

女川原子力発電所 2 号機の安全性に
関する検討会 説明資料

論点番号 5 7 , 5 8

(意見番号 5 7 , 5 8)

新規制基準適合性審査申請
＜(3)その他の自然現象等＞
火山
(No.57,58関連)

2019年4月23日

東北電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

All Rights Reserved. Copyrights © 2019, Tohoku Electric Power Co., Inc.

1

目次

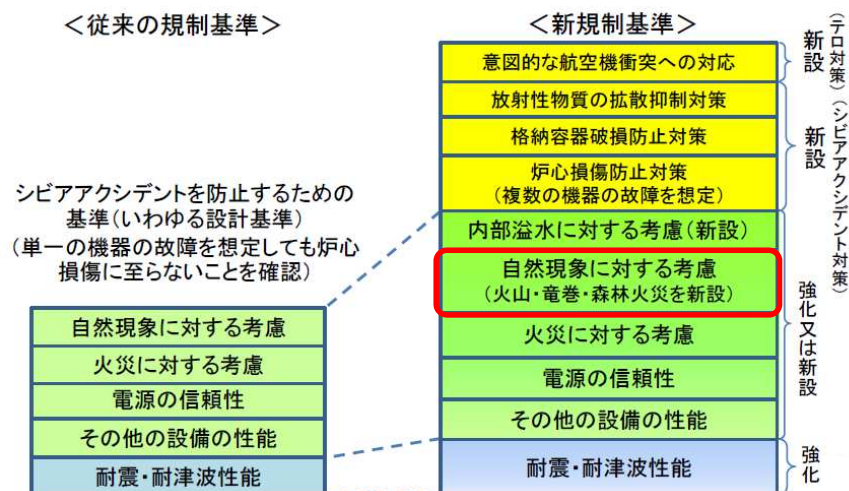
1. 原子力発電所の火山影響評価の背景
2. 規制要求事項
3. 火山の分布・仕組み
4. 発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出
5. 発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出
6. 降下火砕物(火山灰)による影響の特徴
7. 火山影響評価
8. 適合性審査の状況
(参考資料)

1. 原子力発電所の火山影響評価の背景

1. 原子力発電所の火山影響評価の背景

➤ 背景

- 平成23年3月11日の巨大地震による津波によって、福島第一原子力発電所でシビアアクシデントが発生
- 原子力発電所の安全に関わる新たな規制機関として原子力規制委員会(NRA)が発足
- 新規制基準において、大規模な自然災害に対する対応の強化が図られた



※「原子力規制委員会:実用発電用原子炉に係る新規制基準について(概要)」より引用



2. 規制要求事項



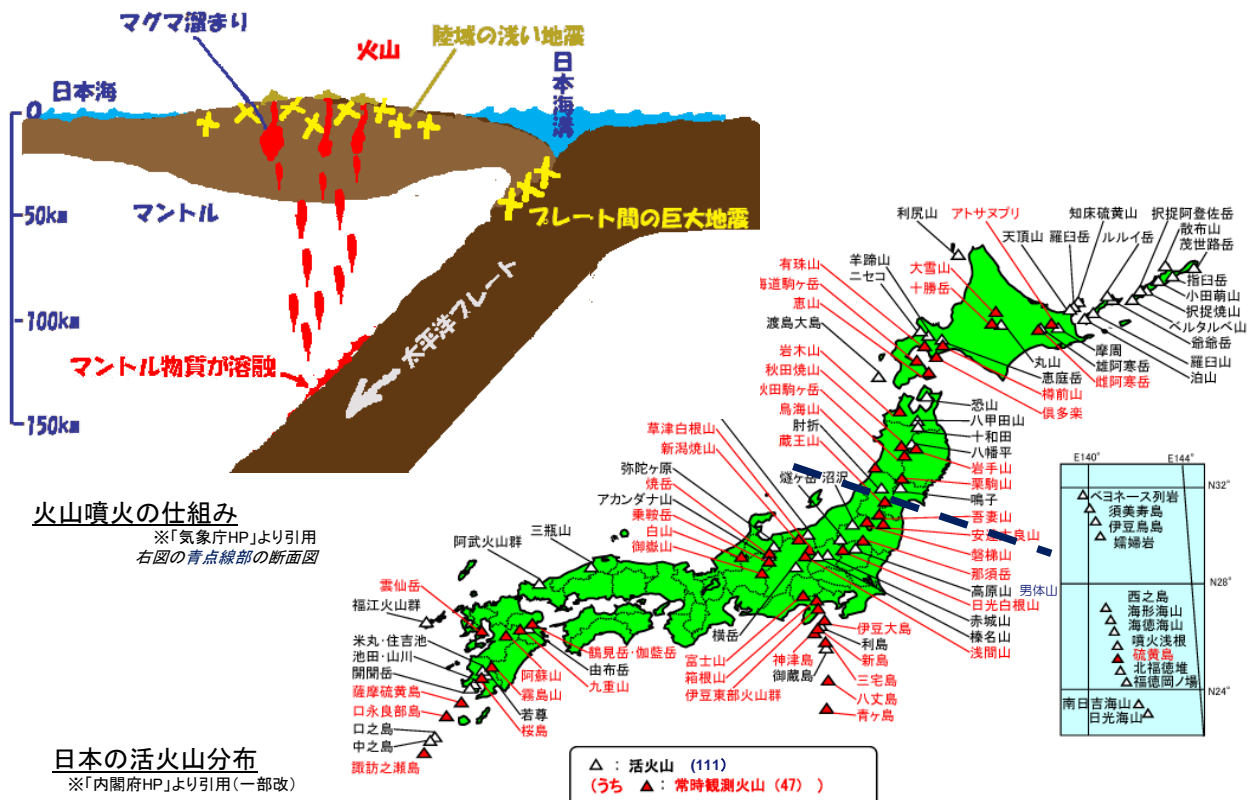
2. 規制要求事項

➤ 規制要求事項

- ・ 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」第6条において、自然現象に対して、安全施設の安全機能を維持することが求められている
- ・ これに関連して、敷地周辺の自然環境をもとに想定される自然現象の一つとして火山の影響を挙げている
- ・ 発電用原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であることを評価・確認するため、「原子力発電所の火山影響評価ガイド」(以下「火山ガイド」という。)を参照し、影響を及ぼし得る火山の抽出や火山活動の影響評価が要求されている

3. 火山の分布・仕組み

3. 火山の分布・仕組み



4. 発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

4. 発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

- 火山影響評価ガイドに基づき、女川原子力発電所から160kmの範囲の第四紀火山(約258万年前から現在までに活動した火山)を抽出



- 完新世(概ね1万年以内)に噴火活動があったかを確認



将来の火山活動の可能性を検討

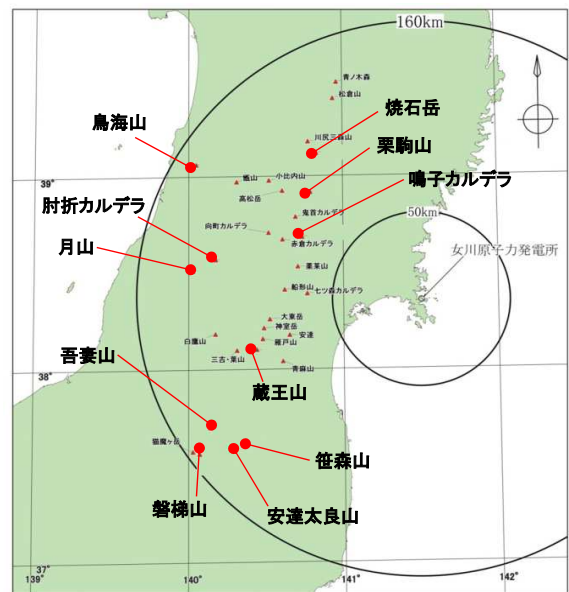


焼石岳、鳥海山、栗駒山、鳴子カルデラ、肘折カルデラ、月山、蔵王山、笹森山、吾妻山、安達太良山及び磐梯山の11火山を抽出

⇒参考資料(P35～)参照



女川原子力発電所への影響を検討



原子力発電所に影響を及ぼし得る火山

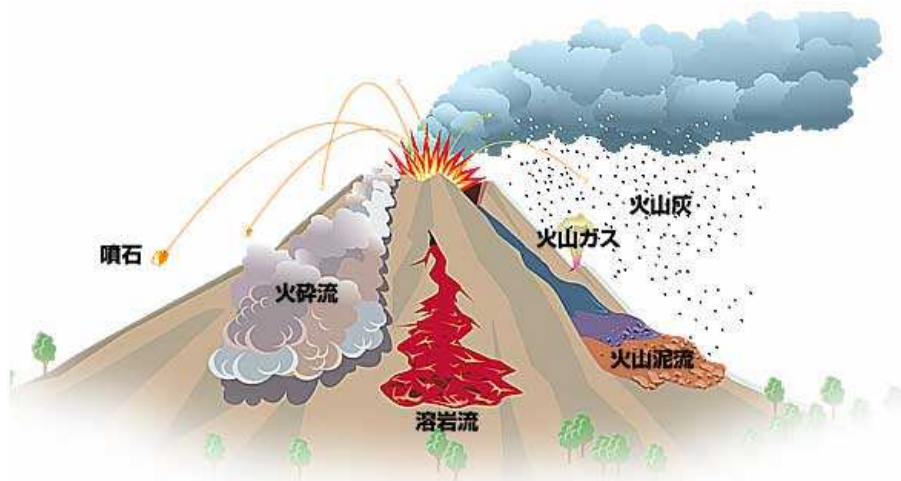
女川原子力発電所にもっとも近い火山は、鳴子カルデラの約76kmである。

5. 発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

5. 発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出(1/3)

➤ 考慮が必要な火山事象

- 火山ガイドに基づき、発電所に影響を与える可能性がある13の火山事象について、火山の活動性や発電所との距離、地質調査等を踏まえて、事象ごとの評価を実施



5. 発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出(2/3)

▶ 発電所に影響を及ぼし得る火山事象とその概要

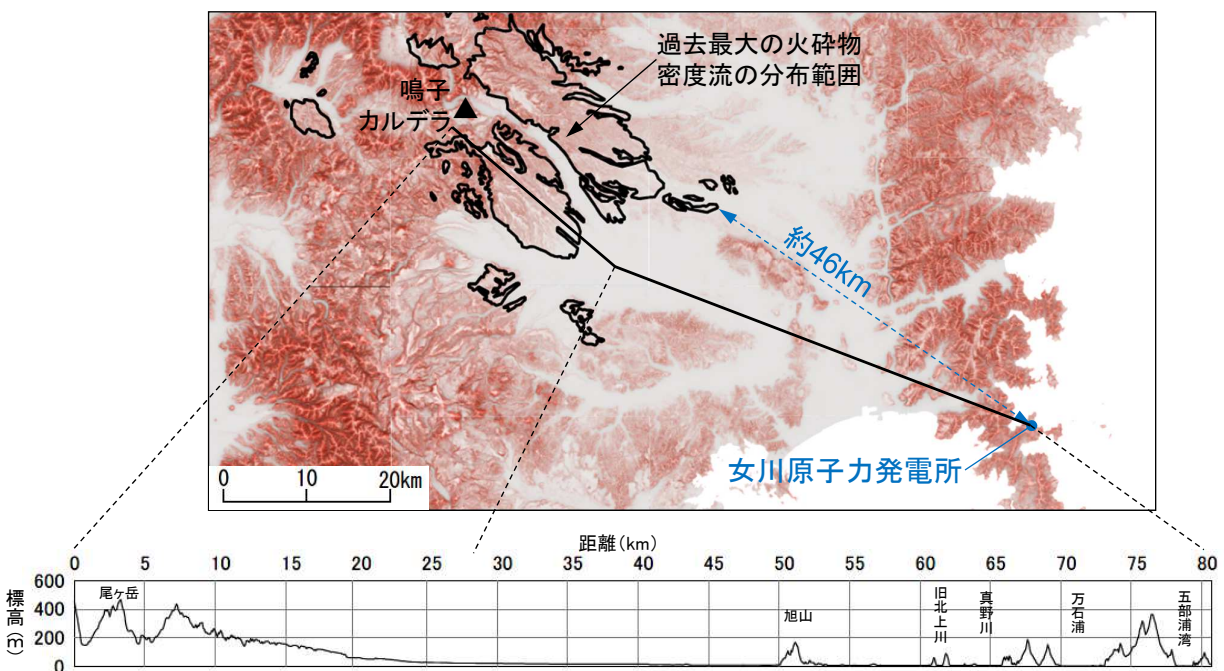
火山事象	事象の概要	発電所への影響
1. 降下火砕物	火山灰による影響であり、広範囲に影響を及ぼす	影響を及ぼす可能性あり
2. 火砕物密度流	噴石等が斜面を流れ下る現象	火山との十分な距離があるため影響はなし ⇒次頁で「火砕物密度流」の評価を例示
3. 溶岩流	マグマが地表に噴出し流れ下る現象	
4. 岩屑なだれ	火山体が大規模に崩壊し流れ下る現象	
5. 火山性土石流	火砕物の熱による融雪等で発生する土石流、火山泥流	
6. 噴石	火口からの噴石が飛来する現象	
7. 火山ガス	火口や噴気口から揮発性ガスが噴き出す現象	
8. 新しい火口の開口	新たに火口が開口することによる影響	
9. 火山性津波	・岩屑なだれ等が海に流入することで発生する津波 ・海底噴火に起因する津波	火山との十分な距離があるため影響はなし
10. 大気現象	火山時の稲妻や火口噴流風等	敷地周辺では火山活動はない
11. 地殻変動	マグマが多量に上昇してくることにより生じる地表の変形	
12. 火山性地震	火山時に引き起こされる地震現象	
13. 熱水系の影響	マグマを熱源とした熱水系による水蒸気爆発	火山との十分な距離があるため影響はなし

発電所に影響を及ぼし得る火山事象は「降下火砕物(火山灰)」のみ

5. 発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出(3/3)

▶ 火山事象に対する評価(例:火砕物密度流)

- 発電所に最も近い鳴子カルデラ(約76km)について、過去に発生した最大規模の火砕物密度流(約9万年前)の分布を調査した結果、発電所から十分離れていることを確認した



6. 降下火砕物(火山灰)による影響の特徴

6. 降下火砕物(火山灰)による影響の特徴

➤ 降下火砕物による設備への影響の特徴

- 降下火砕物が建物等に降り積もることによって、建物が倒壊する恐れがある
- 降下火砕物に付着する腐食成分によって、設備を腐食させる恐れがある
- 降下火砕物が混入することによって、設備の閉塞、摩耗等を発生させる恐れがある
- 降下火砕物を含む大気によって、人員の活動に影響を及ぼす恐れがある

➤ 降下火砕物への対応の特徴

- 気象庁の噴火予報や降灰予報等から、降下火砕物の影響に対して、予めの準備や対策を行うことができる
- 降灰後には速やかに除灰作業等を行うことで、影響を緩和することが可能であることから、降灰直後の短期的な評価に対する対応が重要

➤ 社会全体に大きな影響を及ぼす恐れがある事象

- 送電網の損傷による大規模な停電
- 広範囲の道路に堆積することによる、大規模な交通途絶

原子力発電所への影響についても、上記の特徴を踏まえた対策を実施する

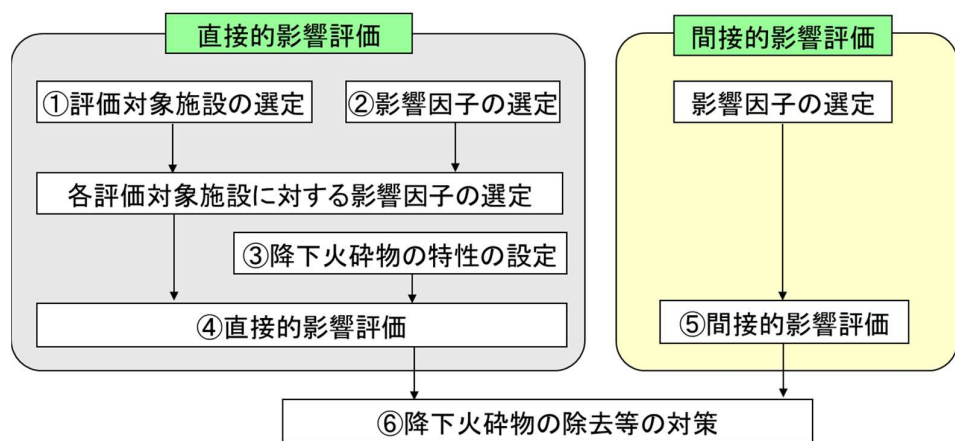
7. 火山影響評価

7. 火山影響評価(評価フロー)

火山事象(降下火砕物)に対する設計の基本方針

火山ガイドを踏まえて、降下火砕物による直接的影響、間接的影響を評価し、原子力発電所への影響を評価する

- ・直接的影響: 降下火砕物による荷重、摩耗、閉塞、腐食等の直接的な設備への影響
- ・間接的影響: 降下火砕物による広範囲の送電網の損傷によって生じる外部電源の喪失や発電所内外に降下火砕物が降り積もることによって生じる発電所へのアクセス制限



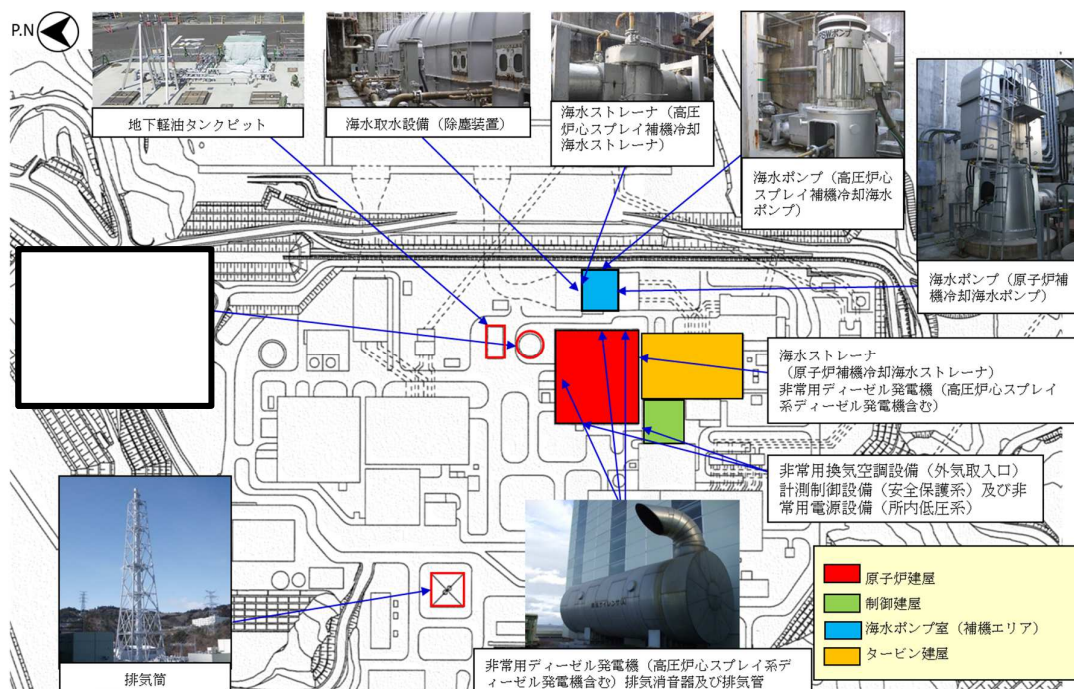
7. 火山影響評価(① 評価対象施設の選定結果)

- 降下火砕物の特徴および評価対象施設の構造や設置状況等を考慮して影響を評価する

分類	評価対象施設	影響評価
屋外に設置している設備	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・制御建屋 ・タービン建屋 ・地下軽油タンクピット ・非常用海水ポンプ、海水ストレーナ ・復水貯蔵タンク ・排気筒 	降下火砕物の荷重による影響評価
		降下火砕物による腐食の影響評価
降下火砕物を含む海水の流路となる設備	<ul style="list-style-type: none"> ・非常用海水ポンプ、海水ストレーナ 	海水中の降下火砕物による流路の閉塞・摩耗の影響を評価
		海水中の降下火砕物による腐食の影響を評価
降下火砕物を含む空気の流路となる設備	<ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電機 ・非常用換気空調設備 ・排気筒 	空気中の降下火砕物による流路の閉塞・摩耗の影響を評価
		空気中の降下火砕物による腐食の影響を評価
外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む設備	<ul style="list-style-type: none"> ・屋内の電源盤 	屋内設置であっても、空気を取り込む機構を有する電源盤に対する影響評価

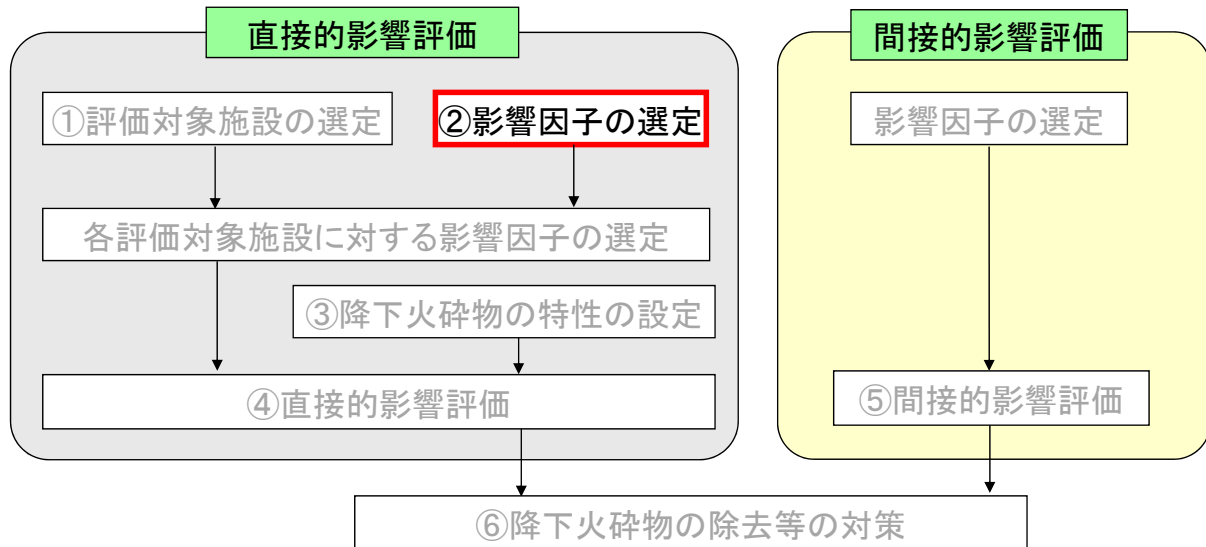
7. 火山影響評価(① 評価対象施設の選定結果)

- 評価対象施設は機器の重要度を踏まえて、火山の影響(屋外設備、降下火砕物を含む海水や空気の流路となる等)に基づき設定



枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

7. 火山影響評価(②影響因子の選定(1/3))



7. 火山影響評価(② 影響因子の選定(2/3))

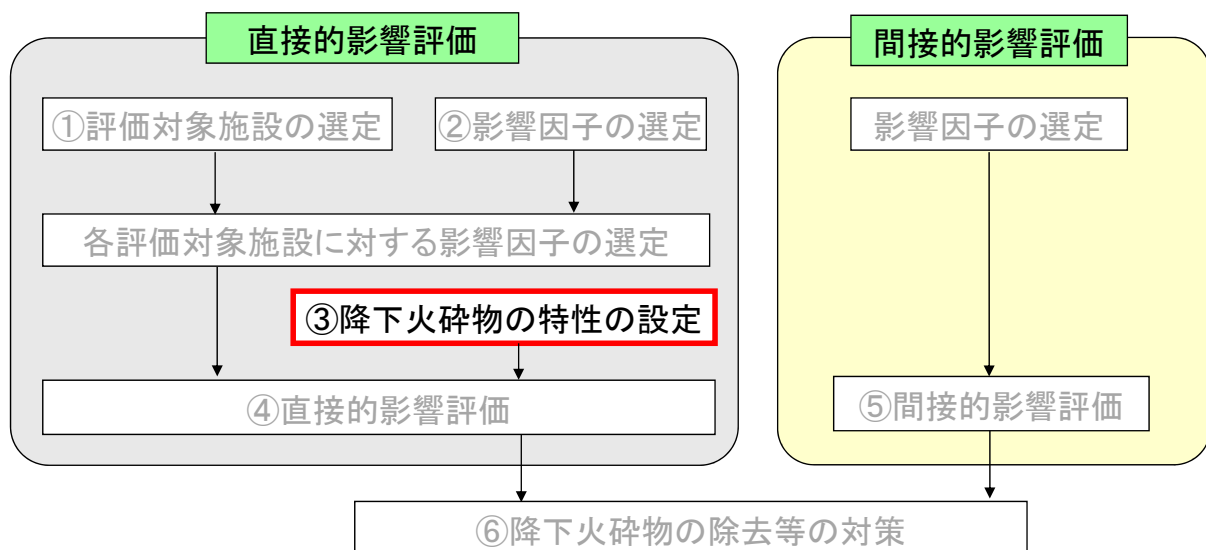
- 降下火砕物の特徴及び評価対象施設の構造や設置状況等を考慮して影響因子を選定する

影響を与える可能性のある因子	評価方法	詳細検討すべきもの
構造物への静的負荷	降下火砕物による荷重が構造物に与える影響は降灰後に速やかに除灰することによって低減可能であるが、 除灰による荷重の低減を考慮せずに評価 する	○
構造物への化学的影響(腐食)	降下火砕物による腐食が構造物に与える影響は降灰後に速やかに除灰することによって低減可能であるが、 除灰による低減効果を考慮せずに腐食による影響を評価 する	○
粒子の衝突	「竜巻影響評価」における飛来物評価に包絡されるため、詳細検討は不要	—
水循環系の閉塞・摩耗	海水中に混入する降下火砕物の影響は、 海水中の砂等の影響に包絡される と考えられるが、ポンプの狭隘部等における閉塞・摩耗の影響を評価する	○
水循環系の化学的影響(腐食)	海水中に混入する降下火砕物の腐食影響は、 海水中では耐食性のある材料を使用していることや塗装を実施していることから、影響は小さい と考えられるが、海水の流路における腐食による影響を評価する	○

7. 火山影響評価(② 影響因子の選定(3/3))

影響を与える可能性のある因子	評価方法	詳細検討すべきもの
換気系、電気系及び計測制御系に対する機械的影響(摩耗・閉塞)	空気中に漂う降下火砕物の影響は、 <u>フィルタによる除去等により低減可能である</u> が、設備の狭隘部等の摩耗や閉塞の影響を評価する	○
換気系、電気系及び計測制御系に対する化学的影響(腐食)	空気中に漂う降下火砕物の影響は、 <u>フィルタによる除去等により低減可能である</u> が、空気中に漂う降下火砕物の設備内部の腐食の影響を評価する	○
発電所周辺の大気汚染	運転員が常時滞在する <u>中央制御室は、空調機を循環運転とすることで、降下火砕物の影響を低減することが可能である</u> が、この場合の居住性を評価する	○
水質汚染	発電所で使用する給水は水処理を行い、水質管理を行っていることから、詳細検討は不要	—
絶縁低下	空気中に漂う降下火砕物の影響は、 <u>フィルタによる除去等により低減可能である</u> が、屋内の空気を取込む機構を有する電源盤への影響を評価する	○

7. 火山影響評価(③降下火砕物の特性の設定(1/2))



7. 火山影響評価(③降下火砕物の特性の設定(2/2))

- 文献調査およびシミュレーション結果等により火山灰の層厚、粒径及び密度を設定
- 降雨、降雪等、同時期に想定される気象条件等の火山灰等特性への影響についても考慮

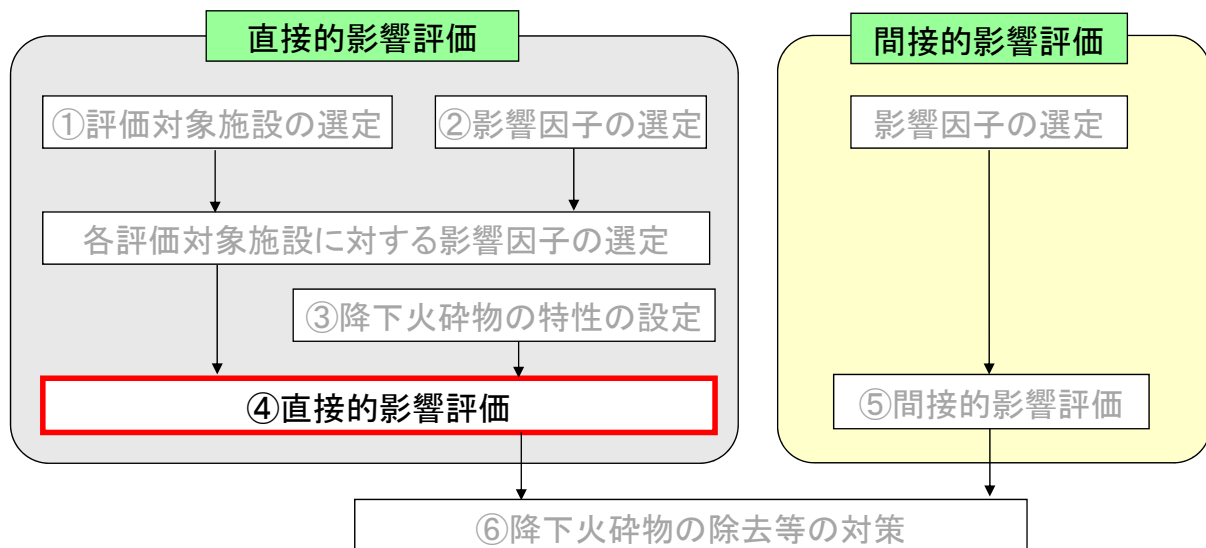
火山灰の条件		
項目	設定	備考
層厚	15 cm	鳴子カルデラ、蔵王山、肘折カルデラ等を対象にシミュレーション(産業技術総合研究所のHP上で公開)を実施 その結果、最大となった12.5cm(鳴子カルデラ)に保守性を考慮
密度	湿潤密度: 1.5 g/cm ³	乾燥密度は0.7g/cm ³ であるが、設備評価では、湿潤密度を適用
粒径	2 mm以下	閉塞評価時に考慮
化学的特性	主組成は火山ガラスや 鉱物結晶片	硬度は砂と同等またはそれ以下
	火山ガス成分が付着	腐食を引き起こす成分として硫化物イオン等を含む

【参考: 火砕物の厚さと被害との関係※】

火山灰の厚さ	主な被害
数cm	交通機関がマヒする
10cm	古い木造建物などに被害が出る(屋根が落ちる)
20~30cm	多くの木造建物などに被害が出る
50cm	半数以上の木造建物が倒壊する

※: 国土交通省HP「火山災害に係る検討について」より引用

7. 火山影響評価(④直接的影響評価(1/3))



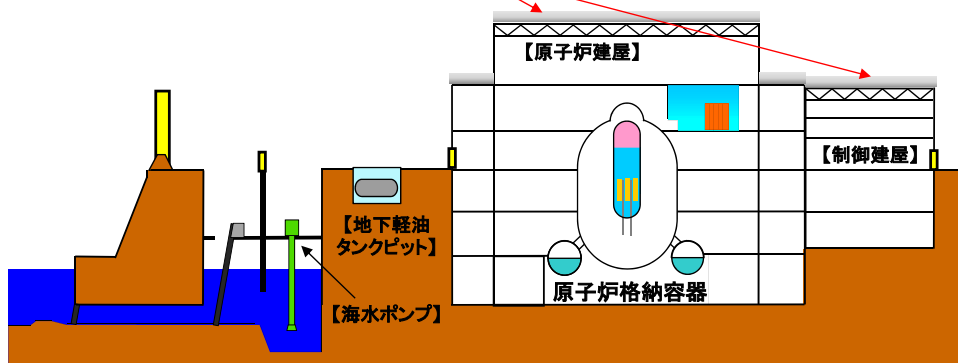
7. 火山影響評価(④直接的影響評価(2/3))

➤ 「構造物への静的負荷」の評価結果

- 降下火砕物の堆積荷重に対して、施設が十分な安全裕度を有することを確認

評価対象	評価部位	許容堆積荷重 (N/m ²)	降下火砕物 堆積荷重(N/m ²)	結果
原子炉建屋	建屋天井壁	4,117	2,547	○
制御建屋	建屋天井壁	4,559		○
タービン建屋	建屋天井壁	4,117		○

建屋に堆積する降下火砕物による荷重を評価



7. 火山影響評価(④直接的影響評価(3/3))

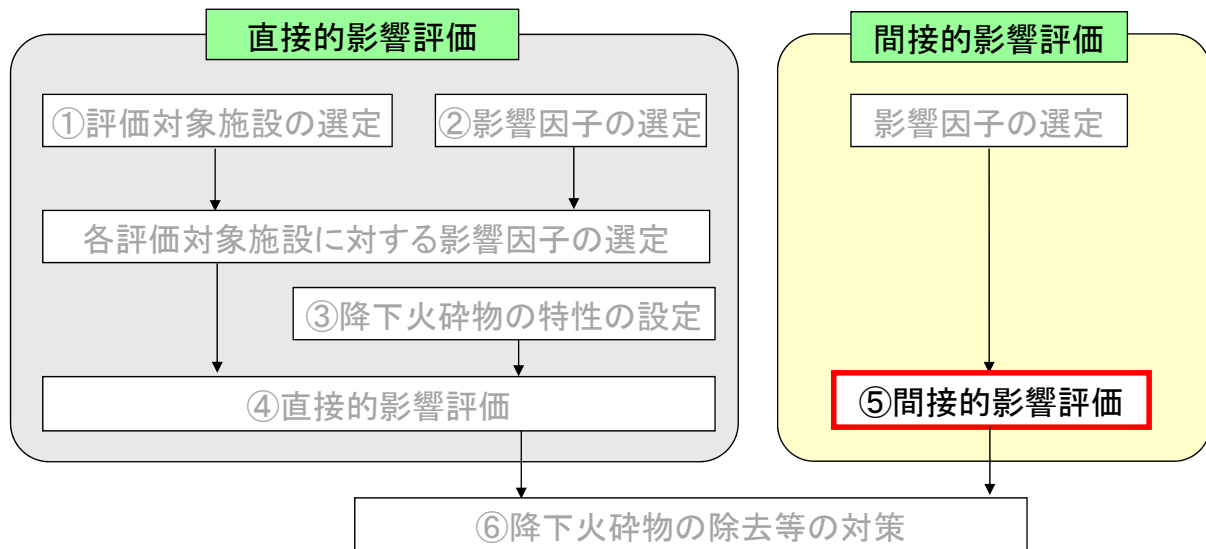
➤ 「構造物への化学的腐食」の評価結果

- 降下火砕物に付着する腐食性ガスによる腐食影響について、腐食対策が実施されていることを確認

影響因子	評価対象施設	評価対象部位	腐食対策
構造部への 化学的影響 (腐食)	・原子炉建屋、制御建屋、タービン建屋	外壁	防食塗装
	・非常用海水ポンプ	ポンプ	
		モータ	
	・海水ストレーナ	ストレーナ外面	
	・排気筒	排気筒、支持構造物	
	・復水貯蔵タンク	タンク	
	・地下軽油タンクピット	ハッチ	
・非常用ディーゼル発電機	排気消音器		
	排気管		

- 海水中の降下火砕物の腐食影響についても、ゴムライニングや塗装等の対策を実施

7. 火山影響評価(⑤間接的影響評価(1/3))



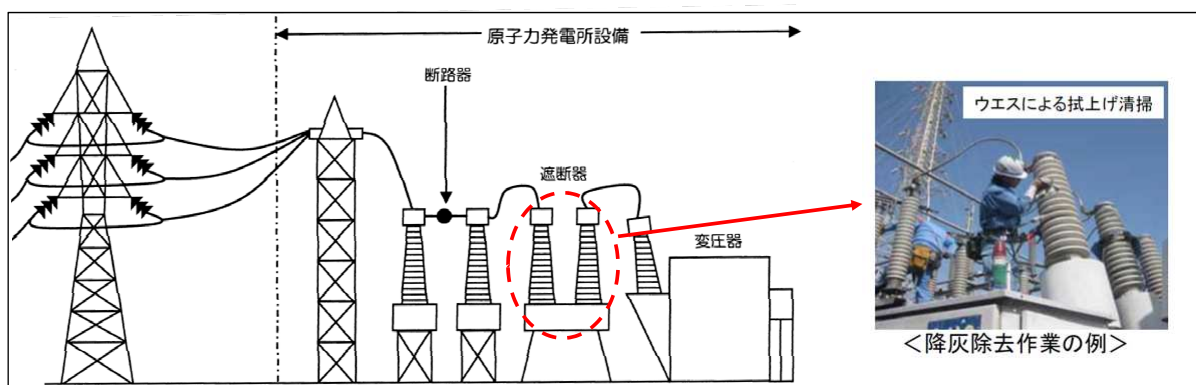
7. 火山影響評価(⑤間接的影響評価(2/3))

➤ 間接的影響に対する設計方針及び評価結果

(1) 送電線のがいし等に付着することによる絶縁低下で生じる外部電源喪失



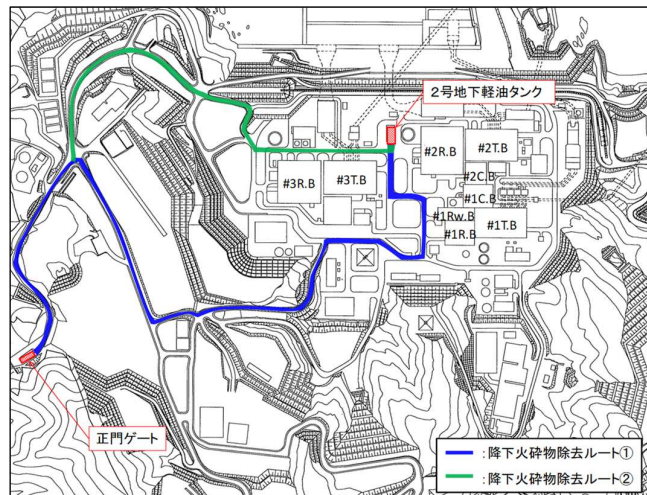
- 外部電源喪失が発生した場合でも、非常用ディーゼル発電設備は7日間運転できる燃料を確保
- 外部電源復旧後に原子力発電所が受電するにあたり、降灰の影響を受ける開閉所のがいしの除灰を実施



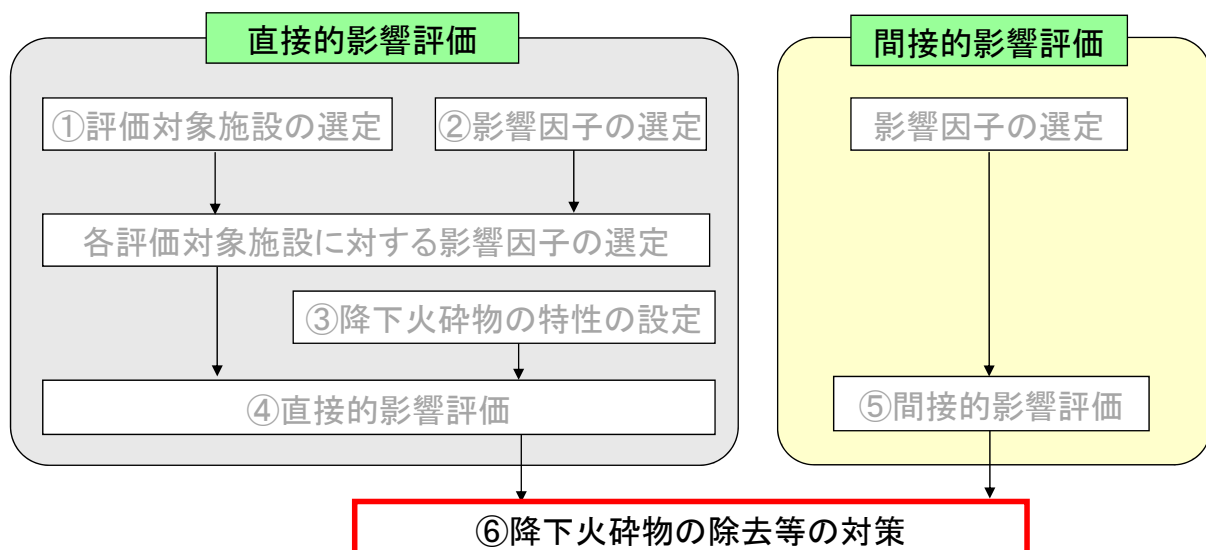
7. 火山影響評価(⑤間接的影響評価(3/3))

(2) 降下火砕物が道路に堆積することによる交通の途絶に伴うアクセス制限

- ・ 外部電源喪失後、7日間以降の非常用ディーゼル発電設備の運転に備え、敷地内に降下火砕物が堆積した場合の燃料補給ルートを確認
- ・ 構外からタンクローリーなどによる燃料の陸送を想定し、当社所有のブルドーザによる燃料補給ルートの除灰が成立することを確認



7. 火山影響評価(⑥降下火砕物の除去等の対策(1/2))



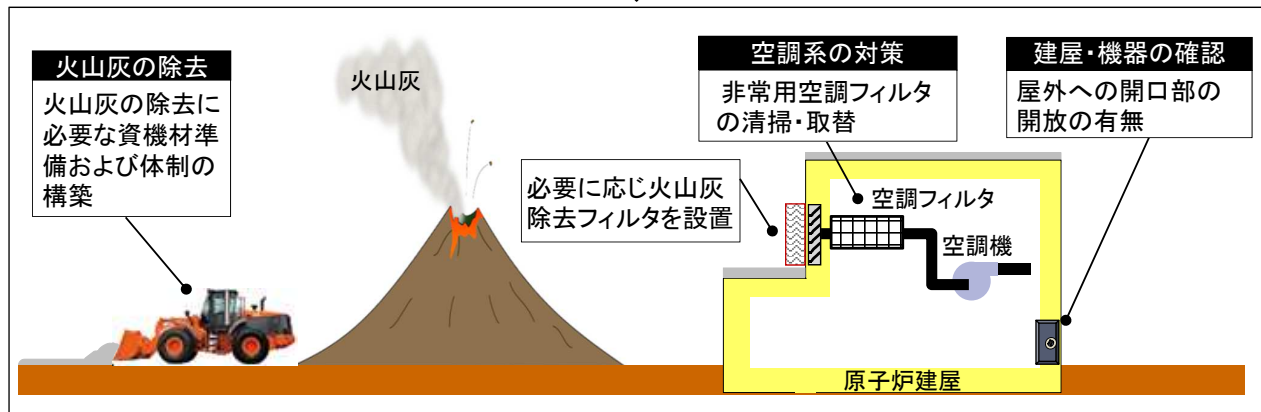
7. 火山影響評価(⑥降下火砕物の除去等の対策(2/2))

➤ 降下火砕物が及ぼす影響に備えて、運用手順を定め、段階的に対応

①火山の大規模な噴火兆候がある場合

- 火山情報(火山の位置、噴火規模、風向、降灰予測等)等を収集・把握
- 連絡体制を強化し、必要な要員の確認

②火山の大規模な噴火が発生した場合または、敷地内に降下火砕物が降り積もる状況となった場合



8. 適合性審査の状況

8. 適合性審査の状況

- 火山影響評価について、当社はこれまでに2回の審査会合で説明
- 審査では、降下火砕物と組合せる積雪荷重の考え方等の質問・指摘を受けて説明を実施。火山影響評価に係る回答は概ね終了

主な質問・指摘事項	回答状況
✓ 降下火砕物の堆積による静的負荷に関し、降下火砕物と重畳させる積雪の荷重について、関連する基準要求を踏まえて、重畳の考え方を整理して提示すること。除灰の効果을期待する場合は、積雪下での除灰の実現性について、整理して提示すること。	✓ 降下火砕物による荷重に組み合わせる積雪荷重の考え方を整理し、適用の妥当性を説明。降下火砕物による荷重と積雪による荷重の組合せにおいては、除灰の効果は期待しないものとする
✓ 間接的影響(長期間の外部電源の喪失および交通の途絶)の評価について、外部からの支援が7日以降可能となる妥当性を提示すること。開閉所の除灰について、検討して提示すること。	✓ 降灰による間接的影響発生時の外部からの支援については、事象発生後6日間までに発電所外からの支援が受けられるよう支援計画を定めるとともに体制を整備する。また、開閉所の除灰を行うことにより、7日間以降外部電源が受電可能である

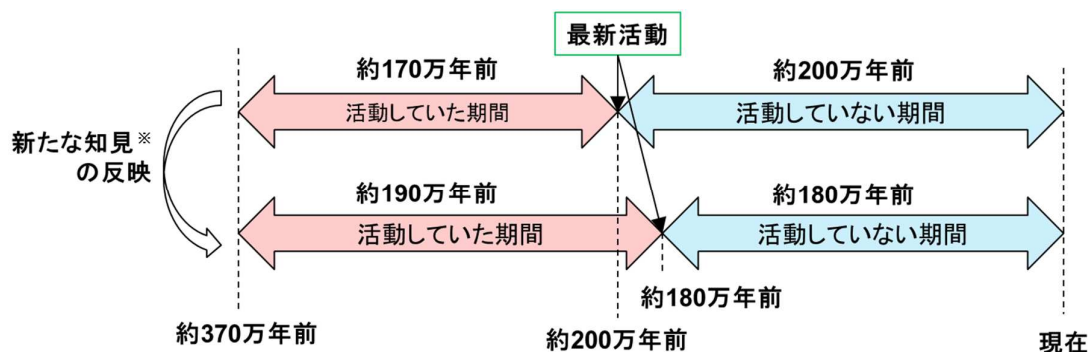
(参考資料)

対象火山の見直しについて

- 新規規制基準適合性審査への申請時点(2013.12)においては、その時点の評価を踏まえ、発電所に影響を及ぼし得る火山の対象は10火山としていた
- その後、2015年に発表された知見※を踏まえ、以下のとおり、「将来の火山活動の可能性検討」をあらためて行った結果、発電所に影響を及ぼし得る火山として**笹森山を追加し、11火山とした**

※ 山元孝広(2015):新たに認定された第四紀火山の放射年代:笹森山火山地質調査研究報告,第66巻,第1/2号,p.15-20

- 笹森山の活動期間は、『約370万年前から約200万年前』と考えられていたが、上記の知見により、火砕物密度流の年代が約180万年前の可能性があると指摘されたため、活動期間を『約370万年前から約180万年前』に見直した
- その結果、笹森山が活動していない期間よりも活動していた期間の方が長くなったことから、笹森山を発電所に影響を及ぼし得る火山に抽出することとした



女川原子力発電所 2 号機の安全性に
関する検討会 説明資料

論点番号 5 9

(意見番号 8 6)

新規制基準適合性審査申請 自然現象等 ＜(3)その他:外部火災＞

平成27年8月20日
東北電力株式会社

All rights reserved. Copyrights © 2015, Tohoku Electric Power Co., Inc.

目 次

1. 外部火災影響評価の概要
2. 森林火災
 - 2-1. 植生調査
 - 2-2. FARSITEによる解析結果
 - 2-3. 防火帯設定イメージ図
 - 2-4. モルタル吹付の施工例
 - 2-5. 可搬型モニタリングポストによる代替測定
3. 近隣の産業施設の火災・爆発
 - 3-1. 敷地内危険物施設
4. 航空機墜落による火災
 - 4-1. 重畳火災(航空機落下火災および危険物施設火災)
5. 適合性審査状況

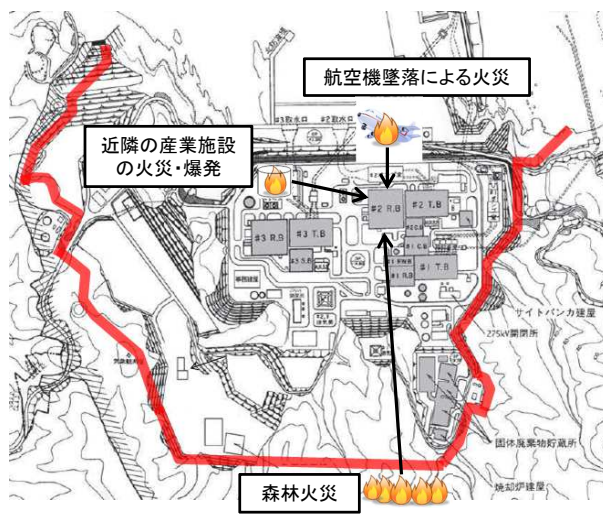
1. 外部火災影響評価の概要

- 原子力規制委員会(以下, NRA)が制定した「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」において, 外部からの衝撃による損傷の防止として, 安全施設は, 想定される自然現象(地震および津波を除く。)または人為事象(故意によるものを除く。)に対して安全機能を損なわないものでなければならないとされている。
- このため, 「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」に従い, 外部火災影響評価を行い, 外部火災により, 安全施設へ影響を与えないことおよび発電所敷地外で発生する火災の二次的影響に対する適切な防護対策が施されていることを評価した。

主な想定火災は以下のとおり

- 森林火災
- 近隣の産業施設の火災・爆発
- 航空機墜落による火災

凡例	
	: 防火帯
	: 周辺監視区域境界
	: 敷地境界

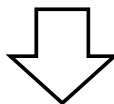


2. 森林火災

NRAのガイドに従い, 森林火災シミュレーション解析コード FARSITE (Fire Area Simulator^{※1}) を用い, 発電所防護に必要な防火帯幅を算出して防火帯^{※2}を設定した。

※1 米国農務省で開発され, 森林火災を解析するために世界的に広く利用されている解析手法

※2 防災上設けられる, 可燃物が無い, 延焼被害を食い止めるための帯状のエリア



評価を実施した結果, P6に示すとおり, 発電所防護に必要な防火帯幅を設定することにより, 森林火災は原子炉施設へ熱影響を及ぼさないことを確認した。

FARSITEの主な入力データは以下のとおり

- ①土地利用データ : 国土数値情報 土地利用細分メッシュ(100mメッシュ)
- ②植生データ : 森林簿(地方自治体より入手)
- ③地形データ : 基盤地図情報 数値標高モデル 10mメッシュ
- ④気象データ : 気象庁公開データ(森林火災の発生件数の多い月の過去10年間の最大風速, 最高気温, 最小湿度)

ただし, 植生データについては至近年のデータを補完するため, 防火帯周辺の植生調査を実施し, 調査結果を植生データに反映した上で保守的な可燃物パラメータを設定した。

2-1. 植生調査

- 防火帯周辺(幅約100m)の植生調査を実施し、樹種、林齢、下草の堆積厚さを確認した。
植生調査業務に必要な資格(1級造園施工管理技士)を有する者、または植生調査業務に10年以上の経験を有している者が30m×30mを1区画として目視調査を行った。
(調査期間:平成26年2月25日~2月28日,平成26年9月1日~9月3日,調査箇所:約270箇所)

植生調査結果を踏まえた設定可燃物パラメータの設定

調査結果を基に保守的となる可燃物パラメータを設定

- 林齢が低い方が燃焼しやすいため、林齢を保守的に低く設定(例:40年生以上⇒20年生以上30年未満)
- 下草が高い方が燃焼しやすいため、下草を保守的に高く設定(例:約50cm⇒約180cm)



保守的パラメータ設定後、NRAのガイドに従ってFARSITEにて解析

表 代表的な植生調査結果を踏まえた設定可燃物パラメータ

調査ポイント例	設定する可燃物パラメータ			植生調査結果		
	樹種	林齢	下草	樹種	林齢	下草
A	落葉広葉樹	—(※)	約180cm	落葉広葉樹	30年生以上 40年生未満	約30cm
B	マツ	20年生以上 30年生未満	約180cm	マツ	40年生以上	約50cm
C	スギ	20年生以上 30年生未満	約180cm	スギ	40年生以上	約30cm
D	落葉広葉樹	—(※)	約180cm	落葉広葉樹	30年生以上 40年生未満	約20cm
E	スギ	20年生以上 30年生未満	約180cm	スギ	40年生以上	約20cm

※落葉広葉樹には解析上の林齢設定なし

4

2-2. FARSITEによる解析結果

- NRAのガイドに従い、発電所周辺10km圏内の居住地区および道路沿いで森林火災が発生するという4ケースを想定してFARSITE解析を行い、防火帯近傍で最も火線強度※が大きい発火点の値を用いて防火帯幅を設定した。

※ 火線強度:単位時間当たり、単位幅当たりのエネルギー放出量(単位: kW/m)。
燃焼中の林野火災の強度を表す指標として最も一般的に用いられる。

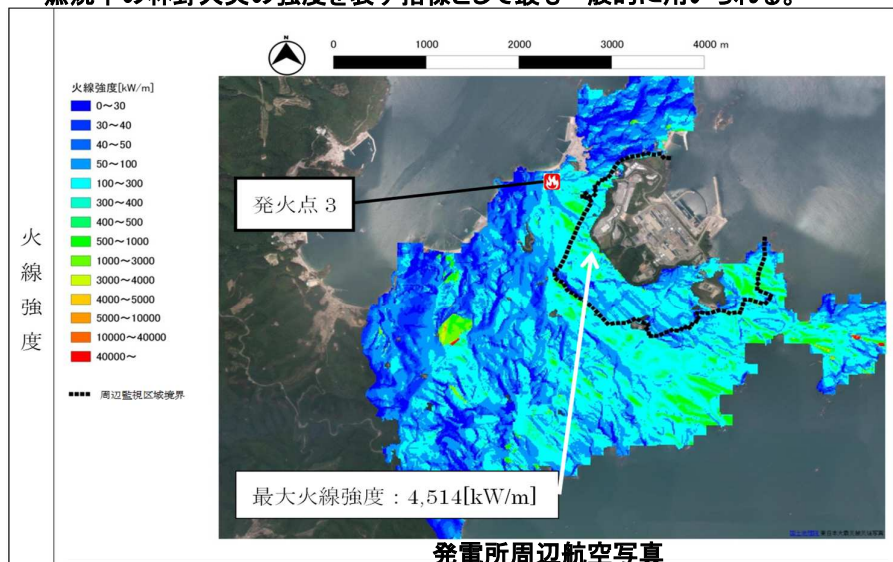
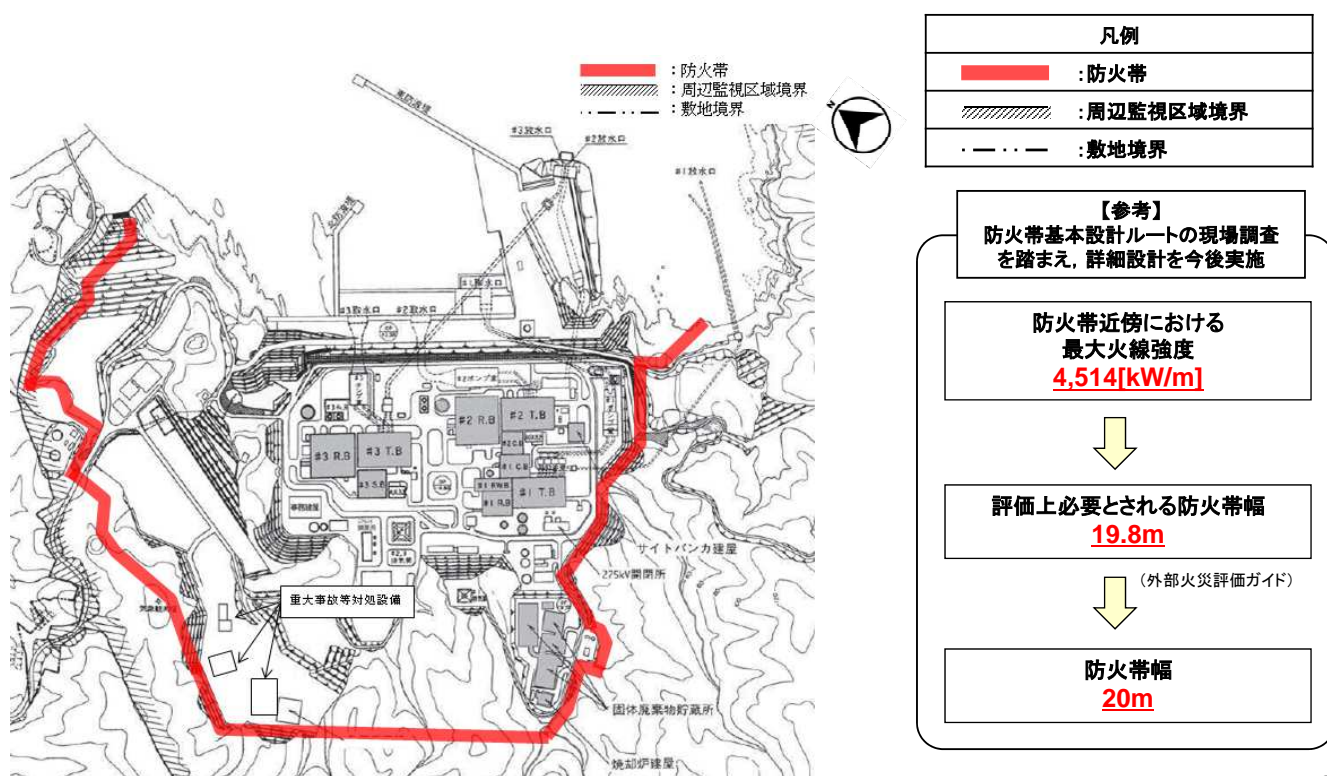


図 発火点3 西北西の火線強度(4ケースの中で最大)

5

2-3. 防火帯設定イメージ図



6

2-4. モルタル吹付の施工例

- 防火帯(幅:20m)は、樹木伐採後の土砂流出等を考慮し、現場状況に応じてモルタル吹付を行う。

※ 以下は防火帯箇所の写真ではなく、モルタル吹付施工の例を示すための写真

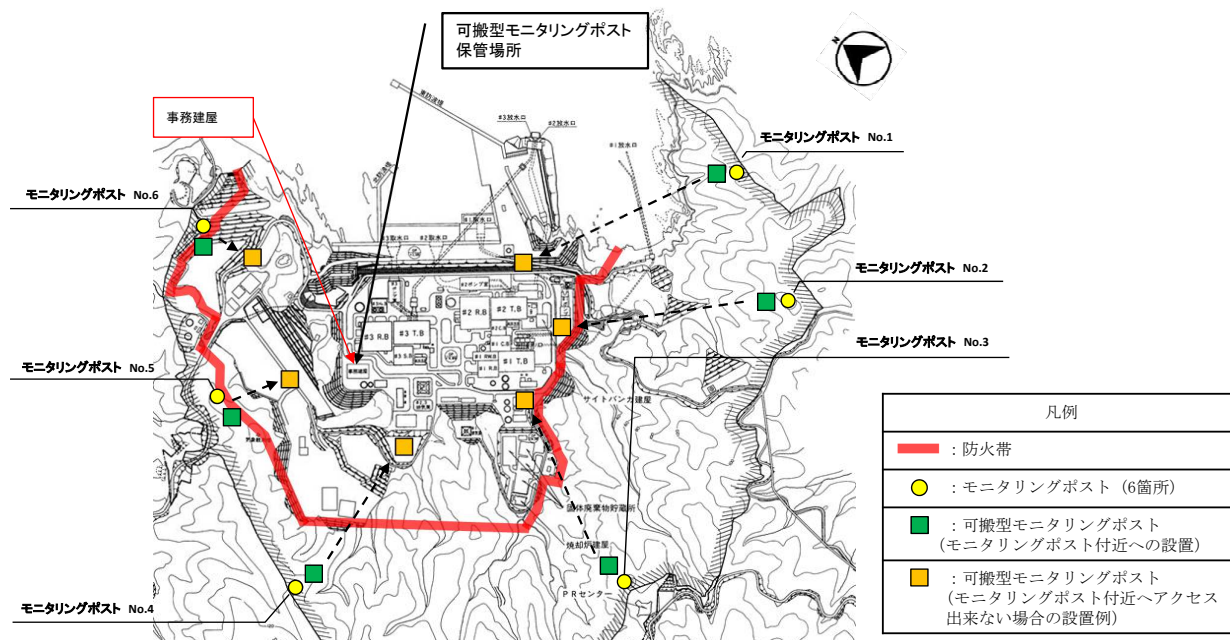


図 モルタル吹付工の施工例(構内道路)

7

2-5. 可搬型モニタリングポストによる代替測定

- 森林火災により既設のモニタリングポストが機能喪失した場合には、モニタリングポスト付近に可搬型モニタリングポストを設置
- 森林火災の延焼によりモニタリングポスト付近に設置できない場合には、防火帯内の同一方位に設置



8

3. 近隣の産業施設の火災・爆発

- NRAのガイドに従い、下記の熱影響評価を実施した。

○発電所敷地外

- ・発電所から10km以内に設置されている石油コンビナートおよび危険物貯蔵施設の火災、ガス爆発

○発電所敷地内

- ・敷地内における危険物施設の火災

- ✓ 発電所から10km以内に設置されている石油コンビナートはない
- ✓ 発電所から10km以内にある危険物貯蔵施設(消防法等に基づき消防署に届出されているもの)は以下のとおり
 - ◆ 最大貯蔵量の施設は発電所から約8.6kmの位置の給油取扱所で最大数量は49.5kl
 - ◆ 発電所に最も近い施設は発電所から約2.5kmの位置の屋内貯蔵所で貯蔵量は2.6kl
- ✓ これに対し、敷地内危険物施設(1号炉軽油タンク最大貯蔵量620kl)の方が貯蔵量が大きく、原子炉施設からの離隔距離も短いため、敷地外危険物施設の火災影響は、敷地内危険物施設の火災評価結果に包絡される

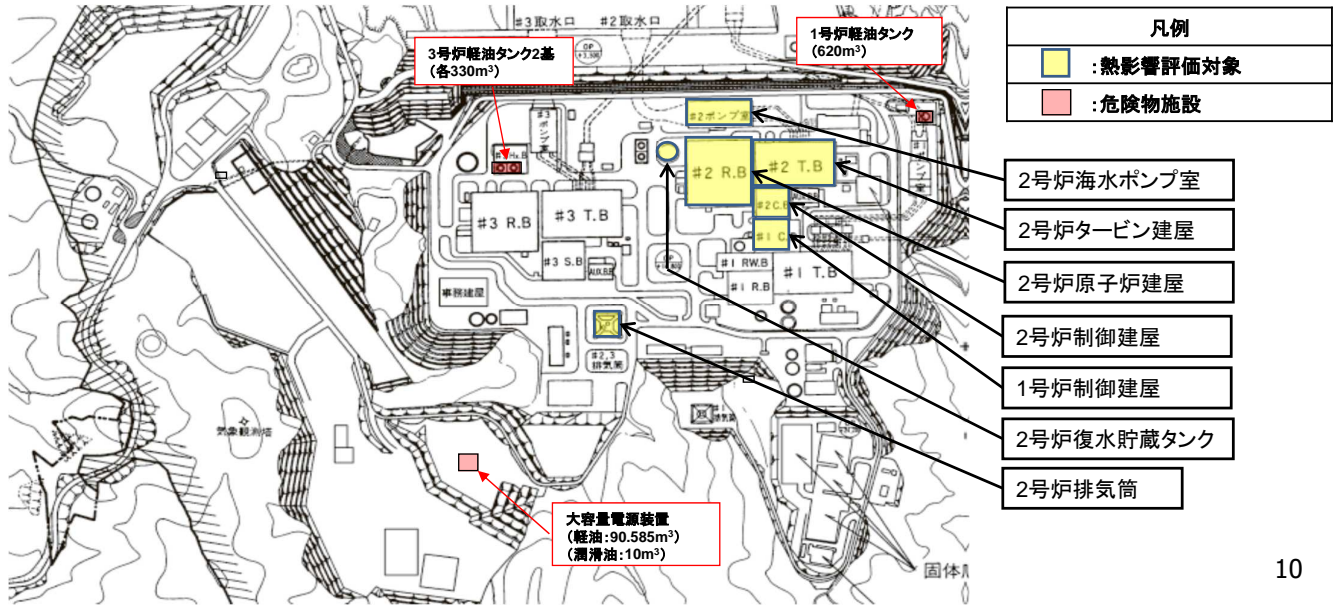


評価を実施した結果、P.11～12に示すとおり、敷地内危険物施設は原子炉施設へ熱影響を及ぼさないことを確認した。

9

3-1. 敷地内危険物施設(1/3)

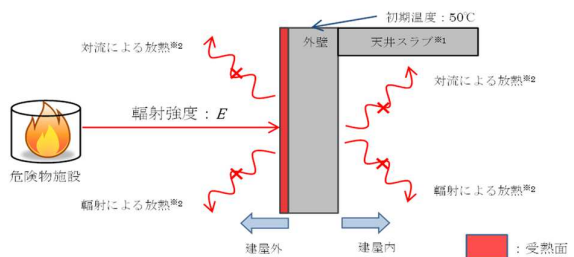
- 発電所敷地内に位置している屋外の危険物施設の火災を想定し、原子炉施設の熱影響評価を実施(原子炉建屋、制御建屋、タービン建屋、復水貯蔵タンク、排気筒および海水ポンプ)
- 熱影響評価の際に燃焼を想定する危険物施設は、「1号炉軽油タンク*」、「3号炉軽油タンク*」および「大容量電源装置」 ※非常用ディーゼル発電機用燃料貯蔵タンク
- 2号炉軽油タンクは、地下埋設化し、コンクリート製の天井を設けることにより、輻射熱が直接原子炉施設へ届かないことから評価対象外とした



10

3-1. 敷地内危険物施設(2/3)

(1) 原子炉施設外壁



※1: 天井スラブは外壁よりも火災源からの距離が遠いことから、天井スラブの評価は外壁の評価に包摂される
 ※2: コンクリート表面温度評価にあたっては、対流および輻射による放熱は考慮しないものとした

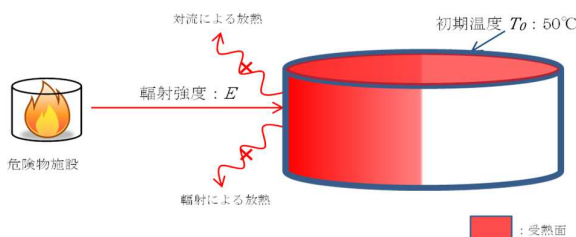
【評価条件】

火災発生から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉施設外壁が加熱されるものとして、コンクリート表面温度を評価

【評価結果】

許容温度200°C*以下であることを確認
 (原子炉建屋: 最大で約79°C, 制御建屋: 最大で約80°C, タービン建屋: 最大で約136°C)
 ※「高温における高強度コンクリートの力学的特性に関する基礎的研究」および「建築火災のメカニズムと火災安全設計」を基に設定

(2) 復水貯蔵タンク



【評価条件】

火災発生から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で復水貯蔵タンクが加熱されるものとして、復水貯蔵タンク温度を評価

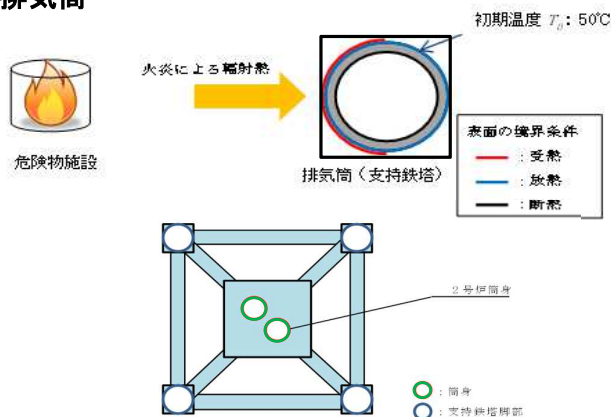
【評価結果】

許容温度66°C*以下であることを確認
 (復水貯蔵タンク温度: 最大で約53°C)
 ※復水貯蔵タンクの最高使用温度を基に設定

11

3-1. 敷地内危険物施設(3/3)

(3) 排気筒



【評価条件】

- 火災発生から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で排気筒を加熱
- 排気筒は各危険物施設との距離が最も近い支持鉄塔の表面温度を評価

【評価結果】

許容温度350°C※以下であることを確認
(排気筒(支持鉄塔)の表面温度:最大で約57°C)
※「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」を基に設定

(4) 海水ポンプ

【評価条件】

火炎の輻射熱による海水ポンプ(原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機および高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機)の温度影響を評価

【評価結果】

地下ピット方式により火炎からの輻射熱は到達しないことから、海水ポンプに影響を及ぼさないことを確認

12

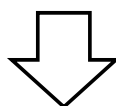
4. 航空機墜落による火災

➤ NRAのガイドに従い、下記の熱影響評価を実施した。

- ・航空機墜落による火災の熱影響評価を実施
- ・重畳火災※(航空機墜落火災および危険物施設火災)

※NRAのコメントにより追加評価

なお、重畳火災の最も厳しい評価となる想定シナリオとして、航空機(B747-400)落下により女川3号炉軽油タンク2基も誘発され同時に火災を生じた場合を考慮した評価を実施

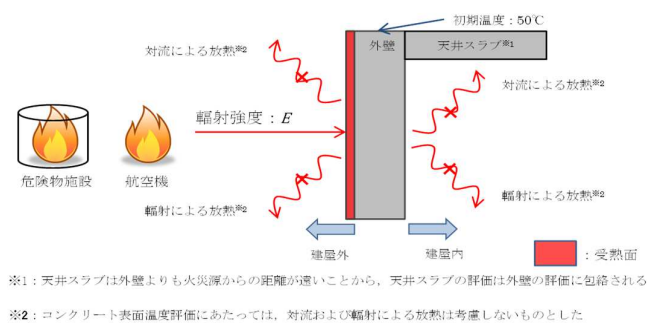


評価を実施した結果、P.14に示すとおり、航空機墜落による火災は原子炉施設へ熱影響を及ぼさないことを確認した。

13

4-1. 重畳火災(航空機落下火災および危険物施設火災)

(1) 原子炉施設外壁



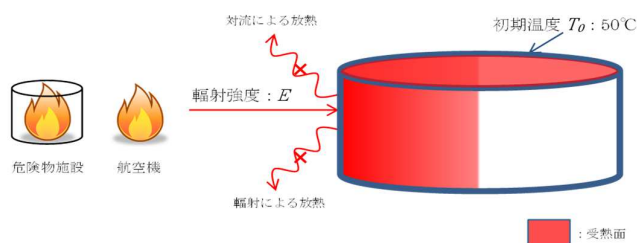
【評価条件】

火災発生から航空機および危険物施設の燃料が各々燃え尽きるまでの間、原子炉施設外壁が加熱されるものとして、コンクリート表面温度を評価

【評価結果】

許容温度200°C以下であることを確認
 (原子炉建屋: 最大で約181°C)

(2) 復水貯蔵タンク



【評価条件】

火災発生から航空機および危険物施設の燃料が各々燃え尽きるまでの間、復水貯蔵タンクが加熱されるものとして、復水貯蔵タンク温度を評価

【評価結果】

許容温度66°C以下であることを確認
 (復水貯蔵タンク温度: 最大で約57°C)

14

5. 適合性審査状況

外部火災影響評価について、当社はこれまでに3回、審査会合において説明している。評価の保守性、防火帯の運用管理などに対する基本的事項についてはご理解をいただいております。現在は残件コメントの対応を行っている。

質問・指摘事項	回答状況
FARSITE解析の入力パラメータ、感度解析の保守性について説明すること。	ガイドに従い、森林火災の発生件数の多い月の過去10年間の最小湿度、最高気温、最大風速を入力していること、および、植生が燃焼しやすいように自主的に林齢を下げて入力することで保守的な解析となるようにしていることを説明した。
航空機落下と危険物施設火災との重畳について説明すること。	重畳火災の最も厳しい評価となる想定シナリオとして、航空機(B747-400)落下により女川3号炉軽油タンク2基も誘発され同時に火災を生じた場合を考え、評価を実施した結果、原子炉施設へ影響を及ぼさないことを説明した。
防火帯内の植生等の管理について、火災防護計画等に定めるとしている具体的な方針を説明すること。	火災発生時の対応、防火帯の維持・管理などを適切に実施するための対策を火災防護計画に定めることとし、組織内における責任の所在、防火帯の運用管理などの項目があることを説明した。

女川2号に関する質問・指摘事項の残件分は10件(平成27年3月19日審査会合時点)。

15

《参考》 初期消火活動について

➤ 外部火災の覚知

- 発電所敷地内および敷地境界付近においては、24時間常駐している警備員および運転員によるパトロールならびに通常勤務の社員および協力会社社員による覚知。
- 発電所敷地外においては、事務所に設置している近隣自治体の防災行政無線による覚知。


なお、監視カメラにより、中央制御室において森林火災の状況の把握を可能とする。

➤ 初期消火活動

- 自衛消防隊の初期消火要員(10名)が24時間常駐しており、森林火災覚知後、防火帯内に配備している消防自動車により、早期に防火帯境界付近などに予防散水を行う。



図 消防自動車による予防散水



【関連質問への回答】

新規制基準適合性審査申請

自然現象等

<(3)その他:外部火災>

平成27年11月18日
東北電力株式会社

All rights reserved. Copyrights © 2015, Tohoku Electric Power Co., Inc.



目 次

1. 固体廃棄物貯蔵所と防火帯の離隔距離に対するご質問
 - 1-1. 固体廃棄物貯蔵所と防火帯の位置関係について
 - 1-2. 森林火災による固体廃棄物貯蔵所の熱影響について

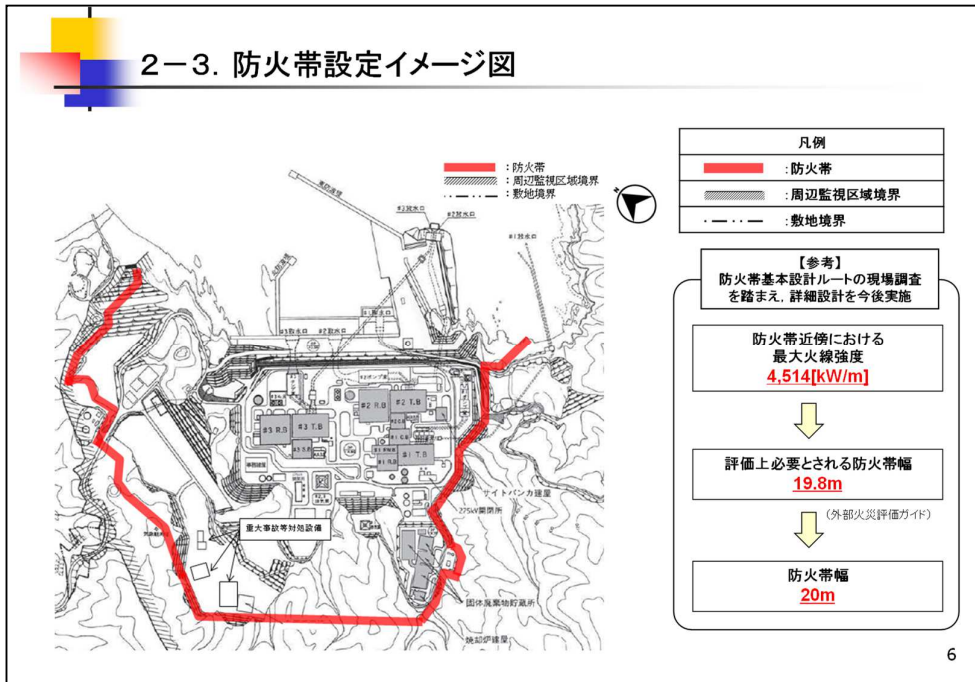
2. 重畳火災の熱評価の保守性に対するご質問
 - 2-1. 重畳火災の評価位置について
 - 2-2. 重畳火災の熱評価の保守性について
 - 2-3. 評価結果の妥当性および誤差について

1. 固体廃棄物貯蔵所と防火帯の離隔距離に対するご質問

ご質問事項

固体廃棄物貯蔵所と防火帯の離隔距離が短いように見えるが、外部火災の影響を受けないことを具体的に説明して欲しい。

2-3. 防火帯設定イメージ図

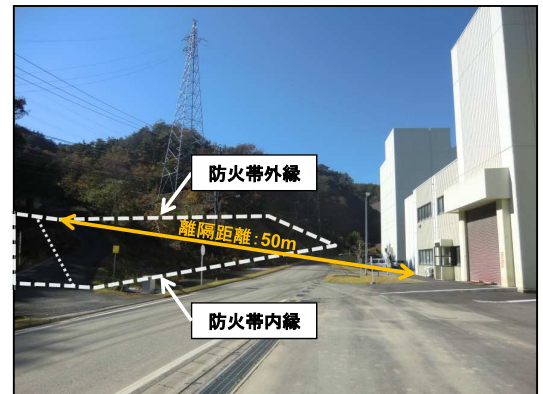
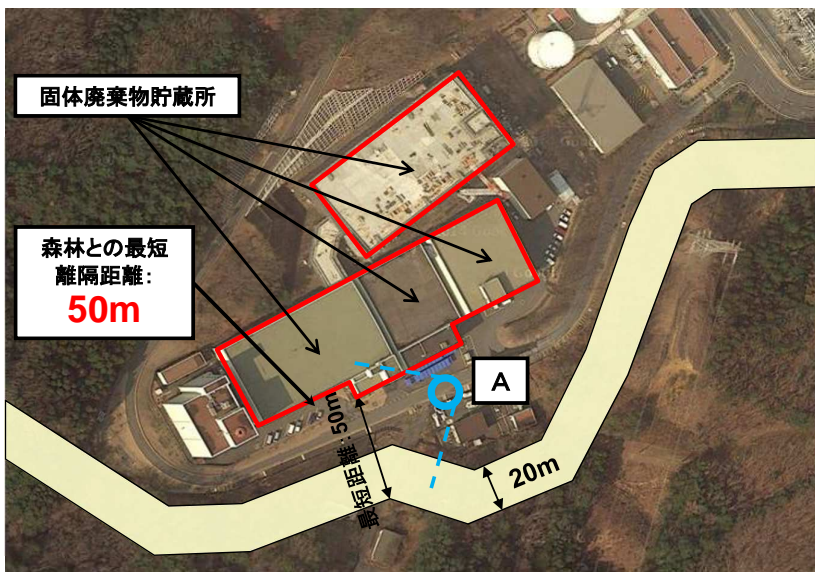


6

2

1-1. 固体廃棄物貯蔵所と防火帯の位置関係について

- 防火帯を設定することにより、固体廃棄物貯蔵所と森林との最短離隔距離は**50m**となるため、P. 4に示すとおり、森林火災は固体廃棄物貯蔵所へ熱影響を及ぼさないことを確認した

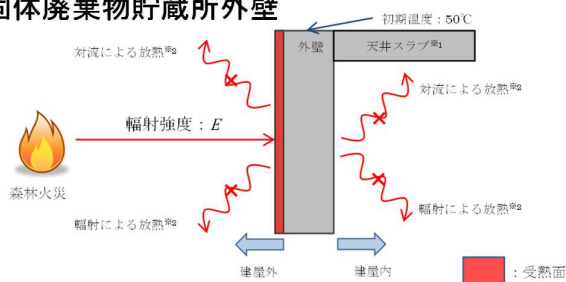


A地点からの写真

3

1-2. 森林火災による固体廃棄物貯蔵所の熱影響について

(1) 固体廃棄物貯蔵所外壁



※1: 天井スラブは外壁よりも火災源からの距離が遠いことから、天井スラブの評価は外壁の評価に包絡される
 ※2: コンクリート表面温度評価にあたっては、対流および輻射による放熱は考慮しないものとした

【評価条件】

- ・FARSITE出力結果を用いて輻射強度を算出
- ・算出した輻射強度によって固体廃棄物貯蔵所外壁が加熱されるものとして評価

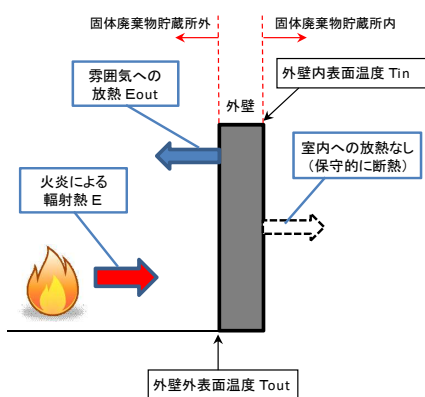
【評価結果】

許容温度200°C※以下であることを確認

(固体廃棄物貯蔵所外壁: 最大で約82°C)

※「高温における高強度コンクリートの力学的特性に関する基礎的研究」および「建築火災のメカニズムと火災安全設計」を基に設定

(2) 固体廃棄物貯蔵所外壁内表面



【評価条件】

- ・FARSITE出力結果を用いて輻射強度を算出
- ・算出した輻射強度によって固体廃棄物貯蔵所外壁が加熱された場合の外壁内表面温度を算出
- ・算出した外壁内表面温度から貯蔵しているドラム缶への熱影響を評価

【評価結果】

許容温度350°C※以下であることを確認

(固体廃棄物貯蔵所外壁内表面: 最大で約52°C)

※350°Cは「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」に規定されている鋼材の制限温度を基に設定

4

2. 重畳火災の熱評価の保守性に対するご質問

ご質問事項

航空機落下と敷地内危険物施設との重畳火災による輻射熱の評価結果の保守性について、誤差や計算精度等も含めて整理して欲しい。

4. 航空機墜落による火災

➢ NRAのガイドに従い、下記の熱影響評価を実施した。

- ・航空機墜落による火災の熱影響評価を実施
- ・重畳火災※(航空機墜落火災および危険物施設火災)

※NRAのコメントにより追加評価

なお、重畳火災の最も厳しい評価となる想定シナリオとして、航空機(B747-400)落下により女川3号炉軽油タンク2基も誘発され同時に火災を生じた場合を考慮した評価を実施



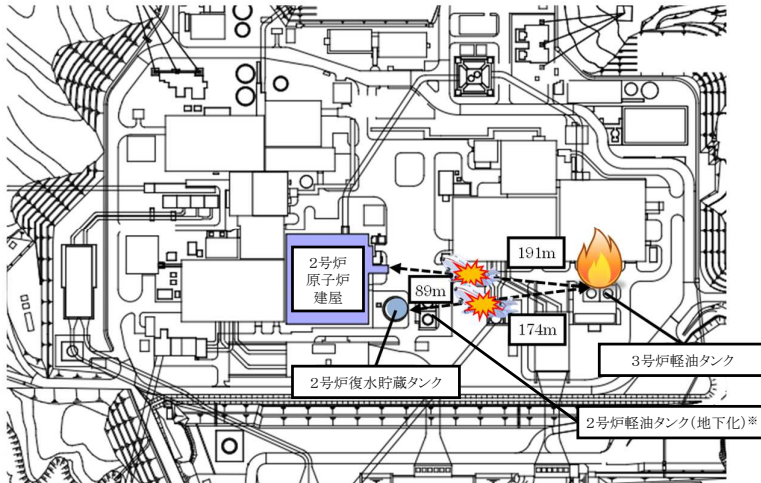
評価を実施した結果、P.14に示すとおり、航空機墜落による火災は原子炉施設へ熱影響を及ぼさないことを確認した。

13

5

2-1. 重畳火災の評価位置について

- 重畳火災としては、航空機落下による火災で危険物施設の火災が誘発される場合と危険物施設に直接航空機が落下し同時に火災が発生する場合が考えられる。
- 保守的な条件は同一の壁が2つの火災源で加熱されることであるから、危険物施設(3号炉軽油タンク)と原子炉施設を直線で結び、その線上で落下確率が 10^{-7} [回/炉・年]となる標的面積の縁へ航空機が落下して火災が発生し、かつ、危険物施設に火災が発生することを想定した。



<各離隔距離>

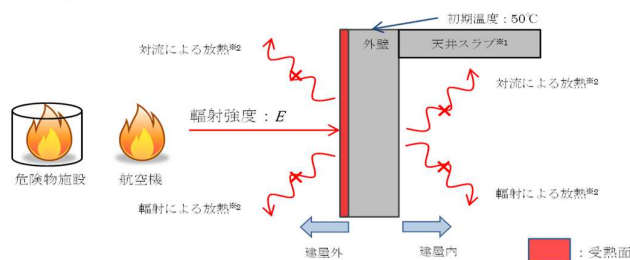
- 3号炉軽油タンク～2号炉原子炉建屋 :191m
- 3号炉軽油タンク～2号炉復水貯蔵タンク :174m
- 航空機落下位置～2号炉原子炉建屋 :89m
- 航空機落下位置～2号炉復水貯蔵タンク :89m

※2号炉軽油タンクは、現在の位置に地下埋設の軽油タンクとするため、地表面で火災が発生しないことから、外部火災の熱影響評価の対象外とする。

6

2-2. 重畳火災の熱評価の保守性について(1/2)

(1) 原子炉建屋外壁



※1: 天井スラブは外壁よりも火災源からの距離が遠いことから、天井スラブの評価は外壁の評価に包括される

※2: コンクリート表面温度評価にあたっては、対流および輻射による放熱は考慮しないものとした

【評価結果】

許容温度 200°C 以下であることを確認
(原子炉建屋: 最大で約 181°C)

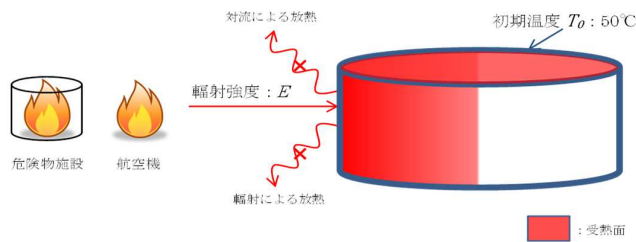
【保守性】

- ・外壁表面および裏面からの対流および輻射による放熱を考慮していない。
- ・外壁初期温度を保守的に高めに設定している。
(一般的な機械・計測制御設備の機能維持のため室内温度の最高値を 40°C としており、これに日射による実効温度差 4°C *を加え、さらに切り上げて 50°C と設定。なお、発電所周辺の過去10年間の最高気温は 36.8°C (気象庁公開データ))
※実効温度差とは、設計室内温度と日射を受けている外壁温度との差のことであり、ここでは「空気調和衛生工学便覧第13版」東京における実効温度差(タイプIV[壁厚さにより分類])の最大値を使用。
- ・航空機および危険物施設の燃料満杯を想定している。

7

2-2. 重畳火災の熱評価の保守性について(2/2)

(2) 復水貯蔵タンク



【評価結果】

許容温度66°C以下であることを確認

(復水貯蔵タンク温度: 最大で約57°C)

【保守性】

- ・タンク壁面からの対流および輻射による放熱を考慮していない。
- ・水の体積を管理値の下限レベルとしている。
- ・タンク周囲に遮熱壁(コンクリート)が設置されているが考慮していない。
- ・タンク初期温度を保守的に高めに設定している。(外壁の初期温度50°Cを考慮)
- ・航空機および危険物施設の燃料満杯を想定している。

8

2-3. 評価結果の妥当性および誤差について

<重畳火災(原子炉建屋外壁温度)の解析方法について>

伝熱工学資料に記載の一次元非定常熱伝導方程式

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (x \geq 0)$$

を数値モデル化※1し、計算機により解析を実施している。

※1 数値モデル化とは

そのままでは計算機で取り扱うことができない微分方程式を、計算機で取り扱える式(四則演算のみの式)に変換することを数値モデル化という

<理論解と数値解析の比較>

	数値解析(評価結果)※2	理論解※3
原子炉建屋外壁温度	180.621 [°C]	180.784 [°C]


※2 数値解析: 一次元非定常熱伝導方程式を数値モデル化して解いた値

※3 理論解: 一次元非定常熱伝導方程式に初期条件や境界条件を設定して解いた値



理論解と数値解析(評価結果)を比較した結果、差は0.163°C(誤差は約0.1%)であることから、本評価結果は妥当であると考えている。

9



【関連質問への回答】

新規制基準適合性審査申請

自然現象等

<(3)その他:外部火災>

平成28年9月8日
東北電力株式会社

All rights reserved. Copyrights © 2016, Tohoku Electric Power Co., Inc.



目 次

1. 復水貯蔵タンクの保守性を考慮しない評価に関するご質問

1-1. 復水貯蔵タンクの保守性を考慮しない場合の評価について

<参考>原子炉建屋外壁の保守性を考慮しない場合の評価について

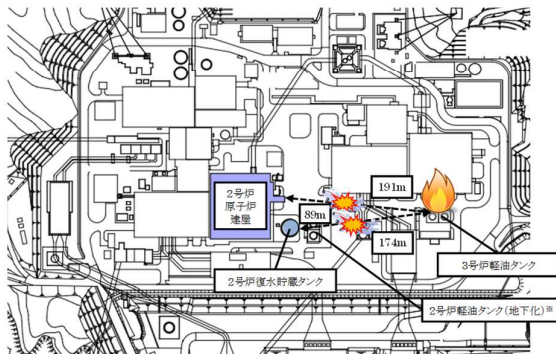
1. 復水貯蔵タンクの保守性を考慮しない評価に関するご質問(1/2)

ご質問事項

重畳火災の熱評価における復水貯蔵タンクの壁面温度について、ノミナル値(保守性を考慮しない値)を示すこと。

2-1. 重畳火災の評価位置について

- 重畳火災としては、航空機落下による火災で危険物施設の火災が誘発される場合と危険物施設に直接航空機が落下し同時に火災が発生する場合が考えられる。
- 保守的な条件は同一の壁が2つの火災源で加熱されることであるから、危険物施設(3号炉軽油タンク)と原子炉施設を直線で結び、その線上で落下確率が 10^{-7} [回/炉・年]となる標的面積の縁へ航空機が落下して火災が発生し、かつ、危険物施設に火災が発生することを想定した。



<各離隔距離>

- 3号炉軽油タンク～2号炉原子炉建屋 :191m
- 3号炉軽油タンク～2号炉復水貯蔵タンク :174m
- 航空機落下位置～2号炉原子炉建屋 :89m
- 航空機落下位置～2号炉復水貯蔵タンク :89m

※2号炉軽油タンクは、現在の位置に地下埋設の軽油タンクとするため、地表面で火災が発生しないことから、外部火災の熱影響評価の対象外とする。

6

2

1. 復水貯蔵タンクの保守性を考慮しない評価に関するご質問(2/2)

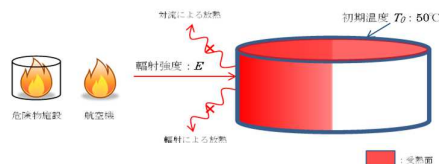
ご質問事項

重畳火災の熱評価における復水貯蔵タンクの壁面温度について、ノミナル値(保守性を考慮しない値)を示すこと。

(⇒保守性を考慮した場合の評価は、第8回検討会(H27.11.18)において以下のとおり説明済。)

2-2. 重畳火災の熱評価の保守性について(2/2)

(2) 復水貯蔵タンク



【評価結果】

許容温度66℃以下であることを確認
(復水貯蔵タンク温度:最大で約57℃)

【保守性】

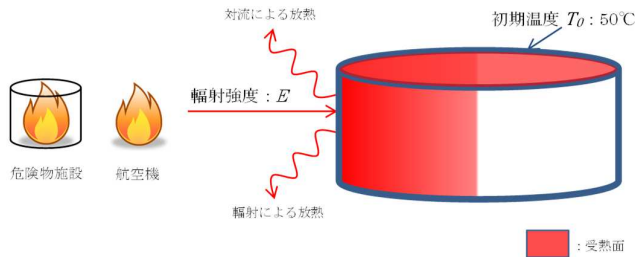
- ・タンク壁面からの対流および輻射による放熱を考慮していない。
- ・水の体積を管理値の下限レベルとしている。
- ・タンク周囲に遮熱壁(コンクリート)が設置されているが考慮していない。
- ・タンク初期温度を保守的に高めに設定している。(外壁の初期温度50℃を考慮)
- ・航空機および危険物施設の燃料満杯を想定している。

8

3

1-1. 復水貯蔵タンクの保守性を考慮しない場合の評価について

◎復水貯蔵タンク



【評価条件】

火災発生から航空機および危険物施設の燃料が各々燃え尽きるまでの間、原子炉施設外壁が加熱されるものとして、コンクリート表面温度を評価

【評価結果】

許容温度66°C以下であることを確認
(復水貯蔵タンク: 最大で約56°C)

<参考> 放熱を考慮しない場合: 約57°C

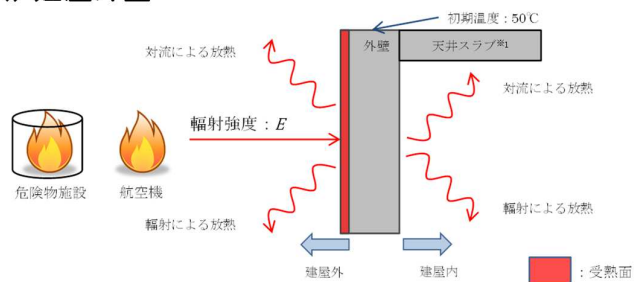
【保守性】

- ・水の体積を管理値の下限レベルとしている。
- ・タンク周囲に遮熱壁(コンクリート)が設置されているが考慮していない。
- ・タンク初期温度を保守的に高めに設定している。(外壁の初期温度50°Cを考慮)
- ・航空機および危険物施設の燃料満杯を想定している。

4

<参考> 原子炉建屋外壁の保守性を考慮しない場合の評価について

原子炉建屋外壁



※1: 天井スラブは外壁よりも火災源からの距離が遠いことから、天井スラブの評価は外壁の評価に包絡される

【評価条件】

火災発生から航空機および危険物施設の燃料が各々燃え尽きるまでの間、原子炉施設外壁が加熱されるものとして、コンクリート表面温度を評価

【評価結果】

許容温度200°C以下であることを確認
(原子炉建屋: 最大で約129°C)

<参考> 放熱を考慮しない場合: 約181°C

【保守性】

- ・外壁初期温度を保守的に高めに設定している。
(一般的な機械・計測制御設備の機能維持のため室内温度の最高値を40°Cとしており、これに日射による実効温度差4°C*を加え、さらに切り上げて50°Cと設定。なお、発電所周辺の過去10年間の最高気温は36.8°C(気象庁公開データ)
*実効温度差とは、設計室内温度と日射を受けている外壁温度との差のことであり、ここでは「空気調和衛生工学便覧第13版」東京における実効温度差(タイプIV[壁厚さにより分類])の最大値を使用。
- ・航空機および危険物施設の燃料満杯を想定している。

5

女川原子力発電所 2 号機の安全性に
関する検討会 説明資料

論点番号 6 0

(意見番号 5 9)

新規制基準適合性審査申請

自然現象等

＜(3)その他:外部火災他＞

(No.59関連)

平成27年11月18日

東北電力株式会社

枠囲いの内容は、商業機密または防護上の観点から公開できません。

All rights reserved. Copyrights © 2015, Tohoku Electric Power Co., Inc.

目次

1. 規制要求事項
2. 設計上考慮すべき外部事象の選定と評価の流れ
3. 外部事象の選定
4. 自然現象の組合せ
5. 設計上の考慮
6. まとめ

＜参考＞適合性審査状況

1. 規制要求事項

➤ 規制要求事項

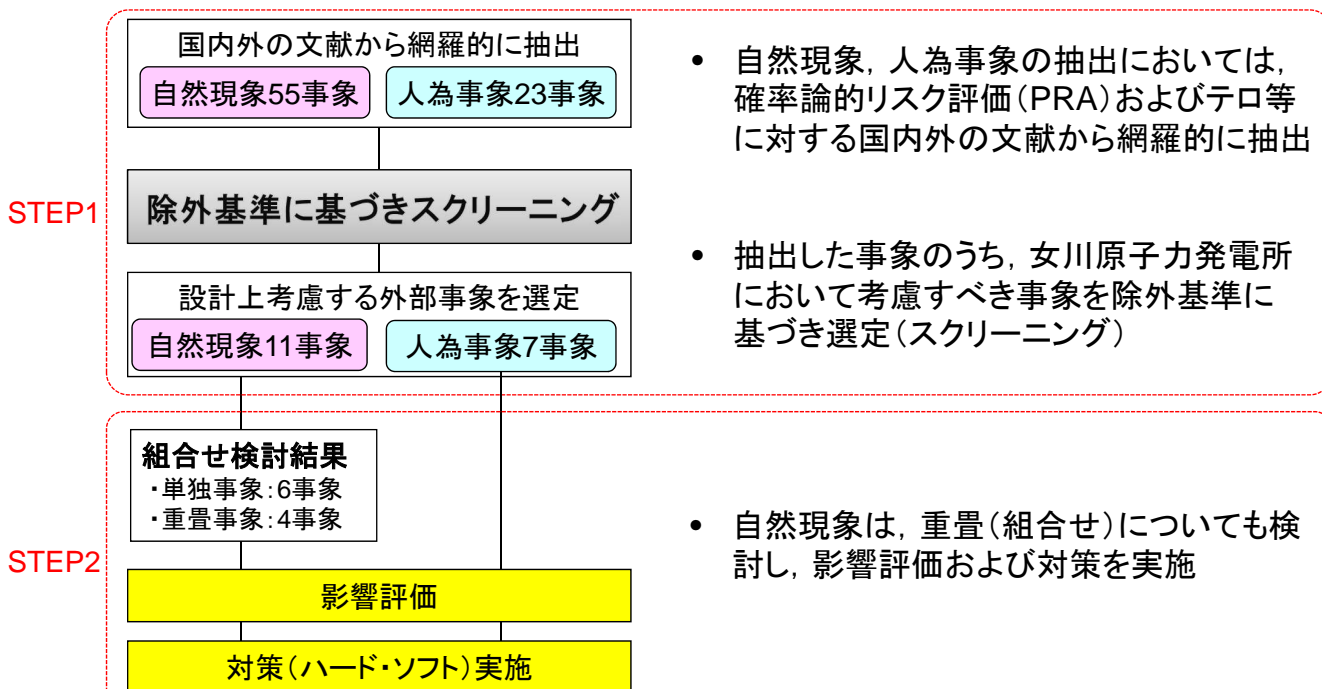
「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」(以下、「基準規則」という。)およびその解釈において、自然現象および人為事象に対して、以下のとおり、安全施設の安全機能を維持することが求められている

基準規則	基準規則の解釈	
(外部からの衝撃による損傷の防止) 第六条 • 安全施設*は、想定される自然現象(地震及び津波を除く。)が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。 • 安全施設*は、人為によるもの(故意によるものを除く。)に対して安全機能を損なわないものでなければならない。 <small>* 安全施設:設計基準対象施設のうち、安全機能(原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能)を有するもの</small>	• 「想定される自然現象」とは、 <u>洪水、風(台風)、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象または森林火災等から適用されるものをいう。</u>	自然現象の選定 重畳(組合せ)も考慮
	• 自然現象は、過去の記録、現地調査の結果及び最新知見等を参考にして、必要のある場合には、 <u>異種の自然現象を重畳させる。</u>	
	• 「人為によるもの(故意によるものを除く)」とは、 <u>飛来物(航空機落下等)、ダムの崩壊、爆発、近隣工場の火災、有毒ガス、船舶の衝突又は電磁的障害等をいう。</u>	

2

2. 設計上考慮すべき外部事象の選定と評価の流れ

- 以下のフローに従い外部事象の選定、評価を実施
- 先行他社における外部事象の選定、評価においても同様の手法が用いられている



• 自然現象、人為事象の抽出においては、確率論的リスク評価(PRA)およびテロ等に対する国内外の文献から網羅的に抽出

• 抽出した事象のうち、女川原子力発電所において考慮すべき事象を除外基準に基づき選定(スクリーニング)

• 自然現象は、重畳(組合せ)についても検討し、影響評価および対策を実施

3

3. 外部事象の選定(1/7)

外部事象(自然現象, 人為事象)の抽出

- 国内外の文献から, 想定される事象を網羅的に抽出(抽出に用いた文献は次ページ参照)
- 抽出の結果, 自然現象55事象, 人為事象23事象を抽出

外部事象の抽出結果

No	自然現象	外部ハザードを抽出した文献								
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
1	凍結	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	隕石	○		○		○		○		○
3	降水	○	○	○	○	○	○	○		○
4	河川の迂回	○				○		○		○
5	砂嵐	○		○		○		○		○
6	静振	○				○		○		○
7	雷	○								○
8	地震	○								○
9	津波	○								○
10	洪水	○								○
11	暴風	○								○
12	大雪	○								○
13	雹	○								○
14	霧	○								○
15	霜	○								○
16	氷	○								○
17	雪	○								○
18	氷雹	○								○
19	氷雹	○								○
20	氷雹	○								○
21	氷雹	○								○
22	内部溢水							○	○	○
23	近隣工場等の火災							○	○	○
24	火災							○	○	○
25	火災							○	○	○
26	火災							○	○	○
27	火災							○	○	○
28	火災							○	○	○
29	火災							○	○	○
30	火災							○	○	○
31	火災							○	○	○
32	火災							○	○	○
33	火災							○	○	○
34	火災							○	○	○
35	火災							○	○	○
36	火災							○	○	○
37	火災							○	○	○
38	火災							○	○	○
39	火災							○	○	○
40	火災							○	○	○
41	火災							○	○	○
42	火災							○	○	○
43	火災							○	○	○
44	火災							○	○	○
45	火災							○	○	○
46	火災							○	○	○
47	火災							○	○	○
48	火災							○	○	○
49	火災							○	○	○
50	火災							○	○	○
51	火災							○	○	○
52	火災							○	○	○
53	火災							○	○	○
54	水蒸気		○							○
55	毒性ガス	○	○			○		○		○

3. 外部事象の選定(2/7)

外部事象の抽出に用いた文献

- 「米国原子力エネルギー協会(NEI)による, 福島第一事故を受けた長期電源喪失等に対応するための, 対応戦略 (FLEX)に関するガイドライン」
(DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES(FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE (NEI 12-06 August 2012))
- 「日本の自然災害(国会資料編纂会 1998年)」(奈良時代～阪神大震災までの自然災害を収録)
- 「IAEAによる, レベル1PRAの実施ガイドライン」
(Specific Safety Guide (SSG-3) “Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants”, IAEA, April 2010)
- 「実用発電用原子炉およびその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」(制定:平成25年6月19日)
- 「米国原子力規制委員会による, リスク評価に関するガイドライン」
(NUREG/CR-2300 “PRA Procedures Guide”, NRC, January 1983)
- 「実用発電用原子炉およびその附属施設の位置, 構造および設備の基準に関する規則の解釈」(制定:平成25年6月19日)
- 「米国機械学会が定めるリスク評価に関する規格」
(ASME/ANS RA-Sa-2009“ Addenda to ASME ANS RA-S-2008 Standard for level 1/Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications“)
- 「米国原子力エネルギー協会(NEI)による, 米国同時多発テロを受けた航空機テロへの対応ガイド」
(B.5.b Phase 2&3 Submittal Guideline (NEI 06-12 December 2006)- 2011.5 NRC発表)
- 「外部ハザードに対するリスク評価方法の選定に関する実施基準:2014」一般社団法人日本原子力学会
(2014年12月)

3. 外部事象の選定(3/7)

抽出した自然現象(55事象)

1.凍結	29.氷結
2.隕石	30.氷晶
3.降水	31.氷壁
4.河川の迂回	32.土砂崩れ(山崩れ, がけ崩れ)
5.砂嵐	33.落雷
6.静振	34.湖または河川の水位低下
7.地震	35.湖または河川の水位上昇
8.積雪	36.陥没・地盤沈下・地割れ
9.土壌の収縮または膨張	37.極限的な圧力(気圧高低)
10.高潮	38.もや
11.津波	39.塩害, 塩雲
12.火山	40.地面の隆起
13.波浪・高波	41.動物
14.雪崩	42.地すべり
15.生物学的事象	43.カルスト
16.海岸浸食	44.地下水による浸食
17.干ばつ	45.海水面低
18.洪水	46.海水面高
19.風(台風)	47.地下水による地すべり
20.竜巻	48.水中の有機物
21.濃霧	49.太陽フレア, 磁気嵐
22.森林火災	50.高温水(海水温高)
23.霜・白霜	51.低温水(海水温低)
24.草原火災	52.泥湧出
25.ひょう・あられ	53.土石流
26.極高温	54.水蒸気
27.満潮	55.毒性ガス
28.ハリケーン	

抽出した人為現象(23事象)

1.衛星の落下	13.プラント外での化学物質の流出
2.パイプライン事故	14.サイト貯蔵の化学物質の流出
3.交通事故(化学物質流出含む)	15.軍事施設からのミサイル
4.有毒ガス	16.掘削工事
5.タービンミサイル	17.他のユニットからの火災
6.飛来物(航空機衝突)	18.他のユニットからのミサイル
7.工業施設または軍事施設事故	19.他のユニットからの内部溢水
8.船舶の衝突	20.電磁的障害
9.自動車または船舶の爆発	21.ダム の崩壊
10.船舶から放出される固体液体不純物	22.内部溢水
11.水中の化学物質	23.近隣工場等の火災
12.爆発	

赤字: 六条対応で設計上考慮する事象として選定した事象

青字: 組合せ検討時に追加した事象

3. 外部事象の選定(4/7)

外部事象の選定

抽出した外部事象に対して, 米国機械学会規格「リスク評価に関する規格」における外部事象の除外基準を参考とし, 女川原子力発電所において考慮すべき外部事象を選定

除外基準

基準A	プラントに影響を与えるほど近接した場所に発生しない
基準B	ハザード進展・来襲が遅く, 事前にそのリスクを予知・検知が可能
基準C	プラント設計上, 考慮された事象と比較して設備等への影響度が同等もしくはそれ以下
基準D	影響が他の事象に包絡される
基準E	発生頻度が非常に低い
基準F	規制基準六条の対象外事象(地震, 津波)*

外部事象の選定結果

自然現象(11事象)	人為事象(7事象)
1.洪水	1.飛来物(航空機衝突)
2.風(台風)	2.ダム の崩壊
3.竜巻	3.爆発
4.凍結	4.近隣工場等の火災(航空機落下火災含む)
5.降水	5.有毒ガス
6.積雪	6.船舶の衝突
7.落雷	7.電磁的障害
8.地すべり	
9.火山	
10.生物学的事象	
11.森林火災	

* 地震, 津波は六条事象ではないが, 規制基準上要求される対象事象

3. 外部事象の選定(5/7)

自然現象のスクリーニング例

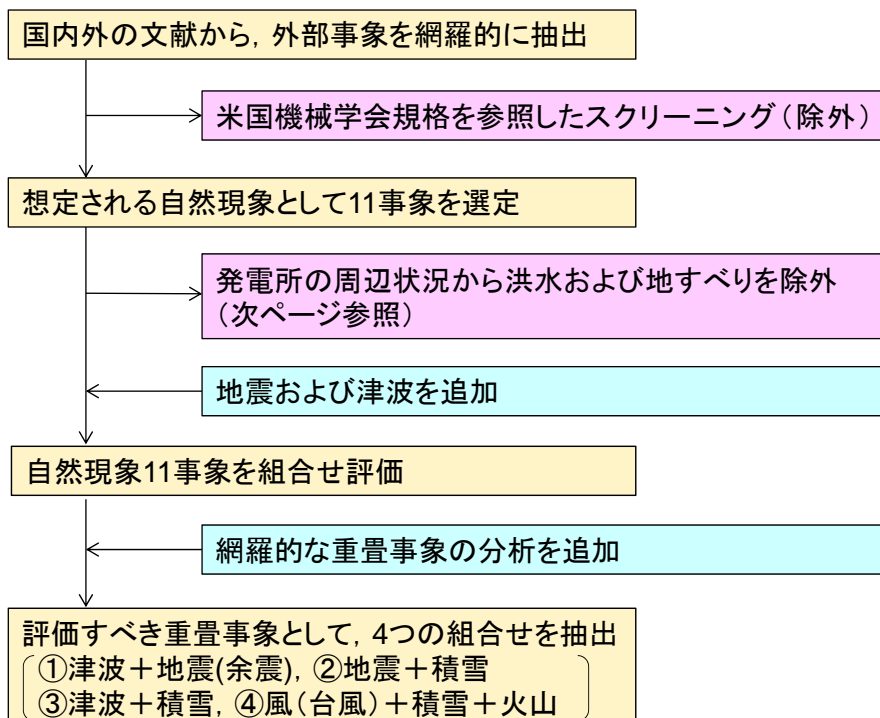
No.	自然現象	除外基準	備考
2	隕石	E	安全施設の機能に影響が及ぶ規模の隕石等が衝突する可能性は極めて低い(落下確率 10^{-9} :NUREG1407(NRC))
5	砂嵐	A	周辺に砂丘等が無い
7	地震活動	F	「第四条 地震による損傷の防止」および「第三条 設計基準対象施設の地盤」にて評価
11	津波	F	「第五条 津波による損傷の防止」にて評価
13	波浪・高波	D	影響は津波と同様と考えられるため、「津波」による影響評価に包絡
21	濃霧	C	微小な水滴が空気中に浮遊している現象であり、設備に損傷を及ぼす要因とはならない
25	ひょう・あられ	D	ひょう、あられは飛来物であり、その衝突影響については「竜巻」による影響評価に包絡
39	塩害、塩雲	B	屋外設備は防食塗装を実施しているため、腐食の事象進展は遅く管理可能

人為事象のスクリーニング例

No.	人為事象	除外基準	備考
1	衛星の落下	E	安全施設の機能に影響が及ぶ規模の隕石等が衝突する可能性は極めて低い(落下確率 10^{-9} :NUREG1407(NRC))
2	パイプライン事故	A	周辺にパイプラインは無い
5	タービンミサイル	F	「第十八条 蒸気タービン」にて評価
9	自動車または船舶の爆発	D	影響は爆発と同じと考えられるため、「爆発」による影響評価に包絡
15	軍事施設からのミサイル	A	発電所から約25kmの地点に航空自衛隊松島基地があるが、対地および対空訓練区域は設定されていない

3. 外部事象の選定(6/7)

➤ 以下のフローに従い、自然現象の重畳(組合せ)検討を実施



自然現象の組合せ検討フロー

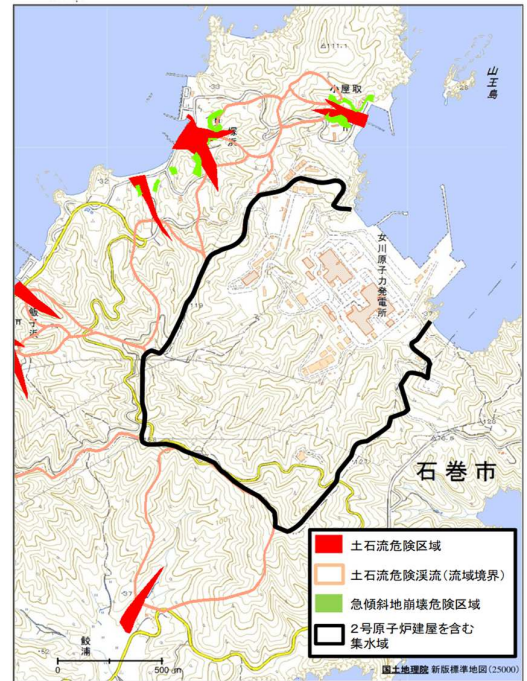
3. 外部事象の選定(7/7)

➤ 洪水, 地すべりについて

- 敷地を含む流域内には河川が存在しないことから、敷地が洪水による被害を受けることはない
- 地すべり地形分布図によると、女川原子力発電所を含む「寄磯」エリアに地すべり地形はないことを確認
- また、土砂災害危険箇所図においても、敷地内に地すべり、土石流ならびにがけ崩れを起こすような地形がないことを確認

北上 KITAKAMI LM-797	人首 HITOKABE LM-793	遠野 TONO LM-789	釜石 KAMAISHI LM-787
水沢 MIZUSAWA LM-796	陸中大原 RIKUCHUOHARA LM-794	盛 SAKARI LM-790	綾里 RYORI LM-788
一関 ICHINOSEKI LM-799	千厩 SENMAYA LM-795	気仙沼 KESENNUMA LM-791	【一関】
若柳 WAKAYANAGI LM-800	志津川 SHIZUGAWA LM-796	津谷 TSUYA LM-792	
涌谷 WAKUYA LM-804	登米 TOYOMA LM-802	大須 OSU LM-801	【石巻】
松島 MATSUSHIMA LM-805	石巻 ISHINOMAKI LM-803	寄磯 YORISO (地すべり地形なし)	
塩竈 SHIOGAMA (地すべり地形なし)	金華山 KINKASAN (地すべり地形なし)		

地すべり地形分布図 第40集「一関・石巻」
(防災科学技術研究所 2009年2月)



土砂災害危険箇所図
(国土数値情報土砂災害危険箇所データ, 平成22年度)

4. 自然現象の組合せ(1/6)

- 発電所の地形状況から発生しないと評価できる洪水および地すべりを除き(別紙3参照), 個別に評価する地震および津波を加えた11事象で重畳事象を検討
- 自然現象11事象について網羅的に組合わせを分析(36の組合せを分析)
 - ・ 組合せは2事象を基本とする
 - ・ ただし, 発生頻度の高い事象(風(台風), 降水, 凍結, 積雪)については, 複数事象の組合せを1つの組合せとして考慮(※1および※2の組合せ)

自然現象の組合せ

		A	B	C	D	E	F	G	H	I
		※1	※2	竜巻	落雷	火山の影響	生物学的事象	森林火災	地震	津波
A	※1									
B	※2	1								
C	竜巻	2	9							
D	落雷	3	10	16						
E	火山の影響	4	11	17	22					
F	生物学的事象	5	12	18	23	27				
G	森林火災	6	13	19	24	28	31			
H	地震	7	14	20	25	29	32	34		
I	津波	8	15	21	26	30	33	35	36	

※1: 風(台風)+降水
※2: 風(台風)+凍結+積雪

4. 自然現象の組合せ(2/6)

自然現象の重畳(組合せ)の検討

- 組合せる自然現象は先行他社と同じだが、想定する事象大きさ(風速、積雪量等)は個々の発電所ごとに設定
- 各自然現象のプラントに及ぼす影響モード(荷重、温度等)毎に組合せを選定
- 影響モードのうち荷重については重畳で評価
- 荷重影響の組合せ検討においては、最大荷重継続時間および発生頻度を基に実施
- 影響モードが荷重以外の場合は、個別のハザード評価に包含(重畳は考慮しない)

プラントに及ぼす影響モード毎に重畳事象を選定									
	プラントに及ぼす影響モード(P13参照)								
	荷重	温度	閉塞	浸水	電氣的影響	腐食	摩耗	アクセス性	視認性
風(台風)	●	—	—	—	—	—	—	●	—
竜巻	●	—	—	—	—	—	—	●	—
凍結	—	●	●	—	—	—	—	●	—
降水	—	—	—	●	—	—	—	—	●
積雪	●	—	—	—	—	—	—	●	●
落雷	—	—	—	—	●	—	—	—	—
火山	●	—	●	—	●	●	●	●	●
生物学的事象	—	—	●	—	●	—	—	—	—
森林火災	—	●	●	—	●	—	●	●	●
地震	●	—	—	—	—	—	—	●	●
津波	●	—	—	●	—	—	—	●	—

「荷重」の影響モードを持つ事象の特徴を踏まえ、以下に該当する組合せは除外し組合せを検討

- ✓ 組合せる事象が独立事象であり、各事象が重畳する頻度が低いまたはそれぞれの事象の荷重継続時間が短い(例:地震+竜巻)
- ✓ 物理的に同時に荷重が作用することがない(例:津波+地震)^{※3}

事象	荷重	最大荷重の継続時間	発生頻度[年] (P14~16参照)
地震	大	短	$10^{-3} \sim 10^{-5}$
津波	大	短	$10^{-4} \sim 10^{-5}$
竜巻	大	短	4.2×10^{-9}
火山	中	長	$1.2 \times 10^{-4} \text{ ※1}$
風(台風)	小	短	$2 \times 10^{-2} \text{ ※2}$
積雪	小	長	$2 \times 10^{-2} \text{ ※2}$

※1 地質調査および文献調査により設定
 ※2 発電所の供用期間中に1回起こることを想定

設計上考慮する自然現象の組合せ

① 津波+地震(余震)^{※3}
 ② 地震+積雪

③ 津波+積雪
 ④ 風(台風)+積雪+火山

※3 基準地震動と基準津波は波源が異なり、同時に作用することはない

ただし、基準津波と余震の組合せについては、同時に荷重が作用する可能性があるため、津波+地震(余震)を想定

12

4. 自然現象の組合せ(3/6)

影響モードの具体的影響例

影響モード	具体的影響例
荷重	積雪や火山灰の重さによる静的荷重や地震によるせん断力
温度	低温や火災による熱的影響
閉塞	火山灰による空調フィルタの目詰まりや海生生物による取水口の閉塞
浸水	降雨、津波により敷地内に流入した水による影響
電氣的影響	落雷による設備損傷や電気盤内へのばい煙侵入による短絡影響
腐食	火山灰の付着による腐食影響
摩耗	火山灰、ばい煙の機器内部への侵入による軸受けやシリンダ部の摩耗
アクセス性	道路上に堆積した雪・火山灰や、風・竜巻による、屋外作業の妨げ
視認性	屋外に設置している自然現象監視カメラの視界不良

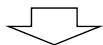
13

4. 自然現象の組合せ(4/6)

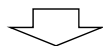
➤ 自然現象の発生頻度について(1/3)

□ 地震

「日本原子力学会標準 原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準(2007)」に基づき、敷地における地震ハザード^{※1}スペクトルを算定し、基準地震動 S_s のスペクトルと比較



ハザードスペクトルは、地震調査研究推進本部^{※2}の検討結果(2012)等に基づき設定

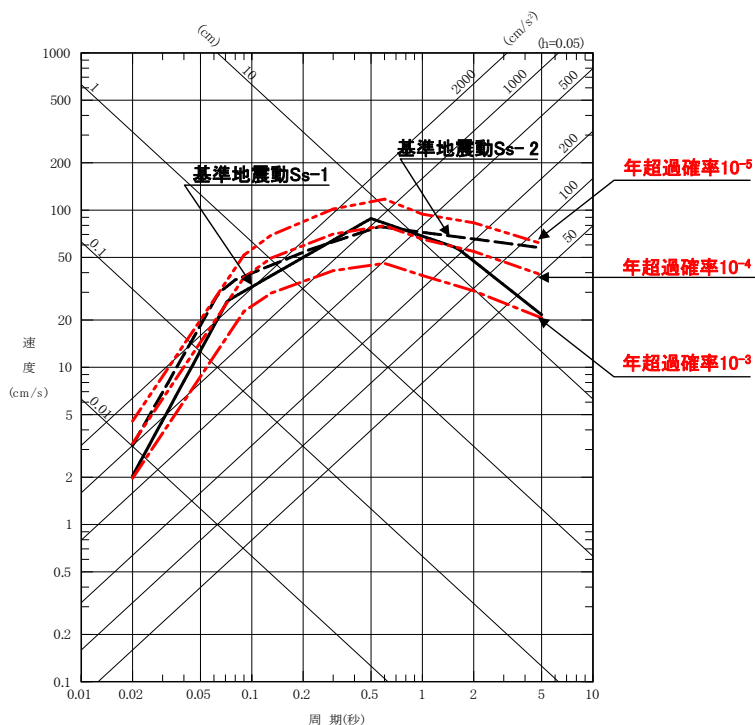


算定したハザードスペクトルの結果^{※3}から、基準地震動 S_s の年超過確率は $10^{-3} \sim 10^{-5}$ 程度

※1: 地震ハザードとは、ある任意の地点において将来の一定期間中に襲来するであろう任意の地震動強さと、その強さを超過する頻度との関係

※2: 地震に関する調査研究を政府として一元的に推進するために、文部科学省に設置されている政府の機関

※3: ハザードスペクトルについては、最新知見を反映し必要に応じて見直しを行う



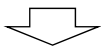
基準地震動 S_s の年超過確率(水平)

4. 自然現象の組合せ(5/6)

➤ 自然現象の発生頻度について(2/3)

□ 津波

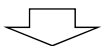
「日本原子力学会標準 原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準(2011)」等に基づき、津波ハザード曲線を算定し、基準津波による敷地前面での最高水位と比較



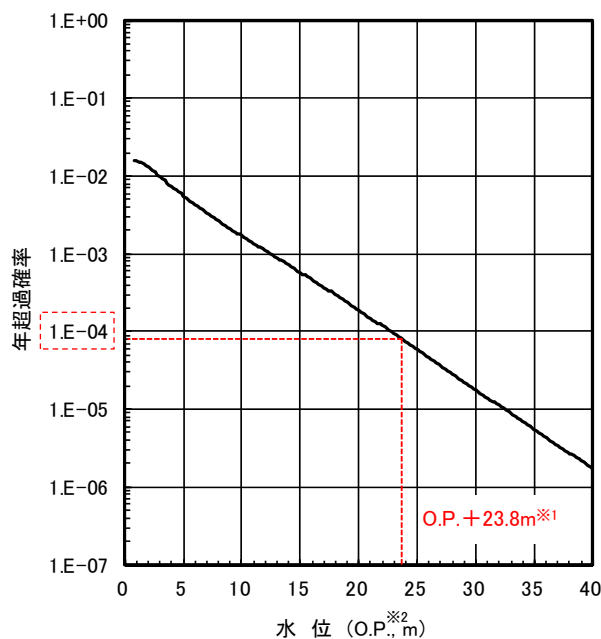
津波ハザード曲線は、地震調査研究推進本部の検討結果(2012)等に基づき設定

<津波発生モデル>

- ・津波発生領域: 日本海溝および千島海溝(南部)沿い
- ・貞観型地震, 東北地方太平洋沖型(運動型)地震, 津波地震, 海洋プレート内地震を考慮



基準津波による敷地前面での最高水位は、算定した津波ハザード曲線の結果^{※3}から、年超過確率で 10^{-4} 程度



敷地前面位置における津波ハザード曲線

※1: 地震に伴う発電所敷地の地盤沈下量を考慮した相対的な津波水位

※2: O.P.は女川原子力発電所工用基準面(Onagawa Peil)であり、東京湾平均海面(T.P.)-0.74m

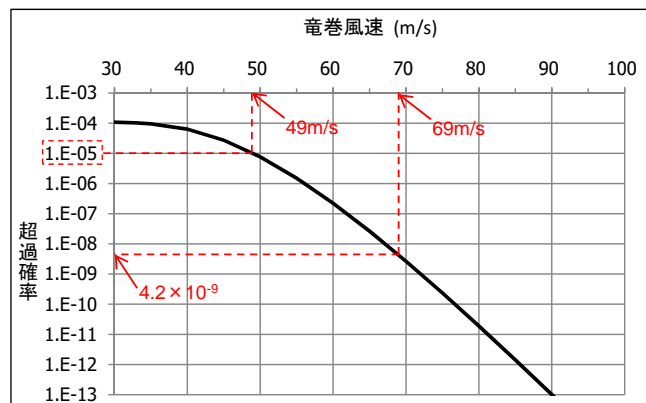
※3: 津波ハザード曲線については、最新知見を反映し必要に応じて見直しを行う

4. 自然現象の組合せ(6/6)

➤ 自然現象の発生頻度について(3/3)

□ 竜巻

- 竜巻の大きさを設定する上で検討地域を設定し、過去の観測記録からハザード曲線を算定
- 竜巻評価ガイドでは、 10^{-5} /年を下回らない値を設定するよう要求
- 10^{-5} /年に相当する風速は49.0m/s
- 一方、検討地域における過去最大竜巻はF2クラス(50~69m/s)であり、F2の上限である69m/sは 4.2×10^{-9} /年に相当



竜巻ハザード曲線

□ 火山

- 文献調査より、敷地または敷地近傍に降灰した可能性のある肘折尾花沢噴火の記録(約1万2千年前)より、年超過確率は 1.2×10^{-4} を考慮
- 火山灰の層厚は、地質調査結果より10cmを想定

□ 風(台風), 積雪

- 発電所の供用期間中(2×10^{-2})に1回起こることを想定
- 既往最大値は、風(台風)44.2m/s(最大瞬間風速)、積雪43cm(月最深積雪)

16

5. 設計上の考慮(1/6)

- 設計上考慮する自然現象(組合せ含む)および人為事象を選定した結果、自然現象は単独6事象および重畳(組合せ)4事象、人為事象は7事象を選定

設計上考慮する外部事象

自然現象		人為事象
単独事象	重畳事象(組合せ)	
1. 竜巻	1. 津波+地震(余震)	1. 飛来物(航空機衝突)
2. 凍結	2. 地震+積雪	2. ダムの崩壊
3. 降水	3. 津波+積雪	3. 爆発
4. 落雷	4. 風(台風)+積雪+火山	4. 近隣工場等の火災(航空機落下火災含む)
5. 生物学的事象		5. 有毒ガス
6. 森林火災		6. 船舶の衝突
		7. 電磁的障害

☐: 次ページ以降に評価例を代表的に示す

17

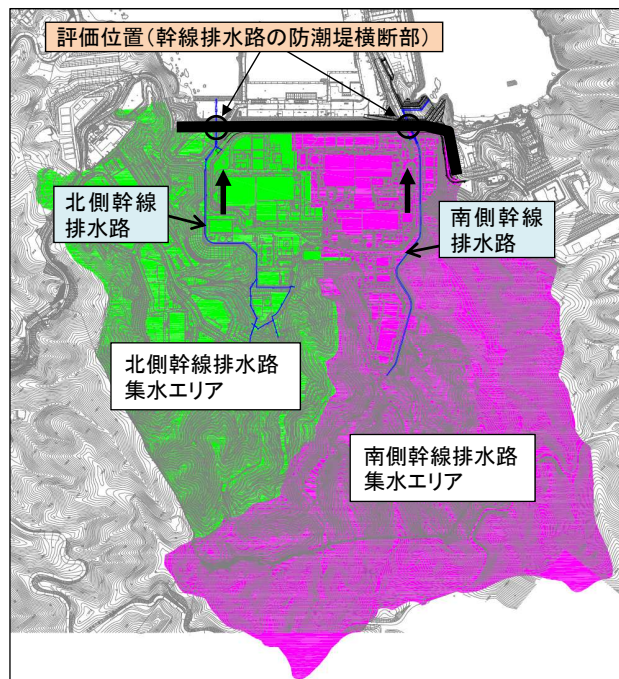
5. 設計上の考慮(2/6)

単独事象(自然現象)の例:降水

- 敷地周辺で観測された最大の降水量91.0mm/h^{※1}(日最大1時間降水量)が発生した場合の雨水流入量^{※2}と敷地内排水路(北側, 南側)の排水能力を比較
- 北側および南側排水路の排水可能流量は, 雨水流入量を大きく上回り, 豪雨時においても余裕をもった雨水排水が可能であることを確認

既往最大91.0mm/h降水時の雨水流入量と排水可能量との比較

排水路	91.0mm/h降水時の雨水流入量 [A]	排水可能流量 ^{※3} [B]	雨水流入量に対する排水可能流量の比 [B/A]
北側幹線排水路	10.37m ³ /s	30.82m ³ /s	2.9 (排水可能)
南側幹線排水路	13.02m ³ /s	35.17m ³ /s	2.7 (排水可能)



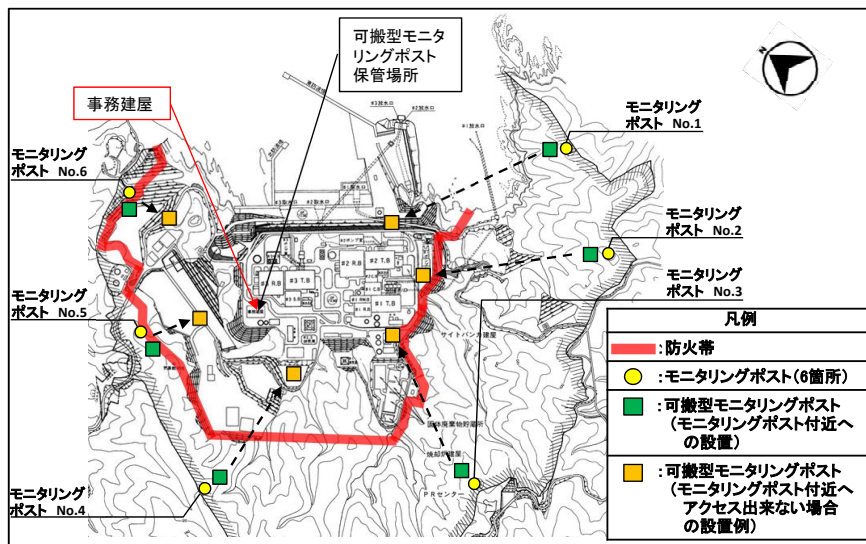
幹線排水路の配置概要図

- ※1 設置変更許可申請時点(平成25年12月27日)では81.7mm/hであったが, 平成26年9月11日に更新(石巻特別地域気象観測所で観測)
 ※2 「森林法に基づく林地開発許可申請の手引き」(平成26年2月宮城県)に従い算定
 ※3 林地開発許可申請書記載値(平成26年10月)

5. 設計上の考慮(3/6)

単独事象(自然現象)の例:森林火災

- 森林火災シミュレーションによる影響評価を実施し, 防火帯(20m)を設置
- 火災影響軽減のために予防散水(モニタリングポスト, 周辺樹木など)を実施
- 仮に火災により既設のモニタリングポストが機能喪失したとしても, 防火帯の内側に保管している可搬型モニタリングポストにより代替測定が可能な運用としている



防火帯設定範囲およびモニタリングポスト配置図



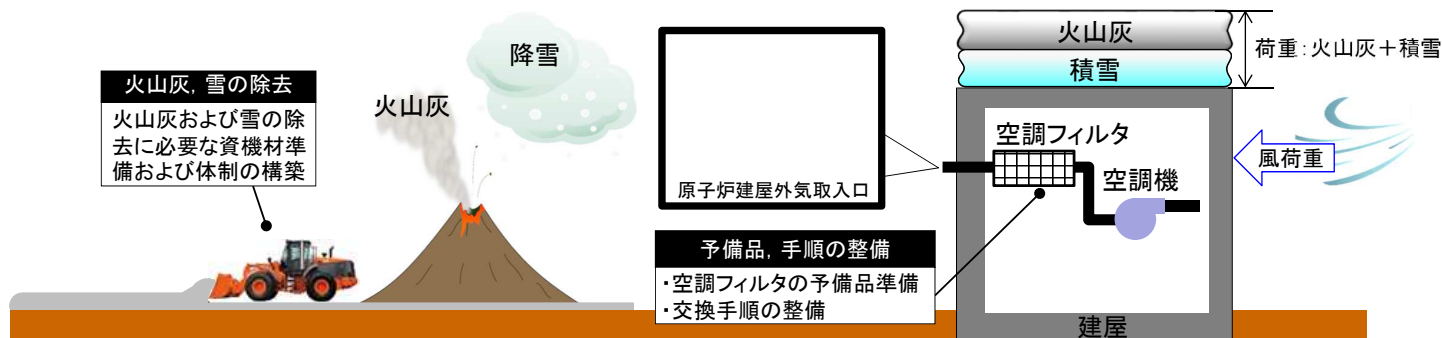
消防自動車による予防散水
(モニタリングポストNo.6周辺への散水状況)

5. 設計上の考慮(4/6)

重畳事象(自然現象)の例：風(台風)+積雪+火山

✓ プラントへ及ぼす影響に対する設計上の考慮を下表に示す

影響	設計上の考慮
荷重	火山灰および積雪の組合せ荷重に加え、建築基準法に基づく風速30m/s(10分間平均風速)を考慮
閉塞	火山灰が空調設備のフィルタに付着するため、予備品の準備および交換手順を整備
電氣的影響	電源盤内への火山灰侵入により短絡の発生が想定されるが、建屋内への外気取入れ口にはフィルタを設置しており、火山灰が盤内に大量に侵入することはない
腐食	屋外設備には外装塗装を実施し、短期での腐食影響を防止
磨耗	非常用ディーゼル発電機機関内への火山灰侵入によるシリンダ部の磨耗が考えられるが、火山灰はシリンダおよびピストンの硬度よりやわらかく磨耗は生じない
アクセス性	設計上考慮する必要がある屋外作業はないが、敷地内に堆積した火山灰および積雪の除去作業を実施

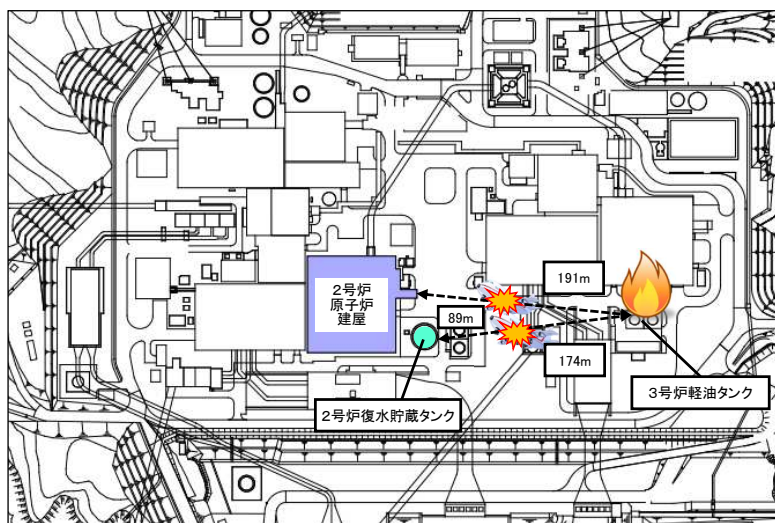


20

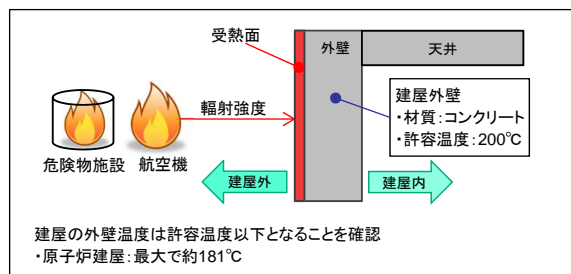
5. 設計上の考慮(5/6)

単独事象(人為事象)の例：近隣工場等の火災(航空機落下火災)

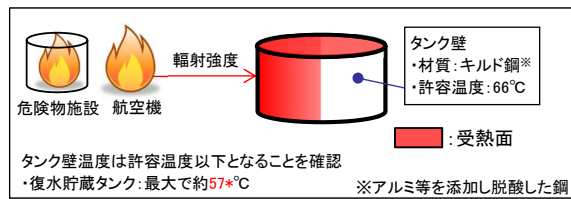
- ✓ 航空機(B747-400)落下火災および軽油タンク火災が同時に生じた場合を想定
- ✓ 熱影響評価の結果、許容温度以下を確認



航空機落下火災と軽油タンク火災の重畳



建屋外壁の熱影響評価



復水貯蔵タンクの熱影響評価

<各離隔距離>

- ・3号炉軽油タンク～2号炉原子炉建屋 : 191m
- ・3号炉軽油タンク～2号炉復水貯蔵タンク : 174m
- ・航空機落下位置～2号炉原子炉建屋 : 89m
- ・航空機落下位置～2号炉復水貯蔵タンク : 89m

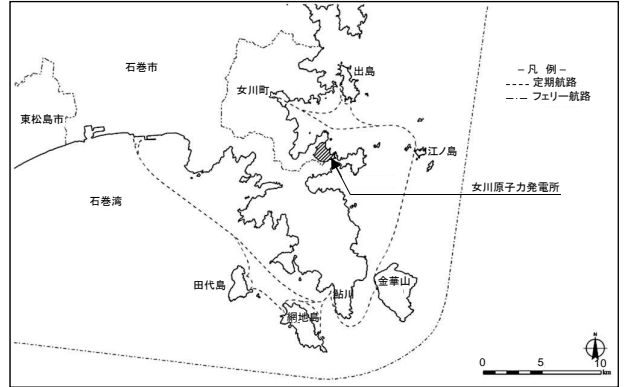
* 当日の配付資料に誤記があったため修正

21

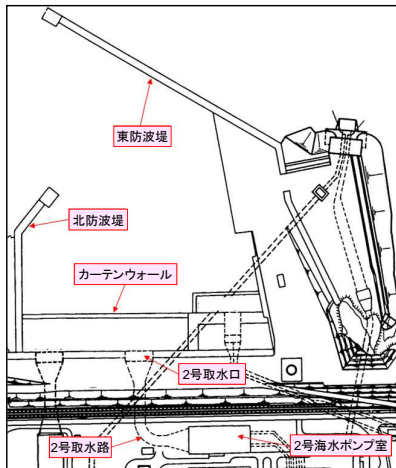
5. 設計上の考慮(6/6)

単独事象(人為事象)の例:船舶の衝突

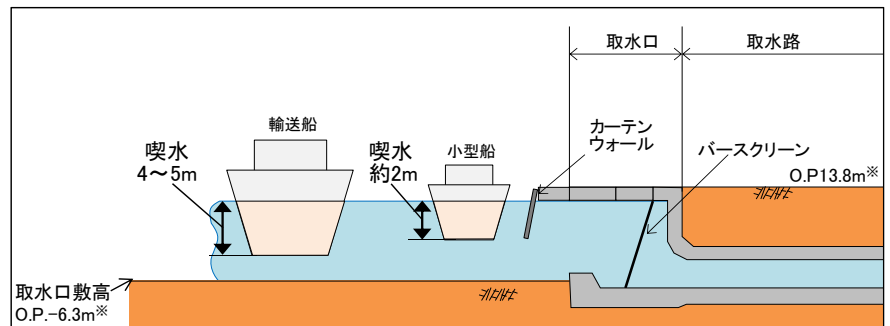
- ✓ 周辺の主要航路から2km以上離隔
- ✓ 発電所前面海域の流況は、ほぼ海岸線に沿った流れが卓越
- ✓ 仮に漂流した場合でも取水口前面のカーテンウォールにより侵入防止が可能
- ✓ 船舶の喫水を考慮しても、取水口の閉塞はない設計



女川原子力発電所周辺の主要航路図



取水口および防波堤の位置



取水設備断面図

※ 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動による地盤沈下量(約-1m)を考慮した値

22

6. まとめ

- 想定すべき外部事象を選定した結果、自然現象11事象、人為事象7事象を選定
- 自然現象の重畳(組合せ)は、荷重影響の観点から4つの組合せを考慮



- 選定した自然現象(組合せ含む)および人為事象に対して、安全施設の安全機能を損なわない設計とする
- また、事象ごとの対応(除雪、除灰等)に必要な資機材および交換部品(空調フィルタ等)を準備すると共に、体制の構築にも取り組む
- なお、荷重影響に関する具体的な評価結果については、今後、工事計画認可に係る審査(構造健全性に係る強度計算書等)において、確認を受ける予定

【参考】適合性審査状況

- 外部事象の考慮について、当社はこれまでにヒアリング2回、審査会合1回を実施
- 審査においては、外部事象に対する設備対応状況や、スクリーニングアウトした事象（地すべり等）の確認方法に関して質問・指摘を受け、技術的なコメントに対しての回答は終了

主な質問、指摘事項

主な質問・指摘事項	回答状況
降水について、構内排水設備の排水能力を定量的に説明すること	敷地付近で観測された日最大1時間降水量の最大値91.0mm/hに対して、構内排水施設の排水可能量が余裕をもった設計になっており、海域への雨水排水が可能であることを説明(P18参照)
洪水、地すべりに関して、発電所周辺の地形図や参照したハザードマップを記載すること	地すべり地形分布図および土砂災害危険箇所図を用いて、敷地内に地すべり、土石流ならびにがけ崩れを起すような地形は存在しないことを説明(P10参照)

女川2号に関する質問、指摘事項の残件なし(平成27年7月9日審査会合時点)