

(補足説明資料 2. 竜巻の影響評価及び対策)

2. 竜巻の影響評価及び対策(1/2)

2-1 車両の飛散解析例(1/2)

●車両管理エリアの設定に必要な離隔距離等を考慮するための車両の飛散範囲(飛散距離及び浮上高さ)については、以下の方針に基づきフジタモデルを用いて算出した。

➤ 飛散し易い形状※を考慮し、代表的な寸法及び重量を選定する。飛散解析結果は次頁に示す。

※種々の物品の解析結果より「箱状(表面積大)」かつ「密度が低い」物品が飛散し易い傾向が読み取れることから、以下の車種を代表として選定。

- ・トラック(大型～小型のバン及び平型)
- ・バス(大型～マイクロバス)
- ・軽自動車(最大高(面積大), 最軽量)
- ・軽トラック
- ・SUV

➤ 上記と逆の傾向を持つ「飛ばない(飛びにくい)」車両の例は以下の様なものがある。

- ・フォークリフト, ホイールローダ
- ・移動式クレーン
- ・移動式ポンプ車

➤ 車両は地表面に位置する(地面からの初期高さ0)と見なして解析した。

➤ 飛散距離に影響を与える飛散の出発点と到達点の高低差についても、解析ケースとして考慮した。(次頁の表も参照)

種々の車両について
寸法・重量を選定
(飛散し易い車種を選定)



車両の飛散解析を実施
(初期位置: 地表面)

各ケースにおける
飛散距離を算定



最大飛散距離を包絡する
離隔距離を選定
(230m及び190m)

2. 竜巻の影響評価及び対策(2/2)



2-1 車両の飛散解析例(2/2)

【主な評価条件】

- ・風速場:フジタモデル
- ・最大風速:100m/s
- ・寸法, 重量:車両メーカーカタログから代表的な数値を参照。
- ・空力パラメータ及び抗力係数:
下図のとおり

$$\frac{C_D A}{m} = c \frac{(C_{D1} A_1 + C_{D2} A_2 + C_{D3} A_3)}{m}$$

ここで,

$$\frac{C_D A}{m} : \text{空力パラメータ (m}^2/\text{kg)}$$

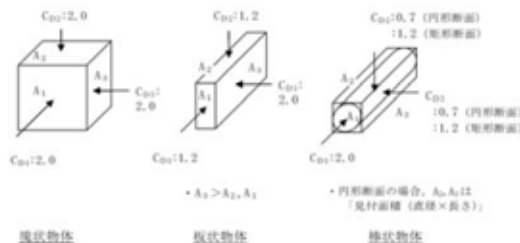
$$m : \text{物品の質量 (kg)}$$

$$c : \text{係数 (0.33)}$$

C_{D1}, C_{D2}, C_{D3} : 直交3方向における物品の抗力係数(別表2-1より選定)

A_1, A_2, A_3 : $C_{D1} \sim C_{D3}$ を定義した各方向に対する見付面積 (m²)

物体の形状	C_{D1}	C_{D2}	C_{D3}
塊状	2.0	2.0	2.0
板状	1.2	1.2	2.0
棒状	2.0	0.7 (円形断面) 1.2 (矩形断面)	0.7 (円形断面) 1.2 (矩形断面)



・ $A_2 > A_1, A_3$

・円形断面の場合, A_2, A_3 は「見付面積(直径×長さ)」

塊状物体

板状物体

棒状物体

車種	車高 (m)	その他寸法 (m)		重量 (kg)	空力パラメータ $C_D A/m$ (m ² /kg)	最大飛散距離(m)		最大浮上高さ (m)
						高低差20m	高低差0m	
大型トラック バン (25t)	3.790	2.495	11.990	10900	0.0052	184	134	9.0
大型トラック 平 (25t) ①	3.255	2.490	11.990	9180	0.0056	180	128	7.9
大型トラック 平 (25t) ②	3.460	2.490	11.990	9310	0.0057	186	136	9.5
大型トラック 平 (25t) ③	3.035	2.490	11.950	9210	0.0053	172	115	6.5
大型トラック 平 (25t) ④	3.180	2.490	11.810	8970	0.0056	178	126	7.6
大型トラック 平 (11t)	2.485	2.470	9.440	4750	0.0074	202	147	8.7
中型トラック バン (8t)	3.525	2.495	8.565	4925	0.0081	226	183	17.0
中型トラック バン (7t)	3.135	2.200	6.920	3490	0.0083	222	179	15.6
中型トラック 平 (8t) ①	2.550	2.470	8.485	3690	0.0088	224	170	13.1
中型トラック 平 (8t) ②	2.425	2.240	8.130	3220	0.0089	215	166	12.4
中型トラック 平 (8t) ③	2.435	2.470	9.440	4120	0.0084	222	162	11.4
中型トラック バン (5t)	2.830	1.885	4.845	2795	0.0067	186	135	8.8
中型トラック 平 (4t)	1.990	1.695	4.690	1990	0.0069	167	101	5.1
小型トラック 平 (2t)	2.250	2.170	6.790	2710	0.0085	199	149	10.1
小型トラック 平 (1.5t)	1.970	1.695	4.690	2160	0.0063	156	87	4.4
大型バス ①	3.045	2.485	10.430	9260	0.0047	155	90	5.2
大型バス ②	3.130	2.490	11.450	10190	0.0047	158	94	5.4
大型バス ③	3.190	2.490	11.280	10310	0.0047	160	97	5.6
大型バス ④	3.750	2.490	11.990	12840	0.0044	168	109	6.0
大型バス ⑤	3.485	2.490	8.990	10090	0.0041	151	86	4.7
大型バス ⑥	3.520	2.490	11.990	13000	0.0042	157	94	5.0
中型バス ①	3.045	2.300	8.990	7800	0.0047	155	90	5.2
中型バス ②	2.910	2.300	8.990	8100	0.0044	136	74	4.1
中型バス ③	3.035	2.340	8.990	7100	0.0052	170	113	6.3
マイクロバス ①	2.635	2.065	6.995	3830	0.0067	181	128	7.6
マイクロバス ②	2.735	2.010	7.730	4190	0.0067	184	131	8.2
軽自動車 (車高最大レベル)	1.880	1.475	3.395	960	0.0098	213	161	9.3
軽自動車 (車高最大レベル)	1.910	1.475	3.395	950	0.0100	220	166	10.1
軽自動車 (車高最小レベル)	1.180	1.475	3.395	830	0.0086	138	65	3.2
軽自動車 (車高最小レベル)	1.280	1.475	3.395	850	0.0088	152	77	3.7
軽自動車 (最軽量レベル)	1.475	1.475	3.395	610	0.0132	222	172	10.9
軽自動車 (最軽量レベル)	1.525	1.475	3.395	650	0.0127	223	172	10.8
軽トラック 平 ①	1.745	1.475	3.395	780	0.0115	219	167	11.5
軽トラック 平 ②	1.765	1.475	3.395	680	0.0133	227	180	14.6
軽トラック 平 ③	1.885	1.475	3.395	1220	0.0077	173	111	5.5
SUV①	1.880	1.980	4.950	2430	0.0063	150	80	4.1
SUV②	1.690	1.835	4.725	1660	0.0079	168	101	4.8
SUV③	1.610	1.775	4.175	1210	0.0093	204	143	6.0
最大値						227	183	17.0

必要離隔距離

230

190

(補足説明資料 3. 火山の影響評価及び対策)

(補足説明資料 3-1. 火山の立地, 影響評価(荷重条件))

3-1. 火山の立地, 影響評価(荷重条件) (1/20) 評価の変遷



【立地評価】

該当頁

➤ 申請時の評価(H26.5)

- 地理的領域内の第四紀火山「32火山」うち, 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として「12火山」を抽出
- 抽出した火山による設計対応不可能な火山事象の影響はなく, モニタリング対象外



➤ 申請以降実施した調査・検討

- 地理的領域内の第四紀火山「32火山」を対象に, 個別文献調査を行い, 各火山の詳細な活動履歴を把握することを目的に, 階段ダイヤグラムを作成



➤ 最終評価(H29.6)

- 地理的領域内の第四紀火山「32火山」うち, 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として「13火山」を抽出(笹森山を追加)
- 抽出した火山による設計対応不可能な火山事象の影響はなく, モニタリング対象外

88~94

【影響評価】

➤ 申請時の評価(H26.5) 設計上考慮する降下火砕物の層厚を40cmとした。

- 町田・新井(2011)によれば, 敷地において最大層厚となる降下火砕物は赤城鹿沼テフラであり, 敷地は等層厚線の10cm~40cmの範囲に位置
- 敷地近傍のボーリング調査の結果, 約20cmの層厚を確認



➤ 申請以降実施した調査・検討

- 文献調査……申請時の評価に山元(2013)等を追加して評価
 - 敷地に最も影響の大きい降下火砕物 ⇒ 赤城鹿沼テフラ
 - 山元(2013): 20cm(敷地付近), 34cm~38cm(敷地南側) ⇒ 40cmと評価
 - 赤城鹿沼テフラと同規模の噴火の降灰分布の事例を確認・整理: 最大約25cm
 - 地質調査……申請時以降, 以下の調査を実施
 - 敷地及び敷地近傍のボーリング調査: 約15~20cm
 - 敷地周辺の露頭調査: 文献の分布と整合していることを確認(10cm~40cm)
 - 敷地近傍の露頭調査(東海駅露頭): 約20cm※
 - ※露頭詳細観察により浸食による影響を受けていないことを立体的な堆積状況も踏まえ確認
- 以上のことから, 敷地近傍における赤城鹿沼の層厚データの信頼性が向上
- シミュレーション…赤城鹿沼テフラと同規模の噴火を想定したシミュレーションを実施: 約49cm(不確かさを考慮)



➤ 最終評価(H29.6)

文献調査, 地質調査の結果からは40cm程度と評価されるが, さらなる保守性として検討した降下火砕物シミュレーションによる不確かさを考慮した解析の結果49cmも踏まえ, これらを総合的に判断し, 設計上考慮する降下火砕物の層厚を保守的に50cmと設定

95~106

3-1. 火山の影響評価及び対策 (2/20) 概要



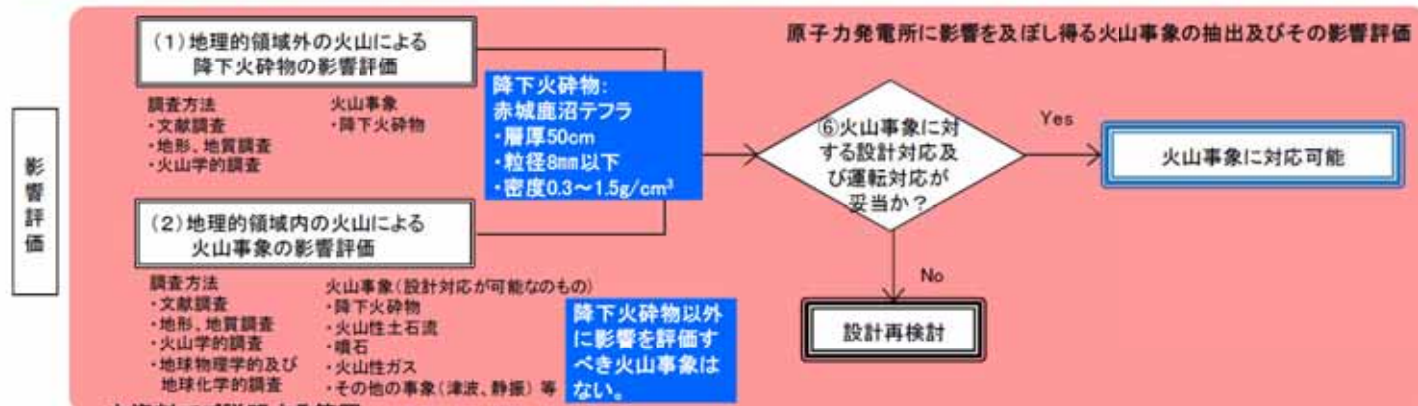
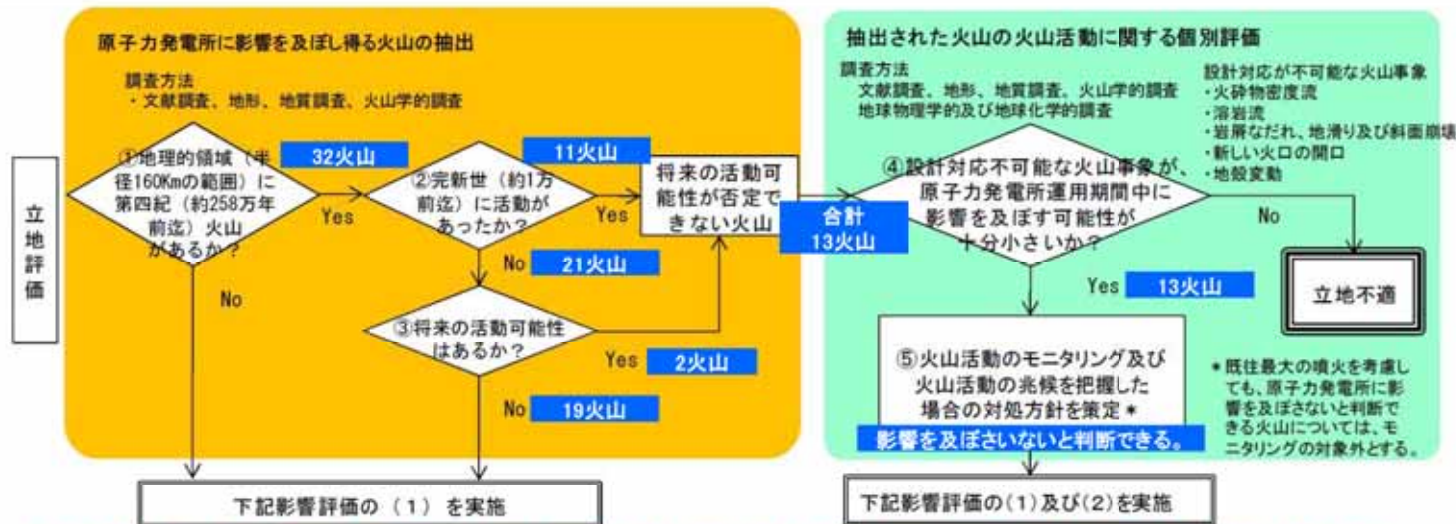
「原子力発電所の火山影響評価ガイド」に従って、東海第二発電所の火山影響評価を実施した。

【立地評価結果】

- 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として13火山を抽出
- 抽出された火山の火山活動に関する個別評価の結果、設計対応不可能な火山事象が原子力発電所に影響を及ぼす可能性はないと判断される(モニタリング対象外)。

【影響評価結果】

- 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象を抽出した結果、降下火砕物以外に影響評価すべき火山事象はない。
- 評価すべき降下火砕物の層厚は文献調査、地質調査及びシミュレーションの結果を総合的に評価し50cmとした。



本資料でご説明する範囲

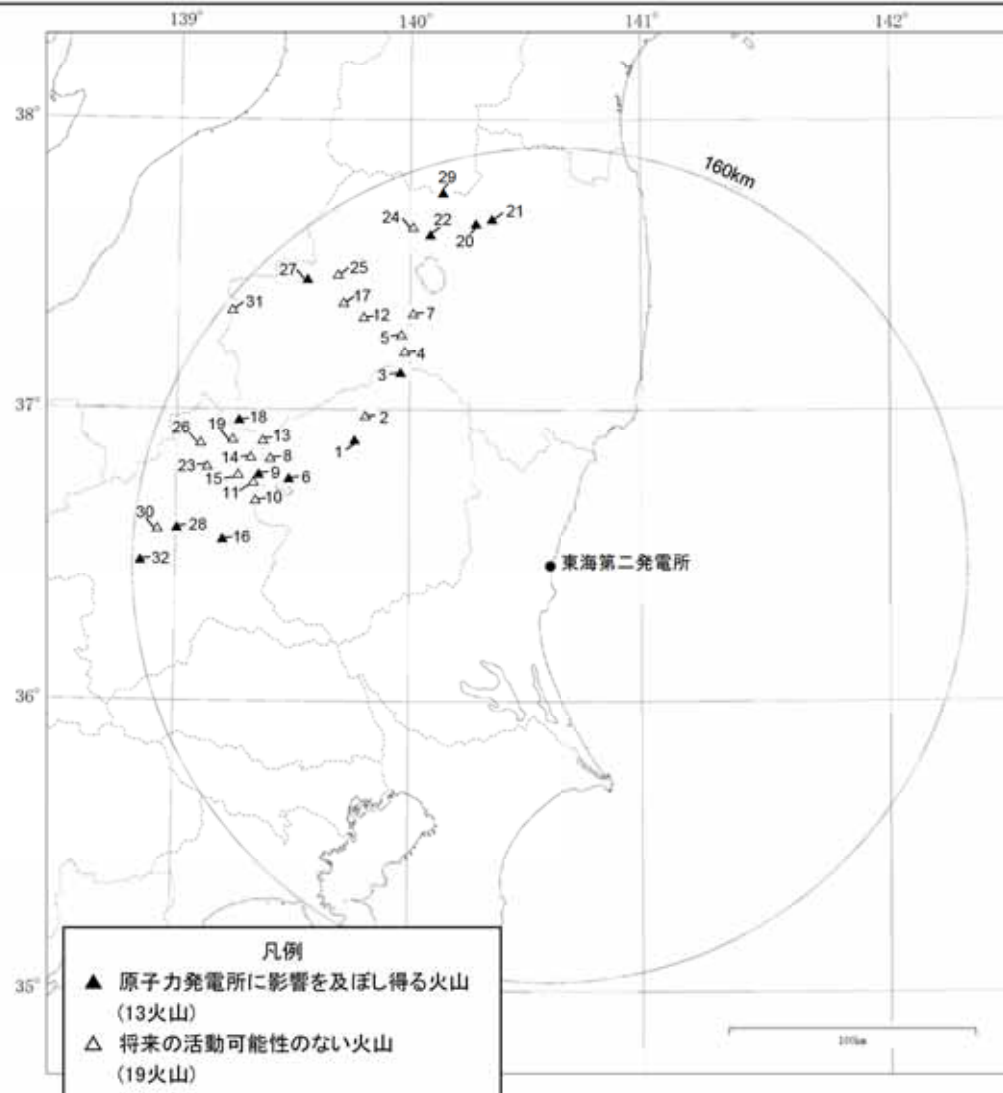
※原子力発電所の火山影響評価ガイド(原子力規制委員会(2013))に加筆

3-1. 火山の影響評価及び対策 (3/20) 立地評価 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出



東海第二発電所の地理的領域(半径160km範囲)に位置する第四紀(約258万年前迄)火山として、陸域の32火山が抽出された。
原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として抽出された13火山の分布は以下のとおり。

- ・ 完新世に活動を行った火山:11火山 → 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
- ・ 将来の活動可能性が否定できない火山:2火山 → 笹森山, 子持山



半径160km範囲の第四紀火山分布

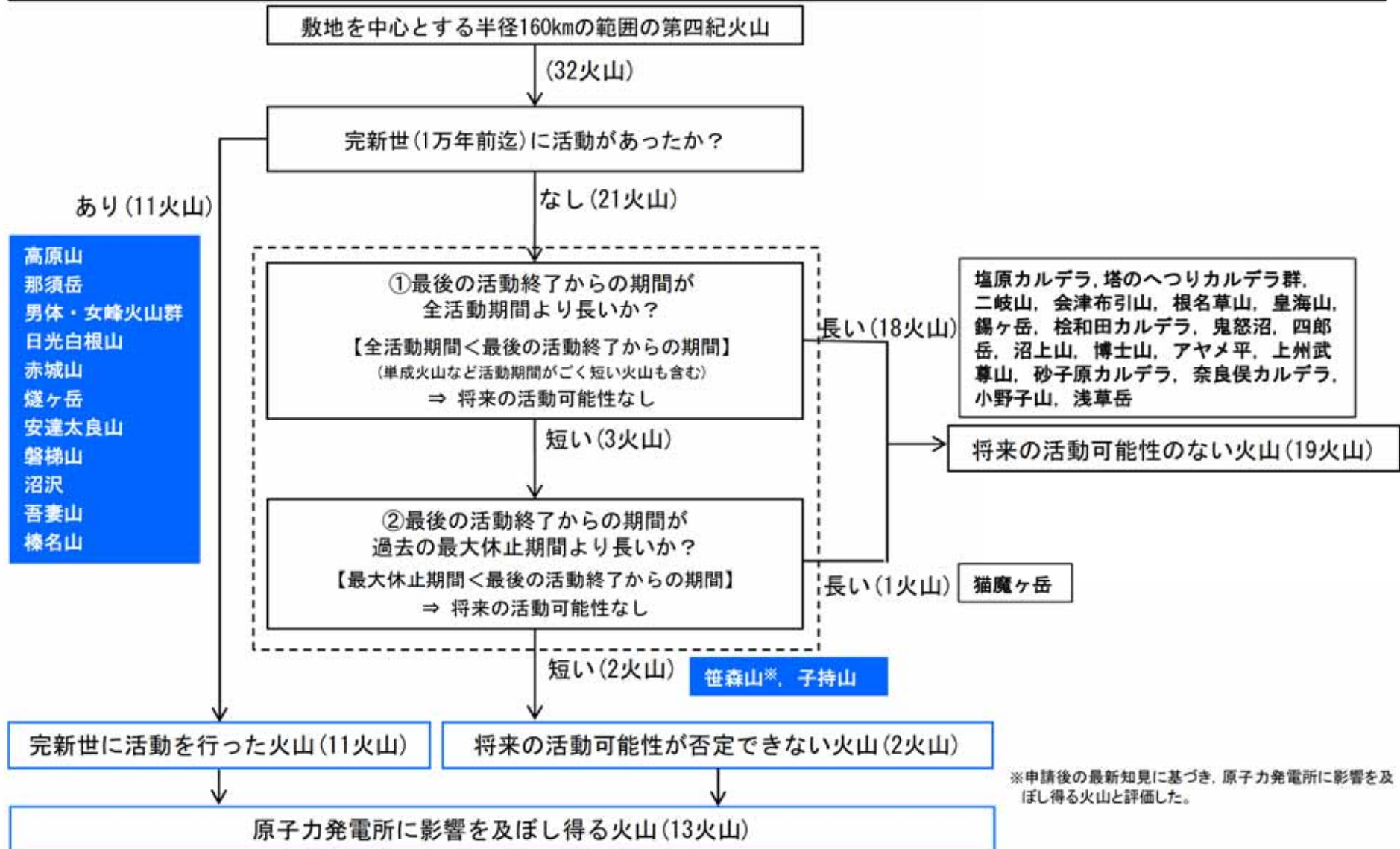
No.	第四紀火山	敷地からの距離 (km)	No.	第四紀火山	敷地からの距離 (km)
1	高原山	88	17	榛名山	127
2	塩原カルデラ	90	18	燧ヶ岳	130
3	那須岳	93	19	アヤメ岳	131
4	塔のへつりカルデラ群	99	20	安達太良山	133
5	二峰山	104	21	笹森山	133
6	男体・女峰火山群	105	22	磐梯山	135
7	会津布引山	109	23	上州武尊山	137
8	根名草山	116	24	瑞雲ヶ岳	137
9	日光白根山	116	25	砂子原カルデラ	137
10	喜多山	116	26	赤良後カルデラ	142
11	燧ヶ岳	117	27	沼沢	143
12	松和田カルデラ	118	28	子持山	145
13	奥羽沼	120	29	吾妻山	147
14	磐梯岳	122	30	小野子山	150
15	沼上山	124	31	浅草岳	156
16	赤城山	127	32	榛名山	157

中野他(2013)に基づき作成

3-1. 火山の影響評価及び対策 (4/20) 立地評価 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出
 将来の活動可能性が否定できない火山の抽出



敷地の地理的領域の第四紀火山(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、将来の活動可能性が否定できない13火山が抽出された。



3-1. 火山の影響評価及び対策 (5/20) 立地評価 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出 活動履歴・階段ダイアグラムの例【16.赤城山】



地理的領域内の第四紀火山について、将来の活動可能性の有無については、文献調査結果を基に、当該火山の第四紀の噴火時期、噴火規模、活動期間を以下のとおり整理し評価した。

火山名	赤城山
敷地からの距離	約127km
火山の形式	複成火山-カルデラ、溶岩ドーム
活動年代	30万年前より古い～1251年
概要	赤城山の活動は中央火口丘形成期、新期成層火山形成期、古期成層火山形成期に分けられる。最新活動期の中央火口丘形成期は4.4万年前に開始され、最新噴火の1251年噴火による降下火砕物が確認されている(山元(2014a)、青木他(2008)、及川(2012)等)。

・火山名、火山の形式は中野他(2013)に基づく

赤城山の活動履歴

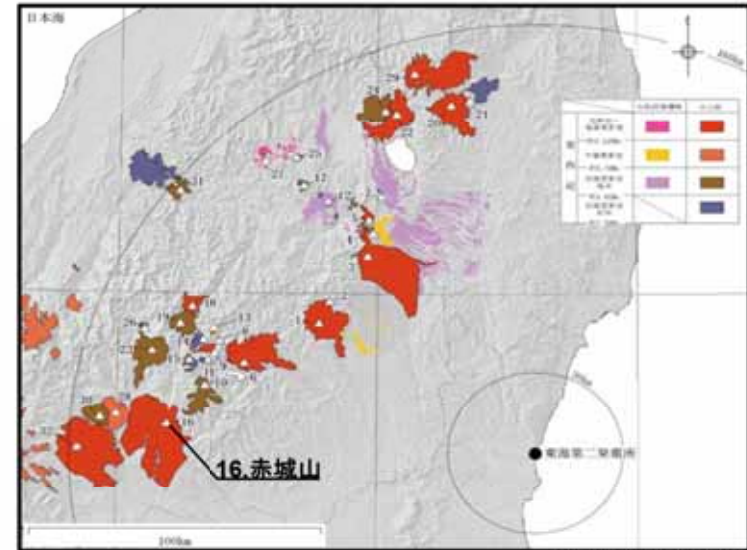
年代	活動期・火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献
1251年	中央火口丘形成期	1251年噴火噴出物 [※] 赤城塵沼テフラ 等	2.49	大森編(1986) 鈴木(1990) 富田他(1994) 宇井編(1997) 青木他(2008)
		新期成層火山形成期		
30万年前	古期成層火山形成期	荒山溶岩	58	山元(2014a) 山元(2014b) 山元(2016)
		沼尾川溶岩 等		

・活動年代については、西来他(2016)に基づき評価

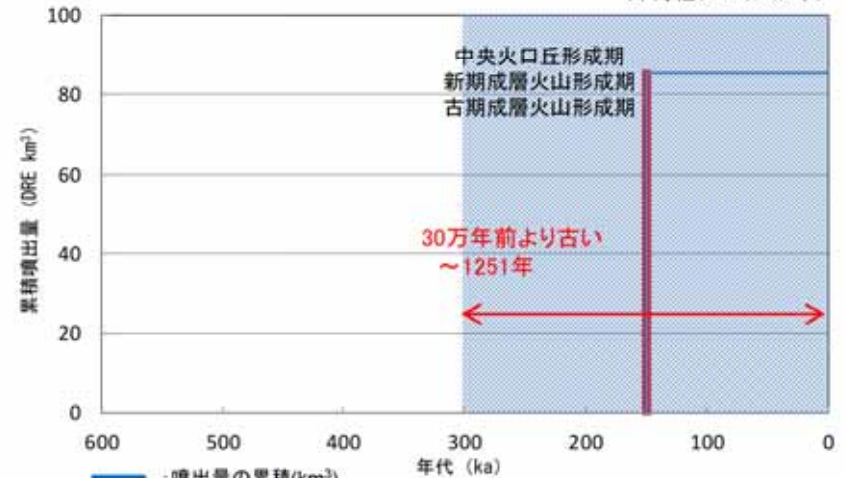
・下線: 有史以降の噴出物

※気象庁編(2013)によれば、赤城山における有史以降の火山活動は1251年噴火のみ(堆積物未確認)とされるが、早川(1999)によれば、1251年噴火の根拠とされる吾妻鏡の記録は、噴火ではなく山火事の記録とされる。一方で、及川(2012)及び峰岸(2003)により、同時期の噴火を記録した別の歴史記録も報告されている。

完新世に活動を行った火山であり、
原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として抽出した。



(中野他(2013)に加筆)



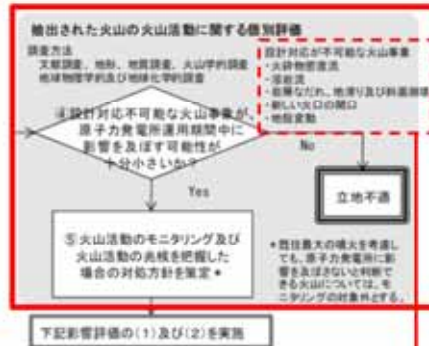
赤城山の階段ダイアグラム

・網掛け部は噴出したと考えられる年代の幅(期間)を表す。
また、網掛け部に該当する期間中の噴出量を、期間の中央値に示す。

3-1. 火山の影響評価及び対策 (6/20)立地評価 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された13火山について、設計対応不可能な火山事象が原子力発電所の運用期間中に影響を及ぼす可能性について検討した。



原子力発電所に影響を与える可能性のある火山事象及び位置関係

火山事象	潜在的に影響を及ぼす特性	原子力発電所との位置関係
1. 降下火砕物	静的な物理的負荷、気中及び水中の研磨性及び腐食性粒子	注 2
2. 火砕物密度流：火砕流、サージ及びブラスト	動的な物理的負荷、大気の過圧、飛来物の衝撃、300℃超の温度、研磨性粒子、毒性ガス	160km
3. 溶岩流	動的な物理的負荷、洪水及び水のせき止め、700℃超の温度	50km
4. 岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊	動的な物理的負荷、大気の過圧、飛来物の衝撃、水のせき止め及び洪水	50km
5. 火山性土石流、火山泥流及び洪水	動的な物理的負荷、水のせき止め及び洪水、水中の浮遊粒子	120km
6. 火山から発生する飛来物（噴石）	粒子の衝突、静的な物理的負荷、水中の研磨性粒子	10km
7. 火山ガス	毒性及び腐食性ガス、酸性雨、ガスの充満した湖、水の汚染	160km
8. 新しい火口の開口	動的な物理的負荷、地盤変動、火山性地震	注 3
9. 津波及び静振	水の氾濫	注 4
10. 大気現象	動的過圧、落雷、ダウンバースト風	注 4
11. 地盤変動	地盤変位、沈下又は隆起、傾斜、地滑り	注 4
12. 火山性地震とこれに関連する事象	継続的激動、多重衝撃	注 4
13. 熱水系及び地下水の異常	熱水、腐食性の水、水の汚染、氾濫又は湧昇、熱水変質、地滑り、カルスト及びサーモカルストの変異、水圧の急変	注 4

注 1：噴出中心と原子力発電所との距離が、表中の位置関係に記載の距離より短ければ、火山事象により原子力発電所が影響を受ける可能性があるものとする。

注 2：降下火砕物に関しては、原子力発電所の敷地及び敷地付近の調査から求められる単位面積あたりの質量と同等の火山灰等が降下するものとする。

注 3：新火口の開口については、原子力発電所の運用期間中に、新火口の開口の可能性を検討する。

注 4：火山活動によるこれらの事象は、原子力発電所との位置関係によらず、個々に検討を行う。

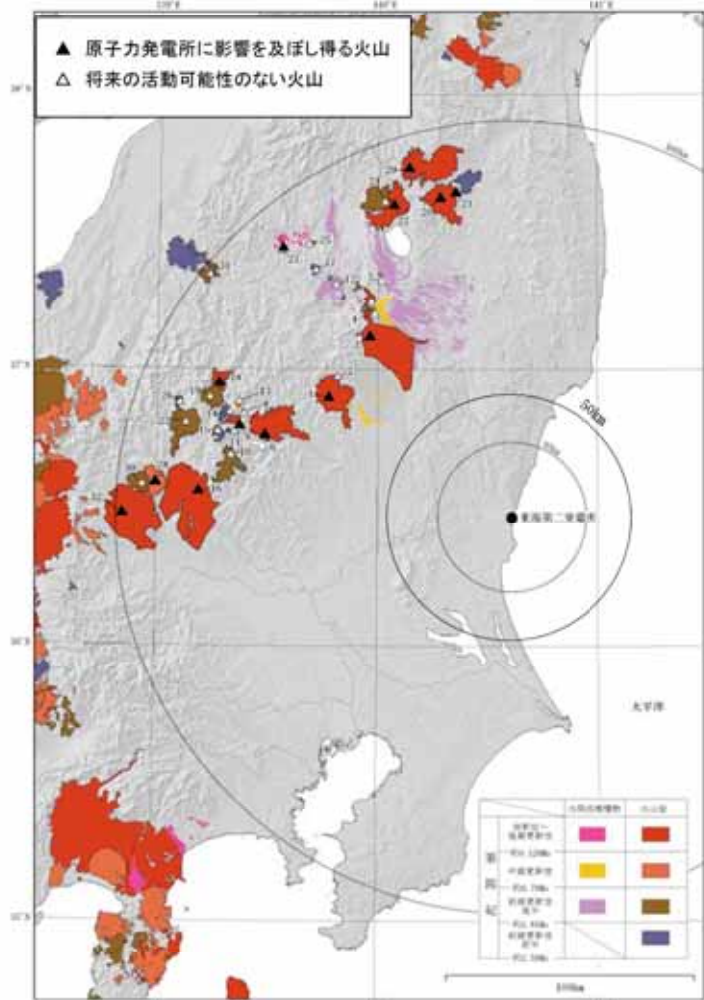
原子力発電所の火山影響評価ガイド(原子力規制委員会(2013))に加筆

3-1. 火山の影響評価及び対策 (7/20)立地評価 抽出された火山の火山活動に関する個別評価 評価結果



原子力発電所に影響を及ぼし得る火山について、設計対応不可能な火山事象が影響を及ぼす可能性を以下のとおり検討した。結果は、下表に示すとおり。

- 溶岩流、岩屑なだれについては、いずれの火山も敷地との距離が50kmより長いいため評価の対象外とした。
- 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の前弧側(東方)に位置し、敷地周辺では火成活動は確認されていないことから、これらの活動が原子力発電所に影響を及ぼす可能性は十分小さい。
- 火砕物密度流については、いずれの火山も敷地との距離が160km以内であるため、火山の個別評価を行い影響を及ぼす可能性を検討した。



火山地質図

(中野他(2013)に加筆)

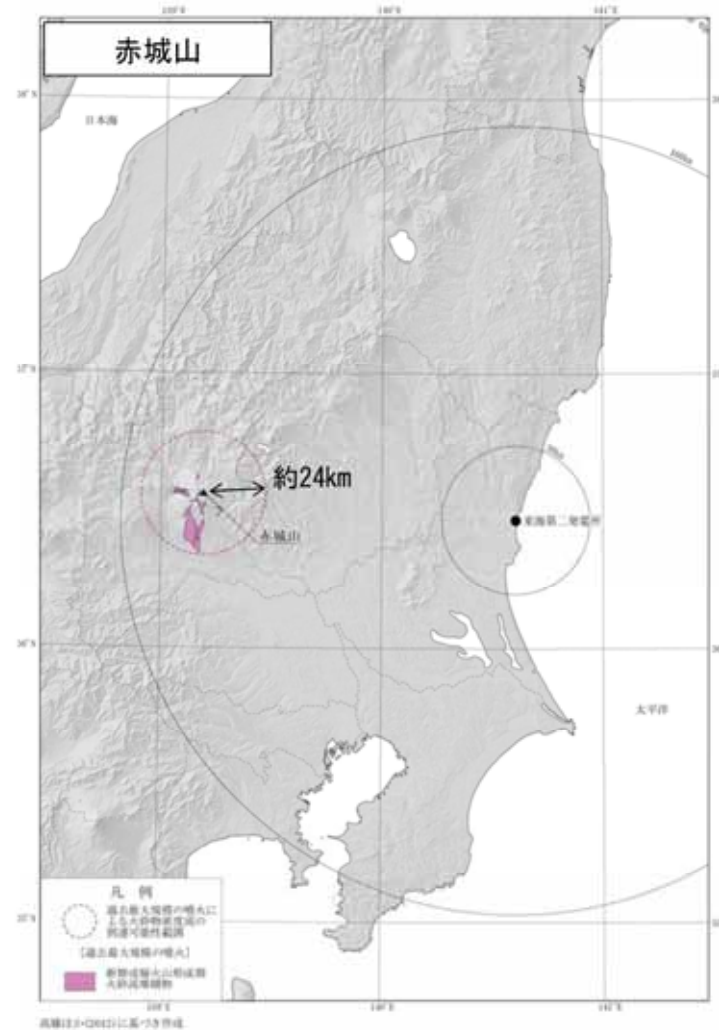
No.	火山名	敷地からの距離(km)	火砕物密度流(160km)		溶岩流 岩屑なだれ、地すべり及び斜面前壊 (50km)	新しい火口の開口 地殻変動
			到達可能性範囲(km)	評価結果		
1	高原山	88	-	活動履歴上、噴出物は溶岩や火砕物が主体であり、火砕物密度流の発生実績は認められない。	敷地と火山の距離から、原子力発電所に影響を及ぼす可能性はない。	敷地は、火山フロントより前弧側(東方)に位置すること、敷地周辺では火成活動は確認されていないことから、この事象が原子力発電所の運転期間中に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。
3	那須岳	93	17	敷地と火砕物密度流の到達可能性範囲の距離から、原子力発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。		
6	男体・女峰火山群	105	18	敷地と火砕物密度流の到達可能性範囲の距離から、原子力発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。		
9	日光白根山	116	-	活動履歴上、噴出物は溶岩や火砕物が主体であり、火砕物密度流の発生実績は認められない。		
16	赤城山	127	24	敷地と火砕物密度流の到達可能性範囲の距離から、原子力発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。		
18	燧ヶ岳	130	6	敷地と火砕物密度流の到達可能性範囲の距離から、原子力発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。		
20	安達太良山	133	16	敷地と火砕物密度流の到達可能性範囲の距離から、原子力発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。		
21	笹森山	133	13	敷地と火砕物密度流の到達可能性範囲の距離から、原子力発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。		
22	磐梯山	135	10	敷地と火砕物密度流の到達可能性範囲の距離から、原子力発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。		
27	沼沢	143	17	敷地と火砕物密度流の到達可能性範囲の距離から、原子力発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。		
28	子持山	145	6	敷地と火砕物密度流の到達可能性範囲の距離から、原子力発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。		
29	吾妻山	147	19	敷地と火砕物密度流の到達可能性範囲の距離から、原子力発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。		
32	榛名山	157	23	敷地と火砕物密度流の到達可能性範囲の距離から、原子力発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。		

- 設計対応不可能な火山事象(火砕物密度流、溶岩流、岩屑なだれ他、新しい火口の開口及び地殻変動)が原子力発電所に影響を及ぼす可能性はない。
- このことから抽出された13火山はモニタリングの対象とはならない。

3-1. 火山の影響評価及び対策 (8/20) 立地評価 抽出された火山の火山活動に関する個別評価 火砕物密度流の到達可能性範囲の検討の例



- 赤城山の過去最大規模の火砕物密度流の到達可能性範囲は噴出中心から約24kmであり、敷地から十分に離れていることから、原子力発電所に影響を及ぼす可能性は十分小さい。



3-1. 火山の影響評価及び対策 (9/20) 影響評価 降下火砕物の影響評価



- 降下火砕物の評価については、火山影響評価ガイドにおいて「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。」とされている。このことから、地理的領域外の火山も対象に文献調査及び地質調査を行い、敷地において最大となる降下火砕物の層厚を設計上考慮する降下火砕物の層厚とする。

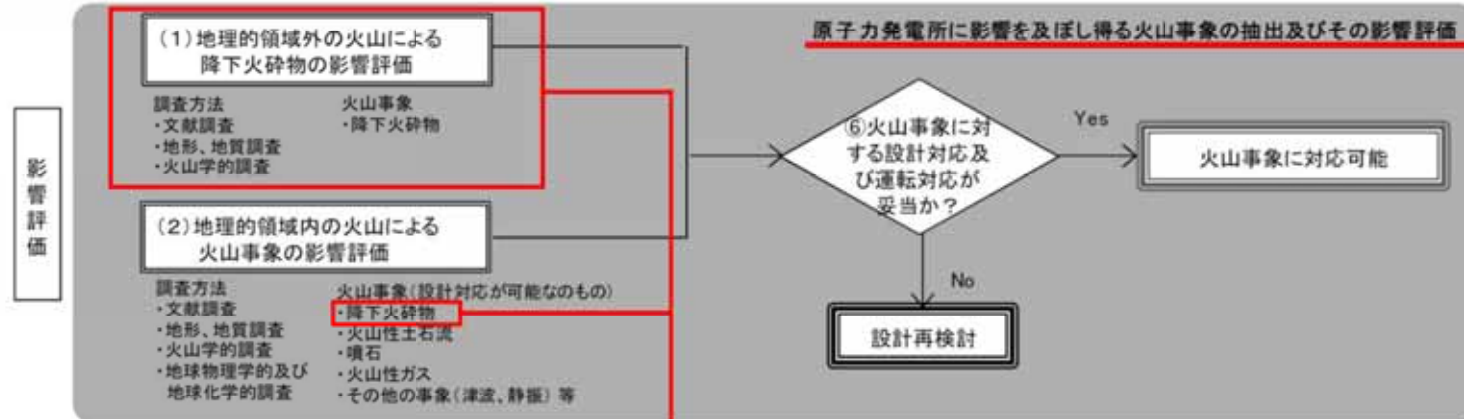


表1 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象及び位置関係*

火山事象	潜在的に影響を及ぼす特性	原子力発電所との位置関係
1. 降下火砕物	静的な物理的負荷、空中及び水中の放射性及び腐食性粒子	注2
2. 火砕物衝突波：火砕流、サージ及びプラスト	動的な物理的負荷、大気中の塵、飛来物の衝撃、300℃超の高温、放射性粒子、毒性ガス	100km
3. 溶岩流	動的な物理的負荷、洪水及び水のせき止め、700℃超の高温	50km
4. 岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊	動的な物理的負荷、大気中の塵、飛来物の衝撃、水のせき止め及び洪水	50km
5. 火山性土石流、火山泥流及び洪水	動的な物理的負荷、水のせき止め及び洪水、水中の浮遊粒子	120km
6. 火山から発生する飛来物（噴石）	粒子の衝突、静的な物理的負荷、水中の放射性粒子	10km
7. 火山ガス	毒性及び腐食性ガス、酸性雨、ガスの充満した湖、水の汚染	100km
8. 新しい火口の開口	動的な物理的負荷、地盤変動、火山性地震	注3
9. 津波及び暴潮	水の圧力	注4
10. 大気現象	動的な風圧、落雷、ダウンバースト風	注4
11. 地盤変動	地盤変動、沈下又は隆起、傾斜、地滑り	注4
12. 火山性地震とこれに関連する事象	連続的振動、多重衝撃	注4
13. 熱水系及び地下水の異常	熱水、腐食性水、水の汚染、出流又は過昇、熱水浸潤、地滑り、カルスト及びサーモカルストの浸食、水圧の急変	注4

(参考資料：IAEA SSG-21 及び JEAG4623)

注1：噴出中心と原子力発電所との距離が、表中の位置関係に記載の距離より短ければ、火山事象により原子力発電所が影響を受ける可能性があるものとする。

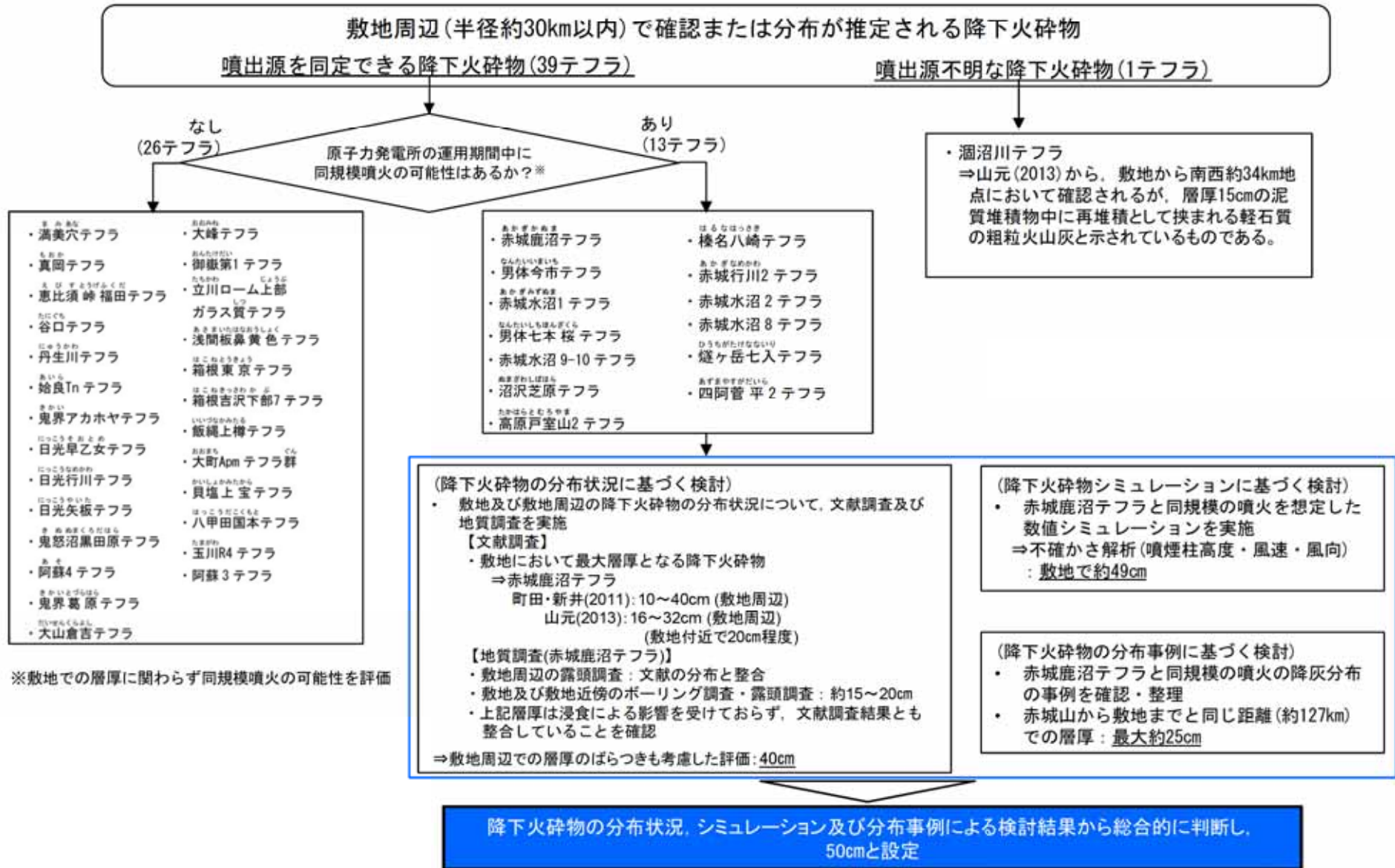
注2：降下火砕物に関しては、原子力発電所の敷地及び敷地周辺の調査から求められる単位面積あたりの質量と同等の火山事象が降下するものとする。

注3：新火口の開口については、原子力発電所の運用期間中に、新火口の開口の可能性を検討する。

注4：火山活動によるこれらの事象は、原子力発電所との位置関係によらず、個別に検討を行う。

※原子力発電所の火山影響評価ガイド(原子力規制委員会(2013))に加筆

3-1. 火山の影響評価及び対策 (10/20) 影響評価 降下火砕物の影響評価 検討フロー

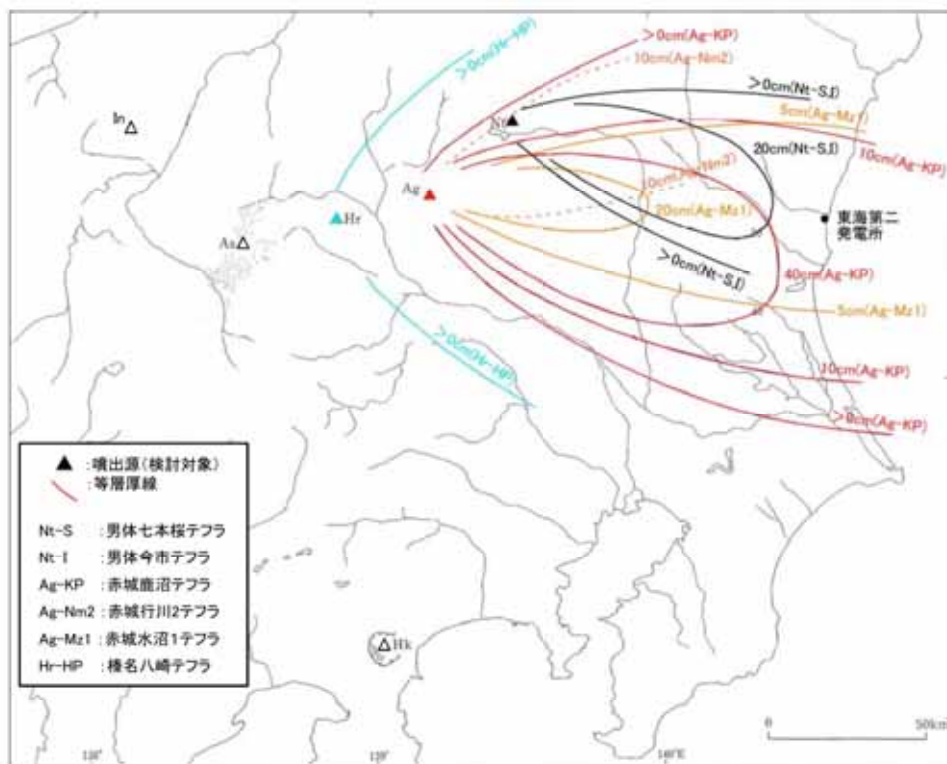


3-1. 火山の影響評価及び対策 (11/20) 影響評価 降下火砕物の影響評価 文献調査(敷地周辺で確認または分布が推定される降下火砕物)

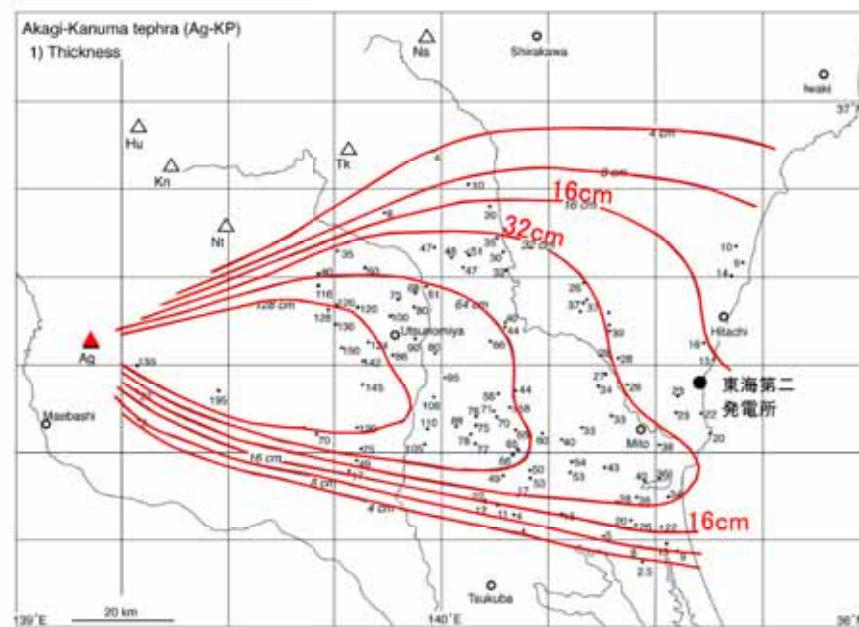


敷地周辺(半径約30km以内)で確認または分布が推定される降下火砕物のうち、原子力発電所の運用期間中に同規模噴火の可能性のある降下火砕物の分布を以降に示す。

- 敷地において最大層厚となる降下火砕物は赤城鹿沼テフラ (Ag-KP) である。



敷地周辺の主な降下火砕物の分布
(町田・新井(2011)に基づき作成)



第17図 赤城鹿沼テフラ(Ag-KP)の分布。
 1) 数字は降下火砕物層の層厚で、単位はcm。2) 数字は本質粒子の平均径大径径で、単位はmm。Ag - 赤城火山；
 Nm - 額ヶ岳火山；Ks - 鬼怒沼火山；Nm - 那須火山；Nt - 男体火山；Hr - 高野火山。

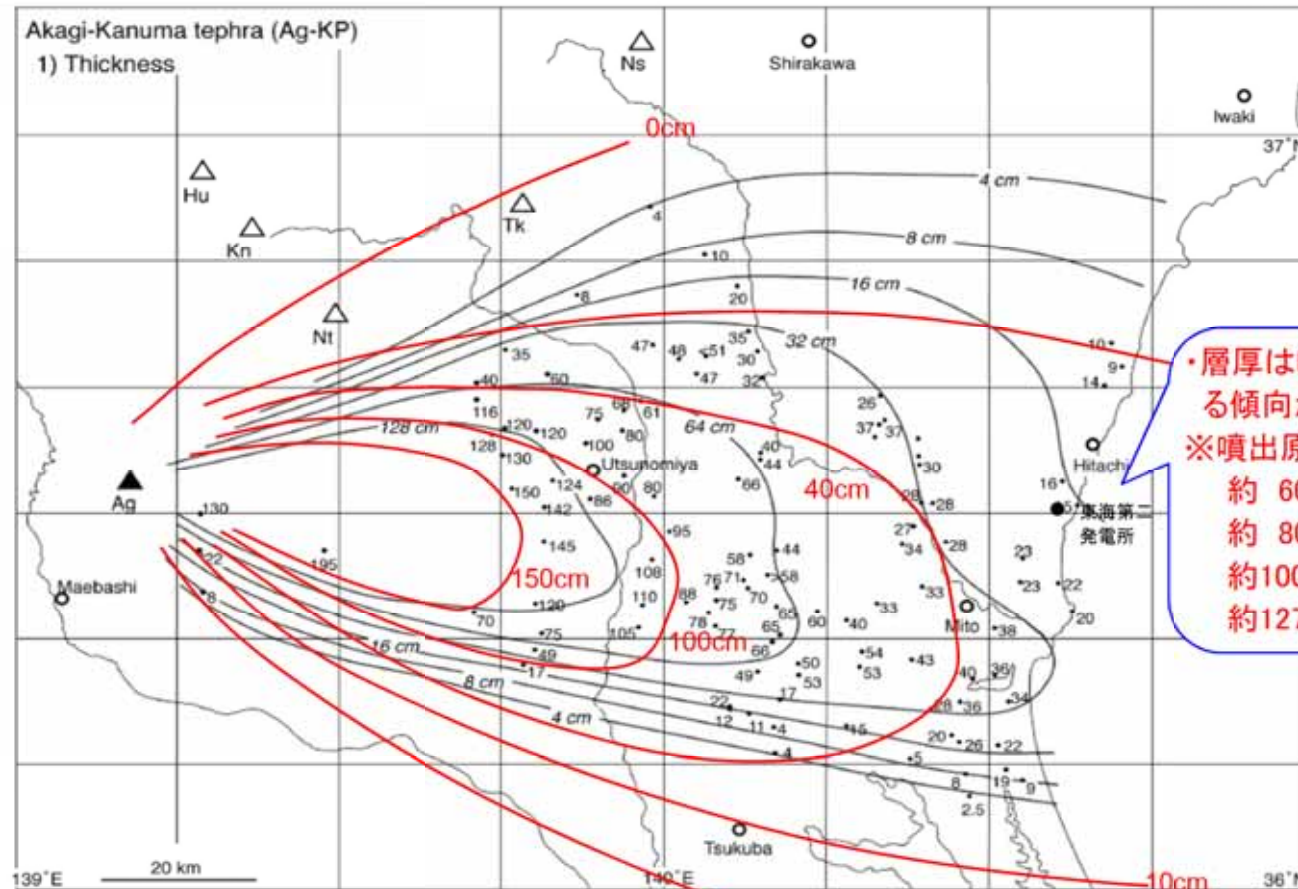
赤城鹿沼テフラの等層厚線図
(山元(2013)に加筆)

3-1. 火山の影響評価及び対策 (12/20) 影響評価 降下火砕物の影響評価 文献調査 (赤城鹿沼テフラの分布)



- 文献で確認される赤城鹿沼テフラの分布は以下のとおり。敷地の層厚の評価においては敷地周辺での層厚のばらつきも考慮し、40cmと評価する。
- ・敷地は町田・新井(2011)が示す等層厚線図の10cm~40cmの範囲に位置している。
 - ・敷地は山元(2013)が示す等層厚線図の16cm~32cmの範囲に位置している。
 - ・町田・新井(2011)と山元(2013)に示される赤城鹿沼テフラの分布傾向は概ね整合しており、山元(2013)において確認される敷地付近での層厚は20cm程度であるが、敷地の南側には赤城山から敷地までの距離と同程度の位置に34cm~38cmの層厚が確認される。

なお、敷地及び敷地近傍のボーリング調査において、風化火山灰層中に厚さ約15cm及び20cmの黄白色の軽石層が認められ、火山灰分析の結果、赤城鹿沼テフラ (Ag-KP) に対比された。



・層厚は噴出原の距離に応じて減衰する傾向がある。

※噴出原からの距離 (km) と層厚 (cm)

約 60km→128cm

約 80km→64cm

約 100km→32cm

約 127km→16cm

※文献によると、赤城山の活動年代は、「30万年前より古い~1251年」とされる。

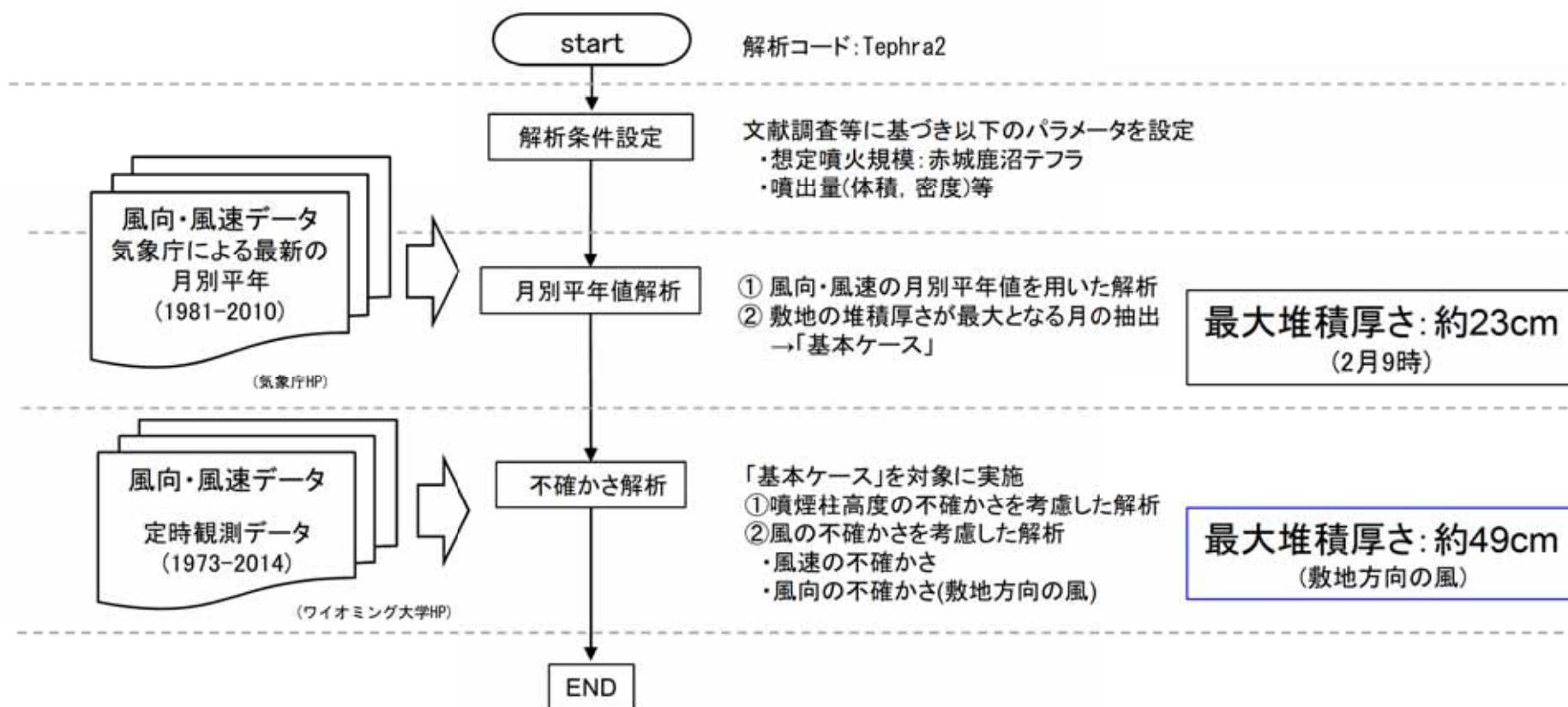
- ▲ : 噴出源
- (red line) : 町田・新井(2011)
- (black line) : 山元(2013)

赤城鹿沼テフラの等層厚線図
(町田・新井(2011)と山元(2013)の重ね合わせ)

3-1. 火山の影響評価及び対策 (13/20) 影響評価 降下火砕物の影響評価 降下火砕物シミュレーション



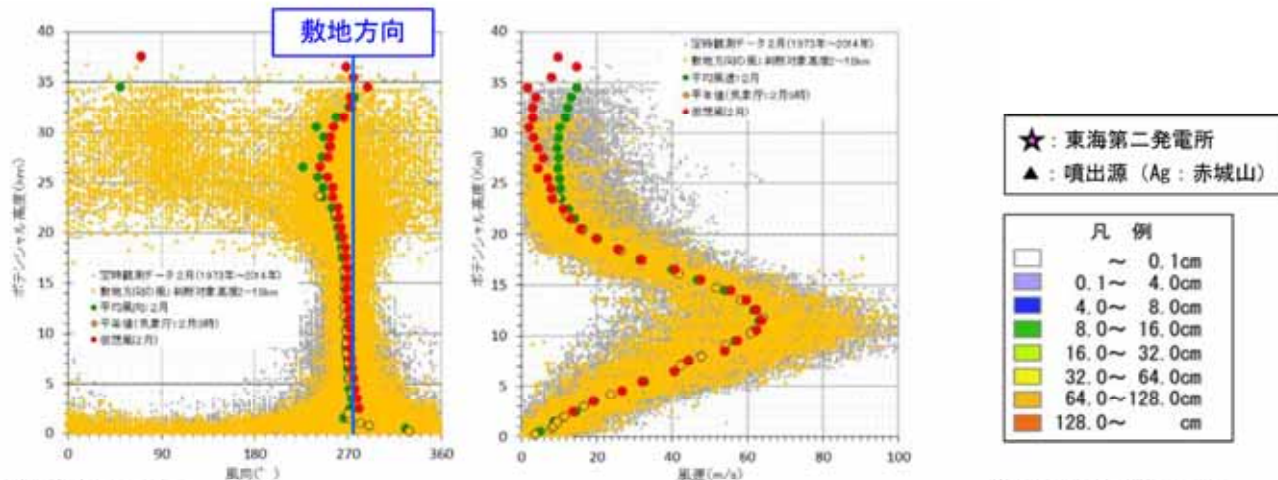
- 降下火砕物の数値シミュレーションは火山影響評価ガイドにおいては、原子力発電所内及びその周辺敷地において降下火砕物の堆積が観測されない場合の堆積物量を設定する方法の一つとされている。
- ここでは、敷地で最大層厚となる降下火砕物(赤城鹿沼テフラ)と同等規模の噴火が発生した場合における、現在の気象条件での不確かさを考慮した敷地での層厚をシミュレーションによって確認する。
- 不確かさを考慮したシミュレーションを実施した結果、敷地での最大堆積厚さは約49cmであった。



3-1. 火山の影響評価及び対策 (14/20) 影響評価 降下火砕物の影響評価 降下火砕物シミュレーション(不確かさ解析:敷地方向の風)

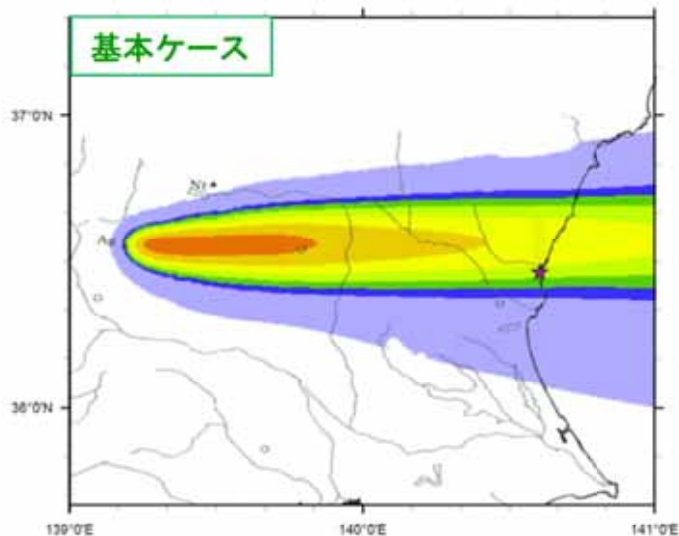


不確かさを考慮した解析として、2月の観測値(1973年~2014年)を用いて、敷地方向の風を作成して検討した結果、敷地における堆積厚さは約49cmとなった。



■ 2月(9時)の平年値の風

◇ 敷地方向の風

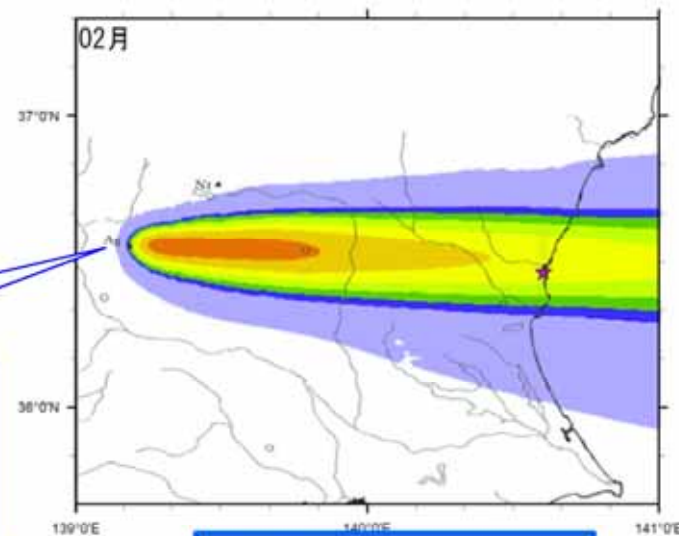


堆積厚さ: 22.5cm



敷地方向の風

・敷地の堆積厚さが最も大きくなるよう、「基本ケース」に対して、噴煙柱高さ、風向及び風速を調整し、より保守的な評価条件を設定している。



堆積厚さ: 48.8cm

3-1. 火山の影響評価及び対策 (15/20) 影響評価 降下火砕物の影響評価 降下火砕物の粒径・密度



文献調査及び地質調査(土質試験)結果から、設計上考慮する降下火砕物の粒径及び密度を以下のとおり設定する。

○調査結果

項目	文献調査 (敷地周辺)	当社の試験結果	
		最小	最大
最大粒径	最大8mm ^{※1}	最大4.8mm ^{※4}	
湿潤密度	約1.0~1.2g/cm ³ ^{※2,※3} (1.2g/cm ³ を超えることがある) ^{※3}	約0.9g/cm ³	約1.1g/cm ³
乾燥密度	約0.3~0.7g/cm ³ ^{※2,※3}	約0.3g/cm ³	約0.5g/cm ³

※1: 山元(2013), ※2: 富田他(1994), ※3: 宇井編(1997)に基づく

※4: 発電所敷地及びJAEA大洗研究開発センター(現: 大洗研究所)での試験結果の最大値

設計上考慮する降下火砕物の粒径及び密度の設定値

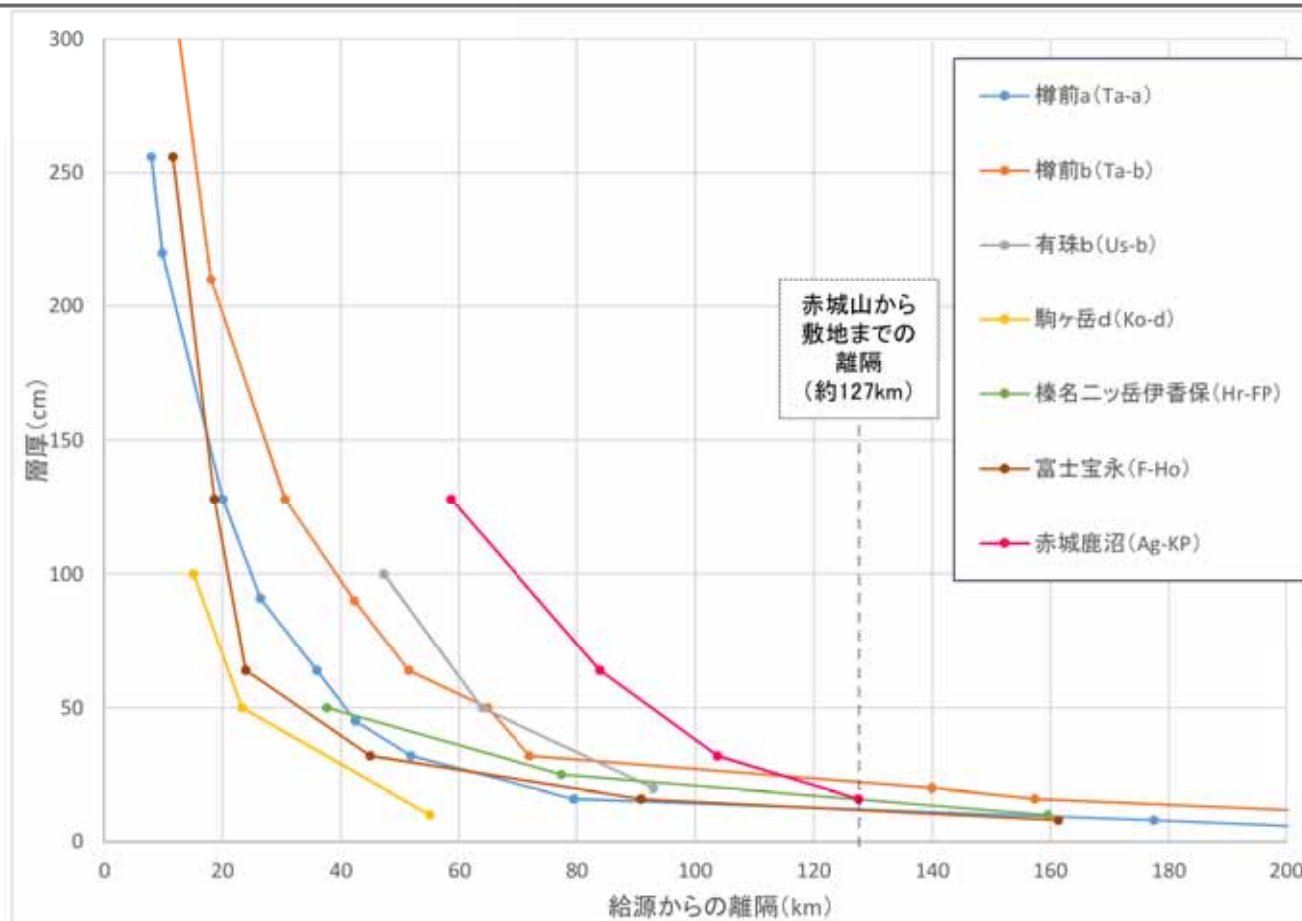
- ・ 粒径 : 8mm以下
- ・ 密度 : 0.3g/cm³ ~ 1.5g/cm³ ^{※5}
(乾燥状態) (湿潤状態)

※5: 宇井編(1997)によると「湿ると1.2を超えることがある」とされていることを踏まえ、保守的に設定

3-1. 火山の影響評価及び対策(16/20) 影響評価 降下火砕物の影響評価 参考:層厚分布と離隔に関する知見の整理



- 赤城鹿沼テフラと同規模 (VEI5相当) の降下火砕物の層厚分布と離隔に関する知見を以下のとおり整理した。
 - 気象庁編(2013)及び産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2014)に基づきVEI5相当の降下火砕物を抽出※1
 - 各噴火における降下火砕物の層厚減衰曲線を文献に示される層厚分布から作成
 - 赤城山から敷地までの離隔(約127km)における各層厚を確認
- 以上の整理の結果, VEI5相当の降下火砕物の分布事例において, 給源からの距離に応じて層厚は減衰する傾向がみられ, 給源からの離隔が約127km(赤城山から敷地までの距離)の地点での層厚は約25cm以下であった。



※1歴史噴火を対象に降下火砕物のみの量がVEI5相当(1~10km)のものを抽出

テフラ名	噴出量(km ³)※2
樽前a	4.0
樽前b	2.8
有珠b	2.18
駒ヶ岳d	2.3
榛名ニッ岳伊香保	1.3
富士宝永	1.8
赤城鹿沼	5.0

※2 噴出量は産業技術総合研究所総合センター編(2014), Miyaji et al.(2011)に基づく
なお, 樽前a及び樽前bについては降下火砕物の他に火砕流の量も含まれているがその内訳は不明とされている。

※3以下の知見に示される等層厚線に基づき作成
なお, 給源からの離隔は主軸方向の層厚の到達距離(駒ヶ岳, 有珠, 榛名)町田・新井(2011)(富士)Naomichi Miyaji, et. al (2011)(樽前)古川・中川(2010)(赤城)山元(2013a)

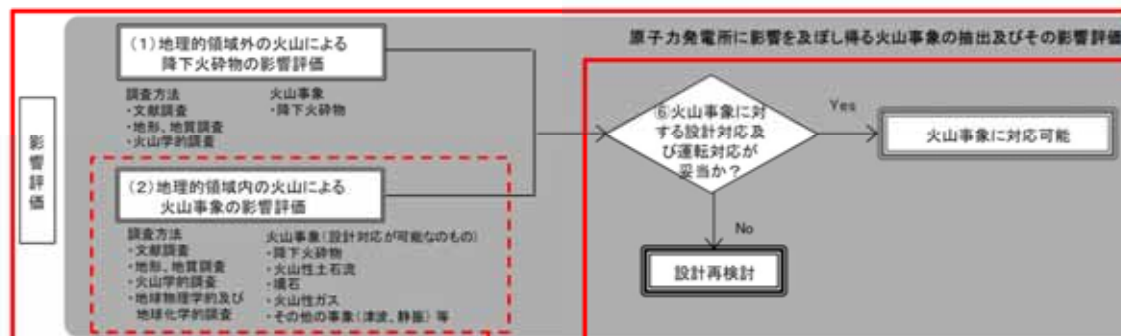
降下火砕物 (VEI5) の層厚減衰曲線※3

VEI5相当の降下火砕物の分布事例において, 給源からの離隔が約127km(赤城山から敷地までの距離)の地点での層厚は約25cm以下であった。

3-1. 火山の影響評価及び対策 (17/20) 影響評価 降下火砕物の影響評価 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価



原子力発電所に影響を及ぼし得る可能性のある火山事象のうち、降下火砕物以外の火山性土石流、噴石、火山ガス、その他の火山事象等について検討した。



原子力発電所に影響を与える可能性のある火山事象及び位置関係

火山事象	潜在的に影響を及ぼす特性	原子力発電所との位置関係
1. 降下火砕物	静的な物理的負荷、気中及び水中の研磨性及び腐食性粒子	注2
2. 火砕物密度流：火砕流、サージ及びプラスト	動的な物理的負荷、大気の過圧、飛来物の衝撃、300℃超の温度、研磨性粒子、毒性ガス	160km
3. 溶岩流	動的な物理的負荷、洪水及び水のせき止め、700℃超の温度	50km
4. 岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊	動的な物理的負荷、大気の過圧、飛来物の衝撃、水のせき止め及び洪水	50km
5. 火山性土石流、火山泥流及び洪水	動的な物理的負荷、水のせき止め及び洪水、水中の浮遊粒子	120km
6. 火山から発生する飛来物（噴石）	粒子の衝突、静的な物理的負荷、水中の研磨性粒子	10km
7. 火山ガス	毒性及び腐食性ガス、酸性雨、ガスの充満した湖、水の汚染	160km
8. 新しい火口の開口	動的な物理的負荷、地盤変動、火山性地震	注3
9. 津波及び静振	水の氾濫	注4
10. 大気現象	動的過圧、落雷、ダウンバースト風	注4
11. 地盤変動	地盤変位、沈下又は隆起、傾斜、地滑り	注4
12. 火山性地震とこれに関連する事象	継続的振動、多重衝撃	注4
13. 熱水系及び地下水の異常	熱水、腐食性水、水の汚染、氾濫又は湧昇、熱水変質、地滑り、カルスト及びサーモカルストの変異、水圧の急変	注4

注1：噴出中心と原子力発電所との距離が、表中の位置関係に記載の距離より短ければ、火山事象により原子力発電所が影響を受ける可能性があるものとする。

注2：降下火砕物に関しては、原子力発電所の敷地及び敷地付近の調査から求められる単位面積あたりの質量と同等の火山灰等が降下するものとする。

注3：新火口の開口については、原子力発電所の運用期間中に、新火口の開口の可能性を検討する。

注4：火山活動によるこれらの事象は、原子力発電所との位置関係によらず、個々に検討を行う。

※原子力発電所の火山影響評価ガイド(原子力規制委員会(2013))に加筆

3-1. 火山の影響評価及び対策 (18/20) 影響評価 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価 評価結果



原子力発電所に影響を及ぼし得る可能性のある火山事象のうち、降下火砕物以外の火山性土石流、噴石、火山ガス、その他の火山事象等について検討した結果は以下に示すとおり。

火山事象	対象火山	評価結果
火山性土石流、火山泥流及び洪水	半径120km内の 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山 [4火山]	敷地は久慈川流域に位置し、各火山の山麓の河川の流域には含まれず、久慈川流域と各火山の位置する流域の間には、八溝山地が分布、那珂川と原子力発電所の間には、那珂台地が分布している。また、敷地近傍において火山性土石流に伴う堆積物は確認されない。以上のことから、これらの火山事象が原子力発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。
火山から発生する飛来物 (噴石)	半径10km内の 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山 [なし]	—
火山ガス	半径160km内の 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山 [13火山]	敷地は太平洋に面する那珂台地に位置し、火山ガスが敷地に滞留する地形ではないことから、火山ガスが原子力発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。
その他の火山事象 ・火山活動に起因する大気現象 ・火山性地震とこれに関連する事象 ・熱水系及び地下水の異常 ・津波及び静振	半径160km内の 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山 [13火山]	敷地は火山フロントより前弧側(東方)に位置すること、また対象火山と十分な離隔があることから、これらの火山事象が原子力発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。

※噴出中心と原子力発電所との距離が、記載の距離より短ければ、火山事象により原子力発電所が影響を受ける可能性があるものとする。(火山影響評価ガイド)



降下火砕物以外に影響を評価すべき火山事象はない。

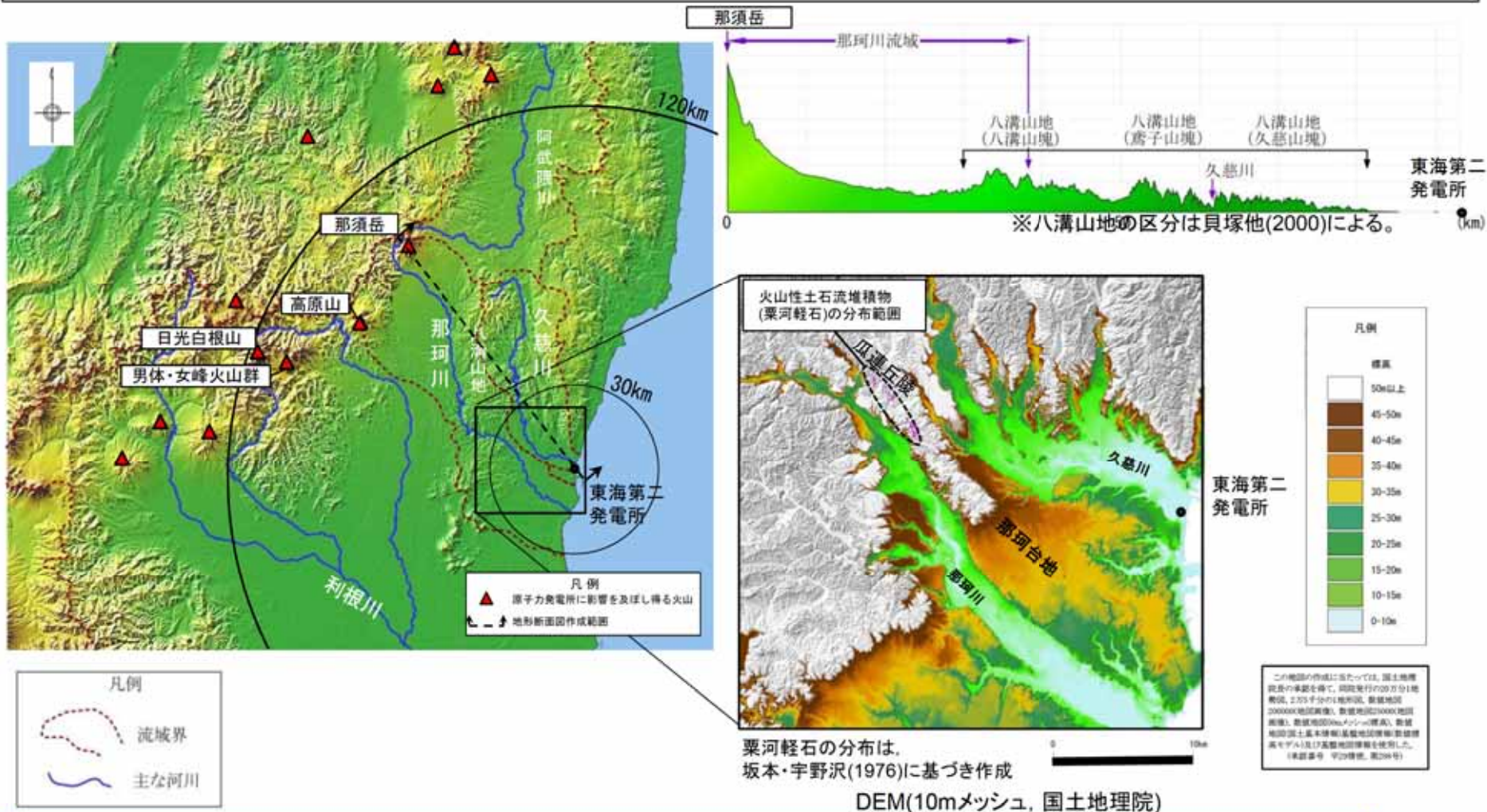
3-1. 火山の影響評価及び対策 (19/20) 影響評価

地理的領域内の火山による火山事象の影響評価 火山性土石流、火山泥流及び洪水



火山性土石流、火山泥流及び洪水について、原子力発電所に影響を及ぼし得る13火山のうち、敷地から120kmの範囲内にある4火山を対象に評価を行った。

- 敷地は久慈川流域に位置し、各火山の山麓の河川の流域には含まれない。
- 久慈川流域と各火山の流域の間には八溝山地が分布し、那珂川と原子力発電所の間には、那珂台地が分布している。
- 文献調査の結果、火山性土石流堆積物(栗河軽石)は西方約20kmの那珂川に沿う瓜連丘陵に一部分布するが、敷地近傍及び久慈川沿いには分布していない。



以上のことから、火山性土石流、火山泥流及び洪水が原子力発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。

【原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出】

- ・敷地を中心とする半径160kmの範囲には32の第四紀火山が位置する。
- ・敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山(32火山)について、完新世の活動の有無、将来の活動可能性の検討を行い、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として、以下の13火山を抽出した。

〔 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, 笹森山, 磐梯山, 沼沢, 子持山, 吾妻山, 榛名山 〕

【抽出された火山の火山活動に関する個別評価】

- ・抽出された火山の敷地からの離隔及び敷地周辺における第四紀の火山活動の特徴の検討結果から、設計対応不可能な火山事象(火砕物密度流, 溶岩流, 岩屑なだれ他, 新しい火口の開口及び地殻変動)が原子力発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。
- ・過去最大規模の噴火を考慮しても原子力発電所に影響を及ぼさないと判断できることから、モニタリングの対象となる火山はない。

【原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出】

- ・原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象のうち、降下火砕物に関する評価の結果、原子力発電所への降下火砕物の影響評価に用いる条件を以下のとおり設定する。

項目	設定値
層厚	50cm
粒径	8mm以下
密度	乾燥状態:0.3g/cm ³ 湿潤状態:1.5g/cm ³

- ・火山性土石流, 火山から発生する飛来物(噴石), 火山ガス及びその他の火山事象のうち、原子力発電所への影響を評価すべき事象はない。

(補足説明資料 3-2. 火山の影響評価(設備影響, 対策))

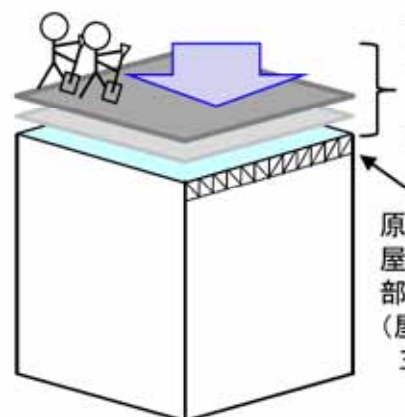
3-2. 火山の影響評価(設備影響, 対策) (1/25)

① 荷重

降下火砕物が建屋屋上や屋外に露出している設備の表面に堆積し、各構造物へ静的負荷を与える場合について評価・検討する。

➤ 原子炉建屋の荷重評価

- ・原子炉建屋に荷重を与える厳しい条件として、屋上への積雪時に降下火砕物が湿潤条件で最大に堆積し、更に除灰作業時の人員等の荷重も上乗せした荷重条件で評価を行った。この評価でも屋根材の各部位が検定比を満足する(1を下回る)ことで、降下火砕物堆積時の原子炉建屋の構造強度、気密性及び遮蔽性を損なわないことを確認している。
- ・また、火山事象終息後に速やか(30日以内)に屋根の除灰を実施し、荷重を低減させる。



- ・降下火砕物堆積量50cm(湿潤条件(密度1.5g/cm³))
- ・積雪堆積量(10.5cm(密度約0.2g/cm³))
- …建築基準法の地震荷重(主荷重)と重畳させる雪荷重(従荷重)の考え方を参考に、設計基準値(30cm)の35%と設定)
- ・屋上除灰作業時の人員等荷重を考慮(積載荷重約100kg/m²)

原子炉建屋 屋根スラブ(曲げモーメント)評価結果 (検定:短期許容応力度)

部位	設計配筋量 (mm ²)		発生曲げモーメント(kN・m)		必要鉄筋量 (mm ²)		検定比	
	端部	中央	端部	中央	端部	中央	端部	中央
EL 64.08m (S1-1)	705.6	705.6	5.17	2.59	323.1	161.6	0.46	0.23
EL 64.08m (S1-2)	705.6	705.6	3.52	1.98	220.2	123.9	0.32	0.18

原子炉建屋 荷重評価イメージ

原子炉建屋 主トラス評価結果(検定:弾性限耐力)

部材	発生応力	応力度 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	検定比
上弦材	(圧縮)	112.7	257.3	0.60
	(曲げ)	40.3	255.4	
下弦材	(引張)	157.6	258.5	0.79
	(曲げ)	44.9	195.9	
斜材	(引張)	207.8	258.5	0.81
束材	(圧縮)	152.0	158.2	0.97

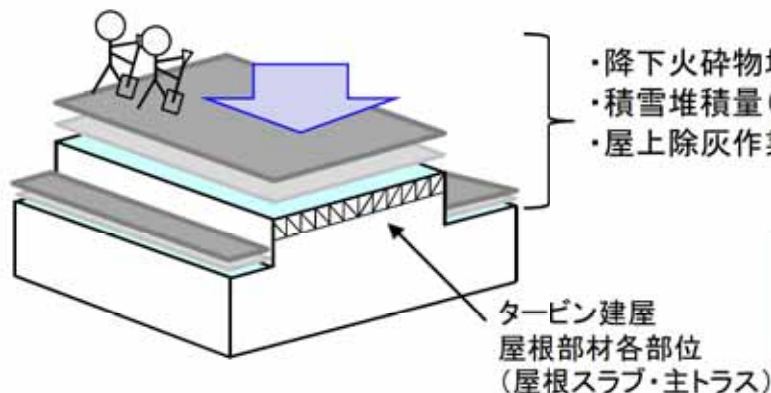
原子炉建屋 屋根スラブ(せん断力)評価結果 (検定:短期許容応力度)

部位	発生せん断力 (kN)	せん断応力度 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	検定比
EL 64.08 (S1-1)	13.67	0.295	1.06	0.28
EL 64.08 (S1-2)	9.21	0.199	1.06	0.19

3-2. 火山の影響評価(設備影響, 対策) (2/25)

タービン建屋の荷重評価

- タービン建屋に荷重を与える厳しい条件として、**屋上への積雪時に降下火砕物が湿潤条件で最大に堆積し、更に除灰作業時の人員等の荷重も上乗せした荷重条件で評価を行った。**この評価でも屋根材の各部位が検定比を満足する(1を下回る)ことで、**降下火砕物堆積時に対しタービン建屋が構造強度を有することを確認している。**
- また、火山事象終息後に速やか(30日以内)に屋根の除灰を実施し、荷重を低減させる。



- 降下火砕物堆積量50cm(湿潤条件(密度1.5g/cm³))
- 積雪堆積量(10.5cm(密度約0.2g/cm³))
- 屋上除灰作業時の人員等荷重を考慮(積載荷重約100kg/m²)

タービン建屋 屋根スラブ(曲げモーメント)評価結果 (検定:短期許容応力度)

部位	設計配筋量 (mm ²)		発生曲げモーメント(kN・m)		必要鉄筋量 (mm ²)		検定比	
	端部	中央	端部	中央	端部	中央	端部	中央
EL 40.65m	635.0	635.0	7.36	4.14	460.0	258.7	0.73	0.41

タービン建屋 荷重評価イメージ

タービン建屋 主トラス評価結果 (検定:弾性限耐力)

部材	発生応力	応力度 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	検定比
上弦材	(圧縮)	179.9	250.0	0.96
	(曲げ)	59.9	258.0	
下弦材	(圧縮)	55.2	152.0	1.04※1
	(曲げ)	162.1	241.0	
斜材	(引張)	201.7	258.0	0.79
束材	(圧縮)	184.7	212.0	0.88

※1 検定値を超過した下弦材は、終局耐力に対して評価

タービン建屋 屋根スラブ(せん断力)評価結果 (検定:短期許容応力度)

部位	発生せん断力 (kN)	せん断応力度 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	検定比
EL 40.65m	17.69	0.381	1.06	0.36

タービン建屋 主トラス評価結果 (検定:終局耐力)

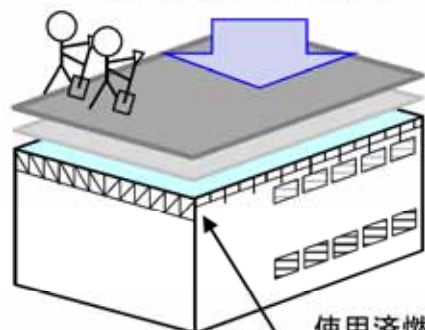
部材	発生応力	応力度 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	検定比
下弦材	(圧縮)	55.2	177.3	0.94
	(曲げ)	162.1	258.5	

3-2. 火山の影響評価(設備影響, 対策) (3/25)

➤ 使用済燃料乾式貯蔵建屋の荷重評価

・使用済燃料乾式貯蔵建屋に荷重を与える厳しい条件として、**屋上への積雪時に降下火砕物が湿潤条件で最大に堆積し、更に除灰作業時の人員等の荷重も上乘せた荷重条件で評価を行った。**この評価でも屋根材の各部位が検定比を満足する(1を下回る)ことで、**降下火砕物堆積時に対し使用済燃料乾式貯蔵建屋が構造強度を有することを確認している。**

・また、火山事象終息後に速やか(30日以内)に屋根の除灰を実施し、荷重を低減させる。



- ・降下火砕物堆積量50cm(湿潤条件(密度1.5g/cm³))
- ・積雪堆積量(10.5cm(密度約0.2g/cm³))
- ・屋上除灰作業時の人員等荷重を考慮(積載荷重約100kg/m²)

使用済燃料乾式貯蔵建屋
屋根部材各部位
(屋根スラブ・主トラス・サブトラス)

使用済燃料乾式貯蔵建屋 荷重評価イメージ

使用済燃料乾式貯蔵建屋 屋根スラブ(曲げモーメント, せん断力)
評価結果 (検定:短期許容応力度)

部位	発生曲げモーメント(kN・m)	鉄筋応力度(N/mm ²)	許容値(N/mm ²)	検定比
EL 29.20m	10.4	28.2	345	0.09

部位	発生せん断力(kN)	せん断応力度(N/mm ²)	許容値(N/mm ²)	検定比
EL 29.20m	25.7	0.0799	1.08	0.08

使用済燃料乾式貯蔵建屋 主トラス評価結果
(検定:短期許容応力度)

部材	発生応力	応力度(N/mm ²)	許容値(N/mm ²)	検定比
上弦材	(圧縮)	1.6	219	0.24
	(曲げ)	53.4		
下弦材	(圧縮)	96.7	235	0.54
	(曲げ)	28.6		
斜材	(引張)	95.3	235	0.41
垂直材	(圧縮)	90.2	227	0.40

使用済燃料乾式貯蔵建屋 サブトラス評価結果
(検定:短期許容応力度)

部材	発生応力	応力度(N/mm ²)	許容値(N/mm ²)	検定比
上弦材	(引張)	2.2	235	0.12
	(曲げ)	24.5		
下弦材	(圧縮)	62.8	93	0.78
	(曲げ)	23.6		
斜材	(圧縮)	89.2	98	0.92
垂直材	(圧縮)	56.5	180	0.32

➤ その他の屋外設備の荷重評価

・屋外に設置され、降下火砕物が堆積する可能性がある各設備について、降下火砕物が湿潤条件で最大に堆積し、更に積雪が重畳して堆積した荷重条件で評価を行い、各部位の応力が許容値を満足することで**各設備が機能維持できることを確認**している。

・非常用海水ポンプ及び海水ストレーナ

・降下火砕物等の堆積荷重により発生する応力は、**各海水ポンプ電動機フレーム及び各海水ストレーナの許容応力値以下であり、モータを含む海水ポンプ及び海水ストレーナの機能に影響を及ぼすことはない。**

・換気空調設備(外気取入口)

・中央制御室換気系冷凍機は、**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、堆積荷重により機能に影響を及ぼすことはない。**

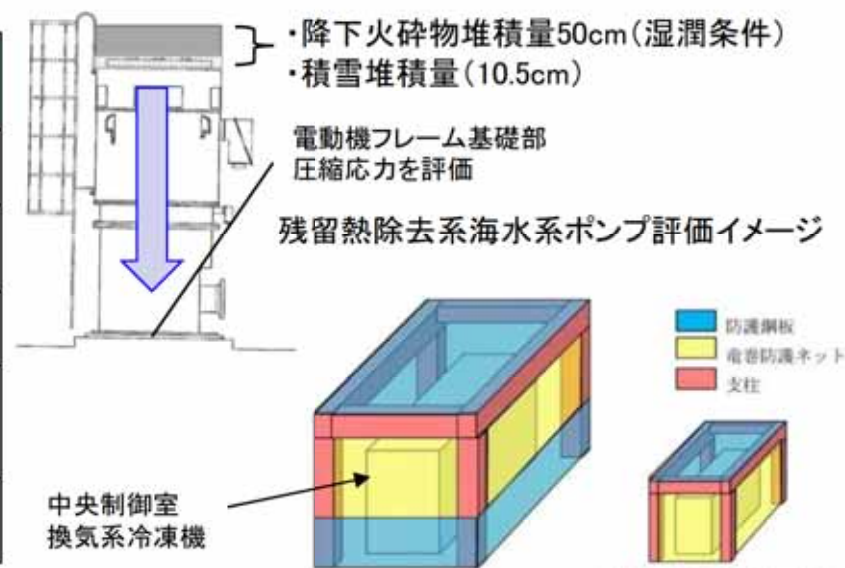
・非常用ディーゼル発電機等

・降下火砕物の堆積荷重により発生する応力は、**非常用ディーゼル発電機等の吸気口の許容応力値以下であり、吸気口の健全性に影響を及ぼすことはない。**

部材	応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	判定
残留熱除去系海水系ポンプ	(圧縮)2.31	229	○
非常用ディーゼル発電機*1用海水ポンプ	(圧縮)0.61	240	○
残留熱除去系海水ストレーナ	(圧縮)2.74	184	○
非常用ディーゼル発電機*1用海水ストレーナ	(圧縮)1.75	184	○
非常用ディーゼル発電機*1用吸気口	(圧縮)0.65 (組合せ*2)5	228 241	○

*1 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む

*2 最も許容値に対して余裕の割合が小さい項目



中央制御室換気系冷凍機

中央制御室換気系冷凍機の防護構造物イメージ

または、側面を全面ネット化

②閉塞

降下火砕物が大気中に浮遊, 屋外施設に堆積又は海水中に沈降していき, 外気を取り込む換気系, 上方向に開口部を有する設備, 海水を取水する海水循環系等への閉塞作用を与える場合について評価・検討する。

➤ 非常用ディーゼル発電機室の閉塞対策

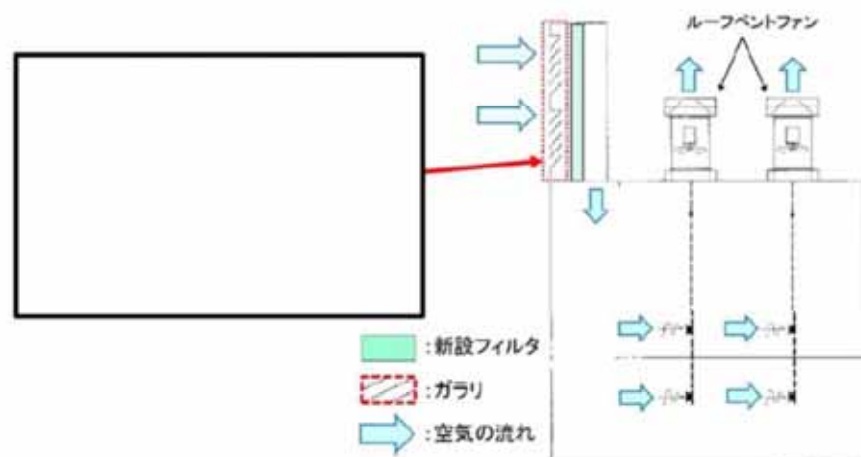
・室内への降下火砕物侵入防止対策として, 非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)室換気系の外気取入口にフィルタを追設し, 必要に応じて清掃及び取替え可能な設計とする。

➤ 中央制御室換気系

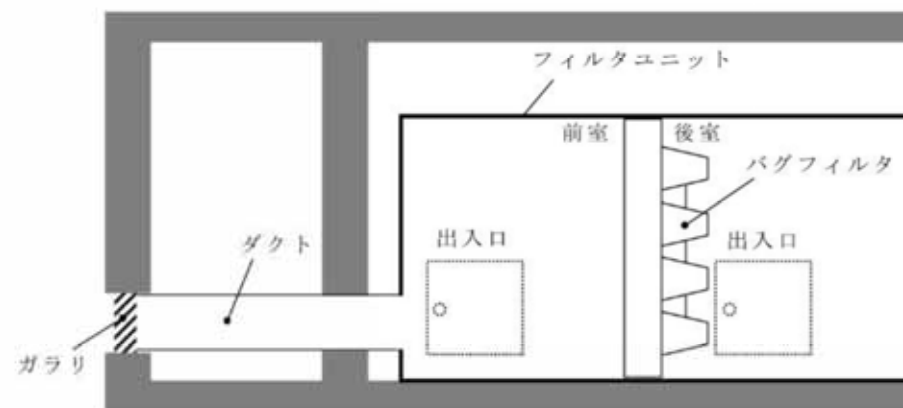
・外気取入口にはガラリが取り付けられており, 降下火砕物が侵入しにくい構造となっている。また, バグフィルタ(JIS Z 8901 試験用粉体11種に対して80%以上の捕集効率)が設置されており, 想定する降下火砕物は十分除去され, 系統及び機器に対して降下火砕物を与える影響は小さい。外気取入口は, 地上面又は直下にある平面部から50cm以上の高さを確保していることから, 堆積によって外気取入口が閉塞に至ることはない。

➤ その他の換気空調設備(外気取入口)

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可能な設計とする。(次頁取替手順)



高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系



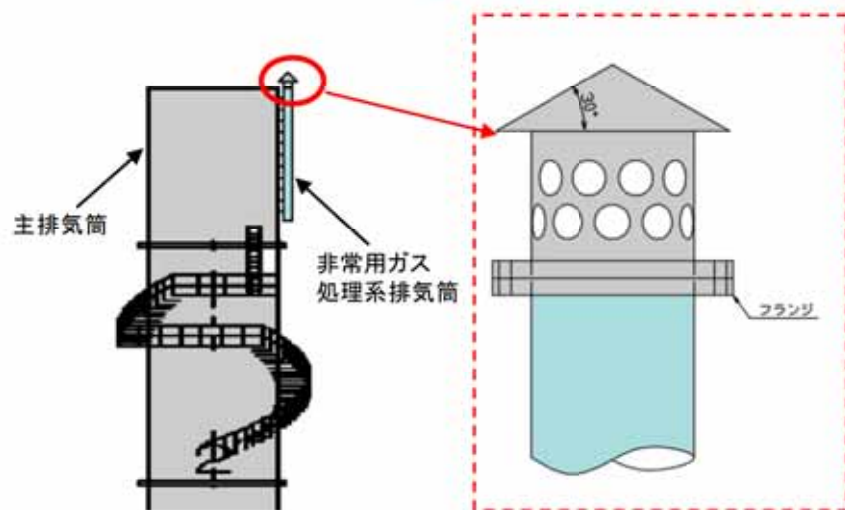
換気空調設備(外気取入口)概要図

▶非常用ガス処理系排気筒

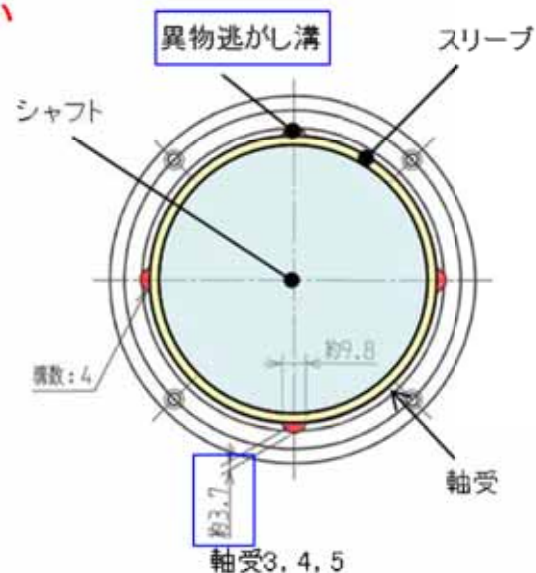
- ・開口部が上方向を向いている非常用ガス処理系排気筒に対しては、**降下火砕物が堆積し難い形状の侵入防止対策を施すことで、降下火砕物の影響に対して機能を損なわない設計とする。**

▶非常用海水ポンプ

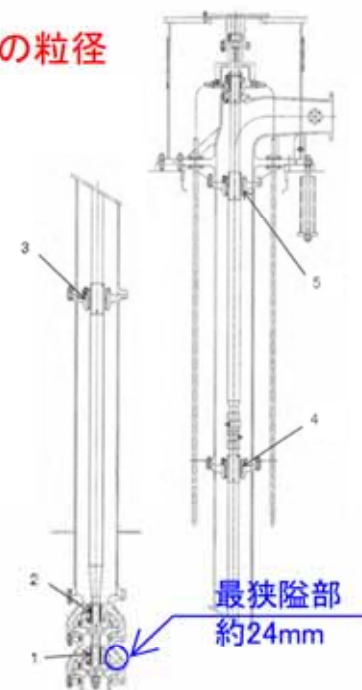
- ・**海水ポンプ流水部**：ポンプ流水部の最も狭い箇所は、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ流水部の**約24mm**であり、想定する降下火砕物の粒径(8mm)より大きいため、閉塞には至らない。
- ・**海水ポンプ軸受**：ポンプ軸受の隙間は、約1.0mmの許容値で管理されている。一部の降下火砕物は、軸受の隙間より軸受内部に侵入する可能性があるが、**異物逃がし溝(最小約3.7mm)**が設けられており、**軸受部の閉塞には至らない**。また、異物逃がし溝より粒径の大きい降下火砕物は軸受隙間に入り込まずに**ポンプ揚水とともに吐出口へ流されるため閉塞することはない**。
- ・**海水ポンプモータ**：外気を直接電動機に取り入れない。**モータの冷却回路は降下火砕物の粒径より大きく、機能に影響しない**



非常用ガス処理系排気筒への侵入防止対策



残留熱除去系海水系ポンプ軸受部
外部事象-113



非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ断面図

➤ 海水ストレーナ及び下流側機器

・残留熱除去系海水系ストレーナ及び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を含む。)用海水ストレーナ及び下流側機器の伝熱管等について、各設備の海水系流路の内径を確認。閉塞防止対策として、各海水ストレーナのメッシュ径及び下流設備である熱交換器細管等の狭隘部を8mm以上確保する仕様に変更することで、降下火砕物の最大粒径(8mm)に対し閉塞しない設計とする。

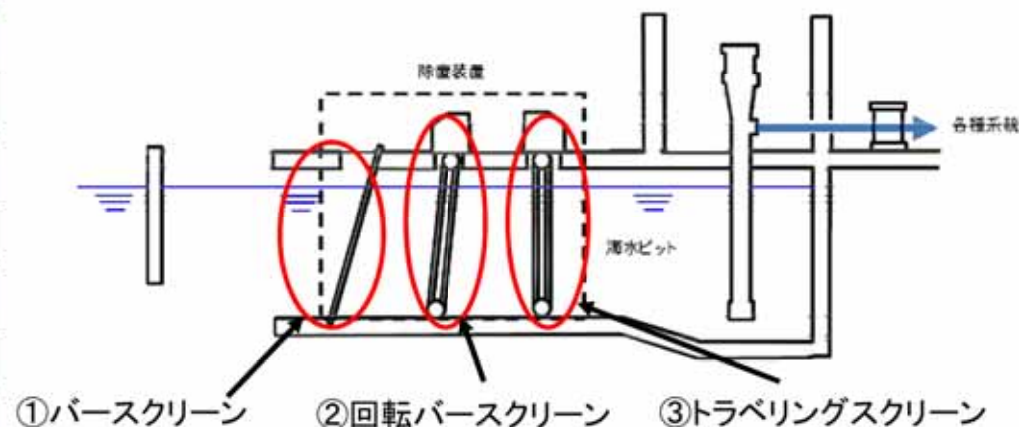
➤ 海水取水設備(除塵装置)

・非常用海水ポンプの取水口前面のバースクリーン、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)のスクリーンには、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(最大8mm)は十分小さいこと及び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。

海水ストレーナより下流の機器の伝熱管

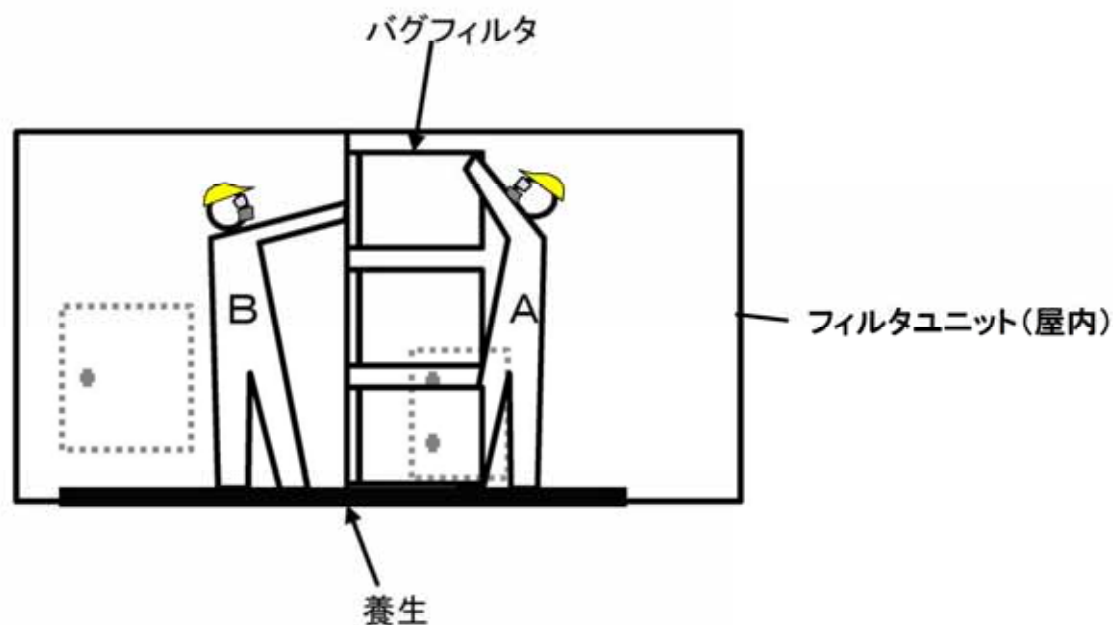
機 器		伝熱管内径 (狭隘部)
非常用ディーゼル 発電機(高圧炉心 スプレイ系ディー ゼル発電機を含む。) 用冷却器	空気冷却器	取替(8mm以上)
	潤滑油冷却器	13.6mm
	清水冷却器	13.6mm
	燃料弁冷却油冷却器	13.6mm
残留熱除去系熱交換器		20.4mm
RCIC, RHR, LPCS, HPCSポンプ室空調器		13.5mm
格納容器雰囲気モニタリング系冷却器		取替(8mm以上)

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



➤ 換気空調設備(外気取入口)バグフィルタの取り替え手順

- ・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。**バグフィルタの取替作業は外気の吸込みを停止し、かつ建屋(ガラリ)内で行うため、降灰中でも通常時の取替作業と作業性(作業環境)に大きな差はないと考えられる。**
- ・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、バグフィルタの取り替えを行う場合、以下の対応を行う。
 - a. 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**
 - b. 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実施



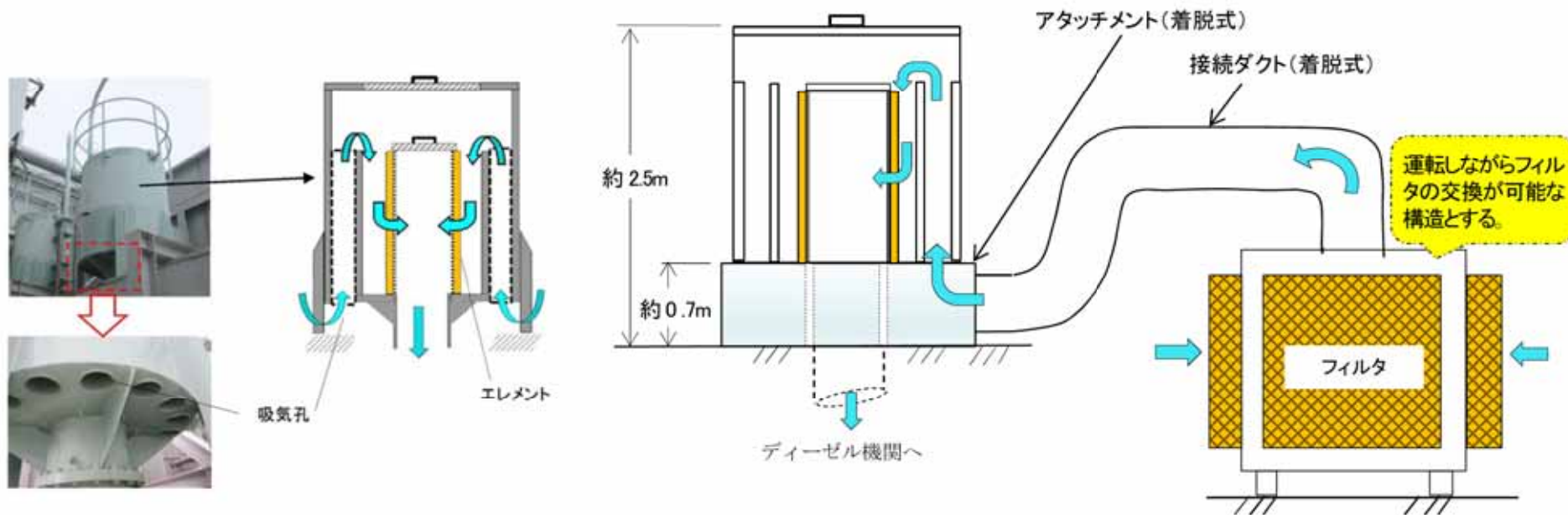
バグフィルタ取替作業イメージ

3-2. 火山の影響評価(設備影響, 対策) (9/25)

➤ 火山影響発生時の非常用ディーゼル発電機の機能を維持するための対策

(実用発電用原子炉の設置, 運転等に関する規則の一部改正(平成29年12月14日)への対応)

- ・降下火砕物の気中濃度を評価し, 気中降下火砕物濃度を $3.5\text{g}/\text{m}^3$ と定めた上で, 既設のエレメントの閉塞によって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を含む。)が停止することを防止するため, **非常用ディーゼル発電機が運転中においても交換可能な着脱式フィルタを設置(詳細は後述)**



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を含む。)吸気フィルタ(既設)へ着脱式フィルタを取付け

非常用ディーゼル発電機吸気口(既設)

着脱式改良型フィルタ設置イメージ

③摩耗

降下火砕物が海水中に沈降し、海水循環系に取り込まれ場合に、**海水流路中で降下火砕物が管路との摩擦による機械的摩耗作用**を与える場合について評価・検討する。

➤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、狭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

・非常用海水ポンプ

降下火砕物は、砂等と比べて**破碎し易く※1**、**硬度が小さい※2**。残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)について、**これまで砂等を原因とした摩耗の影響で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混入した海水取水によって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

・海水ストレーナ及び下流側機器

非常用海水ポンプと同じ。

・海水取水設備(除塵装置)

非常用海水ポンプと同じ。

④腐食

降下火砕物が建屋屋上や屋外設備に堆積した場合や、海水循環系中に取り込まれた場合に、降下火砕物に付着又は溶出した腐食性成分が各構造物や設備等の表面へ化学的腐食作用を与える場合を評価・検討する。

➤建屋・構築物, 屋外機器等について, 降下火砕物の付着や溶出した成分による腐食により, 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

・原子炉建屋, タービン建屋等

各建屋は, 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。

・非常用海水ポンプ及び電動機

外面(屋外設置)

残留熱除去系海水系ポンプ, 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ(電動機)等は, 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。

内面(海水取水)

残留熱除去系海水系ポンプ, 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ等の接液部は, 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。

・海水ストレーナ及び下流側機器

残留熱除去系海水系ストレーナ及び非常用ディーゼル発電機等用海水ストレーナは, 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。また下流側の機器(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。

・海水取水設備(除塵装置)

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, 各施設・設備の降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については, 火山事象終息後に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。

<参考> 屋外設備に使用する塗装や海水系配管の内面処理について

- ・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, 残留熱除去系海水系ポンプ, 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を含む。)用海水ポンプ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。**

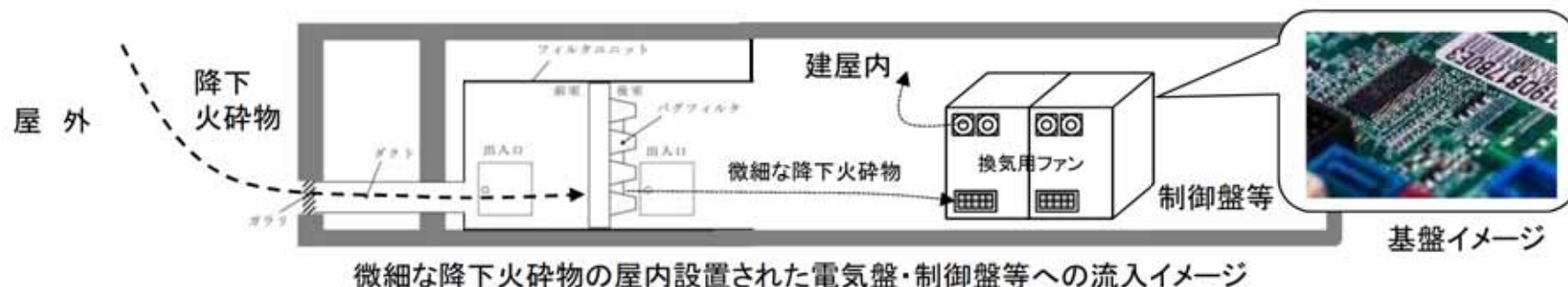
これらより, **降下火砕物の屋外設備への付着や堆積及び海水系等への混入により, 直ちに金属表面の腐食が進むことはない。**

なお, これらの塗装やライニング等は, 定期的に表面の状態の点検を行い, 必要に応じて補修を行っている。
(点検間隔: 1年~10年(設備毎に定める))

※ 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。

⑤絶縁低下影響評価

微細な降下火砕物が、建屋の換気系等から屋内に流入し、屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する設備(電気盤・制御盤等)に取り込まれ、**内部の基盤・回路に絶縁低下作用**を与える場合について評価・検討する。



➤ 各盤のうち、回路の発熱量が多く盤内にファンを有する計測制御設備(安全保護系)への影響がないことを評価

・計測制御設備(安全保護系)

- ・計測制御設備(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、外気取入ダンパを閉止し閉回路循環運転が可能であること**などから、**絶縁低下により計測制御設備(安全保護系)の機能に影響を及ぼすことはない。**
- ・万一、**降下火砕物が設備内に侵入したとしても、以下の観点で電気回路等に影響することはない。**

＜微細な降下火砕物侵入による電気回路等への影響の考察＞

- ・計測制御設備(安全保護系)の設置エリアは、中央制御室換気空調系で空調管理され、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、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。**
- ・微細な粒子が計測制御設備(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、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は、端子間の距離が**数mm程度あり、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。**

⑥大気汚染

降下火砕物により発電所周辺の大気が汚染された場合に、**運転員が常時滞在する必要がある中央制御室の居住性に悪影響**を与える場合について評価・検討する。

➤ 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。

- ・中央制御室換気空調系は、**外気取入ダンパ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ため、発電所周辺の大気汚染による短期的な影響はない。**

<中央制御室 閉回路循環運転実施の許容時間>

- ・酸素濃度に対して約73時間
- ・二酸化炭素濃度に対して約51時間

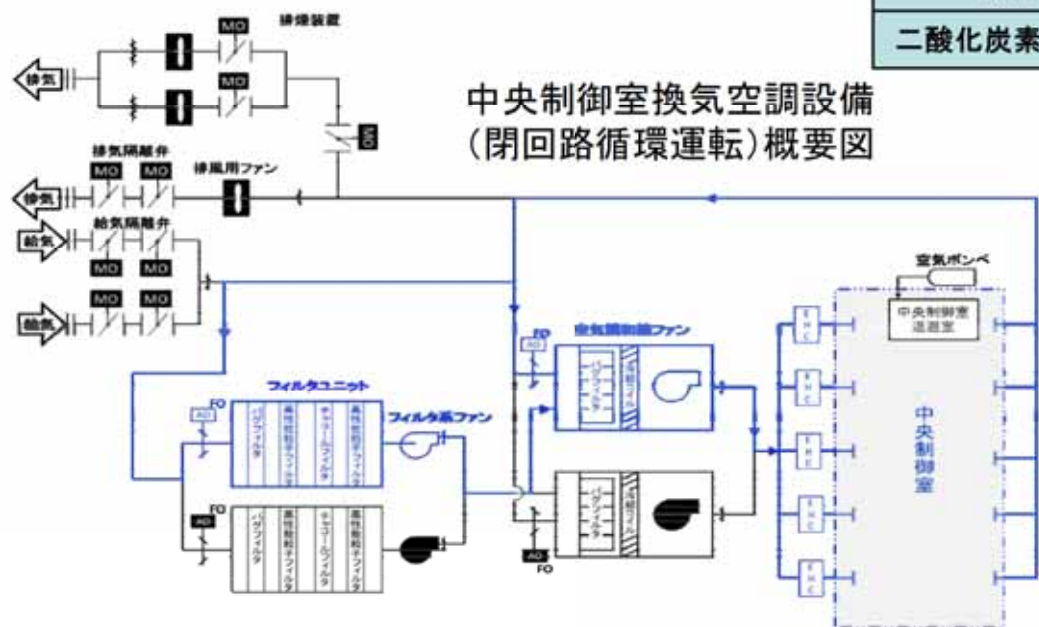
これらより閉回路循環運転は2日間以上可能

中央制御室閉回路循環運転における酸素濃度評価結果

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%

中央制御室閉回路循環運転における二酸化炭素濃度評価結果

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%



- EHC 電気加熱コイル
- MO 電動駆動弁・閉
- MO 電動駆動弁・開
- MO 空気作動弁・閉
- MO 空気作動弁・開
- ダンパ
- ファン・運転
- ファン・停止
- 換気口
- 空気の流れ

<評価条件>

- ・在室人員は運転員定数に保守性を加え11人
- ・中央制御室パウンダリ内体積: 2,700m³
- ・空気流入はない扱い
- ・初期酸素濃度: 20.95%, 初期二酸化炭素濃度: 0.03%
- ・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
- ・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、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0.046m³/h
- ・酸素濃度管理濃度は19%以上、二酸化炭素管理濃度は1.0%未満 (鉱山保安法施行規則)

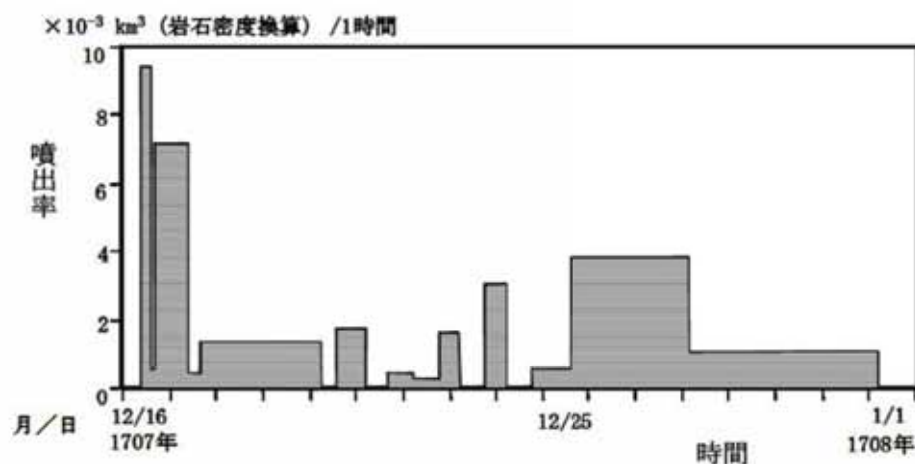
3-2. 火山の影響評価(設備影響, 対策) (15/25)

<参考> 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**したとされている。
- ・一方で、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**に留まっている。
- ・火山観測データに基づく記録より、**2日間以上の閉回路循環運転の能力を有していれば、火山噴火の継続に対しても概ね対応できると考えられる。**

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



富士山(宝永噴火1707年)の噴出率の推移(宮地 他(2002))

⑦間接的影響

火山事象時に発電所に及ぼす間接的な影響として、湿った降下火砕物が送電線の碍子、開閉所等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な送電網損傷に伴う外部電源の喪失や、降下火砕物の道路堆積による交通途絶に伴う発電所外のアクセス性の低下を与える場合について評価・検討する。

➤ 外部電源の喪失及び発電所外のアクセス性低下への対応

- ・ 降下火砕物による発電所への間接的影響として、広範囲にわたる送電網の損傷による外部電源の喪失及び発電所外の交通の途絶によるアクセス性への制限を想定



- ・ 外部電源の喪失に対しては、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を含む。)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、外部電源喪失及び外部との交通の途絶に対しても、燃料の外部からの補給を要さず、原子炉及び使用済燃料プールの燃料の冷却に係る機能を担うために必要となる電源供給が7日間に渡り継続できる。

* この対応に当たっては、屋外におけるポンプ車等による給水作業及び電源車による電源供給作業等は要さず、降下火砕物から保護された建屋内の設備のみを用いて対応が可能



- ・ この間に、発電所内のアクセスルートの復旧に加えて、外部からの復旧・支援による外部電源復旧又は外部からの燃料補給等を行うことで、7日以降も電源供給を継続することで、原子炉及び使用済燃料プールの燃料の冷却機能を維持可能

(2) 火山影響発生時の非常用ディーゼル発電機の機能を維持するための対策

(実用発電用原子炉の設置, 運転等に関する規則の一部改正(平成29年12月14日)への対応)

● 気中降下火砕物濃度の算定

・「原子力発電所の火山影響評価ガイド」に基づき, 気中降下火砕物濃度を算定

「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」*で評価

* : 設計層厚50cmが, 24時間で堆積すると仮定した場合の気中濃度を算出

⇒ 気中降下火砕物濃度を3.5g/m³と算出

● 気中降下火砕物に対する設備及び運用による対応

・気中降下火砕物濃度(3.5g/m³)の環境下にて, 非常用ディーゼル発電機*¹が機能維持できるよう, 吸気が必要で, かつ継続的な運転が求められる設備*²として抽出された各ディーゼル発電機の吸気フィルタに運転継続しながら取替可能となる着脱式のフィルタを設置

*¹ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。

*² 換気空調系は, 一時的な停止及び清掃が可能

・今後, 上記フィルタの具体的な運用方法(体制, 要員, 取替基準, 取替手順等)を策定

・上記に加え, 今後, 更なる対策として以下の手段を策定し, 要員体制の確立, 資機材の整備, 訓練等を実施

・(降灰時)代替電源設備その他の炉心を冷却するために必要な設備の機能の維持

・(降灰時)交流電源を必要としない原子炉隔離時冷却系ポンプ等を用いた炉心冷却手段の確保

気中降下火砕物濃度の算出方法 (1/2)

●「原子力発電所の火山影響評価ガイド」に基づく気中降下火砕物濃度の算出方法

- ① 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)
- ② 粒径*i*の堆積速度 $\nu_i = W_i/t = p_i W_T/t$
(t : 降灰継続時間)
- ③ 粒径*i*の気中濃度 $C_i = \nu_i/r_i = p_i W_T/(r_i t)$
(r_i : 粒径*i*の降下火砕物の終端速度)
- ④ 気中降下火砕物濃度 $C_T = \sum_i C_i = \sum_i (p_i W_T/(r_i t))$

表1 濃度算出条件

入力条件/計算結果	値	備考
設計層厚	50 cm	東海第二発電所に対して策定した設計層厚
総降灰量 W_T	$4.0 \times 10^5 \text{ g/m}^2$	設計層厚(50cm) × 降下火砕物密度(0.8 g/cm^3)
降灰継続時間 t	24 h	Carey and Sigurdsson(1989)参考
粒径 i の割合 p_i	表2参照	Tephra2による粒径分布の計算値
粒径 i の降灰量 W_i		式①
粒径 <i>i</i> の堆積速度 ν_i		式②
粒径 i の終端速度 r_i		Suzuki(1983)参考
粒径 i の気中濃度 C_i		式③

気中降下火砕物濃度の算出方法 (2/2)

- 「原子力発電所の火山影響評価ガイド」に基づく気中降下火砕物濃度の算出方法(続き)

気中降下火砕物濃度 C_T は, 下表のとおり 3.5g/m^3

表2 濃度算出結果

粒径 ϕ (μm)	~-1	-1~0 (1414)	0~1 (707)	1~2 (354)	2~3 (177)	3~4 (88)	4~	合計
割合 p_i (wt%)	(\doteq 0)	1.9	69	22	6.2	0.43	(\doteq 0)	100※
降灰量 W_i (g/m^2)	—	7.60×10^3	2.76×10^5	8.80×10^4	2.48×10^4	1.72×10^3	—	4.0×10^5 ※ ($=W_T$)
堆積速度 ν_i ($\text{g/s}\cdot\text{m}^2$)	—	0.088	3.2	1.02	0.29	0.020	—	—
終端速度 r_i (m/s)	—	2.5	1.8	1.0	0.5	0.35	—	—
気中濃度 C_i (g/m^3)	—	0.04	1.78	1.02	0.58	0.06	—	<u>3.5(=C_T)</u>

※: 端数処理の都合上, 左欄の合計と一致しないことがある。

3-2. 火山の影響評価(設備影響, 対策) (20/25)



気中降下火砕物に対する対応(1/6)

● 実用発電用原子炉の設置, 運転等に関する規則の一部改正(平成29年12月14日)への対応

➢ 高い気中降下火砕物濃度を想定する場合の対応の要否を検討した結果, **ディーゼル発電機吸気フィルタへの追加対策が必要と判断した。**

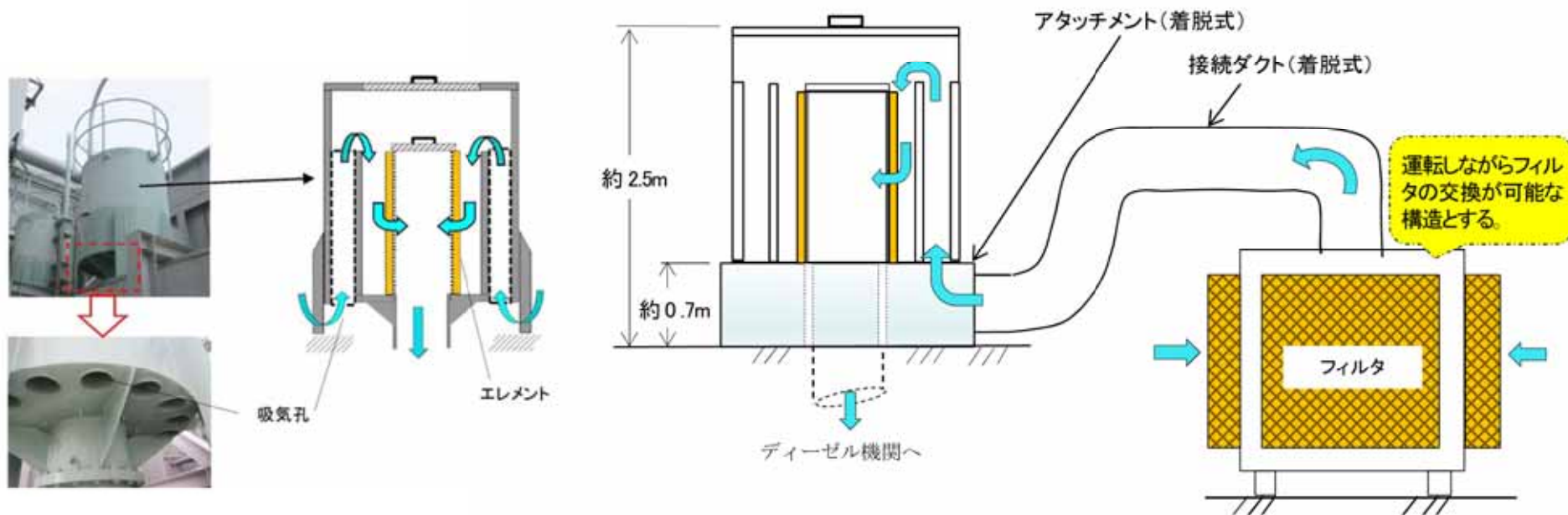
効果火砕物による影響要因	高い気中濃度による新たな影響	新たな対応
構造物への静的負荷	なし(火砕物の総量に依存)	—(対策は濃度に依存しない)
水循環系の閉塞	なし(火砕物の総量, 粒径に依存)	同上
水循環系の内部における摩耗	なし(短期的な影響は軽微)	同上
換気系, 電気系及び計測制御系に対する機械的影響	あり(外気取入部の清掃間隔短縮)	<ul style="list-style-type: none"> ・D/G: 吸気フィルタの容量増強(サポート系として継続運転が必要) ・中央制御室空調: 不要(隔離しての清掃可能)
換気系, 電気系及び計測制御系に対する化学的影響	なし(短期的な影響は軽微)	—(対策は濃度に依存しない)
発電所周辺の大気汚染	なし(中央制御室の居住性と直接関連がない)	同上
化学的腐食	なし(短期的な影響は軽微)	同上
絶縁低下	なし(安全保護系の設備は、中央制御室空調(への対応)にて防護可能)	同上

気中降下火砕物に対する対応(2/6)

● 実用発電用原子炉の設置, 運転等に関する規則の一部改正(平成29年12月14日)への対応

➢ 気中降下火砕物濃度を $3.5\text{g}/\text{m}^3$ と定めた上で, 以下の対策を実施する

- ・ 既設エレメント閉塞によって非常用ディーゼル発電機(高压炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)を停止することを防止するため, **非常用ディーゼル発電機が運転中においても交換可能な着脱式フィルタを設置**



非常用ディーゼル発電機(高压炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)吸気フィルタ(既設)へ着脱式フィルタを取付け

非常用ディーゼル発電機吸気口(既設)

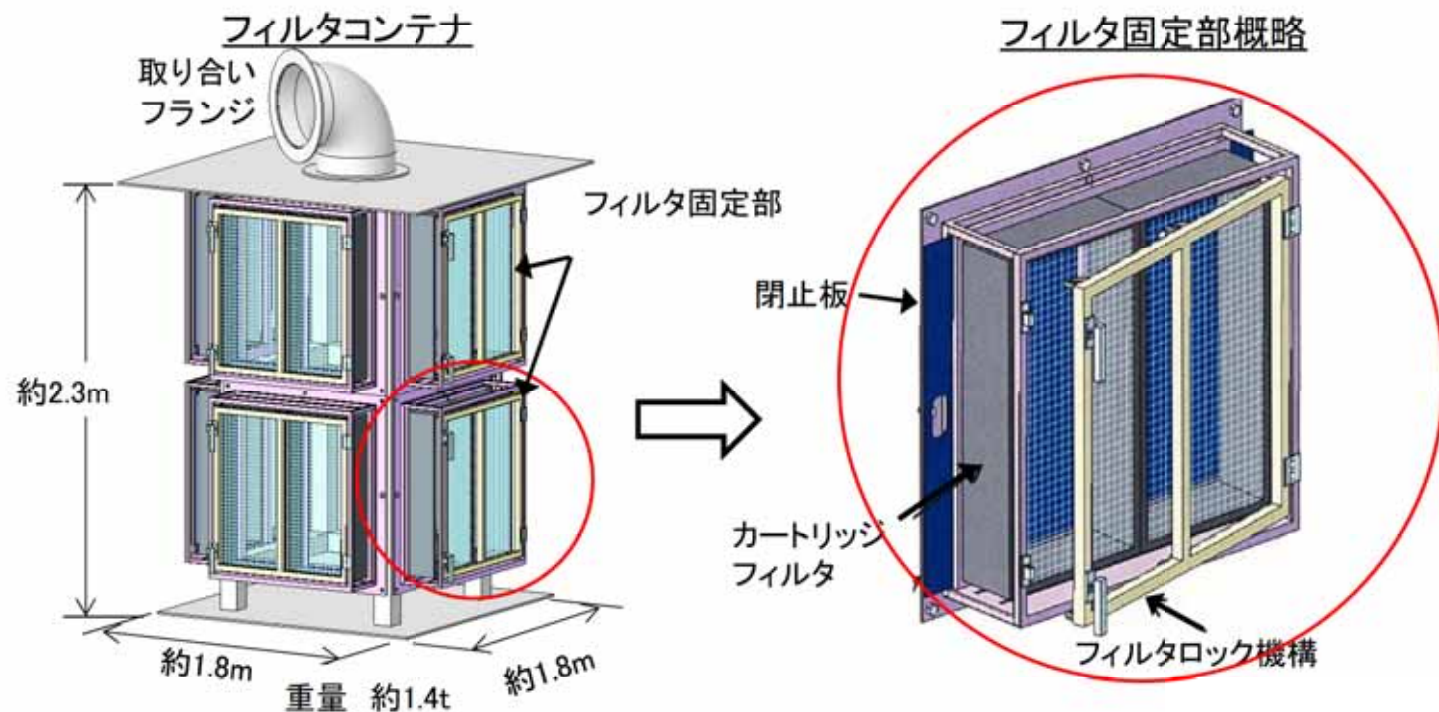
着脱式改良型フィルタ設置イメージ

気中降下火砕物に対する対応(3/6)

➤ 着脱式改良型フィルタの仕様(案)(非常用ディーゼル発電機1台当り)

- ・フィルタコンテナ台数 : 2台
- ・カートリッジフィルタ个数 : 16個(フィルタコンテナ1台当たり)
- ・カートリッジフィルタ外形寸法 : 800mm × 400mm × 150mm(有効面積: 0.27m²以上)
- ・降下火砕物捕集容量 : 40,000g/m²

* フィルタ面積はフィルタ取替作業時の閉止板1枚分の余裕を考慮し、運転中の取替でも給気流量の不足が生じない設計

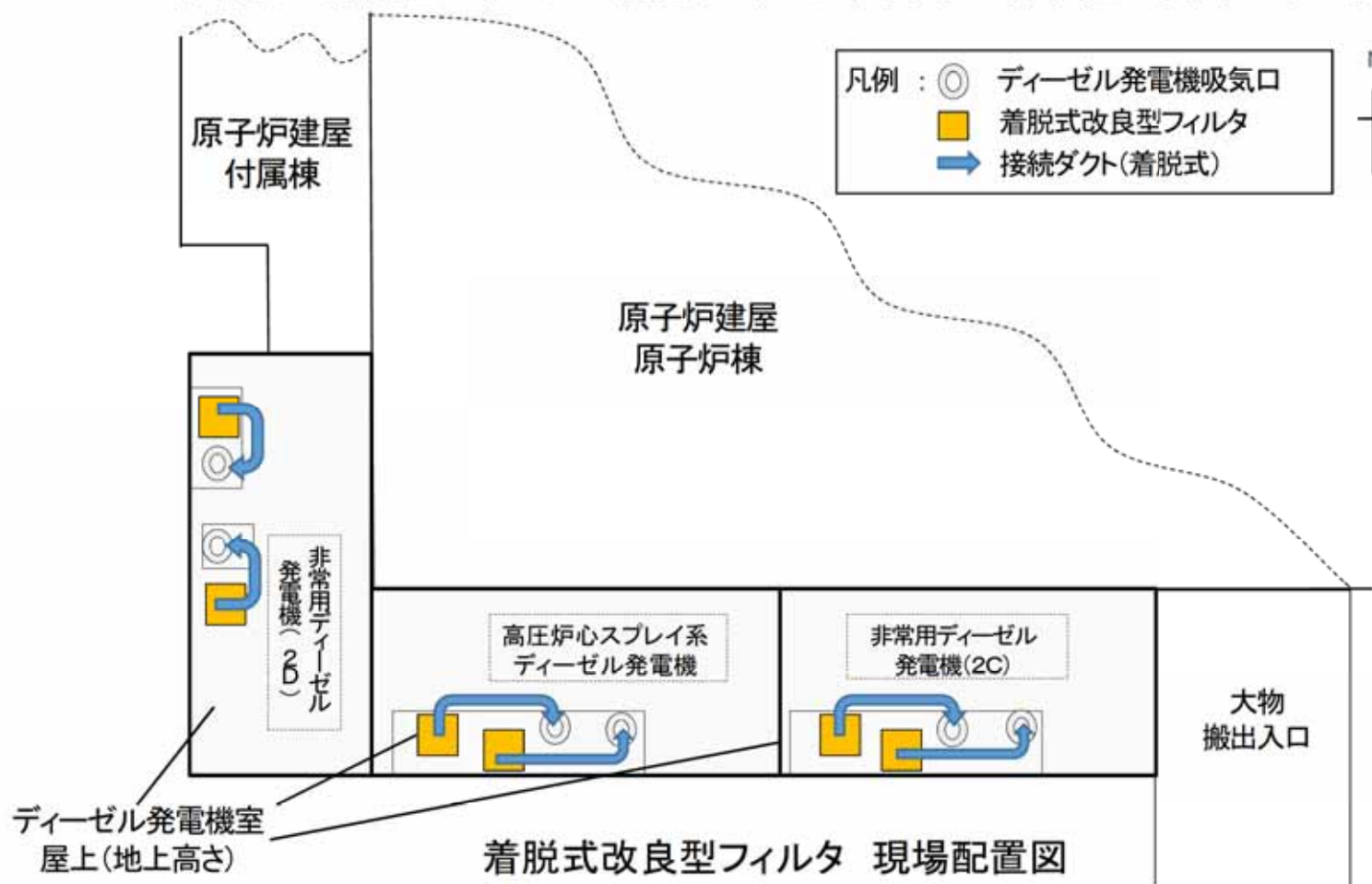


着脱式改良型フィルタ概略構造図

気中降下火砕物に対する対応(4/6)

➤着脱式改良型フィルタの現場配置図

- ・非常用ディーゼル発電機は原子炉建屋付属棟地下階のディーゼル発電機室に設置されており、ディーゼル発電機吸気口はディーゼル発電機室の屋上(ほぼ地上高さ)に設置されている。
- ・このため、着脱式改良型フィルタの設置、フィルタ取替等の作業性に支障はない。



着脱式改良型フィルタ 現場配置図

気中降下火砕物に対する対応(5/6)

➤着脱式改良型フィルタの取替手順

- ・降灰継続中の取替作業を想定し、フィルタの取り外し・取り付け作業中に閉止板を用いることで降下火砕物が吸気口に侵入しない構造と手順にしている。

操作手順 No.	作業内容	フィルタ固定部 概略図	
		上面図	鳥瞰図
①	カートリッジフィルタをフィルタコンテナへ挿入 (降下火砕物降下前の待機状態)		
降下火砕物降下開始 → フィルタ圧損上昇			
②	閉止板を挿入し、カートリッジフィルタを交換する箇所から降下火砕物が侵入しないように開口を隔離		
③	清掃後のカートリッジフィルタを挿入		
④	フィルタ固定機構を操作し、カートリッジフィルタを固定		
⑤	閉止板を取外して、フィルタを有効にする		
フィルター圧損上昇 → 手順No.1に戻る			

着脱式改良型フィルタ 取替手順

気中降下火砕物に対する対応(6/6)

➤フィルタ交換作業(高濃度降下火砕物環境下)における装備

- ・高濃度の降下火砕物環境下での作業時は、**作業着を着用の上、ヘルメット、ゴーグル、マスク及び手袋を着用**する。また、作業性向上の観点で、昼夜を問わず**ヘッドライトを着用**する。さらに、降灰の状況により必要に応じて**雨合羽を着用**する。

これらの設備は特別なものではなく、適宜交換が可能である。



高濃度の降下火砕物環境下における作業時の装備(イメージ)

(補足説明資料 4. 森林火災の影響評価及び対策)

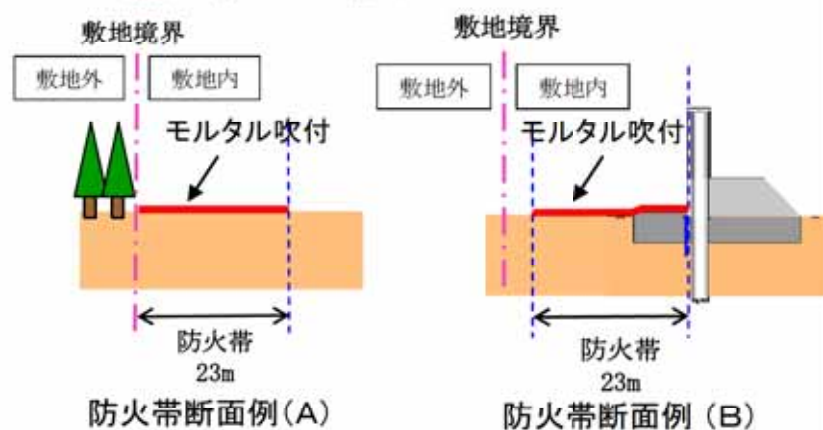
4. 森林火災の影響評価及び対策(1/10)

(1) 防火帯の設定

●防火帯の概要

森林火災の原子炉施設への延焼防止対策として、発電所施設を取り囲むように、**発電所敷地内に約23m幅の防火帯を設定**

- 防火帯は、樹木を伐採する等、可燃物を排除して表面にモルタル吹付け等を施した**不燃の構造**
- 防潮堤は不燃構造であることから、**防潮堤のエリアも防火帯として活用**



●防火帯の運用管理

- 防火帯は**表示板等で識別**する。構内道路の一部を防火帯として使用する箇所は、**駐車禁止の措置等により可燃物がない状態を維持**する。
- 防火帯内には延焼防止効果に影響を与えるような**可燃物を含む機器等は設置しない**。
- 防火帯の状況を**巡視点検で定期的に確認**する。

図 防火帯の設定

●発電所敷地各所の防火帯等の設定方法(1/2)

- 防火帯を設定する発電所敷地に隣接して、他事業者の連絡道路及び他事業者敷地が存在している。
- 防火帯(幅約23m)は、**発電所の敷地内に設定する。**
- 防火帯の設定とは別に、**防潮堤を森林火災の熱から防護するため、森林から防潮堤まで離隔距離(幅21m)を確保する。**この距離内は他事業者敷地を含めて**樹木伐採等の植生管理**を行う。
- 上記を踏まえて、敷地内各所に防火帯及び防潮堤からの離隔距離等を設定する。
- 次頁に敷地内各部(①～⑨)の防火帯等の設定内容を示す。



4. 森林火災の影響評価及び対策(3/10)

●発電所敷地各所の防火帯等の設定方法(2/2)

<p>【防潮堤なし】</p> <ul style="list-style-type: none"> 防火帯の外側が敷地境界に接するよう設定 	<p>①</p> <p>敷地境界 敷地外 敷地内 防火帯 23m</p>	<p>【防潮堤あり】</p> <ul style="list-style-type: none"> 防火帯外側が敷地境界(他事業者連絡道路)に接するよう設定 防潮堤防護のため、連絡道路を含めて防潮堤まで21mの離隔距離を確保 	<p>④</p> <p>敷地境界 敷地外 敷地内 21m 他事業者連絡道路 防火帯 23m</p>	<p>【防潮堤あり / なし】</p> <ul style="list-style-type: none"> 防潮堤エリアは防火帯内側が防潮堤に接するよう設定 防潮堤のないエリアは防火帯23m幅で東側の海まで到達 	<p>⑦</p> <p>敷地境界 敷地外 敷地内 防火帯 23m</p>
<p>【防潮堤なし】</p> <ul style="list-style-type: none"> 霊園付近は景観を考慮し、敷地境界内側に幅10m程度森林を残し、その内側に防火帯を設定 	<p>②</p> <p>敷地境界 敷地外 敷地内 霊園 防火帯 23m 景観を保つため森林を残す</p>	<p>【防潮堤あり】</p> <ul style="list-style-type: none"> 防火帯外側が敷地境界に接するよう設定 防潮堤防護のため敷地外に植生管理エリアを設定し、連絡道路を含めて21mの離隔距離を確保 	<p>⑤</p> <p>敷地外 敷地境界 敷地内 植生管理エリア 2m 15m 他事業者連絡道路 4m 防火帯 23m</p>	<p>【防潮堤あり】</p> <ul style="list-style-type: none"> 防火帯外側が敷地境界に接するよう設定 防潮堤防護のため敷地外に植生管理エリアを設定し、防潮堤まで21mの離隔距離を確保 	<p>⑧</p> <p>敷地境界 敷地外 敷地内 3m 植生管理エリア 1m 20m 防火帯 23m</p>
<p>【防潮堤あり】</p> <ul style="list-style-type: none"> 防火帯外側が敷地境界(他事業者連絡道路)に接するよう設定 	<p>③</p> <p>敷地内 隣接事業所敷地 敷地内 敷地境界 敷地境界 30m 隣接事業所連絡道路 9m 防火帯 23m 当社道路 7m</p>	<p>【防潮堤あり / なし】</p> <ul style="list-style-type: none"> 防潮堤エリアは防火帯外側が防潮堤から21mのラインに接するよう設定。 防潮堤のないエリアは防火帯23m幅で東側の海まで到達 	<p>⑥</p> <p>敷地境界 敷地外 敷地内 21m 防火帯 23m</p>	<p>【防潮堤あり】</p> <ul style="list-style-type: none"> 防火帯外側が敷地境界に接するよう設定。 防潮堤防護のため敷地外に植生管理エリアを設定し、防潮堤まで21mの離隔距離を確保 	<p>⑨</p> <p>敷地境界 敷地外 敷地内 植生管理エリア 4m 17m 21m 防火帯 23m</p>

4. 森林火災の影響評価及び対策(4/10)

(2) 森林火災の影響評価

● 目的

発電所敷地外で発生する森林火災が、発電所に迫った場合でも発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを以下の項目により評価

- ① 熱影響
- ② 危険距離※1
- ③ 二次的影響

● 影響評価方法

- ・「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書A 森林火災の原子力発電所への影響評価について」(以下「評価ガイド」という。)に従い森林火災を想定※2し、発電所への影響について評価した。
- ・なお、森林火災の解析に当たっては、評価ガイドにおいて推奨されている森林火災シミュレーション解析コード FARSITEを使用し解析を実施した。

● 評価の流れ

- ・項目(1)は、FARSITE解析結果である火炎到達時間、反応強度、火炎長をもとに、評価ガイドに記載の評価式等を用いて、評価対象施設の温度上昇を評価し、許容温度を下回ることを確認する。
- ・項目(2)は、FARSITE解析結果である火炎到達時間、反応強度、火炎長をもとに、評価ガイドに記載の評価式等を用いて、評価対象施設の危険距離を評価し、離隔距離を下回ることを確認する。
- ・項目(3)は、換気系統へのばい煙の影響がダンパの設置等により考慮されていること及び居住性に影響を与えないことを確認する。

※1 防火帯外縁と発電用原子炉施設の間に必要な離隔距離

※2 森林火災の想定(評価ガイドより)

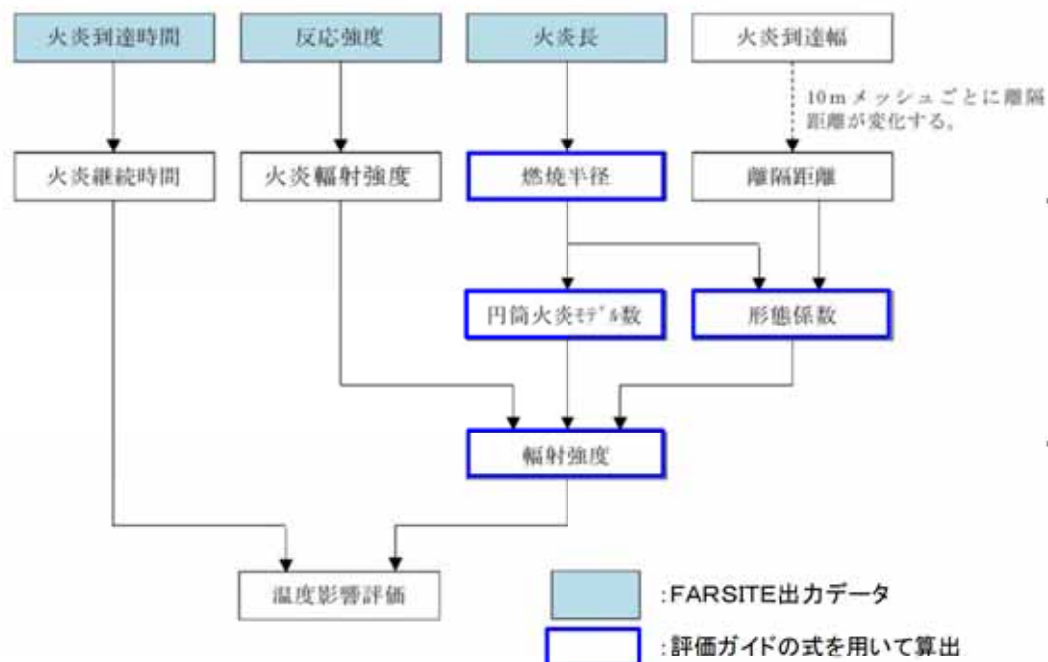
- (1) 森林火災における各樹種の可燃物量は現地の植生から求める。
- (2) 気象条件は過去10年間に調査し、森林火災の発生件数の多い月の最小湿度、最高気温、及び最大風速の組合せとする。
- (3) 風向は卓越方向とし、発電所の風上に発火点を設定する。ただし、発火源と発電所の位置関係から風向きを卓越方向に設定することが困難な場合は、風向データ等から適切に設定できるものとする。
- (4) 発電所からの直線距離10kmの間で設定する。
- (5) 発火源は最初に人為的行為を考え、道路沿いを発火点とする。さらに、必要に応じて想定発火点を考え評価する。

表 評価で用いるFARSITEの出力

項目	項目	内容
評価で用いる FARSITE出力	火炎到達時間 (hr)	出火から火炎の前線が該地点に到達するまでの時間
	反応強度 (kW/m ²)	単位面積当たりの熱放出速度
	火炎長 (m)	反応強度が最大位置の火炎の高さ

4. 森林火災の影響評価及び対策(5/10)

● 評価方法(1/2)



・燃焼半径の算出式

$$R = \frac{H}{3}$$

R : 燃焼半径(m) H : 火炎長(m)

・円筒火炎モデル数の算出式

$$F' = \frac{10}{2R}$$

F' : 円筒火炎モデル数(10mメッシュ) R : 燃焼半径(m)

・形態係数の算出式

$$\phi_1 = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left[\frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right) - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right) \right]$$

$$m = \frac{H}{R}, \quad n = \frac{L_i}{R}, \quad A = (1+n)^2 + m^2, \quad B = (1-n)^2 + m^2$$

ϕ_1 : 円筒火炎モデルの形態係数

L_i : 離隔距離(m), H : 火炎長(m)

R : 燃焼半径(m)

・火炎放射強度の算出

反応強度に対する火炎放射強度の割合(0.377)*を掛けることで、反応強度から火炎放射強度を算出する。

*「THE SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering」から引用

・放射強度の算出式

$$E_0 = \phi_0 \times F' \times R_f \quad (\text{中心火炎の場合})$$

$$E_1 = \phi_1 \times F' \times R_f \times 2 \quad (\text{中心以外の火炎の場合})$$

ϕ_1 : 形態係数

R_f : 最大火炎放射強度(kW/m²)

F' : 円筒火炎モデル数(10mメッシュ)

4. 森林火災の影響評価及び対策(6/10)



● 評価方法(2/2)

・建屋に対する温度評価式

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right)$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = E \quad (x=0)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (x=L)$$

T: 評価温度(°C), E: 輻射強度(W/m²)

ρ : 密度(kg/m³), k: 熱伝導率(W/m/K)

C_p : 比熱(J/kg/K), L: 厚さ(m)

・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含む。), 残留熱除去系海水系ポンプ及び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含む。)用海水ポンプに対する温度評価式

$$T = T_0 + \frac{E \cdot A}{G \cdot C_p} + \Delta T$$

T: 評価温度(°C), T_0 : 初期温度(°C), E: 輻射強度(W/m²)

G: 重量流量(kg/s), A: 輻射を受ける面積(m²)

C_p : 空気比熱(J/kg/K)

ΔT : 構造物を介した温度上昇(°C)

・主排気筒及び放水路ゲートに対する温度評価式

$$T = T_0 + \frac{E}{2h}$$

T: 評価温度(°C), T_0 : 初期温度(°C)

E: 輻射強度(W/m²), h: 熱伝達率(W/m²/K)

4. 森林火災の影響評価及び対策(7/10)



●評価結果(1/3)

①熱影響

各評価対象施設の温度上昇を評価した結果、許容温度を下回ることを確認した。

表 各評価対象施設の温度上昇評価結果

評価対象施設	評価温度(°C)							許容温度(°C)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
原子炉建屋	53	52	53	53	53	53	53	<200
使用済燃料乾式貯蔵建屋	96	87	93	94	99	91	92	
タービン建屋	54	53	53	53	54	53	53	
主排気筒	51	52	52	52	52	52	52	<325
放水路ゲート	85	93	126	99	121	125	119	<325
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を含む。)	45	45	45	45	45	45	45	<53
残留熱除去系海水系ポンプ	45	45	45	45	45	45	45	<70
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を含む。 用海水ポンプ)	45	45	45	45	45	45	45	<60

4. 森林火災の影響評価及び対策(8/10)



● 評価結果(2/3)

② 危険距離

各評価対象の危険距離を評価した結果、危険距離※が離隔距離を下回ることを確認した。

※ 温度評価結果が許容温度となる離隔距離

表 各評価対象施設に対する危険距離

評価対象施設	危険距離(m)							離隔距離(m)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
原子炉建屋	17	15	17	17	18	16	17	267
使用済燃料乾式貯蔵建屋	17	15	17	17	18	16	17	37
タービン建屋	17	15	17	17	18	16	17	221
排気筒	12	14	20	15	19	20	19	266
放水路ゲート	12	14	20	15	19	20	19	41
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を含む。)	18	21	28	22	28	28	27	267
残留熱除去系海水系ポンプ	17	19	27	21	26	27	26	242
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を含む。) 用海水ポンプ	14	16	23	18	23	23	22	242

4. 森林火災の影響評価及び対策(9/10)



●評価結果(3/3)

③二次的影響評価

➢ 機器への影響

- ・ばい煙の影響が想定される設備として、「外気を直接設備内に取り込む機器」、「外気を取り込む空調系統」及び「外気を取り込む屋外設置機器」について評価を実施
- ・評価の結果、外気取入フィルタの設置、閉回路循環運転等によりばい煙の影響が考慮されていることを確認

➢ 居住性への影響

- ・建屋内にばい煙を含んだ外気を取り込まれた場合の居住性の観点から評価を実施
- ・評価の結果、中央制御室及び緊急時対策所の居住性に影響を与えないことを確認

ばい煙の影響を受ける設備

分類		評価対象設備	評価結果
機器への影響	外気を直接設備内に取り込む機器	・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を含む。)	・外気取入フィルタにより一定以上のばい煙を捕獲 ・機器の間隙は、フィルタを通過するばい煙に比べて大きく、閉塞することはない。 ・通常運転時は燃焼に伴うばい煙が発生しているが、ばい煙による不具合はない。
	外気を取り込む空調系統(室内の空気を取り込む機器を含む。)	・換気空調設備 ・計測制御設備(安全保護系)	・外気取入フィルタにより一定以上のばい煙を捕獲 ・中央制御室換気系は閉回路循環運転等を行うことで、ばい煙の侵入を阻止可能
	外気を取り込む屋外設置機器	・残留熱除去系海水系ポンプ ・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を含む。)用海水ポンプ	・外気を電動機内部に取り込まない構造のため、内部にばい煙が侵入することはない ・ばい煙は冷却流路及び冷却流路出口口径と比べて小さく、閉塞することはない。
居住性への影響	外気を取り込む空調系統	中央制御室、緊急時対策所	・閉回路循環運転により、酸素濃度及び炭酸ガス濃度を考慮しても長時間室内へのばい煙の侵入を阻止可能

4. 森林火災の影響評価及び対策(10/10)

(3) 津波防護施設の影響評価

津波防護施設に対し森林火災影響評価を実施

- (1) 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁
- (2) 止水ジョイント部
- (3) 防潮扉

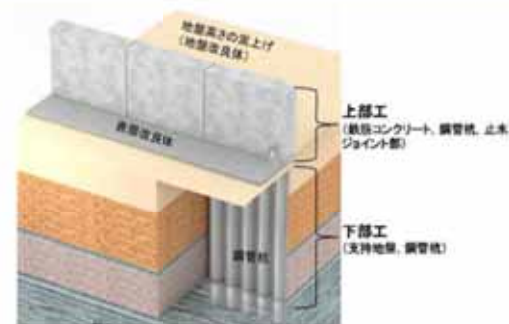
● 評価結果

- ・危険距離を算出し、森林からの離隔距離を下回ることを確認
- ・万が一、津波防護施設に熱影響が及んでいる可能性がある場合、当該箇所の健全性を評価し、機能に支障がある場合は、プラントを停止し速やかに強度を保つよう補修を行う。

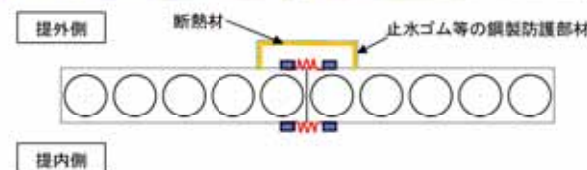
津波防護施設	危険距離 (m)	森林からの離隔距離(m)
防潮壁	18	21
止水ジョイント部	20	21
防潮扉	20	35



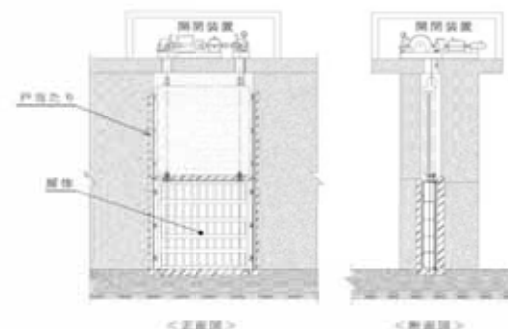
津波防護施設と森林との位置関係



防潮壁の概要図



止水ジョイント部の概要図



防潮扉の概要図

(補足説明資料 5. 爆発の影響評価)

5. 爆発の影響評価(1/18)



● 目的

発電所敷地内外で発生する爆発が、発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを、以下の項目により評価

- (1) 危険限界距離(爆発の爆風圧が0.01MPa以下になる距離)
- (2) 飛来物の最大飛散距離

● 影響評価方法

- ・「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書B 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」(以下「評価ガイド」という。)に従い爆発を想定し、発電所への影響について評価した。
- ・評価対象として想定する爆発源は、発電所周辺10km以内に存在する以下とする。
 - (1) 敷地外のガス貯蔵施設
 - (2) 敷地内のガス貯蔵施設
 - (3) 燃料輸送車両
 - (4) 燃料輸送船

※2 危険限界距離の算出式(出典:評価ガイド)

$$X = 0.04 \lambda \sqrt[3]{KW}$$

X: 危険限界距離(m), λ : 換算距離(=14.4 (m·kg^{-1/3})),
K: 石油類の定数(-), W: 設備定数(-)

※3 飛来物の最大飛散距離の評価式

$$L = 90M^{0.333} \quad (\text{容積}5\text{m}^3\text{未満の容器})$$

$$L = 465M^{0.10} \quad (\text{容積}5\text{m}^3\text{以上の容器})$$

L: 破片の最大飛散範囲, M: 破裂時の貯蔵物質量

※4 竜巻飛来物の飛散評価同様の運動方程式により評価

● 評価の流れ

(1) 敷地外のガス貯蔵施設

- ・周辺自治体に資料開示請求を行い、対象施設の情報入手
- ・10km以内で最大のガス貯蔵施設である日立LNG基地の爆発評価を行い、発電所に影響を及ぼす可能性がある施設を選定
- ・選定した施設に対する危険限界距離を、評価ガイドの式※2により評価し、当該施設と発電所の離隔距離を下回ることを確認
- ・加圧貯蔵型のLPGタンクは、爆発飛来物の最大飛散距離を、石油コンビナートの防災アセスメント指針の評価式※3を用いて評価

(2) 敷地内のガス貯蔵施設

- ・現場調査等により対象施設の情報入手
- ・選定した対象施設に対する危険限界距離を、評価ガイドの式※2により評価し、当該施設と発電所の離隔距離を下回ることを確認

(3) 燃料輸送車両

- ・発電所から最も近い位置にある国道245号線における、最大規模の燃料輸送車両を想定
- ・想定した車両に対する危険限界距離を、評価ガイドの式※2により評価し、当該車両と発電所の離隔距離を下回ることを確認
- ・加圧貯蔵型のLPGタンクは、爆発飛来物の最大飛散距離を、文献による初速に基づく飛散解析※4により評価

(4) 燃料輸送船

- ・発電所周辺の海域を航行する、日立LNG基地に実際に入港する最大規模の燃料輸送船(内航船を含む)を想定
- ・想定した各船舶に対する危険限界距離を、評価ガイドの式※2により評価し、当該船舶と発電所の離隔距離を下回ることを確認
- ・加圧貯蔵型のLPGタンクは、爆発飛来物の最大飛散距離を、文献による初速に基づく飛散解析※4により評価

5. 爆発の影響評価(2/18)

(1) 敷地外のガス貯蔵施設の評価

● 周辺自治体への資料開示請求

- ・発電所から10km以内にある高圧ガス貯蔵施設について自治体に資料開示請求を行った結果、約20カ所存在することを確認

● 危険限界距離の評価

- ・10km以内で最大のガス貯蔵施設である日立LNG基地の爆発評価を実施した結果、危険限界距離は373mであることを確認
- ・日立LNG基地から発電所までの離隔距離は1,500m以上あるため、判断基準を満足することを確認
- ・日立LNG基地の危険限界距離373mを上回る400mを、発電所に影響を及ぼす可能性がある範囲として設定し、この範囲内のガス貯蔵施設を調査した結果、対象のガス貯蔵施設はなく、敷地外のガス貯蔵施設の爆発が、発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを確認(最も近いガス貯蔵施設でも、発電所からの離隔距離は900m以上あり。)

● 飛来物の最大飛散距離の評価

- ・発電所から10km以内に存在するLPGタンクを対象に最大飛散距離を評価した結果、すべてのLPGタンクの最大飛散距離は、発電所までの離隔距離を下回ることを確認
- ・日立LNG基地にもLPGタンクは存在するが、聞き取りにより、低温貯蔵型タンクであることを確認しているため、大規模なタンク破裂が発生することはない、発電所への飛来物の影響はない。



図 発電所から最も近いガス貯蔵施設の位置関係

表 飛来物の最大飛散距離の評価結果

施設名称	貯蔵量 (kg)	最大飛散 距離 (m)	離隔距離 [※] (m)

5. 爆発の影響評価(3/18)



● LNG基地のLNGタンク増設による影響

・LNG基地のLNGタンクは既設1基より2基に増設工事中であることから、増設後の施設条件における爆発評価への影響を確認する。
 <別紙>

・ガス爆発の危険限界距離*の算出式は以下のとおり。

*ガス爆発の爆風圧が0.01MPa以下になる距離(人体に対して影響を与えない圧力)

$$X = 0.04 \lambda \sqrt[3]{K \times W} \quad (\text{出典: 原子力発電所の外部火災影響評価ガイド})$$

X: 危険限界距離[m]、λ: 換算距離 14.4[m・kg^{-1/3}]、K: 石油類の定数[-]、W: 設備定数[-]

・LNGタンク増設後の危険限界距離の評価結果は以下のとおり、危険限界距離は現行施設条件の373mから増加するものの410mに留まり、発電所からの離隔距離1500mを下回ることを確認した。

評価ケース	想定爆発源	容量(t)	危険限界距離(m)	離隔距離(m)	考察
現行施設の条件	LNGタンク 1基	97,704	373	1,500m	LNGタンク増設によりガス貯蔵量が増えて危険限界距離は長くなる傾向となるが、危険限界距離はガス貯蔵量の三乗根に比例するため、貯蔵量が大幅に増えても距離への影響は小さい。
	LPGタンク 1基	31,000			
LNGタンク増設後	LNGタンク 2基	195,408	410		
	LPGタンク 1基	31,000			

5. 爆発の影響評価(4/18)

● LNGパイプラインの影響

- ・発電所から約1.5km北方にあるLNG基地より南方に向けてパイプラインを建設中。気体で高圧圧送(7MPa)されるパイプラインのガス管は地中1.2m以深に埋設され、鋼管の材質は伸び・可撓性が高く、溶接による接合方法と相まって大地震でも漏洩せず、更に、遠隔監視・操作でガスの遮断が可能とされている。〈別紙〉
- ・これらより、パイプラインの爆発事故は起こり難いと考えられるが、不測の事態による爆発を仮定
- ・パイプラインの敷設位置は防護すべき発電所施設より850m以上離れており、LNG基地のガスタンク本体(増設中のLNGタンクを含む)が爆発した場合の危険限界距離(373m及び410m)を上回る。また、発電所施設に更に近い道路を通行する燃料輸送車両の火災・爆発を評価し、この場合でも発電所施設に影響を与えないことを確認。更に、ガスパイプライン爆発事例を参照したところ、重大な被害はパイプライン近傍に留まると考えられ、850m以上離れた箇所まで被害を及ぼす恐れは小さいと考えられる。〈参考〉
- ・これらより、パイプラインの万一の爆発を想定しても、発電所施設に影響を及ぼすことはないと判断される。



LNG基地から繋がるパイプライン敷設計画(建設中)

LNGパイプラインと発電所の位置関係概略図

5. 爆発の影響評価(5/18)



<別紙>LNG基地のLNGタンク増設及びパイプライン建設(1/6)

「日立LNG基地 2号LNGタンク」の建設工事着手について

東京ガス株式会社
平成30年4月3日
広報部

東京ガス株式会社(社長:内田 高史、以下「東京ガス」)は、4月1日、今後の更なる天然ガス需要の増加に対応するため、「日立LNG基地」(茨城港日立港区内、以下「同基地」)における「2号LNGタンク」(以下「本タンク」)の建設工事に着手しました。

東京ガスは、2020年に向けた天然ガス需要の増加に対応した製造・供給インフラの柱の一つとして、2012年7月より同基地の建設に着手し、2016年3月に竣工、営業運転を開始しています。今後の更なる天然ガス需要の増加に対応するため、このたび、本タンクの建設工事に着手し、2020年度の運転開始を目指します。

なお、東京ガスは、高圧ガスパイプライン「茨城幹線」(延長 約92km、茨城県日立市～茨城県神栖市)についても、2020年度の供用開始を目指して建設工事を進めており、今後、既存の「鹿島臨海ライン」(茨城県神栖市)と「茨城～栃木幹線」(茨城県日立市～栃木県真岡市)とを接続し、高圧ガスパイプラインのループ化を更に図ることにより、首都圏全体における供給安定性の向上に貢献するとともに、供給ネットワーク全体の輸送能力の増強を図ります。

東京ガスグループは、「チャレンジ2020ビジョン」において「LNGバリューチェーンの高度化」を掲げ、その一環として「エネルギーの安全かつ安定的な供給」を推進しており、今後も更なるエネルギーの安全かつ安定的な供給に努めてまいります。

日立LNG基地および2号LNGタンクの概要

所在地	茨城県日立市 茨城港日立港区内
日立LNG基地 設備概要	<ul style="list-style-type: none">1号LNGタンク(23万kl、地上式1基)LPGタンク(5万kl、地上式1基)製造施設(LNG気化設備、3基)ローリー出荷施設大型栈橋(外航LNG船用受入設備)ほか
2号LNGタンク 仕様	<ul style="list-style-type: none">地上PC式LNGタンク貯蔵容量:23万kl、貯槽外径:約90m、高さ:約60m

出典:東京ガス株式会社 プレスリリース 2018/04/03「日立LNG基地 2号LNGタンク」の建設工事着手について

5. 爆発の影響評価(6/18)

<別紙> LNG基地のLNGタンク増設及びパイプライン建設 (2/6)

竣工イメージ図



出典:東京ガス株式会社 プレスリリース 2018/04/03「日立LNG基地 2号LNGタンク」の建設工事着手について

5. 爆発の影響評価(7/18)

<別紙> LNG基地のLNGタンク増設及びパイプライン建設 (3/6)



出典:東京ガス株式会社 プレスリリース 2018/04/03「日立LNG基地 2号LNGタンク」の建設工事着手について

5. 爆発の影響評価(8/18)

<別紙>LNG基地のLNGタンク増設及びパイプライン建設(4/6)

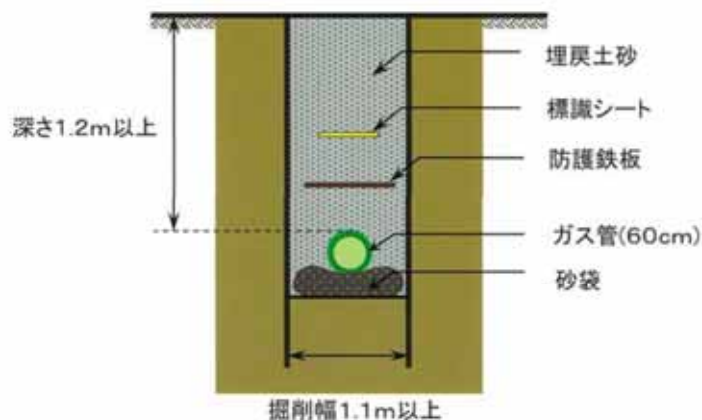
「茨城幹線」計画概要

現段階における計画概要は下表のとおりです。

工事区間	始点:茨城県日立市(日立 LNG 基地) 終点:茨城県神栖市(東和田ブロックバルブステーション)		
延長	約90km	管径	約60cm
材質	鋼管	圧力	7MPa
完成時期	2020年度末(予定)		

主な建設仕様

- ガス管の接合 —— ガス管の接合は高品質な溶接接合を採用します。
溶接接合部は、ガス事業法に基づく非破壊試験を全数実施し、十分に安全な品質であることを確認します。
- 標準断面図 —— ガス管は主に道路下に埋設します。(標準的な断面は下図の通り)



完成後に行う維持管理業務

- 路線パトロール —— 路線上で事前に照会のない他企業者の工事の発見ならびに施設の異常の有無、路線状況の変化を発見するため、パトロールを行います。
- 照会工事立会い —— 他企業者が行う工事の際には安全を確保するため、事前に十分な打ち合わせを行うとともに現場での立会いを行います。
- 施設保全 —— 各種施設の点検・検査、機器類の機能検査を定期的に行い、施設の正常作動を確認します。



出典:東京ガス株式会社 パンフレット「環境にやさしいエネルギーでより豊かな生活をー茨城幹線 計画概要ー」より抜粋

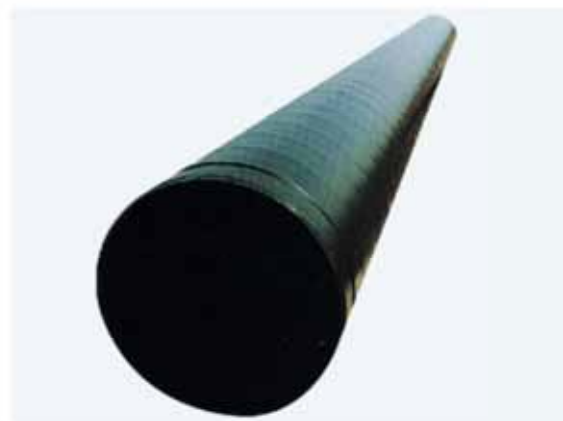
5. 爆発の影響評価(9/18)

<別紙> LNG基地のLNGタンク増設及びパイプライン建設 (5/6)

輸送幹線パイプライン設備

パイプラインの材料

輸送幹線パイプラインの材料は、世界的に広く使用されている米国石油協会(API)高圧ラインパイプ(5L)規格の×-42、×-52、×-60、×-65などの鋼管を使用しており、これらの材料は引張り強度、耐力が大きく強靱で、かつ伸びも大きく可撓性のある優れたものです。
なお、パイプの外面には腐食防止のためポリエチレン、コーラルール・エナメルなどの塗覆装が施されています。



地震対策

大地震が起きても影響のない材質(鋼管)と接合方法(溶接接合)にて建設しております。これにより、阪神淡路大震災規模の地震が起きても、ガスが漏洩することはありません。

写真:

阪神淡路大震災時のガスパイプラインの状況
(第二神明道路大蔵谷IC付近)

「ガス地震対策検討会報告書(資源エネルギー庁監修)」より



出典:東京ガスパイプライン株式会社 HP
「業務内容 輸送幹線パイプライン設備」より抜粋

5. 爆発の影響評価(10/18)



〈別紙〉LNG基地のLNGタンク増設及びパイプライン建設(6/6)

パイプラインの接合

輸送幹線パイプラインの接合は、高品質な溶接接合を採用しており、十分な品質であることを確認しています。

接合部検査

輸送幹線パイプラインの接合部(溶接部)については、すべての接合部について、外観検査・レントゲン検査(X線透過試験)などを実施しております。

バルブステーション(略称:VS)

保安上ガスを遮断する、遮断バルブを設けています。



遠隔監視・遠隔操作設備

輸送幹線パイプライン網のガバナステーション、バルブステーションは、東京ガス(株)の供給指令センターで、24時間・365日常時監視および遠隔操作できるようになっています。なお、停電時には、自動的に備え付けの予備電源に切り替わります。



東京ガス(株) 供給指令センター

出典:東京ガスパイプライン株式会社 HP

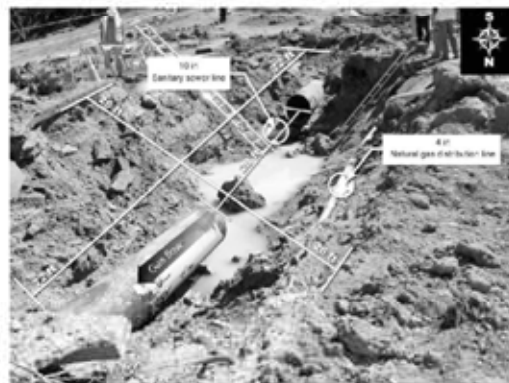
「業務内容 輸送幹線パイプライン設備」より抜粋

5. 爆発の影響評価(11/18)

<参考>パイプライン爆発事故事例(1/2)

● 米国 カリフォルニア州San Bruno 天然ガスパイプラインにおけるガス漏えい・爆発事故

項目	内容
発生日時	2010年9月9日
発生場所	米国カリフォルニア州 San Bruno
対象施設	PG&E社 地下埋設天然ガスパイプライン「Line132」 (鋼製, 外径762mm, 地下2mに敷設)
事故内容	パイプラインからのガス漏洩・爆発 <ul style="list-style-type: none"> ・爆発地点に長さ22m, 幅8mのクレーターが生成 ・パイプラインの一部(長さ8.4m, 重さ約1360kg)が約30m離れた地点に落下 ・爆発地点付近の住宅で火災発生, 死亡者発生
事故原因	1956年に設置したパイプラインの配管長手方向シーム溶接部の欠陥の長期運転に伴う拡大, 破壊・貫通に伴うガス漏洩及び引火



爆発地点のクレーターと破断した配管 外部事象-155

事故後の2011年6月20日の現場

出典: 圧力技術
第50巻3号,
他

5. 爆発の影響評価(12/18)

<参考>パイプライン爆発事故事例(2/2)

● 台湾 高雄市ガス漏えい・爆発事故

項目	内容
発生日時	2014年7月31日～8月1日
発生場所	台湾 高雄市 Cianjhen地区
対象施設	李長榮化学工業 プロピレンガス用パイプライン(地下敷設)
事故内容	パイプラインの腐食に伴う下水道へのガス漏えい, 引火・爆発 ・下水道沿いの道路が数100m陥没, 車両が横転, 火災発生, 死亡者発生 ・原動機付自転車が5階建ビルの屋上まで飛散
事故原因	パイプラインの不適切な敷設, 不十分な保守管理による腐食に伴うガス漏洩



高雄市内の石油化学工場, パイプライン及び爆発現場の位置関係



ガス爆発現場の状況

出典:「2014年台湾・高雄市ガス爆発事故における行政・民間・地域住民の災害対応」(孫同文, 国立暨南国際大学)他

5. 爆発の影響評価(13/18)

(2) 敷地内のガス貯蔵施設の評価

● 発電所内の現場調査

- ・発電所内の現場調査を行い、可燃性のガス貯蔵施設が9カ所存在することを確認
- ・このうち、屋内にあるガス貯蔵施設は外部への影響がないため、屋外にある水素貯槽について評価を実施

● 危険限界距離の評価

- ・水素貯槽の爆発評価を実施した結果、危険限界距離は7mであることを確認
- ・水素貯槽から最も近い評価対象施設であるタービン建屋までの離隔距離は35mあるため、判断基準を満足することを確認

● 飛来物の影響評価

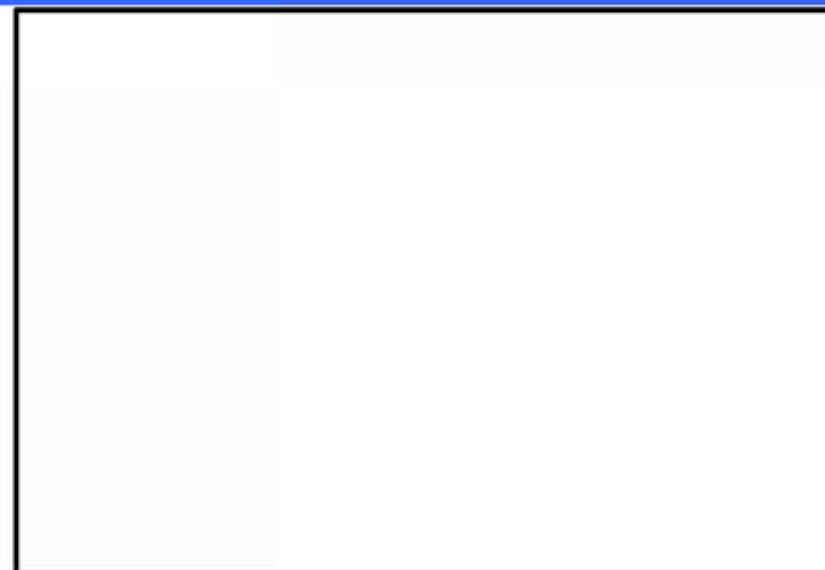
- ・加圧貯蔵型のタンクではなく、貯蔵量も少ないため、発電所への飛来物の影響はない。

表 水素貯槽及びガスに係るデータ

	水素貯槽
貯蔵ガス	水素
貯蔵量(m ³)	6.7
密度(kg/m ³)	0.08988 ^{*1}
貯蔵ガスK値 ^{*2}	2,860
貯蔵設備W値	0.0006

※1 一般社団法人 水素エネルギー協会 記載値

※2 コンビナート等保安規定第5条別表第二記載値



爆発源と評価対象施設の位置関係

敷地内の爆発源一覧

設備名	内容物	本数(本)	1本当たり容量	総容量	詳細評価要否 (○:対象, ×:対象外)
H ₂ , CO ₂ ボンベ庫	水素	20	7 m ³	140 m ³	× (屋内配置)
水素貯槽	水素	—	—	6.7 m ³	○ (屋外配置)
予備ボンベ庫①	水素	40	7 m ³	280 m ³	× (屋内配置)
予備ボンベ庫②	水素	20	7 m ³	140 m ³	× (屋内配置)
所内ボイラー プロパンボンベ庫	プロパン	4	50 kg	200 kg	× (屋内配置)
焼却炉用 プロパンボンベ庫	プロパン	5	500 kg	2500 kg	× (屋内配置)
サービス建屋 ボンベ庫	アセチレン	3	7 kg	21 kg	× (屋内配置)
廃棄物処理建屋 化学分析用ボンベ庫	アセチレン	1	7 kg	7 kg	× (屋内配置)
	メタン	4	7 m ³	28 m ³	× (屋内配置)
食堂用プロパンボンベ庫	プロパン	18	50 kg	900 kg	× (屋内配置)

5. 爆発の影響評価(14/18)

(3) 燃料輸送車両の評価

● 対象とする燃料輸送車両

- ・発電所敷地外で最も近くを通る国道245号線での燃料輸送車両の爆発を想定
- ・可燃性ガスを輸送する燃料輸送車両は、最大クラスの燃料輸送車両(積載量:15.1t)に液化天然ガス(LNG)及び液化石油ガス(LPG)が積載された状況を想定

パラメータ	LNG(ブタン)	LPG(プロパン)
貯蔵量(t)	15.1	15.1
K値※	714	888
W値※	4	4

※ 爆風圧の評価式((3/12)頁)で用いる係数

● 爆風圧の評価

- ・燃料輸送車両の爆発評価を実施した結果、爆風圧に対する危険限界距離は最大88mであり、燃料輸送車両から最短となるタービン建屋までの離隔距離450mを下回ることを確認

(参考)陸上自衛隊では、爆薬・弾薬等の爆発時の安全確保上の離隔距離として、遮蔽物がない露天条件において、一般に450m~600mとされている。

● 飛来物の最大飛散距離の評価

- ・加圧貯蔵型のLPGを輸送する燃料輸送車両を想定し、文献を基に設定した飛来物の最高射出速度(200m/s)に対し、最大到達距離を評価した。
- ・想定する飛来物の諸元は、最大級の車両の寸法を踏まえ、飛散距離が長くなるよう保守的に設定した。

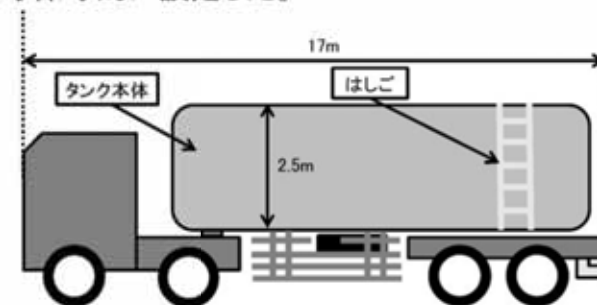
飛来物	寸法(m)	質量(kg)	備考
鋼製パイプ(梯子)	長さ×直径 17× φ 0.05	71	長いほど飛散距離が出る傾向を考慮
鋼板(タンク)	長さ×幅×厚さ 17.0×2.5×0.01	3,336	面積大ほど飛散距離が出る傾向を考慮



図 燃料輸送車両と評価対象施設との位置関係

注:防潮堤への対応について

- ・防潮堤は図中に記載した各施設よりも公道により近い位置に設置されるが、防潮堤は原子炉の停止・冷却機能等に直接関わらないため、仮に爆薬、弾薬等の輸送車の爆発事故で損傷した場合でも、原子炉の安全上は直ちに問題となることはない。
- ・仮に、防潮堤の一部が損傷した場合は、直ちに補修等の対策を図り、防潮堤の機能を復旧させる。



5. 爆発の影響評価(15/18)



● 飛来物の最大飛散距離の評価(つづき)

・文献※から設定した最高射出速度:200m/s

※:The Handbook of Hazardous Materials Spills Technology

・運動方程式:

$$\left[\begin{array}{l} \text{水平方向: } m \frac{dV_x}{dt} = F \frac{V_x}{V(t)} \\ \text{鉛直方向: } m \frac{dV_y}{dt} = F \frac{V_y}{V(t)} - mg \end{array} \right. \quad \left[\begin{array}{l} F = -\frac{1}{2} C_D A \rho V(t)^2 \\ V(t) = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \end{array} \right]$$

m: 飛来物の質量 (kg), F: 空気抵抗による外力 (-)

g: 重力加速度 (9.8m/s²), C_D: 流体抗力係数 (-)

A: 飛来物の速度方向に対する投影面積 (m²)

V: 飛来物の速度 (m/s), ρ: 空気密度 (1.2kg/m³)

初速の(x, y)成分は, 射出角をパラメータとして飛距離が最大となるよう設定

<最大飛散距離の評価結果(右上表)>

- ・鋼板については, 評価対象施設に到達しないことを確認した。
- ・鋼製パイプについては, 最大飛散距離がタービン建屋, 原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋との離隔距離を上回ることを確認したため, 飛来物の衝突影響を評価した。



● 鋼製パイプの衝突影響評価(右下表)

- ・鋼製パイプの影響は, 竜巻影響評価の設計飛来物(鋼製材)の影響に包絡されるため, 上記建屋に衝突しても, 建屋の健全性に影響を与えない※ことを確認した。

※: 竜巻影響評価の結果(設計飛来物に対する構造健全性を維持)に包絡される。

爆発飛来物(燃料輸送車両)の到達評価

評価対象	到達距離 離隔距離	飛来物	
		鋼製パイプ	鋼板
	単位:m		
		561	413
タービン建屋	450	×	○
原子炉建屋	510	×	○
使用済燃料 乾式貯蔵建屋	520	×	○
放水路ゲート	600	○	○
主排気筒	610	○	○
残留熱除去系海水 系ポンプ	760	○	○
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 発電機を含む。)用 海水ポンプ		○	○

鋼製パイプと設計竜巻飛来物の影響比較

	鋼製 パイプ	竜巻飛来物 (鋼製材)
運動エネルギー (kJ)	27	175.6
コンクリートに対する 貫通限界厚さ※ (cm)	17	26.5
鋼板に対する 貫通限界厚さ※ (cm)	27	31.2

※: 貫通を阻止するための最小必要厚さ

5. 爆発の影響評価(16/18)

● 飛来物の衝突影響評価

・鋼製パイプの影響は、竜巻影響評価の設計飛来物(鋼製材)の影響に包絡されるため、上記建屋の健全性に影響を与えない※ことを確認した。

※: 竜巻影響評価の結果(設計飛来物に対する構造健全性を維持)に包絡される。

鋼製パイプと設計竜巻飛来物の影響比較

	鋼製パイプ	竜巻飛来物 (鋼製材)
運動エネルギー (kJ)	27	175.6
コンクリートに対する 貫通限界厚さ※ (cm)	17	26.5
鋼板に対する 貫通限界厚さ※ (cm)	27	31.2

※: 貫通を阻止するための最小必要厚さ

● 設計飛来物(鋼製材:角型鋼管)

寸法: 0.3×0.2×4.2m

質量: 135kg

飛来速度: 51m/s(水平)

34m/s(鉛直)



5. 爆発の影響評価(17/18)



● TNT火薬積載車両の爆発影響評価

- ・TNT火薬を積載した車両が、燃料輸送車両の評価同様、発電所に隣接する主要道路である国道245号において、評価対象施設との距離が最も短くなる地点での爆発を想定。

爆風圧の影響評価

- ・TNT火薬の爆発時の爆風圧と換算距離の関係から、爆風圧が0.01MPa(人体に対して影響を与えない圧力)以下になる爆薬量の限界を算出する。

限界爆薬量の評価結果

項目	数量	備考
換算距離 λ (m/kg ^{1/3})	14.4	TNT1kgの爆風圧が0.01MPaになる値 (出典:「石油コンビナートの防災アセスメント指針」)
離隔距離 R(m)	450	国道から評価対象施設(タービン建屋)への最短距離
TNT換算係数 a	1	TNT火薬を想定
限界爆薬量 W(t)	30.5	$\lambda = R / (W \times a)^{(1/3)}$ より, $W = \{ (R / \lambda)^3 / a \} / 1000$

- ・上記で求めた爆薬量約30.5tは、道路法による車両総重量の一般的制限値(20t※)を大きく超える値であることから、実際に国道輸送車両の爆発で爆風圧が0.01MPaを超えることはない。

※:車両自体の重量が含まれるため、爆薬の積載量は更に少ない値となる。

5. 爆発の影響評価(18/18)

(4) 燃料輸送船の評価

- 対象とする船舶
 - ・保守的に対象船舶の喫水位置から火災発生位置を特定※し評価を実施
 - ・日立LNG基地にLNG及びLPGを輸送する輸送船並びに内航船について各船舶の喫水から発電所までの離隔距離が最も短くなる地点での爆発を想定

※船底が海底とぶつかるためこれ以上進入しない位置

- 危険限界距離の評価
 - ・燃料輸送船の爆発評価を実施した結果、危険限界距離は燃料輸送船から評価対象施設までの離隔距離を下回ることを確認

表 危険限界距離の評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
			335	1,100以上
			340	
			165	390以上

※ 海水ポンプ室及び放水路ゲートの高さは防潮堤高さよりも低く、直接爆風圧の影響を受けることはないため、海水ポンプ室及び放水路ゲートは評価対象外とする。離隔距離は海水ポンプ室及び放水路ゲートを除いて最も近いタービン建屋までの距離とする。

- 飛来物の最大飛散距離の評価
 - ・日立LNG基地にLPGを輸送する輸送船の、タンク破裂時における破片の最大飛散距離(497m)が、輸送船から評価対象施設までの離隔距離(940m:海水ポンプ室)を下回ることを確認

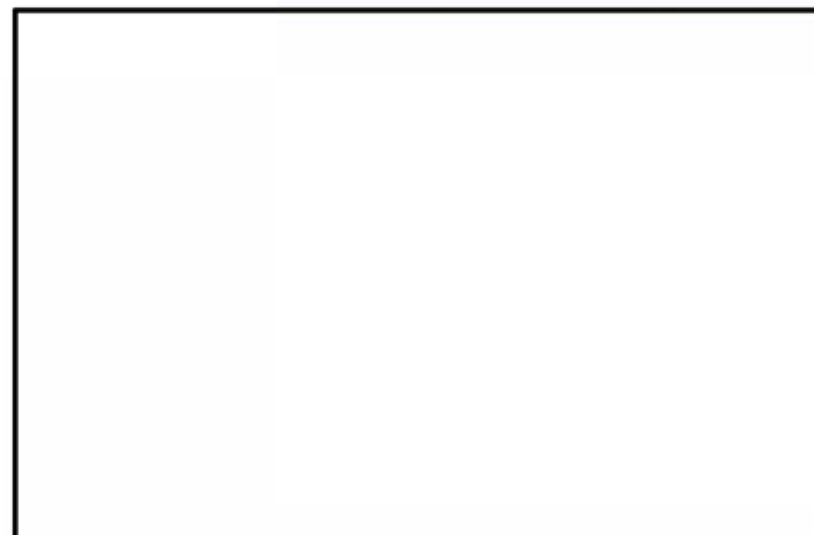


図 LNG及びLPGを輸送する輸送船と評価対象施設との位置関係

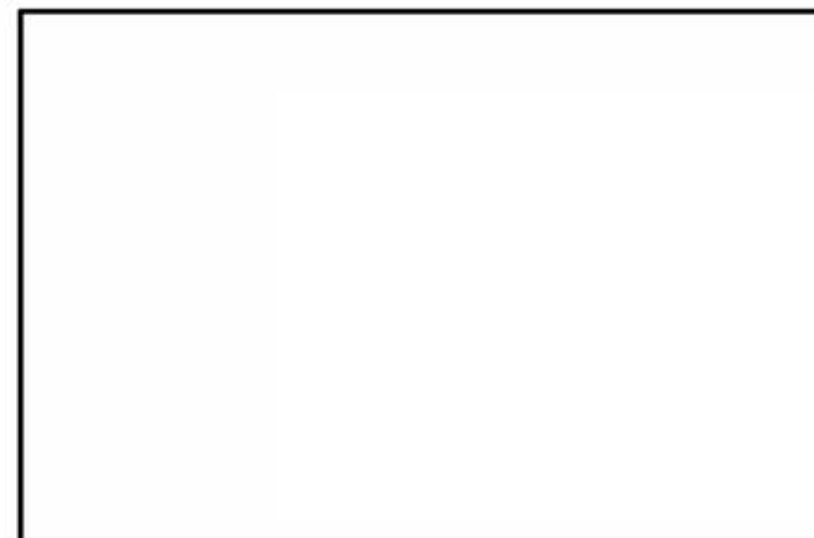


図 内航船と評価対象施設との位置関係