

(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
- 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



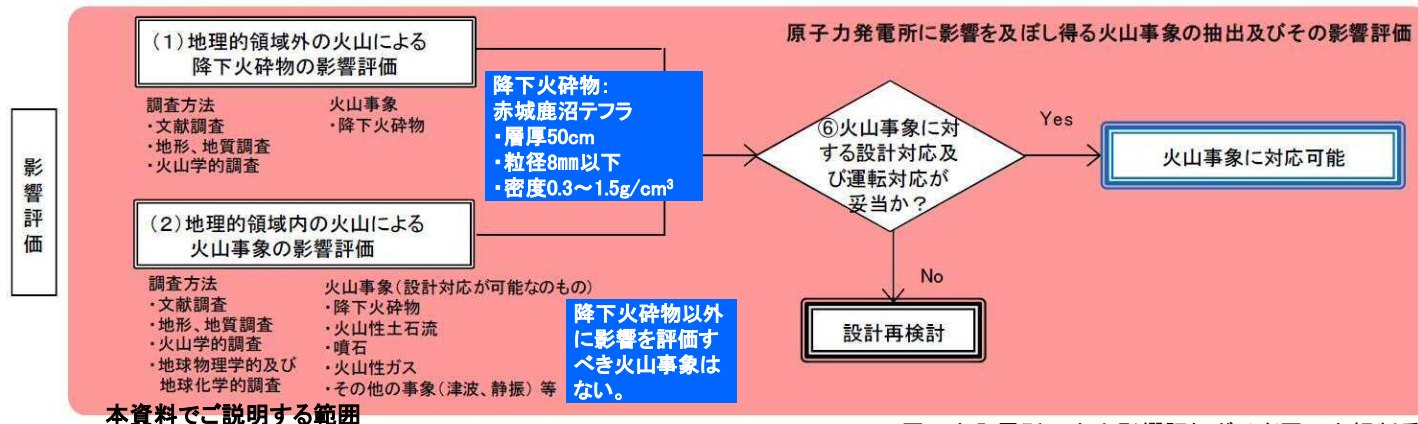
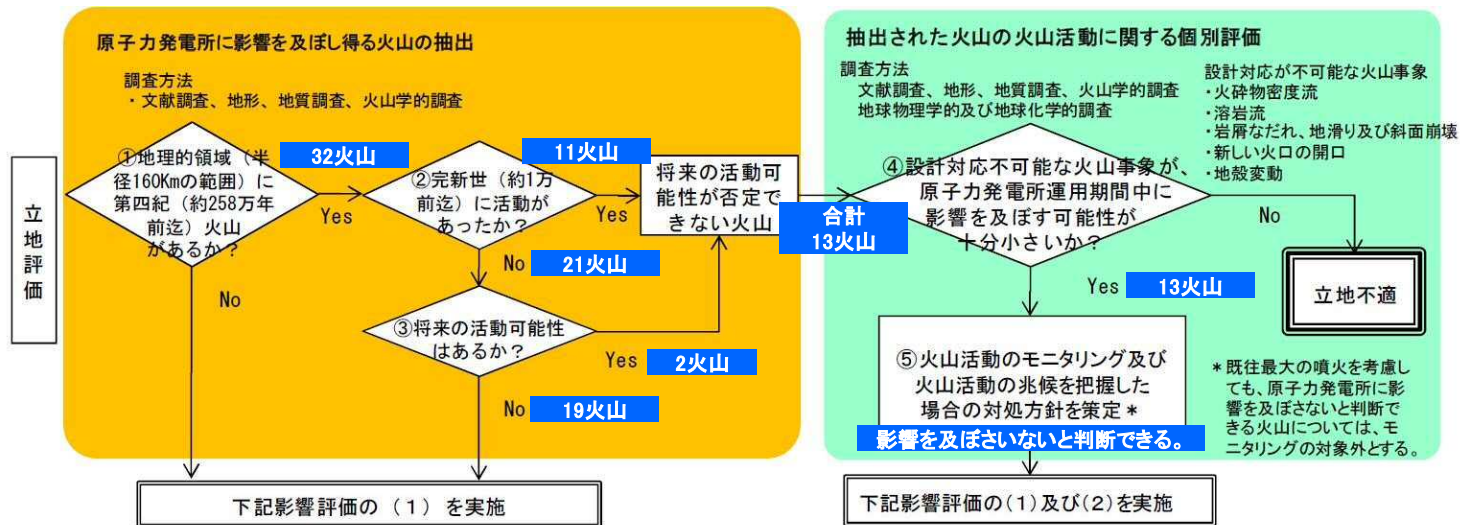
「原子力発電所の火山影響評価ガイド」に従って、東海第二発電所の火山影響評価を実施した。

【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。



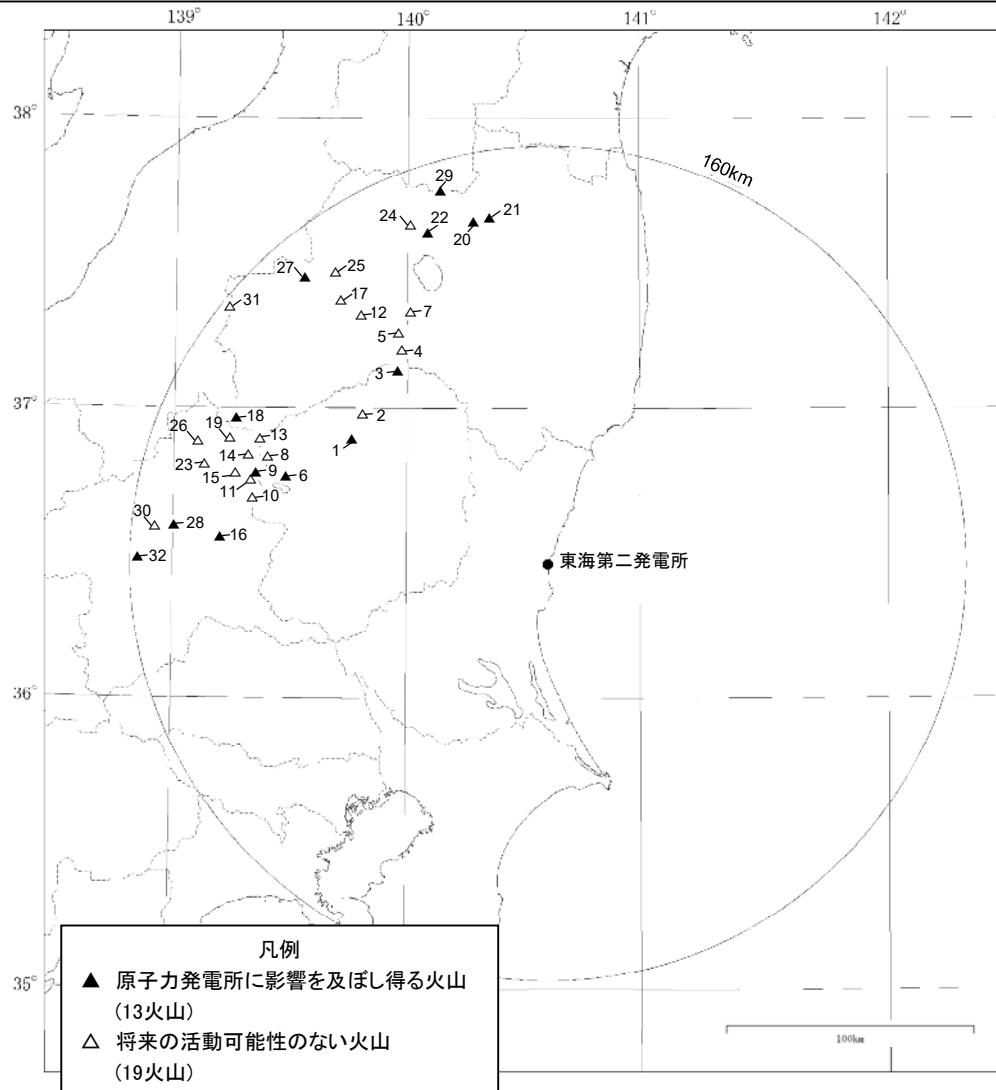
※原子力発電所の火山影響評価ガイド(原子力規制委員会(2013))に加筆

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)
1	たかはらやま 高原山	88
2	しおぼら 塩原カルデラ	90
3	なすだけ 那須岳	93
4	とう 塔のへつりカルデラ群	99
5	ふたまたやま 二岐山	104
6	なんたい・によほう 男体・女峰火山群	105
7	あいつぬのひきやま 会津布引山	109
8	ねなくさやま 根名草山	116
9	にっこうしらねさん 日光白根山	116
10	すかいさん 皇海山	116
11	すずがたけ 錫ヶ岳	117
12	ひわだ 桧和田カルデラ	118
13	きぬぬま 鬼怒沼	120
14	しろうだけ 四郎岳	122
15	ぬまのかみやま 沼上山	124
16	あかぎさん 赤城山	127

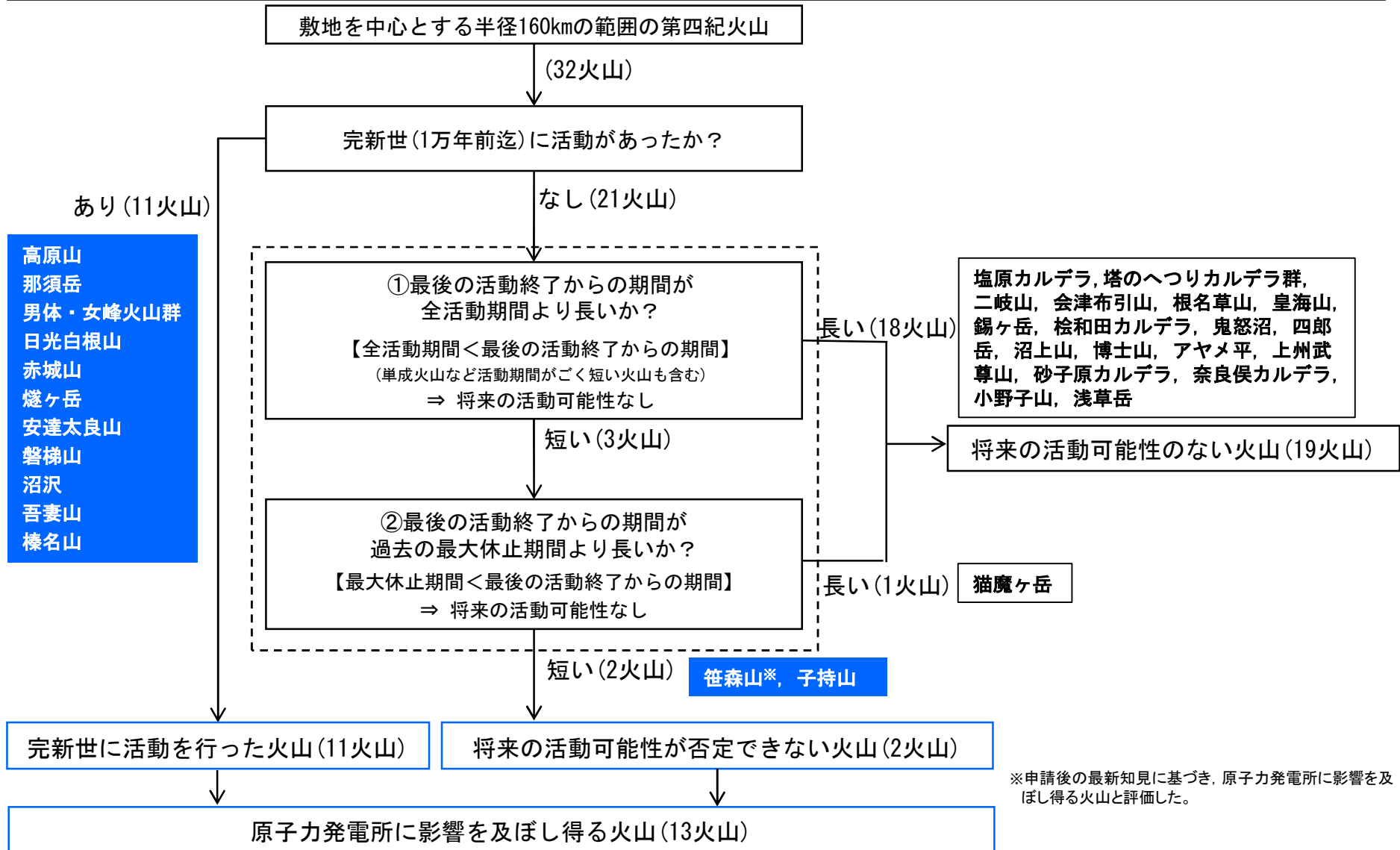
No.	第四紀火山	敷地からの距離 (km)
17	はかせやま 博士山	127
18	ひうちがたけ 燧ヶ岳	130
19	だいら アヤメ平	131
20	あだたらやま 安達太良山	133
21	さきもりやま 笹森山	133
22	ばんだいさん 磐梯山	135
23	じょうしゅうほたかやま 上州武尊山	137
24	ねこまがたけ 猫魔ヶ岳	137
25	すなごぼら 砂子原カルデラ	137
26	ならまた 奈良俣カルデラ	142
27	ぬまざわ 沼沢	143
28	こもちやま 子持山	145
29	あづまやま 吾妻山	147
30	おのこやま 小野子山	150
31	あさくさだけ 浅草岳	156
32	はるなさん 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。



※申請後の最新知見に基づき、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山と評価した。

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

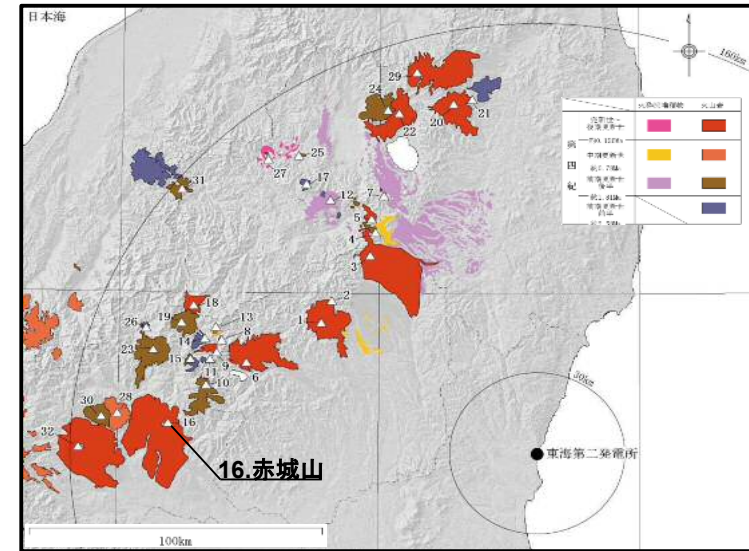
年代	活動期・火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献
1251年	中央火口丘形成期	1251年噴火噴出物 [※] 赤城鹿沼テフラ 等	2.49	大森編(1986) 鈴木(1990) 富田他(1994) 宇井編(1997) 青木他(2008)
		新期成層火山形成期	ガラン石質火砕流 樹形山溶岩 等	>25.3
30万年前	古期成層火山形成期	荒山溶岩	58	山元(2016)
		沼尾川溶岩 等		気象庁編(2013) 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 編(2014)

・活動年代については、西来他(2016)に基づき評価

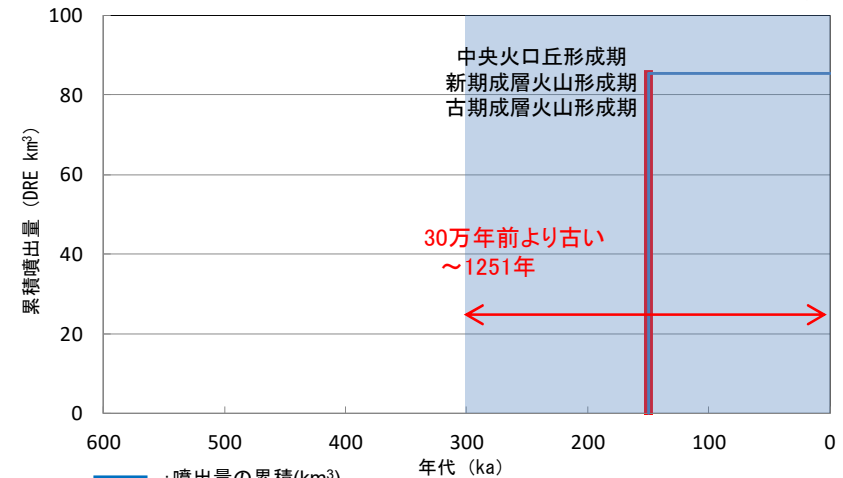
・下線: 有史以降の噴出物

※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)



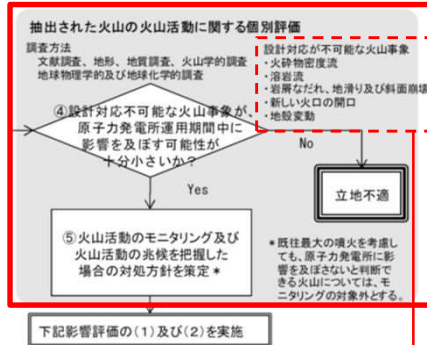
赤城山の階段ダイアグラム

・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. 地殻変動	地盤変位、沈下又は隆起、傾斜、地滑り	注 4
12. 火山性地震とこれに関連する事象	継続的微動、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

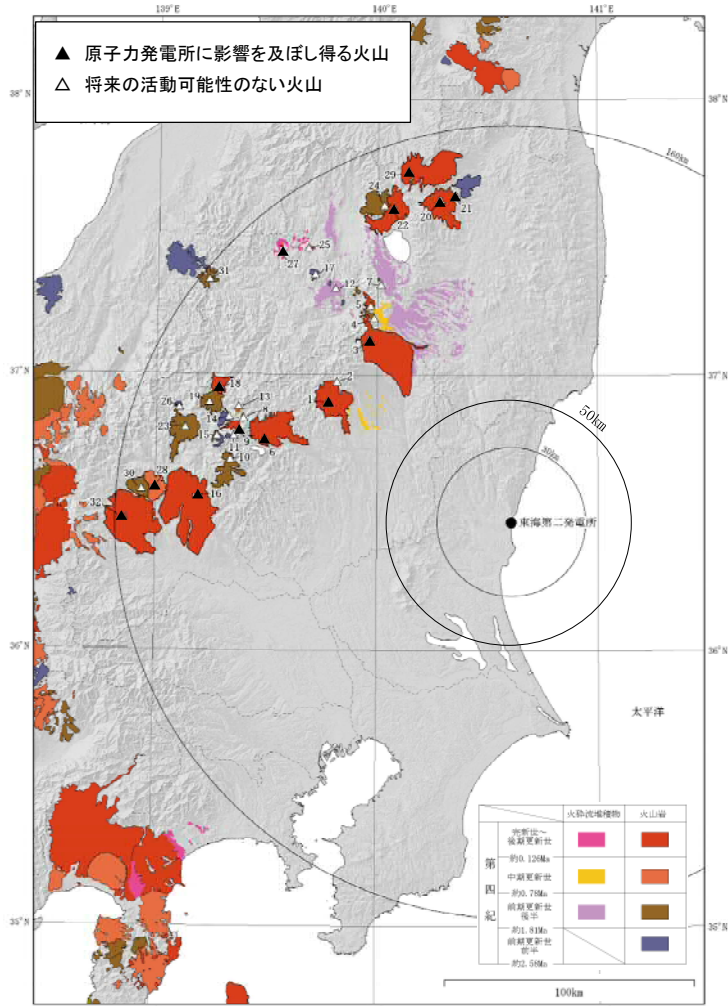
3-1. 火山の影響評価及び対策 (7/20) 立地評価

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)

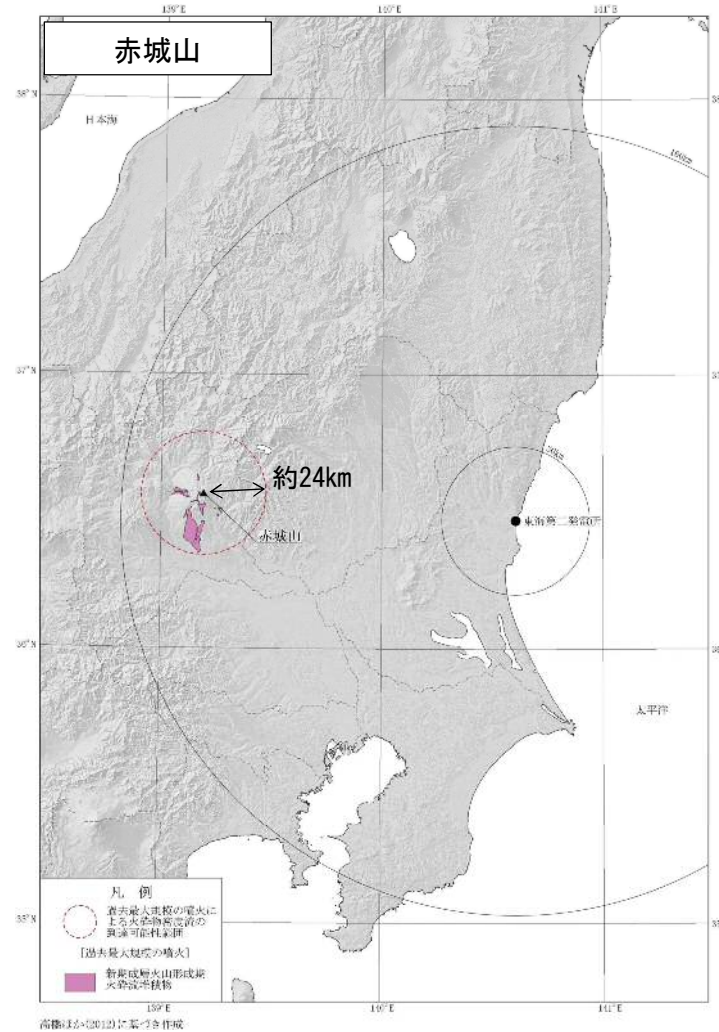
No.	火山名	敷地からの距離(km)	火砕物密度流(160km)		溶岩流 岩屑なだれ、地すべり及び斜面崩壊 (50km)	新しい火口の開口 地殻変動
			到達可能性範囲(km)	評価結果		
1	高原山	88	-	活動履歴上、噴出物は溶岩や火砕物が主体であり、火砕物密度流の発生実績は認められない。	敷地と火山の距離から、原子力発電所に影響を及ぼす可能性はない。	敷地は、火山フロントより前弧側(東方)に位置すること、敷地周辺では火成活動は確認されていないことから、この事象が原子力発電所の運転期間中に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。
3	那須岳	93	17	敷地と火砕物密度流の到達可能性範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

- 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。

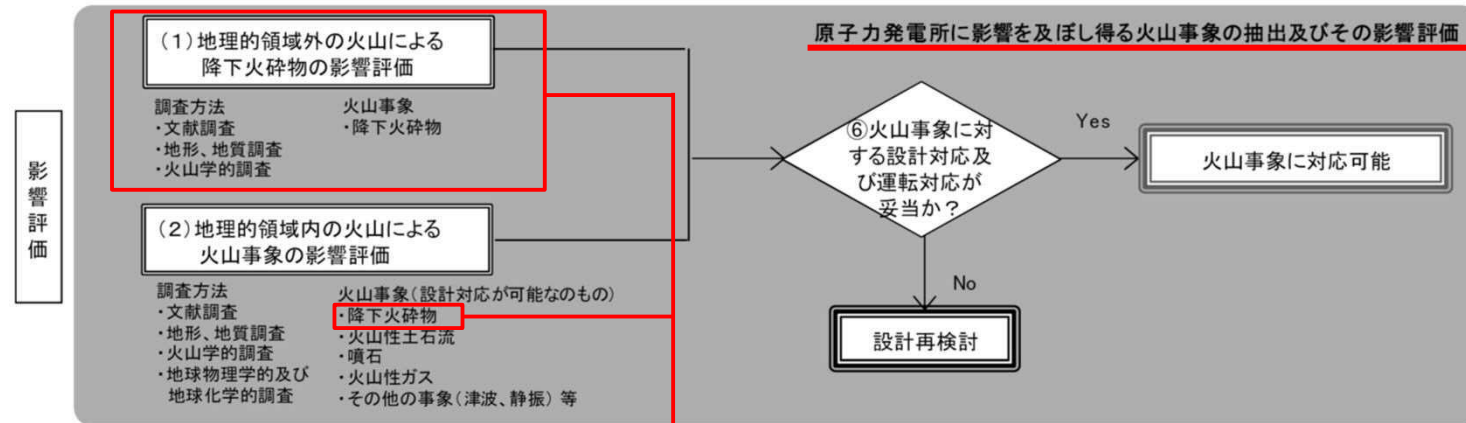


表1 原子力発電所に影響を与える可能性のある火山事象及び位置関係^{注1)}

火山事象	潜在的に影響を及ぼす特性	原子力発電所との位置関係
1. 降下火砕物	静的な物理的負荷、気中及び水中の研磨性及び腐食性粒子	注2
2. 火砕物密度流：火砕流、サージ及びブラスト	動的な物理的負荷、大気の過圧、飛来物の衝撃、300℃超の温度、研磨性粒子、毒性ガス	160km
3. 溶岩流	動的な物理的負荷、洪水及び水のせき止め、700℃超の温度	50km
4. 岩層なだれ、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	継続的微小、多重衝撃	注4
13. 熱水系及び地下水の異常	熱水、腐食性の水、水の汚染、氾濫又は湧昇、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

(参考資料：IAEA SSG-21 及び JEAG4625)

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。

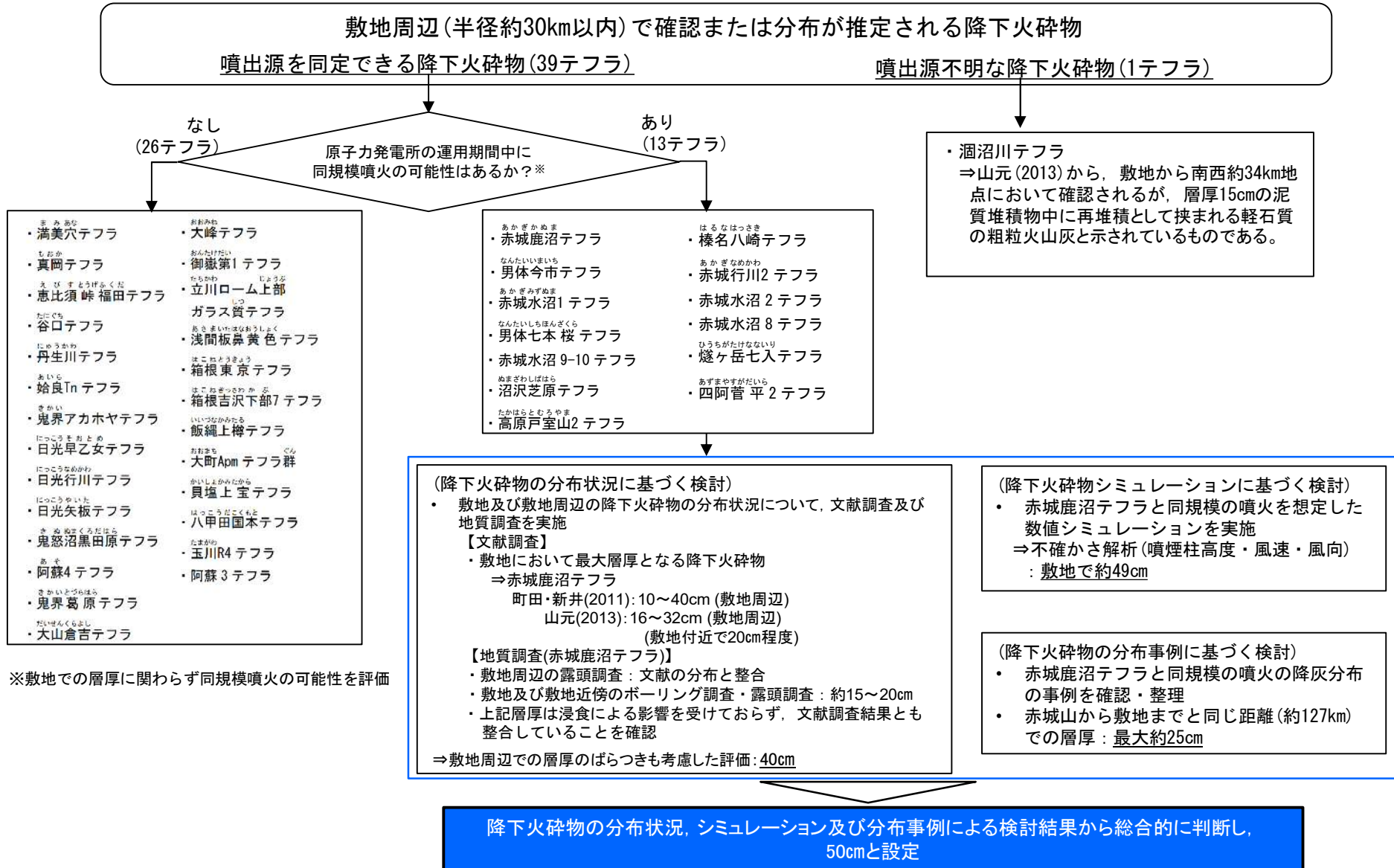
注2：降下火砕物に関しては、原子力発電所の敷地及び敷地付近の調査から求められる単位面積あたりの質量と同等の火山灰等が降下するものとする。

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 (10/20) 影響評価 降下火砕物の影響評価 検討フロー

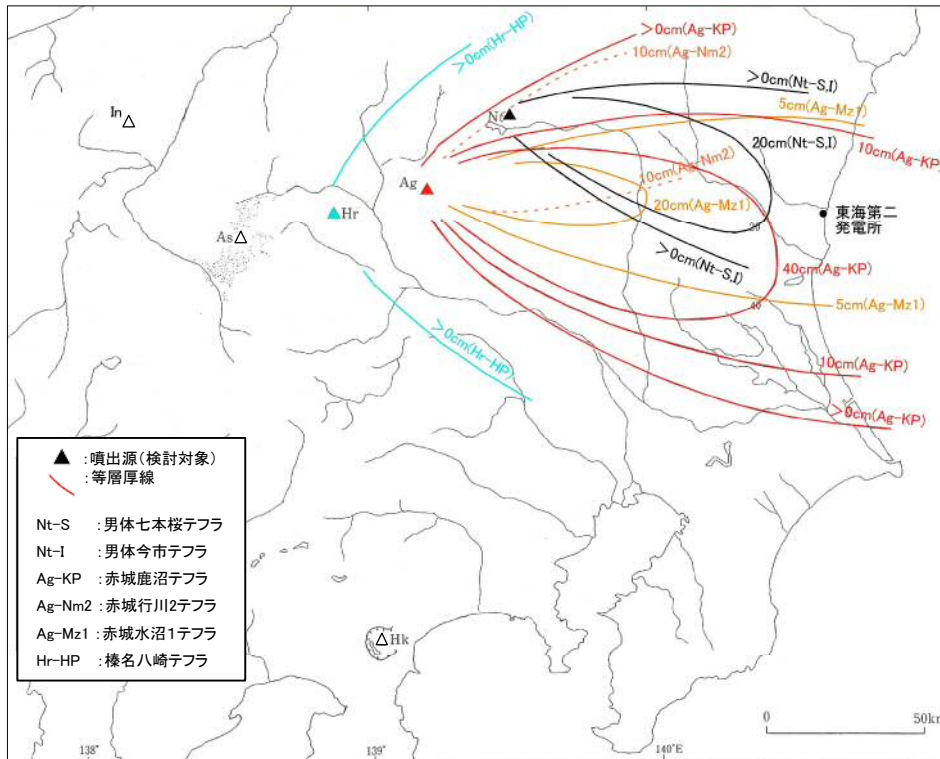


3-1. 火山の影響評価及び対策 (11/20) 影響評価 降下火砕物の影響評価 文献調査(敷地周辺で確認または分布が推定される降下火砕物)

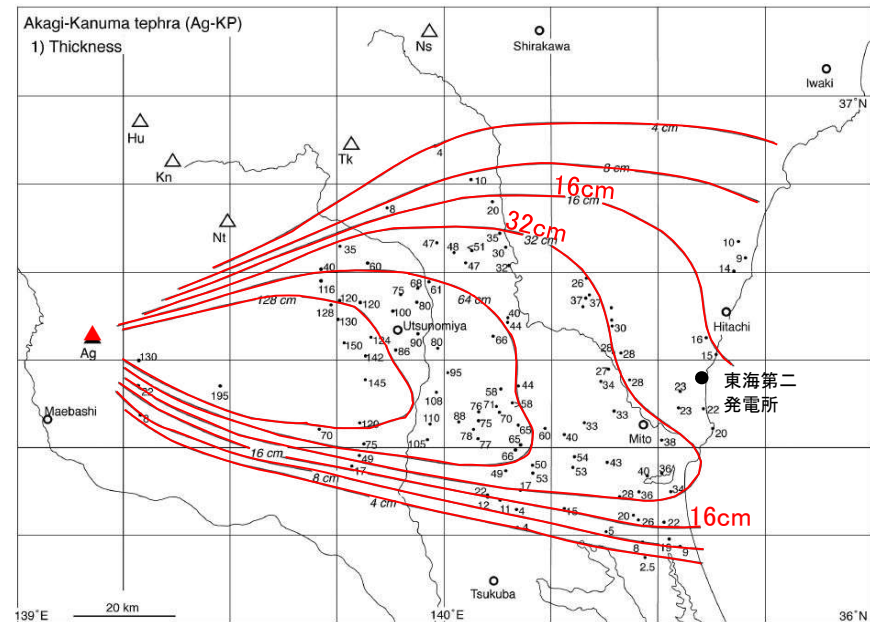


敷地周辺(半径約30km以内)で確認または分布が推定される降下火砕物のうち、原子力発電所の運用期間中に同規模噴火の可能性のある降下火砕物の分布を以降に示す。

- 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) 数字は降下火砕物の層厚で、単位はcm。2) 数字は本質粒子の平均最大粒径で、単位はmm。Ag = 赤城火山；Hu = 懸ヶ岳火山；Kn = 鬼怒沼火山；Ns = 那須火山；Nr = 男体火山；Tk = 高原火山。

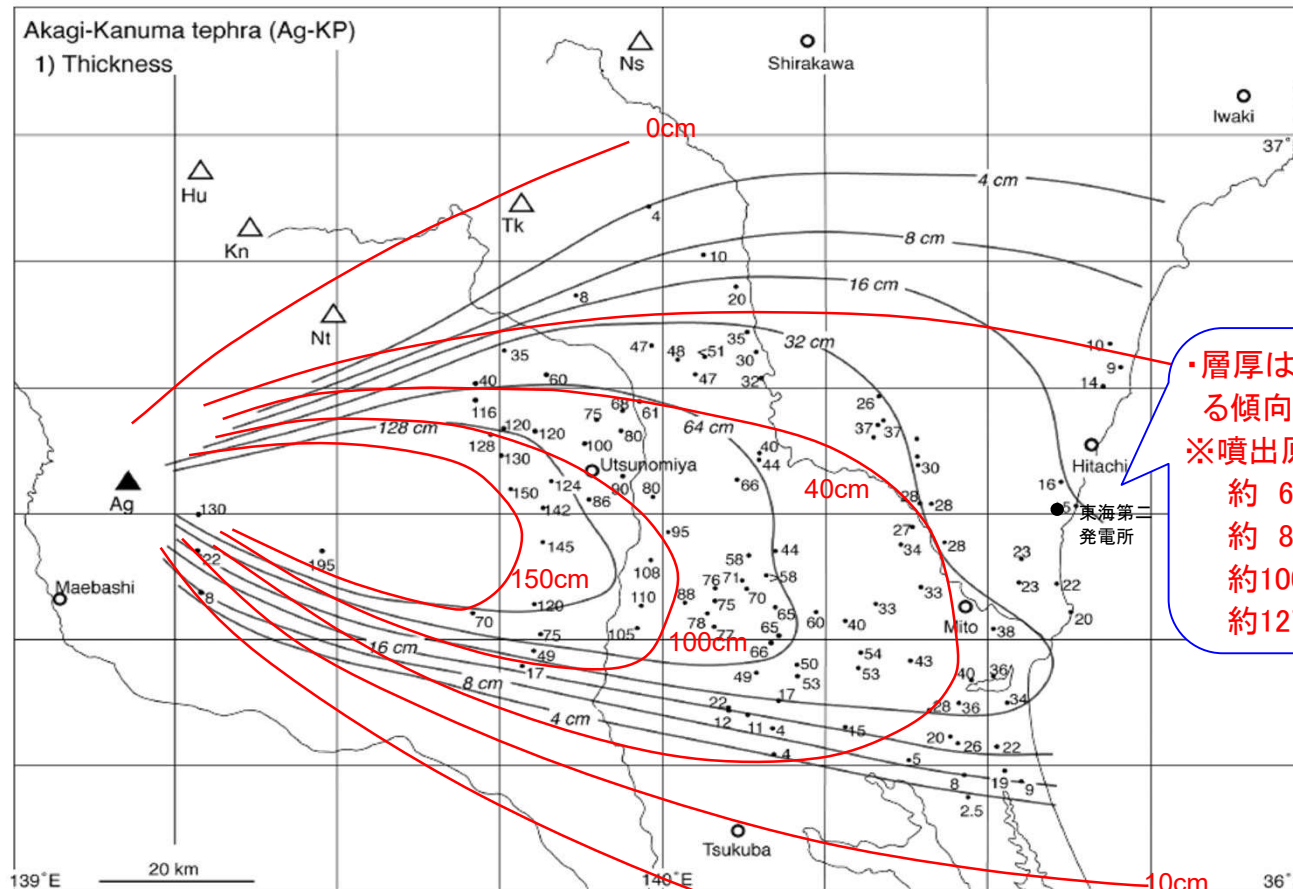
赤城鹿沼テフラの等層厚線図
(山元(2013)に加筆)

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。

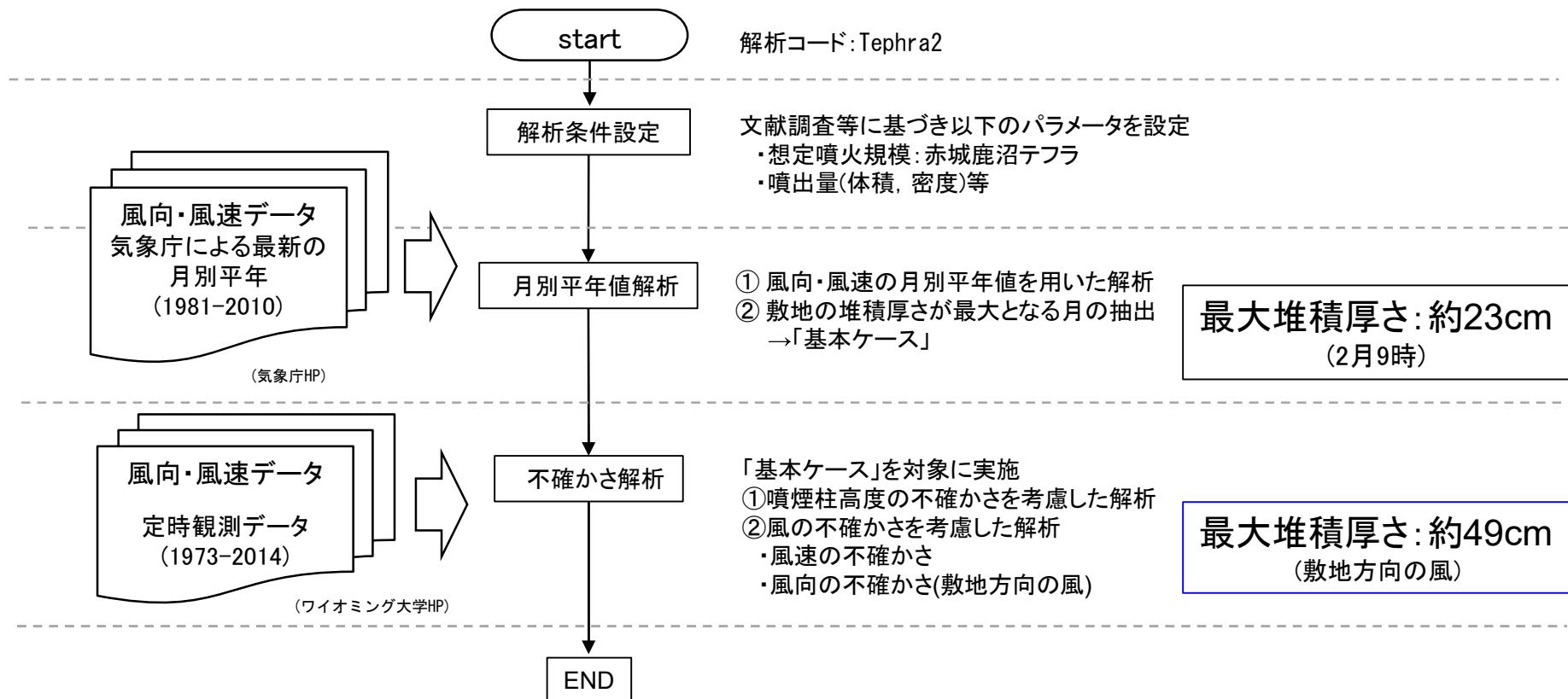
▲ : 噴出源
 〰 : 町田・新井(2011)
 〰 : 山元(2013)

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



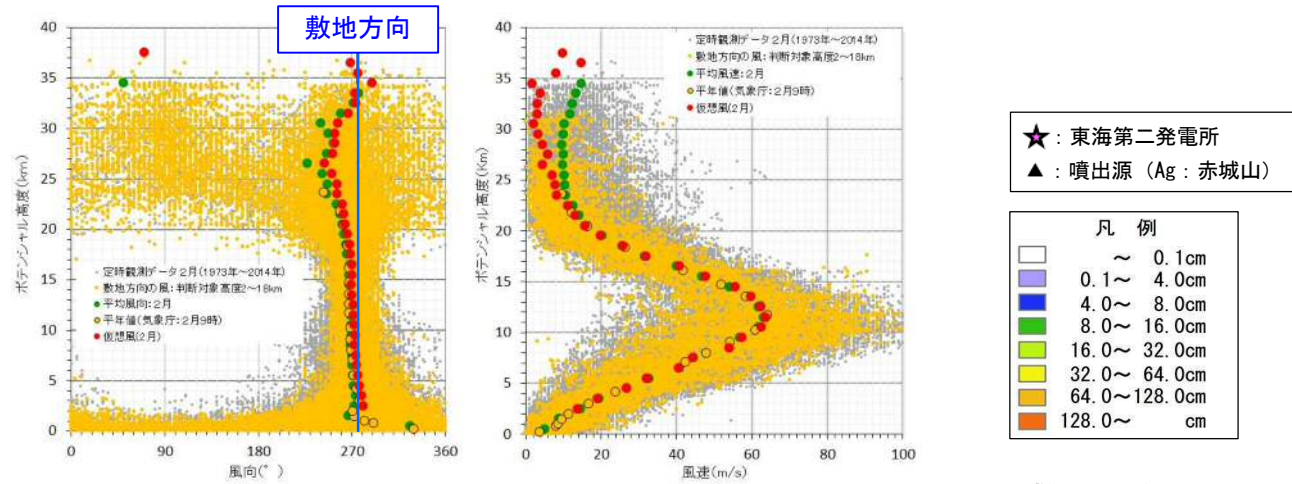
- 降下火砕物の数値シミュレーションは火山影響評価ガイドにおいては、原子力発電所内及びその周辺敷地において降下火砕物の堆積が観測されない場合の堆積物量を設定する方法の一つとされている。
- ここでは、敷地で最大層厚となる降下火砕物(赤城鹿沼テフラ)と同等規模の噴火が発生した場合における、現在の気象条件での不確かさを考慮した敷地での層厚をシミュレーションによって確認する。
- 不確かさを考慮したシミュレーションを実施した結果、敷地での最大堆積厚さは約49cmであった。



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)

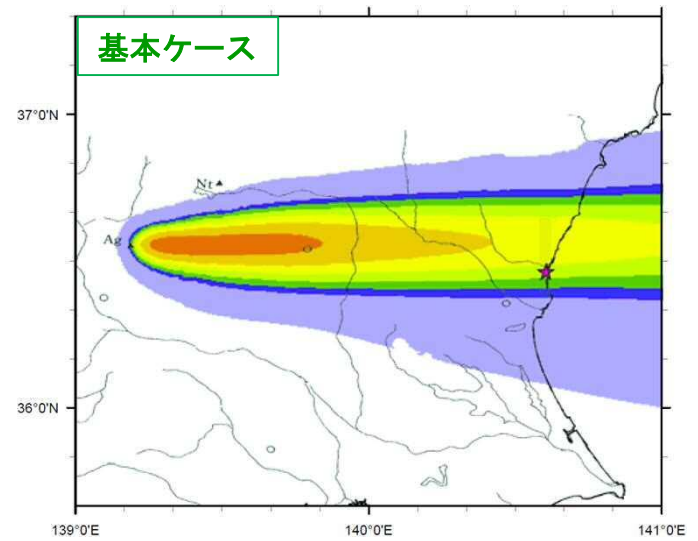


不確かさを考慮した解析として、2月の観測値(1973年~2014年)を用いて、敷地方向の風を作成して検討した結果、敷地における堆積厚さは約49 cmとなった。



■ 2月(9時)の平年値の風

◇ 敷地方向の風

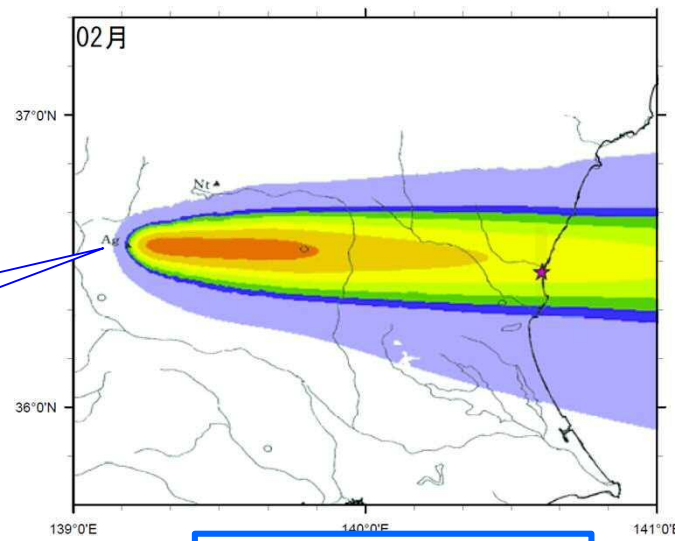


堆積厚さ: 22.5cm



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 (乾燥状態) ~ 1.5g/cm³ (湿潤状態) ^{※5}

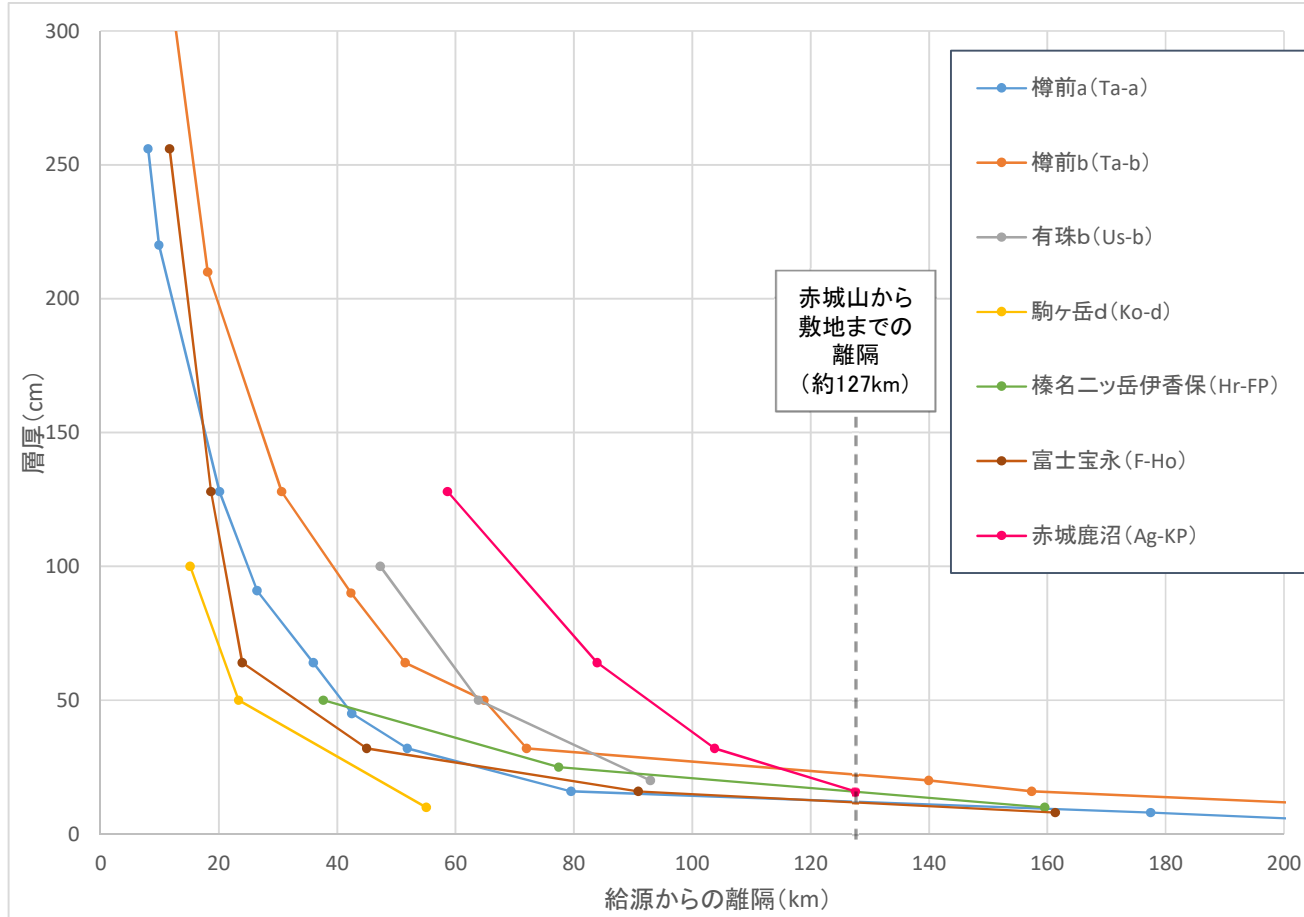
※5: 宇井編(1997)によると「湿ると1.2を超えることがある」とされていることを踏まえ、保守的に設定

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(1~10km³)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)

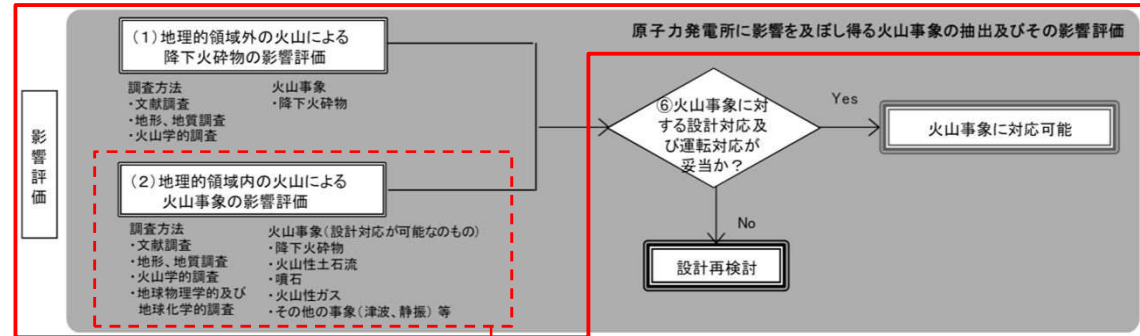
降下火砕物 (VEI5) の層厚減衰曲線※3

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. 地殻変動	地盤変位、沈下又は隆起、傾斜、地滑り	注 4
12. 火山性地震とこれに関連する事象	継続的微小動、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。

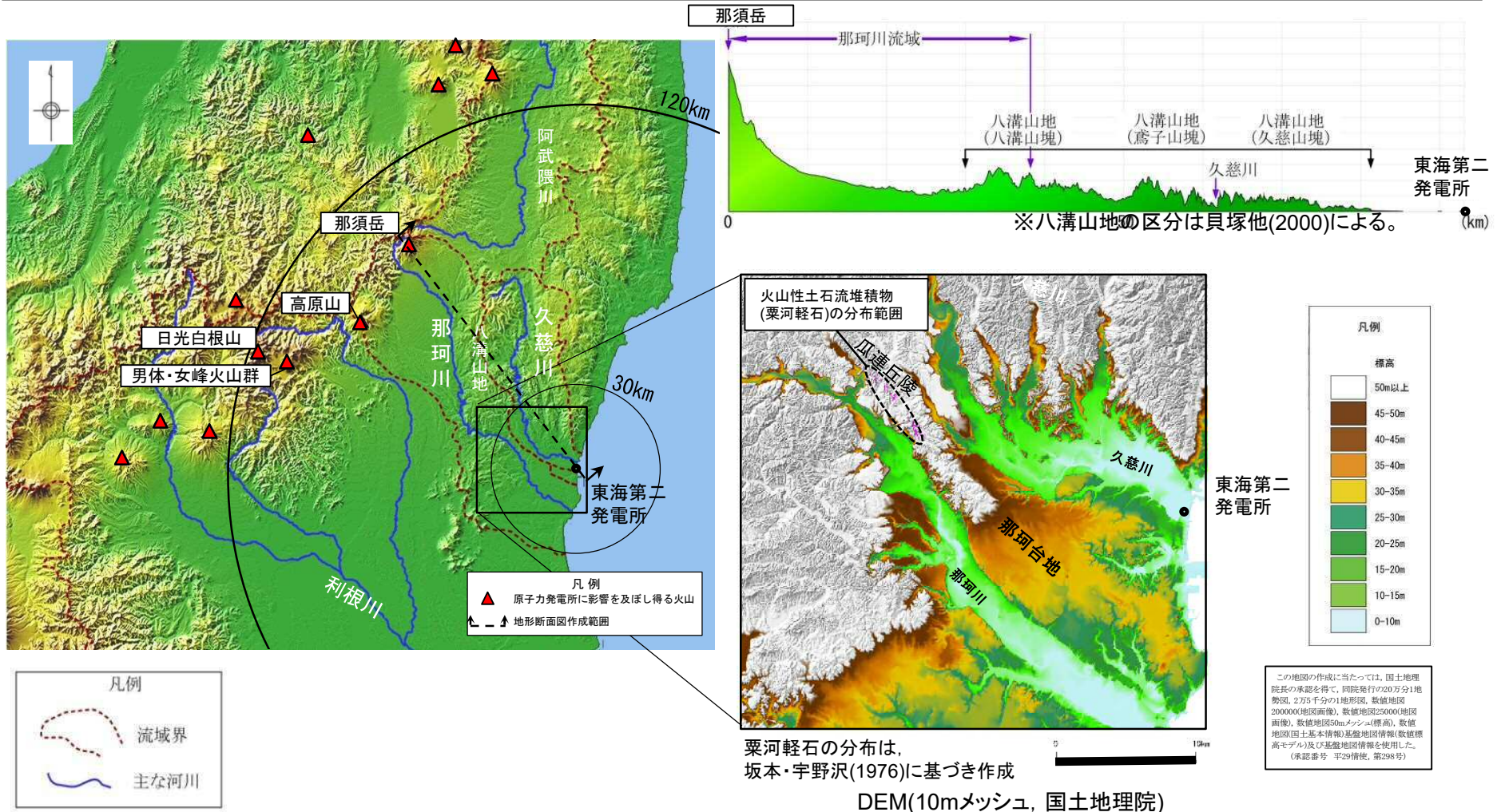
3-1. 火山の影響評価及び対策 (19/20) 影響評価

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(粟河軽石)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))

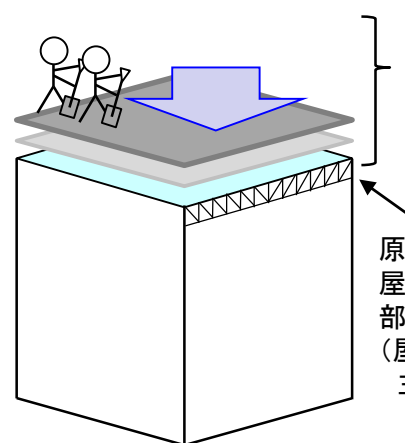
3-2. 火山の影響評価(設備影響, 対策) (1/25)

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))(約750kg/m²)
- ・積雪堆積量(10.5cm(密度約0.2g/cm³))(約20kg/m²)
- …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)

降下火砕物, 積雪, 除灰人員等荷重を合わせて, 建屋屋上1m²当たり約870kgの荷重を考慮

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
屋根部材各
部位
(屋根スラブ・
主トラス)

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

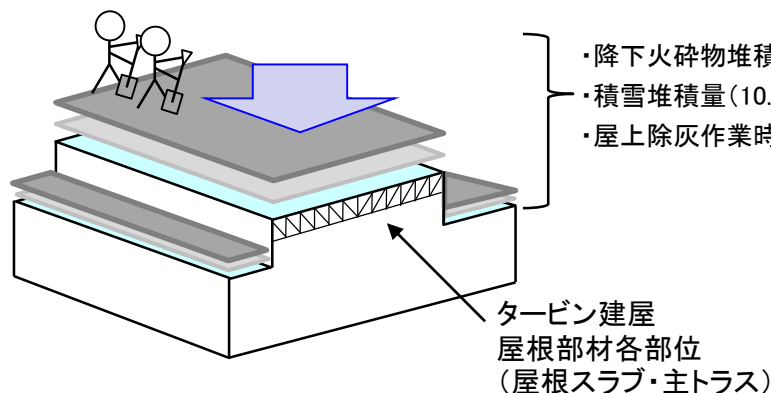
原子炉建屋 屋根スラブ(せん断力)評価結果
(検定:短期許容応力度)

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))(約750kg/m²)
 - 積雪堆積量(10.5cm(密度約0.2g/cm³))(約20kg/m²)
 - 屋上除灰作業時の人員等荷重を考慮(積載荷重約100kg/m²)
- 降下火砕物, 積雪, 除灰人員等荷重を合わせて, 建屋屋上1m²当たり約870kgの荷重を考慮

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 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: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

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	

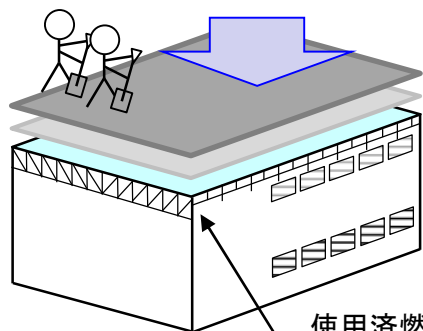
※1 検定値を超過した下弦材は、終局耐力に対して評価

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))(約750kg/m²)
- ・積雪堆積量(10.5cm(密度約0.2g/cm³))(約20kg/m²)
- ・屋上除灰作業時の人員等荷重を考慮(積載荷重約100kg/m²)

降下火砕物, 積雪, 除灰人員等荷重を合わせて, 建屋屋上1㎡当たり約870kgの荷重を考慮

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。**

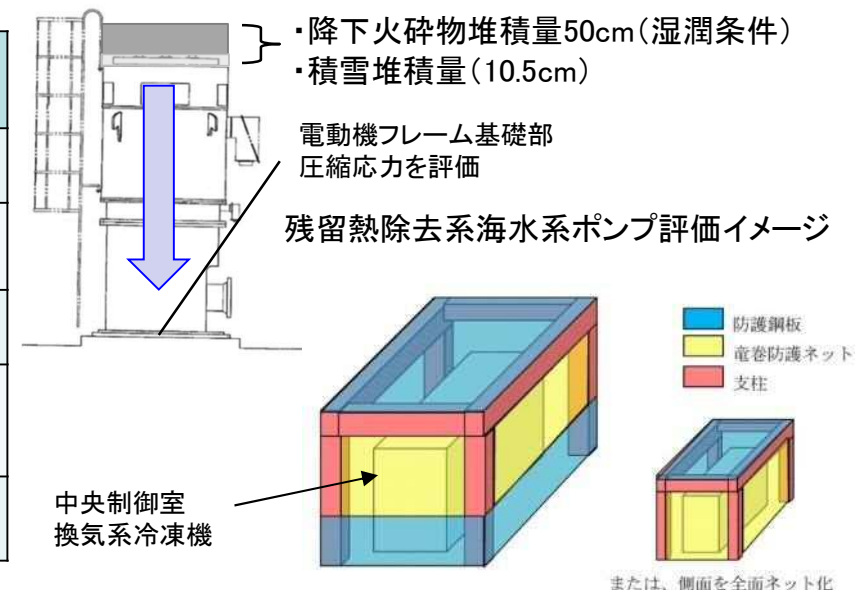
・非常用ディーゼル発電機等

・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の防護構造物イメージ

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

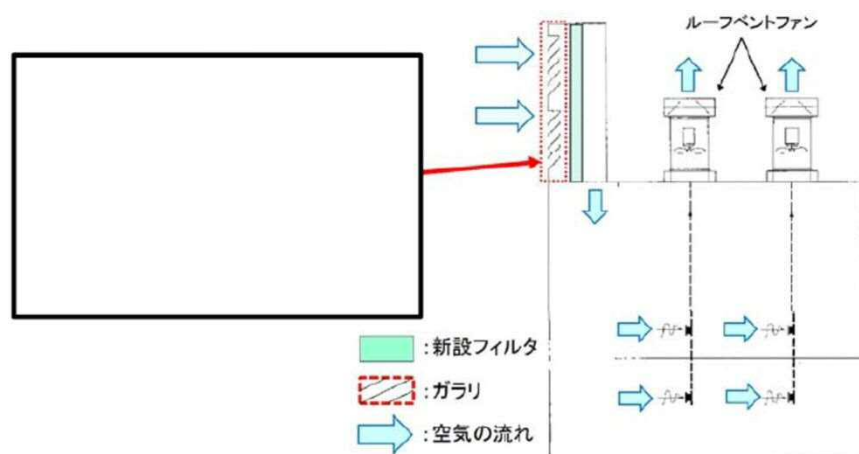
・室内への降下火砕物侵入防止対策として, 非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)室換気系の外気取入口にフィルタを追設し, 必要に応じて清掃及び取替え可能な設計とする。

➤ 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 試験用紛体11種に対して80%以上の捕集効率)が設置されており, 想定する降下火砕物は十分除去され, 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。

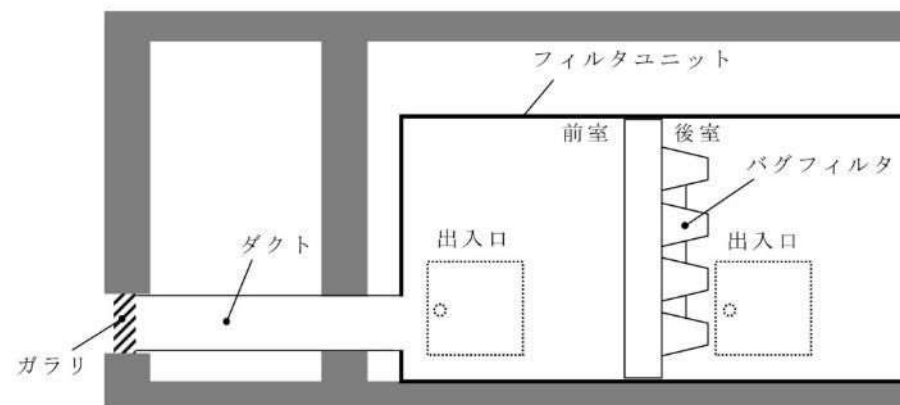
➤ その他の換気空調設備(外気取入口)

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

外部事象-112



換気空調設備(外気取入口)概要図

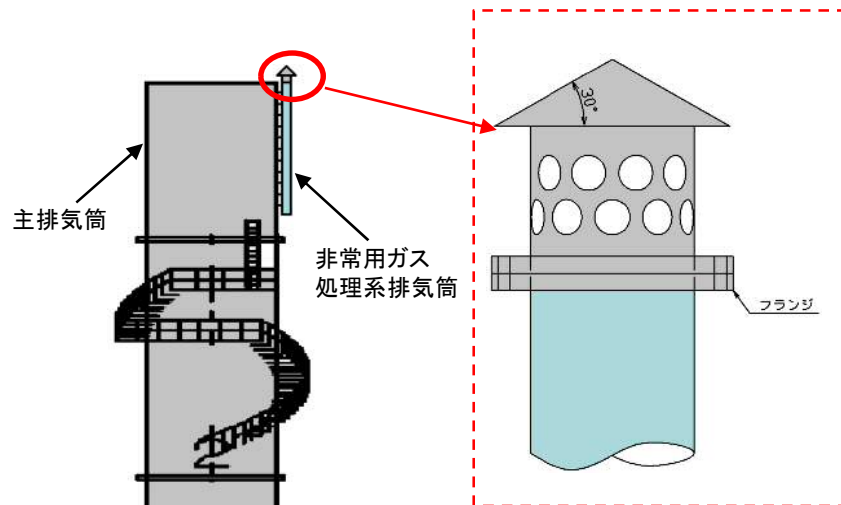
3-2. 火山の影響評価(設備影響, 対策) (6/25)

➤非常用ガス処理系排気筒

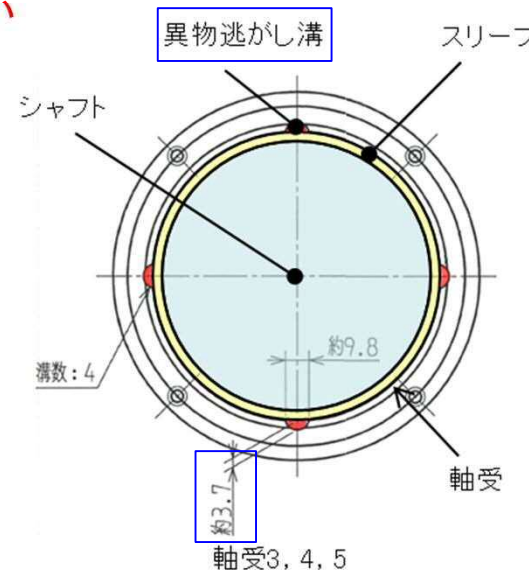
- ・開口部が上方向を向いている非常用ガス処理系排気筒に対しては、**降下火砕物が堆積し難い形状の侵入防止対策を施すことで、降下火砕物の影響に対して機能を損なわない設計とする。**

➤非常用海水ポンプ

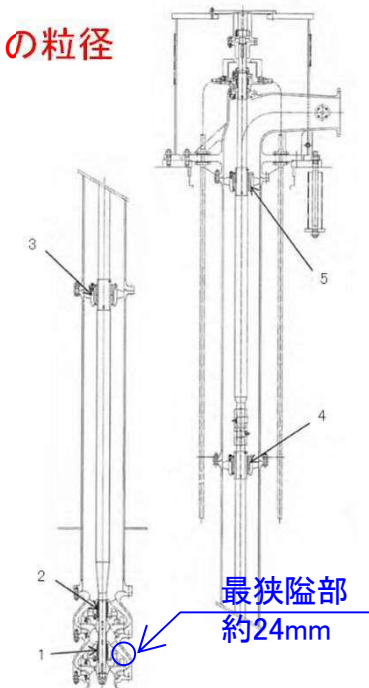
- ・**海水ポンプ流水部**：ポンプ流水部の最も狭い箇所は、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ流水部の**約24mm**であり、**想定する降下火砕物の粒径(8mm)より大きい**ため、閉塞には至らない。
- ・**海水ポンプ軸受**：ポンプ軸受の隙間は、約1.0mmの許容値で管理されている。一部の降下火砕物は、軸受の隙間より軸受内部に侵入する可能性があるが、**異物逃がし溝(最小約3.7mm)**が設けられており、**軸受部の閉塞には至らない**。また、異物逃がし溝より粒径の大きい降下火砕物は軸受隙間に入り込まずに**ポンプ揚水とともに吐出口へ流されるため閉塞することはない**。
- ・**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

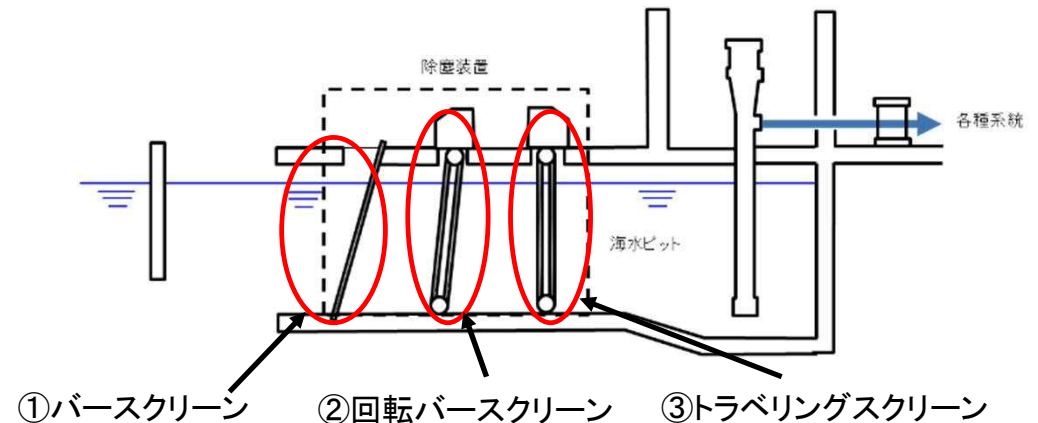
➤ 海水取水設備(除塵装置)

・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、それぞれバー枠、網枠が設置されており、それらのバーピッチ及び網枠メッシュに対して、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い、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

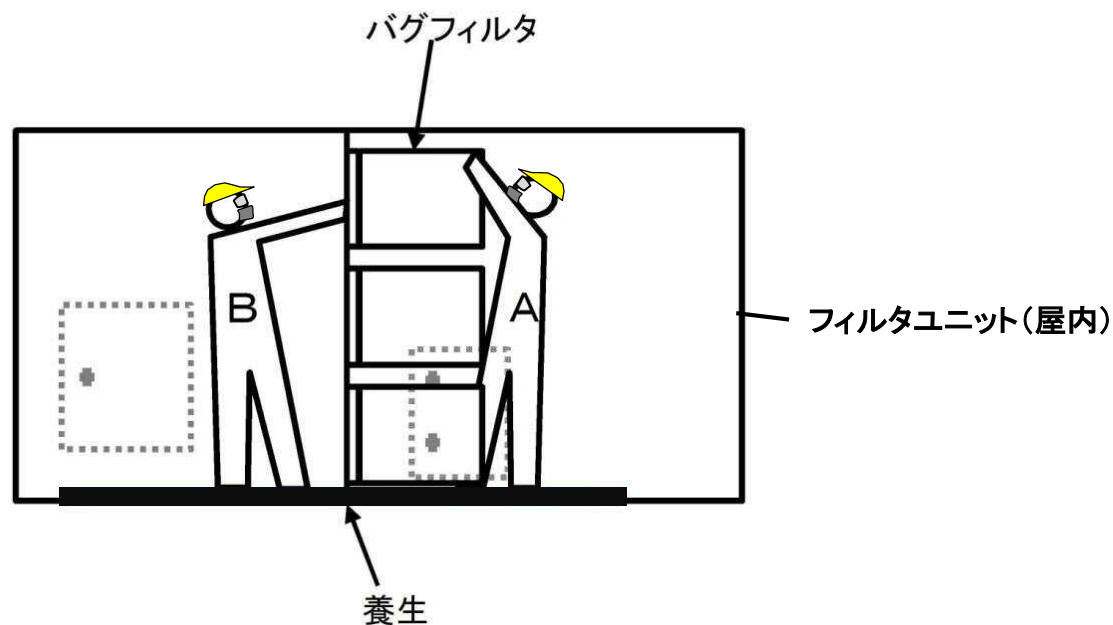
機 器		伝熱管内径 (狭隘部)
非常用ディーゼル 発電機(高圧炉心 スプレイ系ディー ゼル発電機を含む) 用冷却器	空気冷却器	取替(8mm以上)
	潤滑油冷却器	13.6mm
	清水冷却器	13.6mm
	燃料弁冷却油冷却器	13.6mm
残留熱除去系熱交換器		20.4mm
RCIC, RHR, LPCS, HPCSポンプ室空調器		13.5mm
格納容器雰囲気モニタリング系冷却器		取替(8mm以上)

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	網枠メッシュ: 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



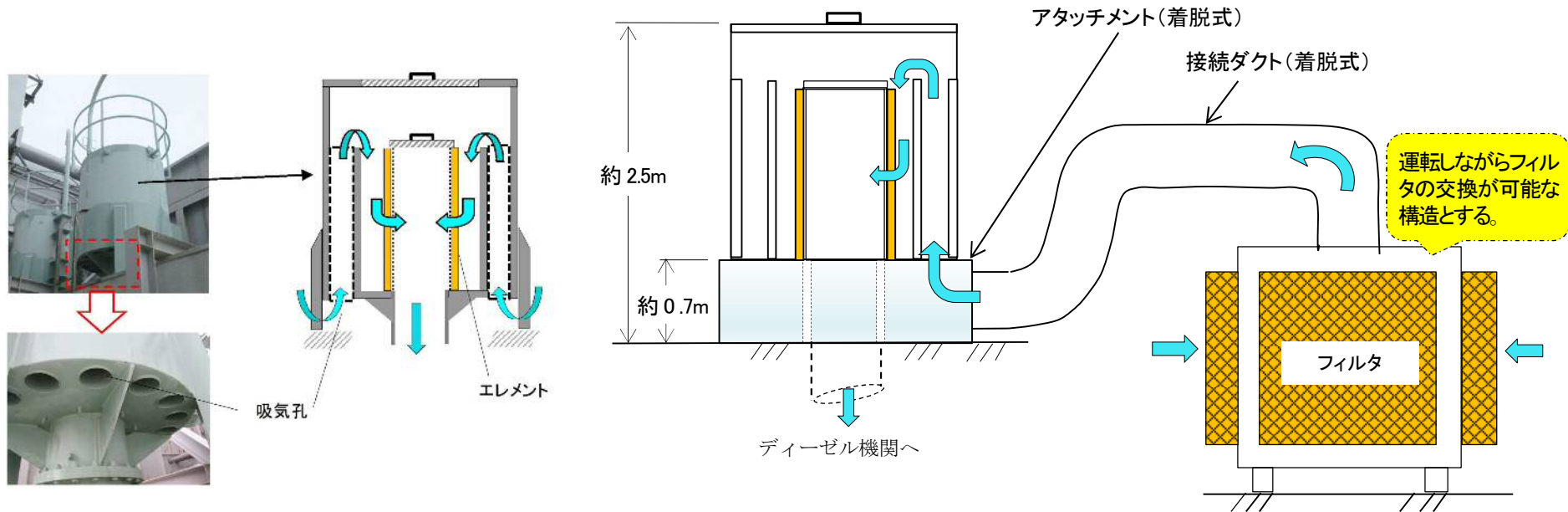
バグフィルタ取替作業イメージ

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、砂等と比べて破砕し易く※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。**

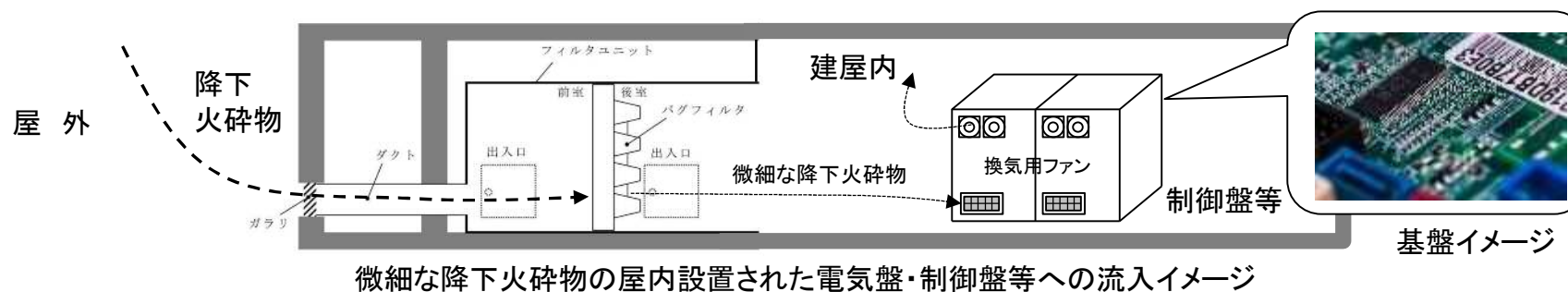
これらより, **降下火砕物の屋外設備への付着や堆積及び海水系等への混入により, 直ちに金属表面の腐食が進むことはない。**

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

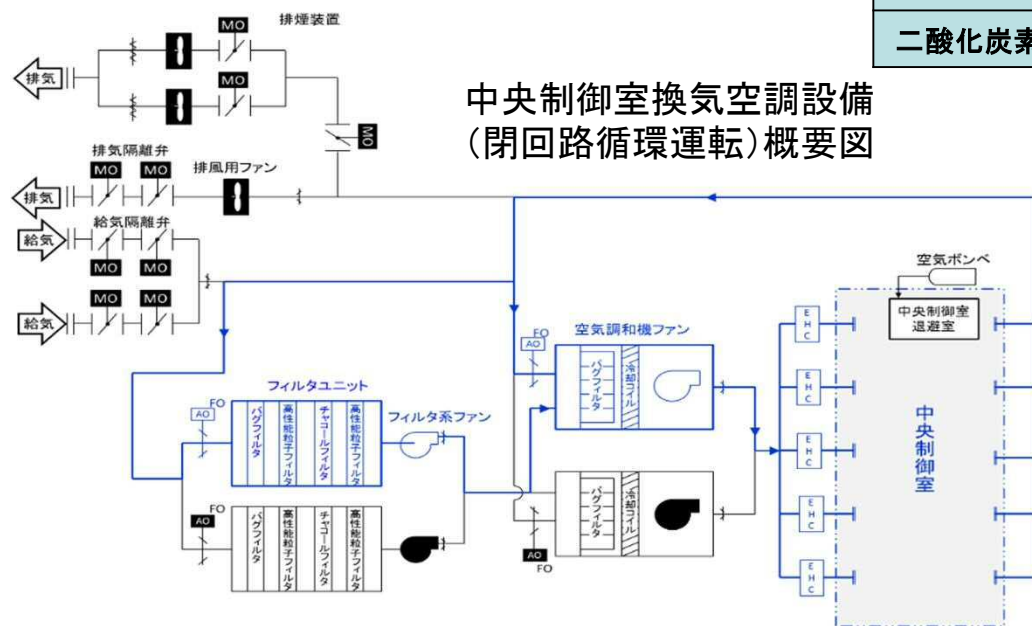
これらより閉回路循環運転は2日間以上可能

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%



中央制御室換気空調設備 (閉回路循環運転) 概要図

- EHC 電気加熱コイル
- MO 電動駆動弁:開
- MO 電動駆動弁:閉
- AO 空気作動弁:開
- AO 空気作動弁:閉
- 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
- ・中央制御室バウンダリ内体積: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)

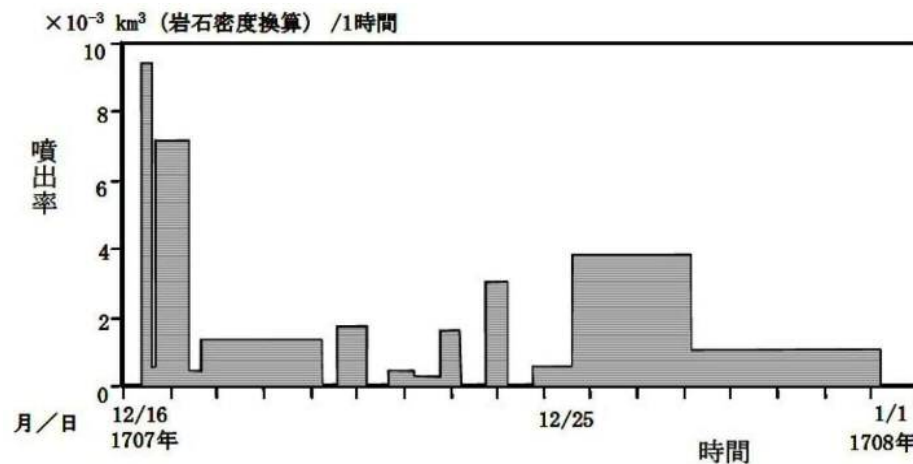


<参考> 観測された諸噴火の最盛期における噴出率と継続時間について

- ・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



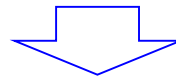
富士山(宝永噴火1707年)の噴出率の推移(宮地 他(2002))

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。

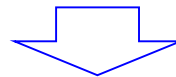
➤ 外部電源の喪失及び発電所外のアクセス性低下への対応

- ・ 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

3-2. 火山の影響評価(設備影響, 対策) (18/25)



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。**

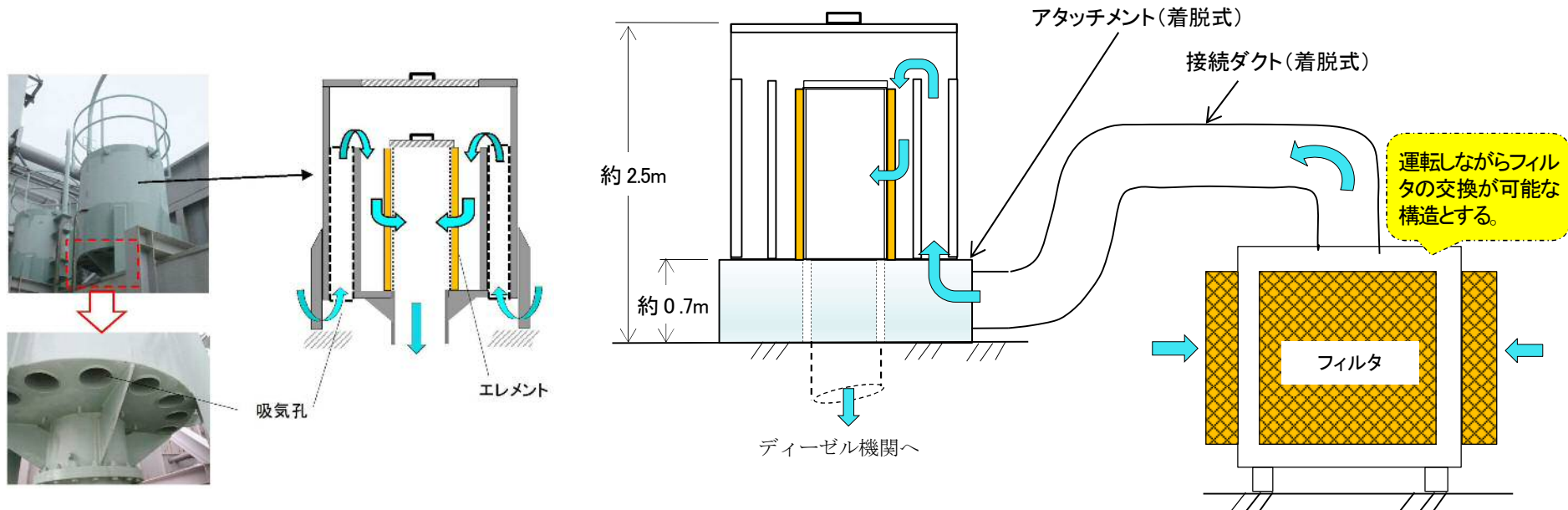
効果火砕物による影響要因	高い気中濃度による新たな影響	新たな対応
構造物への静的負荷	なし(火砕物の総量に依存)	—(対策は濃度に依存しない)
水循環系の閉塞	なし(火砕物の総量, 粒径に依存)	同上
水循環系の内部における摩耗	なし(短期的な影響は軽微)	同上
換気系, 電気系及び計測制御系に対する機械的影響	あり(外気取入部の清掃間隔短縮)	<ul style="list-style-type: none"> ・D/G: 吸気フィルタの容量増強(サポート系として継続運転が必要) ・中央制御室空調: 不要(隔離しての清掃可能)
換気系, 電気系及び計測制御系に対する化学的影響	なし(短期的な影響は軽微)	—(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 $3.5g/m^3$ 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(高圧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)

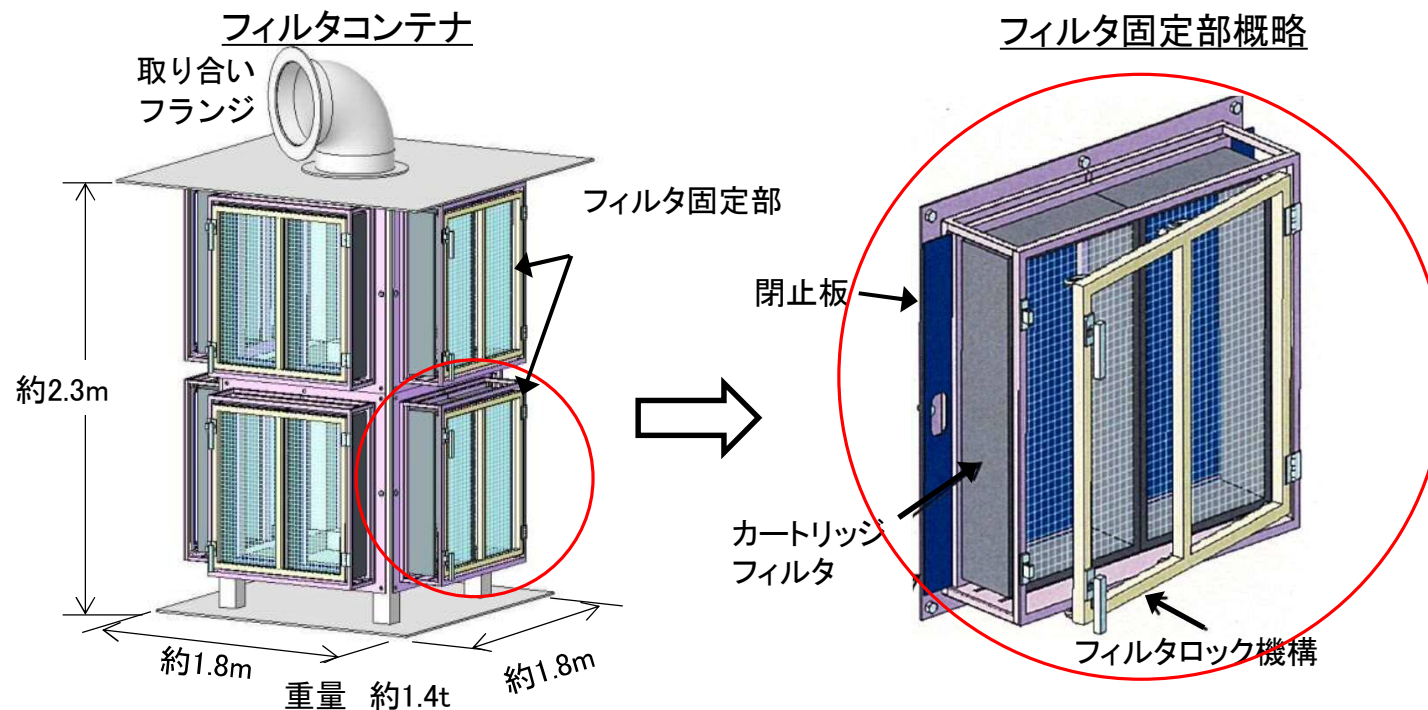
着脱式改良型フィルタ設置イメージ

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個数 : 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

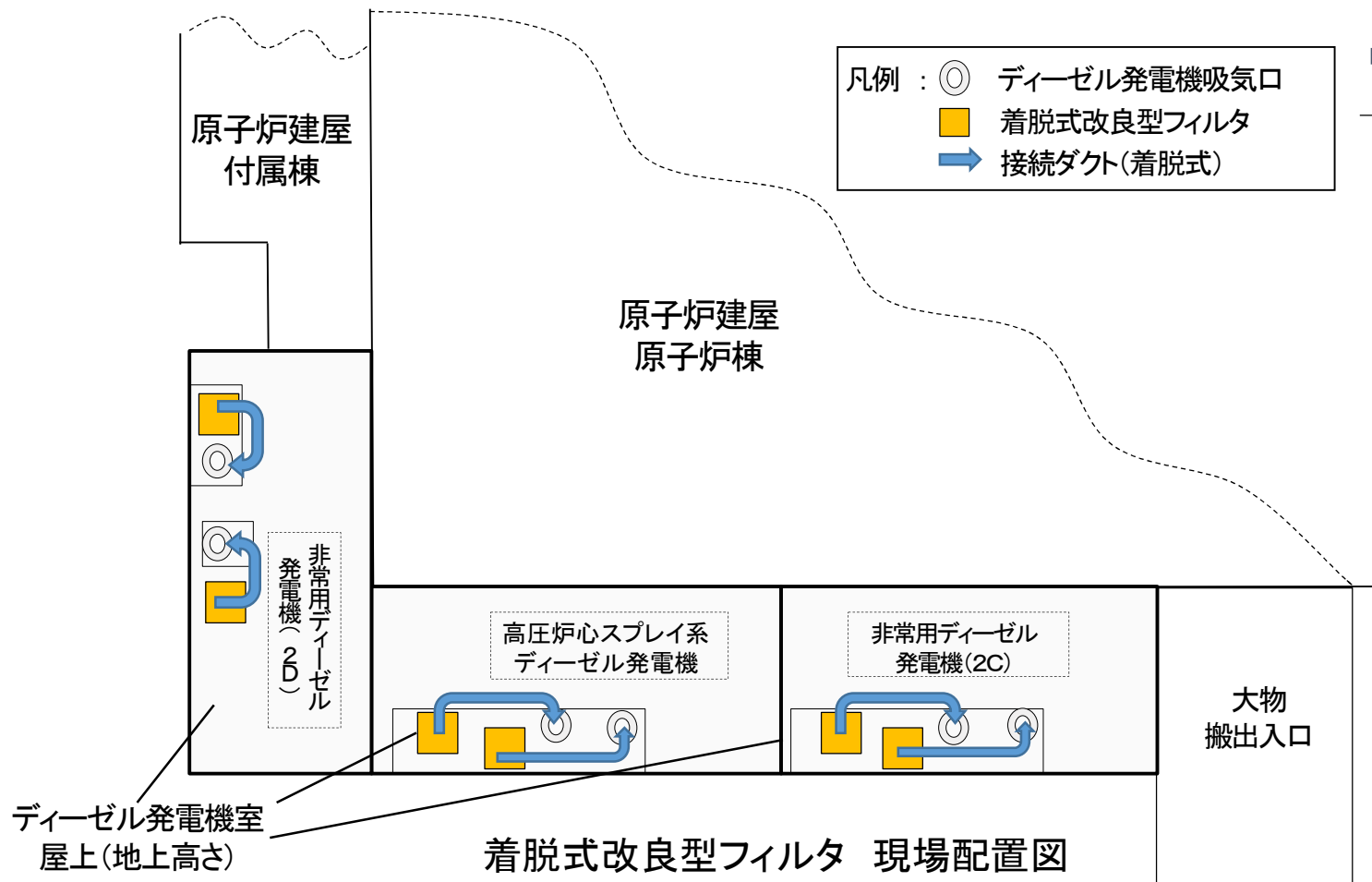


着脱式改良型フィルタ概略構造図

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。



3-2. 火山の影響評価(設備影響, 対策) (24/25)

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	フィルタロック機構を開放して、カートリッジフィルタを取り外し		
④	清掃後のカートリッジフィルタを挿入		
⑤	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		
⑥	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)

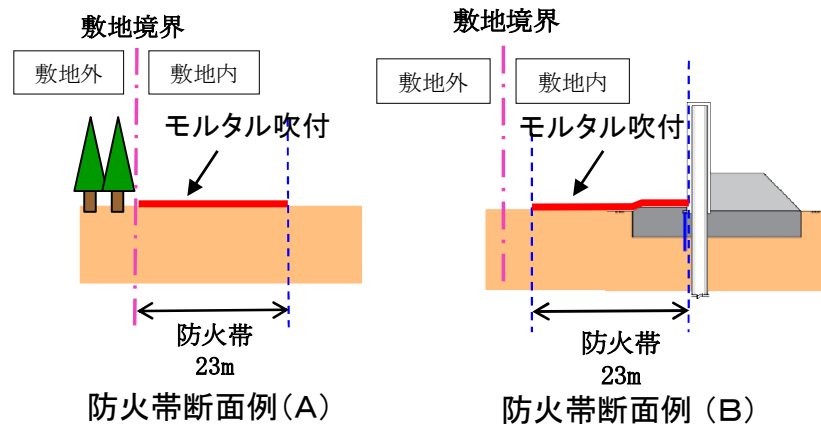
4. 森林火災の影響評価及び対策(1/10)

(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

4. 森林火災の影響評価及び対策(2/10)

●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> <p>①</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>【防潮堤あり】</p> <p>④</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>【防潮堤あり / なし】</p> <p>⑦</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>【防潮堤なし】</p> <p>②</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>【防潮堤あり】</p> <p>⑤</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>【防潮堤あり】</p> <p>⑧</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>【防潮堤あり】</p> <p>③</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>【防潮堤あり / なし】</p> <p>⑥</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>【防潮堤あり】</p> <p>⑨</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 	

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。

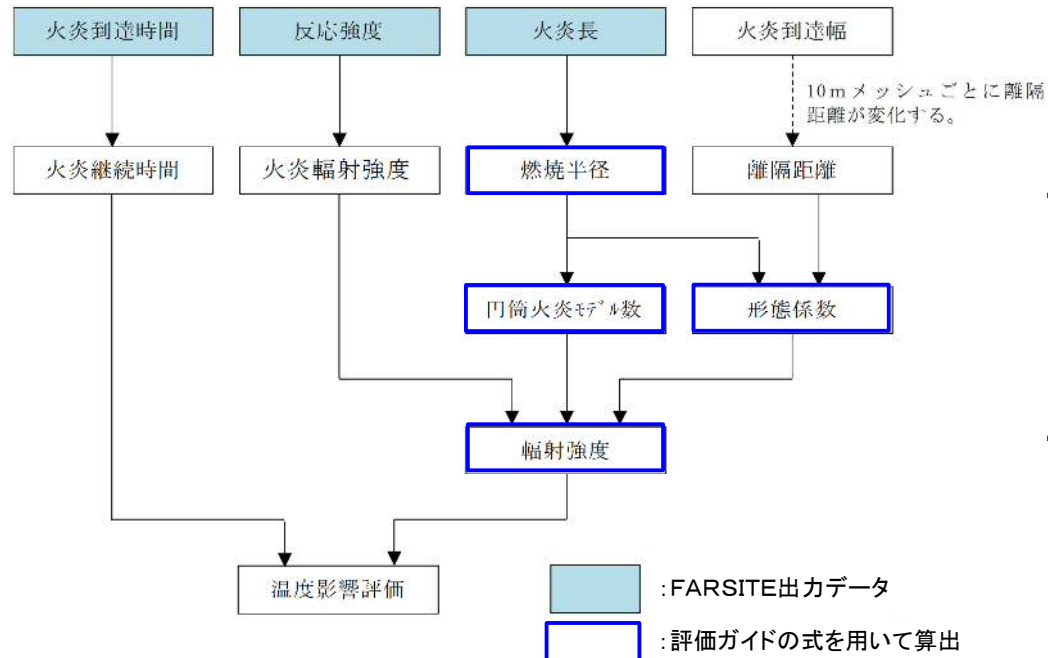
表 評価で用いるFARSITEの出力

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

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

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

ϕ_i : 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)

・火炎輻射強度の算出

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

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

・輻射強度の算出式

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

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

ϕ_i : 形態係数

R_f : 最大火炎輻射強度(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が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

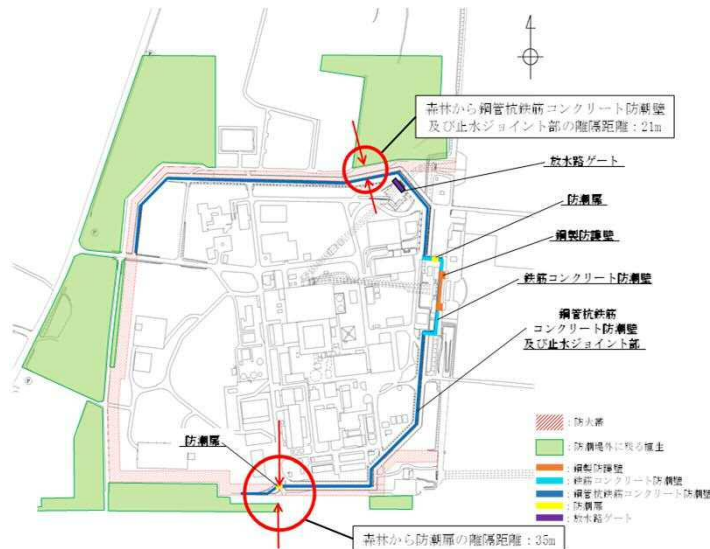
津波防護施設に対し森林火災影響評価を実施

- (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

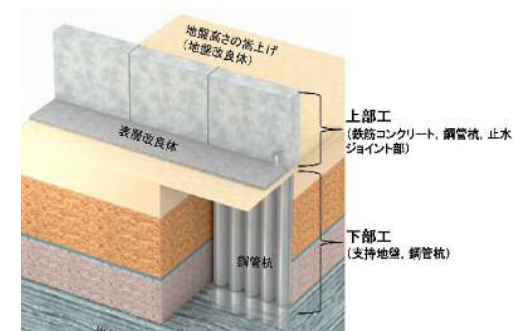
● 評価結果

- ・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。

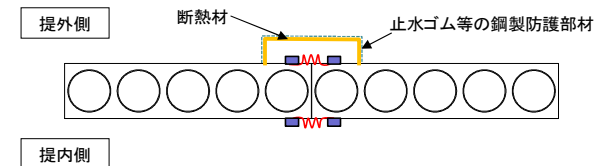
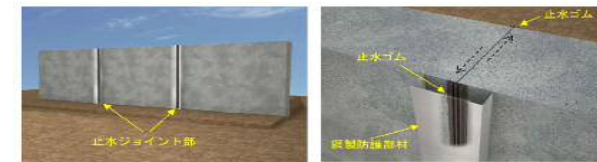
津波防護施設	危険距離 (m)	森林からの離隔距離(m)
防潮壁	18	21
止水ジョイント部	20	21
防潮扉	20	35



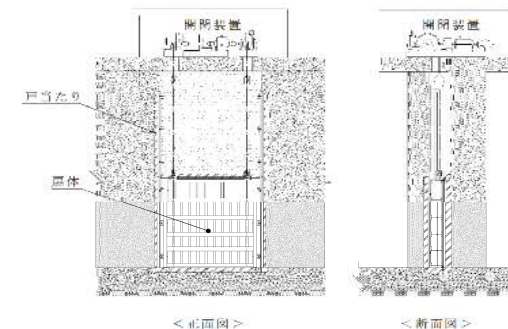
津波防護施設と森林との位置関係



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(1/31)



● 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、対象施設の情報を入力
- ・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を入力
- ・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(2/31)

(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)
[Empty table body]			

5. 爆発の影響評価(3/31)



● 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(4/31)



● LNG基地のガスタンク爆発時の飛来物の飛散距離の評価

- ・ LNG基地の**ガスタンク爆発時の飛来物の最大飛散距離**を評価する。LNGタンク・LPGタンクは低温貯蔵型であり、タンク爆発時に飛来物に付与されるエネルギーより最高速度を求め飛散距離を算出する。
- ・ 以下の算出式により、各タンクの爆発エネルギーと飛来物の初速度を算出する。

$$v_i = \sqrt{\frac{2 \times A_{ke} \times E_{av}}{M_v}}$$

v_i : 飛散物初速度 (m/s), E_{av} : 爆発時エネルギー (J), M_v : 空タンク材重量 (kg)

A_{ke} : エネルギーの飛散物付与割合 (0.2*)

(上限: 0.6, 概算見積もり: 0.2, BLEVE (沸騰液膨張蒸気爆発): 0.04)

* 「Methods for the Calculation of Physical Effects (TNO Yellow Book, CPR14E(Part 1), 3rd edn), van den Bosch, C. J. H. & Weterings」による。

(出典: Methods for the Calculation of Physical Effects (TNO Yellow Book, CPR14E(Part 1), 3rd edn)

$$E = \frac{(\rho_1 - \rho_2)V}{\gamma - 1}$$

E : タンク爆発による発生エネルギー (J)

ρ_1 : タンク内圧力 (0.19808MPa; LNG貯蔵タンク安全弁設定圧力 × 1.2), ρ_2 : 大気圧力 (0.1013MPa)

V : タンク体積 (m³), γ : 比熱比 (—)

- ・ ここで得られた最高速度をもとに、射出角をパラメータとした最大到達距離を評価した結果、**飛来物の最大飛散距離は557mに留まり、発電所からの離隔距離1,500mを下回ることを確認した。**

想定爆発源	タンク体積 (m ³)	比熱比 (—)	タンク材重量 (kg)	爆発エネルギー (J)	最高速度 (m/s)	飛散距離 (m)	離隔距離 (m)	考察
LNGタンク 1基	253,000	1.3	7.6 × 10 ⁶	8.2 × 10 ¹⁰	66	最高速度より LPGタンクで包絡	1,500m	LNGタンクの増設は飛散距離に影響しない。 (タンク単体の爆発エネルギーが各タンク構成材等に付与されるため)
LPGタンク 1基	55,000	1.1	2.7 × 10 ⁶	5.3 × 10 ¹⁰	89	・鋼製パイプ*1: 557 ・コンクリート板*2 (タンク本体): 244		

*1: 長さ13m × 直径1m, 重さ5t *2: 長さ13m × 幅22m × 厚さ1cm, 重さ22t (長い形状の飛来物は飛散距離が大きくなる傾向からタンク寸法に合わせて長く設定)

5. 爆発の影響評価(5/31)

● LNG基地の低温・低圧の貯蔵型のガスタンクの爆発形態について

- ・ **LNG基地のLNGタンク及びLPGタンクは**, 各ガスを沸点温度まで冷却し, 液化させた状態で貯蔵する **低温・低圧貯蔵型のガスタンク***¹である。このタイプのガスタンクは, 万一の爆発事故時においても, **常温・加圧貯蔵型のガスタンク***¹と比べて, **爆発の影響は緩和する傾向**とされている。

区分	ガスタンクの例	温度	圧力
低温・低圧貯蔵型	低温貯蔵LNGタンク	約-162℃	大気圧近傍
常温・加圧貯蔵型	LPGタンクローリ	常温	約2MPa

- ・ **加圧貯蔵型のガスタンクで事故時に発生する恐れのある大規模な爆発火災事象***²は, 加圧され液体で貯蔵されたガスタンクが, 火災で加熱されることによりタンク内の圧力が更に上昇し, タンクの一部破損で起こる液体の急激な気化に伴い発生する現象とされている。

*² BLEVE: Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (沸騰液膨張蒸気爆発)

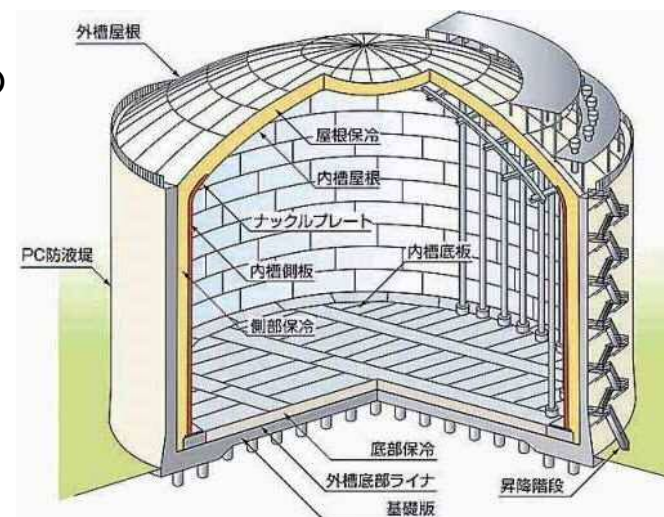
- ・ 一方, **大気圧に近い低圧で貯蔵されている低温貯蔵型のタンクは**, 内部が保冷層で覆われ外部から熱が入り難く, 通常時はBOG圧縮機*³等でタンク内圧を一定に制御していることと, 耐圧設計そのものが低いことから, 異常時でも加圧貯蔵タンクと比較してタンク内圧が上昇し難く, **大規模な爆発火災事象は発生し難いとされている**。*⁴

*³ タンクから発生するボイルオフガスを再液化し, タンク内圧を一定に制御する。

*⁴ 出典「Environmental Assessment for the Sabine Pass Liquefaction Project」(次頁)

- ・ これらより, **LNG基地のLNGタンク及びLPGタンクは低温貯蔵型ガスタンクの事故時に想定される爆発形態を想定し, タンクの限界圧力まで圧力が上昇してタンクが破壊する条件***⁵でガス爆発の飛来物影響評価を行っている。

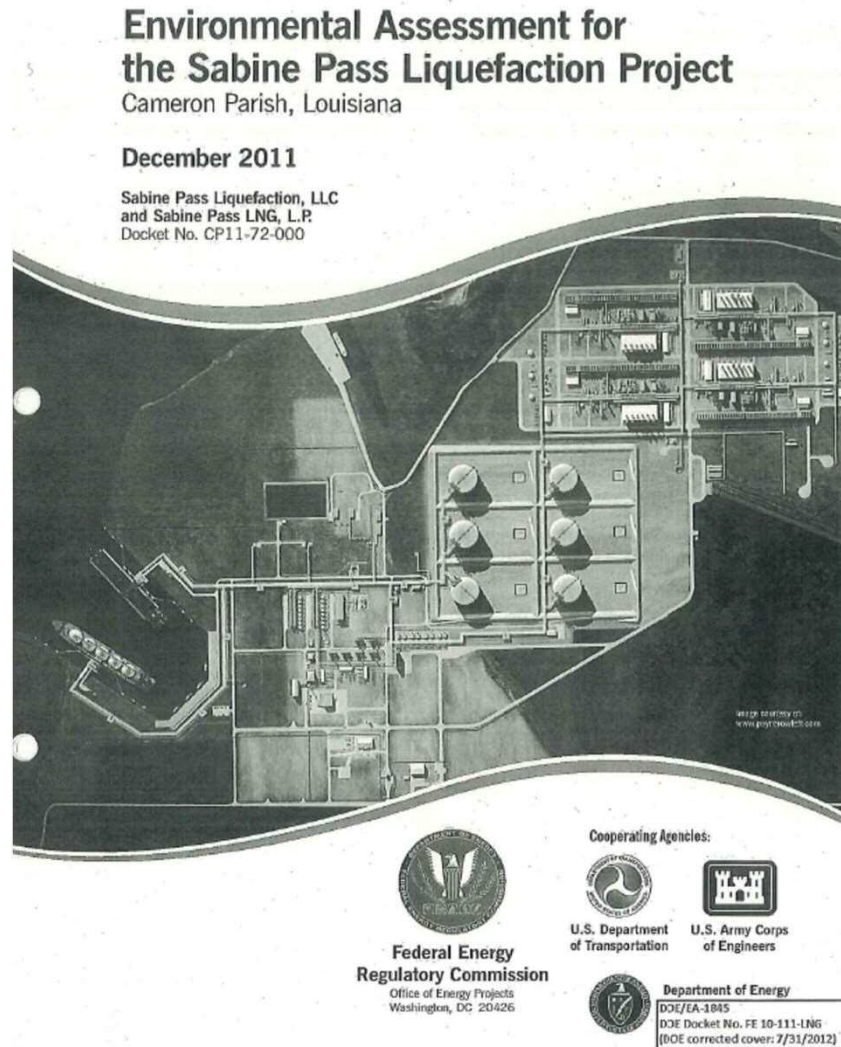
*⁵ ガスタンクが火災で加熱されタンクの限界圧力(安全弁設定圧力×1.2倍; 約0.2MPa)まで内圧上昇し破壊, 発生エネルギーの一部がタンク構成材に付与され飛来物化する。



LNGタンク構造図

出典: 日立市報 2014年1月1日号

● LNG基地の低温・低圧の貯蔵型のガスタンクの爆発形態について



A deflagration may propagate back to the spill site if the vapor concentration along this path is sufficiently high to support the combustion process. When the flame reaches vapor concentrations above the UFL, the deflagration could transition to a fireball and result in a pool or jet fire back at the source. A fireball would occur near the source of the release and would be of a relatively short duration compared to an ensuing jet or pool fire.

The extent of the affected area and the severity of the impacts on objects either within an ignited cloud or in the vicinity of a pool fire would primarily be dependent on the quantity and duration of the initial release, the surrounding terrain, and the environmental conditions present during the dispersion of the cloud. Radiant heat and dispersion modeling are discussed in Section 2.8.5.

Fires may also cause failures of nearby storage vessels, piping, and equipment. The failure of a pressurized vessel could cause fragments of material to fly through the air at high velocities, posing damage to surrounding structures and a hazard for operating staff, emergency personnel, or other individuals in proximity to the event. In addition, failure of a pressurized vessel when the liquid is at a temperature significantly above its normal boiling point could result in a boiling-liquid-expanding-vapor explosion (BLEVE). BLEVEs of flammable liquids can produce overpressures and a subsequent fireball when the superheated liquid rapidly changes from a liquid to a vapor upon the release from the vessel. Atmospheric storage tanks are unlikely to BLEVE due to the smaller difference between their design pressure and ambient pressure.

Overpressures

大気圧程度のガス貯蔵タンクは、タンクの設計圧力と大気圧との差が小さく、BLEVEに至り難い。(当社抄訳)

flame travel distance.

The potential for unconfined LNG vapor cloud detonations was investigated by the Coast Guard in the late 1970s at the Naval Weapons Center at China Lake, California. Using methane, the primary component of natural gas, several experiments were conducted to determine whether unconfined LNG vapor clouds would detonate. Unconfined methane vapor clouds ignited with low-energy ignition sources (13.5 J), produced flame speeds ranging from 12 to 20 mph. These flame speeds are much lower than the flame speeds associated with a deflagration with damaging overpressures or a detonation.

To examine the potential for detonation of an unconfined natural gas cloud containing heavier hydrocarbons that are more reactive, such as ethane and propane, the Coast Guard conducted further tests on ambient-temperature fuel mixtures of methane-ethane and methane-propane. The tests indicated that the addition of heavier hydrocarbons influenced the tendency of an unconfined natural gas vapor cloud to detonate. Less processed natural gas with greater amounts of heavier hydrocarbons would be more sensitive to detonation.

Although it has been possible to produce damaging overpressures and detonations of unconfined LNG vapor clouds, the natural gas delivered by pipeline for liquefaction and export would have lower ethane and propane concentrations than those that resulted in damaging overpressures and detonations. The substantial amount of initiating explosives needed to create the shock initiation during the limited range of vapor-air concentrations also renders the possibility of detonation of these vapors at an LNG plant as unrealistic. Consequently, the primary hazards to the public from an LNG spill, either on land or water, would be from dispersion of the flammable vapors or from radiant heat generated by a pool fire.

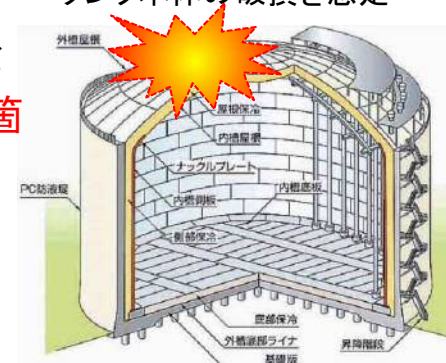
In comparison with LNG vapor clouds, there is a higher potential for unconfined propane clouds to produce damaging overpressures, and an even higher potential for unconfined ethylene vapor clouds to produce damaging overpressures. Unconfined ethylene vapor clouds also have the potential to transition

5. 爆発の影響評価(7/31)

● LNG基地のガスタンクからの大規模漏えいの発電所への影響 ①

- ・ 施設の故障等でガスが漏れても、漏えいが長期継続することは考え難いが*1, 何らかの外部事象でガスタンク本体が破損, 冷却機能も喪失し, 破損箇所の隔離・漏えい停止ができないと, ガス全量が放出される恐れがある。
- ・ この事故の場合, ガス濃度が高いタンク付近における爆発事故のリスクが最も大きい*2と考えられるが, ここでは仮想的にガス全量の大気中への放出を想定する。各タンク漏えい時のガスの挙動の推定は以下のとおり。

タンク本体の破損を想定



*1 タンク接続配管, パイプライン(設置中)等の漏えいの場合, 遠隔監視・隔離操作により漏えいを早期に停止する対応が図られる。

*2 タンクを破損させた外部事象により, 自然発火の高温条件を与える可能性もある。(ガス自然発火温度: 約500℃~約600℃)

①LNGタンク漏えい時の挙動(液化天然ガス):

空気よりも軽く, 蒸散後に上空に拡散していくため, 発電所施設に影響を与えることはない。

②LPGタンク漏えい時の挙動(液化石油ガス):

空気よりも重く, 蒸散後に風向きにより発電所に向かう可能性があるが, 発電所までは太平洋沿岸洋上を介し1.5km離れており, 流出・移動の過程で大気中に拡散していくことから, 発電所付近まで可燃濃度を保ったまま滞留し, そこで爆発するような状況は考え難い。

流出想定	貯蔵ガス種類	容量 (m ³)	沸点 (°C)	気体/液体容積比(-)	気体比重 (空気:1)	可燃範囲 (Vol%)	毒性	離隔距離 (m)	考察
LNGタンク 2基 (増設後)	液化天然ガス (メタン)	460,000	-162	600	0.56	5.0~15.0	なし	1,500m	・液化天然ガスは空気よりも軽く上方に拡散 ・液化石油ガスは発電所に向かう可能性あり
LPGタンク1基	液化石油ガス (プロパン)	50,000	-42	250	1.55	2.1~9.5	なし		

5. 爆発の影響評価(8/31)



● LNG基地のガスタンクからの大規模漏えいの発電所への影響 ②

- ・ また、何れのガスにも毒性はなく、かつ、拡散したガスが発電所周辺まで到達しても、中央制御室等の換気設備は外気取り込みを停止可能であり、要員の居住性に影響を与えることはない。
- ・ ここで、近年の国内外のガス爆発・災害事例を参照すると、漏洩して建物内や下水道等の閉鎖空間に蓄積したガス溜まりや、ガスタンクそのものが爆発・火災に至る事故が大半となっている。

発生年月	場所	ガス爆発・災害事例の概要
1963年1月	東京都江戸川区深川	地下埋設された都市ガス高圧導管の亀裂による漏えいガスが下水道に滞留し、爆発・火災発生
1980年8月	静岡県静岡市	静岡駅前地下街で湧水処理槽のメタンが小規模な爆発、この爆発で都市ガスの配管が破損し、地下街及び上部のビル内に都市ガスが滞留し、大規模な爆発・火災発生
1981年10月	北海道夕張市	北炭夕張新炭鉱の坑道内でメタンガス突出事故が発生し、酸欠・粉塵事故、次いで坑内火災が発生
1992年4月	メキシコグアダハラ	送油管と配水管の接触・腐食によりガソリンが漏えい、下水道に流入して揮発し、引火・爆発
2011年3月	千葉県市原市	東北地方太平洋沖地震により点検作業で満水状態のLPGタンクが倒壊し、近接する複数の配管を損傷、ガス漏えい・火災が発生し、隣接する複数のLPGタンクが爆発

出典:コスモエネルギーホールディングス株式会社「千葉製油所の火災・爆発事故について」、他

- ・ これらの内容より、LNG基地から大規模なガス漏えいが発生しても、遠方の発電所の安全機能に影響を与えることはないと判断する。

5. 爆発の影響評価(9/31)

● 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(10/31)



<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(11/31)

<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

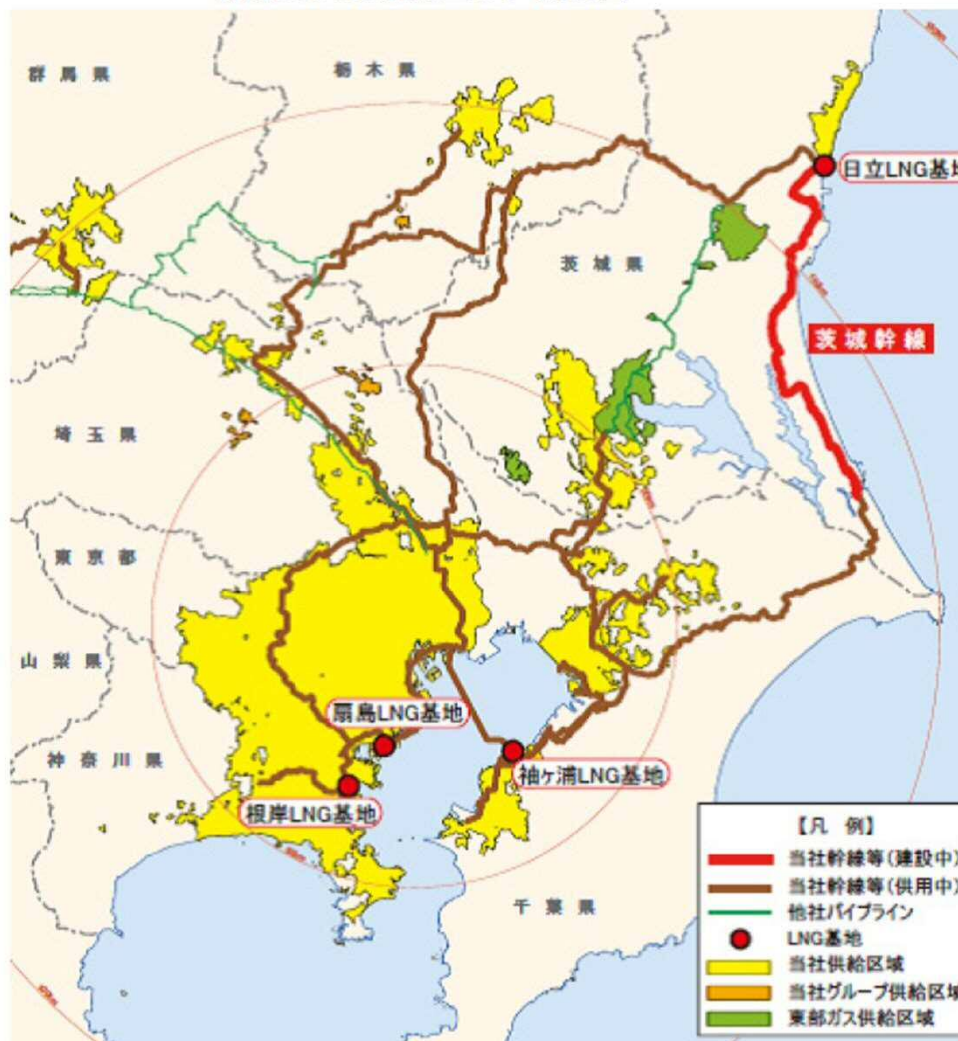


出典:東京ガス株式会社 プレスリリース 2018/04/03「日立LNG基地 2号LNGタンク」の建設工事着手について

5. 爆発の影響評価(12/31)

<別紙>LNG基地のLNGタンク増設及びパイプライン建設 (3/6)

東京ガスの供給エリア概要図



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(13/31)

<別紙> LNG基地のLNGタンク増設及びパイプライン建設(4/6)

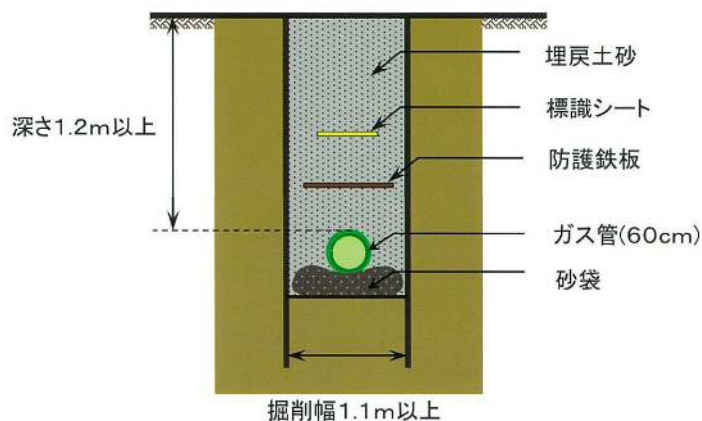
「茨城幹線」計画概要

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(14/31)

<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(15/31)

＜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えます。



東京ガス(株) 供給指令センター

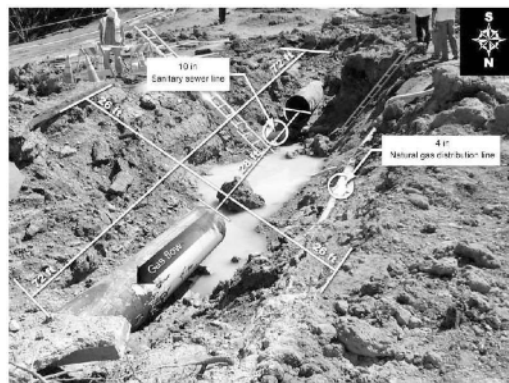
出典:東京ガスパイプライン株式会社 HP
「業務内容 輸送幹線パイプライン設備」より抜粋

5. 爆発の影響評価(16/31)

<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-160

事故後の2011年6月20日の現場

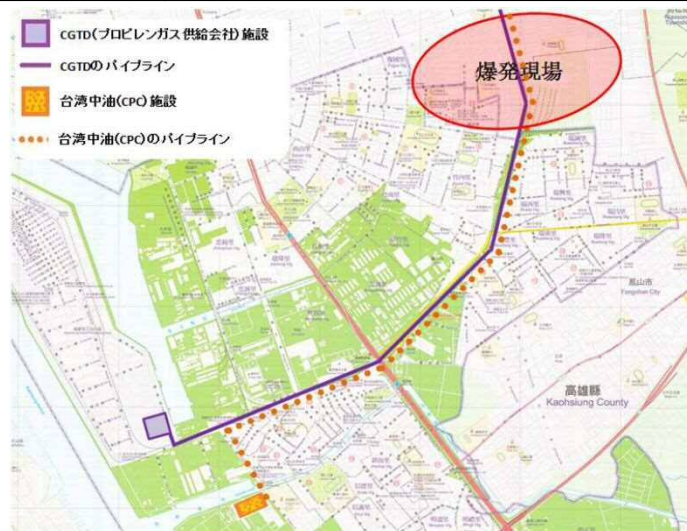
出典: 圧力技術
第50巻3号,
他

5. 爆発の影響評価(17/31)

<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(18/31)

(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

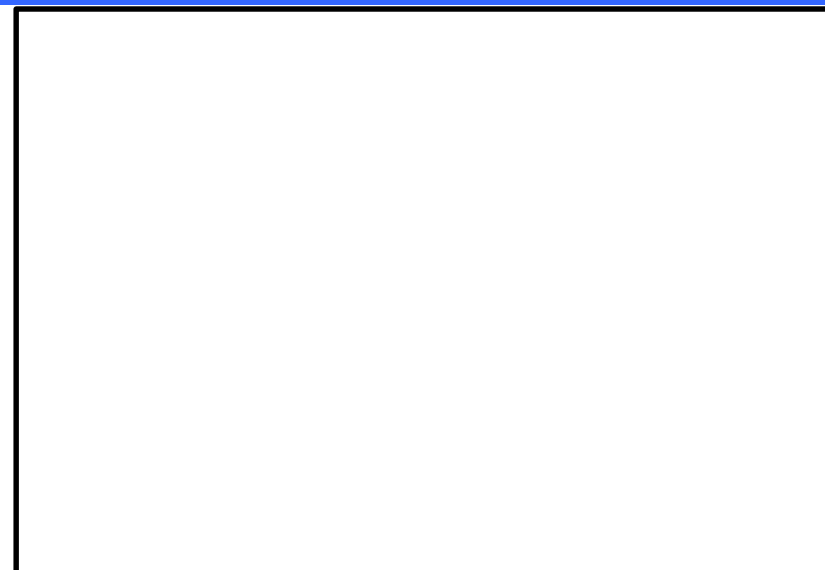
- ・加圧貯蔵型のタンクではなく、貯蔵量も少ないため、発電所への飛来物の影響はない。

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 m³	○ (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+アルゴン	4	7 m ³	28 m ³	
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(19/31)

(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

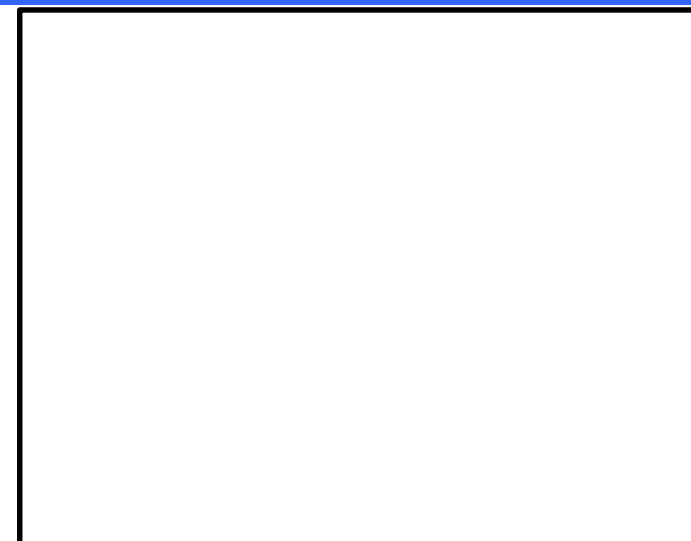
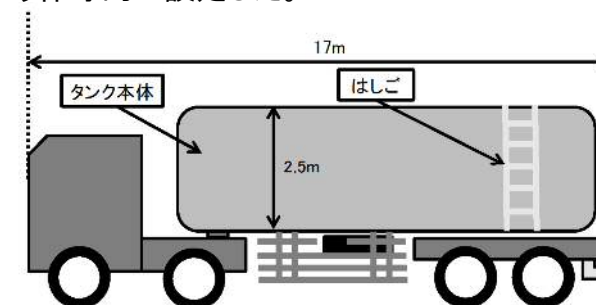


図 燃料輸送車両と評価対象施設との位置関係

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(20/31)



● 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(高压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(21/31)

● 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

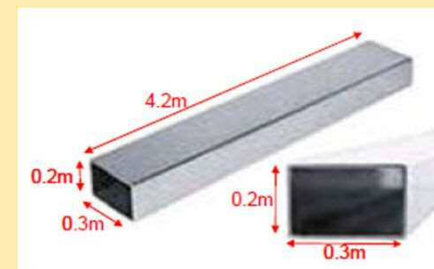
● 設計飛来物(鋼製材:角型鋼管)

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(22/31)



● 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(23/31)

(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

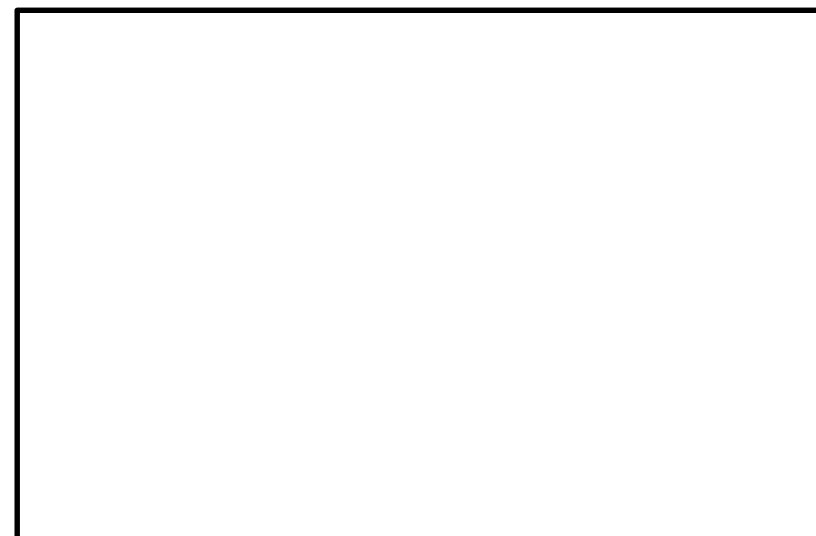


図 LNG及びLPGを輸送する輸送船と評価対象施設との位置関係



図 内航船と評価対象施設との位置関係

評価対象とした危険物等の選定

●危険物の種類の区分

- ・ 消防法において、危険物は、「引火性、発火性の物資、燃焼を促進させる物質」とされており、その種類や性質等に応じて以下の6種類に分類されている。

●発電所の評価対象とした危険物等

- ・ 本評価では、発電所周辺での取扱量が多く、引火性液体であり広範囲に漏えいし大規模な火災発生の危険性を有する、**危険物第四類の貯蔵施設や輸送車両・輸送船等を火災源**と想定している。
- ・ また、これらの危険物以外に、同様に発電所周辺での取扱量が多く、爆発時の影響が大きいと考えられる、**LNG, LPG等のガス貯蔵施設及び輸送車両・輸送船等のガス爆発**を想定している。

消防法における危険物の分類

類別	区分	性質	物品の例
第一類	酸化性固体	他の物質を強く酸化させる性質の固体で、可燃物と混合したとき極めて激しい燃焼を起こさせる。	・過酸化ナトリウム ・硝酸アンモニウム
第二類	可燃性固体	火炎で着火又は低温で引火し易い固体で、燃焼が早く消火が困難	・硫黄 ・マグネシウム粉
第三類	自然発火性物質及び禁水性物質	空気にさらされることで自然発火し、又は水と接触して発火若しくは可燃性ガスを発生する。	・ナトリウム ・水酸化ナトリウム
第四類	引火性液体	液体であって、引火性を有する。	・ガソリン ・灯油、軽油、重油
第五類	自己反応性物質	固体又は液体であって、加熱分解等により比較的低い温度で多量の熱を発生し、又は爆発的に反応が進行する。	・ニトロセルロース ・トリニトロトルエン
第六類	酸化性液体	その物自体は燃焼しない液体だが、混在する他の可燃物の燃焼を促進する。	・過酸化水素 ・硝酸

5. 爆発の影響評価(25/31)



(1) 第四類以外の危険物の影響(貯蔵等;施設)

- ・ 第四類以外の危険物について、発電所付近の施設の火災・爆発事故影響を推定した。
- ・ 東海第二発電所の付近で第四類以外の危険物を取り扱う施設の位置は右図、また内容は以下のとおり。
- ・ ここで示したとおり、当該施設は発電所付近の危険物第四類(ガソリン, 灯油, 軽油等)及びLNG・LPGの貯蔵施設*1と比べて、発電所からの離隔距離が長く、また貯蔵容量ははるかに少ない。

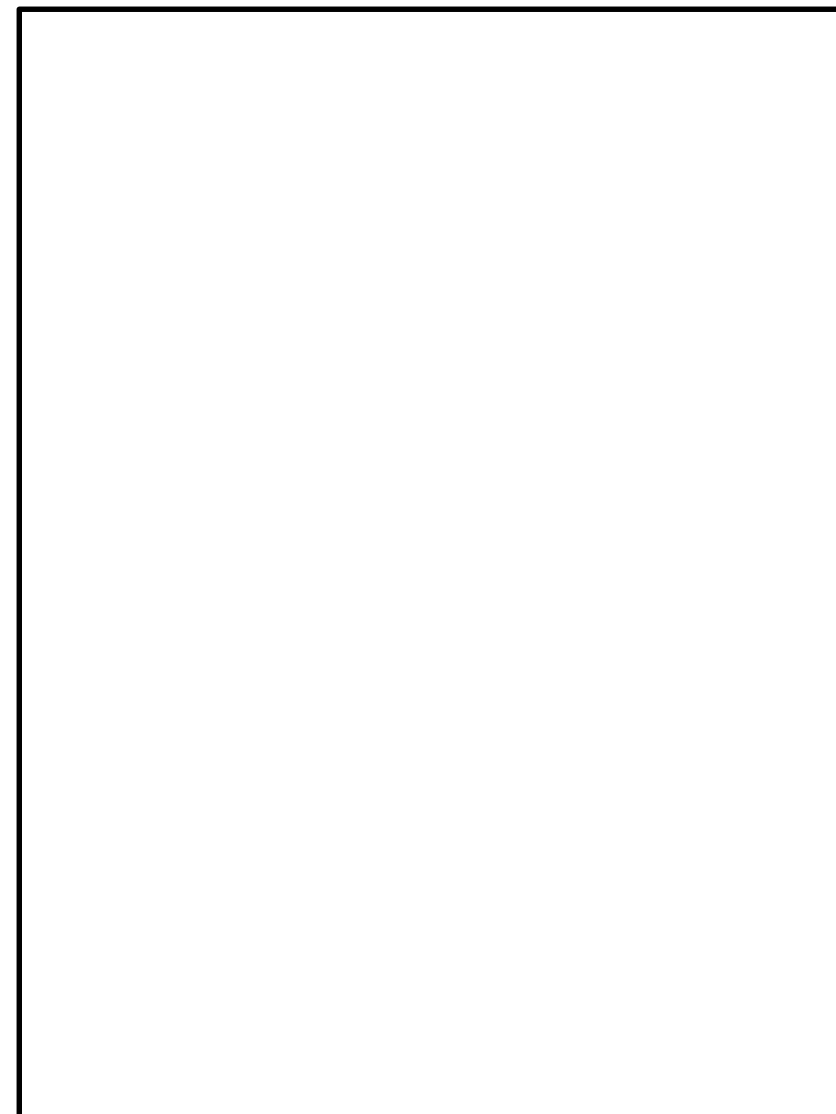
*1 例: 発電所北方約1.5km, LNGタンク容量約23万m³

- ・ これより、当該施設で火災・爆発等の事故が生じたとしても、危険物第四類及びLNG・LPGの貯蔵施設の事故と比べて、発電所への影響は小さいものと推定される。

東海第二発電所付近の第四類以外の危険物施設*2

事業者名	危険物種別	タンク容量 (m ³)	発電所からの 離隔距離

*2 発電所から10km圏内の危険物施設の調査結果より



* 「国土地理院地図(電子国土Web)」に加筆

東海第二発電所付近の第四類以外の危険物施設位置

5. 爆発の影響評価(26/31)

(2) 第四類以外の危険物の影響(輸送;道路)

- ・ 第四類以外の危険物について、発電所付近を走行する輸送車の火災・爆発事故影響を推定した。
- ・ 危険物第五類(自己反応性物質)として、ニトロ化合物のTNT(トリニトロトルエン)等があり、これは爆薬として利用されている。爆発影響を確認する点で代表的な化学物質と考えられる。
- ・ これまでのワーキングチームの検討において、爆薬や弾薬等の輸送車の爆発による発電所への影響を以下のとおり確認している。*

・ 発電所に隣接する国道245号線上注における爆薬・弾薬の輸送車の爆発事故を想定

注 発電所評価対象施設までの最短離隔距離450m

・ TNT火薬の爆風圧と換算距離、道路法の車両総重量の制限の関係より、**国道の輸送車両の爆発が発電所の評価対象施設に悪影響を与えないことを確認**

- ・ これより、**第四類以外の危険物の輸送車の火災・爆発による発電所への影響は小さいものと推定する。**

*爆発の影響評価

「TNT火薬積載車両の爆発影響評価」参照



図 評価対象施設と公道を通行する車両の位置関係

5. 爆発の影響評価(27/31)

(3) 第四類以外の危険物の影響(輸送;航路)

- ・ 第四類以外の危険物について、発電所付近を航行する輸送船の火災・爆発事故影響を推定した。
- ・ 東海第二発電所付近の航路は、発電所北方の茨城港日立港区から続いており、**発電所の評価対象施設から約1.4kmの離隔距離**を有している。
- ・ 発電所北方の日立港区で扱われる輸送品は、石油製品、鉱産物、工業用原料、自動車、食料品等であるが、過去2年間の荷役実績にて、**第四類以外の危険物については積み込み・積み下ろしがないことを確認**しており、該当する危険物の輸送の可能性・頻度は低いと推定される。



- ・ 以上の(1)～(3)の確認結果より、火災・爆発の評価対象として、**危険物第四類及びLNG・LPGを選定**することで、**発電所に対する主な火災・爆発の影響を確認できると判断**している。

- ・ ここで、海外における事故事例を参照すると、第四類以外の危険物の爆発事故が複数確認されている。国内では当該危険物の流通量は少なく、また危険物としての管理が行われることから、類似の爆発事故の可能性は低いと考えるが、将来的な発電所への潜在リスクを把握する観点から、今後も発電所周辺の第四類以外の危険物の情報収集を続け、外部火災の影響評価条件への影響を確認していくこととする。



* 海上保安庁HP情報(2017年集計)に加筆

東海第二発電所周辺の航路

<参考>国内外の硝酸アンモニウムの需給状況と爆発事故事例

近年、海外では硝酸アンモニウムが原因と推定される大規模な爆発事故が複数発生している。ここでは国内外の硝酸アンモニウムの需給状況と爆発事故事例についてまとめた。

●海外における硝酸アンモニウムの需給状況

- ・硝酸アンモニウム(NH_4NO_3)は、硝酸とアンモニアが結合した常温で無色結晶の固体であり、融点は 169.5°C 、吸湿性と水溶性が高く、硝安の名前で肥料として用いられ、また爆薬の原料でもある。^{*1}
- ・海外では、硝安は肥料としての需要が大きく、2017年における世界生産量は約2,000万トンに及ぶとされている。^{*2} *1:ブリタニカ国際百科事典, 日本大百科全書, *2:Wikipedia

●国内における硝酸アンモニウムの需給状況

- ・一方で、国内においても硝安(硝酸アンモニウム)は生産されているが、国内の生産規模は海外に比べて小さく(2008年度の硝安生産量:30,400トン)^{*3}、また硫安、塩安、尿素等の全窒素肥料に対する硝安系肥料の割合は2%弱を占めるに過ぎないとされ、海外と比べて国内の流通量は少ない。^{*4}
- ・国内で需要が少ない理由として、降雨の多い日本では土壤中で負の電荷を持つ硝酸(NO_3^-)が流れやすく窒素成分が無駄になること、湿度が高い気候が吸湿性を有する硝安肥料に不適であること、また硝安は爆発物の指定を受け取り扱いに規制を受けること等が原因とされている。^{*4, *5, *6}

*3:財団法人農林統計協会「ポケット肥料要覧」(硝安の以降の統計は廃止されている)

*4:世界大百科事典(第2版), *5:化学辞典(第2版) *6:西尾通徳の環境保全型農業レポートNo.61,

●硝酸アンモニウムが原因とされる爆発事故事例

- ・近年、海外では硝酸アンモニウムが原因とされる大規模な爆発事故が複数発生しており、倉庫内での保管方法が不適切であったこと等が事故原因として指摘されている。(次頁以降参照)
- ・一方で、国内では近年、硝酸アンモニウムが原因とされる爆発事故は発生していない。この理由として、上述のとおり相対的に国内での取扱量が少ないことや、消防法の危険物指定に基づく管理が浸透していること等が理由として推定される。

＜参考＞硝酸アンモニウムが原因とされる爆発事故事例

● 米国テキサス州の肥料工場の爆発事故

項目	内容
発生日時	2013年4月17日
発生場所	アメリカ合衆国テキサス州マクレナン郡ウエスト
対象施設	化学肥料会社ウエスト・ファーティライザーの肥料工場
事故内容	工場で火災が発生し、貯蔵倉庫の化学肥料(硝酸アンモニウム*)が爆発 ・事故現場に30mに及ぶクレーター形成 ・工場及び周辺の集合住宅、学校、福祉施設等60棟～80棟が破壊 ・死傷者多数発生 * 2012年時点の貯蔵量270t
事故原因	工場内で原因不明の火災発生後に、2度の大規模な爆発に至った。



化学肥料工場の事故時の状況



事故後の工場内の確認作業

5. 爆発の影響評価(30/31)

● 中華人民共和国 天津港のコンテナ倉庫群の爆発事故

項目	内容
発生日時	2015年8月12日
発生場所	中華人民共和国 天津市滨海新区 天津港
対象施設	瑞海公司 ^{ルイハイ} 危険物倉庫(硝酸アンモニウム, 硝酸カリウム, 金属Na, Mg等 計2,500t)
事故内容	<p>倉庫で保管中の硝酸アンモニウム等の引火・爆発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2回の爆発で直径約100mのクレーター状の巨大な穴が形成 ・約150m範囲内の建物が大破, 半径2km圏内の建物の窓ガラス等が破損 ・死傷者多数発生
事故原因	倉庫受入区のコンテナ区に保管中のニトロセルロースが不適切な扱いにより乾燥・発火し, 他の化学薬品に引火して火災が拡大, 硝酸アンモニウム等に延焼し爆発に至った。



大規模爆発の現場にできた巨大な穴



廃虚と化した爆発現場



● レバノン ベイルート港湾倉庫での爆発事故

項目	内容
発生日時	2020年8月4日
発生場所	ベイルート 首都ベイルート港湾地区
対象施設	港湾倉庫(硝酸アンモニウム 2,750t保管)
事故内容	倉庫内に保管していた大量の硝酸アンモニウムに引火, 爆発 ・2回目の爆発で, 倉庫跡に幅124m, 深さ43mのクレーター形成 ・マグニチュード3.3の地震と同等の地震波観測, 10km先まで爆風が到達
事故原因	不法運航の貨物船から没収した硝酸アンモニウムを適切な安全管理を行うことなく6年間に渡り保管。(爆発時に倉庫外壁の穴の溶接作業中との報道有)



爆発で立ち上る煙



破壊された穀物倉庫(左)と爆発現場のクレーター(右)



ベイルート港の爆発跡

出典: Wikipedia 2020年ベイルート爆発, THE SANKEI NEWS, NEWSWEEK

(補足説明資料 6. 近隣工場等の火災の影響評価)

6. 近隣工場等の火災の影響評価(1/10)



● 目的

発電所敷地内外で発生する火災が、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) 危険距離※1

※1 火災源と発電所との間に必要となる離隔距離

● 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。)に従い火災を想定し、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火災源は、発電所周辺10km以内に存在する以下とする。

- (1) 敷地外の危険物貯蔵施設
- (2) 敷地内の危険物貯蔵施設等
- (3) 燃料輸送車両
- (4) 燃料輸送船

● 評価対象施設

・外部火災の影響を評価する必要がある以下の外部事象防護対象施設の評価を実施

- (1) 原子炉建屋
- (2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋
- (3) タービン建屋
- (4) 主排気筒
- (5) 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。)
- (6) 残留熱除去系海水系ポンプ
- (7) 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

● 評価の流れ

(1) 敷地外の危険物貯蔵施設

- ・発電所から10km以内の危険物貯蔵施設は、周辺自治体資料、資料開示請求等を行い、対象施設の情報入手
- ・発電所に影響を及ぼす可能性がある施設を選定
- ・選定したガス貯蔵施設に対し、評価ガイドに記載の評価式等※2を用いて、危険距離を評価し、危険物貯蔵施設から発電所までの離隔距離を下回ることを確認する。

(2) 敷地内の危険物貯蔵施設等

- ・敷地内の危険物貯蔵施設等は、現場調査等により対象施設の情報入手
- ・選定した危険物貯蔵施設等に対し、評価ガイドに記載の評価式等を用いて、温度上昇を評価し、許容温度を下回ることを確認する。

(3) 燃料輸送車両

- ・発電所から最も近い位置にある国道245号線で最大規模の燃料輸送車両(ガソリン:30m³)の火災を想定
- ・想定する燃料輸送車両に対し、評価ガイドに記載の評価式等を用いて、危険距離を評価し、燃料輸送車両から発電所までの離隔距離を下回ることを確認する。

(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の火災を想定
- ・選定した燃料輸送船に対し、評価ガイドに記載の評価式を用いて、危険距離を評価し、燃料輸送船から発電所までの離隔距離を下回ることを確認する。

6. 近隣工場等の火災の影響評価(2/10)



● 危険距離の算出の流れ

- ①: 温度評価式を用いて許容温度となる輻射強度の算出
- ②: ①で算出した輻射強度より形態係数の算出
- ③: ②で算出した形態係数より危険距離を算出

● 許容温度となる輻射強度の算出に用いる温度評価式

(出典:各種文献(設備毎))

- ・原子炉建屋, 使用済燃料乾式貯蔵建屋及びタービン建屋の場合
(許容温度:200°C)

$$T=T_0+\frac{2E\sqrt{\alpha t}}{\lambda}\left[\frac{1}{\sqrt{\pi}}\exp\left(-\frac{x^2}{4\alpha t}\right)-\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right)\right]$$

T:許容温度(°C), T₀:初期温度(°C), E:輻射強度(W/m²)

κ:コンクリート温度伝導率(=λ/ρC_p)(m²/s)

ρ:コンクリート密度(kg/m³), C_p:コンクリート比熱(J/kg/K)

λ:コンクリート熱伝導率(W/m/K), t:燃焼継続時間※(s)

x:温度評価の対象となる深さ位置(外壁表面:m)

※ 燃焼継続時間は下式で算出

$$t=\frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

t:燃焼継続時間(s), V:燃料量(m³)

R:燃焼半径(m), v:燃焼速度=M/ρ(m/s)

M:質量低下速度(kg/m²/s), ρ:燃料密度(kg/m³)

- ・主排気筒及び放水路ゲート(許容温度:325°C)

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

T:許容温度(°C), T₀:初期温度(°C)

E:輻射強度(W/m²), h:熱伝達率(W/m²/K)

- ・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。)(許容温度:53°C), 残留熱除去系海水系ポンプ(許容温度:70°C)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。)用海水ポンプ(許容温度:60°C)

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

T:許容温度(°C), T₀: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)

6. 近隣工場等の火災の影響評価(3/10)

- 形態係数の算出に用いる輻射強度の評価式
(出典:原子力発電所の外部火災影響評価ガイド)

$$E = R f \cdot \Phi$$

E : 輻射強度(W/m²), R f : 輻射発散度(W/m²), Φ : 形態係数

- 危険距離の算出に用いる形態係数の評価式
(出典:原子力発電所の外部火災影響評価ガイド)

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

ただし $m = \frac{H}{R} \div 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1+n)^2 + m^2$, $B = (1-n)^2 + m^2$

Φ : 形態係数, L : 危険距離(m), H : 炎の高さ(m), R : 燃焼半径(m)

※ 燃焼半径Rの算出式

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

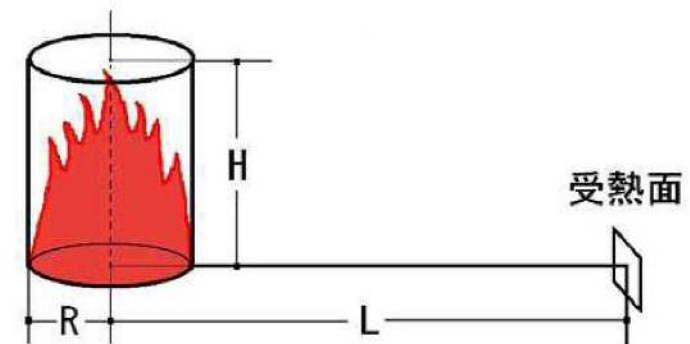
R : 燃焼半径(m), S : 防油堤面積 (= 燃焼面積) (m²)

◆ 輻射発散度 [参考資料(3)より引用]

カブジ原油	41×10 ³ (35×10 ³)	メタノール	9.8×10 ³ (8.4×10 ³)
ガソリン・ナフサ	58×10 ³ (50×10 ³)	エタノール	12×10 ³ (10×10 ³)
灯油	50×10 ³ (43×10 ³)	LNG (メタン)	76×10 ³ (65×10 ³)
軽油	42×10 ³ (36×10 ³)	エチレン	134×10 ³ (115×10 ³)
重油	23×10 ³ (20×10 ³)	プロパン	74×10 ³ (64×10 ³)
ベンゼン	62×10 ³ (53×10 ³)	プロピレン	73×10 ³ (53×10 ³)
n-ヘキサン	85×10 ³ (73×10 ³)	n-ブタン	83×10 ³ (71×10 ³)

(単位は W/m²、かつこ内は kcal/m²・h)

石油コンビナート等の火災想定模式図



受熱面が輻射帯の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。

6. 近隣工場等の火災の影響評価(4/10)

● 石油コンビナート等に対する危険限界距離の評価

- 茨城県内において石油コンビナート等特別防災区域に指定されているのは鹿島臨海地区は、発電所から約50km離れており、発電所から10km以内に石油コンビナートは存在しないことを確認

● 石油コンビナート以外の危険物貯蔵施設に対する危険距離の評価

- 発電所から10km以内にある危険物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500カ所存在することを確認
- 10km以内にある危険物貯蔵施設の危険物貯蔵量は、石油コンビナート未満となるため、石油コンビナート相当の危険物貯蔵施設の火災評価を実施した結果、危険距離は1,329mであることを確認
- 石油コンビナート相当の危険距離1,329mを上回る1,400mを、発電所影響を及ぼす可能性がある範囲として設定し、この範囲内の危険物貯蔵施設を調査した結果、屋外貯蔵である [] の重油タンクを抽出
- 抽出した危険物貯蔵施設の火災影響を評価した結果、危険距離は火災源から発電所までの離隔距離を下回ることを確認



図 鹿島臨海地区と発電所の位置関係

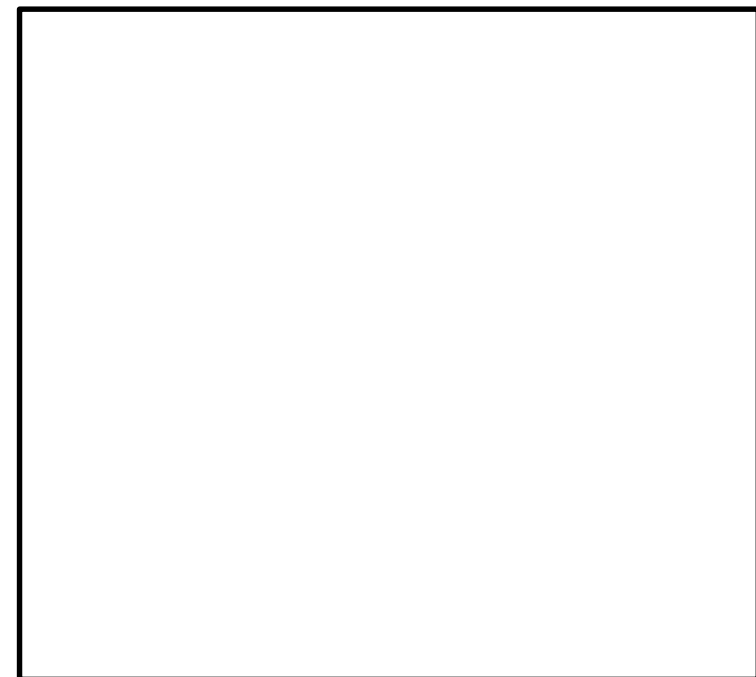


図 火災源と発電所の位置関係

6. 近隣工場等の火災の影響評価(5/10)



● 評価結果

- 各評価対象の危険距離を評価した結果、離隔距離を下回ることを確認した。

表 危険距離の評価結果

想定火災源	燃料種類	燃料量(m ³)	評価対象施設	危険距離(m)	離隔距離(m)
重油タンク	重油	200	原子炉建屋	41	1,100
			タービン建屋		1,200
			使用済燃料乾式貯蔵建屋		800
			排気筒	10	1,200
			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。)	17	1,100
			残留熱除去系海水系ポンプ	16	1,300
			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	12	1,300
			放水路ゲート	10	1,600

6. 近隣工場等の火災の影響評価(6/10)



● 熱影響評価

- ・発電所内の現場調査を行い、発電所内にある危険物貯蔵施設等をすべて抽出
- ・評価対象抽出フローにより、対象とする火災源を抽出
- ・建屋に対する変圧器の評価では、放熱を考慮した温度評価式※を用いた評価を実施

表 危険物貯蔵施設以外の火災源一覧

設備名	設置場所	設置形態	危険物の種	品名	最大数量 (kg)	詳細評価要否 (○:対象、×:対象外)
総合機	室内貯蔵機	屋内	危険物 第一石油類	エンジン油	0.00	× (屋内設置→A)
			危険物 第二石油類	軽油・灯油	0.20	× (屋内設置→A)
			危険物 第三石油類	重油	18.20	× (屋内設置→A)
			危険物 第四石油類	潤滑油	21.00	× (屋内設置→A)
危険物 第五石油類	ディーゼル油	0.20	× (屋内設置→A)			
集約貯蔵タンク	地下タンク貯蔵機	地下	危険物 第三石油類	重油	500.00	× (地下式→B)
非常用ディーゼル発電機用タンク	地下タンク貯蔵機	地下	危険物 第三石油類	軽油	500.00	× (地下式→B)
圧入貯蔵機	一般取込機	屋内	危険物 第二石油類	重油	0.20	× (屋内設置→A)
			危険物 第三石油類	軽油	15.00	× (屋内設置→A)
タービン油機	一般取込機	屋内	危険物 第一石油類	汽油	1.90	× (屋内設置→A)
			危険物 第二石油類	軽油	285.20	× (屋内設置→A)
			危険物 第四石油類	潤滑油	7.00	× (屋内設置→A)
タービン油機	一般取込機	屋内	危険物 第五石油類	重油	0.40	× (屋内設置→A)
新機組立タンク	屋外タンク貯蔵機	屋外	危険物 第三石油類	重油	10.00	○
非常用発電機用貯蔵タンク	地下タンク貯蔵機	地下	危険物 第三石油類	軽油	210.00	× (地下式→B)
ディーゼル発電機用貯蔵タンク	少容量貯蔵機貯蔵機	屋外	危険物 第一石油類	軽油	0.78	× (貯蔵機に設置→D)
S1 非常用貯蔵機	室内貯蔵機	屋内	危険物 第一石油類	エンジン油	0.10	× (屋内設置→A)
			危険物 第三石油類	軽油・重油	4.00	× (屋内設置→A)
S2 非常用貯蔵機	室内貯蔵機	屋内	危険物 第一石油類	軽油	90.00	× (屋内設置→A)
			危険物 第三石油類	軽油	100.00	× (屋内設置→A)
非常用発電機用貯蔵機 (非常用貯蔵機)	一般取込機	屋内	危険物 第一石油類	軽油	0.78	× (屋内設置→A)
緊急停止用非常用発電機用貯蔵タンク (11kV系統用貯蔵機)	地下タンク貯蔵機	地下	危険物 第三石油類	軽油	0.00	× (地下式→B)
非常用貯蔵タンク	屋外タンク貯蔵機	屋外	危険物 第三石油類	軽油	200.00	× (屋外設置→C)
非常用貯蔵タンク	一般取込機	屋内	危険物 第一石油類	軽油	5.97	× (貯蔵機に設置→D)
非常用貯蔵タンク	一般取込機	屋内	危険物 第三石油類	軽油	0.92	× (貯蔵機に設置→D)
緊急停止用非常用発電機用貯蔵タンク	地下タンク貯蔵機	地下	危険物 第三石油類	軽油	90.00	× (地下式→B)
非常用貯蔵タンク	少容量貯蔵機貯蔵機	屋外	危険物 第三石油類	重油	1.02	× (貯蔵機に設置→D)
非常用貯蔵タンク	少容量貯蔵機貯蔵機	屋内	危険物 第三石油類	軽油	1.00	× (貯蔵機に設置→D)
非常用貯蔵機 (非常用貯蔵機)	少容量貯蔵機貯蔵機	屋内	危険物 第三石油類	軽油	0.93	× (貯蔵機に設置→D)
緊急停止用非常用発電機用貯蔵タンク	少容量貯蔵機貯蔵機	屋外	危険物 第三石油類	軽油	0.30	× (屋外設置→C)
緊急停止用非常用発電機用貯蔵タンク	地下タンク貯蔵機	地下	危険物 第三石油類	軽油	150.00	× (地下式→B)
オイルクーラータンク	非常危険物貯蔵機	屋外	危険物 第三石油類	軽油	0.30	× (貯蔵機に設置→D)
非常用貯蔵機 (非常用貯蔵機)	非常危険物貯蔵機	屋内	危険物 第三石油類	軽油	0.70	× (貯蔵機に設置→D)

網掛け箇所：評価対象となる設備

表 危険物貯蔵施設以外の火災源一覧

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	× (屋内設置→A)
水素貯槽	水素	—	—	6.7 m ³	○
予備ボンベ庫①	水素	30	7 m ³	280 m ³	× (屋内設置→A)
予備ボンベ庫②	水素	20	7 m ³	140 m ³	× (屋内設置→A)
丙内ボイラー プロパンボンベ庫	プロパン	4	50 kg	200 kg	× (屋内設置→A)
焼酎用 プロパンボンベ庫	プロパン	5	300 kg	2500 kg	× (屋内設置→A)
サービス建機 ボンベ庫	アセチレン	3	7 kg	21 kg	× (屋内設置→A)
腐食性処理建機 化学分析用ボンベ庫	アセチレン	1	7 kg	7 kg	× (屋内設置→A)
	アセチレン	4	7 m ³	28 m ³	× (屋内設置→A)
食卓用プロパンボンベ庫	プロパン	18	50 kg	900 kg	× (屋内設置→A)

網掛け箇所：評価対象となる設備

※ 放熱を考慮した温度評価式

$$T = T_0 + \frac{E}{h} \left[1 - \exp\left(-\frac{h^2}{\lambda \rho C_p} t\right) \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{h^2 t}{\lambda \rho C_p}}\right) \right]$$

T：表面からx(m)の位置の温度(℃)、T₀：初期温度(50℃)^{※1}

h：熱伝達率(17W/m²/K)^{※2}

ρ：コンクリート密度(2,400kg/m³)

C_p：コンクリート比熱(880J/kg/K)

λ：コンクリート熱伝導率(1.63W/m/K)、E：輻射強度(W/m²)

t：燃焼継続時間(11,008s)、x：コンクリート壁表面深さ(0m)

※1 本庁地方気象台で観測された過去最高気温38.4℃に保守性を付けた値
 ※2 空気調和・衛生工学会規(外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である17W/m²/Kを用いる。)

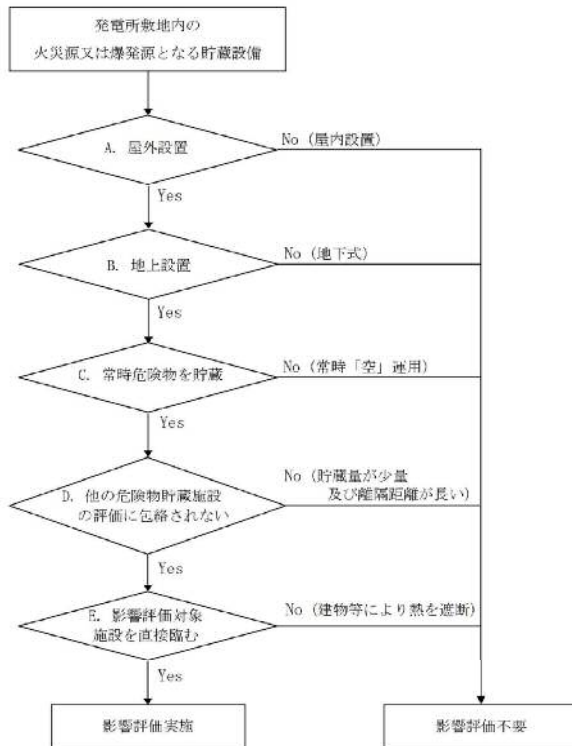


図 敷地内の火災源抽出フロー

6. 近隣工場等の火災の影響評価(7/10)

● 評価結果

- 各評価対象の到達温度を評価した結果, 許容温度を下回ることを確認した。

表 到達温度の評価結果

想定火災源	評価対象施設	評価温度(°C)	許容温度(°C)
熔融炉灯油タンク	原子炉建屋	70	<200
	タービン建屋	57	
	主排気筒	90	<325
	残留熱除去系海水系ポンプ	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	<60
主要変圧器	タービン建屋	149	<200
	放水路ゲート	51	<325
所内変圧器2A	タービン建屋	187	<200
	放水路ゲート	51	<325
起動変圧器2B	タービン建屋	182	<200

図 火災源と評価対象施設の位置関係

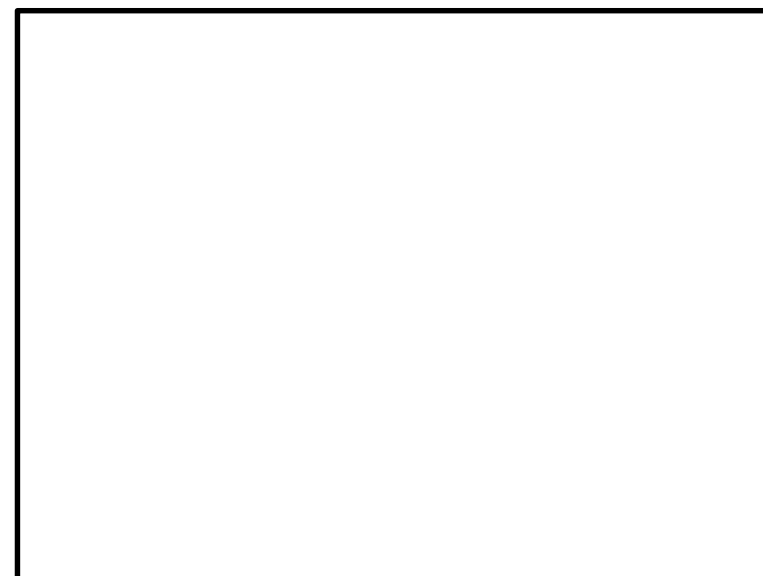


図 変圧器と評価対象施設の位置関係



6. 近隣工場等の火災の影響評価(8/10)

● 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
- ・燃料輸送車両は、消防法令(危険物の規則に関する政令第15条第1項三号)において、移動タンク貯蔵所の上限量が定められており、公道を通行可能な上限量(=30m³)のガソリンが積載された状況を想定

● 危険距離の評価

- ・燃料輸送車両の火災評価を実施した結果、危険距離は燃料輸送車両から各評価対象施設までの離隔距離を下回ることを確認

表 危険距離の評価結果

想定火災源	評価対象施設	危険距離(m)	離隔距離(m)
燃料輸送車両	原子炉建屋	23	510
	タービン建屋		450
	使用済燃料乾式貯蔵建屋		520
	排気筒	9	610
	非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機を含む。)	14	510
	残留熱除去系海水系ポンプ	13	760
	非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機を含む。)用海水ポンプ	11	760
	放水路ゲート	9	600

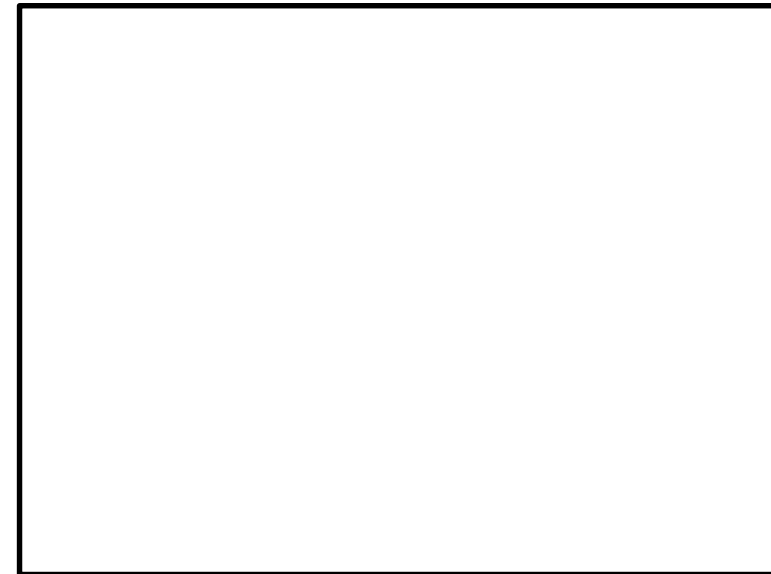


図 燃料輸送車両と評価対象施設との位置関係

6. 近隣工場等の火災の影響評価(9/10)



● 対象とする船舶

- ・日立LNG基地にLNG及びLPGを輸送する輸送船、内航船及び発電所港湾内に定期的に入港する燃料等輸送船(以下「定期船」という。)が、船舶の喫水と水深より、船底が海底とぶつかるためこれ以上進入しない、発電所までの離隔距離が最も短くなる地点での火災を想定
- ・輸送船の燃料量、船舶寸法等より、LPG輸送船はLNG輸送船に、内航船は定期船に評価が包絡されるため、LNG輸送船及び定期船について評価を実施

● 危険距離の評価

- ・LNG輸送船及び定期船の火災評価を実施した結果、危険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 危険距離の評価結果(LNG輸送船)

想定火災源	評価対象施設	危険距離(m)	離隔距離(m)
LNG輸送船	原子炉建屋	263	1,100
	タービン建屋		1,100
	使用済燃料乾式貯蔵建屋		1,300
	排気筒	87	1,100
	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。)	153	1,100
	残留熱除去系海水系ポンプ	142	940
	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	111	940
	放水路ゲート	87	1050

表 危険距離の評価結果(定期船)

想定火災源	評価対象施設	危険距離(m)	離隔距離(m)
定期船	原子炉建屋	85	300
	タービン建屋		280
	使用済燃料乾式貯蔵建屋		530
	排気筒	29	250
	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。)	50	330
	残留熱除去系海水系ポンプ	47	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	37	70
	放水路ゲート	29	220

6. 近隣工場等の火災の影響評価(10/10)

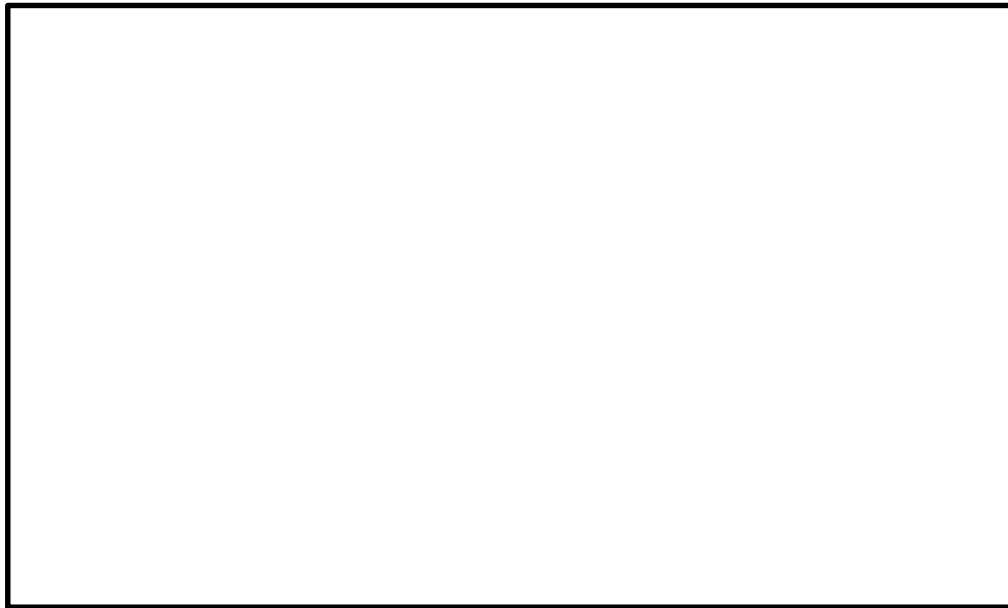


図 LNG輸送船と評価対象施設との位置関係

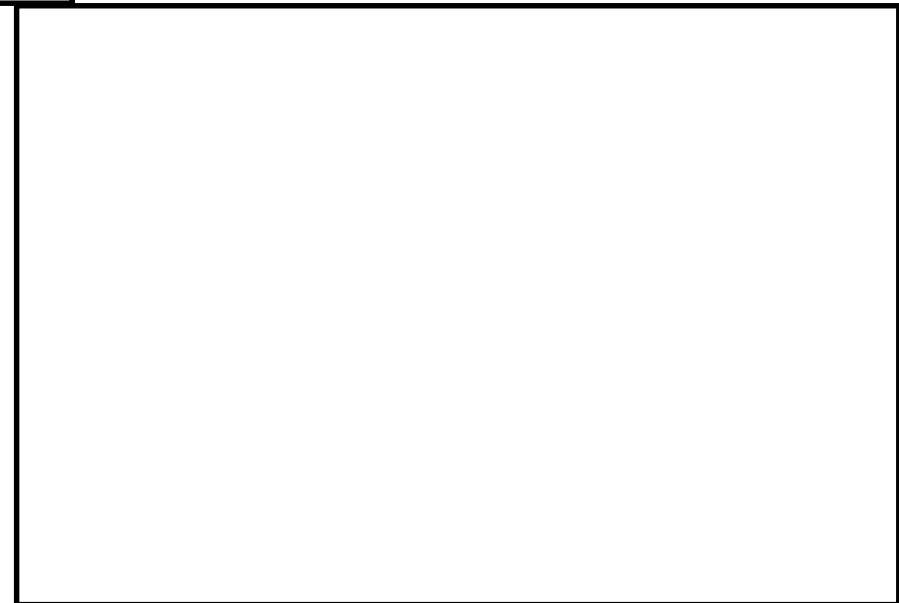


図 定期船と評価対象施設との位置関係

(補足説明資料 7. 航空機墜落による火災の影響評価)

6. 航空機墜落による火災の影響評価(1/10)



● 目的

発電所敷地への航空機の墜落によって発生する火災が、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) 熱影響
- (2) 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C 原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について」(以下「評価ガイド」という。)に従い、以下の手順で発電所への影響について評価した。

(i) 航空機落下確率評価

評価条件の違い等を踏まえて設定した落下事故のカテゴリごとに燃料積載量が最大の航空機を選定する。

(ii) 対象航空機を選定

評価条件の違い等を踏まえて設定した落下事故のカテゴリごとに燃料積載量が最大の航空機を選定する。

(iii) 離隔距離の評価

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について(内規)」(平成21・06・25原院第1号)の航空機落下確率評価式に基づき、カテゴリごとに落下確率が 10^{-7} (回/炉・年)に相当する面積を算出し、その結果を用いて評価対象施設に対する離隔距離を算出する。

(iv) 熱影響評価

(ii)で評価した離隔距離を踏まえて原子炉施設への影響が最も厳しくなる地点で航空機の墜落が発生することを想定して温度を評価し、許容温度を下回ることを確認する。

(v) 二次的影響評価

(ii)で評価した離隔距離を踏まえて使用済燃料乾式貯蔵建屋へ熱気流が直接給気口に流入する風速を評価し、水戸地方気象台で観測した過去10年間の最大風速を上回ることを確認する。

● 評価対象施設

・外部火災の影響を評価する必要がある以下の評価対象施設※¹の評価を実施

- (1) 原子炉建屋
- (2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋
- (3) タービン建屋※²
- (4) 主排気筒
- (5) 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。)
- (6) 残留熱除去系海水系ポンプ
- (7) 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

・ただし、東海第二発電所の発電用原子炉施設と使用済燃料乾式貯蔵施設の安全機能は独立していることを踏まえ、原子炉施設と使用済燃料乾式貯蔵施設を独立として扱い評価を実施

※¹:外部事象防護対象施設は、航空機落下確率評価及び航空機墜落による火災影響評価に置いては、原子力発電所の外部火災影響評価ガイドの基準を踏まえクラス1及びクラス2に属する施設及び安全評価上その機能に期待するクラス3の施設、又はそれらを内包する建屋

※²:タービン建屋には、PS-2の主蒸気系及びMS-2の放射性気体廃棄物処理系の隔離弁があるため、タービン建屋を評価対象施設として抽出

評価で想定する落下事故のカテゴリ

落下事故のカテゴリ	
1) 計器飛行方式民間航空機	① 飛行場での離着陸時
	② 航空路を巡航中
2) 有視界飛行方式民間航空機	③ 大型機(大型固定翼機及び大型回転翼機)
	④ 小型機(小型固定翼機及び小型回転翼機)
3) 自衛隊機又は米軍機	⑤ 訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中
	⑤-1 空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機
	⑤-2 その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機
	⑥ 基地-訓練空域間往復時

6. 航空機墜落による火災の影響評価(2/10)



(i) 航空機落下確率評価

1) 計器飛行方式民間航空機の落下事故

① 飛行場での離着陸時における落下事故

$$P_{d,a} = f_{d,a} \cdot N_{d,a} \cdot A \cdot \Phi_{d,a}(r, \theta)$$

$P_{d,a}$: 対象施設への離着陸時の航空機落下確率(回/年)

$f_{d,a} = D_{d,a} / E_{d,a}$: 対象航空機の国内での離着陸時事故率(回/離着陸回)

$D_{d,a}$: 国内での離着陸時事故件数(回)

$E_{d,a}$: 国内での離着陸回数(離着陸回)

$N_{d,a}$: 当該飛行場での対象航空機の年間離着陸回数(離着陸回/年)

A : 原子炉施設の標的面積(km²)

$\Phi_{d,a}(r, \theta)$: 離着陸時の事故における落下地点確率分布関数(/km²)



平成5年～平成24年の国内の離着陸時における事故件数を使用。
離着陸時に1件, 着陸時に3件。

② 航空路を巡航中の落下事故

$$P_c = f_c \cdot N_c \cdot A / W$$

P_c : 対象施設への巡航中の航空機落下確率(回/年)

$f_c = G_c / H_c$: 単位飛行距離当たりの巡航中の落下事故率(回/(飛行回・km))

G_c : 巡航中事故件数(回)

H_c : 延べ飛行距離(飛行回・km)

N_c : 評価対象とする航空路等の年間飛行回数(飛行回/年)

A : 原子炉施設の標的面積(km²)

W : 航空路幅(km)



平成5年～平成24年における国内の航空路を巡航中における事故件数を使用。
事故件数が0件であるため, 0.5件発生したものと評価。

2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故

$$P_v = (f_v / S_v) \cdot A \cdot \alpha$$

P_v : 対象施設への航空機落下確率(回/年)

f_v : 単位年当たりの落下事故率(回/年)

S_v : 全国土面積(km²)

A : 原子炉施設の標的面積(km²)

α : 対象航空機の種類による係数



平成5年～平成24年における国内の事故件数を使用。
大型固定翼機0件, 大型回転翼機0件, 小型固定翼機35件, 小型回転翼機24件。
大型固定翼機の事故件数は0件であるため, 0.5件発生したものと評価。

6. 航空機墜落による火災の影響評価(3/10)



3)自衛隊機又は米軍機の落下事故

①訓練空域外を飛行中の落下事故

$$P_{so} = f_{so} \cdot A / S_o$$

P_{so} : 訓練空域外での対象施設への航空機落下確率(回/年)

f_{so} : 単位年当たりの訓練空域外落下事故率(回/年)

A : 原子炉施設の標的面積(km²)

S_o : 全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積(km²)



平成5年～平成24年の国内の訓練空域外を飛行中における事故件数を使用。自衛隊機7件, 米軍機5件。

②基地－訓練空域間を往復時の落下事故

$$P_{se} = f_{se} \cdot A / S_{se}$$

P_{se} : 対象施設への航空機落下確率(回/年)

f_{se} : 基地と訓練空域間を往復中の落下事故率(回/年)

A : 原子炉施設の標的面積(km²)

S_{se} : 想定飛行範囲内の面積(km²)



平成5年～平成24年の国内の基地－訓練空域間を往復時における事故件数を使用。自衛隊機5件(米軍基地-訓練空域間を往復時の範囲内に東海第二発電所は含まれないため, 米軍機については対象外)。

6. 航空機墜落による火災の影響評価(4/10)

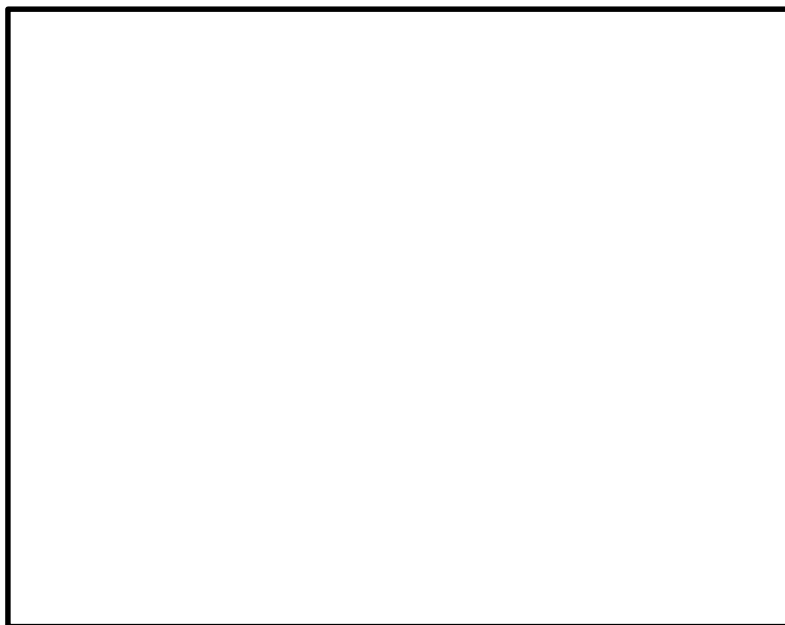


(ii) カテゴリ毎の対象航空機の選定

- ・①は、評価対象となる茨城空港の定期便のうち燃料積算量が多い航空機を選定
- ・②は、評価対象航空路を飛行すると考えられる定期便のうち、燃料積載量が最大の航空機を選定
- ・③及び④は、全国の有視界飛行が可能な民間航空機のうち、燃料積載量が最大の航空機を選定
- ・⑤は、全国の自衛隊機及び米軍機のうち、用途別に燃料積載量が最大の航空機を選定
- ・⑥は、評価対象となる百里基地に所属する自衛隊機のうち燃料積載量が最大の航空機を選定

	落下事故のカテゴリ		対象航空機
計器飛行方式 民間航空機	①飛行場での離着陸時		B737-800
	②航空路を巡航時		B747-400
有視界飛行方式 民間航空機	③大型機 (大型固定翼機及び大型回転翼機)		B747-400
	④小型機 (小型固定翼機及び小型回転翼機)		Do228-200
自衛隊機又は 米軍機	⑤訓練空域 外を飛行中	空中給油機等, 高高度での巡航が想定 される大型固定翼機	KC-767
		その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転 翼機	F-15
	⑥基地-訓練空域間往復時		F-15

(iii) カテゴリ別の離隔距離の評価



基地-訓練空域間往復時の落下事故に対する発電用原子炉施設
(使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。)の離隔距離



基地-訓練空域間往復時の落下事故に対する
使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離

6. 航空機墜落による火災の影響評価(5/10)



(iv) 熱影響評価

建屋に対する温度評価結果

落下事故のカテゴリ		対象航空機	評価温度(°C)		許容温度(°C)
			原子炉建屋及びタービン建屋	使用済燃料式貯蔵建屋	
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737-800	53	51	<200
有視界飛行方式 民間航空機	大型機(大型固定翼機及び大型回転翼機)	B747-400	71	58	
自衛隊機 又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等, 高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	64	
	基地-訓練空域間往復時		F-15	183	

主排気筒に対する温度評価結果

落下事故のカテゴリ		対象航空機	評価温度(°C)	許容温度(°C)	
			主排気筒及び放水路ゲート		
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737-800	52	<325	
有視界飛行方式 民間航空機	大型機(大型固定翼機及び大型回転翼機)	B747-400	63		
自衛隊機 又は米軍機	訓練空域外を飛行中	空中給油機等, 高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767		60
	基地-訓練空域間往復時		F-15		142

6. 航空機墜落による火災の影響評価(6/10)



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。)に対する温度評価結果

落下事故のカテゴリ		対象航空機	評価温度(°C)	許容温度(°C)
			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。)	
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737-800	45	<53
有視界飛行方式 民間航空機	大型機(大型固定翼機 及び大型回転翼機)	B747-400	45	
自衛隊機 又は米軍機	訓練空域外 を飛行中	空中給油機等, 高高度 での巡航が想定される 大型固定翼機	45	
	基地-訓練空域間往復時		F-15	

残留熱除去系海水系ポンプに対する温度評価結果

落下事故のカテゴリ		対象航空機	評価温度(°C)	許容温度(°C)
			残留熱除去系海水系ポンプ	
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737-800	45	<70
有視界飛行方式 民間航空機	大型機(大型固定翼機 及び大型回転翼機)	B747-400	46	
自衛隊機 又は米軍機	訓練空域外 を飛行中	空中給油機等, 高高度 での巡航が想定される 大型固定翼機	46	
	基地-訓練空域間往復時		F-15	

6. 航空機墜落による火災の影響評価(7/10)



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。)用海水ポンプに対する温度評価結果

落下事故のカテゴリ		対象航空機	評価温度(°C)	許容温度(°C)
			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	
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737-800	45	<60
有視界飛行方式 民間航空機	大型機(大型固定翼機 及び大型回転翼機)	B747-400	45	
自衛隊機 又は米軍機	訓練空域外 を飛行中	空中給油機等, 高高度 での巡航が想定される 大型固定翼機	45	
	基地-訓練空域間往復時		F-15	

6. 航空機墜落による火災の影響評価(8/10)

- ・航空機墜落火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の火災との重畳評価を実施した結果、許容温度を下回ることを確認

重畳火災を想定した温度評価結果

重畳評価の想定ケース	評価対象施設	評価温度(°C)	許容温度(°C)
溶融炉灯油タンク及びF-15	原子炉建屋	196	<200
	タービン建屋	187	
	主排気筒	181	<325
	残留熱除去系海水系ポンプ	59	<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。)用海ポンプ	51	<60
主要変圧器及びF-15	タービン建屋	195	<200



航空機墜落位置と危険物貯蔵施設等の位置関係

● 航空機火災が発生した場合の初期消火活動

- ・熱影響評価を行った結果、許容温度を下回るため、消火活動等を実施しなくても評価対象施設の防護は可能
- ・航空機燃料火災に対する消火対応のため、空港業務マニュアルをもとに、最大規模の航空機燃料火災にも対応できる量の泡消火薬剤を配備している。

6. 航空機墜落による火災の影響評価(9/10)



(v) 二次的影響評価

- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋(以下「建屋」という。)においては、ドライキャスクの除熱を自然対流により実施
- ・建屋付近で発生する航空機墜落火災(機種:F-15)を想定し、給気口から熱気流が侵入した場合について評価を実施
- ・建屋は、外部火災により発生する熱気流が周囲の風況の影響により建屋に向かうことが想定されるため、火災源から発生した熱気流が風により直接給気口から流入する事象を想定
- ・火災による熱気流の主軸傾き角より、熱気流が直接給気口に流入する風速を評価した結果、水戸地方気象台で観測した過去10年間の最大風速より大きいことから、熱気流が直接給気口に流入することはなく、ドライキャスクの除熱及び閉じ込め機能の監視に影響はないことを確認

・火災源と給気口と結ぶ直線の傾きの算出式

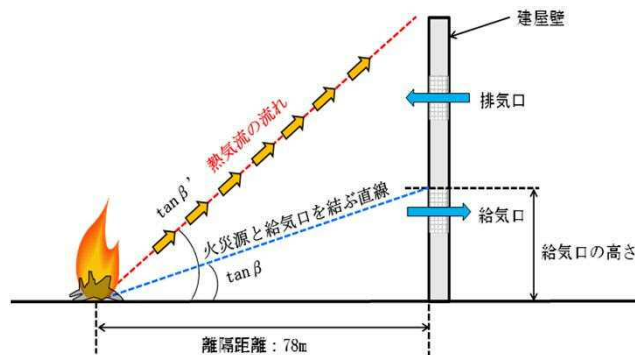
$$\tan \beta = \frac{\text{給気口の高さ}}{\text{火災源から給気口までの水平距離}}$$

・熱源寸法の算出式

$$D = 2 \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

D : 熱源寸法 (m)

S : 航空機火災 (F-15) の燃焼面積(44.6m²)



除熱概略図

・航空機火災の発生熱量の算出式

$$Q = (1 - \chi) \Delta H_{c, \text{eff}} S M$$

Q : 発生熱量 (kW) , χ : 放射分率(0.05)

$\Delta H_{c, \text{eff}}$: 発熱量(43,500kJ/kg)

S : 航空機火災 (F-15) の燃焼面積(44.6m²)

M : 質量低下速度(kg/m²/s)

・熱気流が直接給気口に流入する風速の算出式

$$\tan \beta = 0.37 A^{-9/8} Fr^{0.0975}$$

$$A = \frac{UD^{1/3}}{(Q_g / C_p \rho T_0)^{1/3}}$$

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{Dg}}$$

$\tan \beta$: 火災源と給気口を結ぶ直線の傾き (rad)

A : 無次元パラメータ, Fr : フルード数 (-)

C_p : 空気比熱(1.007kJ/kg/K)

ρ : 空気密度(1.17kg/m³) , T_0 : 周囲温度(310K)

D : 航空機火災 (F-15) の燃焼面積(44.6m²)

g : 質量低下速度(kg/m²/s)

6. 航空機墜落による火災の影響評価(10/10)



熱気流が直接給気口に流入する風速の評価結果

評価対象施設	無次元パラメータ $\Lambda (-)$	フルード数 $Fr (-)$	熱気流が直接開口に 流入する風速U (m/s)	水戸地方気象台で観測した 過去10年間の 最大風速(m/s)
使用済燃料 乾式貯蔵建屋	3.1	2.5	21.6 ~ 40.1	17.5

(補足説明資料 8. 外部事象へのソフト面による対応)

● 発電所の保安管理体制の検討

- ・原子力発電所に影響を及ぼし得る外部事象(自然災害及び人為事象)に対するソフト面の対応に関して、発電所の体制は、地震、津波、火山事象等の各災害に対して、**保安規定に基づく保安管理体制を整備し、その中で、災害内容に応じた体制への移行基準、活動内容等を明確にしていく。**
- ・本体制の具体的な内容(必要人数、設備・資機材等)は、**今後の保安管理体制の検討の中で定めていくため、ここでは基本設計方針に基づき、各災害事象のうちソフト面で対応する主な項目について以下に示す。**

● ソフト面の対応を行う外部事象について

- ・東海第二発電所に対し影響を及ぼし得る外部事象として抽出した事象※のうち、**次に示す3事象はハード面だけでの対応が困難であるため、ソフト面での対応が必要となる。**

※:風(台風)、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、火山、生物学的事象、外部火災(森林火災、爆発及び近隣工場等の火災)、高潮、有毒ガス、船舶の衝突、電磁的障害
なお、津波事象では、放水路からの津波の流入を防止するために、放水路に設置するゲートを開から閉とする操作が必要となる。

①火山(降下火砕物) <(8/10)参照>

屋外にある複数の防護対象施設(発電所施設原子炉建屋及びタービン建屋屋根、等)については、その対象範囲の広さから、火砕物降下中のリアルタイムの除去が困難であるため、降下火砕物の短期間の負荷に対し問題ないことを確認した上で、**事象終息後に堆積物の除去を行う必要がある。**【現地作業(屋外)】

また、吸気口にフィルタを有する設備については、火砕物降下中にフィルタへの火砕物の吸着を回避することが設備の特性上困難であるため、**火砕物降下中の吸気の停止もしくはフィルタの取替・清掃作業が必要**となる。【吸気停止:中央制御室からの遠隔操作、フィルタ取替・清掃:現地作業(屋外)】

● ソフト面の対応を行う外部事象について(つづき)

・以下の事象については、ソフト面での対応も必要となる。

②竜巻(竜巻飛来物) <(9/10)参照>

竜巻対策がなされた状態の常時維持を求めた場合、プラント運用に支障を来たす以下のものについては、その使用中に竜巻の襲来の可能性を覚知した場合、**竜巻の到達までに竜巻対策がなされた状態へ復旧するための運用対応が必要**となる。

- 竜巻からの防護機能を有する障壁のうち、可動式の部分(扉等)：閉止【現地作業(屋外, 屋内)】
- 燃料の取扱い設備：作業の中止及び退避【現地作業(屋内)】
- 竜巻飛来物になり得る発電所の資機材, 車両等のうち、使用時には飛散防止対策(固縛, 退避等)を解除するもの：再固縛もしくは退避【現地作業(屋外)】

③外部火災<(10/10)参照>

外部火災の特徴として、設計条件(負荷)が人為的な影響を受け得ることから、**設計条件を維持するための現場管理を実施**する。【通常時の現地作業(屋外)】

また、火災の二次的影響であるばい煙等の換気空調系への侵入が想定される場合には、**システムを遮断し、その侵入を防ぐ運用**とする。【中央制御室からの遠隔操作】

飛び火等による延焼の可能性に対しては、発生箇所の特定が困難であるため、柔軟な対応が可能のように、**自衛消防隊により対応**する。【現地作業(屋外)】

8. 外部事象対応のうちソフト面による対応について(3/10)



自然現象に対する設計方針(1/3)

	設計上考慮すべき事象	個別事象の影響評価	ソフト面対応の要否
自然現象	洪水	発電所敷地の北側の久慈川水系がおおむね100年に1回程度起こる大雨により氾濫するとしても、洪水ハザードマップ及び浸水想定区域図により、発電所に影響が及ばないこと及び新川の浸水は丘陵地を遡上しないことから、洪水による発電所敷地への影響はない。	不要 発電所へ影響を及ぼさない事象
	風(台風)	安全施設は、建築基準法及び同施行令第86条第4項に基づく建設省告示第1454号で定められた東海村において建築物を設計する際に要求される基準風速30m/s(地上高10m, 10分間平均)に対して、安全機能を損なわない設計とする。	不要 設備設計で対応可能
	竜巻	観測記録によると、竜巻検討地域の最大竜巻規模はF3(風速70m/s~92m/s)である。安全施設は、上記を包絡する設計竜巻の最大風速100m/sによる風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物等の衝撃荷重を組み合わせた荷重等に対して安全機能を損なわないために、 飛来物の発生防止対策及び竜巻防護対策を行う。	要 ①【襲来前】防護対策設備の復旧(扉部の閉止) ②【襲来前】再固縛, 退避 ①②プラント運用上, 竜巻対策の常時維持が難しい施設があるため
	凍結	安全施設は、最寄りの気象官署である水戸地方気象台の観測記録史上1位の最低気温 -12.7℃に対して、安全機能を損なわない設計とする。	不要 設備設計で対応可能
	降水	安全施設は、降水に対する排水施設の規格・基準として、森林法に基づく林地開発許可に関する審査基準等を示した「森林法に基づく林地開発許可申請の手びき」で定められた「水戸」(東海村が適用範囲内)における雨量強度127.5mm/hに対して、安全機能を損なわない設計とする。	不要 設備設計で対応可能
	積雪	安全施設は、建築基準法及び同施行令第86条第3項に基づく茨城県建築基準法等施行細則で定められた東海村において建築物を設計する際に要求される基準積雪量30cmに対して、安全機能を損なわない設計とする。	不要 設備設計で対応可能

8. 外部事象対応のうちソフト面による対応について(4/10)



自然現象に対する設計方針(2/3)

	設計上考慮すべき事象	個別事象の影響評価	ソフト面対応の要否
自然現象	落雷	安全施設は、全国雷観測ネットワーク(JLDN)により観測された落雷データ(発電所を中心とした標的面積4km ² の範囲の雷撃密度4.09回/年・km ²)及び観測記録の統計処理による年超過確率10 ⁻⁴ /年値から求めた雷撃電流値400kAに対して、安全機能を損なわない設計とする。	<p style="text-align: center;">不要</p> <p style="text-align: center;">設備設計で対応可能</p>
	火山の影響	安全施設は、文献調査、地質調査及び降下火砕物シミュレーション解析の結果等から算出した降下火砕物の層厚50cm、密度1.5g/cm ³ (湿潤状態)、粒径8.0mmに対して、 <u>直接的影響及び間接的影響を踏まえて安全機能を損なわない設計とする。</u>	<p style="text-align: center;">要</p> <p>①【事象中】吸気フィルタの取替, 清掃 ②【終息後】堆積物除去</p> <p>①設備特性上、供用中の火砕物付着回避が困難 ②対象範囲の広さから、火砕物降下中のリアルタイムの除去が困難</p>
	生物学的事象	安全施設は、生物学的事象として海生生物であるクラゲ等の発生及び小動物の侵入が発生した場合においても、安全機能を損なわない設計とする。	<p style="text-align: center;">不要</p> <p style="text-align: center;">設備設計で対応可能</p>
	森林火災	安全施設は、森林火災シミュレーションコード(FARSITE)による評価結果に基づき算出した防火帯幅(約23m)を確保することにより、安全機能が損なわれない設計とする。 また、敷地外で森林火災が発生した場合は、 <u>万が一の敷地内への延焼防止を目的として、自衛消防隊が防火帯付近へ予防散水を行う。</u>	<p style="text-align: center;">要</p> <p>①【常時】設計条件維持の為の現場管理 ②【事象中】ばい煙発生時の換気系遮断 ③【事象中】自衛消防隊による予防散水</p> <p>①設計条件(負荷)が人為的な影響を受け得る ②設備特性上、常時隔離が困難 ③火災発生個所の特定が困難なため、柔軟な対応が必要</p>

8. 外部事象対応のうちソフト面による対応について(5/10)



自然現象に対する設計方針(3/3)

	設計上考慮すべき事象	個別事象の影響評価	ソフト面対応の要否
自然現象	高潮	発電所周辺海域の潮位については、発電所から北方約3km地点に位置する茨城港日立港区で観測された潮位を設計潮位とする。本地点の最高潮位はT.P.(東京湾中等潮位)+1.46m(1958年9月27日)、朔望平均満潮位がT.P.+0.61mである。安全施設は、高潮の影響を受けない敷地高さ(T.P.+3.3m)以上に設置することで、安全機能を損なわない設計とする。	不要 設備設計で対応可能
	荷重の組合せ	地震、津波を含む自然現象13事象のうち、荷重により安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される <u>地震、津波、風(台風)、竜巻、積雪及び火山の影響について、荷重の性質(事象の発生頻度、荷重の大きさ)を考慮し、組み合わせる荷重を選定し、選定した組合せ荷重を設計において考慮する。</u>	— (個別事象への対応に基づく)
	津波	放水路を經由して、津波が防潮堤の内側に流入しない設計とする。このため、津波襲来時には、 <u>常用系海水ポンプ</u> (発電機タービンを駆動させた後の蒸気を冷却するために海水を取水する循環水ポンプ等が該当)を <u>停止したうえで、放水路に設置するゲートを開から閉にする設計とする。</u>	要 <u>①常用系海水ポンプの停止</u> <u>②放水路ゲートの閉止</u> ①、②常用系海水ポンプ等の排水が必要となるため、通常時に放水路を閉止することは不可能

8. 外部事象対応のうちソフト面による対応について(6/10)



外部人為事象に対する設計方針(1/2)

	設計上考慮すべき事象	個別事象の影響評価	ソフト面対応の要否
外部人為事象	飛来物 (航空機落下)	<ul style="list-style-type: none"> ・発電用原子炉施設(使用済燃料乾式貯蔵建屋を除く。)及び使用済燃料乾式貯蔵建屋への航空機の落下確率は、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」等に基づき評価した結果、<u>防護設計の要否を判断する基準である10^{-7}回/炉・年を超えないため、飛来物(航空機落下)による防護について設計上考慮する必要はない。</u> ○発電用原子炉施設(使用済燃料乾式貯蔵建屋を除く): <u>約8.5×10^{-8}回/炉・年</u> ○使用済燃料乾式貯蔵建屋: <u>約6.1×10^{-8}回/炉・年</u> 	<p style="text-align: center;"><u>不要</u></p> <p>防護対象施設に影響がない事象</p>
	爆 発	<ul style="list-style-type: none"> ・発電所敷地外10km以内の範囲において、爆発により安全施設に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はない。 ・<u>発電所内の危険物貯蔵施設, 発電所敷地外10km以内の危険物貯蔵施設, 周辺道路を通行する燃料輸送車両, 発電所周辺を航行する燃料輸送船の爆発を想定しても, 必要な離隔距離が確保されている。</u> 	<p style="text-align: center;"><u>不要</u></p> <p>発電所へ影響を及ぼさない事象</p>
	近隣工場等の火災	<ul style="list-style-type: none"> ・発電所敷地外10km以内の範囲において、火災により安全施設に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はない。 ・<u>発電所内の危険物貯蔵施設, 発電所敷地外10km以内の危険物貯蔵施設, 周辺道路を通行する燃料輸送車両, 発電所周辺を航行する燃料輸送船の火災を想定しても, 必要な離隔距離が確保されている。</u> ・<u>外部事象防護対象施設である原子炉建屋等の周辺で落下確率が10^{-7}回/炉・年以上になる地点へ航空機が墜落することを想定しても, 原子炉建屋等が許容温度を超えないことを確認している。</u> 	<p style="text-align: center;"><u>不要</u></p> <p>発電所へ影響を及ぼさない事象</p>
	ダムの崩壊	<ul style="list-style-type: none"> ・発電所周辺には、発電所敷地の北側に久慈川が位置しており、その支川である山田川の上流約30kmにダムが存在するが、久慈川は敷地の北方を太平洋に向かい東進していること、発電所敷地の西側は北から南にかけてはEL.3m~EL.21mの上り勾配となっていることから、発電所敷地がダムの崩壊により影響を受けることはない。 	<p style="text-align: center;"><u>不要</u></p> <p>発電所へ影響を及ぼさない事象</p>

8. 外部事象対応のうちソフト面による対応について(7/10)



外部人為事象に対する設計方針(2/2)

	設計上考慮すべき事象	個別事象の影響評価	ソフト面対応の要否
外部人為事象	有毒ガス	<ul style="list-style-type: none"> ・発電用原子炉施設と近隣の施設や周辺道路との間には離隔距離が確保されていることから、有毒ガスの漏えいを想定した場合でも、中央制御室の居住性を損なうことはない。また、敷地港湾の前面の海域を移動中の可動施設から有毒ガスの漏えいを想定した場合も同様に、離隔距離が確保されていることから、中央制御室の居住性を損なうことはない。 ・発電所敷地内に貯蔵している化学物質については、貯蔵施設からの漏えいを想定した場合でも、中央制御室の居住性を損なうことはない。また中央制御室換気系は、外気取入ダンパを閉止し、閉回路循環運転を行うことにより中央制御室の居住性を損なうことはない。 	<p style="text-align: center;">要</p> <p>①【事象中】ばい煙発生時の換気系遮断 ①設備特性上、常時隔離が困難</p> <p>【今後の対応概要について】 2019年度～2020年度にかけて、発電所の敷地内外に貯蔵された有毒化学物質の調査及びスクリーニング評価を行い、有毒ガスに対する防護の妥当性を確認する計画である。この妥当性確認結果を以って、2021年度以降に設置変更許可申請を行う予定。</p>
	船舶の衝突	<ul style="list-style-type: none"> ・発電所周辺の海上交通としては、最も距離の近い航路でも発電所より約1.4kmの離隔距離があり、航路を通行する船舶が港湾内に侵入する可能性は低い。 ・取水口港湾内に入港する燃料輸送船等(全長約100m×全幅約16.5m、満水時の喫水約5m)の事故が港湾内で発生した場合でも、前面のカーテンウォールにより阻害されること、半円状のカーテンウォールにより阻害され、水深が約6m確保されていることから取水性を損なうことはない。 ・小型船舶(漁船等、全長約20m×全幅約5m、満水時の喫水約2m)が発電所近傍で漂流した場合でも、防波堤等に衝突して止まることから取水性を損なうことはない。万が一防波堤を通過し、カーテンウォール前面に小型船舶が到達した場合であっても、取水口は呑み口が広いため、取水性を損なうことはない。 	<p style="text-align: center;">不要</p> <p>発電所へ影響を及ぼさない事象</p>
	電磁的障害	<ul style="list-style-type: none"> ・安全保護系は、電磁的障害による擾乱に対して、計装盤へ入線する電源受電部へのラインフィルタや絶縁回路の設置、外部からの信号入出力部へのラインフィルタや絶縁回路の設置、鋼製筐体や金属シールド付ケーブルの適用等により、影響を受けない設計とする。 	<p style="text-align: center;">不要</p> <p>設備設計で対応可能</p>

● 火山(降下火砕物)に係るソフト面の対応

- ・火山(降下火砕物)に対しては、**事象収束後の堆積物除去、フィルタの取替・清掃作業等を行う。**
- ・なお、東海第二発電所では、事業者によるモニタリングが必要な火山は無いと判断しているが、一般的には、多くの火山では、噴火前に、震源の浅い火山性地震の頻度が急増し、火山性微動の活動が始まるため、**事前に対策準備が可能**である。

また、**これらの準備には長時間を要するものではないと推定**しているが、詳細は設備設置後に訓練を実施し確認する。

項 目	運用対策	共通項目
<ul style="list-style-type: none"> ・降下火砕物の除去作業 ・除去後の降下火砕物による静的荷重や腐食等影響に対する保守管理 	<ul style="list-style-type: none"> ・降下火砕物が確認された場合、建屋や屋外設備等に長期間降下火砕物の荷重を掛け続けないこと、また降下火砕物付着による腐食等を緩和するため、施設等に堆積した降下火砕物の除去を実施 ・降下火砕物による影響がみられた場合、必要に応じて補修を実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・体制の確立 ・保守、点検 ・教育、訓練
外気取入ダンパの閉止、換気空調系の停止、閉回路循環運転	<ul style="list-style-type: none"> ・降下火砕物が確認された場合に、状況に応じて外気取入ダンパの閉止、換気空調設備の停止又は閉回路循環運転により、建屋内への降下火砕物の侵入を防止 	
バグフィルタ、吸気フィルタ取替・清掃作業	<ul style="list-style-type: none"> ・降下火砕物が確認された場合、換気空調設備の外気取入口のバグフィルタ差圧を確認するとともに、状況に応じて清掃や取替を実施 ・ディーゼル発電機の運転時は、吸気フィルタの巡視点検を行い、必要に応じて取替・清掃を実施 	

8. 外部事象対応のうちソフト面による対応について(9/10)



● 竜巻に係るソフト面の対応

- ・竜巻に対しては、**資機材や車両等の固縛・退避等の運用や、竜巻襲来時の施設防護の活動を行う。**

項目	運用対策	共通項目
<ul style="list-style-type: none"> ・資機材, 車両等管理 ・資機材, 車両等の飛来物発生防止対策 <p>(固縛, 固定, 評価対象施設等からの隔離, 建屋内収納又は撤去)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・屋外の飛散するおそれのある資機材, 車両等は, 飛来時の運動エネルギー等を評価し, 施設等への影響の有無を予め確認 ・施設等へ影響を及ぼす資機材, 車両等は, 飛来物発生防止対策(固縛, 固定, 施設等からの隔離, 建屋内収納又は撤去)の手順等を策定 ・資機材, 車両等の質量, 寸法, 形状から算出した飛来の有無, 飛来時の運動エネルギー等による飛来物発生防止対策の評価方法手順及び評価結果の管理 	
<p>施設等を防護するための操作・確認事項</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・竜巻の襲来が予想される場合及び竜巻襲来後に, 施設等を防護するための操作・確認, 補修等が必要となる事項について手順等を策定 <p>[操作・確認事項]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・竜巻に関する情報入手及び情報入手後の対応 (情報の入手, 周知, 体制判断, 実施方法と手順) ・竜巻襲来が予想される場合の対応に関する運用・手順 (竜巻襲来が予想される場合の使用中の資機材の固縛等) ・竜巻襲来が予想される場合の燃料取扱作業中止の運用, 手順 ・原子炉建屋の外壁各扉の閉止確認手順 <p>[補修]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設備が損傷した場合の代替設備確保及び補修, 取替等の運用, 手順 	<ul style="list-style-type: none"> ・体制の確立 ・保守, 点検 ・教育, 訓練

8. 外部事象対応のうちソフト面による対応について(10/10)



● 外部火災に係るソフト面の対応

- ・人為的に改変され得る設計条件(負荷)に対しては、当社にて管理可能な範囲に対し※、設計条件を維持するためにパトロール等の管理を実施する。
- ・また、飛び火等による延焼に備えるための予防散水及び初期消火は、発生箇所の特定が困難であるため、固定された設備ではなく、自衛消防隊を用いて柔軟に対応する。

※:当社が管理できない設計条件(敷地外の火災源爆発物, 航空路, 等)の改変については, 自然現象への対応と同様であり, 情報を収集した上で, 必要に応じ都度再評価を行う。

項目	運用対策	共通項目
<ul style="list-style-type: none"> ・防火帯の維持・管理 ・植生の維持・管理 	<ul style="list-style-type: none"> ・防火帯上への駐車禁止等の措置, 防火帯のパトロール ・発電所敷地内外のパトロール, 植生の維持・管理 	<ul style="list-style-type: none"> ・体制の確立 ・保守, 点検 ・教育, 訓練
外気取入ダンパ閉, 閉回路循環運転	【外部火災発生時】 <ul style="list-style-type: none"> ・外気取入ダンパ閉, 閉回路循環運転の対応 	
初期消火活動要員による 初期消火活動	【外部火災発生時】 <ul style="list-style-type: none"> ・火災発生現場の確認, 中央制御室への連絡 ・消火器, 消火栓, 化学消防自動車及び水槽付消防自動車を用いた消火活動 	
<ul style="list-style-type: none"> ・自衛消防隊への連絡 ・公設消防への通報 	【外部火災発生時】 <ul style="list-style-type: none"> ・通報連絡責任者による自衛消防隊及び公設消防への連絡 	

(補足説明資料 9. 近隣の原子力施設の事故影響)

9. 近隣の原子力施設の事故影響(1/15)

東海第二発電所の近隣の原子力施設の事故発災時における、発電所の事故対応への影響を検討する。

1. 近隣の原子力施設の所在と安全対策に係る審査状況

- 東海第二発電所の近隣の主な原子力施設の位置関係を示す。各施設の安全対策に係る原子力規制委員会の審査状況として、各試験研究炉等は設置変更許可取得又は廃止の方針、また再処理施設は廃止措置計画の認可を得ている。



- 以下に、①試験研究炉等及び②東海再処理施設の安全対策等について示す。

2. 近隣の原子力施設の安全対策(1/2)

①試験研究炉等の原子炉施設の安全対策

- 試験研究炉等は、原子炉燃料・材料の照射試験、原子炉燃料の安全性の研究、溶液燃料に関する臨界安全性研究並びに放射性廃棄物の廃棄等を行っている施設
- 試験研究炉等の原子炉施設を対象とした新規制基準が制定され、原子力規制委員会は、事故等の防止及び影響を抑制する対策を要求
- 試験研究炉等の原子炉施設が安全性を確保するために行う対策は以下のとおりとされている。

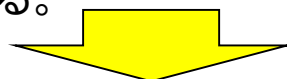
・福島第一原子力発電所事故を踏まえた安全対策(実施済み)

(例 JRR-3:全電源喪失時の炉内燃料等の冠水維持(冷却)対策等)

・新規制基準適合に係る安全対策

(炉内燃料の大量損傷を前提とした防護及び影響緩和対策,地震,津波,竜巻等想定と対策)

- **これらの試験研究炉等の原子炉施設は、新規制基準適合の許可を取得又は廃止の方針を公表している。**これにより、周辺環境に重大な影響を与えるような大規模な異常事態に拡大することが想定される事象に対する対策は図られる。



- ・試験研究炉等の原子炉施設では、炉内燃料の大量損傷等の苛酷な事故を想定しても、発電用原子炉と比べ出力が小さいことや新規制基準に基づく対策が講じられること等から、その影響は概ね施設敷地内に留まると考えられる。
- ・このため、**これらの施設の事故影響は隣接する発電所に影響を与えず、仮に、同時期に発電所で重大事故等が発生した場合を想定しても、発電所の重大事故等への対応に影響を与えることはないと考えられる。**

9. 近隣の原子力施設の事故影響(3/15)



2. 近隣の原子力施設の安全対策(2/2)

②東海再処理施設の安全対策

- 東海再処理施設は、原子力発電所で使用した核燃料(使用済燃料)から、ウラン及びプルトニウムを分離、回収する、再処理技術の開発を行っている施設
- 再処理過程で分離、回収した核燃料物質は核分裂する性質を持つため、臨界事故等を防止する対策が必要、また、発生した高レベル放射性廃液は冷却を継続し発生水素を除去する必要がある。
- 東海再処理施設が安全性を確保するためこれまでに行った対策は以下とされている。

・再処理施設の運転段階から実施してきた安全対策(実施済み)

(臨界防止対策, 火災・爆発防止対策, 停電・放射性物質・放射線漏えい防止対策)

・福島第一原子力発電所事故を踏まえた緊急安全対策による対応(実施済み)

(冷却機能確保対策, 電源確保対策, 浸水防止対策, 事故現場対応手段の拡充及び訓練等)

- 更に、東海再処理施設は平成30年6月に廃止措置計画認可申請が認められ廃止措置中にある。
- 廃止措置の進め方及び廃止措置期間中において東海再処理施設が安全確保対策として行うことを計画している対策は以下のとおりとされている。

・リスクの早期低減を優先課題とし、安全・確実に実施するため、高経年化対策等の安全性向上対策を重要事項として実施

(地震対策, 津波対策, 外部事象対策(竜巻, 森林火災, 火山等)*)

* 地震, 津波, 外部事象のハザード要因の評価方法は東海第二発電所と同様(次頁参照)



- 本方針及び安全確保対策により、東海再処理施設において周辺環境に重大な影響を与えるような事象に対する対策は図られると考えられる。

9. 近隣の原子力施設の事故影響(4/15)



東海再処理施設及び東海第二発電所の主な自然災害の想定

施設／ 自然災害	東海再処理施設 (廃止措置中)		東海第二発電所 (許可取得済)	備考
	自然災害想定	評価/対策		
地震 (最大加速度 (水平))	952gal	冷却水配管及び排気筒の耐震補強を実施予定	1,009gal	・地震の震源想定, 評価方法は東二と同様 ・立地点の地盤条件等の相違により, 最大加速度の値が異なると考えられる。
津波 (施設への 津波到達状況)	T.P.+14.2m (高放射性廃液貯蔵場 施設標高+5~7m)	建屋の浸水防止措置をT.P.+14.4mまで実施済	T.P.+17.9m (防潮堤位置 (天端高さT.P.+20m)での 入力津波の到達高さ)	・津波の波源想定, 評価方法は東二と同様 ・立地点の標高, 地形等の相違により, 津波到達高さが異なると考えられる。
竜巻 (竜巻風速)	100m/s	・建屋コンクリート躯体は健全な見通し ・窓, 扉等の閉止措置を実施予定	100m/s	竜巻影響のハザード想定, 評価方法は東二と同様
火山 (降下火砕物の 堆積厚さ)	50cm	制御室の居住性確保のため可搬型ブロワ, 換気ライン及びフィルタの配備予定	50cm	火山影響のハザード想定, 評価方法は東二と同様

出典:「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構核燃料サイクル工学研究所再処理施設の廃止措置計画の審査方針について」
(平成30年12月19日 原子力規制庁) 及び
「再処理施設に係る廃止措置計画の変更認可申請について(概要)」
(令和元年12月19日 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所)より一部抜粋及び加筆

9. 近隣の原子力施設の事故影響(5/15)



3. 再処理施設の重大事故の事象想定とその影響(1/2)

○再処理施設の重大事故の想定

- ・ 前項までに示したとおり、東海再処理施設は事故発生防止及び影響拡大抑制の安全確保対策を図るとしており、仮に何らかの事故が生じて、**施設の敷地を超えて事故影響を与える可能性は十分に低い**と考えられる。
- ・ しかしながら、ここでは、東海第二発電所の重大事故等への対応手段のレジリエンス*1を確認する観点から、**仮想的に何らかの不測の事態により再処理施設が重大な事故に至り、かつ、同時に発電所も重大事故等が発生した状態で、再処理施設から発電所に影響を及ぼすような放射性物質が放出されることを想定**する。
 - *1 外部からの衝撃に対する発電所防護手段の柔軟性や適応性等を示す。
- ・ 対象施設として、東海再処理施設よりも施設規模の大きい日本原燃株式会社の**再処理事業所再処理施設(六ヶ所再処理施設)**における**重大事故を想定し、その事故が東海再処理施設の立地点で発生したと仮定し、それが東海第二の重大事故等対応に与える影響について検討**する。

施設/仕様	東海再処理施設 (廃止措置中)	六ヶ所再処理施設 (試験実施中)
使用済燃料処理能力	約210tU/年 (累積処理量1,140t)	約800tU/年
高レベル放射性 液体廃棄物容量	約370m ³ (貯槽内保有量*2)	486m ³ (貯槽容量)

*2 東海再処理施設は運転停止以降12年以上が経過しており、液体廃棄物中の放射性物質の減衰により発熱量や水素発生量は減少する方向となり、事故の影響はより緩和されと考えられる。

9. 近隣の原子力施設の事故影響(6/15)

3. 再処理施設の重大事故の事象想定とその影響(2/2)

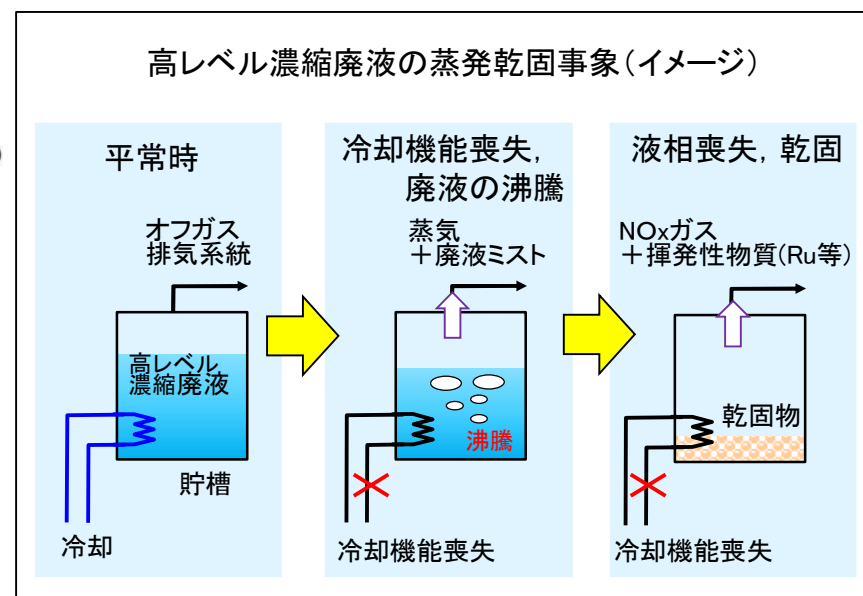
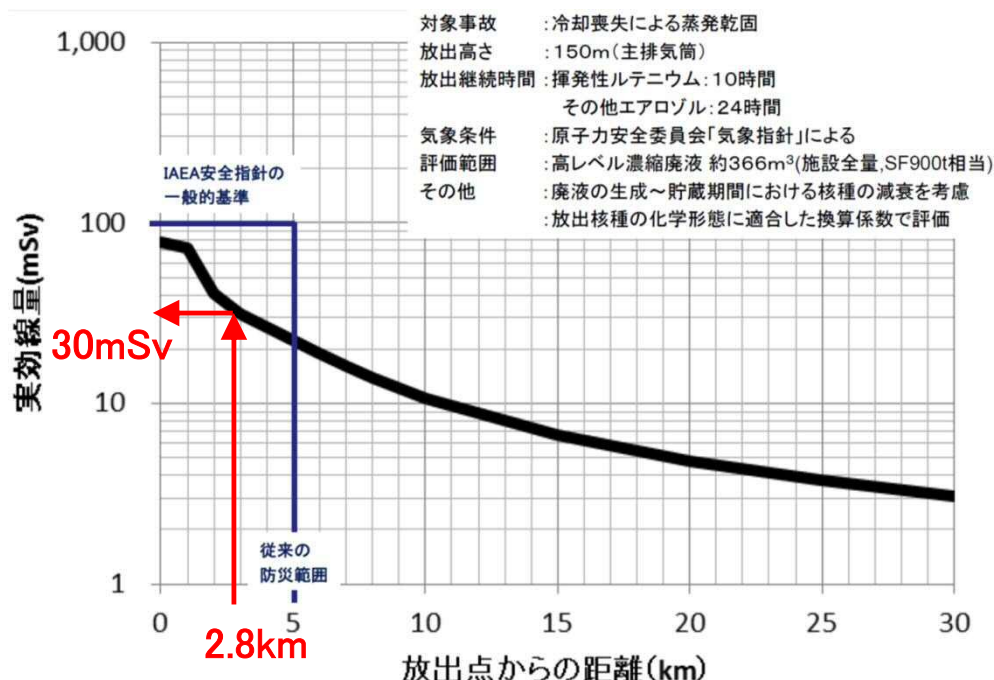
○再処理施設の重大事故想定と被ばく影響

- ・ 六ヶ所再処理施設の施設規模の再処理施設における重大な事故の発生を想定する。
- ・ 各事故のうち最も周辺環境に重大な影響を与える可能性がある「**冷却機能の喪失による蒸発乾固(高レベル濃縮廃液の沸騰事故)**」を想定し※1, **更に安全対策が施せない厳しい条件を付加する。**
- ・ 放射性廃液の沸騰により, 揮発性の放射性物質及びエアロゾル※2が外部に放出され, 施設周辺の雰囲気線量が上昇する。事故地点を発電所から約2.8kmと想定すると, **防護対策なしで発電所敷地の屋外に1週間滞在し続けることで被ばく線量としては概ね30mSv程度の計算結果となる。**※3

※1 水素爆発リスクは小さいとされている。万一、水素爆発が起きた場合でも、爆発そのものが発電所に直接影響する恐れはない。

※2 エアロゾル: 気体の中に微粒子が多数浮かんだ物質。気中分散粒子系ともいう。

※3 発電所の重大事故等時の災害対策要員の実効線量の判断基準として100mSv以下(7日間累積)を設定している。



出典:「再処理施設の事故影響について」(平成26年3月18日 日本原燃株式会社)に一部加筆

9. 近隣の原子力施設の事故影響(7/15)

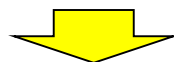


4. 再処理施設の重大事故時の発電所の重大事故等対応への影響評価(1/5)

- ・再処理施設で重大な事故が発生した場合、発電所及び周辺の雰囲気線量が上昇する。この想定と、発電所が備える各設備及び運用方法等を踏まえて評価すると、**再処理施設の重大事故を想定しても、東海第二発電所の重大事故等対応には影響を及ぼさないと判断できる。**

➤ 周辺環境の雰囲気線量の上昇に伴う影響

- ◆ 雰囲気線量が増加することに伴う災害対策要員(屋内、屋外)の被ばく線量の上昇・・・①
- ◆ 発電所への参集ルートでの雰囲気線量増加及び参集要員の被ばく・・・②
- ◆ 発電所への外部支援の制限・・・③
- ◆ 後方支援拠点の設置場所の制限・・・④



➤ 周辺環境の雰囲気線量の上昇に伴う影響に対する評価と対応策(次頁参照)

- ① 災害対策要員の被ばく低減方策として、各施設の換気空調設備や放射線防護具類が活用可能
- ② 複数の発電所参集ルートから被ばく線量が最小となるルートを選定可能
- ③ 発電所内に7日間分の資機材・食料等を備えており、外部支援は雰囲気線量低下を見極めてから対応可能
- ④ 複数箇所確保した後方支援拠点から影響が低い場所を選定することで、拠点の設置及び活動が可能



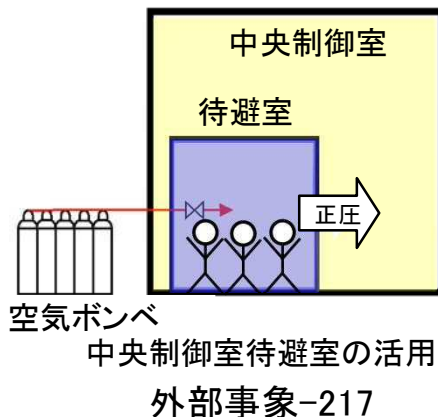
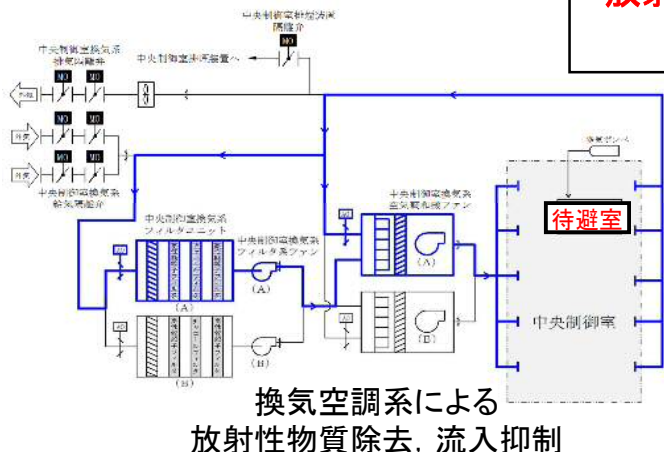
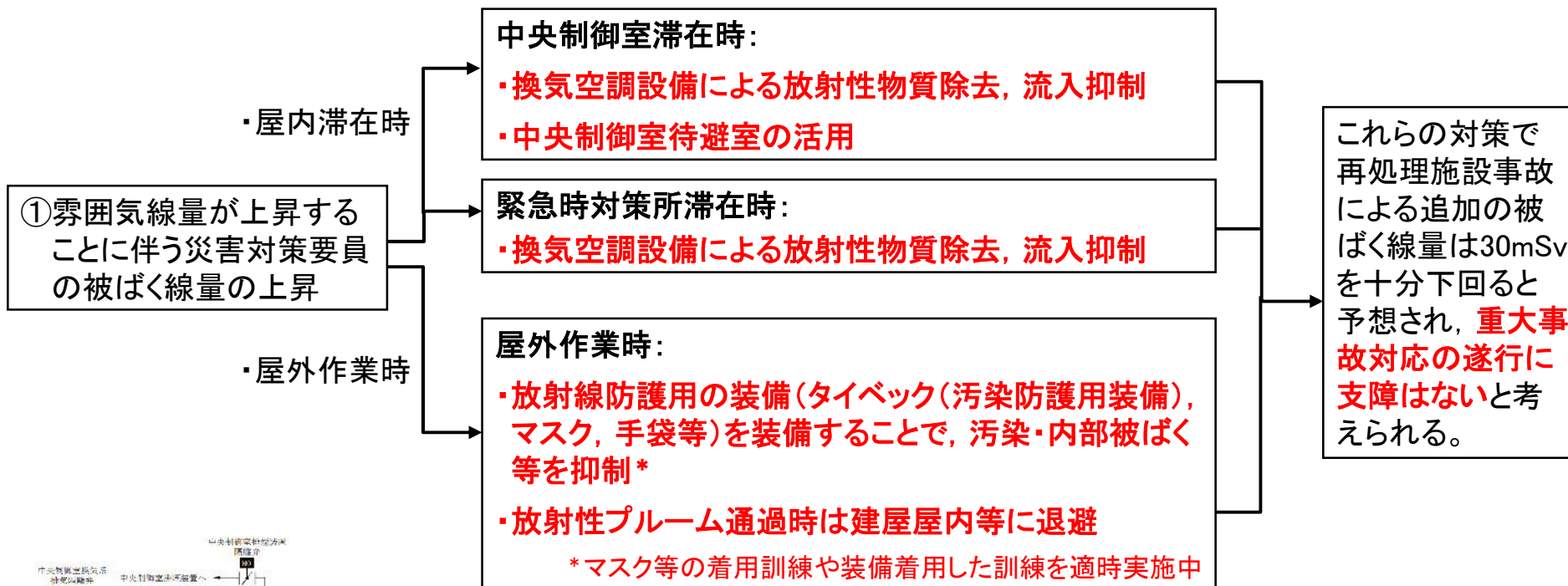
- これらより、近隣の再処理施設の重大事故を想定した場合でも、**東海第二発電所の重大事故等に対処するために整備した各施設、資機材、運用方法等を臨機応変に活用することで、発電所の重大事故等対応は実施可能であり、再処理施設事故は事故対応に影響を及ぼさないと判断**

9. 近隣の原子力施設の事故影響(8/15)



4. 再処理施設の重大事故時の発電所の重大事故等対応への影響評価(2/5)

○東海第二発電所の周辺環境の雰囲気線量の上昇に伴う影響と対応策
 災害対策要員の被ばく低減方策の対応



全面マスク
 ・綿手袋
 ・ゴム手袋
 タイベック
 汚染防護用装備



装備を着用した現場訓練

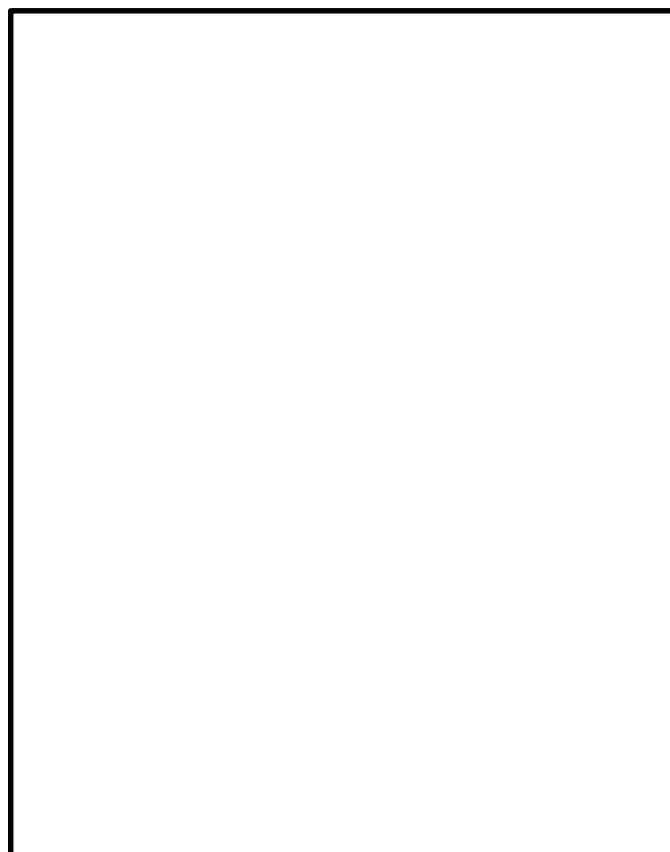
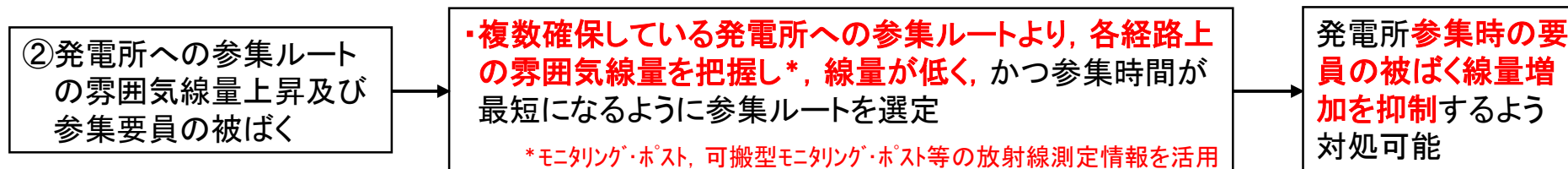
9. 近隣の原子力施設の事故影響(9/15)



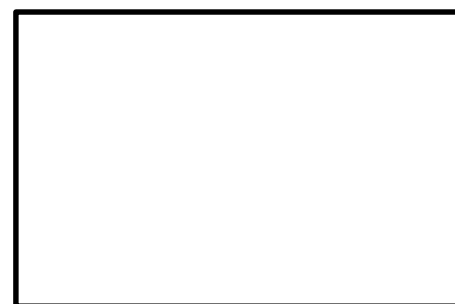
4. 再処理施設の重大事故時の発電所の重大事故等対応への影響評価(3/5)

○東海第二発電所の周辺環境の雰囲気線量の上昇に伴う影響と対応策

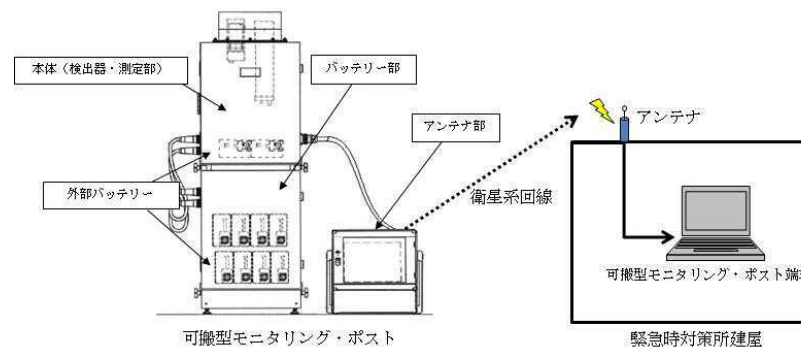
災害対策要員の被ばく低減方策の対応



発電所構内への複数の参集ルート設定と選定



モニタリング・ポスト(既存設備)による
放射線量の測定



可搬型モニタリング・ポストによる

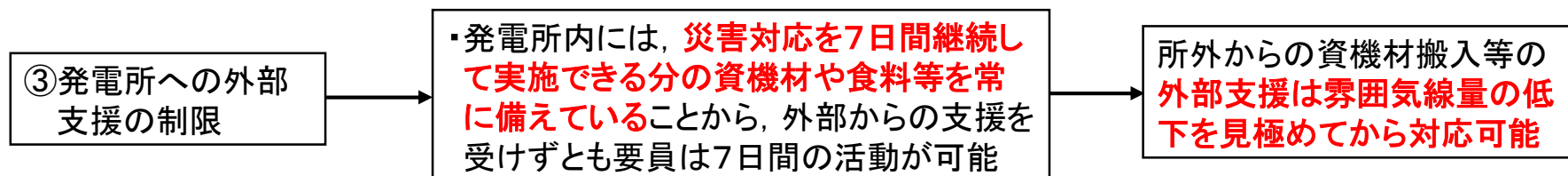
放射線量の測定

9. 近隣の原子力施設の事故影響(10/15)



4. 再処理施設の重大事故時の発電所の重大事故等対応への影響評価(4/5)

○東海第二発電所の周辺環境の雰囲気線量の上昇に伴う影響と対応策 外部支援制限時の発電所の対応



緊急時対策所に配備する主な資機材等(例) (発電所内に7日間の資機材, 食料等を確保)

区分	品名	数量	単位	備考
放射線管理用資機材	タイベック	1,166	着	111名×7日×1.5
	アノラック	462	着	44名 ^{※1} ×7日×1.5
	全面マスク	333	個	111名×2日 ^{※2} ×1.5
	チャコールフィルタ	2,332	個	111名×7日×2×1.5
	個人線量計	333	台	111名×2台×1.5
	GM汚染サーベイメータ	5	台	2台+3台(予備)
	電離箱サーベイメータ	5	台	4台+1台(予備)
	緊急時対策所エリアモニタ	2	台	1台+1台(予備)
	可搬型モニタリング・ポスト ^{※3}	2	台	1台+1台(予備)
	ダストサンブラ	2	台	1台+1台(予備)
	資料	発電所周辺地図	1	式
発電所周辺人口関連データ		1	式	
主要系統模式図		1	式	
系統図及びプラント配置図		1	式	
計器	酸素濃度計	2	台	予備含む
	二酸化炭素濃度計	2	台	予備含む
食料等	食料	2,331	食	111名×3食×7日
	飲料水(1.5ℓ/本)	1,554	本	111名×2本×7日

※1 現場の災害対策要員から自衛消防隊員を除いた数

※2 3日目を降は除染で対応する。

※3 「監視測定設備」と兼用

9. 近隣の原子力施設の事故影響(11/15)

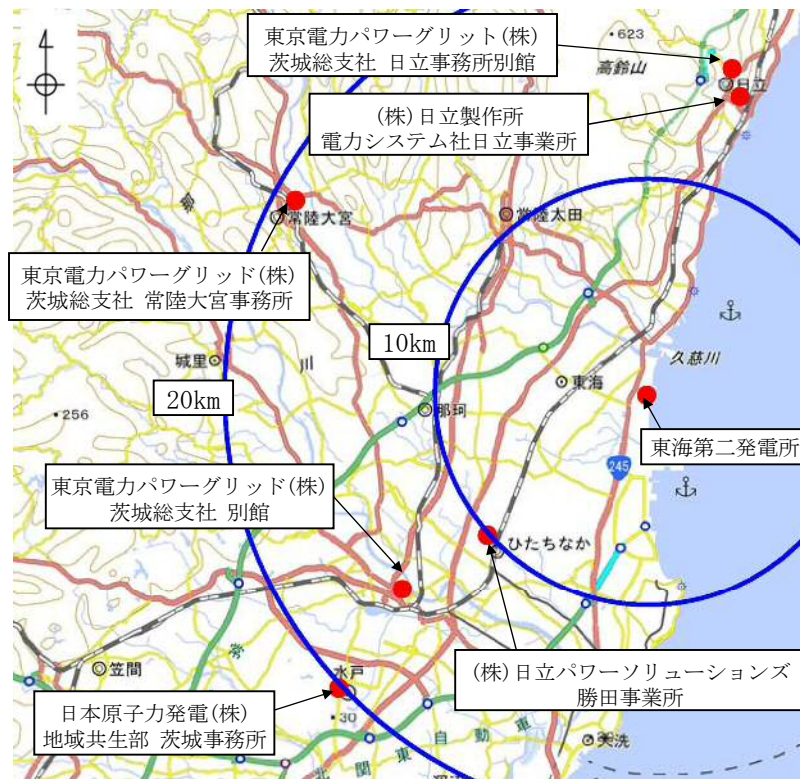
4. 再処理施設の重大事故時の発電所の重大事故等対応への影響評価(5/5)

○東海第二発電所の周辺環境の雰囲気線量の上昇に伴う影響と対応策
後方支援拠点の設置の対応

④後方支援拠点の
設置場所の制限

・後方支援拠点は複数箇所のうちから選
定できることから、放射性物質の飛散状
況を踏まえて支援活動への影響が低い
場所を選定し、拠点設置が可能

再処理施設事故の影響を抑
制しつつ、後方支援拠点の設
置及び活動が可能



災害対策の後方支援拠点の候補地を異なる方位に複数確保

①試験研究用等の原子炉施設の安全対策

○試験研究炉等の原子炉施設の新規制基準への適合状況

- ・試験研究用等の原子炉施設においても、実用発電用原子炉における新規制基準の適合性審査と同様に新規制基準への適合に係る対応が求められた。
- ・日本原子力研究開発機構(JAEA)が有する試験研究用炉は、高出力試験研究炉又は低出力試験研究炉に分類され、実用発電用原子炉と比べ重大事故の対応までは求められていない。
- ・試験研究炉等の安全対策は以下のとおり

試験研究用等原子炉施設の安全性確保の要求と対策（設置変更許可取得済み）

JRR-3

（高出力試験研究炉（熱出力50MW～500kW水冷却炉））

【新規制基準の要求事項】

- 多量の放射性物質等を放出する事故の拡大防止
- 自然現象に対する考慮（火山、竜巻、森林火災など）
- 内部溢水に対する考慮 ○ 火災に対する考慮
- 電源の信頼性 ○ その他の設備の性能
- 耐震・耐津波性能（耐震重要度分類Sクラスの設備は、基準地震動及び基準津波の策定）

- **最新の知見に基づいた多量の放射性物質の放出事故への対策**
 - ◆ 炉内燃料が多量に損傷する事故を仮想したうえで、その防護対策や影響緩和策
- **竜巻などの自然現象や火災への防護**
 - ◆ 過去の記録を元に最大の竜巻(49m/s)を考慮して、施設周辺の資材等の管理
 - ◆ 施設周辺の草木の管理
- **地震対策**
 - ◆ 原子炉建家等について、最新の知見の反映として現行の建築基準法及びその関係法令に照らして改修

NSRR, STACY

（低出力試験研究炉（熱出力500kW未満））

【新規制基準の要求事項】

- 自然災害に対する考慮（火山、竜巻、森林火災など）
- 内部溢水に対する考慮 ○ 火災に対する考慮
- 電源の信頼性 ○ その他の設備の性能
- 耐震・耐津波性能（耐震重要度分類Sクラスの設備なし）

- **竜巻などの自然現象や火災への防護**
 - ◆ 過去の記録を元に最大の竜巻(49m/s)を考慮して、施設周辺の資材等の管理
 - ◆ 施設周辺の草木の管理
- **地震対策**
 - ◆ 原子炉建家等について、最新の知見の反映として現行の建築基準法及びその関係法令に照らして改修

9. 近隣の原子力施設の事故影響(13/15)



②東海再処理施設の安全対策(1/3)

○再処理施設の安全対策と原子力規制委員会東海再処理施設安全監視チームでの検討

・東海再処理施設で実施済みの安全対策は以下のとおり。

再処理施設の安全対策(実施済み;施設運転段階における対策)

➤ 臨界事故を防止するための対策(分離,回収したウランとプルトニウムは核分裂する性質を持つため)

- ◆ 濃度や質量の制限
- ◆ 設備等の形状の制限
- ◆ 中性子吸収材の使用

それぞれの工程に応じて,これらの方法を取り入れた対策を実施

➤ 火災や爆発防止するための対策(再処理の工程で,有機溶媒などの可燃性物質を使用する必要があるため)

- ◆ 有機溶媒の漏れを未然に防ぐ
- ◆ 引火点が高い有機溶媒の使用
- ◆ 検知器により速やかに火災を検知して消火設備により消火 など

➤ 停電対策,放射性物質や放射線の漏えいの防止

- ◆ 放射性物質を扱う機械や設備はステンレス製の内張り,厚いコンクリート壁,二重底になった部屋で放射線を閉じ込め
- ◆ 建屋内部の気圧の管理により漏出の防止
- ◆ タンクや配管には腐食に強い材料を使用
- ◆ 被ばくの防止 など

福島第一原子力発電所事故後を踏まえた緊急安全対策(実施済み)

➤ 冷却機能確保(高放射性廃液を冷やす冷却水供給手段多様化)

- 発電機から冷却水ポンプ等への給電
- ポンプ車の配備
- 可搬式ポンプ及びホースの配備

➤ 水素掃気機能確保(溶液が発する水素の掃気の手段の多様化)

- 移動式発電機から排風機へ給電
- 可搬式空気圧縮機配備
- プルトニウム溶液貯槽内の水素掃気窒素ガスポンベの配備

➤ 電源確保(緊急時においても高台の発電機から重要機器へ給電)

- 移動式発電機の配備
- 軽油タンクの設置
- ローリー車の配備
- 商用電源の拡充

➤ 浸水防止(津波等により必要な設備を浸水させない対策を実施)

- 建屋開口部に浸水防止扉等の設置
- 低層階の窓の閉鎖
- ダクト開口部の延長

➤ 事故時の対応(事故発生時においても確実な対応が図れる)

- がれき撤去用の重機の配備
- 通信手段の多様化
- 照明設備の配備
- 防護服の配備

➤ 訓練(事故対応のための訓練を定期的実施)

- 移動式発電機へのケーブルつなぎ込み
- ポンプ車からの給水

9. 近隣の原子力施設の事故影響(14/15)



②東海再処理施設の安全対策(2/3)

東海再処理施設の廃止措置の進め方及び廃止措置期間中において東海再処理施設が安全確保対策として行うことを計画している対策は以下のとおり。

廃止措置の基本方針

(リスクの早期低減を優先課題とし、安全・確実に実施するため、高経年化対策等の安全性向上対策を重要事項として実施)

- 保有する放射性廃棄物に伴うリスクの早期低減を当面の最優先課題とする
 - ◆ 高放射性廃液貯蔵場(HAW)の安全確保
 - ◆ ガラス固化技術開発施設(TVF)におけるガラス固化
 - ◆ 高放射性固体廃棄物の貯蔵庫(HASWS)の貯蔵状態の改善
 - ◆ 低放射性廃棄物処理技術開発施設(LWTF)におけるセメント固化
- 先行して除染・解体に着手する施設の工程洗浄，系統除染により分散している核燃料物質を集約しリスク低減を図る
 - ◆ 分離精製工場(MP)
 - ◆ ウラン脱硝施設(DN)
 - ◆ プルトニウム転換技術開発施設(PCDF)
 - ◆ クリプトン回収技術開発施設(Kr)

(これらの施設に貯蔵している使用済燃料等は、当面の貯蔵の安全を確保し、搬出先が確保できたものから随時施設外に搬出)
- 高線量系の施設から段階的に除染・解体に着手し，順次低線量系の施設の廃止を進め，全施設の管理区域解除を目指す
- 低レベル放射性廃棄物は，必要な処理を行い貯蔵の安全を確保。廃棄体化を進め，処分場操業開始後に随時搬出
- 組織のバックエンド対策の体制の強化と再処理施設保安規定を定めて，最適化する

東海再処理施設の廃止措置計画書で示されている廃止措置期間中の安全機能の確保策

(リスクの早期低減を優先課題とし、安全・確実に実施するため、高経年化対策等の安全性向上対策を重要事項として実施)

- 地震による損傷の防止(最大加速度952Gal(水平方向))
- 津波による損傷の防止(浸水高さ.TP.+14.2mの評価に対し，建屋の浸水防止扉を設置(T.P.+14.4m))
- 外部からの衝撃による損傷の防止(竜巻(風速100m/s)，森林火災，火山(降下火砕物堆積厚50cm)など)
- 浸水防止扉の設置，移動式発電機等の可搬型設備を高所に配備
- アクセスルート上の低耐震の冷却水配管等へのサポートの敷設
- 緊急電源接続盤の2重化及び分散配置，漏えい液回収系の多重化 等

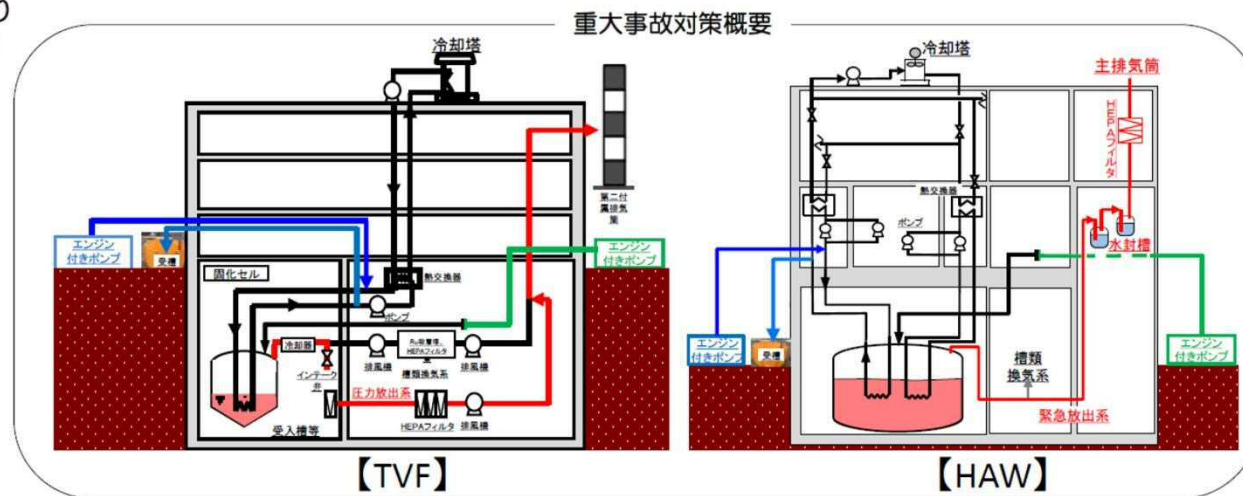
9. 近隣の原子力施設の事故影響(15/15)

②東海再処理施設の安全対策(3/3) 安全対策の概要

○重大事故の対策

安全機能が喪失した場合には、以下により重大事故（高放射性廃液の蒸発乾固）の発生防止、拡大防止、影響緩和を行う。

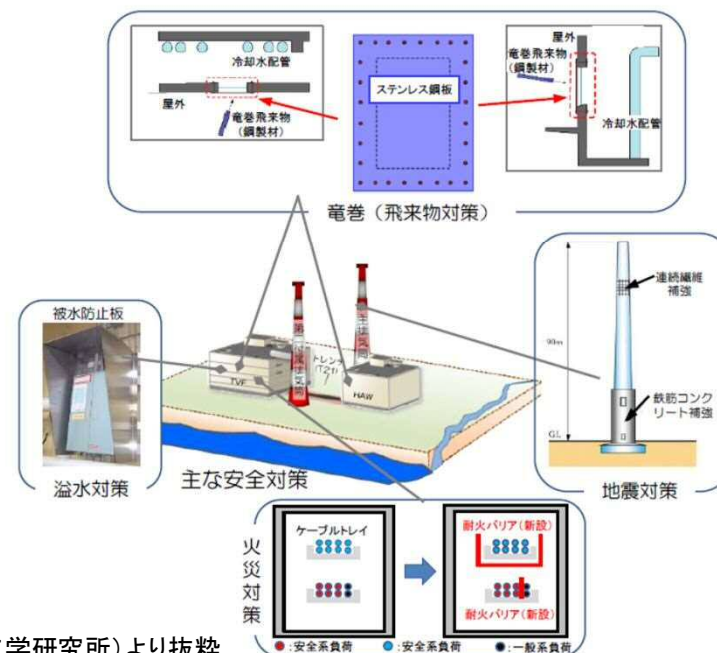
- ▶ **発生防止策**
エンジン付きポンプから水を貯槽の冷却コイルへ供給し、沸騰を防止する。
- ▶ **拡大防止策**
エンジン付きポンプから貯槽へ直接水を供給し、蒸発乾固を防止する。
- ▶ **影響緩和策**
放射性的な気体はフィルタ等により、浄化して放出する。



○安全対策工事の概要

高放射性廃液を取り扱う施設等の安全機能を維持できるよう、以下の工事等により安全性の向上を図る。その他の施設については既往の許認可に従った管理を継続する。

- ▶ **地震**
 - ・ガラス固化技術開発施設 (TVF) の一部の冷却水配管の耐震補強
 - ・高放射性廃液の移送配管を内蔵するトレンチの耐震補強(周辺地盤の改良)
 - ・主排気筒及び第二付属排気筒の耐震補強
- ▶ **竜巻 (飛来物対策)**
 - ・高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 及びガラス固化技術開発施設 (TVF) の窓、扉等の建家開口部の閉止措置
- ▶ **火山 (制御室の居住性確保)**
 - ・ガラス固化技術開発施設 (TVF) への外気取込及び循環換気用可搬型ブロウ、換気ライン及びフィルタの配備
- ▶ **火災**
 - ・ガラス固化技術開発施設 (TVF) の安全系の給電ケーブルへの耐火バリアの設置
- ▶ **溢水**
 - ・ガラス固化技術開発施設 (TVF) の配管の耐震補強、被水防止板の設置、蒸気漏えいを防止するための遮断弁やカバー等の設置



出典:「再処理施設に係る廃止措置計画の変更認可申請について(概要)」

(令和元年12月19日 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所)より抜粋