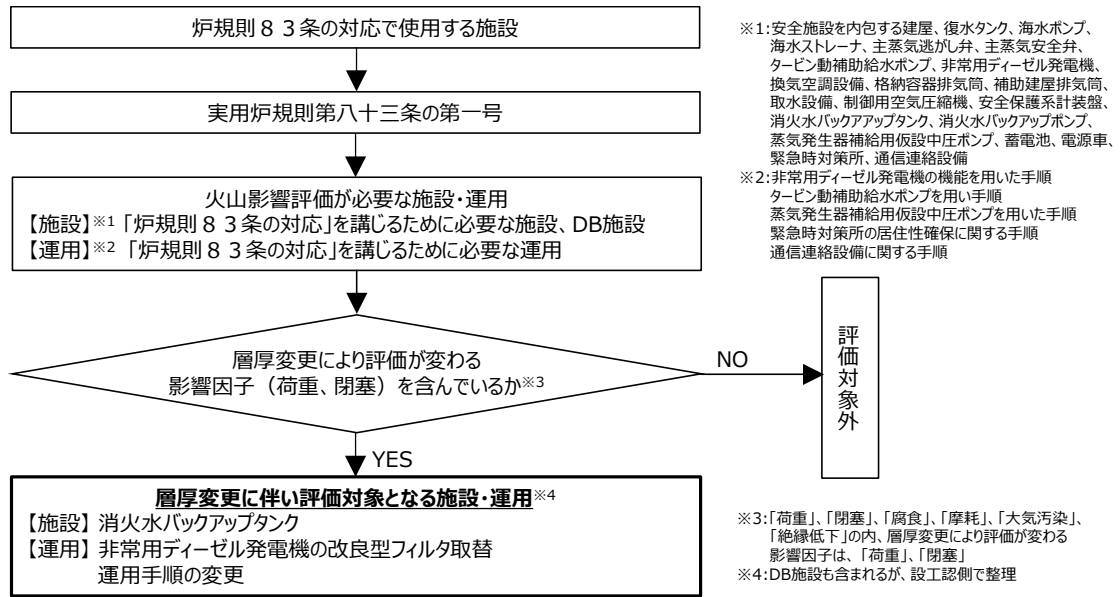
目 次

1. 層厚変更に伴い評価対象となる施設・運用の整理
2. 層厚変更に伴い評価対象となる施設の成立性確認
3. 層厚変更に伴い評価対象となる運用の評価
4. 火山影響等発生時における手順の変更について
5. 海水ポンプおよび海水ストレーナに対する気中降下火砕物濃度の影響について

1. 層厚変更に伴い評価対象となる施設・運用の整理

実用炉規則第八十三条の第一号(以下、「炉規則 8 3 条の対応」という。)で使用する施設の内、層厚変更に伴い評価対象となる施設・運用の抽出結果を以下に示す。

また、大飯 3, 4 号炉の蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプを用いた手順、および通信連絡設備に関する手順について、電源車を配置する場所をタービン建屋からより頑強な原子炉周辺建屋に変更する。



2. 層厚変更に伴い評価対象となる施設の成立性確認

炉規則 8 3 条の対応で使用する施設の内、層厚変更に伴い評価対象となる施設・運用について、炉規則改正に伴う既認可保安規定（平成 30 年 12 月 17 日付け、原規規発第 1812177 号）の補足説明資料における評価に対する層厚変更に伴う成立性確認を以下に示す。

なお、層厚変更に伴う変更箇所を下線で示す。

(1) 消火水バックアップタンクにおける降下火砕物荷重の影響評価

a. 概要

本資料は、消火水バックアップタンクが降下火砕物等堆積時においても、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認する。

b. 構造概要

大飯 3, 4 号炉の消火水バックアップタンクは横置き円筒タンクであり、上面が曲面となっていることから、タンク上面に降下火砕物が堆積しにくい構造であるため、影響は軽微と考えられる。

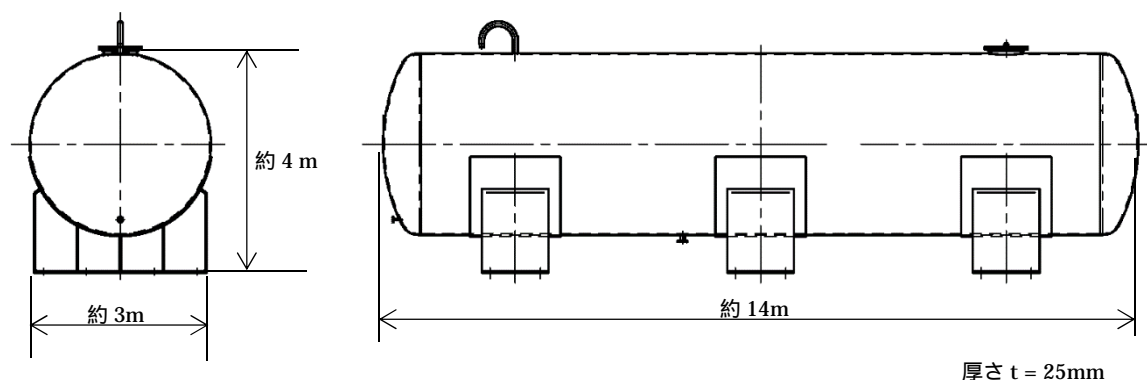


図1 消火水バックアップタンクの構造

c. 強度評価

本資料では、保守的な想定としてタンク上面に、積雪 100cm、火山灰 25cm を堆積させた条件で、消火水バックアップタンクの胴板並びに支持脚の評価を行う。

消火水バックアップタンクは、「工事計画認可申請書 資料 13 別添 1 火災防護設備の耐震性に関する説明書」にて耐震評価を実施している。具体的には、基準地震動 S_s 設計用加速度（水平 10.94m/s^2 （ $\approx 1.12\text{G}$ ）、鉛直 7.30m/s^2 （ $\approx 0.74\text{G}$ ））に対して、胴板の裕度は 1.9 以上、支持脚の裕度は 8.2 以上であることを確認している。

タンク上面への堆積を想定した火山灰および積雪の質量は 30,290kg であり、消火水バックアップタンクの質量 147,000kg の約 21% に相当する。

つまり、タンク上面に積雪および火山灰を堆積させた状態は、胴板および支持脚に対して、タンク単体の自重による荷重に鉛直加速度 0.21G を加えた状態と等価である。

一方で、耐震評価では、タンク単体の自重に鉛直加速度 0.74G を加えた状態で応力評価を行っており、その結果、十分な裕度を有していることを確認している。

以上のことから、耐震評価は、火山灰および積雪を堆積させた強度評価を包含しているものと考えられる。

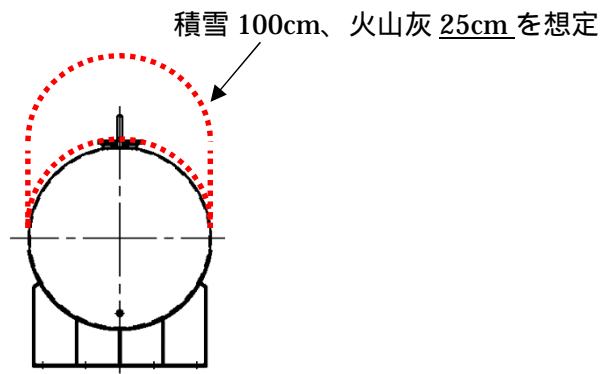


図 2 強度評価における積雪・火山灰の想定

表 1 消火水バックアップタンクの耐震評価結果

評価部位	材料	応力	基準地震動 S_s による応力		裕度
			評価応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	
胴板	SS400	一次一般膜	19	240	12.63
		一次	69	360	5.21
		一次 + 二次	123	235	1.91
支持脚	SS400	組合せ	34	279	8.20
		座屈	0.08	1	12.50

3. 層厚変更に伴い評価対象となる運用の評価

炉規則 8 3 条の対応で使用する施設の内、層厚変更に伴い評価対象となる運用について、既認可保安規定（平成 30 年 12 月 17 日付け、原規規発第 1812177 号）における補足説明資料での評価に対し、層厚変更に伴う評価結果を以下に示す。

なお、層厚変更に伴う変更箇所を下線で示す。

(1) 改良型フィルタのフィルタ取替の着手時間について

ディーゼル発電機については、屋内に設置している吸気消音器のフィルタの閉塞が想定されるため、高濃度の降下火砕物濃度に対して確実にディーゼル発電機の機能を維持できるよう、改良型フィルタを配備している。

本資料では、改良型フィルタのフィルタ取替の基準となる着手時間を計算する。

a. 対策の概要および改良型フィルタの仕様

火山現象による影響が発生し、又は発生するおそれがある場合、ディーゼル発電機の吸気消音器前に着脱可能な改良型フィルタを取付ける。

改良型フィルタはディーゼル発電機運転中においても容易にスライド式のフィルタを取替え・清掃することが可能である。また、フィルタには、300 メッシュの金属フィルタをブリーツ状にすることで面積を拡大させたフィルタを使用する。取替え・清掃時には、火山灰の侵入を防止するため、取替え・清掃するフィルタの流路を塞ぐ閉止板を装填する。

改良型フィルタの主な仕様を以下に示す。また、改良型フィルタの外形図を図 1 に、ディーゼル発電機の吸気消音器前への改良型フィルタ取付けを図 2 に、改良型フィルタによる火山灰捕集の概要を図 3 に、改良型フィルタの作業エリアの概要図を図 4 に、改良型フィルタ取付作業の概要を図 5 に、改良型フィルタの取替作業の概要を図 6 に、フィルタの性能試験の概要および結果を別紙 1 に示す。

改良型フィルタ台数 (台) ¹	1
フィルタ個数 (個) ²	23
フィルタ外形寸法 ³	405 × 600 × 152
フィルタ有効面積 (m ²) ³	
フィルタの最大捕集容量 (g/m ²)	315,897 (既認可: 76,174)

1 ディーゼル発電機 1 台当たり

2 改良型フィルタ 1 台当たり

3 フィルタ 1 個当たり

b. 改良型フィルタの取付時間について

(a) 降灰到達時間

気象条件等を考慮し、噴火から降下火砕物が発電所敷地に到達するまでの時間を 60 分とする。降灰到達時間の考え方について別紙 2 に示す。

(b) 改良型フィルタの取付時間

改良型フィルタ取付けに要する時間は、改良型フィルタの仕様変更を実施していないため、既認可保安規定（平成 30 年 12 月 17 日付け、原規規発第 1812177 号）の補足説明資料 - 1 の「別紙 4 作業の成立性について」に示すとおり 50 分である。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

したがって、改良型フィルタの取付は降下火砕物が発電所敷地に到達する前に実施可能である。

c. フィルタ取替の着手時間の計算に用いる気中降下火砕物濃度

計算に用いる気中降下火砕物濃度は、「原子力発電所の火山影響評価ガイド」(以下「ガイド」とする)の添付1「気中降下火砕物濃度の推定手法について」に定められた手法により推定した気中降下火砕物濃度とする。

気中降下火砕物濃度の算出方法および算出結果を別紙3に示す。

別紙3の結果より、大飯発電所における気中降下火砕物濃度を 3.63g/m³(既認可:1.44g/m³)とする。

d. フィルタの基準捕集容量到達までの時間の計算について

別紙1に示すフィルタ性能試験の結果では、フィルタの最大捕集容量が、315,897g/m²(既認可:76,174g/m²)となるが、フィルタ差圧曲線の差圧が高い領域を避け、差圧上昇が時間的に十分なだらかな領域となるように、フィルタ取替の目安として基準捕集容量を保守的に 220,000g/m²(既認可:50,000g/m²)とする。フィルタの基準捕集容量到達までの時間は、以下の条件に基づいて計算した結果、361分(既認可:207分)である。

	層厚変更後	既認可
フィルタ取替の目安となる基準捕集容量 (g/ m ²)	<u>220,000</u>	50,000
ディーゼル発電機吸気流量 (m ³ /h)	<input type="text"/>	同左
ディーゼル発電機 フィルタ表面積 (m ²) = 個数 × 有効面積 = 23(個) × <input type="text"/>	<input type="text"/>	同左
ディーゼル発電機 フィルタ部の流速 (m/s)	2.41	同左
= / / 3,600	2.8	
降下火砕物の大気中濃度 (g/m ³)	<u>3.63</u>	1.44
フィルタの基準捕集容量到達までの時間 (min)	<u>361</u>	207
= / / / 60		

e. フィルタ取替の着手時間の計算について

フィルタ取替に要する時間は、既認可保安規定(平成30年12月17日付け、原規規発第1812177号)の補足説明資料-1の「別紙4 作業の成立性について」に示すとおり1ユニットあたり要員8名で20分程度を見込んでいる。したがって、フィルタの基準捕集容量到達までの時間は 361分であったことから、フィルタ取替に要する時間(20分)を差し引くと、フィルタ取替の着手時間は 341分となるが、340分(既認可:120分)でフィルタ取替を着手することとする。

f. フィルタの取替・清掃回数について

実機での作業時間は降灰継続時間である24時間(1,440分)を想定している。フィルタ取替に要する時間20分とフィルタ取替に着手する時間 340分を踏まえると、フィルタ取替が完了する時間は 360分である。フィルタは2セット(23枚/セット)配備していることを踏まえると、フィルタ1セット当たり火山灰を捕集する回数は 2回(1,440分/360分/2セット)となり、初回は新品フィルタであることから、フィルタの清掃回数は 1回(既認可:5回)必要である。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

フィルタは1回清掃して繰り返し使用することとなるが、繰り返しフィルタを使用したとしても、フィルタの性能は十分確保できていることを別紙4の検証試験にて確認している。
g. 炉規則第八十三条 第一号 口(3)の対応におけるディーゼル発電機の機能を期待する時間について

本対応においては、気中降下火砕物濃度の2倍の濃度を想定し、ディーゼル発電機の機能を期待する時間を設定する。具体的には、フィルタの基準捕集容量到達までの時間(361分)を1/2にした180分(既認可:100分)とする。

(2) 改良型フィルタの火山灰捕集について

改良型フィルタは、300メッシュの金属フィルタをブリーツ状にすることで面積を拡大させ、火山灰を捕集する構造としている。

改良型フィルタによる火山灰捕集の概要を図3に示す。

また、層厚変更に伴い気中降下火砕物濃度が増加し、改良型フィルタの閉塞時間が短くなることから、改良型フィルタの改造により、閉塞時間への影響対策を実施した。

改良型フィルタ閉塞時間の改善内容を別紙5に示す。

(3) 火山灰捕集による設備への影響について

別紙1によるフィルタの性能試験結果から、火山灰捕集の量を確認すると、以下のとおりであった。

確認項目	火山灰の量
灰受けおよび上流ダクト内への堆積	約13.6kg
改良型フィルタへの付着	0.1kg以下
改良型フィルタ内部への堆積	約1.5kg
通過灰回収フィルタおよび下流ダクト内への堆積	0.06kg以下

試験装置のフィルタは、横置きに取付けているため、フィルタ内の下部に火山灰が堆積する。

改良型フィルタに付着する火山灰の量は100g以下であるが、フィルタ内部に堆積する量を合わせても約2kg程度の重量増加となる。改良型フィルタは、金属製のフィルタであることから、約2kg程度の重量増加によるフィルタへの影響はない。

また、ディーゼル発電機吸気消音器室のエリアは十分広く、改良型フィルタ以外の設備がないことから、改良型フィルタ近傍への火山灰集積による影響はない。

(4) 改良型フィルタの差圧管理について

改良型フィルタは、時間管理によるフィルタ取替着手時間(340分)に基づき、フィルタ1セット当たり1回清掃を行うことにより、24時間のフィルタ取替運用が可能であることを確認している。

24時間以降の火山灰濃度が薄くなった場合については、フィルタ閉塞時間(許容差圧に到達する時間)が長くなり、時間管理による頻度での清掃が不要となるため、フィルタ取替着手の判断を時間管理から差圧管理に変更するとともに、社内標準に差圧管理の運用を反映する。

フィルタ差圧管理運用の詳細を別紙6に示す。

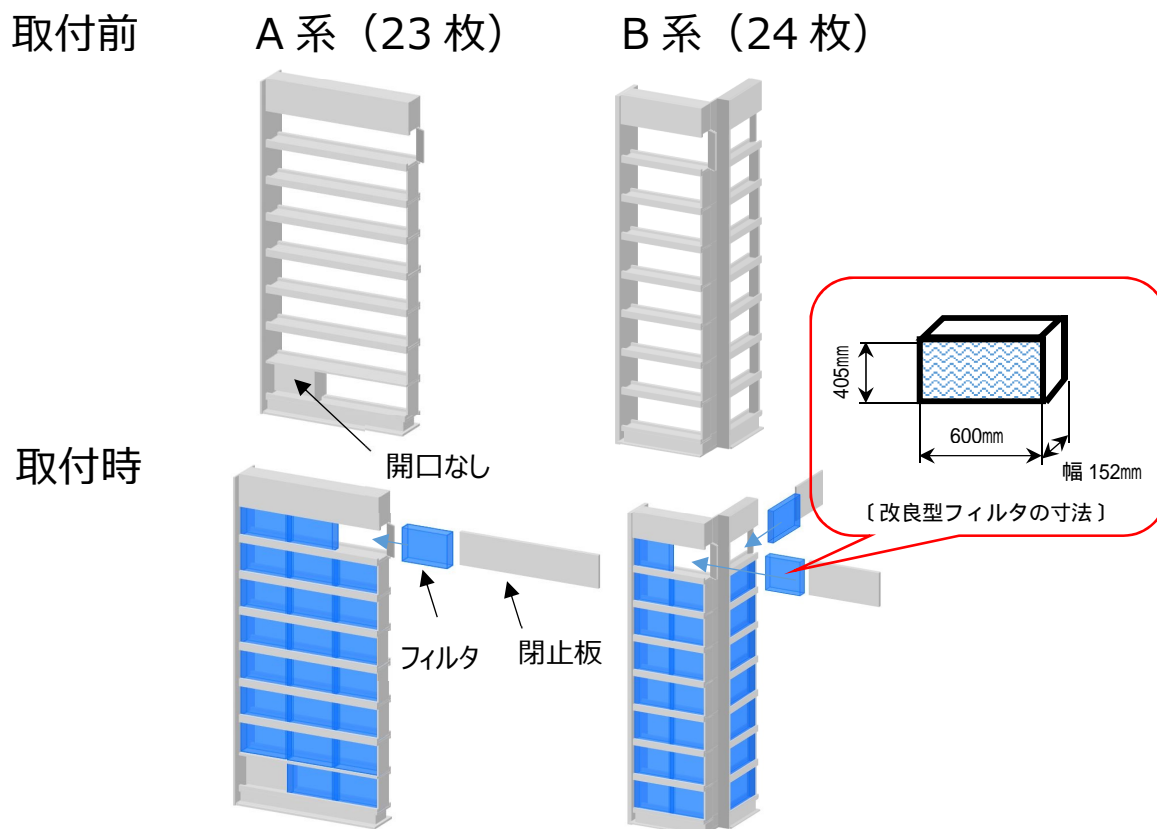


図1 改良型フィルタ外形図

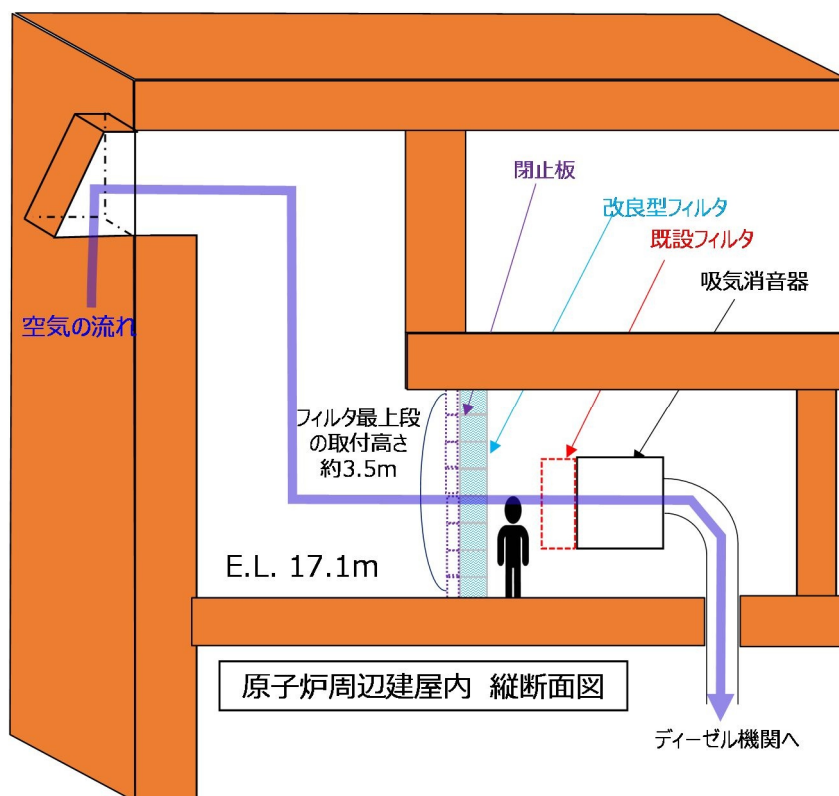
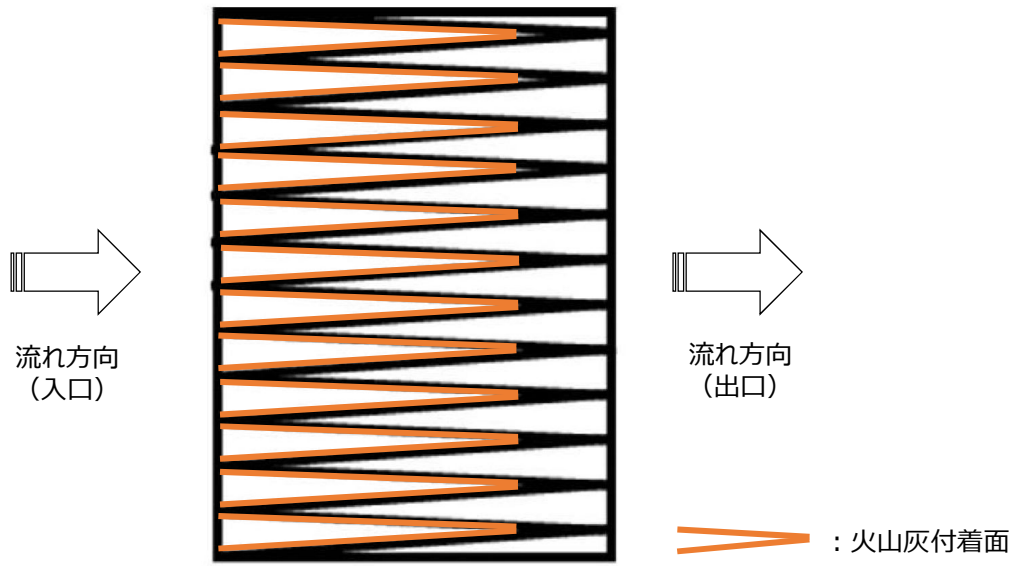


図2 ディーゼル発電機の吸気消音器前への改良型フィルタ取付



〔改良型フィルタの断面図（A 視）〕

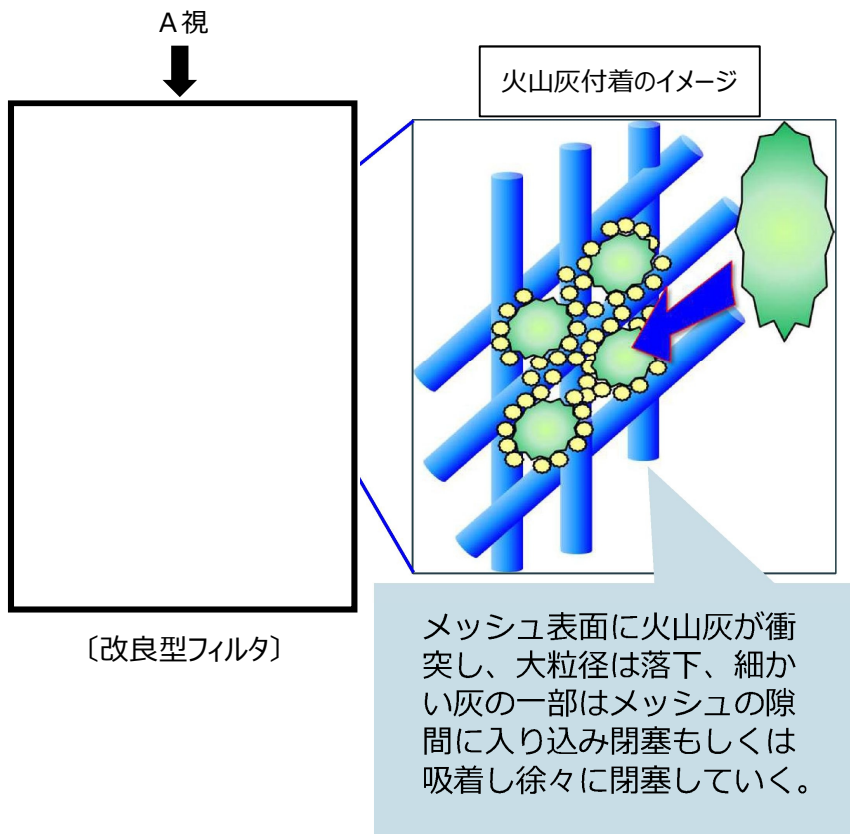


図3 改良型フィルタの火山灰捕集の概要図

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

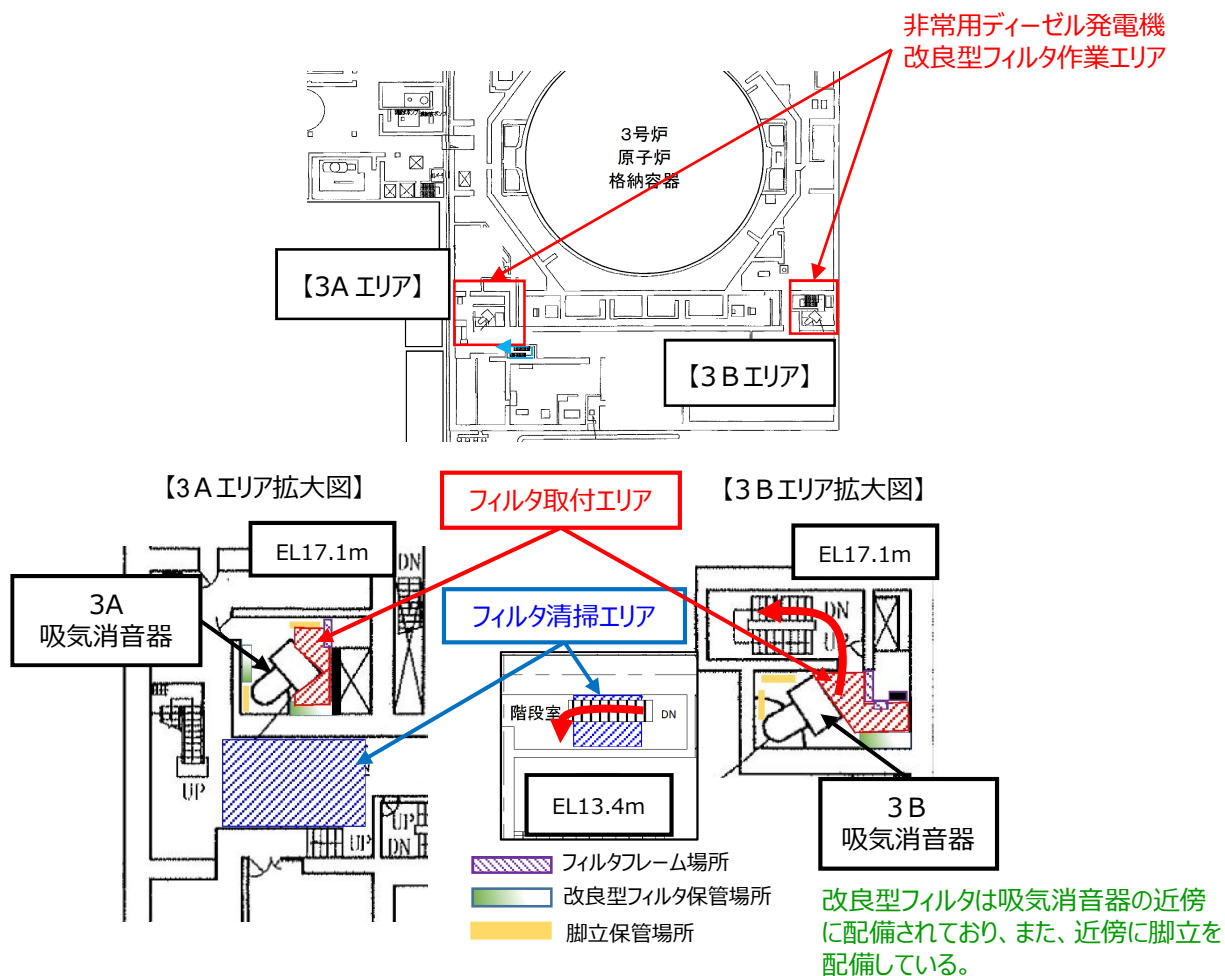
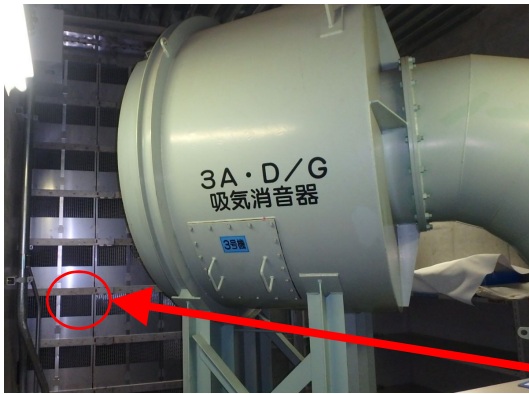


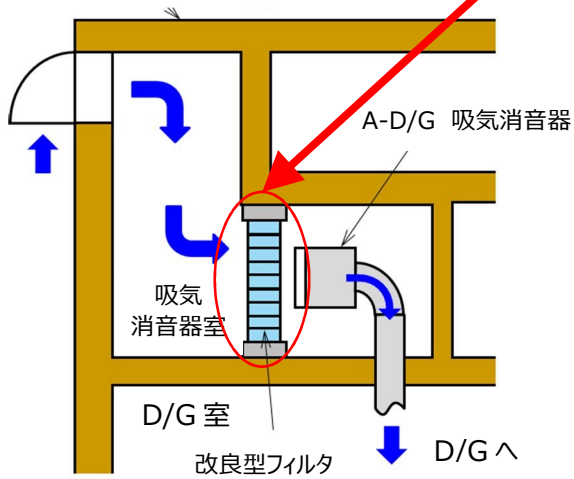
図4 改良型フィルタ取付、フィルタ取替・清掃を行う作業エリアの概要



拡大図

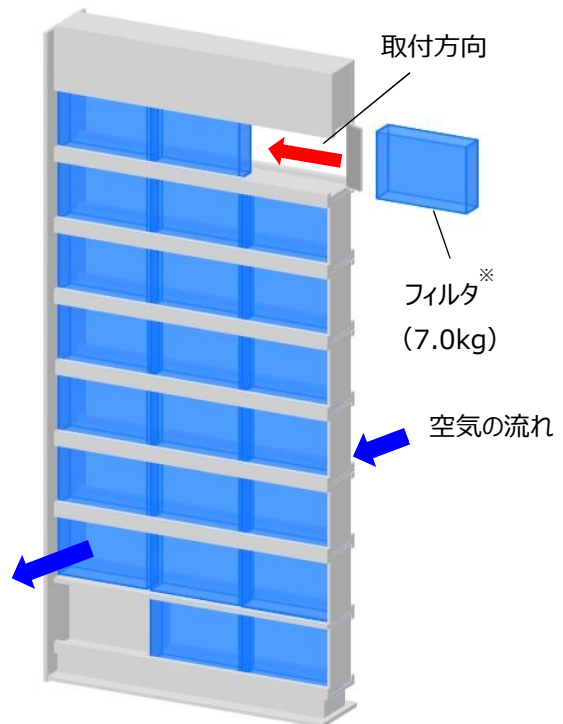


改良型フィルタ取付方向



原子炉周辺建屋内 縦断面図

改良型フィルタ



※フィルタは、非常用ディーゼル発電機運転中の取替・清掃のため、所要数の2倍を配備している。

図5 非常用ディーゼル発電機への改良型フィルタ取付作業の概要

(5) 蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプ(電動)を用いた蒸気発生器への注水による炉心冷却の成り立ちについて

a. はじめに

火山影響等発生時において、ガイドに基づき設定した気中降下火砕物濃度を超える降下火砕物濃度を想定した場合、前項「3. 層厚変更に伴い評価対象となる運用の評価」の「(1) 改良型フィルタのフィルタ取替の着手時間について g. 炉規則第八十三条 第一号 ロ(3) の対応におけるディーゼル発電機の機能を期待する時間について」に示すとおり、非常用ディーゼル発電機が降灰到達から 180 分間機能維持するものと設定する。

上記設定を踏まえて、降灰と同時に外部電源喪失が発生し、自動起動した非常用ディーゼル発電機が 180 分間運転継続した後、非常用ディーゼル発電機が停止することにより全交流動力電源喪失が発生した場合でも、蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプ(電動)以下、「仮設中圧ポンプ」という。)により蒸気発生器へ注水することで、炉心の著しい損傷を防止できることについて確認した。

b. 主要解析条件等

第 1 表に主要な解析条件を示す。また、第 1 図に対応手順と事象進展を示す。なお、第 1 表以外の主要解析条件は、原子炉設置変更許可申請書 添付書類十のうち、事故シーケンスグループ「全交流動力電源喪失」における重要事故シーケンス「外部電源喪失 + 非常用所内交流電源喪失 + 原子炉補機冷却機能喪失」と同様であり、参考表 1 に示す。

第1表 主要解析条件

項目	主要解析条件	条件設定の考え方
解析コード	M - R E L A P 5	新規制基準適合性確認審査で実績のあるコードを使用。(主要条件のため記載)
炉心崩壊熱	FP：日本原子力学会推奨値 アクチニド：ORIGEN2 (サイクル末期を仮定)	サイクル末期炉心の保守的な値を設定。燃焼度が高いと高次のアクチニドの蓄積が多くなるため長期冷却時の崩壊熱は大きくなる。このため、燃焼度が高くなるサイクル末期時点を対象に崩壊熱を設定。また炉心平均評価用崩壊熱を用いる。
起因事象	原子炉手動停止 (解析上の時刻0秒)	降灰予報「多量」から5分後(噴火から15分後)を設定。
原子炉手動停止後の対応	高温停止状態維持	原子炉手動停止後、1次系濃縮完了までは高温停止状態を維持。
安全機能の喪失に対する仮定(1)	外部電源喪失 (原子炉手動停止から45分後)	発電所への降灰到達時(噴火から60分後)に外部電源が喪失することを仮定。
安全機能の喪失に対する仮定(2)	非常用所内交流動力電源喪失 (原子炉手動停止から225分後)	降灰到達から180分間の非常用ディーゼル発電機の機能維持を考慮。気中降下物濃度の2倍濃度の火山灰による閉塞を想定した場合の非常用ディーゼル発電機の機能維持時間をフィルタ試験結果より保守的に設定。
補助給水機能の喪失に対する仮定	全交流動力電源喪失と同時に機能喪失	全交流動力電源喪失により電動補助給水ポンプが停止。タービン動補助給水ポンプには期待しない。
2次系強制冷却開始(主蒸気逃がし弁開)	原子炉手動停止から265分後 (全交流電源喪失から40分後)	仮設中圧ポンプ準備完了時間に弁の操作時間5分を加えた時間を設定。(全交流電源喪失後に操作現場に移動したのち、仮設中圧ポンプ準備完了の連絡を現場で受けてからの手動操作を想定)
仮設中圧ポンプによる蒸気発生器への注水	蒸気発生器2次側圧力 2.8MPa[gage]にて注入開始	設備の仕様から設定

c. 解析結果

2次系関係の主要な事象進展を第2図から第5図に、1次系関係の主要な事象進展を第6図から第8図に示す。

原子炉の手動停止後、補助給水ポンプによる蒸気発生器への注水および主蒸気逃がし弁による1次系温度の維持等により、高温停止状態を維持する。

原子炉の手動停止から45分後に発生する外部電源喪失以降も非常用ディーゼル発電機からの給電により高温停止状態を維持する。

原子炉の手動停止から225分後に、非常用ディーゼル発電機が機能喪失することにより全交流電源喪失および補助給水機能喪失が発生するが、原子炉の手動停止から265分後に主蒸気逃がし弁による2次系強制冷却を開始することで蒸気発生器の圧力が低下し、仮設中圧ポンプによる蒸気発生器への注水は原子炉の手動停止から約284分後から開始される。それまでの約59分間は蒸気発生器への注水が停止するが、仮設中圧ポンプによる注水の効果により、蒸気発生器の水位は、事象進展中、約18%以上に保たれる。(既認可：約15%)

仮設中圧ポンプによる蒸気発生器への注水により蒸気発生器2次側の保有水を確保できること、1次系の保有水が十分確保されていること、主蒸気安全弁の作動および主蒸気逃がし弁による2次系強制冷却により1次系の自然循環が維持されることから、継続的な炉心冷却が可能であり、炉心の著しい損傷を防止できる。

以降は、1次系圧力1.7MPa[gage]にて蓄圧タンク出口弁を閉止し、1次系温度170、1次系圧力0.7MPa[gage]の状態まで減温・減圧し、安定停止状態に移行する。これらの主要な事象進展と解析結果を第2表に示す。

第2表 主要な事象進展と解析結果

事象進展	層厚変更後		既認可
	解析上の経過時間(分)	火山噴火からの想定時間(分)	火山噴火からの想定時間(分)
原子炉手動停止	0	15	15
外部電源喪失発生	45	60	60
全交流動力電源喪失発生 (補助給水機能喪失発生)	225	240	160
主蒸気逃がし弁(現場)による 2次系強制冷却開始	265	280	200
仮設中圧ポンプによる蒸気発生器への 注水開始	約284	約299	約219
蒸気発生器水位(広域)の 最低値(約18%)到達	約307	約322	約247 ¹

1：既認可における蒸気発生器水位(広域)の最低値である約15%に到達する時間

d. 不確かさの影響評価

c. で実施した解析結果に対して、原子炉設置変更許可申請書 添付書類十と同等の不確かさの影響評価を実施し、運転員等操作時間および評価結果に与える影響を確認した。

不確かさの影響評価方法について、参考図 1 に示す。

不確かさの影響を確認する運転員等操作は、蒸気発生器の水位が回復に転じるまでに実施する操作を対象とする。具体的には、「外部電源喪失後の対応」、「2次系強制冷却開始」、「仮設中圧ポンプによる蒸気発生器への注水」を対象に影響を確認する。

(a) 解析コードにおける重要現象の不確かさの影響評価

本解析に対して不確かさの影響評価を行う重要現象は、「蒸気発生器 2 次側水位変化・ドライアウト」であり、当該重要現象に対する不確かさの影響評価は以下のとおりである。

ア. 運転員等操作時間に与える影響

「蒸気発生器 2 次側水位変化・ドライアウト」は、LOFTL9 - 3 試験の結果から、蒸気発生器水位の低下に伴う伝熱量の低下傾向を適切に模擬できており、不確かさは十分小さいと評価している。また、蒸気発生器水位を起点としている運転員等操作はないことから、運転員等操作時間に与える影響はない。

イ. 評価結果に与える影響

ア. に記載しているとおり、「蒸気発生器 2 次側水位変化・ドライアウト」は、LOFTL9 - 3 試験の結果から、蒸気発生器水位の低下に伴う伝熱量の低下傾向を適切に模擬できており、不確かさは十分小さいと評価している。このため、評価結果に与える影響は十分小さい。

(b) 解析条件の不確かさの影響評価

ア. 初期条件、事故条件および機器条件

初期条件、事故条件および機器条件は第 1 表に示す条件のうち「原子炉手動停止後の対応」および「2次系強制冷却開始」以外の条件であり、それらの条件設定を設計値等、最確条件（現実的な条件）とした場合の影響を評価する。

運転員等操作時間に与える影響

炉心崩壊熱の変動を考慮し、現実的な条件の崩壊熱を用いた場合、解析条件として設定している崩壊熱より小さくなるため、蒸気発生器水位は高めに推移する。しかしながら、蒸気発生器水位を起点としている運転員等操作はないことから、運転員等操作時間に与える影響はない。

起因事象および安全機能の喪失に対する仮定の変動を考慮し、最確条件の起因事象および安全機能の喪失に対する仮定を用いた場合、非常用ディーゼル発電機フィルタの捕集容量を現実的に考えると、全交流動力電源喪失発生時刻は想定より遅れる。このように、現実的な条件で起因事象や安全機能の喪失を仮定した場合、事象進展が緩やかになるため、崩壊熱の低下により蒸気発生器水位は高めに推移する。しかしながら、蒸気発生器水位を起点としている運転員等操作はないことから、運転員等操作時間に与える影響はない。

補助給水機能の喪失については、全交流動力電源喪失発生と同時に電動補助給水ポンプは停止し、また、タービン動補助給水ポンプに期待しないことは前提条件であることから、不確かさはない。なお、さらなる考察のため、補助給水機能の喪失に対する仮定の変動を考慮し、仮にタービン動補助給水ポンプがある期間使用できる場合も考えると、その期間は補助給水が停止しないことから、事象進展が緩やかになるため、蒸気発生器水位は高めに推移する。しかしながら、蒸気発生器水位を起点としている運転員等操作はないことから、運転員等操作時間に与える影響はない。

仮設中圧ポンプによる蒸気発生器への注水については、設備仕様から設定していることから不確かさはない。このため、運転員等操作時間に与える影響はない。

評価結果に与える影響

炉心崩壊熱の変動を考慮し、現実的な条件の崩壊熱を用いた場合、解析条件として設定している崩壊熱より小さくなり、蒸気発生器水位は高めに推移するため、評価結果の余裕は大きくなる。

起因事象および安全機能の喪失に対する仮定の変動を考慮し、最悪条件の起因事象および安全機能の喪失に対する仮定を用いた場合、非常用ディーゼル発電機フィルタの捕集容量を現実的に考えると、全交流動力電源喪失発生時刻は想定より遅れる。このように、現実的な条件で起因事象や安全機能の喪失を仮定した場合、事象進展が緩やかになることにより、崩壊熱の低下により蒸気発生器水位は高めに推移するため、評価結果の余裕は大きくなる。

補助給水機能の喪失については、全交流動力電源喪失発生と同時に電動補助給水ポンプは停止し、また、タービン動補助給水ポンプに期待しないことは前提条件であることから、不確かさはない。なお、さらなる考察のため、補助給水機能の喪失に対する仮定の変動を考慮し、仮にタービン動補助給水ポンプがある期間使用できる場合も考えると、その期間は補助給水が停止しないことから、事象進展が緩やかになることにより、蒸気発生器水位は高めに推移するため、評価結果の余裕は大きくなる。

仮設中圧ポンプによる蒸気発生器への注水については、設備仕様から設定していることから不確かさはない。このため、評価結果に与える影響はない。

イ．操作条件

操作条件の不確かさとして、解析コードおよび解析条件の不確かさが運転員等操作時間に与える影響並びに解析上の操作開始時間と実際に見込まれる操作開始時間等の操作時間の変動を考慮して、要員の配置による他の操作に与える影響および評価結果に与える影響を確認する。

要員の配置による他の操作に与える影響

「原子炉手動停止後の対応（運転員操作）」に対して「仮設中圧ポンプによる蒸気発生器への注水（運転員操作）」および「2次系強制冷却開始（運転員操作）」の操作は全交流動力電源喪失発生を起点に切り替わる操作であり、作業は重複しないことから、要員の配置による他の操作に与える影響はない。また、「仮設中圧ポンプによる蒸気発生器への注水（運転員操作・緊急安全対策要員操作）」は、「2次系強制冷却開始（運転員操作・緊急安全対策要員操作）」とは異なる要員による操作であり、作業は重複しないため、要員の配置による他の操作に与える影響はない。

評価結果に与える影響

「原子炉手動停止後の対応」については、原子炉手動停止の発生を起点とし、全交流動力電源喪失の発生までの間、高温停止状態を維持する操作であることから、評価結果に与える影響はない。

「2次系強制冷却開始」および「仮設中圧ポンプによる蒸気発生器への注水」については、解析上の開始時間に対して実際に見込まれる開始時間は早くなる。具体的には、仮設中圧ポンプの準備操作完了を受けて、主蒸気逃がし弁開操作を開始し、主蒸気逃がし弁の開放による2次系強制冷却開始後、蒸気発生器2次側が既定の圧力まで減圧されれば、仮設中圧ポンプによる蒸気発生器への注水が開始されるが、仮設中圧ポンプの準備操作の操作時間は実際には短くなることを訓練等で確認していることから、2次系強制冷却開始時間は、解析上の想定に対して早くなる。このため、蒸気発生器2次側減圧が早まり、仮設中圧ポンプから蒸気発生器への注水が早期に開始されることから、評価結果の余裕は大きくなる。

(c) 操作時間余裕

不確かさの影響を確認する運転員等操作のうち「原子炉手動停止後の対応」については、原子炉手動停止を起点とし、全交流動力電源喪失の発生までの間、高温停止状態を維持する操作であることから、十分な操作時間余裕がある。

また、「2次系強制冷却開始」については、解析コードおよび解析条件の不確かさによる操作開始時間への影響がないこと、解析上の操作開始時間として電源系統切替に要する時間35分と主蒸気逃がし弁開操作時間5分を設定しており、実際に見込まれる操作開始時間は早くなる^(注1)ことから、操作が遅れた場合の時間余裕を確認する必要はないが、どの程度の操作時間余裕があるかを把握する観点から、評価結果に対して、対策の有効性が確認できる範囲内での操作時間余裕を確認する。

(注1): 電源系統切替が含まれる「電源車による給電準備および給電開始」操作は、想定時間110分より短い時間で操作が完了できることを確認していること、および、弁の中間開度での蒸気放出に解析上期待していないことから、実際の操作開始は早まるとしている。

「2次系強制冷却開始」に対する操作時間余裕としては、当該操作が遅れることにより主蒸気安全弁からの蒸気放出が継続することを仮定し、解析上の蒸気発生器の最低水位である約18%に相当する液相保有水である約14tonが、主蒸気安全弁から放出される蒸気として全て消費される時間を算出して概算する。

第4図に示す蒸気発生器保有水量(液相)の時間変化より、主蒸気安全弁動作時のSG保有水量低下率は約0.34ton/minであることから、余裕時間は以下の通りとなる。

【評価結果】

$$\text{約 } 14\text{ton} \div \text{約 } 0.34\text{ton/min} = \text{約 } 41\text{分}$$

評価の結果、操作時間余裕として全交流電源喪失から40分後に実施する「2次系強制冷却の開始」に対して、約41分の時間余裕が確保できる。

また、「仮設中圧ポンプによる蒸気発生器への注水」に関しては、仮設中圧ポンプの準備完了後に「2次系強制冷却開始」を行うことから、前述の「2次系強制冷却開始」にかかる時間余裕約41分は仮設中圧ポンプの準備にかかる時間余裕としても扱うことができる。

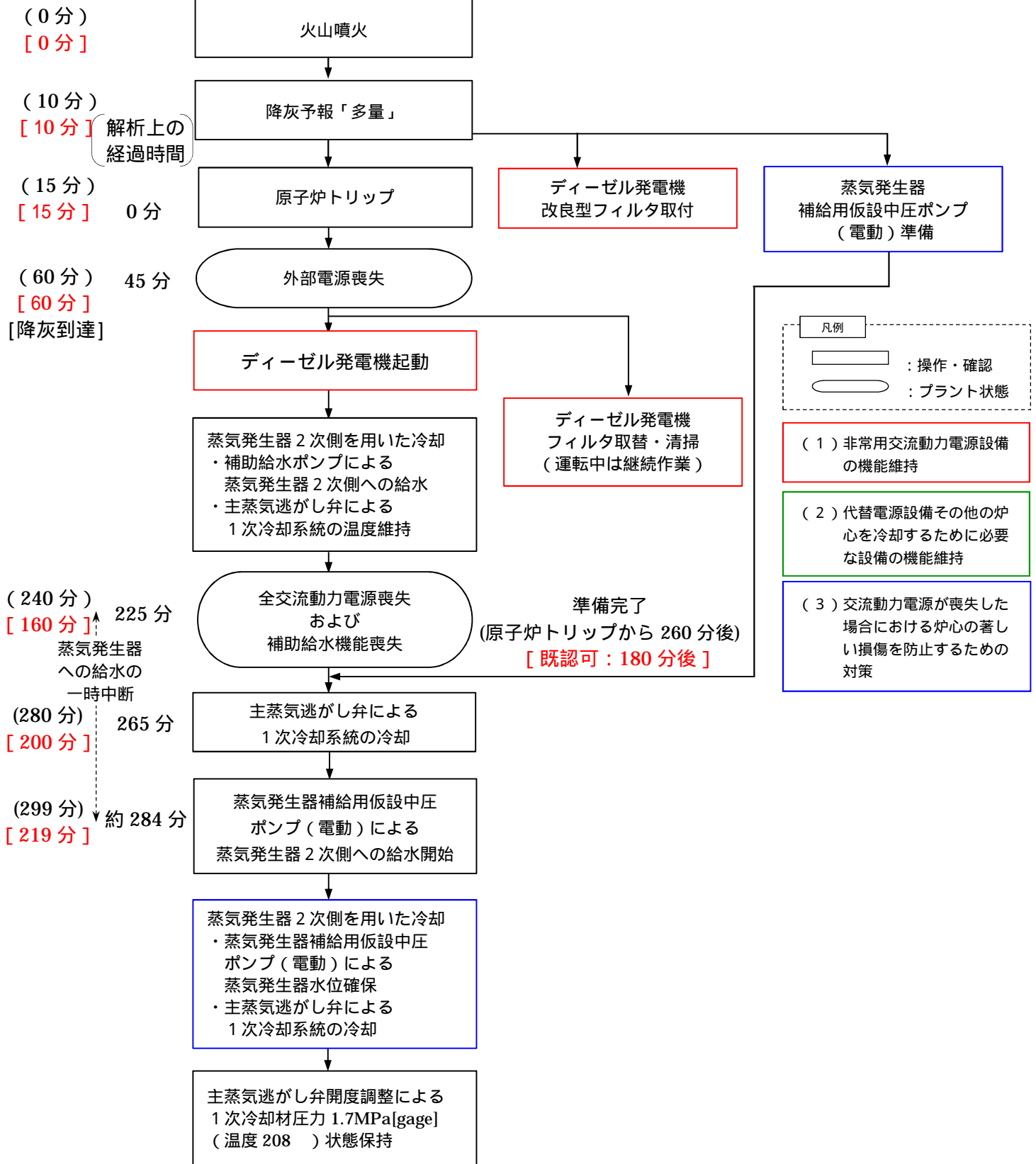
e. まとめ

降灰予報「多量」を受けて原子炉を手動停止させた後、降灰到達により外部電源喪失が発生し、その180分後に全交流動力電源喪失および補助給水機能喪失に至るものと想定した場合でも、仮設中圧ポンプによる蒸気発生器への注水により蒸気発生器2次側の保有水を確保できること、1次系の保有水が十分確保されていること、主蒸気安全弁の作動および主蒸気逃がし弁による2次系強制冷却により1次系の自然循環が維持されることから、継続的な炉心冷却が可能であり、炉心の著しい損傷を防止できる。また、解析コードおよび解析条件の不確かさを考慮した場合でも、蒸気発生器水位に対する余裕が大きくなる。

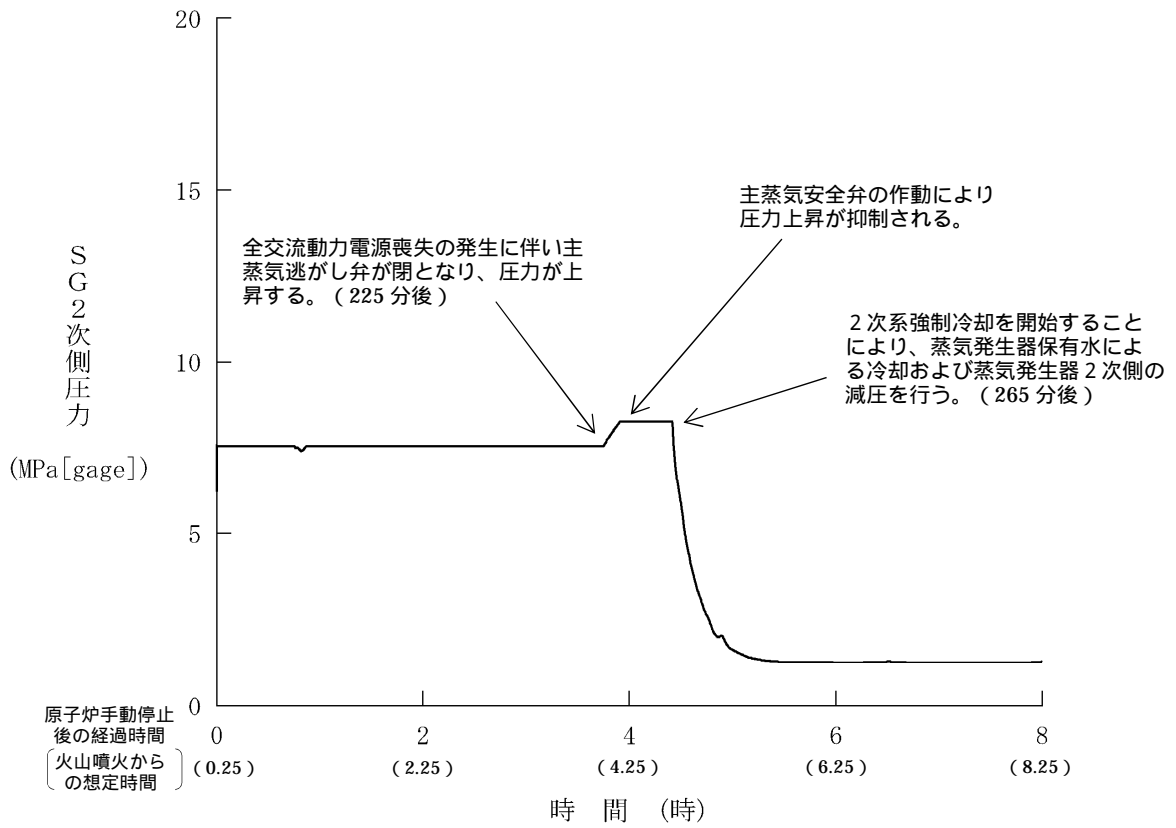
このため、仮設中圧ポンプを用いた蒸気発生器への注水により、炉心の著しい損傷を防止できることを確認した。

(火山噴火からの想定時間)

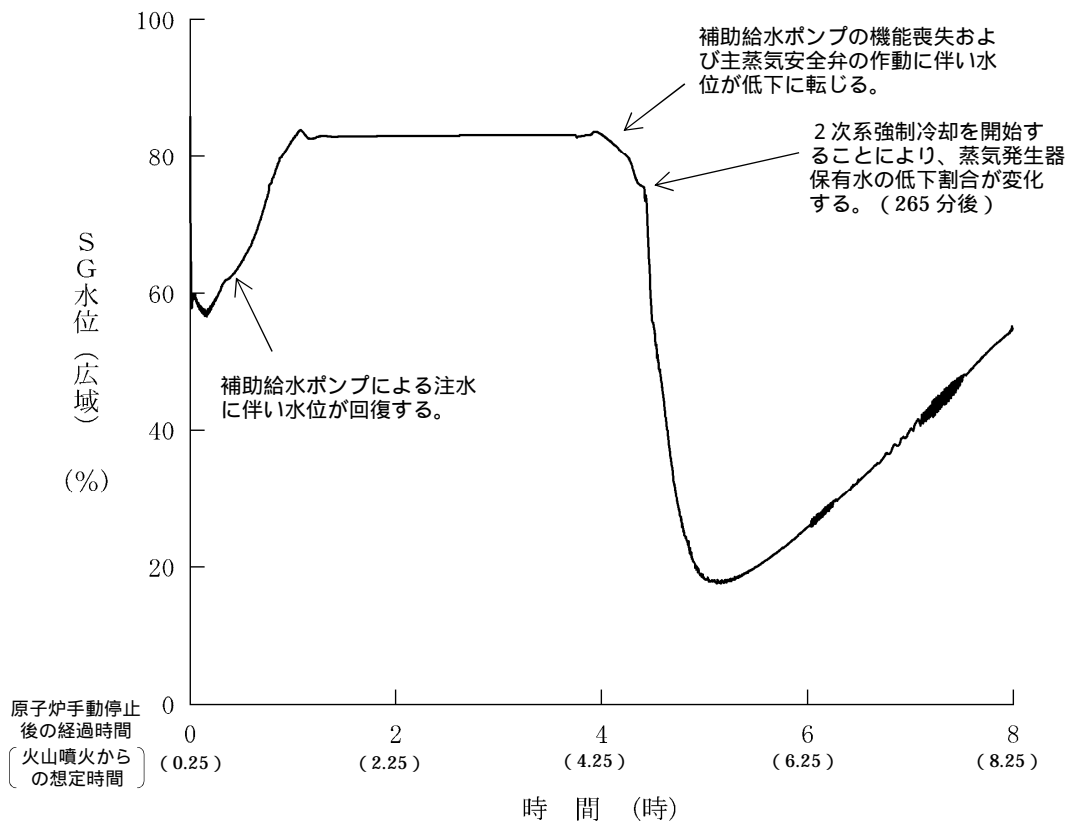
[既認可]



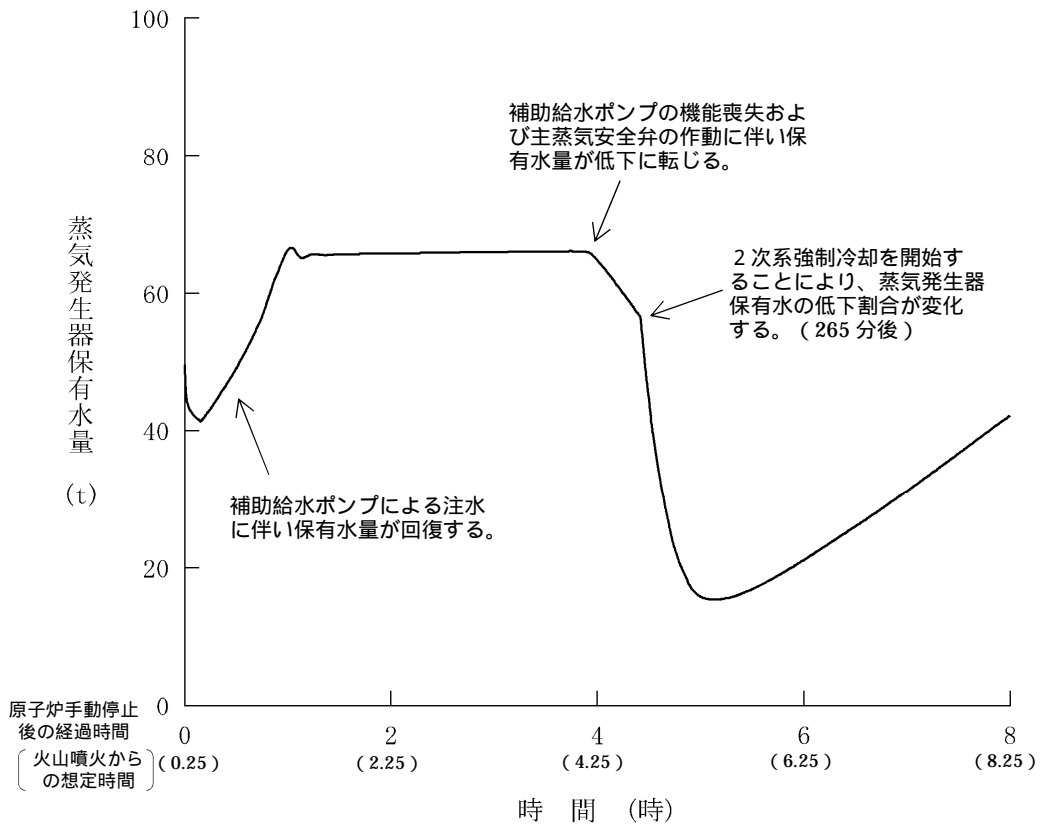
第1図 対応手順と事象進展



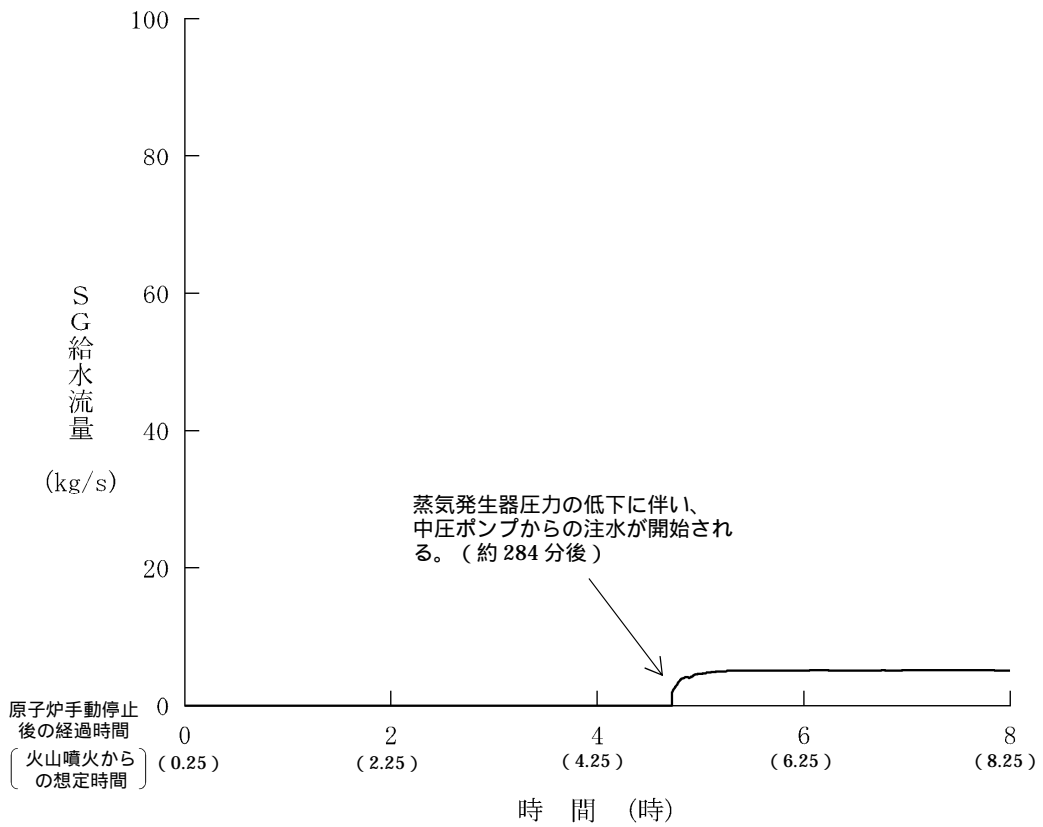
第2図 蒸気発生器2次側圧力



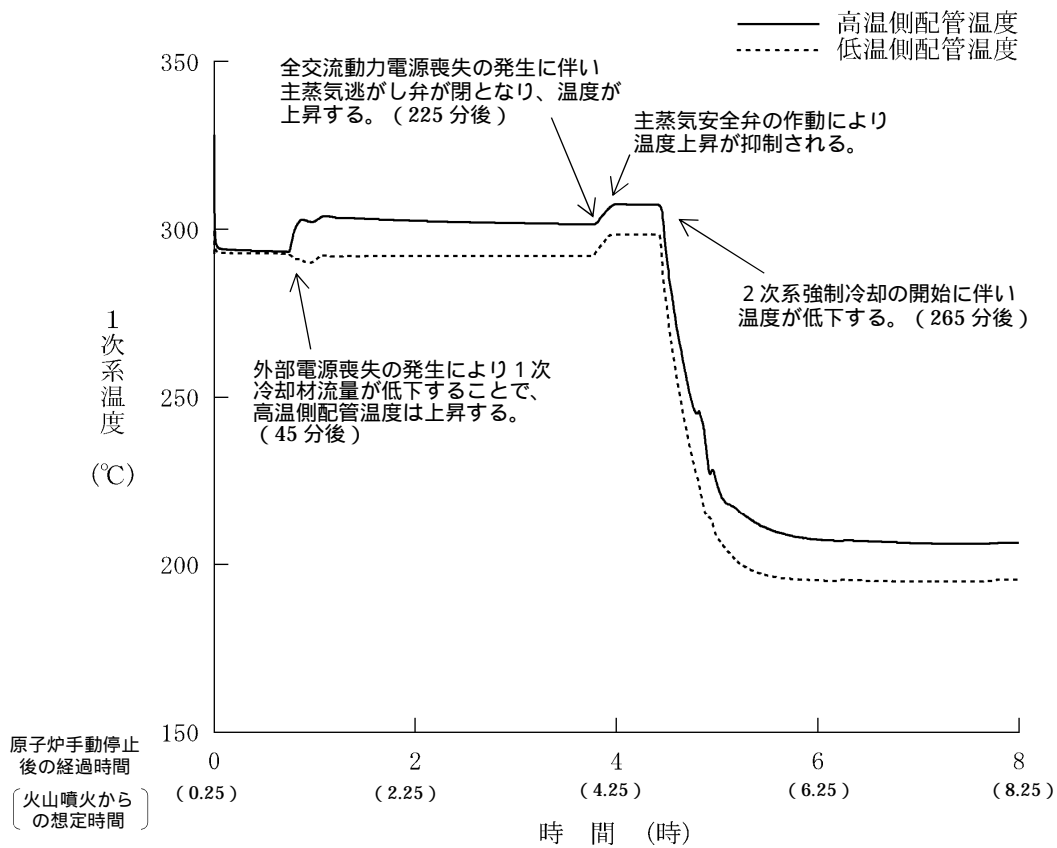
第3図 蒸気発生器水位 (広域)



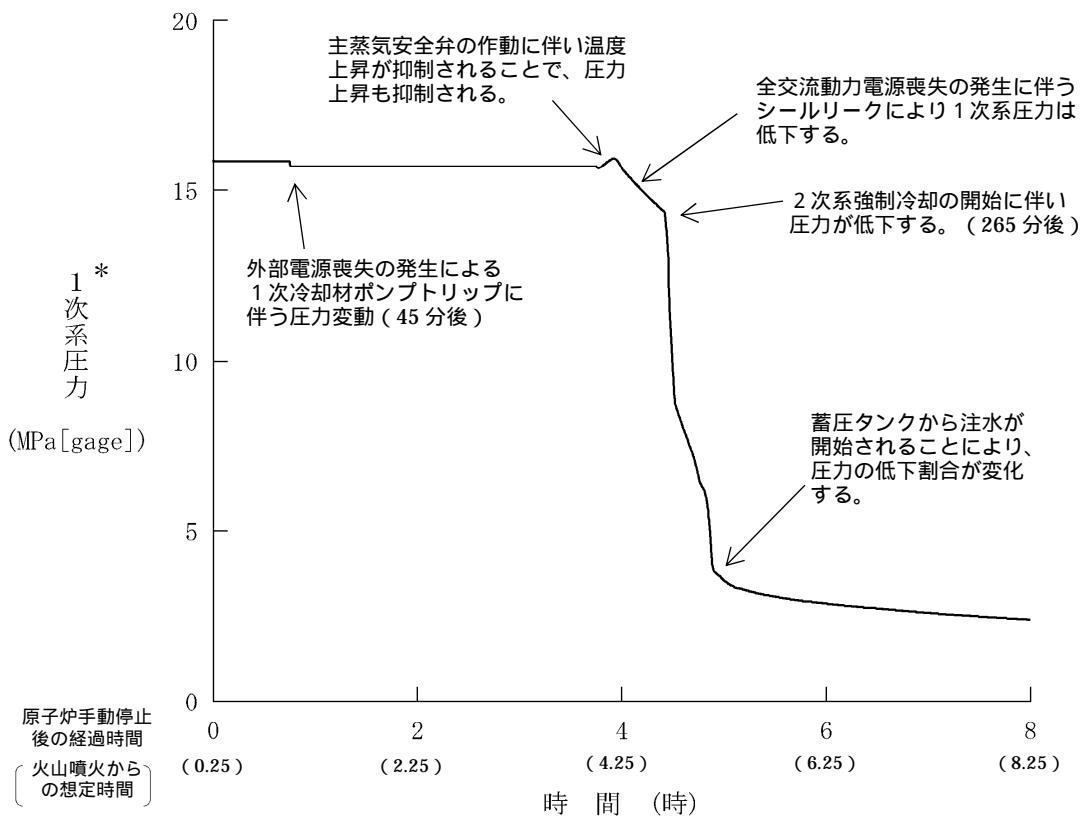
第4図 蒸気発生器保有水量 (液相)



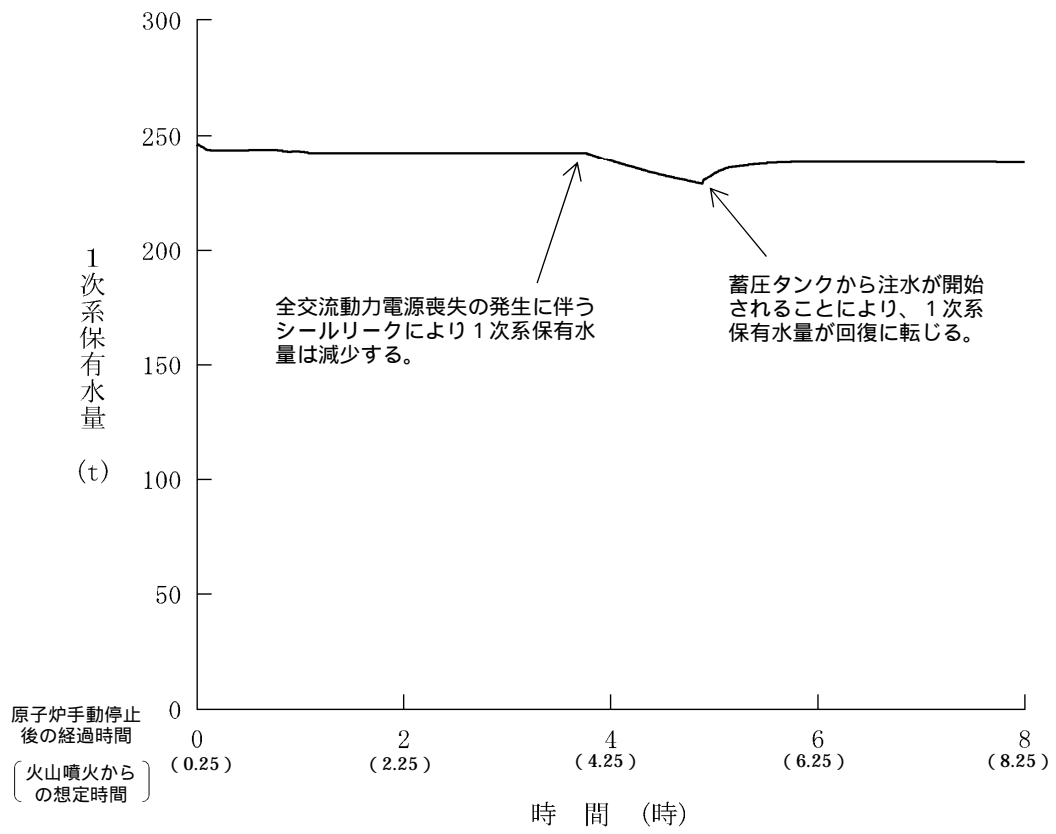
第5図 蒸気発生器2次側への注水流量



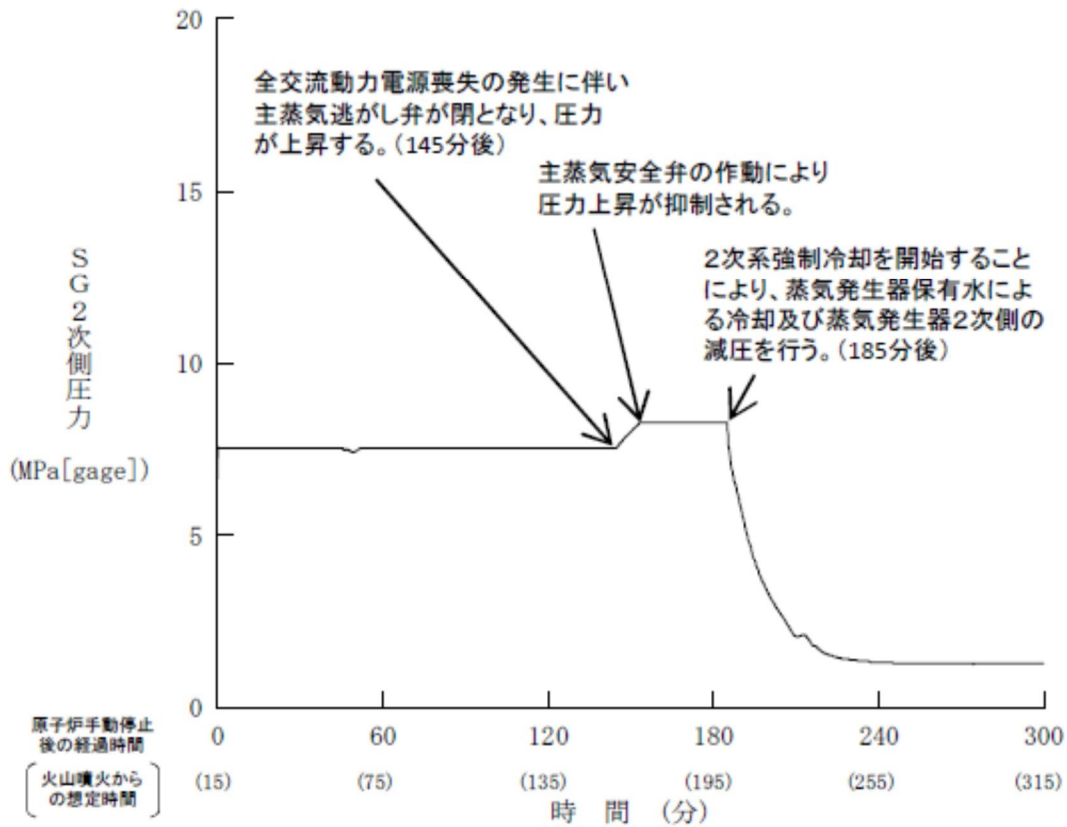
第6図 1次系温度 (高温側、低温側)



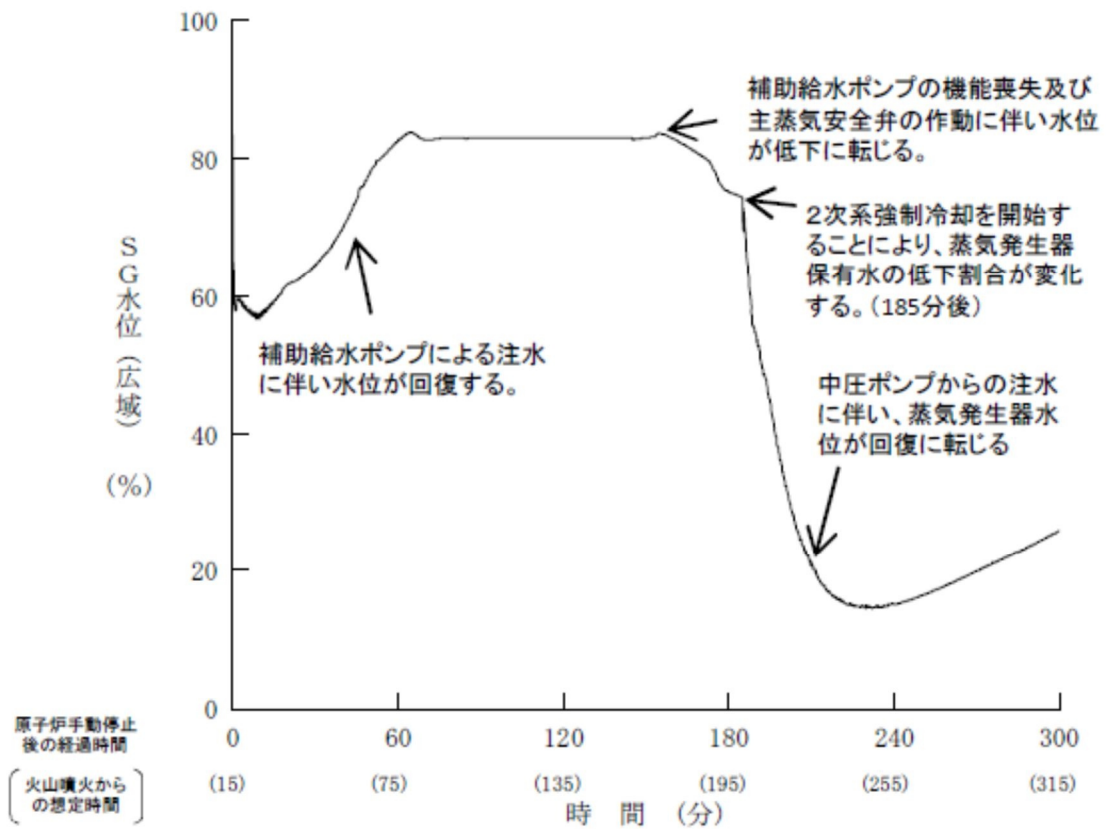
第7図 1次系圧力



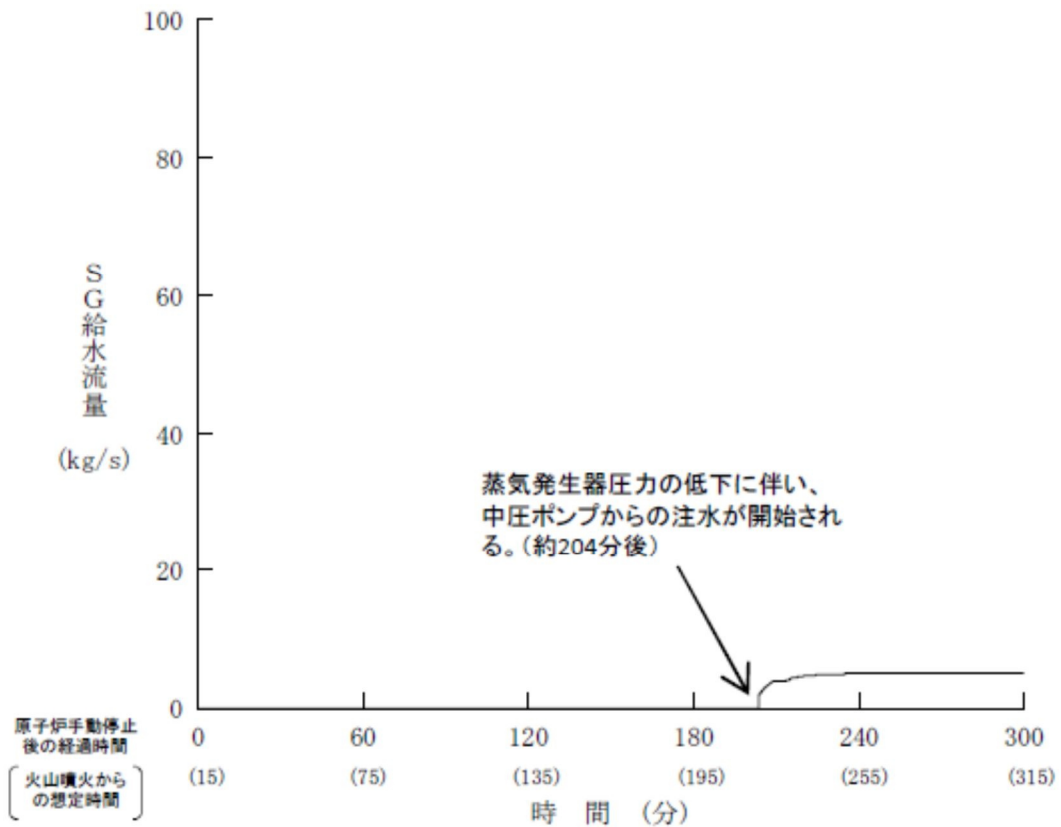
第8図 1次系保有水量



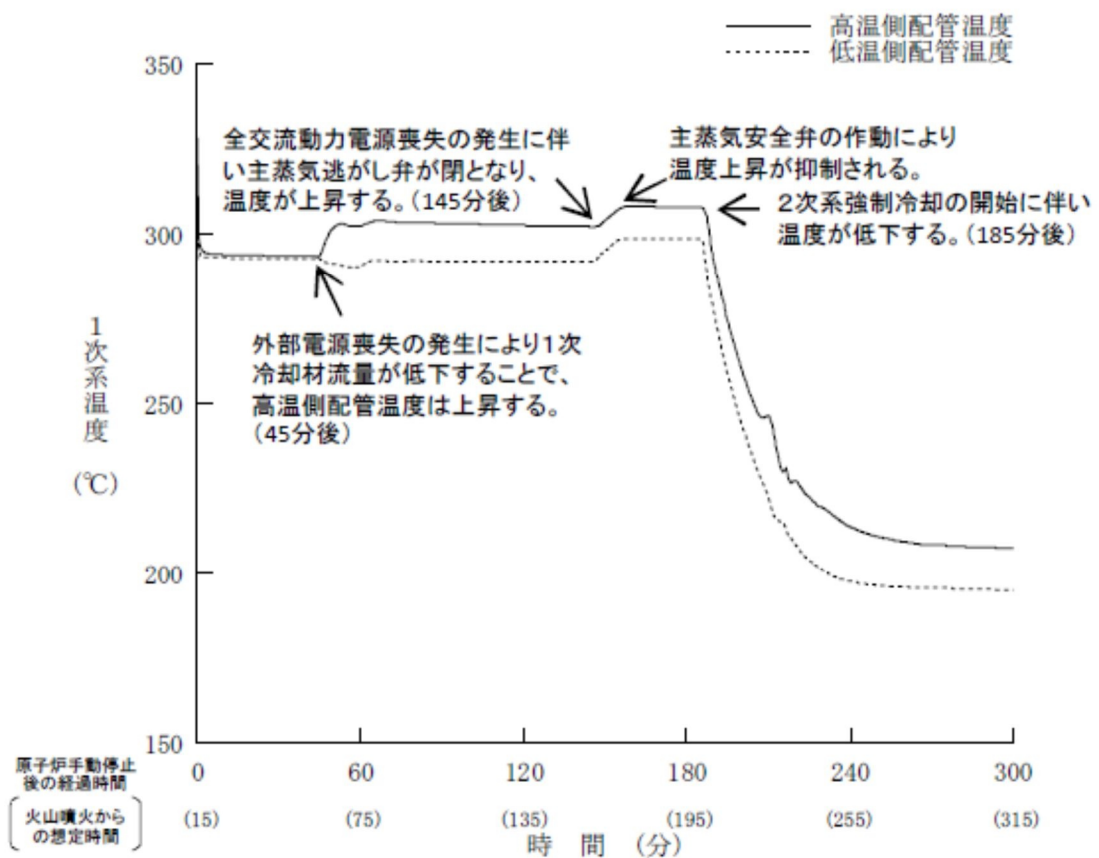
第9 - 1 図 [既認可] 蒸気発生器 2次側圧力



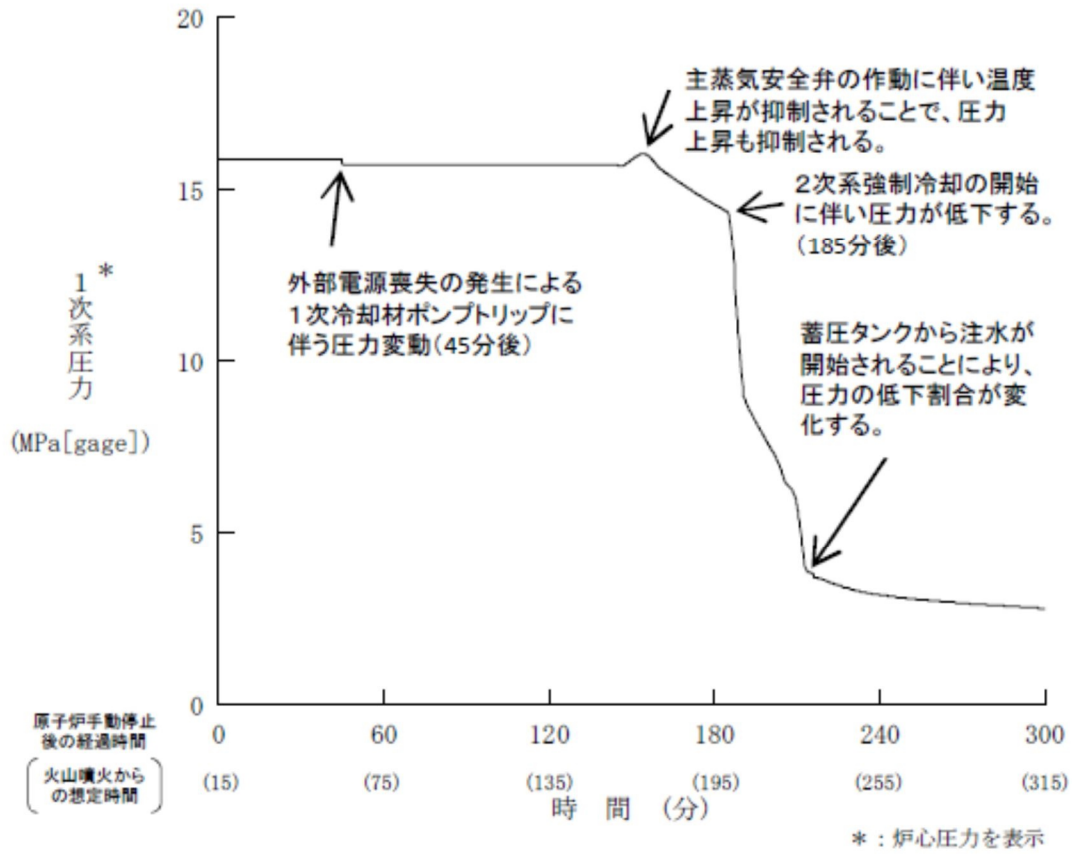
第9 - 2 図 [既認可] 蒸気発生器水位 (広域)



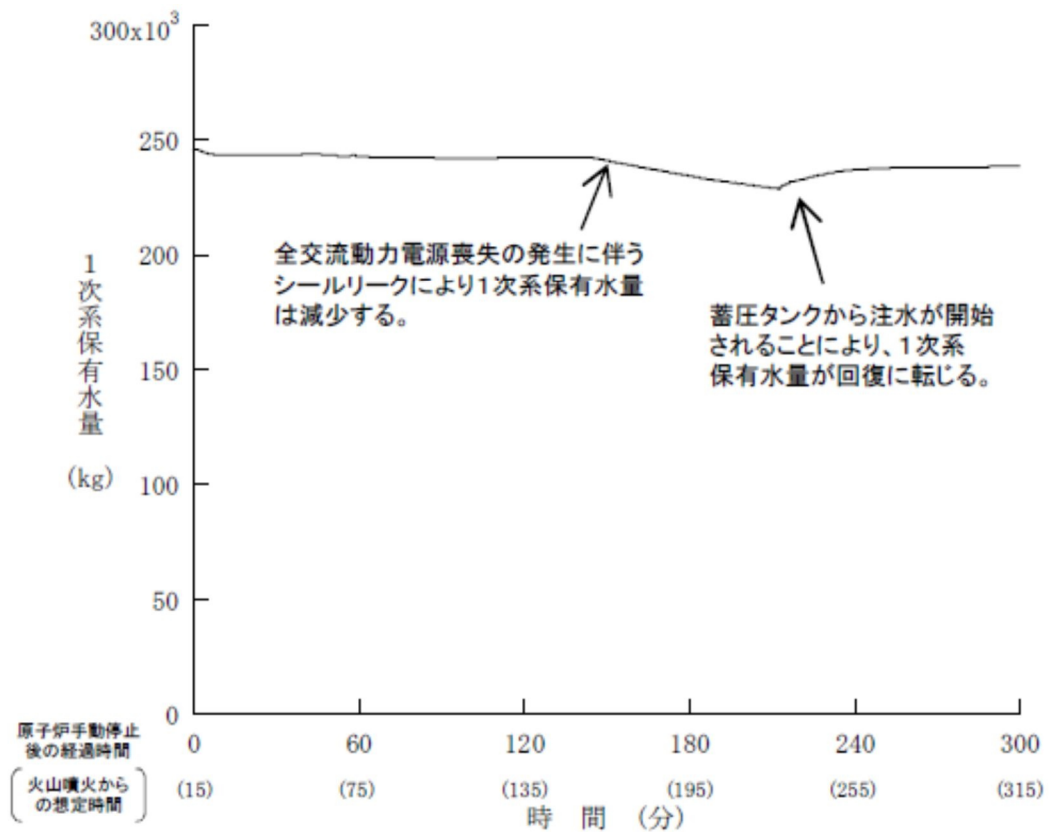
第9 - 3 図 [既認可] 蒸気発生器2次側への注水流量



第9 - 4 図 [既認可] 1次系温度 (高温側、低温側)



第9 - 5 図 [既認可] 1次系圧力



第9 - 6 図 [既認可] 1次系保有水量

参考表 1 外部電源喪失 + 非常用所内交流電源喪失 + 原子炉補機冷却機能喪失の解析条件 (1 / 3)

項目	主要解析条件	条件設定の考え方
解析コード	M-R-E-L-A-P-5	本重要事故シナリオの重要現象である炉心における沸騰・ポイド率変化、気液分離・対向流等を適切に評価することが可能であるコード。
炉心熱出力 (初期)	100%(3,411MWt)×1.02	評価結果を厳しくするようにより、定常誤差を考慮した上限値として設定。炉心熱出力が大きいと崩壊熱が大きくなり、1次冷却材の蒸散量及び燃料被覆管温度の観点から厳しい設定。
1次冷却材圧力 (初期)	15.41+0.21MPa[gage]	評価結果を厳しくするようにより、定常誤差を考慮した上限値として設定。1次冷却材圧力が高いと2次冷却系強制冷却による減温、減圧が遅くなるとともに、蓄圧注入のタイミミングが遅くなり、比較的低温の冷却材が注水されるタイミミングが遅くなることから、厳しい設定。
1次冷却材平均温度 (初期)	307.1+2.2℃	評価結果を厳しくするようにより、定常誤差を考慮した上限値として設定。1次冷却材平均温度が高いと2次冷却系強制冷却による減温、減圧が遅くなり、蓄圧注入のタイミミングが遅くなり、比較的低温の冷却材が注水されるタイミミングが遅くなることから、厳しい設定。
炉心崩壊熱	FP：日本原子力学会推奨値 アクチノイド：ORIGEN2 (サイクル末期を仮定)	サイクル末期炉心の保守的な値を設定。燃焼度が高いと高次のアクチノイドの蓄積が多くなるため、長期冷却時の崩壊熱は大きくなる。このため、燃焼度が高くなるサイクル末期時点を対象に崩壊熱を設定。
蒸気発生器 2次側保有水量 (初期)	50t (1基当たり)	設計値として設定。

：原子炉設置変更許可申請書 添付書類十から抜粋した

参考表 1 外部電源喪失 + 非常用所内交流電源喪失 + 原子炉補機冷却機能喪失の解析条件 (2 / 3)

--

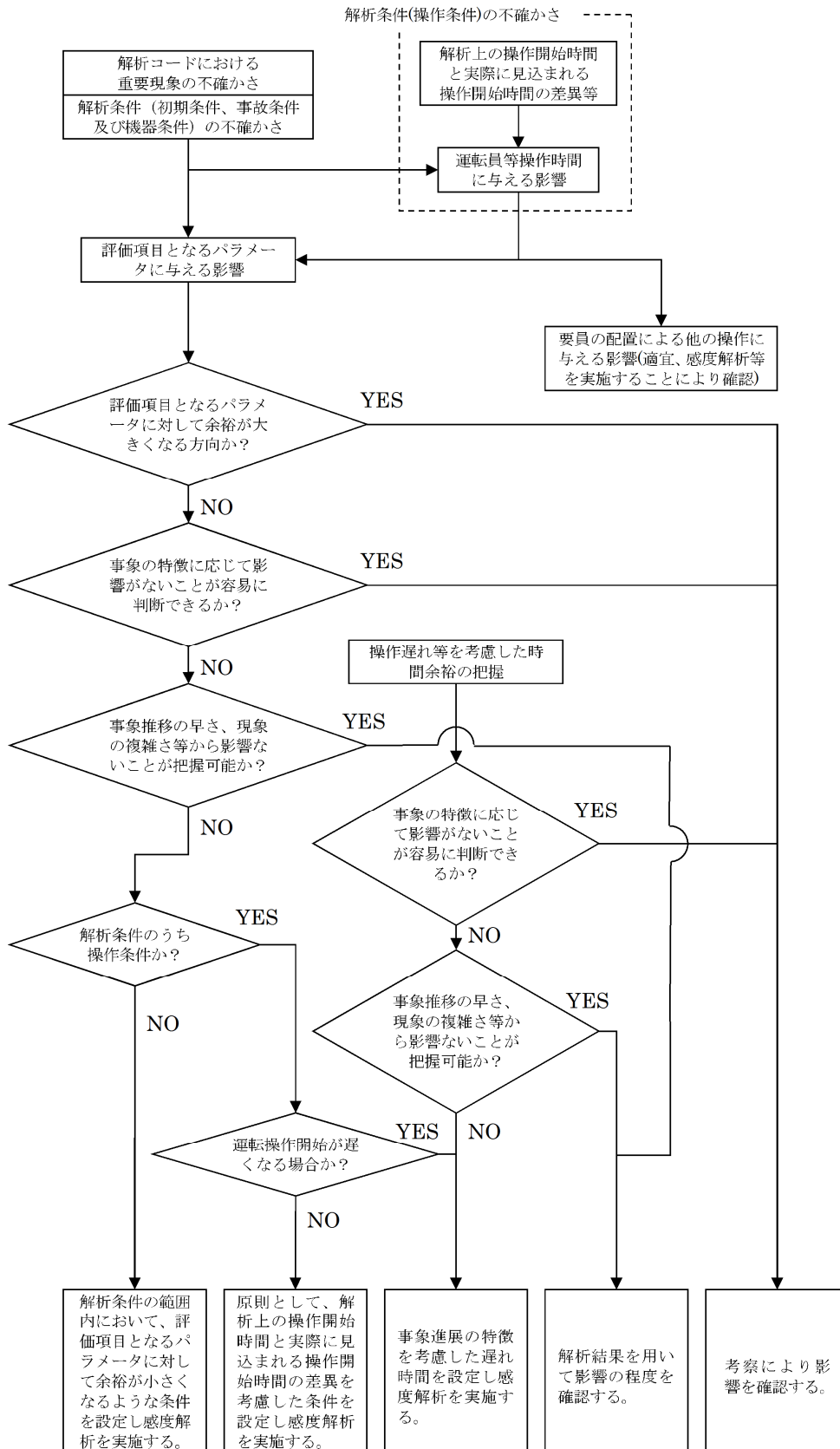
: 原子炉設置変更許可申請書 添付書類十から抜粋した

参考表 1 外部電源喪失 + 非常用所内交流電源喪失 + 原子炉補機冷却機能喪失の解析条件 (3 / 3)

項目	主要解析条件	条件設定の考え方
2 次冷却系強制冷却開始 (主蒸気逃がし弁開)	事象発生から 30 分後	運転員等操作時間として、事象発生の検知及び判断に 10 分、主蒸気逃がし弁の現場開操作に 20 分を想定して設定。
交流電源確立	事象発生の 24 時間後	-
1 次冷却材温度・圧力の保持	1 次冷却材温度 208℃ (約 1.7MPa[gage]) 到達時及び 1 次冷却材温度 170℃ (約 0.7MPa[gage]) 到達時	208℃については、蒸気発生器 2 次側冷却による 1 次冷却系の自然循環を阻害するおそれがある窒素の混入を防止するため、蓄圧タンクから 1 次冷却系に窒素が混入する圧力である約 1.2MPa[gage]に対して、0.5MPa の余裕を考慮して設定。また、170℃については、余熱除去系への切り替え等を考慮して設定。
蓄圧タンク出口弁閉止	1 次冷却材圧力約 1.7MPa[gage]到達及び代替交流電源確立 (24 時間) から 10 分後	運転員等操作時間として、蓄圧タンク出口弁の駆動源である代替交流電源確立の検知及び判断に 10 分を想定し設定。
2 次冷却系強制冷却再開 (主蒸気逃がし弁開)	蓄圧タンク出口弁閉止から 10 分後	運転員等操作時間として、主蒸気逃がし弁の調整操作に 10 分を想定し設定。
補助給水流量の調整	蒸気発生器狭域水位内	運転員操作として、蒸気発生器狭域水位内に維持するよう設定。

重大事故等対策に関連する操作条件

: 原子炉設置変更許可申請書 添付書類十から抜粋した



参考図 1 解析コードおよび解析条件の不確かさの影響評価フローについて

: 新規基準適合性確認審査 安全審査資料 「重大事故等対策の有効性評価」添付資料 1.7.1 から抜粋した

フィルタの性能試験について

1 試験の概要

ディーゼル発電機改良型フィルタのフィルタには、300 メッシュの金属フィルタをブリーツ状にすることで面積を確保したフィルタを使用する。

本試験では、フィルタの性能を確認するため、ディーゼル発電機改良型フィルタの吸気口を模擬した試験装置によりフィルタの閉塞時間を測定する。

2 試験方法

(1) 試験装置

図 1 に示す試験装置にフィルタを挿入し、フィルタ通過風速がディーゼル発電機運転時と同じになるよう流量調整した後、上流より火山灰を供給する。

試験は流量を一定に保ってフィルタの圧力損失を連続的に測定し、許容差圧に到達した時点で装置を停止し、試験終了時の最大捕集容量を算出する。

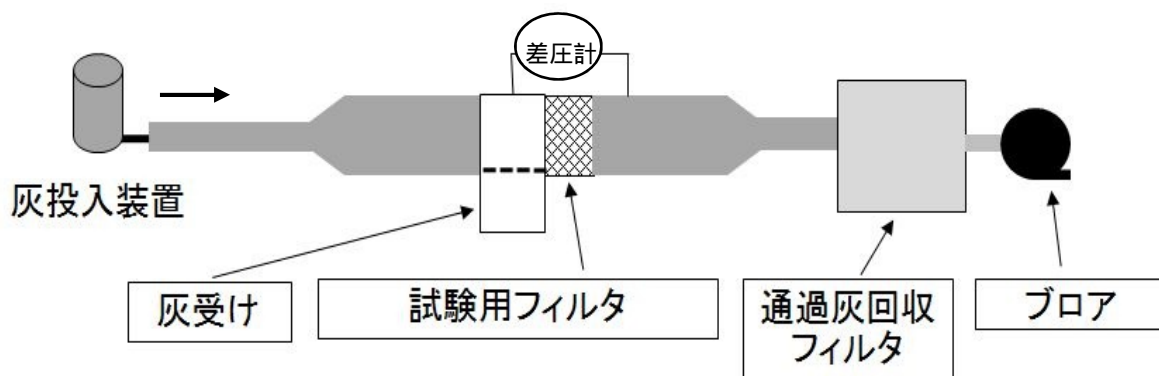


図 1 試験装置概要

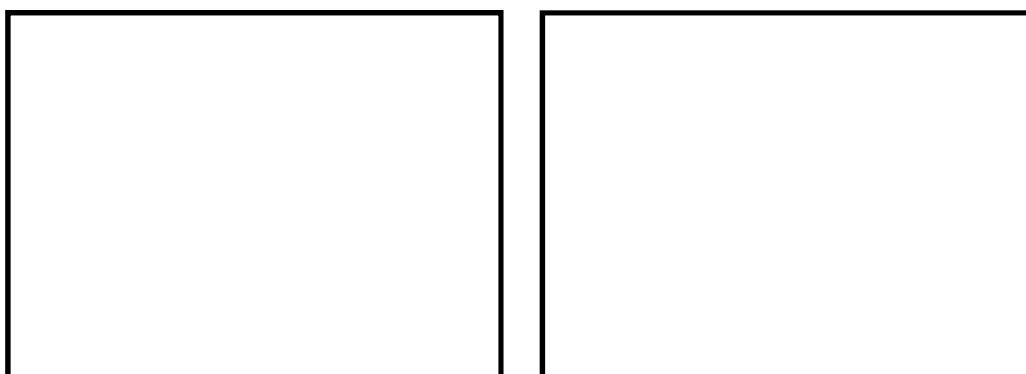


図 2 試験状況

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(2) 試験条件

試験条件を表 1 に示す。

フィルタ性能試験では、実機で使用している 300 メッシュブリーツ型金属フィルタの試験体 (W180mm×H290mm) を用いて行う。

試験風速は、ディーゼル発電機の吸気流量が最大となる定格出力時の吸気流量から 2.8m/s と算出している。なお、ディーゼル発電機の吸気流量は、出力に応じて変化するものであり、通常時の出力は定格出力以下であることから、保守性を有している。

フィルタ許容差圧は、ディーゼル発電機が定格出力運転時において、最低限必要とする吸気流量に到達する際のフィルタ前後の差圧 と設定している。

使用する火山灰は、実際の火山灰を模擬するため、別紙 3 に示す数値シミュレーション (Tephra2) による粒径分布の計算結果となるように流径調整を行っている。

火山灰濃度は、別紙 3 に基づき 3.63 g/m³ (既認可: 1.44g/m³) としている。

表 1 試験条件

試験フィルタ	300 メッシュブリーツ型金属フィルタ
フィルタ寸法	W180mm×H290mm
試験風速	2.8m/s
許容差圧	<input type="text"/>
使用火山灰	Tephra2 シミュレーション結果をもとに粒径調整 1
火山灰濃度	<u>3.63g/m³</u> (既認可: 1.44g/m ³)

1 火山灰をふるいで粒径毎に分けた後、粒径分布の割合で調合する。

3 試験結果

試験結果を表 2、図 3 に示す。

試験結果に基づき、フィルタ取替の着手時間の計算に用いる基準捕集容量は保守的に 220,000g/m² とする。

なお、基準捕集容量は、許容差圧到達時間が 518 分と長く、想定する降灰継続時間 (24 時間) 中のフィルタ 1 セット当たりの清掃回数が 1 回であり、清掃の繰り返しによるフィルタ初期差圧上昇への影響がないため、フィルタ許容差圧の 1/10 以下となるように 220,000g/m² に設定した。

表 2 試験結果

	層厚変更後	既認可
許容差圧到達時間	<u>518min</u>	310min 以上
最大捕集容量 2	<u>315,897g/m²</u>	76,174g/m ²

2 最大捕集容量 (g/m²) = 試験濃度 (g/m³) × 試験風速 (m/s) × 閉塞時間 (s)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

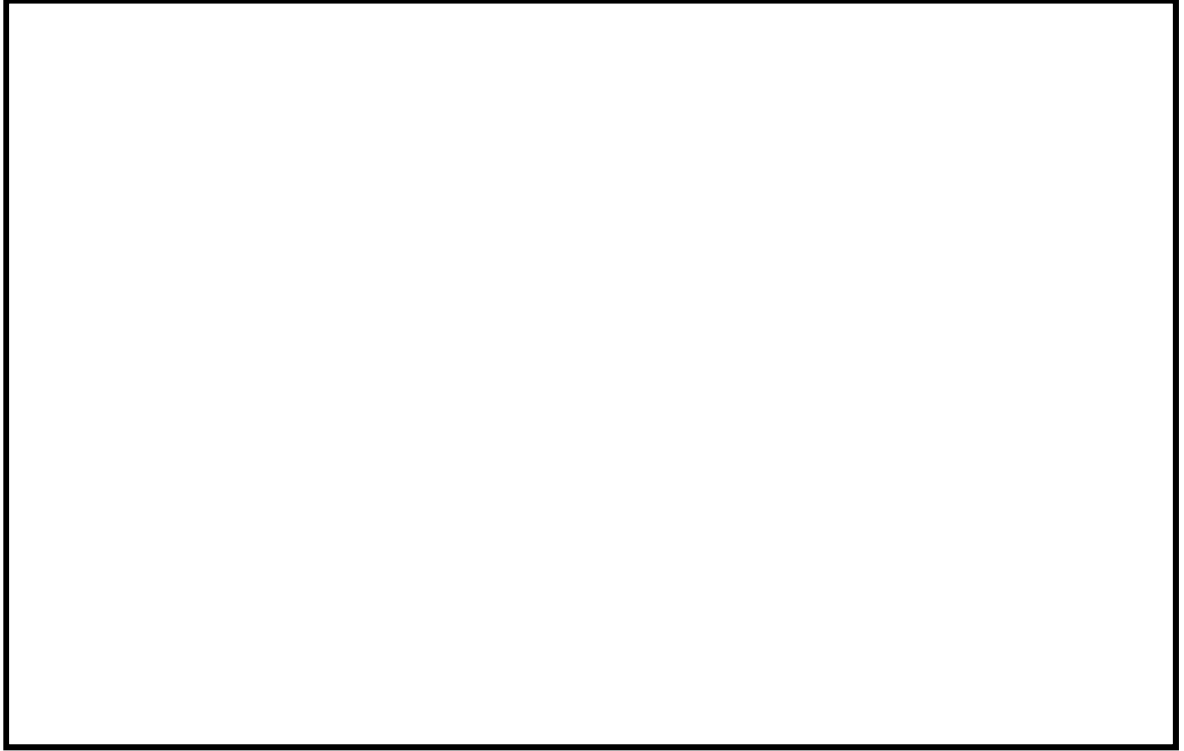


図3 フィルタ性能試験結果の圧損曲線

以上

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

降灰到達時間について

大飯発電所において給源火山の対象としている大山火山(大飯発電所から約 190km)が噴火した後、保守的に当該地域の最大風速約 60m/s でそのまま火山灰が飛散すると仮定して計算した場合、約 1 時間程度で発電所に到達する可能性があることから、火山の噴火から大飯発電所で降灰が開始する最短時間を約 1 時間とする。

大飯発電所から大山火山までの距離を図 1 に示す。



図 1 大飯発電所から大山火山までの距離

以上

気中降下火砕物濃度の算出手法および算出結果

原子力発電所の火山影響評価ガイド（以下「ガイド」という。）が改正され、設計および運用等による安全施設の機能維持が可能かどうかを評価するための基準である気中降下火砕物濃度を推定する手法が示された。

大飯発電所について、ガイドに基づき気中降下火砕物濃度の算出を行った。

1 気中降下火砕物濃度の推定手法

ガイドにおいては、以下の2つの手法のうちいずれかにより気中降下火砕物を推定することが求められている。

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

これらの手法のうち、設置許可段階での降灰量（層厚）の数値シミュレーション（Tephra2）との連続性の観点から、「a.降灰継続時間を仮定して降灰量から気中降下火砕物濃度を推定する手法」により気中降下火砕物濃度を推定する。

「a.降灰継続時間を仮定して降灰量から気中降下火砕物濃度を推定する手法」については、粒径の大小に関わらず同時に降灰が発生すると仮定していること、粒子の凝集を考慮しないことから、保守的な手法となっている。また、気中降下火砕物濃度の算出に用いている降下火砕物の層厚 25cm は、文献調査および地質調査では敷地付近で想定する火山噴火（大山）の降下火砕物は確認されているものの、その噴火履歴と地下構造の検討により発電運用期間に噴火の可能性は十分低いと評価されていること、噴出源が同定できない降下火砕物が 10cm 以下であること、補助的に実施した大山を対象とする数値シミュレーション（Tephra2）の計算結果が最大でも 19.3cm 程度であることを踏まえて保守的に評価した値であり、これを前提として算出する「a.降灰継続時間を仮定して降灰量から気中降下火砕物濃度を推定する手法」による気中降下火砕物濃度は保守的である。

なお、「b.数値シミュレーションにより気中降下火砕物濃度を推定する手法」については、数値シミュレーション（3次元の大気拡散シミュレーション）で使用する噴煙高さの設定や噴出率の時間変化等に課題を残しているため、必要なパラメータを設定することが困難であり、その結果の妥当性を評価することが困難である。

2 気中降下火砕物濃度の算出方法

ガイドに基づく気中降下火砕物濃度の算出方法を以下に示す。

粒径*i*の降灰量 $W_i = p_i W_T$ （ p_i ：粒径*i*の割合 W_T ：総降灰量）

粒径*i*の堆積速度 $v_i = \frac{W_i}{t}$ （ t ：降灰継続時間）

粒径*i*の気中濃度 $C_i = \frac{v_i}{r_i}$ （ r_i ：粒径*i*の降下火砕物の終端速度）

気中降下火砕物濃度 $C_T = \sum_i C_i$

3 入力条件および計算結果

入力条件および計算結果を表 1 に示す。

表 1 の計算結果より、大飯発電所における気中降下火砕物濃度を $3.63\text{g}/\text{m}^3$ (既認可: $1.44\text{g}/\text{m}^3$) とする。

なお、気中降下火砕物濃度は、大山 DNP の噴出規模 11km^3 の数値シミュレーション(Tephra2) 結果による層厚 19.3cm の条件において、越畑地点における DNP の評価層厚と距離の関係をもとにした検討結果から設定した設計層厚 25cm にて計算する。

表1 入力条件および計算結果

入力条件		備考
設計層厚	25cm	見直し後の層厚
総降灰量 W_T	305,000g/m ²	設計層厚×降下火砕物密度 1.22g/cm ³ (Tephra2 による計算値)
降灰継続時間 t	24h	Carey and Sigurdsson(1989)参考
粒径 i の割合 p_i	別表1 参照	Tephra2 による粒径分布の計算値
粒径 i の降灰量 W_i		式
粒径 i の堆積速度 v_i		式
粒径 i の終端速度 r_i		Suzuki (1983) 参考 (図1 参照)
粒径 i の気中濃度 C_i		式
気中降下火砕物濃度 C_T	3.63g/m ³	式

別表1 粒径ごとの入力条件および計算結果

粒径 i (μm)	0~1 (707)	1~2 (354)	2~3 (177)	3~4 (88)	4~5 (44)	5~6 (22)	6~7 (11)	合計
割合 p_i (wt%)	52.8	29.9	14.0	2.6	6.6×10^{-1}	3.8×10^{-2}	1.0×10^{-3}	100
降灰量 W_i (g/m ²)	1.6×10^5	9.1×10^4	4.3×10^4	7.9×10^3	2.0×10^3	1.2×10^2	3.1	$W_T=305,000$
堆積速度 v_i (g/s・m ²)	1.9	1.1	4.9×10^{-1}	9.2×10^{-2}	2.3×10^{-2}	1.3×10^{-3}	3.5×10^{-5}	
終端速度 r_i (m/s)	1.8	1.0	0.5	0.35	0.1	2.6×10^{-2}	1.0×10^{-2}	
気中濃度 C_i (g/m ³)	1.0	1.1	9.9×10^{-1}	2.6×10^{-1}	2.3×10^{-1}	5.1×10^{-2}	3.5×10^{-3}	$C_T=3.63$

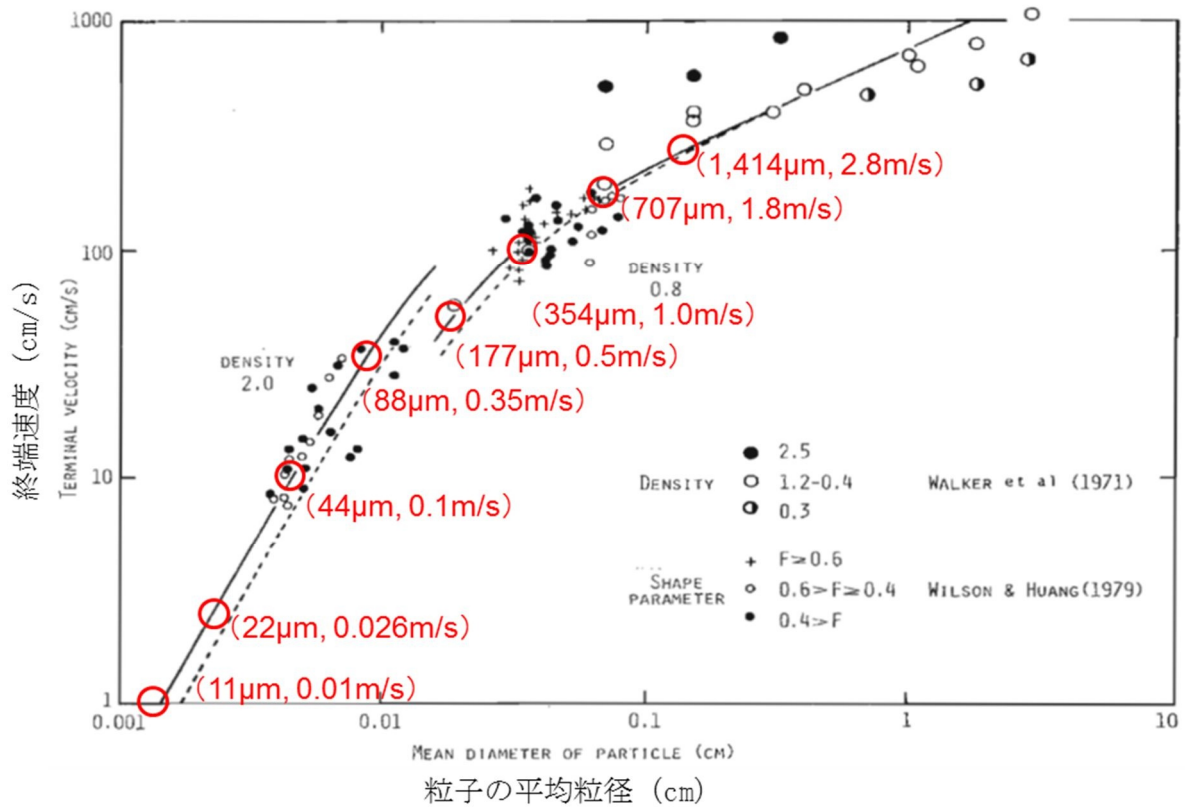


図1 Suzuki (1983) における降下火砕物の粒径と終端速度との関係図
(粒径*i*の終端速度を赤丸表示)

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

以上

改良型フィルタのフィルタ取替・清掃作業の検証

1 目的

ディーゼル発電機の改良型フィルタは、降灰時に取替・清掃を行い繰り返し使用することとしているが、フィルタを繰り返し使用したとしても、24時間の降灰継続に対して、十分な性能が確保されていることを確認する。

2 検証内容

検証試験の内容としては、別紙1の試験装置を用いてフィルタに410分間、火山灰を付着させ、フィルタ清掃を1回行う。その後、410分間火山灰を付着させたとしても許容差圧に到達しないか確認する。

検証試験におけるフィルタの清掃回数は、実機での作業において、24時間に1回、取替・清掃を行う想定であることから、試験での清掃回数を1回とした。清掃方法は、火山灰が付着した面を下向きにして床に置き、フィルタの側面を手で叩き、フィルタに衝撃を加えることで火山灰を落とす。衝撃の印加は、1秒間に2回の頻度にて手で叩き、30秒間続ける。

清掃作業の条件を表1に、衝撃を印加する面を図1に示す。

表1 清掃作業の条件

清掃回数	1回
清掃方法	火山灰が付着した面を下向きにして床に置き、フィルタの側面を手で叩き、フィルタに衝撃を加えることで火山灰を落とす。衝撃の印加は、1秒間に2回の頻度にて手で叩き、30秒間続ける。

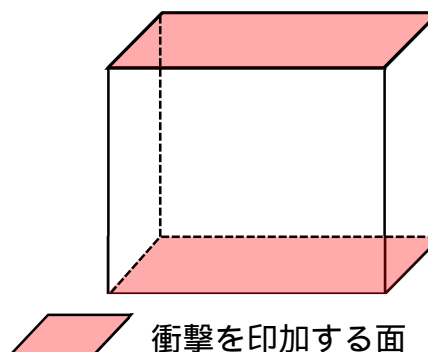


図1 衝撃を印加する面

3 検証結果

火山灰を 410 分まで付着させて確認（1 回実施）したところ、フィルタ清掃前の差圧挙動が大きく変化せずに許容差圧に対して十分余裕があり、これまでと同様に 30 秒間フィルタを手で叩いて火山灰を除去した後のフィルタ清掃後の差圧も回復していることから、24 時間降灰継続時のフィルタ清掃は問題なく実施可能であることを確認できた。

検証結果を表 2 に示す。

なお、基準捕集容量到達時間は 361 分であるが、火山灰付着時間がより厳しい条件で検証しているため、その結果をもって 24 時間降灰継続時のフィルタ清掃は問題なく実施可能であると判断できる。

また、層厚変更を踏まえた検証結果として、表 2 の試験データに示すとおり、従来と同様のフィルタ清掃方法および清掃時間で清掃効果が得られていることを確認していることから、これまで設定しているフィルタ清掃時間（60 分）の変更はない。

表 2 大飯発電所で想定する粒径分布を用いた検証結果

清掃回数	状態	差圧
0 回目（初期）	-	<u>3.67mmAq</u>
1 回目	清掃前	<u>22.8mmAq</u>
	清掃後	<u>3.83mmAq</u>

以 上

層厚増加による改良型フィルタの閉塞時間への影響対応について

層厚変更に伴う気中降下火砕物濃度の増加より、改良型フィルタの閉塞時間は短くなるが、これまで実施したフィルタ試験では、フィルタ流速が速いと閉塞時間が短くなる知見が得られているので、フィルタ流速を遅くする対策を検討した。

以前の改良型フィルタは、強制的に流れの乱れを発生させることにより、流入する火山灰による「はたき落とし効果」を期待し、フィルタ入口と出口を互い違いに半分塞ぐラビリンス板を取付ける設計であった。(図1参照)

このラビリンス板があると、フィルタの表面積が半分になり、フィルタ流速が2倍速くなることから、ラビリンス板を外してフィルタ試験を実施した結果、閉塞時間の改善に有効であることが確認できた。(表1参照)

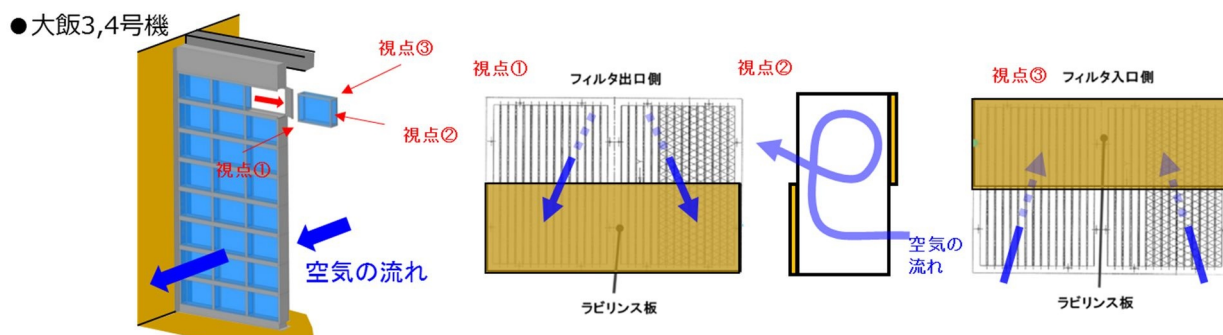


図1 改良型フィルタのラビリンス板取付け状況

表1 ラビリンス板による影響確認結果

No.	試験条件		ラビリンス板の状況	フィルタ閉塞時間	備考
	流速	火山灰濃度			
	2.8m/s	1.44g/m ³ (層厚 10cm)	あり	310分	
		3.63g/m ³ (層厚 25cm)	あり	126分	
		3.17g/m ³ (層厚 22cm)	なし	581分	
		3.63g/m ³ (層厚 25cm)	なし	518分	→392分の改善

【考察】

- ・火山灰濃度が3.63g/m³と同じ条件でラビリンス板を取外すと、フィルタ閉塞時間が392分延びる結果となり、高浜3,4号炉(150分)に比べて大きな改善効果が得られた。この理由については、流速が高浜3,4号炉の3.3m/sに比べて2.8m/sと遅いことが影響していると考えられる。

改良型フィルタ差圧管理の運用について

火山影響等発生時におけるディーゼル発電機の機能維持対策である改良型フィルタの取付けは、気象庁が発表する降灰予報で「多量」の降灰が予想される場合等を着手の判断基準としている。さらに、フィルタ取替の運用は、降灰予報等で直ちにフィルタを取付けた後に、外部電源喪失でディーゼル発電機が起動した場合、手順に着手することとしている。

よって、最初から火山灰濃度が薄い場合の対応は考えず、ディーゼル発電機が起動した後に、火山灰濃度が薄くなる場合を想定するが、火山灰濃度の推移を想定することが困難であり、運用移行の手順を明確にするため、時間管理に基づくフィルタ取替・清掃を 24 時間継続し、24 時間以降に差圧管理の運用を行うものとする。

1 差圧管理の方法

フィルタ取替の時間管理では、保守的に差圧上昇が時間的に十分なだらかな領域となるように、取替着手時間(340分)を設定しているが、このフィルタ差圧が低い領域においては、火山灰濃度の濃薄による差が発生しないことをこれまでのフィルタ試験にて確認している。

そこで、24 時間以降の火山灰濃度が低い場合でのフィルタ取替に着手する差圧は、保守的に DNP 層厚(25cm)に対する濃度のフィルタ性能試験で差圧が急上昇する手前のポイントから、フィルタ取替時間(20分)を考慮した時間(400分)での計測値 19mmAq に設定する。

フィルタ取替に着手する差圧設定の詳細を図 1 に示す。



図 1 フィルタ取替に着手する差圧設定

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

4. 火山影響等発生時における手順の変更について

炉規則 8 3 条の対応として、保安規定の添付 2 「3 火山影響等、降雪、地滑り発生時」に定めている蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプを用いた手順、通信連絡設備に関する手順、および電源車の燃料確保に関する手順では、電源車の配置場所をタービン建屋としているが、DNP 噴出規模見直しによる層厚変更を踏まえ、より頑強な原子炉周辺建屋に変更する。

電源車の配置場所変更に関係する各手順の詳細内容については、以下のとおりであり、手順の変更に伴う既認可保安規定（平成 30 年 12 月 17 日付け、原規規発第 1812177 号）の補足説明資料からの変更箇所を下線で示す。

(1) 蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプ（電動）を用いた蒸気発生器 2 次側による炉心冷却および同ポンプの機能を維持するための手順等

対策の概略系統図を第 1 図に、電源車による給電の概要を第 2 図に、通信連絡設備の電源系統の概要を第 3 図に、対応手順の概要を第 4 図に示すとともに、対策手順等を以下に示す。

a. 蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプ（電動）への準備作業

火山影響等発生時において蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプ（電動）の機能を維持するための対策として、電源車の移動および電源ケーブルの敷設・接続、可搬式排気ファンの設置、仮設ダクトの敷設・接続並びに可搬式ダストサンプラ等を設置 1 するための手順を整備する。

(a) 作業手順

蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプ（電動）への準備作業の概略手順は、以下のとおり。

第 5 - 1 図、第 6 図にタイムチャートを示す。

ア. 電源車による給電準備

発電所対策本部長は、緊急安全対策要員へ電源車による給電準備を指示する。

緊急安全対策要員は、原子炉周辺建屋 2 のスライド扉 3 を開放し、電源車を保管場所から 原子炉周辺建屋 2 内へ移動する。

緊急安全対策要員は、電源車の燃料源となる軽油ドラム缶を 原子炉周辺建屋 2 近傍へ移動する。

緊急安全対策要員は、原子炉周辺建屋 2 のスライド扉 3 を閉止し、人用扉を開く。

緊急安全対策要員は、人用扉を通して電源車から安全系母線に給電できるように可搬式代替電源接続盤 4 まで電源ケーブルを敷設・接続する。

緊急安全対策要員は、人用扉開口部にシート養生による目張りを実施する。

緊急安全対策要員は、原子炉周辺建屋 2 に可搬式排気ファンおよび仮設ダクトを設置する。

イ. 蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプ（電動）を用いた炉心冷却準備

作業手順は、設置（変更）許可添付書類十追補による。

(b) 作業の成立性

作業の成立性について、確認結果を別紙 1 に示す。

蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプ（電動）への給電準備の内、屋外作業は火山灰除けのための資機材を用いて降下火砕物影響を受けないよう実施する。

b. 蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプ（電動）を用いた炉心冷却

火山影響等発生時において、全交流動力電源喪失となりタービン動補助給水ポンプを用いた蒸気発生器 2 次側による炉心冷却を行う際に、タービン動補助給水ポンプによる給水ができない場合は、電源車を起動し、蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプ（電動）を用いた蒸気発生器 2 次側による炉心冷却を行う。

第 1 図に概略系統図、第 5 - 2 図にタイムチャートを示す。

(a) 作業手順

ア. 電源車による給電開始

発電所対策本部長は緊急安全対策要員に、当直課長は運転員等に電源車による給電開始を指示する。

運転員等は、不要負荷をしゃ断器開放操作にて切り離す。

緊急安全対策要員は、可搬式ダストサンブラ等を用いて、電源車周辺の空気中の放射性物質濃度に異常がないことを確認する 1。

緊急安全対策要員は、電源車を起動し、運転状態を確認する。

緊急安全対策要員は、可搬式排気ファンを起動する。

運転員等は、メタクラ・パワーセンタへの給電操作を行い、母線電圧にて受電確認を実施する。

イ. 蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプ（電動）を用いた炉心冷却

作業手順は、設置（変更）許可添付書類十追補による。

(b) 炉心冷却の成立性

作業は全て屋内で行われるため降灰による影響はない。

蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプ（電動）を用いた蒸気発生器 2 次側による炉心冷却について、「5. 火山影響等発生時における対応変更のタイムチャート」に示す作業時間を踏まえた解析を実施し、不確かさの影響を考慮しても、炉心が著しい損傷に至らないことを確認している。

（3. 層厚変更に伴い評価対象となる運用の評価にある「（5）蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプ（電動）を用いた蒸気発生器への注水による炉心冷却の成立性について」にて確認）

【注記】

1 電源車の設置場所を管理区域である原子炉周辺建屋に変更したことによる追記

2 電源車の設置場所変更に伴う建屋名称の見直し

3 電源車の設置場所変更に伴う扉名称の見直し

4 電源車の設置場所変更に伴うケーブル接続箇所の見直し

(2) 通信連絡設備に関する手順等

火山影響等発生時において、電源車による給電の概要を第 2 図に、通信連絡設備の機能を確保するための電源系統の概略を第 3 図に示す。

なお、電源車の対策手順等については、（1）蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプ（電動）を用いた蒸気発生器 2 次側による炉心冷却および同ポンプの機能を維持するための手順等

の電源車手順と共通である。

(3) 電源車の燃料確保に関する手順等

火山影響等発生時における電源車の燃料確保については、軽油ドラム缶から燃料を抜き取り、給油することで燃料を補給する。

電源車の燃料確保の概略図を第7図に示す。

電源車の燃料を確保するために必要となる軽油ドラム缶による燃料補給の手順等を以下のとおり整備する。

a. 軽油ドラム缶の建屋近傍への移動

火山影響等発生時において、降灰の影響を受けることなく燃料補給を行うため、運搬車両を用いて軽油ドラム缶を原子炉周辺建屋 5 近傍へ移動させる。

(a) 作業手順

軽油ドラム缶の建屋近傍への移動の概略手順は、以下のとおり。

第8図にタイムチャートを示す。

発電所対策本部長は、緊急安全対策要員に軽油ドラム缶の原子炉周辺建屋 5 近傍への移動を指示する。

緊急安全対策要員は、運搬車両を用いて軽油ドラム缶を原子炉周辺建屋 5 近傍に移動させる。

(b) 作業の成立性

作業の成立性について、確認結果を別紙1に示す。

降下火砕物が発電所敷地に到達する前に実施するため、降灰による影響はない。

給油作業については、消防法に基づく手続きが必要であり、具体的には「震災時等における危険物の仮貯蔵・仮取扱い等の安全対策および手続きに係るガイドライン」で規定されているとおり、消防署への事前計画の届出および給油作業時の連絡等を実施する。

また、原子炉等規制法に基づき、建屋内に入れる電源車については、電源車を建屋内に入れた場合においても当該区画の火災荷重が管理目標値以下であることを確認した。

確認結果を以下に示す。 6

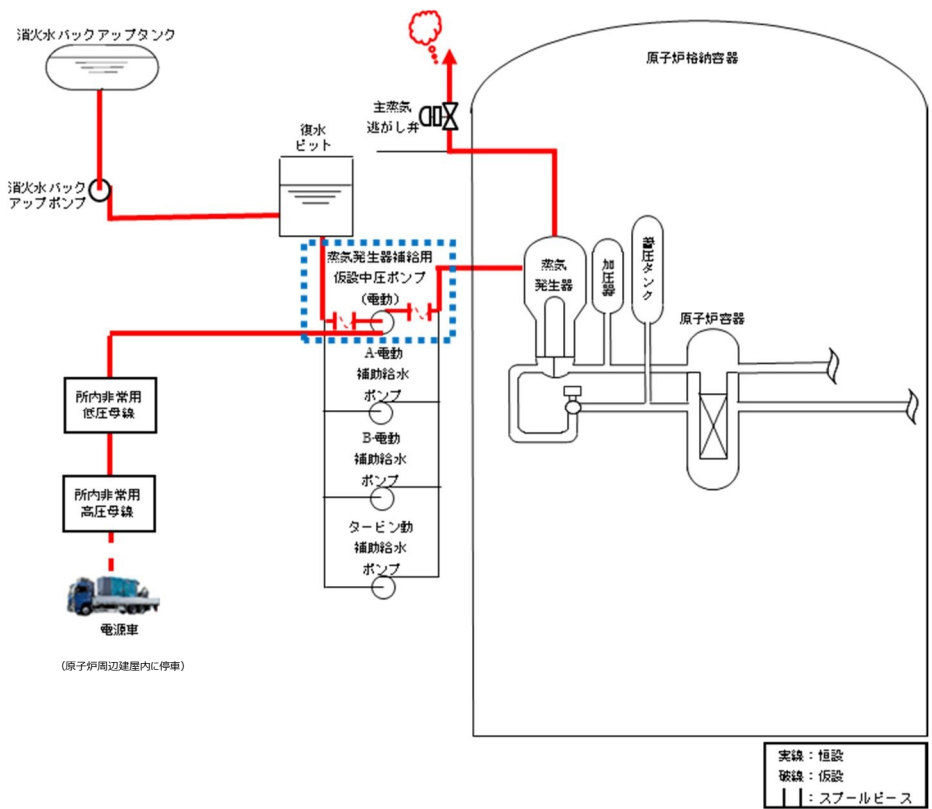
建屋	当該区画の火災荷重* (電源車の火災荷重) [MJ/m ²]	火災荷重管理 目標値 [MJ/m ²]
3号炉 原子炉周辺建屋	186.8 (30)	454
4号炉 原子炉周辺建屋	141.0 (30)	454

* 電源車を含む当該区画の火災荷重を記載

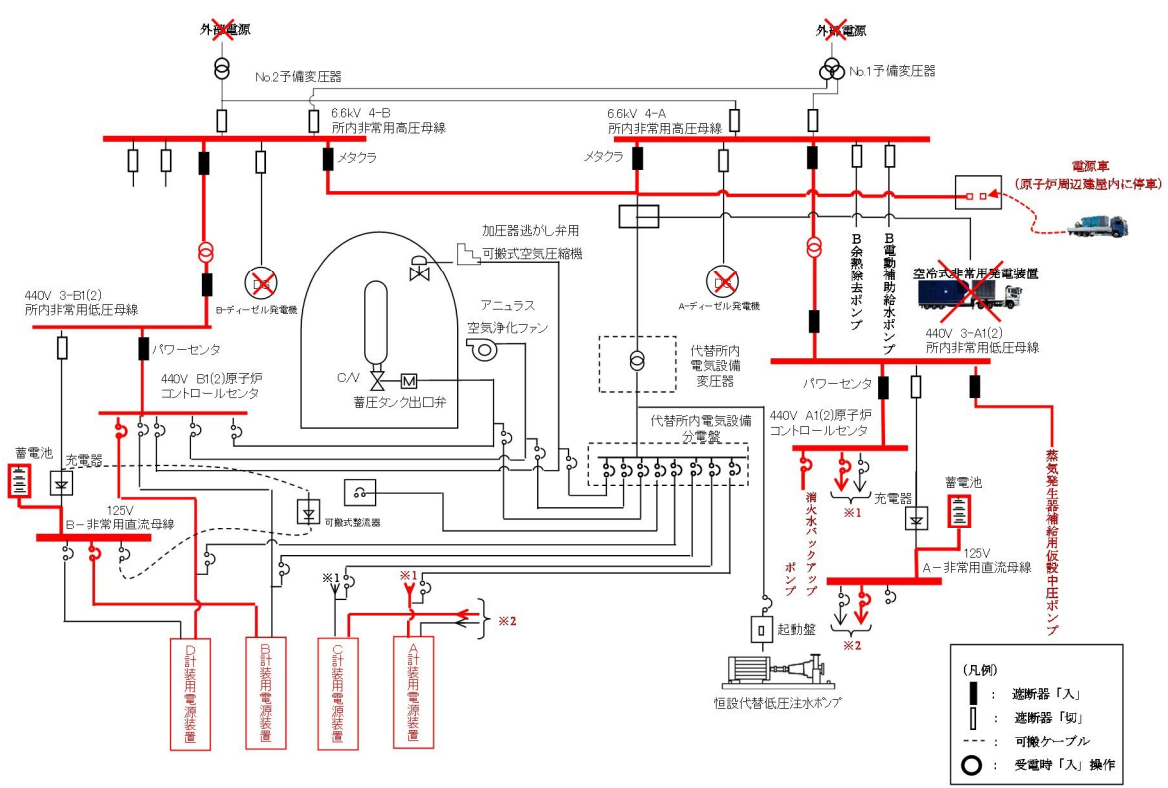
【注記】

5 電源車の設置場所変更に伴う建屋名称の見直し

6 電源車の設置場所変更に伴う記載内容の見直し

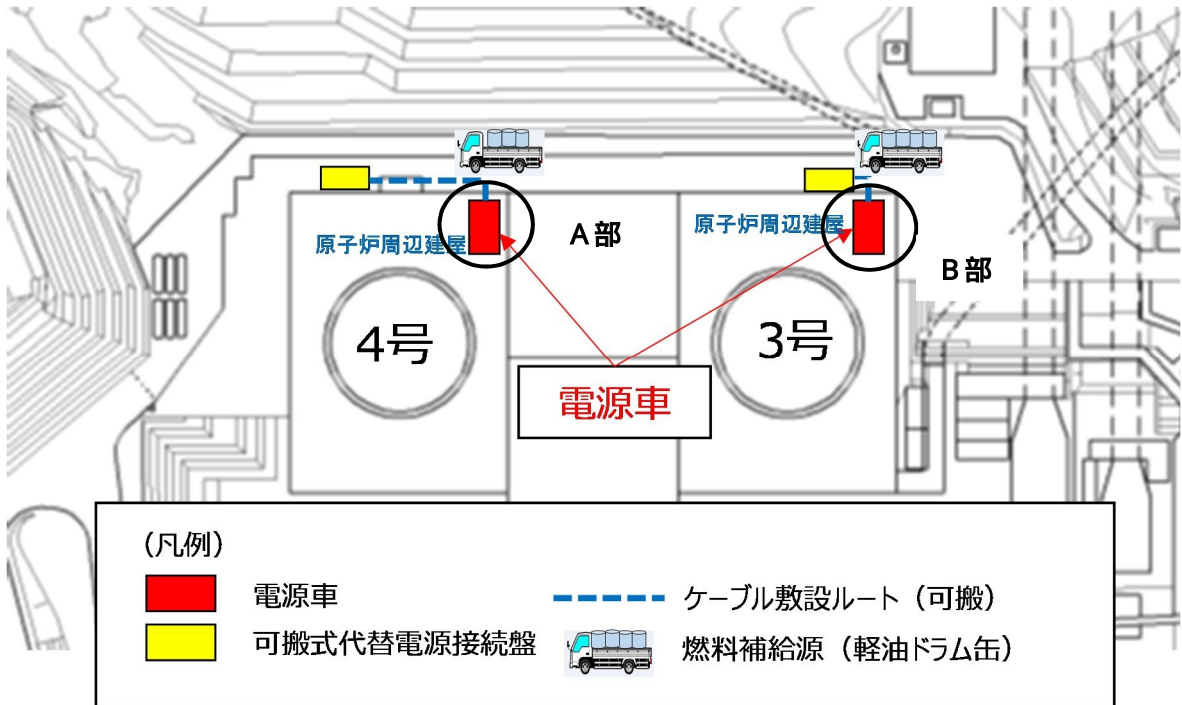


a . 系統図

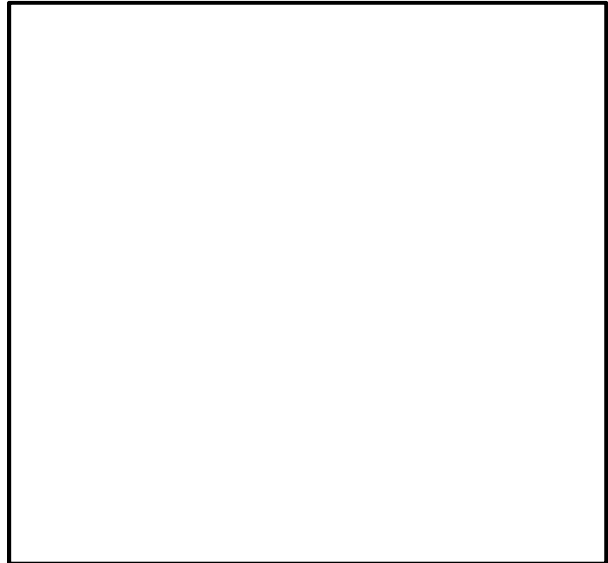


b . 給電系統図

第1図 対策の概略系統図



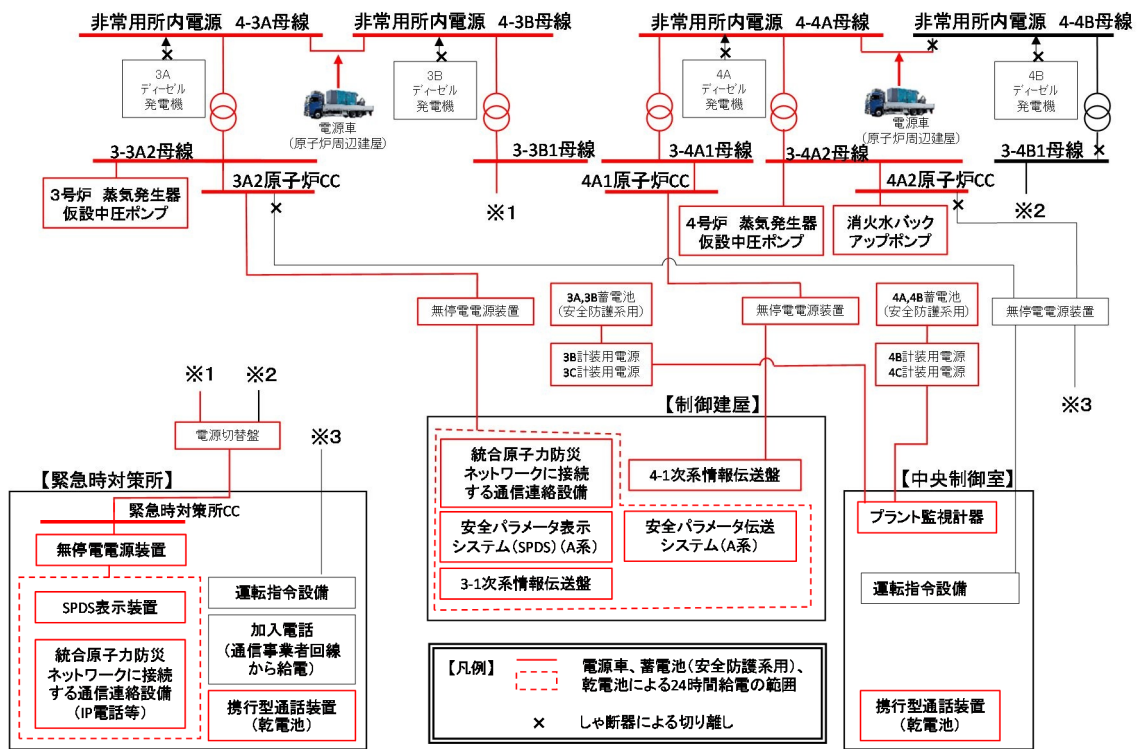
A部詳細 (4号炉原子炉周辺建屋)



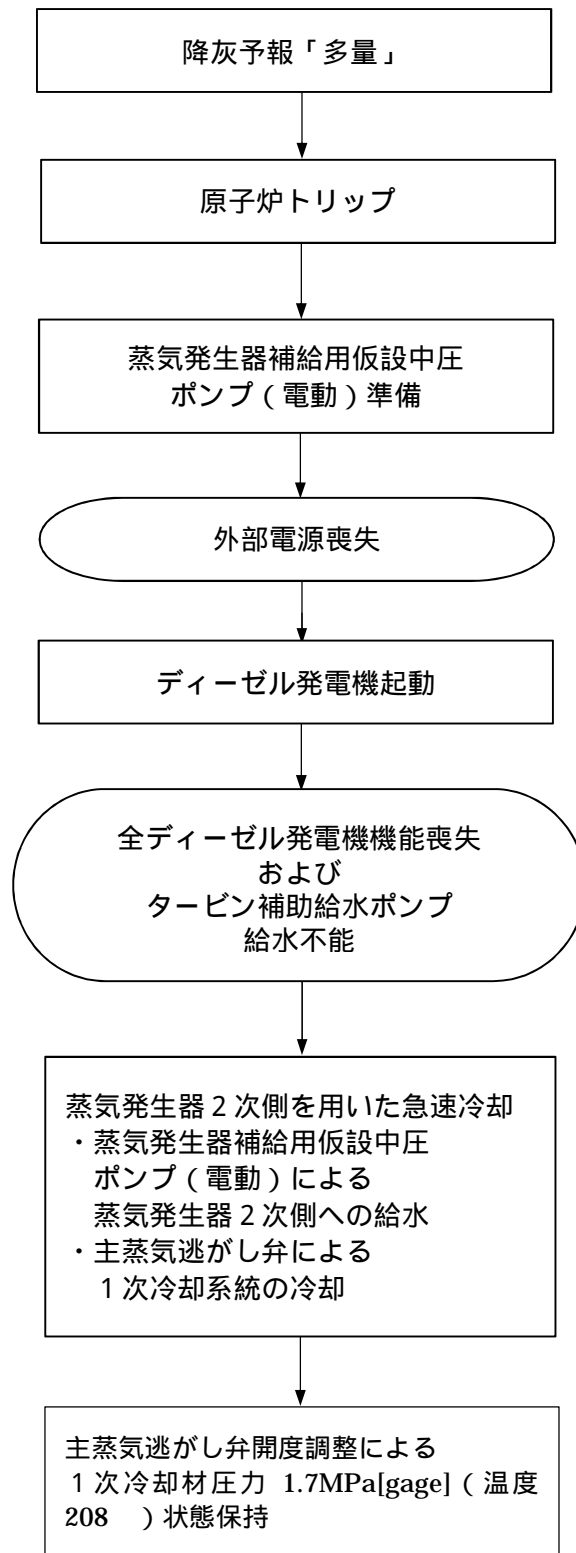
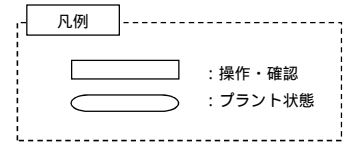
B部詳細 (3号炉原子炉周辺建屋)

第2図 電源車による給電の概要

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



第3図 通信連絡設備の電源系統の概要



第4図 対応手順の概要

電源車による給電準備			経過時間(分)												備考		
手順の項目	要員(名) (作業に必要な要員数)		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110		120	
			噴火発生 降灰予報(多量)発令、発電所対策本部長による作業開始指示 発電所敷地への降灰到達 準備完了														
電源車の移動	緊急安全対策要員	2															可搬式排気ファン及び仮設ダクト等の設置作業は、電源車起動までに、緊急安全対策要員3名が2時間10分以内に実施する。
			電源車の移動(屋外)														
電源ケーブルの敷設・接続	緊急安全対策要員 (1ユニットあたり)	2															
																作業着手から 電源ケーブルの敷設・接続(屋外)	

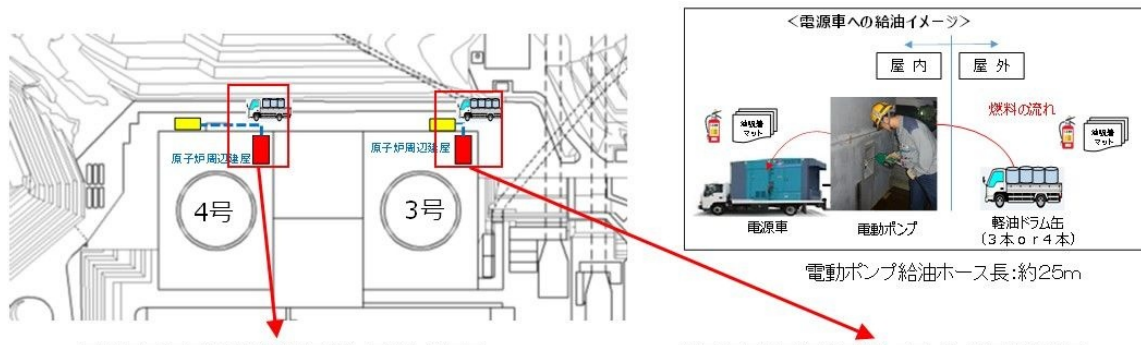
第5 - 1 図 電源車による給電準備 タイムチャート

電源車による給電開始			経過時間(分)												備考		
手順の項目	要員(名) (作業に必要な要員数)		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110		120	
			蒸気発生器用仮設中圧ポンプ(電動)による蒸気発生器への注水可能														
電源車の給電開始	緊急安全対策要員 (1ユニットあたり)	2															
	運転員等 (1ユニットあたり)	3															
																不要負荷の切り離し 受電操作	

第5 - 2 図 電源車による給電開始 タイムチャート

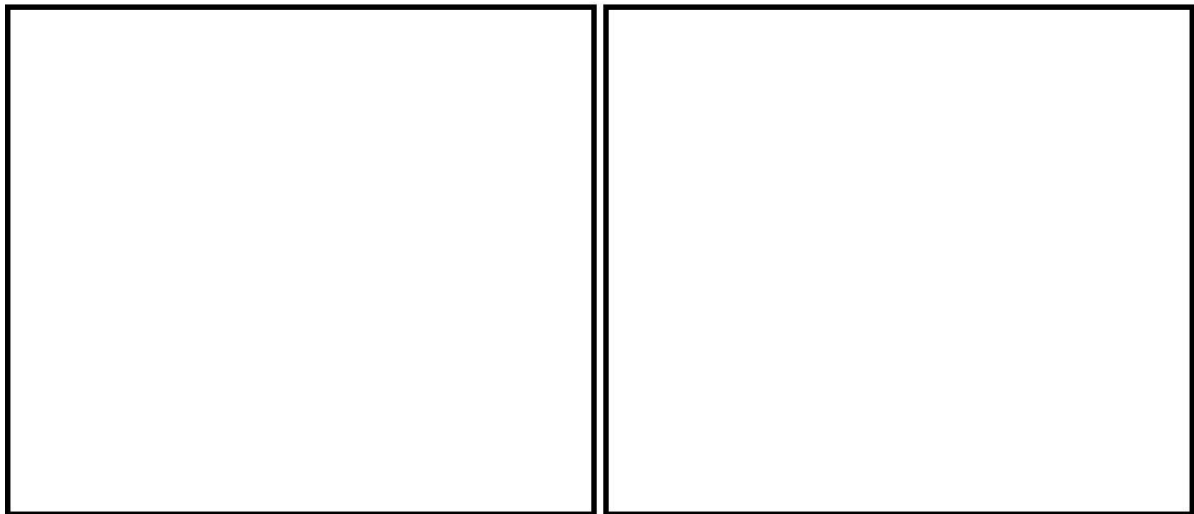
蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプ(電動)を用いた 炉心冷却準備		経過時間(分)													備考						
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120		130					
手順の項目	要員(名) (作業に必要な要員数)	蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプ(電動) による蒸気発生器への注水可能																			
蒸気発生器補給用 仮設中圧ポンプ (電動)による 蒸気発生器への注水	緊急安全対策要員 2	移動																			
		補助給水系への接続																			
		注水準備																			
	緊急安全対策要員 3	移動																			
		系統構成																			
		注水準備																			
		系統接続及び電源投入																			

第6図 蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプ(電動)を用いた炉心冷却準備 タイムチャート



4号炉 原子炉周辺建屋(管理区域) 電源車配置図

3号炉 原子炉周辺建屋(管理区域) 電源車配置図

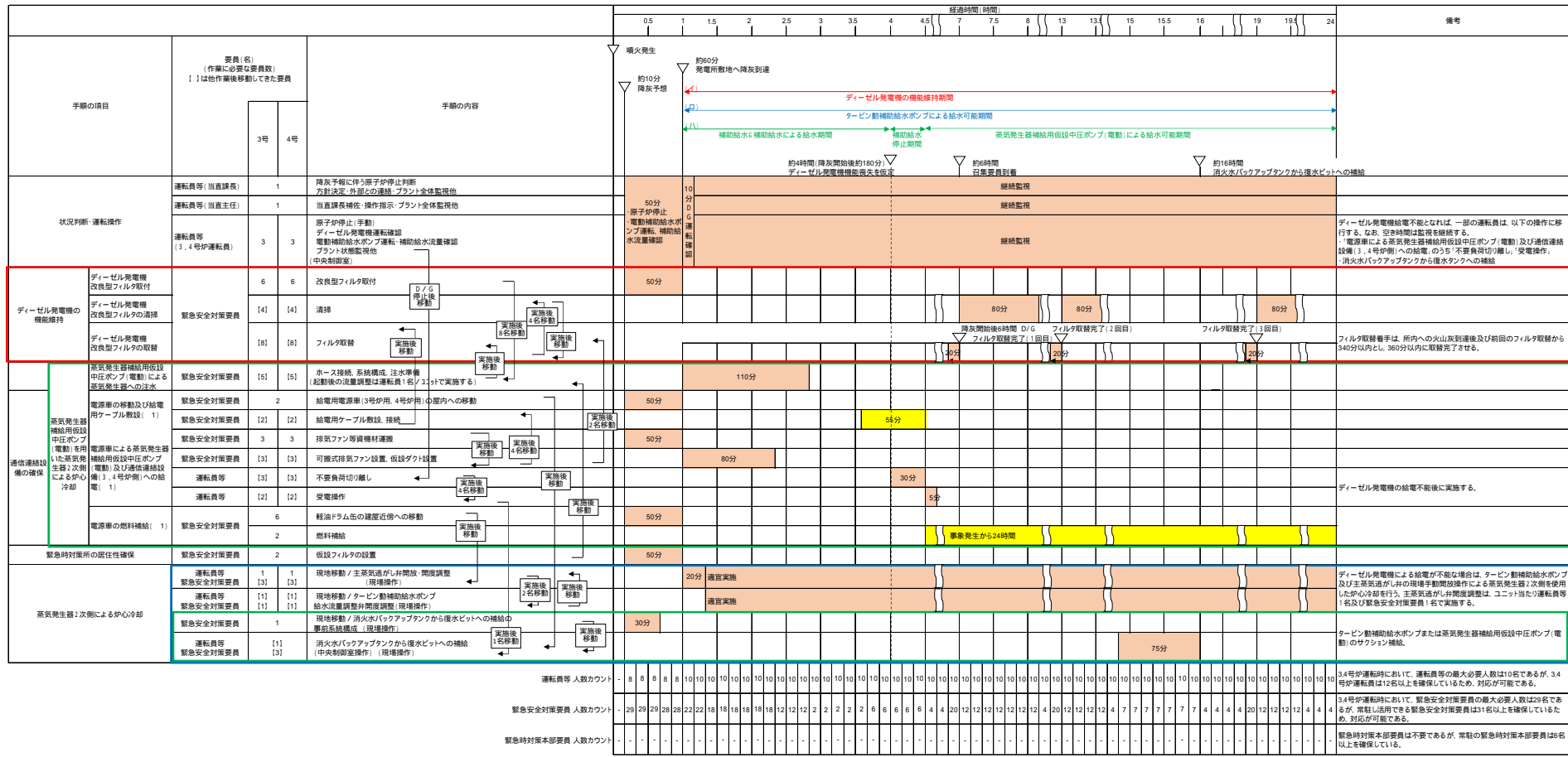


第7図 電源車への燃料確保 概略図

軽油ドラム缶の建屋近傍への移動		経過時間(分)									備考	
		10	20	30	40	50	60	70	80	90		
手順の項目	要員(数)	約60分										
軽油ドラム缶の建屋近傍への移動	緊急安全対策要員	6				移動、燃料積み込み						
						建屋近傍への移動						

第8図 軽油ドラム缶の建屋近傍への移動 タイムチャート

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



1: 電源車については、蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプへの給電用と、通信連絡設備(3, 4号炉間)への給電用を兼ねる。

防塵具着用なし
屋外作業に伴う防護マスク、ゴーグル等着用

第9図 層厚変更を踏まえた火山影響等発生時における対応のタイムチャート

作業の成立性について

【電源車による給電準備および給電開始】

1. 作業概要

火山影響等発生時において、蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプ（電動）および通信連絡設備（3, 4号炉側）に給電するために必要な設備の電源対策として、電源車の移動、電源ケーブルの敷設・接続、可搬式排気ファンの設置および仮設ダクトの敷設・接続、並びに可搬式ダストサンプラ等の設置 1を行う。

2. 必要要員数および作業時間

必要要員数：緊急安全対策要員 4 名および運転員等 3 名 / ユニット（中央制御室、現場）

作業時間（想定）：110 分 2

作業時間（実績）：105 分 2

なお、（可搬式排気ファンの設置、仮設ダクト敷設・接続については、緊急安全対策要員 3 名 2（現場）が作業時間 130 分以内 2で行う。

3. 作業の成立性

アクセス性：ヘッドライト・懐中電灯等を携行していることから、アクセス可能である。

作業環境：電源車の保管場所周辺、原子炉周辺建屋 3 および制御建屋には、作業を行う上で支障となる設備はなく、作業員はヘッドライト・懐中電灯等を携行していることから、作業は実施可能である。

作業性：電源車の固縛解除、移動および電源ケーブルの敷設・接続は容易に実施可能である。また、可搬式排気ファン、仮設ダクトおよび可搬式ダストサンプラ等 1は可搬式であり、容易に移動・設置が可能である。

連絡手段：火山影響等発生時においても、運転指令設備等にて通話可能である。

【注記】

1 電源車の設置場所を管理区域である原子炉周辺建屋に変更したことによる追記

2 電源車の設置場所変更に伴う必要要員数および作業時間の見直し

3 電源車の設置場所変更に伴う建屋名称の見直し



【軽油ドラム缶の建屋近傍への移動】

1. 作業概要

火山影響等発生時において、燃料補給における降灰の影響を低減させるため、燃料運搬車(軽油ドラム缶を積載)1台/ユニットを原子炉周辺建屋 4近傍へ移動させる。

2. 必要要員数および作業時間

必要要員数：緊急安全対策要員6名(現場)(3,4号炉合計)

作業時間(想定):50分

作業時間(実績):45分

3. 作業の成立性

アクセス性：ヘッドライト・懐中電灯等を携行していることから、アクセス可能である。

作業環境：軽油ドラム缶の保管場所周辺および原子炉周辺建屋 4には、作業を行う上で支障となる設備はなく、作業員はヘッドライト・懐中電灯等を携行していることから、作業は実施可能である。

作業性：軽油ドラム缶の建屋近傍への移動に特殊な操作はないことから、容易に作業できる。

連絡手段：火山影響等発生時においても、運転指令設備等にて通話可能である。

【注記】

4 電源車の設置場所変更に伴う建屋名称の見直し



5. 海水ポンプおよび海水ストレーナに対する気中降下火砕物濃度の影響について

既認可保安規定（平成30年12月17日付け、原規規発第1812177号）の補足説明資料からの層厚変更に伴う変更箇所を下線で示す。

1. 概要

海水ポンプおよび海水ストレーナに対する降下火砕物の影響として、新規制基準適合性審査時において荷重、閉塞、腐食、磨耗による影響評価を実施しているが、DNP噴出規模見直しを踏まえた気中降下火砕物濃度を考慮した影響評価を実施する。

2. 気中降下火砕物濃度に対して評価が必要な影響因子

海水ポンプおよび海水ストレーナに対する降下火砕物による影響因子（荷重、閉塞、腐食、磨耗）について、新規制基準適合性審査時の評価結果を踏まえ、気中降下火砕物濃度を考慮した評価を行う。

（1）海水ポンプ

荷重

【DNP設工認における評価】

設置許可において設定した層厚「25cm」に積雪および風を考慮して荷重評価を行い、問題ないことを評価している。

【気中降下火砕物濃度を考慮した評価】

想定する降下火砕物の層厚「25cm」は変わらないことから、荷重に対する評価に影響はない。

閉塞

【新規制基準適合性審査時における評価】

設置許可において設定した降下火砕物の粒径「1mm以下」に対し、流水部、軸受の間隙（異物逃がし溝）が降下火砕物の粒径より大きいこと、および電動機が全閉型であることから、閉塞するおそれはないと評価している。

【気中降下火砕物濃度を考慮した評価】

想定する降下火砕物の粒径「1mm以下」は変わらないことから、閉塞に対する評価に影響はない。

なお、気中降下火砕物濃度を考慮すると、短期間で降下火砕物が海面に降ることにより、海水中の降下火砕物濃度が上昇する可能性が懸念されるが、以下の理由により閉塞に対する評価に影響はない。

- ・ 降下火砕物は、粒径分布に関わらず、海水との密度差により海水面に浮くか又は短時間で海底に沈むため、海水中の降下火砕物濃度が極めて高くなることは考えにくい。
- ・ 海水中の降下火砕物の性質（沈むものの割合、沈降速度等）は粒径により変化するものと考えられるが、想定する層厚「25cm」に対して海水ポンプ室底面は十分な深さ（5.1m）があり、仮に降下火砕物が海水中に均一に分散したとしても、濃度は8wt%程度である。（表 - 1 参照）
- ・ 層厚増加に伴い濃度が4wt%程度から8wt%程度に増加するが、図 - 1 で示す火山灰の容積濃度とせん断抵抗の関係図では、火山灰濃度が8wt%程度の領域で、せん断応力の著しい増加はないことから、火山灰層厚の増加に伴う海水の著しい粘性増加は起こらない。したがって、火山灰層厚の増加が海水ポンプの運転に影響を及ぼすことはない。
- ・ 海水ポンプ室へ入る降下火砕物は、海水ポンプ室内へ直接降るものと海水ポンプ室外の海面へ降った降下火砕物が海水とともに取水口から海水ポンプ室へ流入するものが想定されるが、海水ポンプ室の形状および貯水堰により、海水ポンプ室外の海面へ降った降下火砕物が海水ポンプ室内へ多量流入する可能性は低い。（海水ポンプ室の形状を図 2 に示す。）
- ・ 海水ポンプ吸い込み口は海水ポンプ室底面より1m以上高いレベルにある。したがって、降下火砕物が海水ポンプ室底面に堆積しても海水ポンプの取水に影響を及ぼすことはない。

表 - 1 層厚と海水中の濃度

プラント	見直し後の層厚	海水ポンプ底面の深さ	濃度	【参考】層厚見直し前の濃度
大飯3, 4号炉	25cm	5.1m	8wt%	4wt%

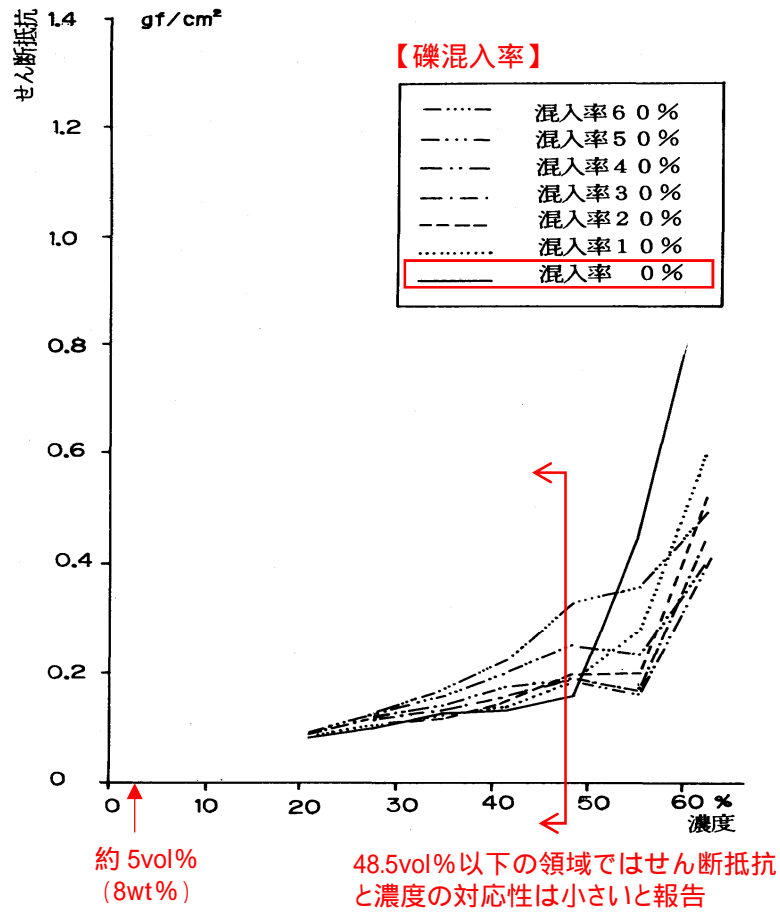


図 - 1 Taniguchi (1994) における礫混入火山灰泥流の濃度とせん断抵抗の関係

谷口 義信 (1994) : 桜島火山灰泥流のレオロジー特性、新砂防、Vol.47(195)、P28-P35

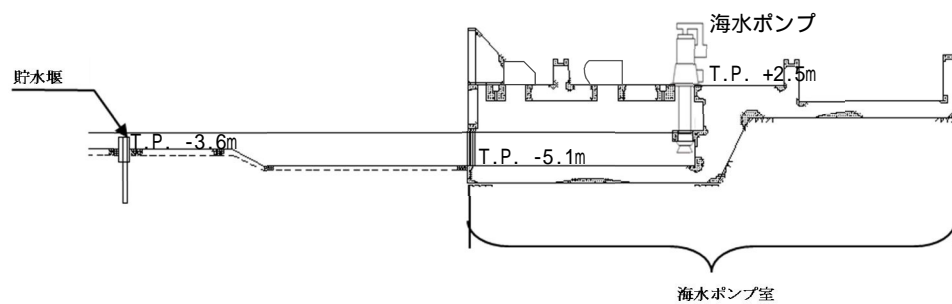


図 - 2 海水ポンプ室の形状

腐食

【新規制基準適合性審査時における評価】

海水ポンプは防汚塗装を施しており、海水と金属が接することはない。海水ポンプモータは、全閉構造であることから、火山灰の侵入による影響はない。

【気中降下火砕物濃度を考慮した評価】

気中降下火砕物濃度を考慮しても、腐食に対する評価に影響はない。

磨耗

【新規制基準適合性審査時における評価】

海水ポンプモータが全閉構造であることから、磨耗への影響はないことを確認している。

【気中降下火砕物濃度を考慮した評価】

気中降下火砕物濃度を考慮しても、磨耗に対する評価に影響はない。

なお、気中降下火砕物濃度を考慮すると、短期間で降下火砕物が海面に降ることにより、海水中の降下火砕物濃度が上昇する可能性が懸念されるが、以下の理由により磨耗に対する評価に影響はない。

- ・海水ポンプは通常運転時においても磨耗を引き起こす要因となりうる砂を含む海水を通水しながら運転しており、特に台風等の強風時は海底の砂を多量に含んだ海水を通水しているが、海水ポンプの磨耗によるトラブルは発生していない。
- ・降下火砕物は海水との密度差により海水面に浮くか又は短時間で海底に沈むため、海水中の降下火砕物濃度が極めて高くなることは考えにくい。したがって、短期(24時間)でポンプの運転に支障をきたすような磨耗が発生することは考えにくい。

(2) 海水ストレーナ

閉塞

【新規制基準適合性審査時における評価】

設置許可において設定した降下火砕物の粒径「1mm以下」に対し、海水ストレーナメッシュが大きいことから、閉塞するおそれはないと評価している。また、下流設備であるディーゼル機関の冷却器、空調用冷凍機、原子炉補機冷却水冷却器においても閉塞することはないと評価している。

【気中降下火砕物濃度を考慮した評価】

想定する降下火砕物の粒径「1mm以下」は変わらないことから、閉塞に対する評価に影響はない。

なお、気中降下火砕物濃度を考慮すると、短期間で降下火砕物が海面に降ることにより、海水中の降下火砕物濃度が上昇する可能性が懸念されるが、以下の理由により閉塞に対する評価に影響はない。

- ・降下火砕物は、粒径分布に関わらず、海水との密度差により海水面に浮くか又は短時間で海底に沈むため、海水中の降下火砕物濃度が極めて高くなることは考えにくい。
- ・海水中の降下火砕物の性質（沈むものの割合、沈降速度等）は粒径により変化するものと考えられるが、想定する層厚「25cm」に対して海水ポンプ室底面は十分な深さ（5.1m）があり、仮に降下火砕物が海水中に均一に分散したとしても、濃度は8wt%程度である。（表 - 1 参照）
- ・層厚増加に伴い濃度が 4wt%程度から 8wt%程度に増加するが、図 - 1 で示す火山灰の容積濃度とせん断抵抗の関係図では、火山灰濃度が 8wt%程度の領域で、せん断応力の著しい増加はないことから、火山灰層厚の増加に伴う海水の著しい粘性増加は起こらない。したがって、火山灰層厚の増加が海水ポンプの運転に影響を及ぼすことはない。
- ・海水ポンプ室へ入る降下火砕物は、海水ポンプ室内へ直接降るものと海水ポンプ室外の海面へ降った降下火砕物が海水とともに取水口から海水ポンプ室へ流入するものが想定されるが、海水ポンプ室の形状および貯水堰により、海水ポンプ室外の海面へ降った降下火砕物が海水ポンプ室内へ多量流入する可能性は低い。（海水ポンプ室の形状を図 2 に示す。）

腐食

【新規制基準適合性審査時における評価】

海水ストレーナは外装塗装が施されていることから、直ちに腐食により機能を喪失することはない。

【気中降下火砕物濃度を考慮した評価】

気中降下火砕物濃度を考慮しても、腐食に対する評価に影響はない。

3. まとめ

海水ポンプおよび海水ストレーナに対する降下火砕物の影響は、荷重、閉塞、腐食、磨耗が想定されるが、各影響因子に対して気中降下火砕物濃度を考慮した影響評価を実施した結果、健全性に問題がないことを確認した。

以 上