

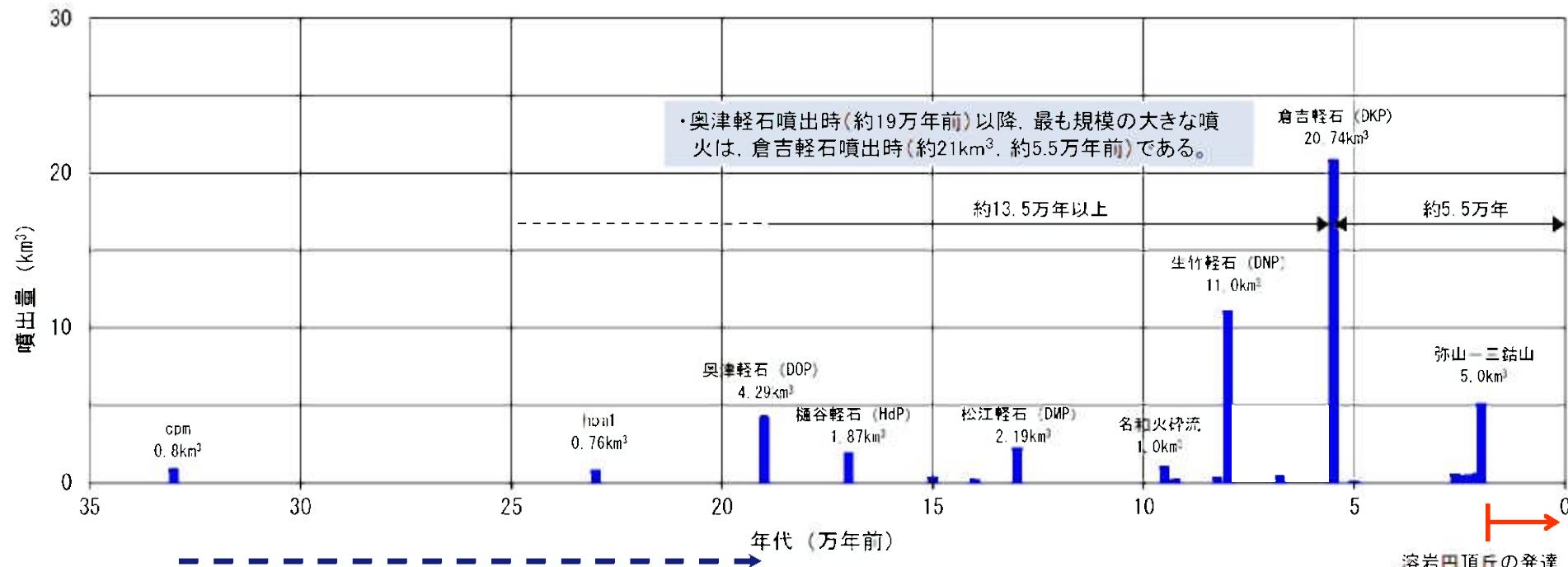
島根原子力発電所 火山影響評価について

令和3年6月18日
中国電力株式会社

申請時(H25.12.25)からの変更内容

個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

評価項目	申請時の評価	申請後の検討・反映事項(審査会合での主な議論)	最終評価	該当頁
土石流、火山泥流及び洪水		【降下火砕物】 ・三瓶山及び大山に関する文献調査を実施し、三瓶浮布テフラの降灰分布、大山生竹テフラの噴火規模等に関する最新の知見を踏まえた評価を行った。		
火山ガス		・敷地周辺の地質調査(火山灰調査)を実施し、敷地周辺において確認された三瓶木次テフラ、三瓶浮布テフラ、三瓶雲南テフラ及び大山松江テフラの分布状況を整理した。		
火山性地震とこれに関連する事象	敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さい。	・降下火砕物について、三瓶浮布テフラ、大山松江テフラ、大山生竹テフラ及び巣陵院岐テフラを対象に、風向の不確定さとして敷地方向への仮想風等を考慮した火山灰シミュレーションを実施した。 ・敷地は三瓶山の風下側に位置し、風向によっては降灰が想定されること等から、三瓶浮布テフラについては、文献による等層厚線の主軸は三瓶山から敷地の方向とは異なるが、その主軸上の三瓶山から敷地までの距離に相当する地点の降灰層厚を敷地における降灰層厚として考慮した。	敷地に影響を及ぼす可能性は十分小さい。	4章
熱水系及び地下水の異常				
その他の火山事象				
降下火砕物	敷地における降下火砕物の層厚 2cm		敷地における降下火砕物の層厚 56cm	



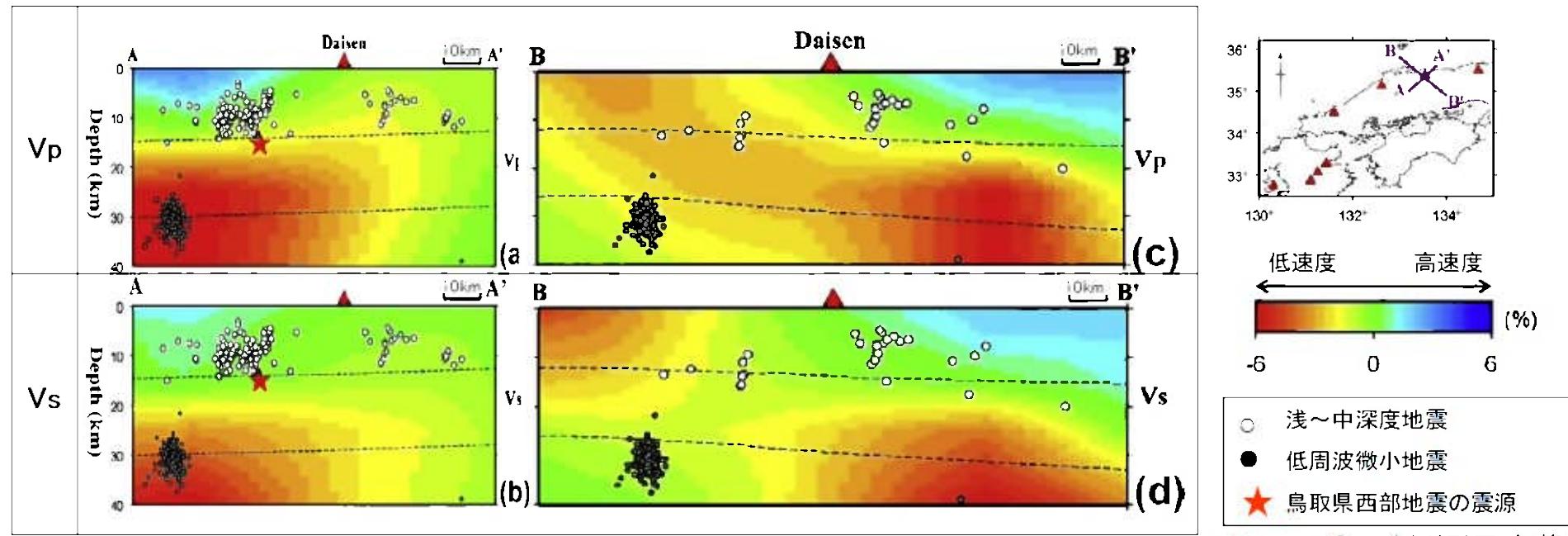
岡田・石賀(2000)によると、新期噴出物のうち奥津軽石の下位に続くテフラについては、今のところその詳細はまったく不明であるとされている。

(第四紀火山カタログ編集委員会(1999)、須藤ほか(2007)、原子力規制委員会(2018)⁽⁶³⁾、関西電力(2019)⁽⁶⁴⁾に基づき作成)

- ・溝口凝灰角礫岩の堆積以降において、最も規模の大きな噴火は倉吉軽石(DKP)噴出時である。
- ・約40万年前以降、噴火規模の最も大きな倉吉軽石規模の噴出までの期間(約34.5万年)は、倉吉軽石の噴出からの経過時間(約5.5万年)に比べ十分に長い。更に、奥津軽石(約19万年前)の噴火から倉吉軽石規模の噴火までの期間(約13.5万年)を見積もっても、最新の噴火からの経過時間(約5.5万年)に比べ十分に長い。
- ・一方、数 km^3 以下の規模の噴火については、倉吉軽石の噴出以前若しくは以降においても繰り返し発生している。

【大山地下深部の地震活動, 地震波速度構造に関する文献】

- Zhao et al. (2011) は, 大山の南西～南東側の地下深部に広がる低速度層と, 大山の西で生じている低周波微小地震の存在から, マグマ溜まりの存在する可能性を示唆している。
- なお, 大見 (2002)⁽⁷⁶⁾ によると, 鳥取県西部地震震源域の深部低周波地震は, 深部のマグマ活動に限定して考えるよりも, スラブから供給された流体の挙動に基づくものと考えるほうが理解しやすいとされている。

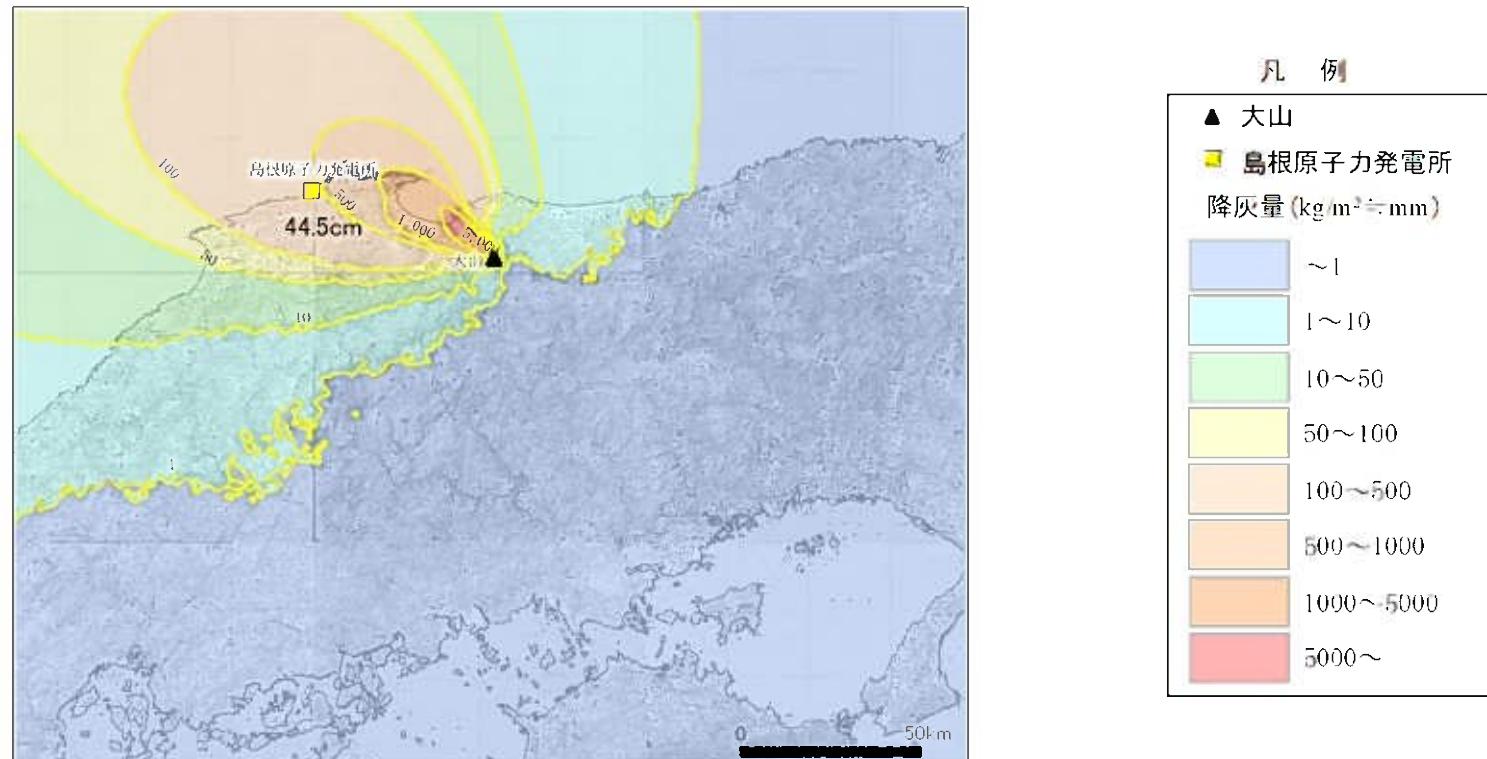


Zhao et al. (2011)より引用・加筆

大山の南西～南東側の地下深部に広がる低速度層と, 大山の西で生じている低周波微小地震の存在から, マグマ溜まりの存在する可能性を示唆しているが, 仮にマグマ溜まりとしても, これらの低速度層は20km以深に位置しており, 東宮(1997)による珪長質マグマの浮力中立点の深度約7kmよりも深い位置にあると推察される。

風向の不確かさを考慮した検討結果

風向の不確かさとして敷地方向への仮想風を考慮した検討を実施した。

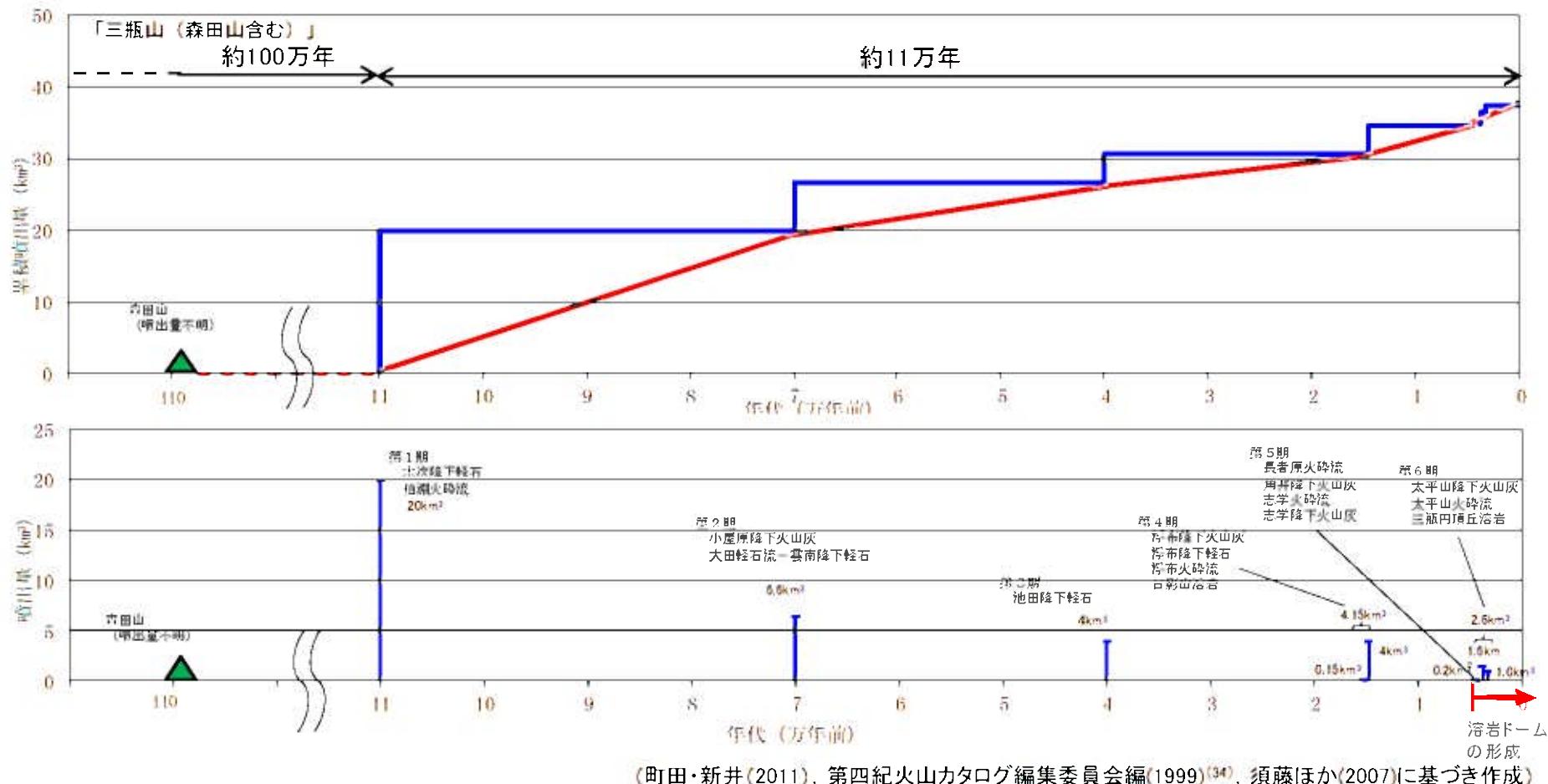


風向の不確かさとして敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における降灰層厚は、基本ケースの1.3cmに対し44.5cmとなった。

(2) 地理的領域内の火山による降下火碎物の影響評価
三瓶山の噴火履歴の検討(階段ダイヤグラム)

第924回審査会合
資料1-1 P64 加筆・修正

66



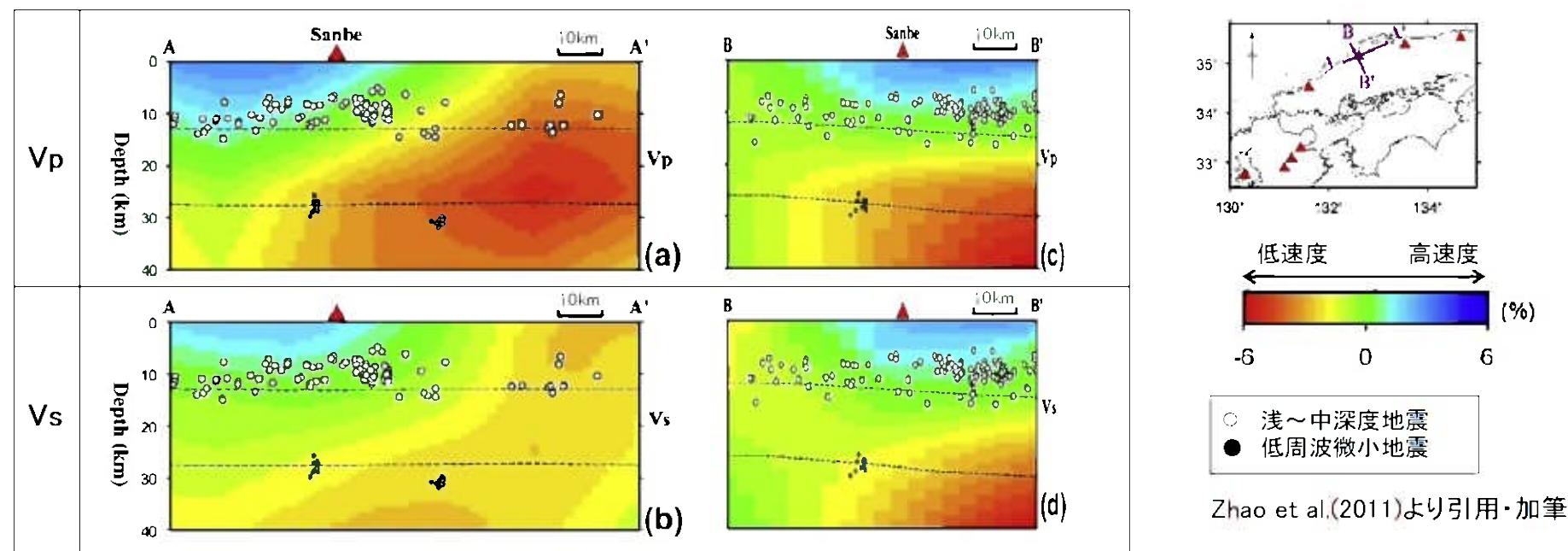
- 森田山の噴火以降において、最も規模の大きな噴火は木次降下軽石(SK)噴出時である。
- 約110万年前の森田山の噴火以降、噴火規模の最も大きな木次降下軽石の噴出までの期間(約100万年)は、木次降下軽石の噴出からの経過時間(約11万年)に比べ十分に長い。
- 一方、数km³以下の規模の噴火については、木次降下軽石の噴出以降においても繰り返し発生している。

【地震活動, 地震波速度構造に関する一般論としての文献】

- 森田・大湊(2005)⁽³⁹⁾によると, 地震の活動度は, 一般に火山活動が活発になると火山周辺において高まるとされており, 流体の移動が示唆される地震(低周波地震等)が発生するとされている。
- 浅森・梅田(2005)⁽⁴⁰⁾によると, 地震波トモグラフィ解析から得られる地震波速度構造は, 岩石の種類, 流体の飽和度, 温度, 圧力等の変化を反映しており, 低速度領域には, 流体や高温異常の存在を示唆するとされている。

【三瓶山地下深部の地震活動, 地震波速度構造に関する文献】

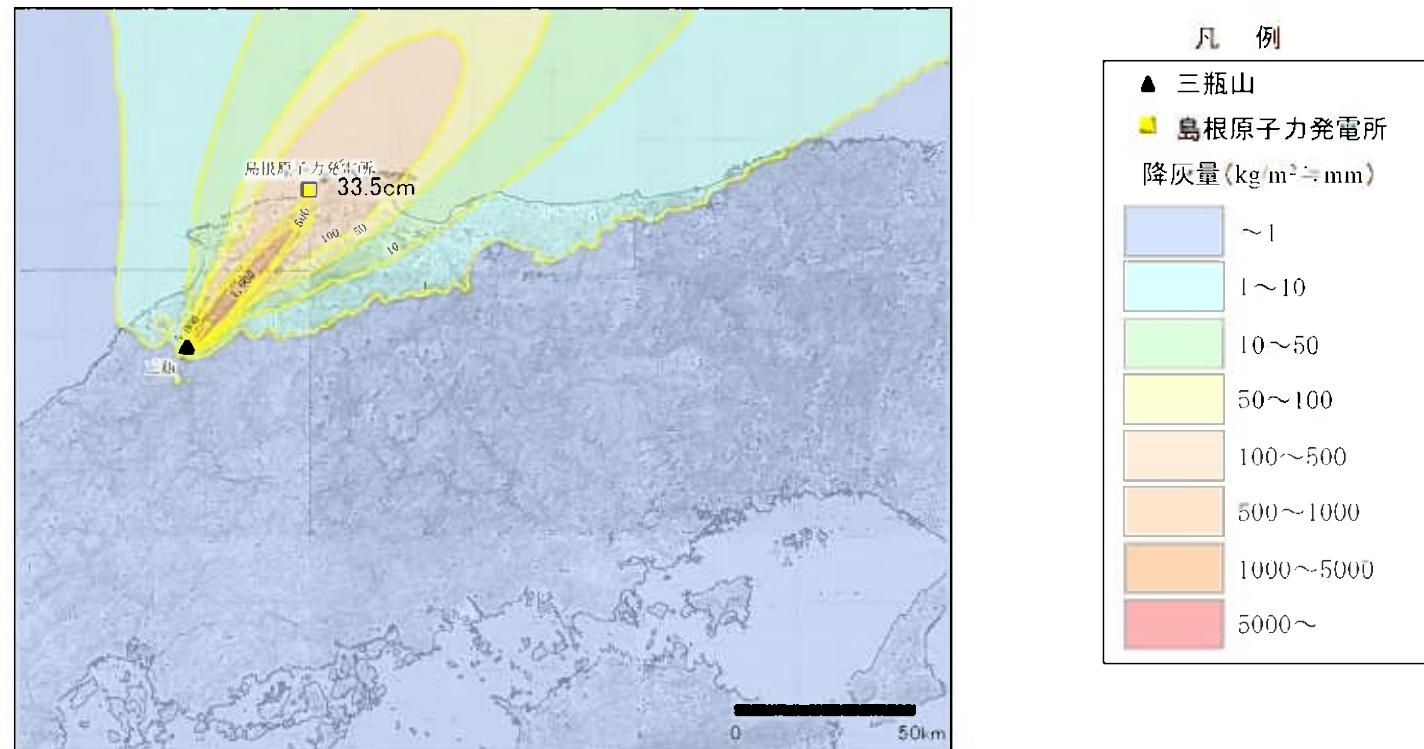
- Zhao et al. (2011)⁽⁴¹⁾は, 三瓶山の北東～南東側の地下深部に広がる低速度層と, 低周波微小地震の存在から, マグマ溜まりの存在する可能性を示唆している。



三瓶山の北東～南東側の地下深部に広がる低速度層と低周波微小地震の存在から, マグマ溜まりの存在する可能性を示唆しているが, 仮にマグマ溜まりとしても, これらの低速度層は20km以深に位置しており, 東宮(1997)による珪長質マグマの浮力中立点の深度約7kmよりも深い位置にあると推察される。

風向の不確かさを考慮した検討結果

風向の不確かさとして敷地方向への仮想風を考慮した検討を実施した。



風向の不確かさとして敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における降灰層厚は、基本ケースの4.7cmに対し33.5cmとなった。

三瓶浮布テフラの噴出時の噴火規模 (Maruyama et al. (2020)によるテフラ分布域)

- Maruyama et al. (2020)によると、SUK-Uテフラは、中国地方及び近畿地方に広い範囲で薄く堆積するとされている。一方、SUK-Lテフラは、近畿地方南部及びその近海、四国東端で見出され、テフラ分布域も異なり、SUK-Uと比較し厚く堆積するとされている。
- 三瓶浮布テフラ噴出時の噴火規模については、Maruyama et al. (2020)によると SUk-UとSUK-Lは別々の噴火イベントとされていること及び SUk-LはSUK-Uと比較し厚く堆積するとされていることを踏まえ、SUK-Uは広い範囲で分布するものの堆積量はわずかであると考えられることから、支配的と考えられるSUK-Lの分布域に着目して噴出量の妥当性の確認を行った。その結果、第4期の噴出量を4.15km³と評価とすることは概ね妥当と判断した(噴出量の妥当性確認は、補足説明「4. 三瓶浮布テフラ噴出時の噴火規模について」参照)。

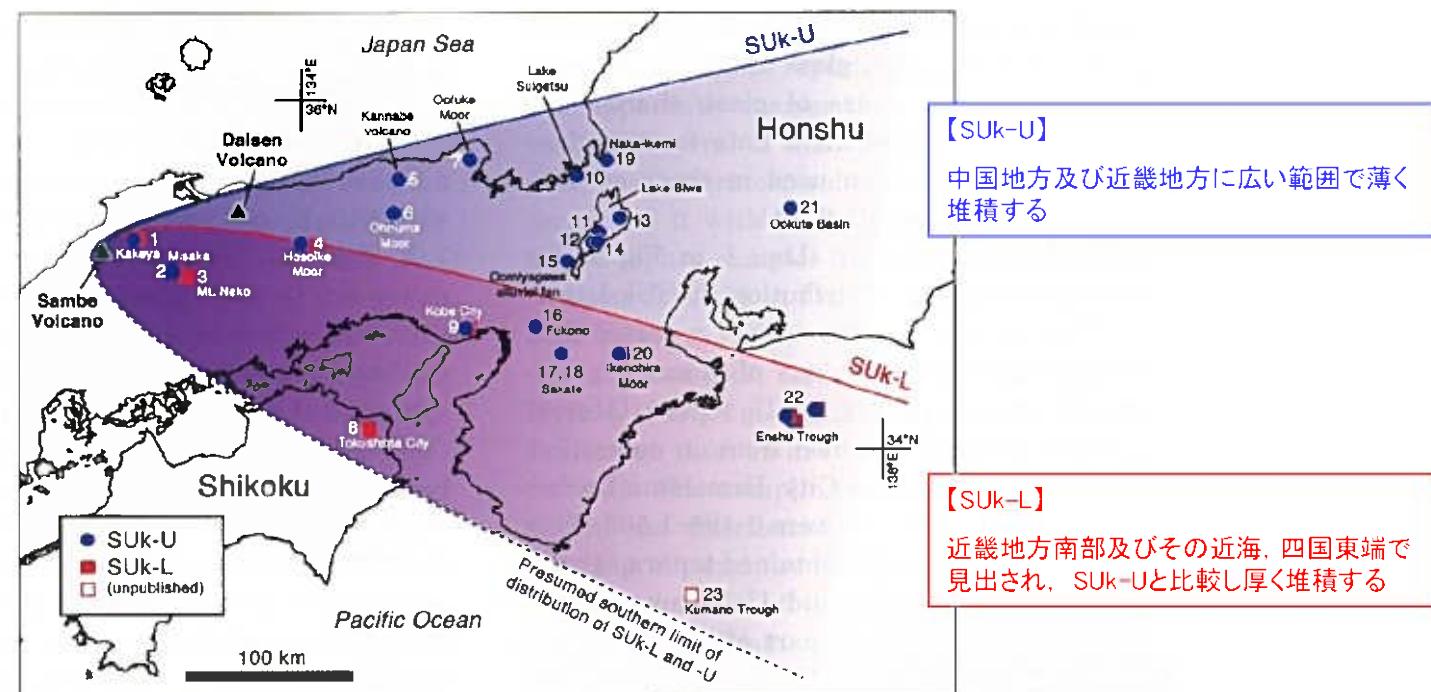


Fig. 8 Presumed distribution of the SUK tephra based on previous studies. 1 = this study (Kakeya outcrop); 2 = Nomura and Tanaka (1987); 3 = Nomura (1991); 4 = Nomura et al. (1995); 5 and 21 = Nakamura et al. (2011); 6 = Katoh et al. (2007); 7 = Takahara et al. (1999); 8 = Nishiyama et al. (2012); 9 = Katoh et al. (1996); 10 = Takemura et al. (1994), Maruyama et al. (2019) and this study; 11 = Yoshikawa and Inouchi (1991); 12, 16, and 17 = Yoshikawa et al. (1986); 13 and 14 = Takemura et al. (2010); 15 = Togo et al. (1997); 18 = Ooi (1992); 19 = Ooi et al. (2004); 20 = Takahara and Masuda (2017) and this study; 22 = Ikehara et al. (2011); 23 = JAMSTEC (2012) (the cruise report only).

Maruyama et al. (2020)より引用・加筆

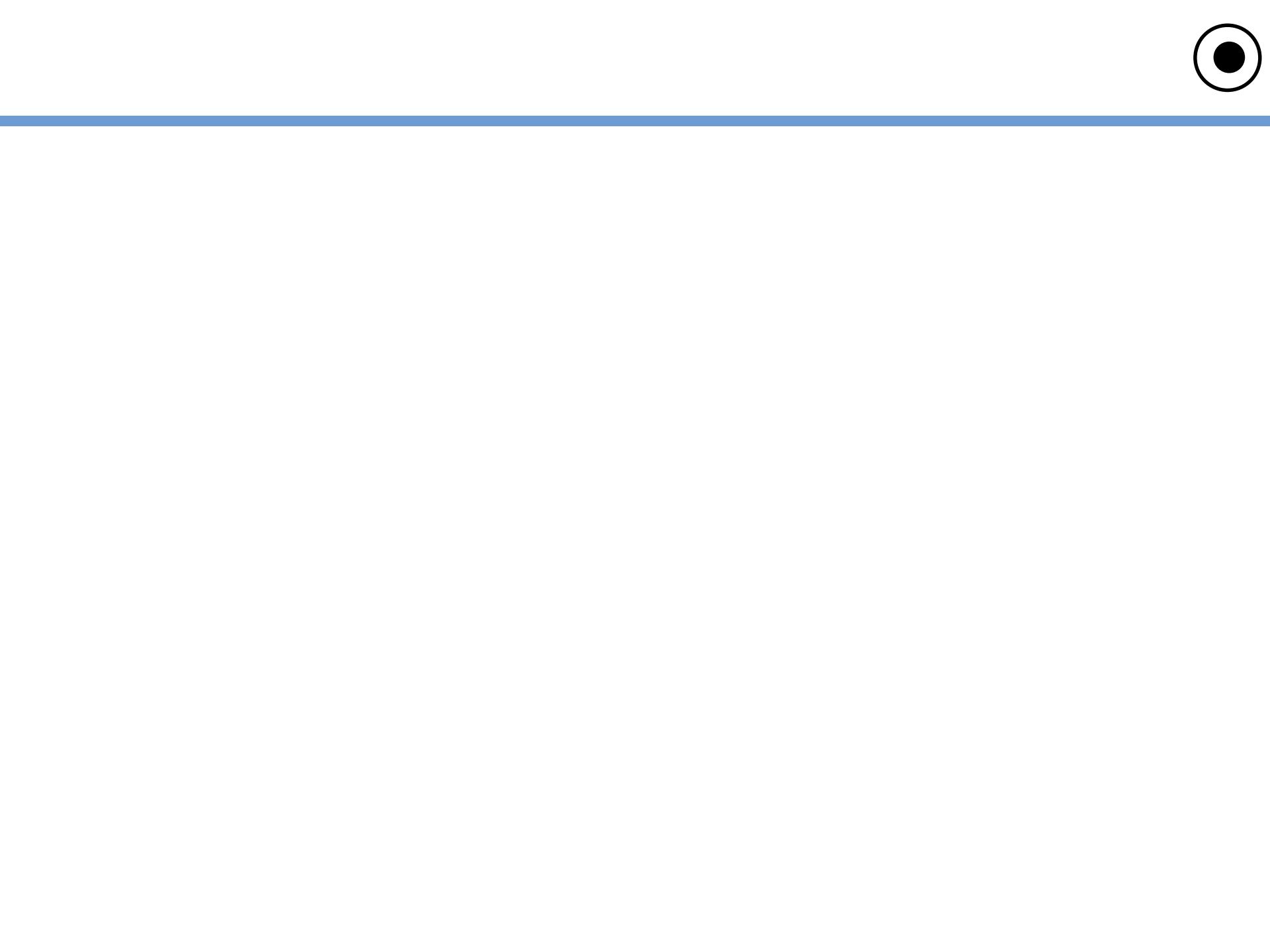
三瓶山の敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討

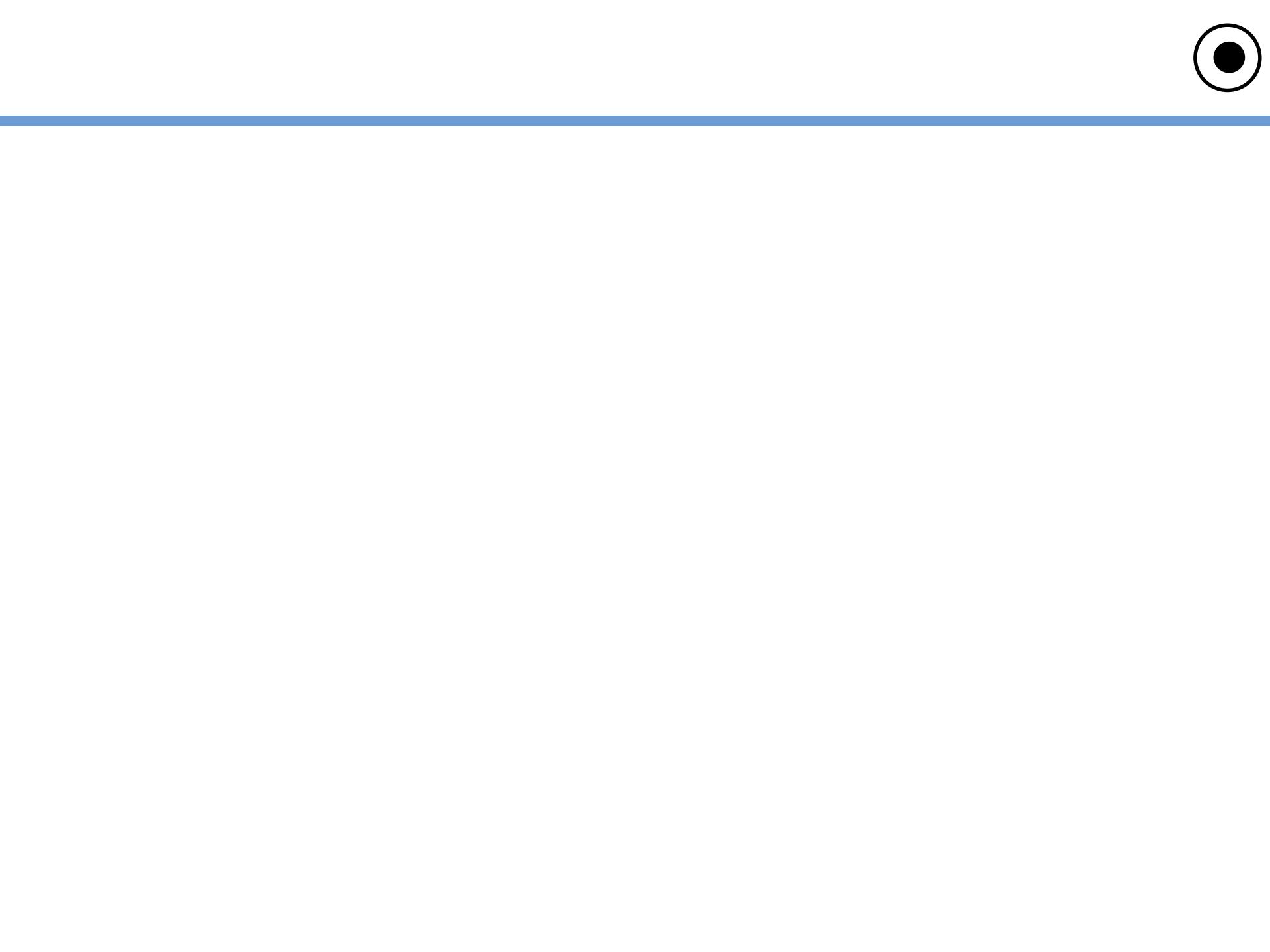
・敷地は三瓶山の風下側に位置し、風向によっては降灰が想定される。また、Maruyama et al. (2020)によると、三瓶浮布テフラの分布域は明確に2方向に区分され、その一方(SUk-U)が中国地方の広範囲で分布している。以上のことから、敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションによる検討に加え更なる保守的な検討として、町田・新井(2011)による50cm等層厚線の主軸は三瓶山から敷地の方向とは異なるが、その主軸上の三瓶山から敷地までの距離に相当する55km地点の降灰層厚を敷地における降灰層厚として考慮する。

$$\text{敷地における降灰層厚} = (\text{三瓶山} \sim 50\text{cm等層厚線間距離} / \text{三瓶山} \sim \text{敷地間距離}) \times 50\text{cm}$$



原子力発電所の運用期間中の規模として想定した三瓶浮布テフラについて、町田・新井(2011)による50cm等層厚線の主軸は三瓶山から敷地の方向とは異なるが、その主軸上の三瓶山から敷地までの距離に相当する55km地点の降灰層厚を敷地における降灰層厚として考慮した結果、敷地における降灰層厚は55.5cmとなった。





外部事象（火山対策）

2021年3月29日
中国電力株式会社

①審査の概要

- 新規制基準では、自然現象のうち、火山への対策が新設され、原子力発電所の運用期間中に想定される噴火規模や火砕流等の到達、降下火砕物の堆積等の影響について評価し、敷地内の設備の安全性をより強化するよう求められています。

②規制要求事項

設置許可基準規則 第6条（外部からの衝撃による損傷の防止）	技術基準規則 第7条（外部からの衝撃による損傷の防止）	備考
安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないのでなければならぬ。	設計基準対象施設が想定される自然現象（地震及び津波を除く。）によりその安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置、基礎地盤の改良その他の適切な措置を講じなければならない。	【追加要求事項】
2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。		【追加要求事項】

③基本方針

■ 概要

「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(外部からの衝撃による損傷の防止)において、想定される自然現象の一つとして、火山の影響が挙げられていることから、火山影響評価を行い、安全機能が維持されることを確認する。

■ 火山影響評価の流れ

影響評価では、火山の影響により発電用原子炉施設の安全性を損なわない設計であることを評価するための「原子力発電所の火山影響評価ガイド」を参照し、火山事象への設計対応及び運転対応の妥当性について、評価を行う。

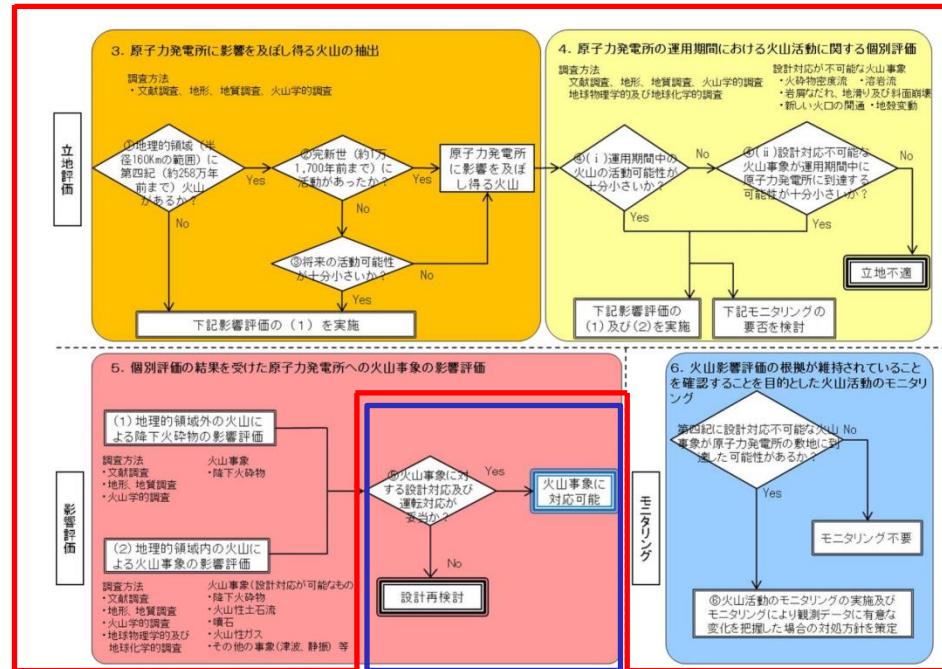


図 火山影響評価の基本フロー

第238回審査会合 (平成27.6.12)

第358回審査会合 (平成28.4.28)

第827回審査会合 (令和2.1.24)

第860回審査会合 (令和2.5.14)

第900回審査会合 (令和2.9.18)

第924回審査会合 (令和2.11.27) で審議

本資料の説明範囲

④審査会合の結果

■ 降下火砕物による直接的な影響（荷重，閉塞，腐食等）に対して評価対象施設等が安全機能を損なわないことを確認

(1)評価対象施設等を内包する建物（原子炉建物，制御室建物，タービン建物及び廃棄物処理建物）の設計方針及び評価結果

評価項目	設計方針	評価結果
構造物への静的負荷	a. 設計時の構造計算結果に基づく評価 許容堆積荷重が降下火砕物による堆積荷重他に対して安全裕度を有することにより、構造健全性を失わず安全機能を損なわない設計とする。	許容堆積荷重は設計堆積荷重を上回っていることから、対象建物の健全性への影響はない(表1参照)。
	b. 補強内容を反映した条件に基づく評価 二次元フレームモデルを用いた応力解析を行い、発生応力度が許容値を超えないことにより、構造健全性を失わず安全機能を損なわない設計とする。	降下火砕物の堆積時において、発生応力度が許容値を超えていないことから、対象建物の健全性への影響はない(表2参照)。
構造物への化学的影響(腐食)	腐食性ガスによって直ちに金属腐食は生じないが、外装の塗装等によって、短期での腐食により安全機能を損なわない設計とする。	外壁塗装を施していることから、降下火砕物による短期での腐食により機能に影響を及ぼすことはない。

④審査会合の結果

表1 評価対象建物の堆積荷重評価結果 (a.設計時の構造計算結果に基づく評価)

評価対象建物	評価部位 ^{※1}	設計 堆積荷重 ^{※2} (N/m ²)	許容堆積荷重 ^{※3} (N/m ²)	評価 結果
原子炉建物	屋根スラブ (屋根トラス上部)	8,938	17,200	○
	小梁		13,100	○
制御室建物	屋根スラブ	8,938	23,700	○
タービン建物	大梁	8,938	15,000	○
廃棄物処理建物	大梁	8,938	11,900	○

※1:評価対象建物の全ての評価部位のうち最も裕度が小さい部位（原子炉建物及びタービン建物の屋根トラス部を除く）及び原子炉建物の屋根スラブを記載。

※2:降下火砕物堆積量（56cm）に積雪量（35cm）を加えて設定した荷重。

※3:積載荷重として考慮する除灰時の人員荷重981N/m²を差し引いて設定した値。

表2 評価対象建物の堆積荷重評価結果^{※1, ※2} (b.補強内容を反映した条件に基づく評価)

評価対象建物	評価部位 ^{※3}	応力度 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	応力度比	評価 結果
原子炉建物	主トラス（斜材）	150.8	235	0.65	○
	二次部材（サブビーム）	173.6	220	0.79	○
タービン建物	主トラス（斜材）	208.4	235	0.89	○
	二次部材（母屋）	169.7	193	0.88	○

※1:降下火砕物堆積量（56cm）に積雪量（35cm）及び積載荷重として除灰時の人員荷重981N/m²を考慮した荷重を加えて設定した荷重による評価結果。

※2:風による水平荷重を建物フレームの構成部材として負担する屋根トラス部の主トラスについては、風荷重を考慮した評価結果。

※3:評価対象建物の屋根トラス部のうち最も裕度が小さい部位を記載。

④審査会合の結果

(2)非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機（吸気系、排気消音器及び排気管含む）の設計方針及び評価結果

非常用ディーゼル発電機の設計方針及び評価結果

評価項目	設計方針	評価結果
換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響(閉塞・摩耗)	<p>給気消音器のフィルタにより、フィルタメッシュより大きな降下火碎物が内部に侵入しにくい設計とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・フィルタを通過した小さな粒径の降下火碎物が侵入した場合でも、閉塞しない設計とする。 ・降下火碎物が侵入した場合でも、耐摩耗性のある材料を使用し摩耗により安全機能を損なわない設計とする。 	<p>給気消音器のフィルタ（粒径約1～5μm程度のものを80%以上捕集）により、降下火碎物の侵入を防止している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・粒径約1～5μm程度のものは過給機、空気冷却器に侵入する可能性はあるが、機器の間隙は十分大きく閉塞に至らない（次頁参照）。 ・機関シリンダ内に降下火碎物が侵入しても、降下火碎物は破碎し易く、硬度が低い、また耐摩耗性のある材料を使用していることから、摩耗が設備に影響を与える可能性は小さい。※1
換気系、電気系及び計装制御系に対する化学的影响(腐食)	腐食性ガスによって直ちに金属腐食は生じないが、金属材料を用いることで、短期での腐食により安全機能を損なわない設計とする。	金属材料を用いていることから、降下火碎物による短期での腐食により機能に影響を与える。

※1:現在までの保守点検において有意な摩耗は確認されていないことから、影響は小さいと考えられる。

④審査会合の結果

(3) 排気筒及び非常用ガス処理系用排気筒の設計方針及び評価結果

排気筒及び非常用ガス処理系用排気筒の設計方針及び評価結果

評価項目	設計方針	評価結果
換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）	<p>①排気筒は降下火碎物の侵入により排気流路が閉塞しない設計とする。</p> <p>②非常用ガス処理系用排気筒は、開口部の形状により降下火碎物が侵入しにくい設計とする。</p>	<p>①排気筒については、排気速度が降下火碎物の降下速度より大きく、降下火碎物が侵入することはない。</p> <p>②非常用ガス処理系用排気筒については開口部が水平方向であり、降下火碎物が侵入しにくい構造であることを確認。</p>
構造物への化学的影響（腐食）	腐食性ガスによって直ちに金属腐食は生じないが、塗装の実施等によって、短期での腐食により安全機能を損なわない設計とする。	外装塗装を実施していることから降下火碎物による短期での腐食により機能に影響を及ぼすことはない。

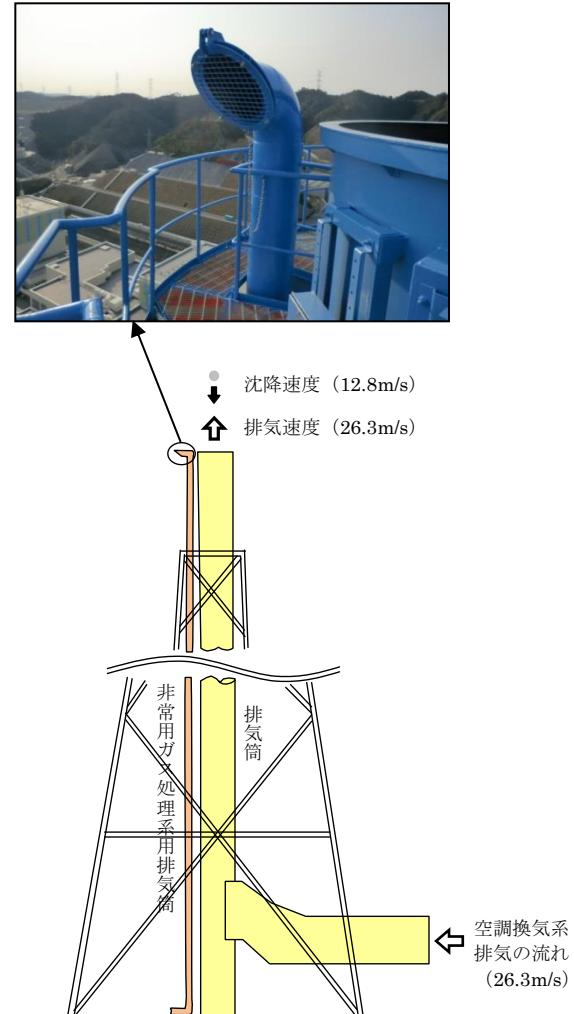


図 排気筒周辺の概要

⑤審査会合で特に議論となつた事項

■ 指摘事項（第930回審査会合 令和2年12月15日）

降下火碎物により排気筒モニタ等が損傷した場合、その安全上支障のない期間がどの程度であるか等を明確にした上で、可搬型モニタリング設備による対応等によって、排気筒モニタが有する安全機能が損なわれないことを整理して説明すること。

■ 回答（第936回審査会合 令和3年1月19日）

排気筒モニタが損傷したときには補修等の運用による対応としていたが、評価対象施設等であることを踏まえ、降下火碎物の堆積荷重に対する排気筒モニタ室の補強等の対策により、降下火碎物の直接的な影響因子によって排気筒モニタが安全機能を損なわない設計とする。（参考資料）

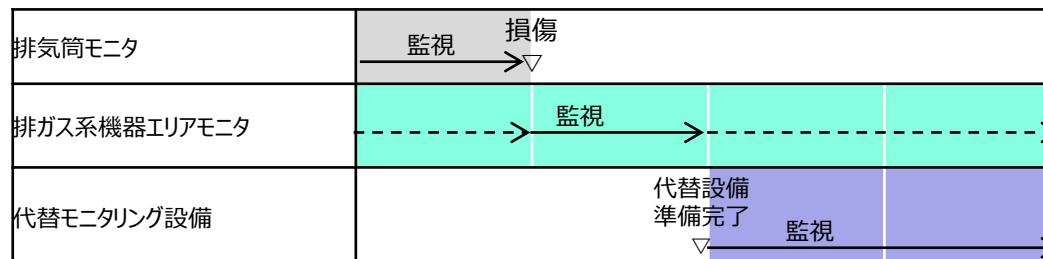
⑥参考資料 審査会合における指摘事項に対する回答（1／2）

■ 指摘事項（第930回審査会合 令和2年12月15日）

降下火碎物により排気筒モニタ等が損傷した場合、その安全上支障のない期間がどの程度であるか等を明確にした上で、可搬型モニタリング設備による対応等によって、排気筒モニタが有する安全機能が損なわれないことを整理して説明すること。

■ 回答

- ・排気筒モニタが損傷したときには補修等の運用による対応としていたが、評価対象施設等であることを踏まえ、排気筒モニタの信頼性向上対策について検討した。その結果、以下の対策により、排気筒モニタの安全機能が維持できることから、方針を変更し、排気筒モニタに対する降下火碎物の直接的な影響因子によって、安全機能を損なわない設計とする。
 - ✓ 降下火碎物の堆積荷重に対する排気筒モニタ室の補強
 - ✓ 排気筒モニタ室の通気口へのフィルタ設置
- ・なお、排気筒モニタが損傷した場合においても代替設備により安全機能を損なわず対応可能としていた理由を以下に示す。
 - ✓ 排気筒モニタの損傷は、サンプリング配管破断などに伴うサンプル流量の低下やケーブル損傷に伴うラック電源の断線による「排気筒サンプリング装置」の警報が中央制御室の制御盤に表示されるため、遅滞なく検知可能である。
 - ✓ 排気筒モニタの損傷時、代替設備を準備するまでの間は、常設エリアモニタであり排ガス処理系機器設置エリアの室内空気の放射線レベルを監視している排ガス系機器エリアモニタ（タービン建物及び廃棄物処理建物に設置）によって、放射性気体廃棄物処理系機器の損傷について連続監視が可能である。
 - ✓ 代替設備である可搬型モニタリング設備は、準備に要する時間として30分から1時間を見込んでおり、その間も排ガス系機器エリアモニタによる連続監視が可能であるため、安全上支障はない。タイムチャートを以下に示す。



⑥参考資料 審査会合における指摘事項に対する回答（2／2）

- 降下火碎物による排気筒モニタに係る影響について以下のとおり評価した。

排気筒モニタ（屋外サンプリング配管除く）は排気筒モニタ室内に設置されているが、排気筒モニタ室の通気口にフィルタを設置し、降下火碎物が内部に侵入しにくい設計とするため、排気筒モニタへの影響はない。

排気筒モニタの設計方針及び評価結果

評価項目	設計方針	評価結果
換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影响（閉塞）	排気筒モニタのサンプリング配管の計測口は、排気筒内部に設置するとともに下方から吸い込む構造とすることにより、閉塞しない設計とする。	排気筒モニタのサンプリング配管計測口は、下方から吸い込む構造であること、また排気筒内部に設置していることで、排気筒の排気速度により降下火碎物が排気筒内部に侵入しないことから、計測口が閉塞することはなく機能に影響を及ぼすことはない。
構造物への化学的影响（腐食）	腐食性ガスによって直ちに金属腐食は生じないが、耐食性のある材料の使用等によって、短期での腐食により安全機能を損なわない設計とする。	排気筒モニタのサンプリング配管は、耐食性のあるステンレス鋼を用いていることから降下火碎物による短期での腐食により機能に影響を及ぼすことはない。

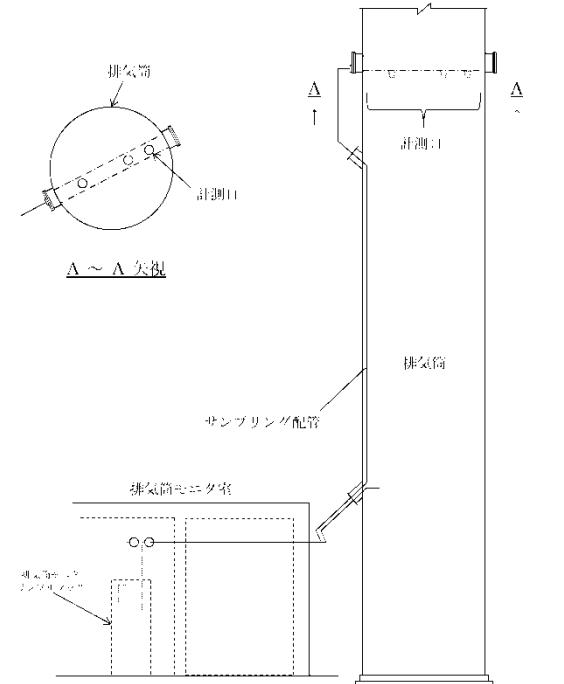
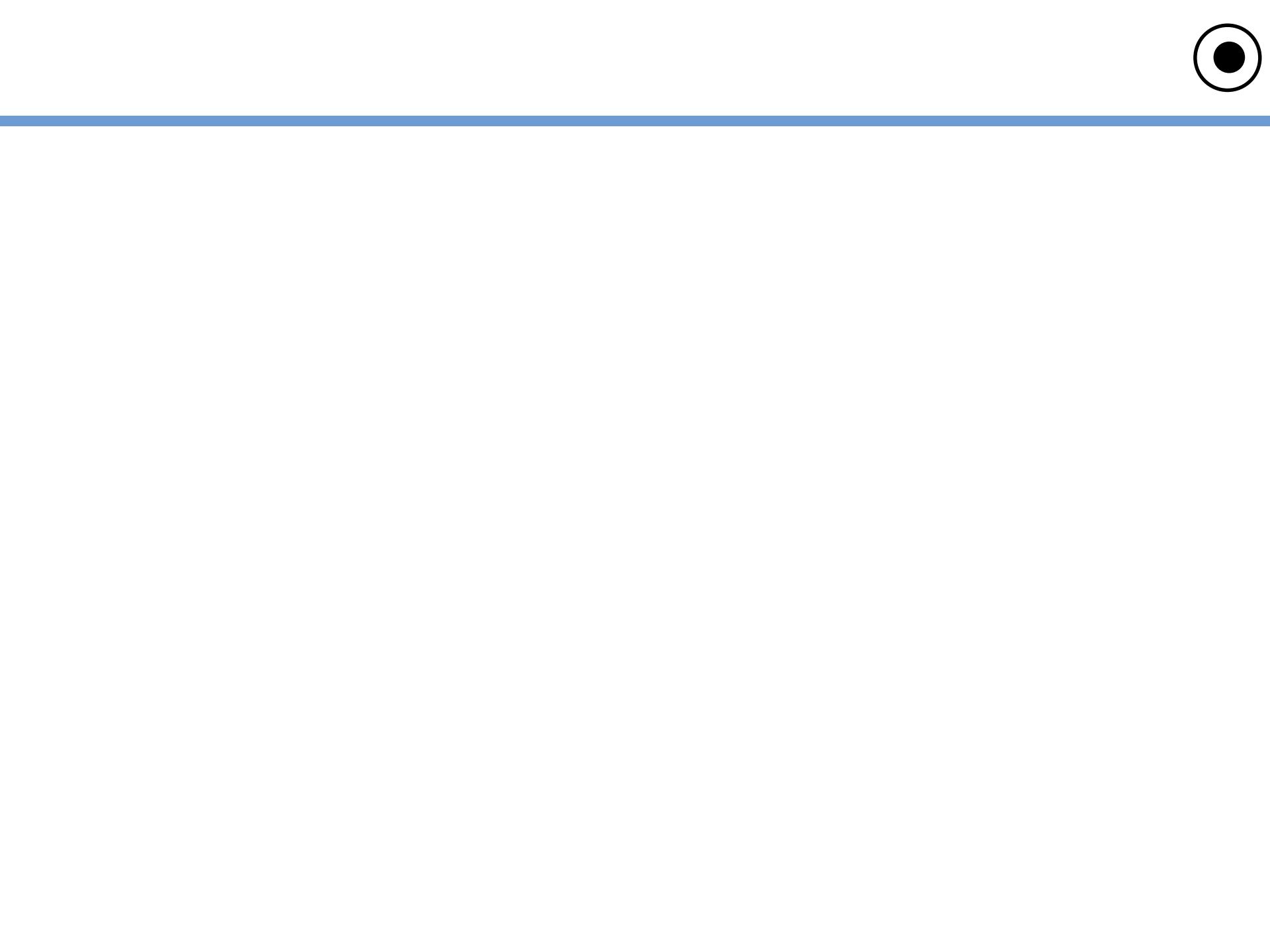


図 排気筒モニタ概要図



外部事象（竜巻）

2020年10月2日
中国電力株式会社

一部拡充版

①審査の概要

- 新規制基準では、自然現象のうち、竜巻への対策が新設され、基準竜巻、設計竜巻を設定し、施設の安全性評価を行うことが求められています。

②規制要求事項

要求事項の整理

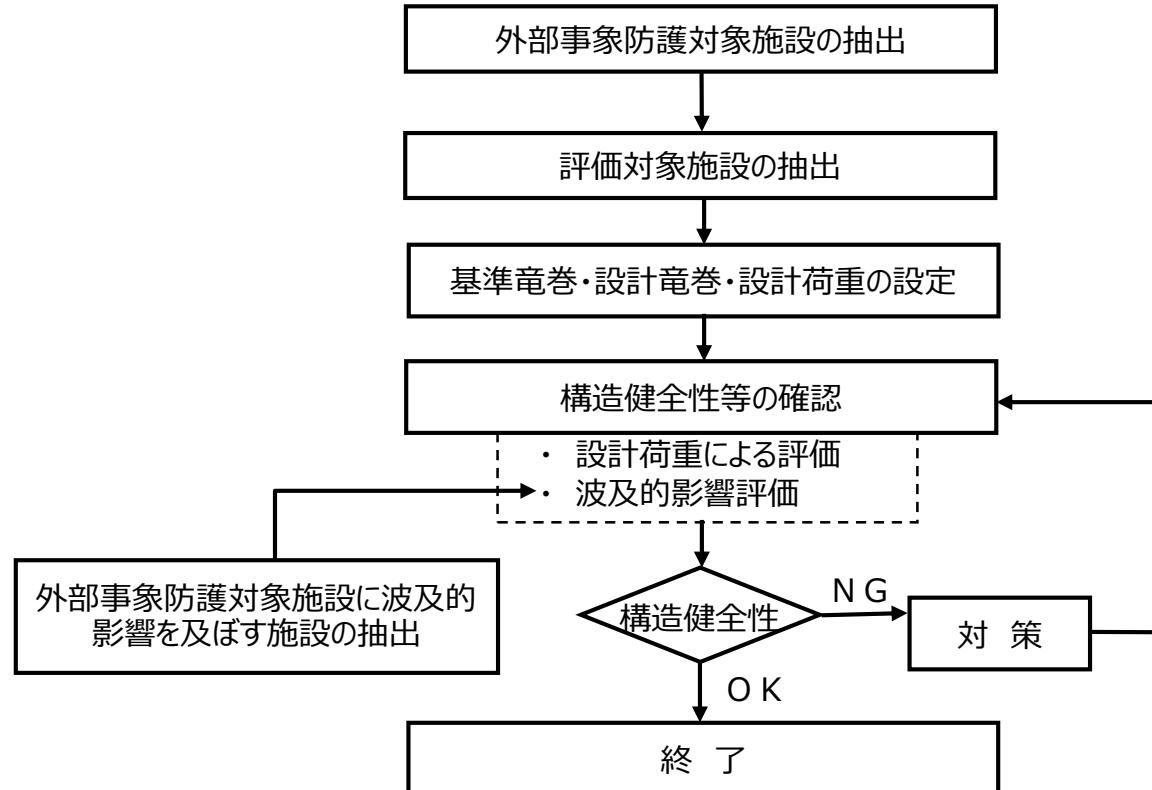
外部からの衝撃による損傷の防止について、設置許可基準規則第6条及び技術基準規則第7条において、追加要求事項を明確化する。

設置許可基準規則第6条及び技術基準規則第7条要求事項

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

③基本方針

- 「実用発電所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条に関連して、発電用原子炉施設の供用期間中に極めてまれに突風・強風を引き起こす自然現象としての竜巻及びその随伴事象等によって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、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（以下「ガイド」という。）」を参照し、以下のフローに基づき、竜巻影響評価を実施する。



竜巻影響評価の基本フロー

④審査会合の結果

規制要求事項に基づき、島根2号炉における竜巻影響評価として、以下を説明した。

- 外部事象防護対象施設（安全重要度分類のクラス1, クラス2及び安全評価上その機能に期待するクラス3に属する構築物、系統及び機器に加え、それらを内包する建物）のうち、評価対象施設として、屋外設備、外気との接続がある設備、外殻となる建物等による防護機能が期待できない設備を設定
- 倒壊により外部事象防護対象施設に損傷を及ぼし得る施設及び屋外にある外部事象防護対象施設の付属施設についても評価対象施設として設定
- 基準竜巻^{※1}の最大風速 V_B を78m/sに設定し、設計竜巻^{※2}の最大風速 V_D は、将来的な気候変動による竜巻発生の不確実性を踏まえ、92m/sに設定
- 設計飛来物について、発電所構内の飛来物となる可能性があるものから、浮上りの有無、飛来物発生防止対策（撤去、固縛等）の可否、運動エネルギー及び貫通力を踏まえて、鋼製材（4.2m×0.3m×0.2m, 135kg）を選定。また、竜巻防護ネットを通過する飛来物として、砂利（0.04m×0.04m×0.04m, 0.2kg）を設計飛来物として選定
- 飛来物評価に用いる竜巻風速場モデルとしてフジタモデルを設定
- 気象庁が発表する竜巻関連の気象情報（竜巻注意情報等）を踏まえ、運用管理の基準（竜巻警戒レベル）を設定し、段階に応じて、車両退避や資機材の固縛等の運用を実施する体制を整備する

※ 1 基準竜巻：設計対象施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、設計対象施設の安全性に影響を与えるおそれがある竜巻

※ 2 設計竜巻：原子力発電所が立地する地域の特性（地形効果による竜巻の増幅特性等）等を考慮して、科学的見地等から基準竜巻に対して最大風速の割り増し等を行った竜巻

⑤審査会合で特に議論となつた事項

■ 指摘事項（審査会合 令和元年6月27日）

基準竜巻の最大風速 V_B 及び設計竜巻の最大風速 V_D の設定において考慮するとしている将来的な気候変動等について、 V_B と V_D の関係を踏まえ、設計としてどの時点で考慮するべきか検討し説明すること。

■ 回答（審査会合 令和元年9月12日）

指摘事項を踏まえ、 V_B 及び V_D の設定に関する考え方を以下の通り見直した。
 V_{B2} においてデータの不確実さを踏まえ年超過確率 10^{-6} の風速値78m/sとする。 V_D において将来的な気候変動による竜巻発生の不確実性を踏まえ、F3の風速範囲の上限値92m/sとする。（参考資料-1）

■ 指摘事項（審査会合 令和元年6月27日）

地表面付近の風速場の不確定性と地上からの初期高さの感度解析結果の関係を踏まえ、飛散解析を妥当とする根拠について、詳細に説明すること。

■ 回答（審査会合 令和元年9月12日）

フジタモデルの地表面付近の風速場の不確定性を考慮し、フジタモデルの風速場で約90m/sの風速となる高さである地上からの初期高さを5mとした場合の飛散解析も実施し、飛来物発生防止対策エリアの設定に対して、地表面付近の風速場の不確定性の影響は小さく、地表面に設置した物品に対する飛散解析結果を用いることは妥当であることを確認した。

（参考資料-2）

⑥参考資料1 審査会合における指摘事項に対する回答 (1/3)

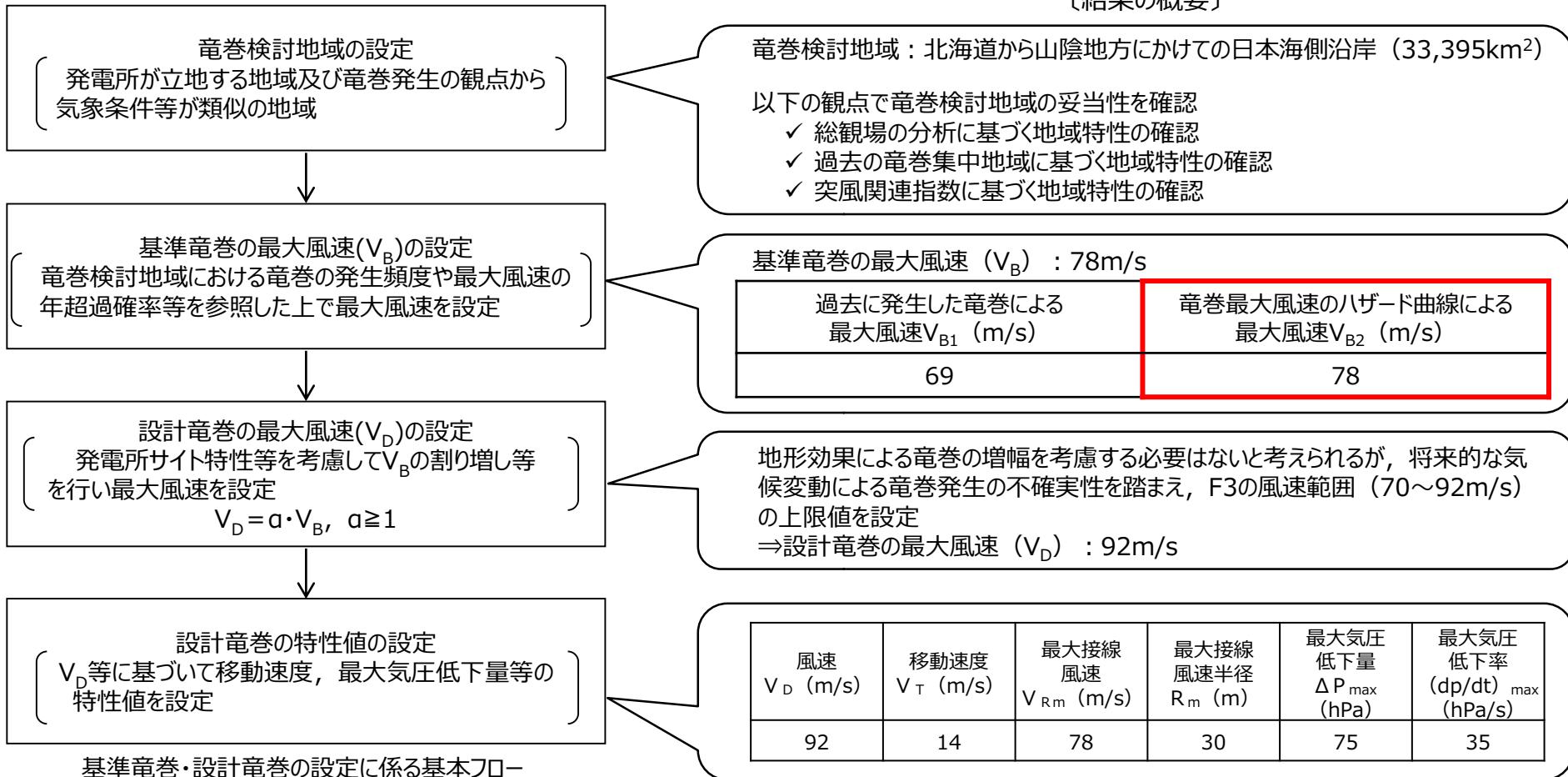
■ 指摘事項 (審査会合R1.6.27)

基準竜巻の最大風速 V_B 及び設計竜巻の最大風速 V_D の設定において考慮するとしている将来的な気候変動等について、 V_B と V_D の関係を踏まえ、設計としてどの時点で考慮するべきか検討し説明すること。

■ 回答

上記指摘事項を踏まえ、 V_B 及び V_D の設定に関する考え方を見直した

〔結果の概要〕



⑥参考資料1 審査会合における指摘事項に対する回答 (2/3)

基準竜巻の設定

●竜巻検討地域の設定

- ✓ 島根原子力発電所に対する竜巻検討地域について、ガイドを参考に、島根原子力発電所が立地する地域と気象条件の類似性の観点で以下の検討を行い、日本海側沿岸（北海道から本州、各都道府県に含まれる島、離島を含む）の海岸線より海側5kmと陸側5kmの地域（面積：33,395km²）を竜巻検討地域に設定
 - ①総観場の分析に基づく地域特性の確認
 - ②過去の竜巻集中地域に基づく地域特性の確認
 - ③突風関連指数に基づく地域特性の確認

●過去に発生した竜巻による最大風速V_{B1}

- ✓ 竜巻検討地域における過去最大竜巻は気象庁「竜巻等の突風データベース」によるとF2である
- ✓ F2における風速は50～69m/sであることから、風速範囲の上限値69m/sをV_{B1}と設定



竜巻検討地域における竜巻の観測記録 (F1より大きい竜巻)

発生日時	発生場所	Fスケール*
1962年09月28日	北海道宗谷支庁東利尻町	(F2)
1971年10月17日	北海道留萌支庁羽幌町	(F2)
1974年10月03日	北海道檜山支庁奥尻郡奥尻町	(F1～F2)
1974年10月20日	北海道檜山支庁檜山郡上ノ国町	(F1～F2)
1975年05月31日	島根県簸川郡大社町	(F2)
1975年09月08日	北海道檜山支庁奥尻郡奥尻町	(F1～F2)
1979年11月02日	北海道渡島支庁松前郡松前町	(F2)
1989年03月16日	島根県簸川郡大社町	(F2)
1990年04月06日	石川県羽咋郡富来町	F2
1999年11月25日	秋田県八森町	(F1～F2)

* Fスケールは、ア) 被害の詳細な情報等から推定できたもの、イ) 文献等からの引用又は被害のおおまかな情報等から推定したものがあり、F2以上の事例ではア) とイ) を区別し、イ) の場合には値を括弧で囲んでいる

⑥参考資料1 審査会合における指摘事項に対する回答 (3/3)

基準竜巻・設計竜巻の設定

●竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 V_{B2}

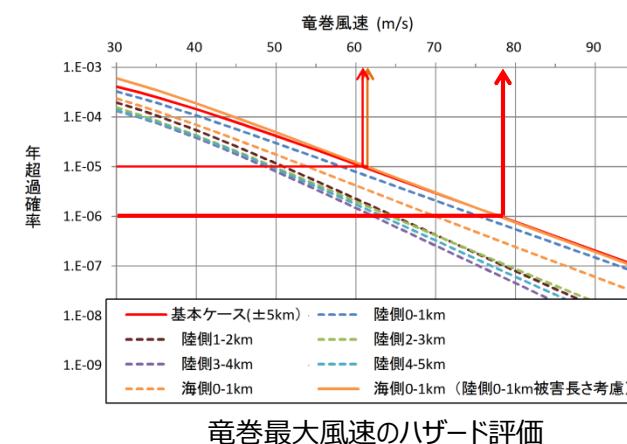
- ✓ 竜巻検討地域全域及び竜巻検討地域を1kmごとに細分化（1km短冊）した場合のハザード曲線を算定した結果、 10^{-5} /年の風速値はそれぞれ61m/s, 62m/sとなる
- ✓ 竜巻ハザード曲線算出のためのデータの不確実性を踏まえ、参照する年超過確率を 10^{-5} から一行下げた年超過確率 10^{-6} における風速とすると、陸側及び海側5km全域での評価、1km範囲ごとに細分化した評価ともに78m/sとなる
- ✓ 以上より、竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 V_{B2} は78m/sと設定

●基準竜巻の最大風速 V_B

- ✓ V_{B1} 及び V_{B2} のうち、大きな風速を適用し78m/sを V_B と設定

●設計竜巻の最大風速 V_D

- ✓ 周辺地形や竜巻の移動方向を確認した結果、地形効果による竜巻の增幅を考慮する必要はないと考えられる
- ✓ 一方、将来的な気候変動による竜巻発生の不確実性を踏まえ、 V_B の値がF3の風速範囲（70～92m/s）にあることから設計竜巻の最大風速 V_D はF3の風速範囲の上限値92m/sと設定



竜巻の最大風速の算定結果

項目	最大風速
過去に発生した竜巻による最大風速 V_{B1}	69m/s
竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 V_{B2}	78m/s
基準竜巻の最大風速 V_B	78m/s
設計竜巻の最大風速 V_D	92m/s

⑥参考資料2 審査会合における指摘事項に対する回答（1/3）

■ 指摘事項（審査会合R1.6.27）

地表面付近の風速場の不確定性と地上からの初期高さの感度解析結果の関係を踏まえ、飛散解析を妥当とする根拠について、詳細に説明すること。

■ 回答

前回審査会合（R1.6.27）において、フジタモデルの地表面付近の風速場の不確定性を考慮し、地表面に設置された物品の飛散解析の妥当性を確認するために、フジタモデルの風速場で約90m/sの風速となる高さである地上からの初期高さを5mとした場合の飛散解析も実施し、以下を説明した。

- 地上からの初期高さ0mの解析結果は、飛来物発生防止対策エリアの設定に使用
- 地上からの初期高さ5mの解析結果は、地上からの初期高さ0mの最大飛散距離を超えないことから、飛来物発生防止対策エリアの設定に影響がない

今回、地上からの初期高さ0mの解析結果の方が地上からの初期高さ5mに比べ飛散距離が大きくなつたことに対する考察及び地表面に設置された物品の飛散解析の妥当性について説明する。（次頁参照。）

地上からの初期高さ0m及び5mの解析結果

分類	地上からの初期高さ0mの 解析結果	地上からの初期高さ5mの 解析結果
資機材・車両	設計飛来物の影響を超えるもののうち最大飛散距離 は乗用車 ^{※1} の144m	飛来物発生防止対策エリアの設定に用いた最大飛 散距離（144m）を超えない
軽量大型機材	設計飛来物の影響を超えるもののうち最大飛散距離 はプレハブ小屋 ^{※2} の222m	飛来物発生防止対策エリアの設定に用いた最大飛 散距離（222m）を超えない

※ 1 乗用車の諸元：長さ5.2m 幅1.9m 高さ2.3m, 質量1,890kg

※ 2 プレハブ小屋の諸元：長さ7.2m 幅27m 高さ3.4m, 質量7,500kg

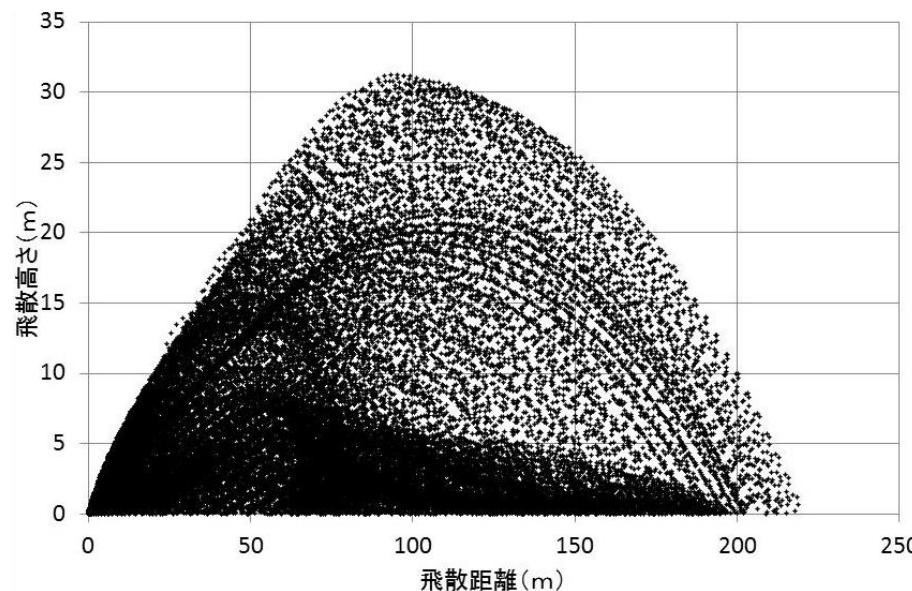
解析結果に対する考察及び飛散解析の妥当性について

フジタモデルを風速場として用いて飛散解析を行う解析コード「TONBOS」では、飛来物の運動モデルに流体抗力と地面効果による揚力を考慮しており、地面効果による揚力は、地面から物品高さの3倍まで作用するよう設定している。（飛来物の運動モデルについては11ページ参照。）

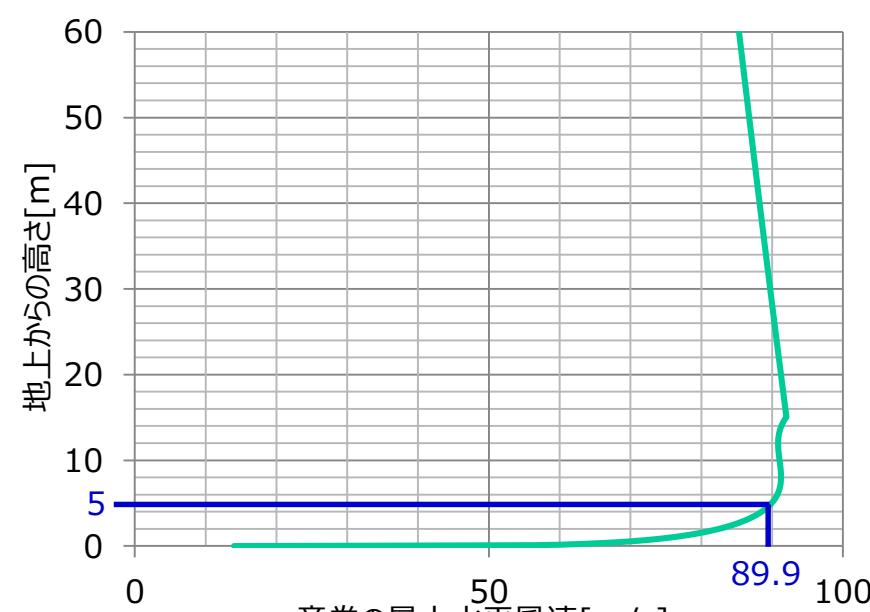
「資機材・車両」や「軽量大型機材」に分類されるような表面積及び物品高さが大きい物品は、地面効果による揚力の影響により高く浮上すること及び地上からの初期高さ0mとした方が地上からの初期高さ5mより長時間設計竜巻の最大風速程度の強い風を受けることが要因で飛散距離が大きくなつたと考えられる。

プレハブ小屋の例では、左図の通り飛散高さが最大で約30mとなっており、右図より地上からの高さ30mでは、90m/s程度の強い風を受けることになる。

従つて、飛来物発生防止対策エリアの設定に対して、地表面付近の風速場の不確定性の影響は小さく、地表面に設置した物品に対する飛散解析結果を用いることは妥当であると考える。



プレハブ小屋(軽量大型機材)の飛跡
(諸元：長さ7.2m 幅27m 高さ3.4m, 質量7,500kg,
最大風速92m/s, 地上からの初期高さ0m)



フジタモデルの風速場における最大水平風速と地上からの高さ
(最大風速92m/s, 外部コア半径位置)

⑥参考資料2 審査会合における指摘事項に対する回答 (3/3)

【参考】飛来物の運動モデルについて

飛散解析コード「TONBOS」では、飛来物に流体抗力、地面効果による揚力、重力が作用するよう、飛来物の運動をモデル化している。また、地面効果による揚力は、物品高さの3倍の高さで消滅するよう考慮している。

地面上の物体（図の状態A）は、地面効果による揚力が重力を上回ると浮上し、浮上後の物品底面の高さ $Z \leq 3d$ の高さの範囲（図の状態B）では、地面効果による揚力と流体抗力の影響を受けて飛散する。地面効果による揚力は、 Z が大きくなるほど小さくなり、 $Z > 3d$ の高さの範囲（図の状態C）は0となるようモデル化している。

$$\frac{d\mathbf{V}_M}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M| (\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M) - (g - L) \mathbf{k}$$

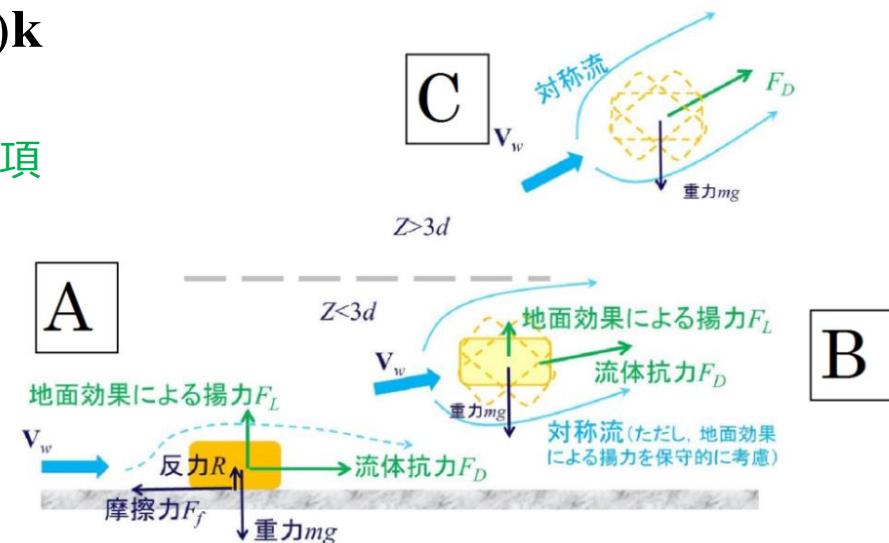
抗力項
重力項
揚力項

$$L = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M|_{x,y}^2 f(Z/d)$$

$$f(Z/d) = \begin{cases} \{1 - (Z/3d)\}/\{1 + (Z/d)\} & (0 \leq Z \leq 3d) \\ 0 & (3d < Z) \end{cases}$$

\mathbf{V}_M :飛来物の速度ベクトル(m/s)
 \mathbf{V}_w :風速ベクトル(m/s)
 ρ :空気密度(kg/m³)
 C_D :飛来物の平均抗力係数(-)
A:飛来物の代表見附面積(m²)
m:飛来物の質量(kg)

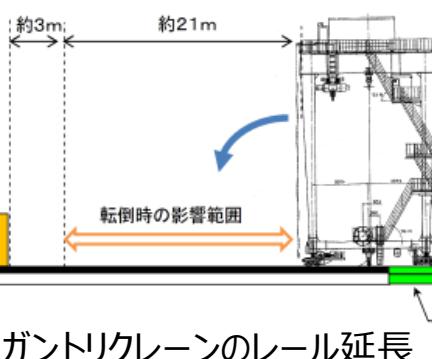
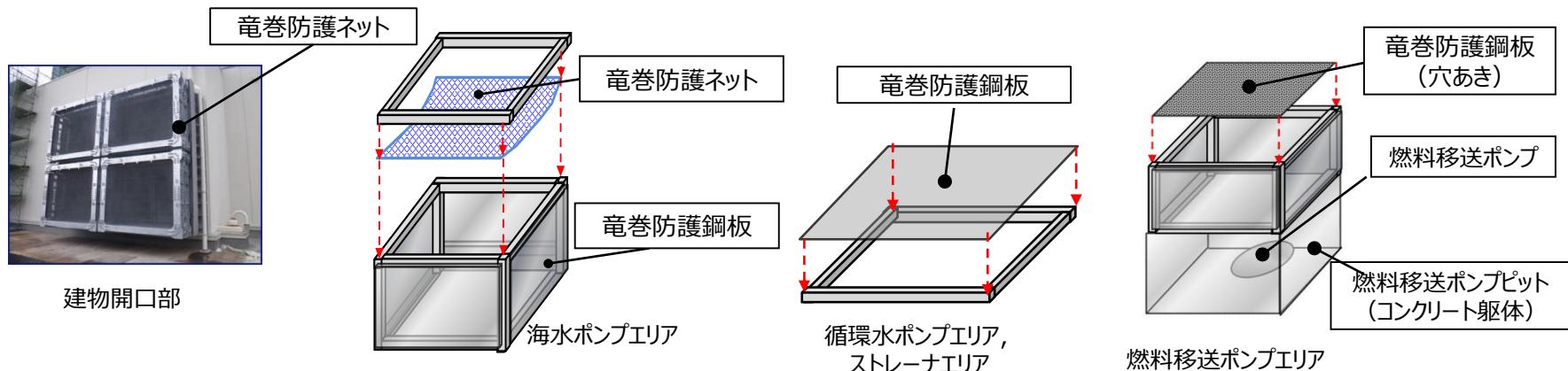
g:重力加速度(m/s^2)
k:上向きの単位ベクトル(-)
L:揚力による加速度(z方向) (m/s^2)
| * |x,y: * のx,y成分(水平成分)の大きさ
Z:物品底面の高さ(m)
d:物品高さ(m)



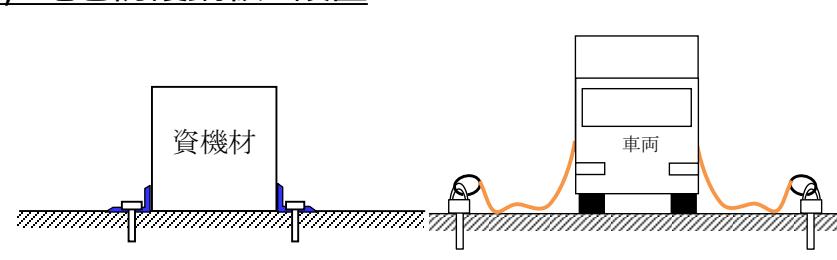
物品高さdの飛来物の運動モデルの模式図
(A:地面上, B: $Z \leq 3d$ の高さの範囲, C: $Z > 3d$ の高さの範囲,
ただし, $Z = z - d/2$)

■ 龍巻防護対策として以下の対策を実施するため、龍巻による安全上重要な設備への影響はない。

- 建物開口部及び海水ポンプエリアへの龍巻防護ネット設置
- 海水ポンプエリア、循環水ポンプエリア、ストレーナエリア及び燃料移送ポンプエリアへの龍巻防護鋼板設置
- 原子炉建物の扉を設計飛来物の貫通に耐え得る鋼製扉ヘリプレース
- ガントリクレーンのレール延長
- 設計飛来物より運動エネルギー及び貫通力が大きいもの（敷地内の資機材・車両等）に対する固縛等

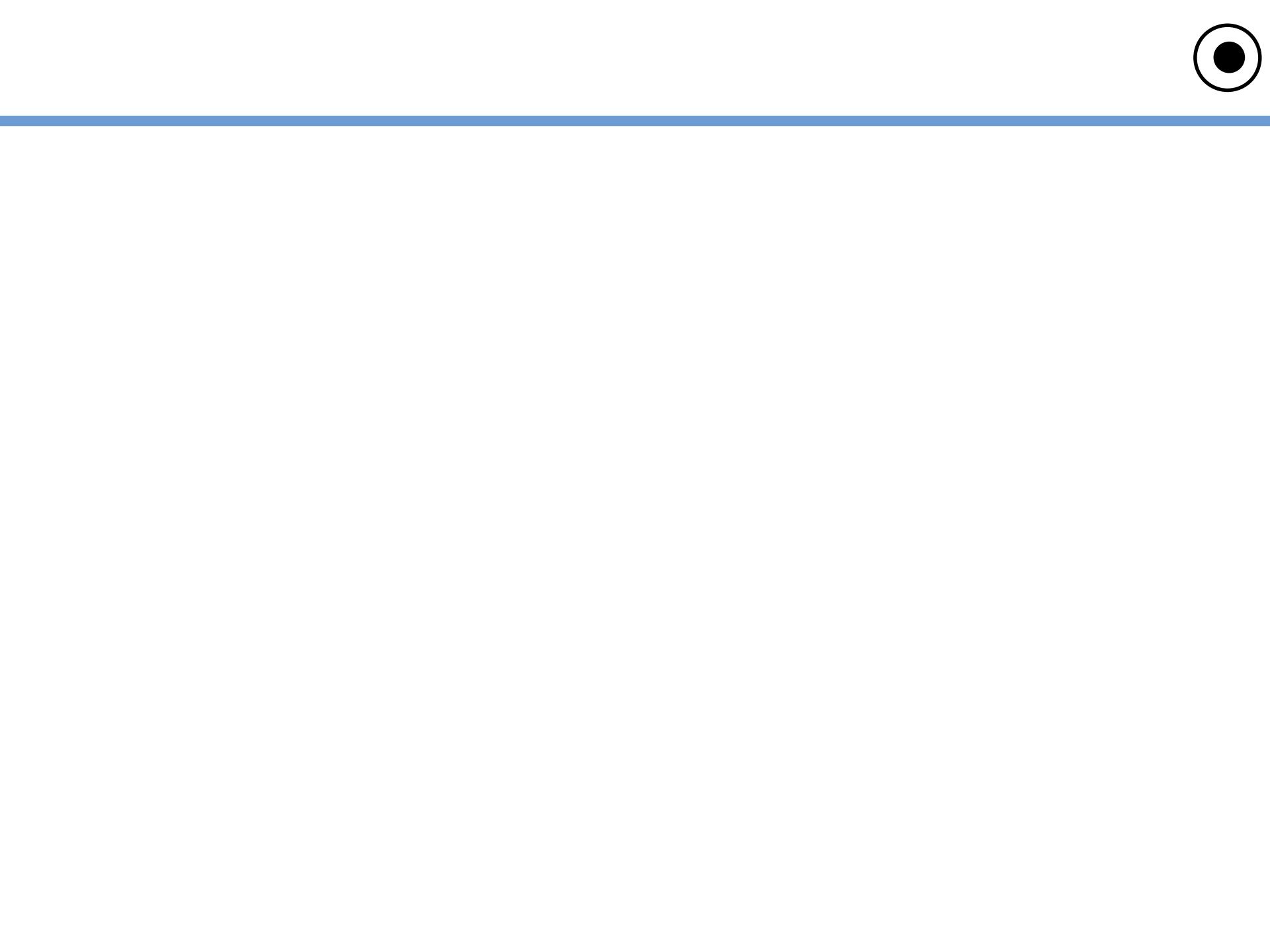


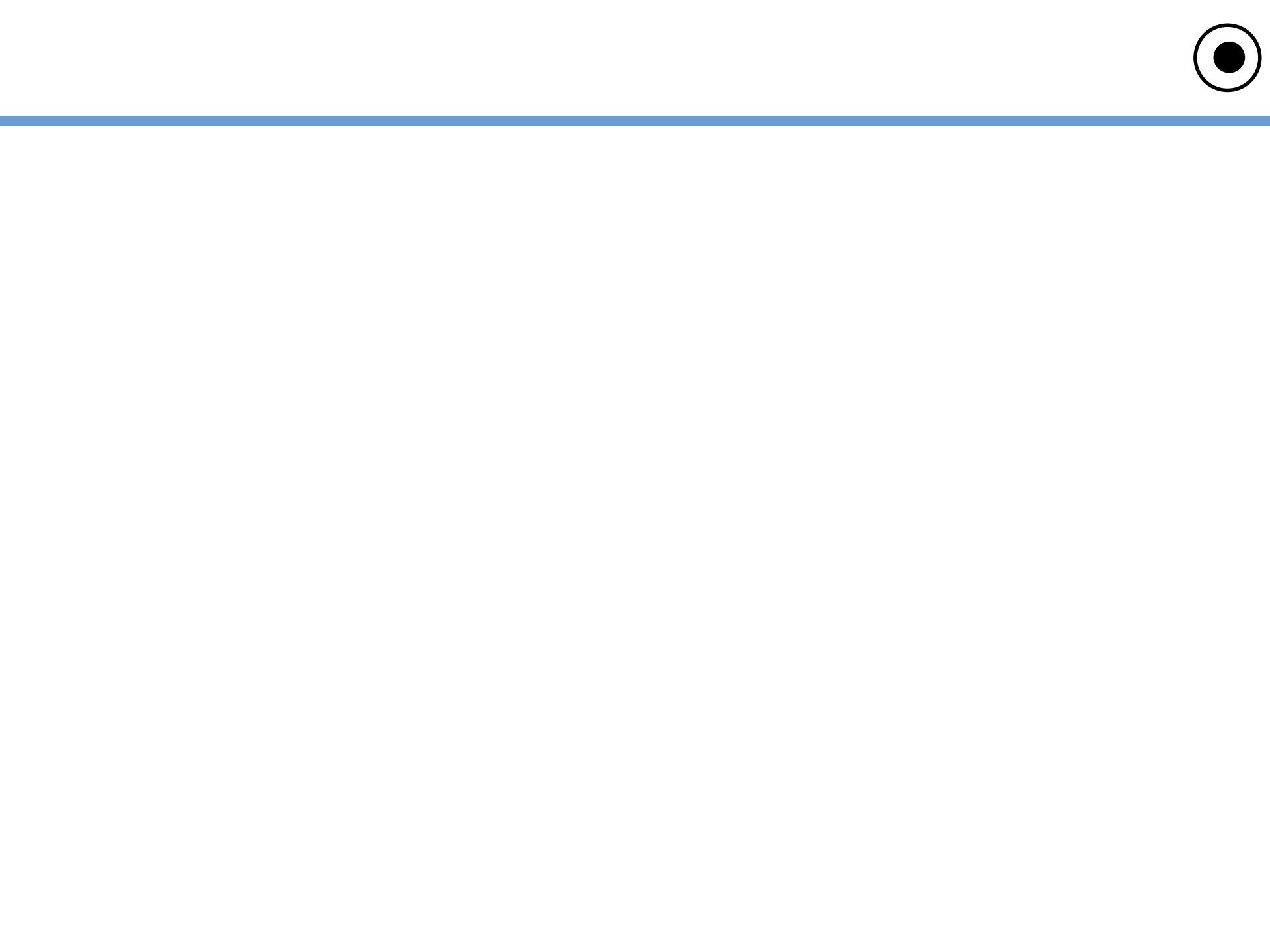
竜巻防護ネット、竜巻防護鋼板の設置

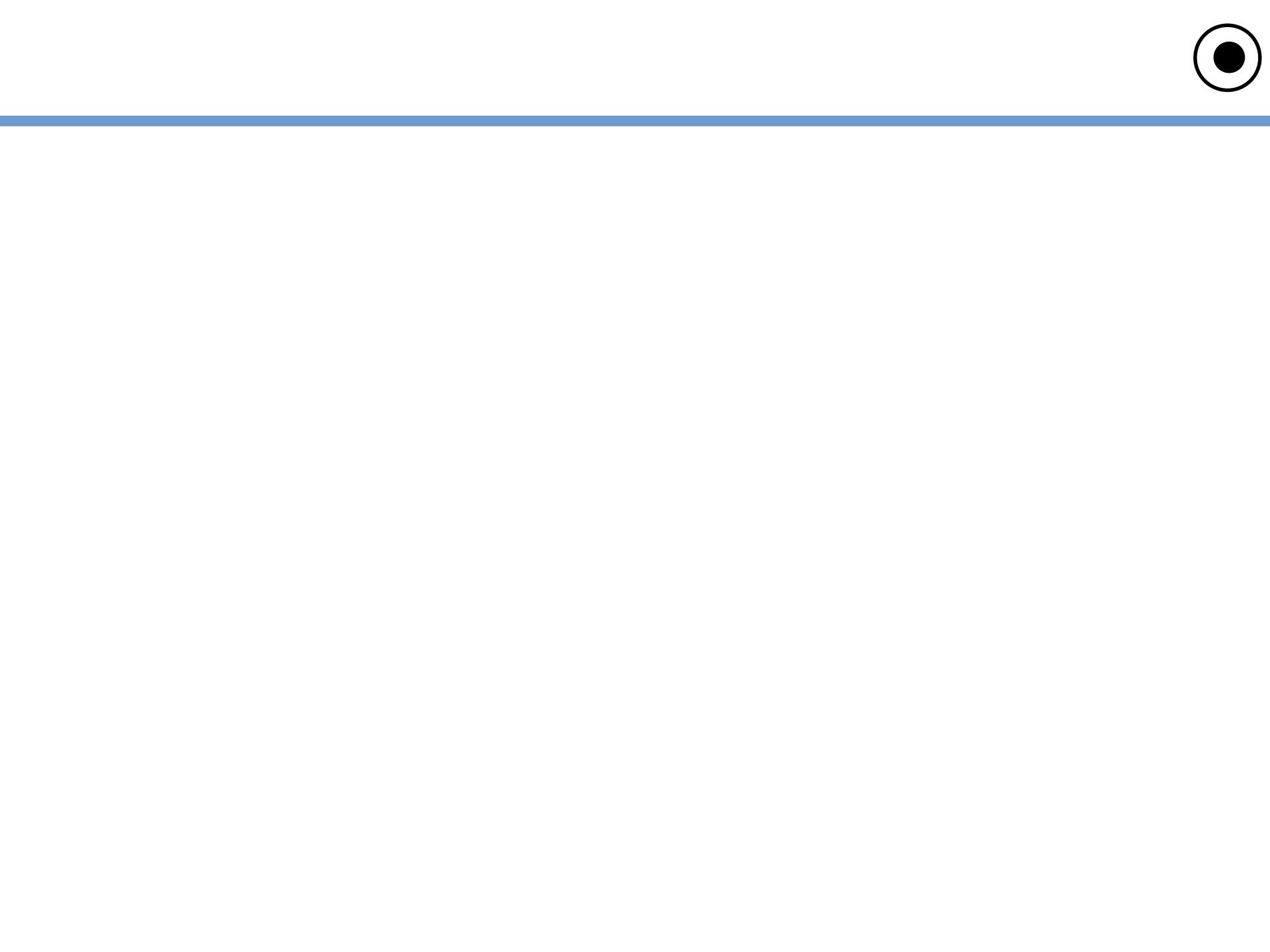


資機材・車両の固縛等

竜巻防護対策の概要図







外部火災

2021年10月12日
中国電力株式会社

①規制要求事項

- 設置許可基準規則第6条及び技術基準規則第7条（外部からの衝撃による損傷の防止）における追加要求事項を以下に示す。

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

②基本方針

- 火災防護対策を講じるための基本方針を以下に示す。

防護対象施設		防護方法	評価対象施設等※1,2
外部事象防護対象施設	外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器を内包する建物	・防火帯の内側に設置 ・消火活動による防護手段を期待しない条件のもと、火元からの離隔距離で防護 (熱影響評価を実施)	原子炉建物 制御室建物 タービン建物 廃棄物処理建物 排気筒モニタ室※3
	外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器に属する屋外施設		海水ポンプ※4 排気筒 非常用ガス処理系排気管※5 排気筒モニタ※5
その他の安全施設		・防火帯の内側に、原則設置 ・屋内設備は、建物による防護 ・屋外設備は、代替手段等で安全機能に影響がないことを確認	固体廃棄物貯蔵所 開閉所 モニタリング・ポスト 他

※ 1 : 破線内は評価対象施設である。

※ 2 : 非常用ディーゼル発電機燃料貯蔵タンク及び燃料移送ポンプは地下設置であり、輻射熱が直接届かないことから熱影響を受けない。

※ 3 : 排気筒モニタ室については、建物の熱影響評価に含まれる。

※ 4 : 海水ポンプには、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプがあるが、代表して原子炉補機海水ポンプの熱影響評価を実施する。

※ 5 : 非常用ガス処理系排気管及び排気筒モニタについては、排気筒の熱影響評価に含まれる。

③概要

- 敷地及び敷地周辺から想定される自然現象又は人為事象として森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発、飛来物（航空機落下）を挙げており、以下の評価項目に基づいて評価を実施している。

火災種別	考慮すべき火災	評価内容	評価項目
森林火災	発電所敷地外10km圏内に発火点を設定した島根原子力発電所に迫る森林火災	<ul style="list-style-type: none"> 森林火災シミュレーション解析コード（FARSITE）を用いた森林火災評価 森林火災評価に基づく防護対象施設の熱影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> 火炎到達時間評価 防火帯幅評価 熱影響評価 危険距離評価
近隣の産業施設の火災・爆発	発電所敷地外10km圏内の石油コンビナート等の火災・爆発	<ul style="list-style-type: none"> 発電所敷地外の石油コンビナート等の火災・爆発を想定した危険距離及び危険限界距離評価 	<ul style="list-style-type: none"> 危険距離評価 危険限界距離評価
	発電所敷地内の危険物貯蔵施設等の火災	<ul style="list-style-type: none"> 発電所敷地内の危険物貯蔵設備火災による熱影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> 熱影響評価
航空機墜落による火災	発電所敷地内への航空機落下時の火災	<ul style="list-style-type: none"> 落下を想定する航空機に相当する火災を想定した防護対象施設の熱影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> 熱影響評価

④参考：審査会合で特に議論となった事項

◎指摘事項（第693回審査会合（平成31年3月14日））

海水ポンプの温度評価において、ポンプ外面への輻射を考慮したことだが、冷却空気温度が上昇し、許容温度以上となる可能性をどのように考慮したのか説明すること。

◎回答内容（第757回審査会合（令和元年8月22日））

海水ポンプは、電動機本体を全閉構造とした全閉外扇形の冷却方式であり、外部火災の影響を受けた場合には、直接輻射が当たった際の影響よりも、周囲空気（外気による冷却空気）の温度上昇による空気冷却機能への影響が懸念されることから、外気による冷却空気の温度を評価対象とし、このたび再評価を実施した。

なお、電動機内部の空気冷却対象は、「固定子巻線」、「上部軸受」及び「下部軸受」であり、そのうち許容温度が最も低い「下部軸受」の機能維持に必要となる周囲空気（外気による冷却空気）の温度が、許容温度以下となることを確認した。

④参考：審査会合で特に議論となった事項

◎指摘事項（第757回審査会合（令和元年8月22日））

海水ポンプ各部位の直接輻射による影響評価を行った上で、直接輻射による影響と周辺空気の温度上昇による影響を比較し、評価の妥当性を説明すること。

◎回答内容（第780回審査会合（令和元年10月1日））

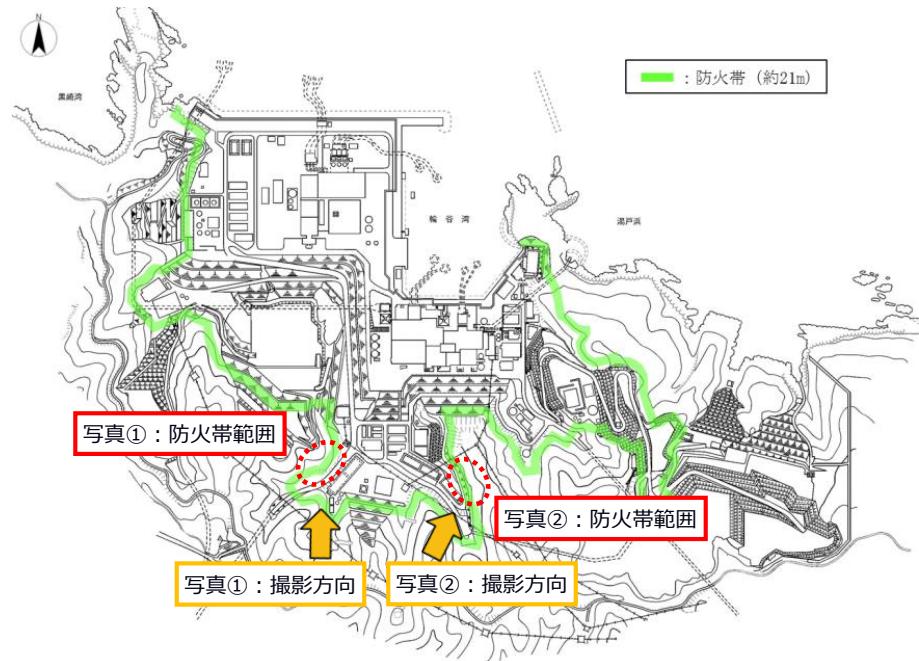
海水ポンプ電動機の影響評価については、平成31年3月14日審査会合時に、海水ポンプ電動機外面に直接輻射が当たった際の影響を考慮した「直接輻射による影響評価」を行い、電動機外面に近く、その温度上昇の影響を最も受けやすいと考えられる「固定子巻線」を代表部位として、その評価結果を示したところである。

その後、海水ポンプ電動機内部の各部位（固定子巻線、上部軸受、下部軸受）は冷却空気によって常時冷却されていることを踏まえ、冷却空気の温度上昇による影響について改めて評価方法を検討し、令和元年8月22日審査会合時に、冷却空気の温度上昇を考慮した「冷却空気による影響評価」に見直すこととした。また、海水ポンプ電動機の機能維持の観点で、冷却空気の許容温度が最も低い「下部軸受」を代表部位として、その評価結果を示したところである。

これは、「直接輻射による影響評価」は、外気による冷却を考慮しない条件としていることから、電動機中心部に近い箇所に位置する軸受部の温度評価には必ずしも適しているものではなく、このため、各部位（固定子巻線、上部軸受、下部軸受）への火災の影響を考えた場合には、直接輻射が当たった際の影響を考慮するよりも、冷却空気の温度上昇による空気冷却機能への影響を考慮する方が、より実現象に近い形で適切に評価できるものと判断したことによるものである。

⑤参考：防火帯

- 発電所敷地へ森林火災が迫った場合においても、延焼等による施設への影響を防止するため、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」に基づく評価上必要となる防火帯幅を上回る約21mの防火帯を設置する。



内部火災

2021年10月12日
中国電力株式会社

①規制要求事項

▶ 設置許可基準規則第8条及び技術基準規則第11条における追加要求事項を以下に示す。

設置許可基準規則第8条	技術基準規則第11条	備 考
<p>設計基準対象施設は、火災により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう、火災の発生を防止することができ、かつ、早期に火災発生を感知する設備（以下「火災感知設備」という。）及び消火を行う設備（以下「消火設備」といい、安全施設に属するものに限る。）並びに火災の影響を軽減する機能を有するものでなければならない。</p>	<p>設計基準対象施設が火災によりその安全性が損なわれないよう、次に掲げる措置を講じなければならない。</p> <p>一 火災の発生を防止するため、次の措置を講ずること。</p> <p>イ 発火性又は引火性の物質を内包する系統の漏えい防止その他の措置を講ずること。</p> <p>□ 安全施設（設置許可基準規則第二条第二項第八号に規定する安全施設をいう。以下同じ。）には、不燃性材料又は難燃性材料を使用すること。ただし、次に掲げる場合は、この限りでない。</p> <p>(1) 安全施設に使用する材料が、不燃性材料又は難燃性材料と同等以上の性能を有するもの（以下「代替材料」という。）である場合</p> <p>(2) 安全施設の機能を確保するために必要な代替材料の使用が技術上困難な場合であって、安全施設における火災に起因して他の安全施設において火災が発生することを防止するための措置が講じられている場合</p> <p>八 避雷設備その他の自然現象による火災発生を防止するための設備を施設すること。</p> <p>二 水素の供給設備その他の水素が内部に存在する可能性がある設備にあっては、水素の燃焼が起きた場合においても発電用原子炉施設の安全性を損なわないよう施設すること。</p> <p>木 放射線分解により発生し、蓄積した水素の急速な燃焼によって、発電用原子炉施設の安全性を損なうおそれがある場合には、水素の蓄積を防止する措置を講ずること。</p> <p>一 火災の感知及び消火のため、次に掲げるところにより、早期に火災発生を感知する設備（以下「火災感知設備」という。）及び早期に消火を行う設備（以下「消火設備」という。）を施設すること。</p> <p>イ 火災と同時に発生すると想定される自然現象により、その機能が損なわれることがないこと。</p>	<p>追加要求事項</p>

①規制要求事項

設置許可基準規則第8条	技術基準規則第11条	備 考
2 消火設備（安全施設に属するものに限る。）は、破損、誤作動又は誤操作が起きた場合においても発電用原子炉を安全に停止させるための機能を損なわないものでなければならぬ。	<p>□ 消火設備にあっては、その損壊、誤作動又は誤操作が起きた場合においても発電用原子炉施設の安全性が損なわれることがないこと。</p>	追加要求事項
—	三 火災の影響を軽減するため、耐火性能を有する壁の設置その他の延焼を防止するための措置その他の発電用原子炉施設の火災により発電用原子炉を停止する機能が損なわれることがないようにするための措置を講ずること。	変更なし (ただし、防火壁及びその他の措置を明確化)

②基本方針

➤ 火災防護対策を講じるための基本方針を以下に示す。

項目	内 容
基本方針	<ul style="list-style-type: none">■ 設計基準対象施設は、火災により発電用原子炉施設の安全性を損なうことがないよう、火災防護対策を講じる設計とする。■ 火災防護対策を講じる設計を行うにあたって、原子炉の高温停止及び低温停止を達成し、維持するための安全機能を有する構築物、系統及び機器を設置する区域を火災区域及び火災区画に、放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物、系統及び機器を設置する区域を火災区域に設定する。■ 設定する火災区域及び火災区画に対して、火災の発生防止、火災の感知及び消火並びに火災の影響軽減のそれぞれを考慮した火災防護対策を講じる設計とする。

③概要

▶ 規制要求事項に基づき、島根2号炉における主な対策として、以下を説明した。

項目	内容
火災の発生防止	<p>難燃ケーブルの使用</p> <ul style="list-style-type: none"> 安全機能を有する構築物、系統及び機器に使用するケーブルには、実証試験により自己消火性（UL垂直燃焼試験）及び耐延焼性（IEEE383（光ファイバケーブルの場合はIEEE1202）垂直トレイ燃焼試験）を確認した難燃ケーブルを使用する。 核計装・放射線モニタ用の同軸ケーブルについても、実証試験により自己消火性（UL垂直燃焼試験）及び耐延焼性（IEEE383垂直トレイ燃焼試験）を確認した難燃ケーブルを使用する。
火災の感知及び消火	<p>異なる感知方式（2種類）の火災感知器の設置</p> <ul style="list-style-type: none"> 安全機能を有する機器等を設置する火災区域は、原則として、アナログ式の煙感知器及びアナログ式の熱感知器を設置する。 天井が高い箇所や引火性又は発火性の雰囲気を形成するおそれがある箇所のように周囲の環境条件により、アナログ式の感知器の設置が適さない箇所には、誤操作防止を考慮した上で、非アナログ式の感知器を設置し、十分な保安水準を確保する。（原子炉建物4階、取水槽等） <p>全域ガス消火設備の設置</p> <ul style="list-style-type: none"> 安全機能を有する構築物、系統及び機器を設置する火災区域は、基本的に「煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難となる火災区域」として設定し、当該区域に必要となる固定式消火設備として、「全域ガス消火設備（自動又は中央制御室からの遠隔手動）」を設置する。
火災の影響軽減	<p>1時間又は3時間の耐火性能を有する隔壁等の設置</p> <ul style="list-style-type: none"> 原子炉の高温停止及び低温停止に係る安全機能を有する構築物、系統及び機器（互いに相違する系列の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブル）について、互いの系列間を3時間以上の耐火能力を有する隔壁等で分離する。 3時間以上の耐火性能を有する隔壁等を適用できない箇所は、互いの系列間を1時間の耐火能力を有する隔壁等で分離し、かつ、火災感知器及び自動消火設備を設置する。

④参考：審査会合で特に議論となった事項①

◎指摘事項（第757回審査会合（令和元年8月22日））

全域ガス消火設備について、火災防護基準の要求である「早期の感知及び消火を行える設計」という観点から、自動起動及び中央制御室からの手動操作のメリット・デメリットをそれぞれ整理したうえで、起動方式について検討すること。

◎回答内容（第780回審査会合（令和元年10月1日））

早期消火及び誤作動防止の観点で再検討した結果、全ての場所で、運転員が介在することなく、確実性があって、より早期の消火が可能な、「中央制御室からの手動操作が可能な全域ガス自動消火設備」を設置する設計とする。

◆火災の感知・消火に係る全域ガス消火設備の設置状況

分類	見直し前		見直し後	
	起動方式	対象箇所	起動方式	対象箇所
感知・消火	煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難となる場所	自動起動	<ul style="list-style-type: none"> • A/B/HPCS-ディーゼル発電機燃料ディタンク室 • 原子炉補機海水ポンプケーブル布設箇所 (S1,S2ケーブルダクト) 	自動起動 • 全ての対象箇所
		中央制御室から遠隔手動起動	<ul style="list-style-type: none"> • 上記以外 	

④参考：審査会合で特に議論となった事項②

◎指摘事項（第825回審査会合（令和2年1月23日））

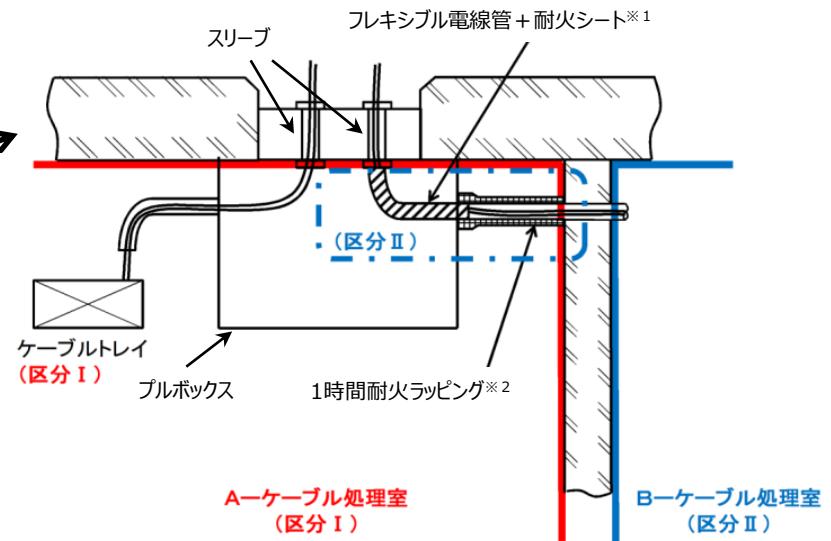
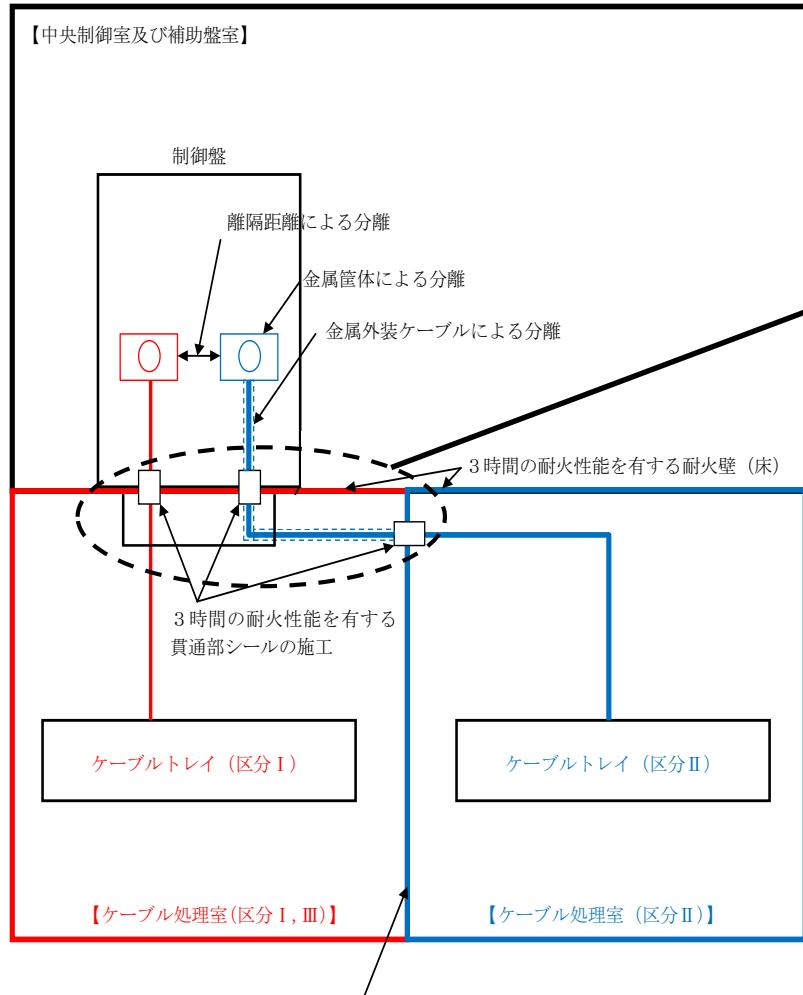
中央制御室及び補助盤室の床下のケーブル処理室における火災の影響軽減対策について、火災防護審査基準にのっとった設計ができないのか、再度検討して説明すること。

◎回答内容（第854回審査会合（令和2年3月26日））

ラッピングの仕様検討及び火災耐久試験を実施し、プルボックス内の一部に使用するとしていた「フレキシブル電線管 + 耐火シート」に代えて、隔壁のみで1時間の耐火性能を確保することが可能な「1時間耐火ラッピング」にて火災の影響軽減を図る設計に見直す。

④参考：審査会合で特に議論となった事項②

◎回答内容（第854回審査会合（令和2年3月26日））



※ 1：今後、ラッピングの仕様検討及び火災耐久試験を実施し、隔壁のみで1時間の耐火性能を確保することが可能な「1時間耐火ラッピング」にて施工する箇所

※ 2：当初より、隔壁のみで1時間の耐火性能を確保することが可能なものを施工

中央制御室及び補助盤室の制御盤下部の構造概要図

④参考：審査会合で特に議論となった事項③

◎指摘事項（第854回審査会合（令和2年3月26日））

火災耐久試験の結果を整理して示し、ケーブル処理室に対する施工の実現可能性を含め、基準適合性を改めて説明すること。

◎回答内容（第867回審査会合（令和2年6月16日））

- このたび、「1時間耐火ラッピング」の仕様検討及び火災耐久試験を実施し、プルボックス内の該当箇所への施工が可能な2種類の仕様において、隔壁（耐火ラッピング）のみで1時間の耐火性能を確保することが可能であることを確認した。
- 上記より、ケーブル処理室内のプルボックス内についても、異なる区分の火災防護対象ケーブルを1時間以上の耐火能力を有する隔壁等により分離し、かつ、火災感知設備及び自動消火設備を設置することで、「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準」を満足する火災の影響軽減対策を講じる設計とする。

④参考：審査会合で特に議論となった事項③

◎回答内容（第867回審査会合（令和2年6月16日））

➤ 1時間耐火ラッピングの火災耐久試験結果を以下に示す。

表 1時間耐火ラッピングの火災耐久試験結果

確認項目	確認内容	判定基準	確認結果	
			試験体 ①	試験体 ②
温度確認	加熱試験中、熱電対を用いて試験体の非加熱面側の温度上昇を測定する	試験体の非加熱面側の温度上昇が、平均で140K以下、最高で180K以下であること	良	良
	加熱試験中、熱電対を用いてケーブル表面の温度を測定する	ケーブルシース表面温度が171°Cを超えないこと	良	良
外観確認	試験後に、試験体の外観確認を行う	非加熱面側へ10秒を超えて継続する火炎の噴出がないこと	良	良
		非加熱面側へ10秒を超えて継続する発炎がないこと	良	良
		火炎が通る亀裂等の損傷及び隙間を生じないこと	良	良
電気特性確認	試験後、ケーブルの導通を確認する (導通確認)	導通があること (断線していないこと)	良	良
	試験後、ケーブルの導体相互間の絶縁抵抗を測定する (絶縁抵抗測定)	試験後に絶縁抵抗の著しい低下がないこと	良	良

⑤参考：火災防護対策設置例

- 火災により原子炉施設の安全性が損なわれないよう、火災防護に係る審査基準に基づき、「火災の発生防止」、「火災の感知及び消火」及び「火災の影響軽減」について火災防護対策を実施する。

火災感知器

火災を早期に感知できるよう、異なる感知方式の感知器を組み合わせて設置



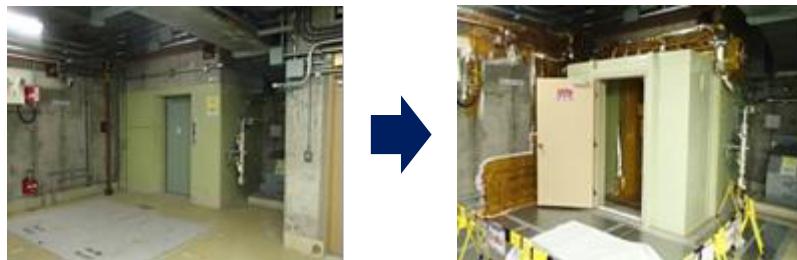
ガス消火設備

煙の充満または放射線の影響により消火活動が困難となる火災区域に、全域ガス自動消火設備を設置



耐火障壁

原子炉停止に係る機器を設置する火災区域に障壁を設置し、他の火災区域から分離



耐火ラッピング

電源ケーブル等に耐火能力のある耐火ラッピングを施工



内部溢水

2020年10月2日
中国電力株式会社

一部拡充版

①審査の概要

■福島第一原子力発電所の事故では、津波により建物内の重要な設備が浸水しました。これを踏まえ、新規制基準では、地震による配管破断や、津波による浸水、消火活動における放水等により、原子炉施設内部で漏水事象が発生した場合においても、安全上重要な設備の機能が損なわれないよう、新たに内部溢水に関する規制が盛り込まれました。

②規制要求事項

設置許可基準規則第九条 (溢水による損傷の防止等)	技術基準規則第十二条 (発電用原子炉施設内における 溢水等による損傷の防止)	備考
安全施設は、発電用原子炉施設内における溢水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。	設計基準対象施設が発電用原子炉施設内における溢水の発生によりその安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。	追加要求事項
2 設計基準対象施設は、発電用原子炉施設内の放射性物質を含む液体を内包する容器、配管その他の設備から放射性物質を含む液体があふれ出た場合において、当該液体が管理区域外へ漏えいしないものでなければならない。	2 設計基準対象施設が発電用原子炉施設内の放射性物質を含む液体を内包する容器、配管その他の設備から放射性物質を含む液体があふれ出るおそれがある場合は、当該液体が管理区域外へ漏えいすることを防止するために必要な措置を講じなければならない。	追加要求事項

③基本方針

- 設置許可基準規則第九条第1項に対する基本方針
 - 発電用原子炉施設内で溢水が生じた場合においても、原子炉を高温停止し、引き続き低温停止、並びに放射性物質の閉じ込め機能を維持するため必要となる設備、原子炉が停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要となる設備、燃料プールの冷却及び給水機能を維持するための設備について、溢水防護を考慮した設計とする。
- 設置許可基準規則第九条第2項に対する基本方針
 - 発電用原子炉施設内で溢水が発生した場合において、放射性物質によって汚染された液体が管理されない状態で管理区域外へ漏えいしない設計とする。

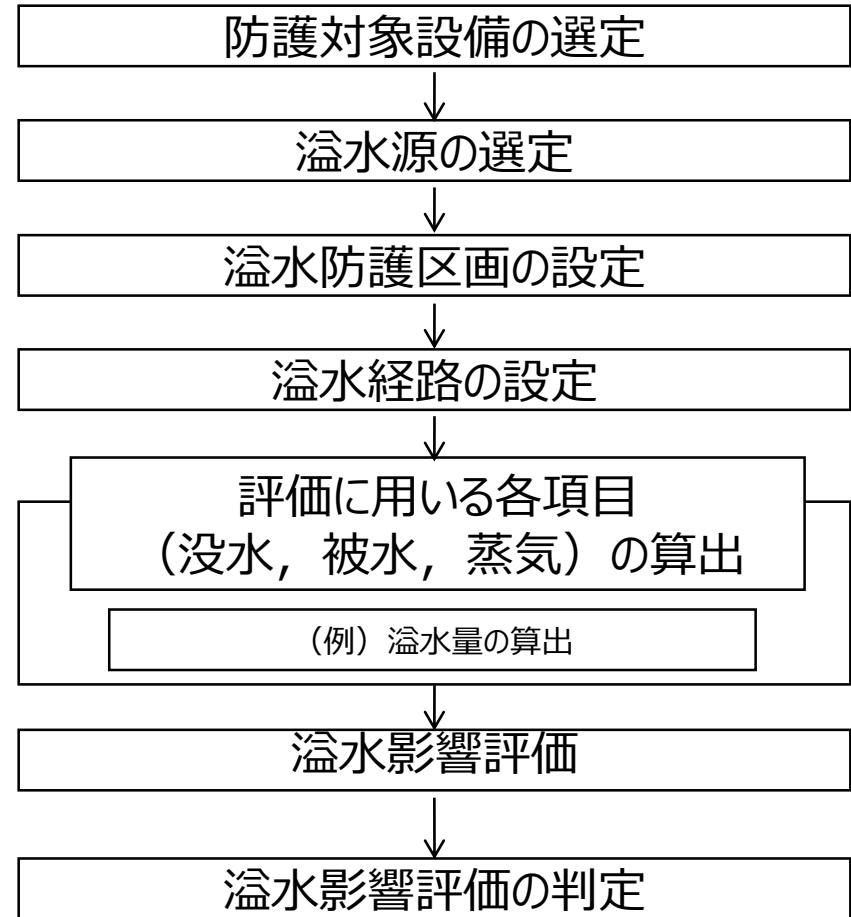


図 溢水影響評価フロー

④審査会合の結果

規制要求事項に基づき、島根2号炉における内部溢水評価として、以下を説明した。

■ 設置許可基準規則第九条第1項に対する説明内容

- 設置許可基準規則第九条（溢水による損傷の防止）及び第十二条（安全施設）並びに評価ガイドの要求事項を踏まえ、防護対象設備を選定。
- 溢水源として「想定破損による溢水（単一の配管の破損による溢水）」、「消火水の放水による溢水」及び「地震起因による溢水」を選定。
- 選定した溢水源に対し、「没水」、「被水」及び「蒸気」の影響評価を実施し、以下の機能が維持されることを確認。
 - 原子炉の停止及び冷却機能
 - 放射性物質の閉じ込め機能
 - 燃料プール冷却及び給水機能

■ 設置許可基準規則第九条第2項に対する説明内容

- 管理区域内で発生した溢水について、浸水防止設備の設置（水密扉の設置、配管等の貫通部止水処置等）を施すことにより、放射性物質を含む液体が管理されない状態で管理区域外へ漏えいすることを防止できることを確認。

⑤審査会合で特に議論となつた事項

■ 指摘事項（審査会合 令和元年5月9日）

燃料プールのスロッシングによる溢水量評価の解析で、水平2方向の入力地震動として同位相の基準地震動Ss-Dを用いていることで、溢水量が保守的に見積もられることを示すこと。

■ 回答（審査会合 令和元年7月25日）

燃料プールのスロッシングによる溢水量評価においては、同位相の地震動を用いたスロッシング解析により必ずしも保守的に溢水量を算出できるとは限らないことから、水平方向に位相の異なる地震動を用いてスロッシング解析を実施し、溢水量を算出することとした。

（参考資料-1）

■ 指摘事項（審査会合 令和元年7月25日）

燃料プールのスロッシングによる溢水量評価について、他の位相の異なる地震動を用いた場合の影響を定量的に説明すること。

■ 回答（審査会合 令和元年10月29日）

位相特性の異なる地震動を用いた追加のスロッシング解析として、NS方向+鉛直方向とEW方向+鉛直方向の2方向同時入力のスロッシング解析を行い、溢水量は2つの解析結果を足し合わせて設定することとした。（参考資料-2）

上記の溢水量が、位相特性の異なる地震動を用いた3方向同時入力のスロッシング解析による溢水量よりも大きくなり、保守的な設定であることを確認した。

⑥参考資料 1 審査会合の指摘事項に対する回答 (1/3)

●スロッシング解析に用いる地震動について

- ・燃料プールのスロッシング解析には、基準地震動Ssのうちスロッシング固有周期において応答加速度が最大となるSs-Dを用いた。(左図参照)
- ・Ss-Dは応答スペクトル波であり水平方向の方向性はないことから、スロッシング解析では水平2方向のうち1方向にSs-Dと位相特性の異なる模擬地震波（組合せ用地震動）による応答波を入力した。(右図参照)
- ・組合せ用地震動は、水平2方向の組合せ影響評価用として、基準地震動と同じ作成方法にて位相角を一様乱数とした正弦波を重ね合わせて作成した。

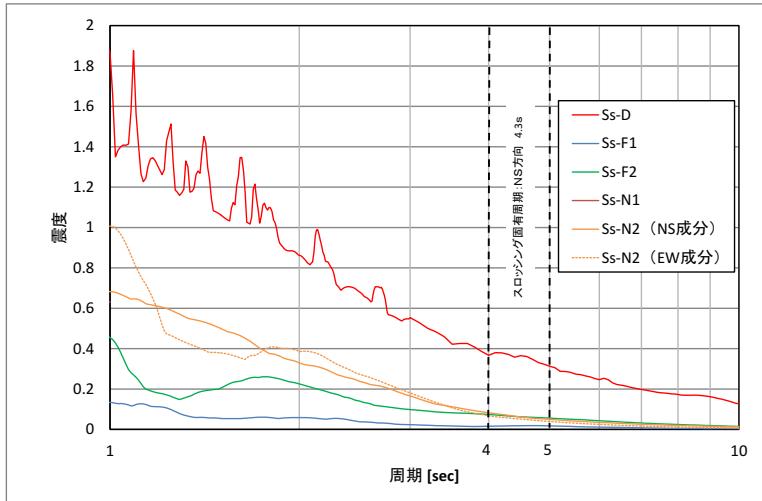


図 燃料プールの床応答スペクトル (NS方向 減衰0.5%)

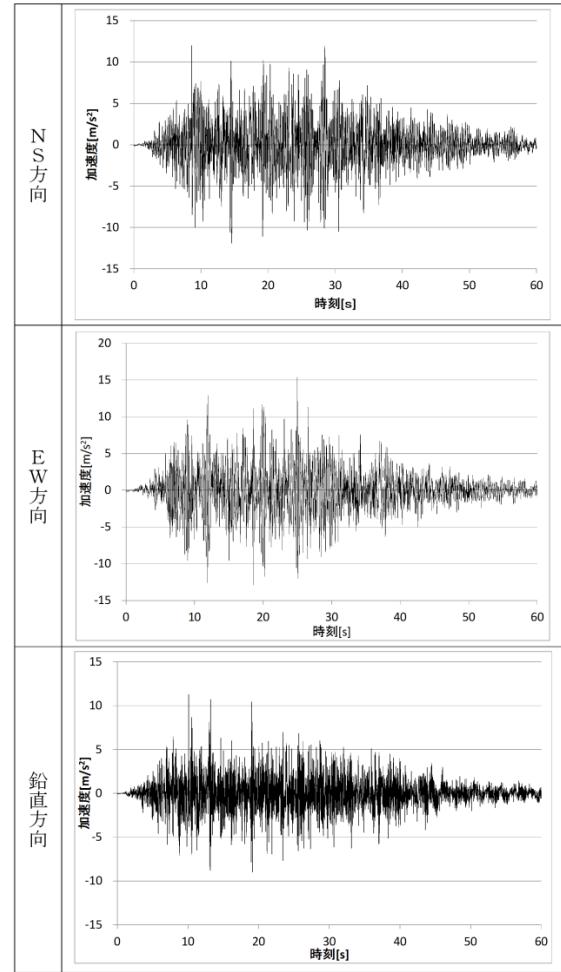


図 入力地震動の加速度時刻歴波形 (EW方向に組合せ用地震動を適用)

⑥参考資料 1 審査会合の指摘事項に対する回答 (2/3)

●溢水量の算出結果

- ・水平2方向にSs-Dを入力したケースと水平2方向のうち1方向に組合せ用地震動を入力したケースのスロッシング解析の結果を表に示す。
- ・Ss-D及び組合せ用地震動を用いた解析は下記2ケースを実施し、溢水量の大きくなる①の結果を解析値として用いる。
 - ①NS方向：Ss-D, EW方向：組合せ用地震動 (溢水量合計値：127m³)
 - ②NS方向：組合せ用地震動, EW方向：Ss-D (溢水量合計値：123m³)
- ・内部溢水影響評価では、Ss-D及び組合せ用地震動を用いた解析結果を1.1倍し、スロッシングによる溢水量として用いる。

表 燃料プールのスロッシングによる溢水量解析値

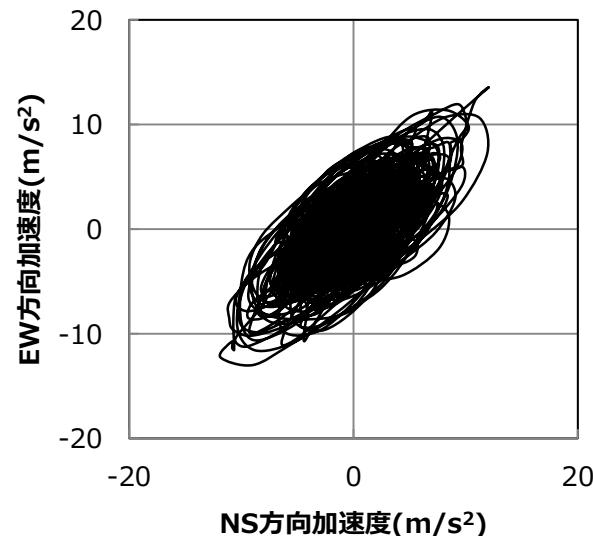
	床面への溢水量 [m ³]	埋設ダクト 流入量 [m ³]	合計値 [m ³]
Ss-D及び組合せ用地震動による解析	106	22	127
Ss-Dによる解析	85	22	106

⑥参考資料 1 審査会合の指摘事項に対する回答 (3/3)

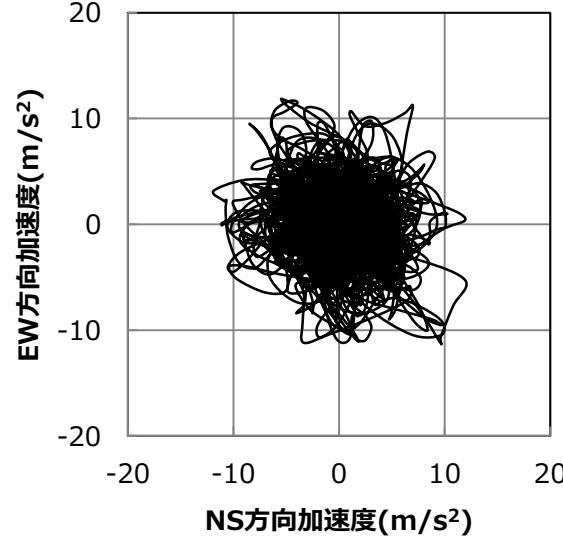
● 入力地震動の方向性に対する考察

- ・NS, EW方向にSs-Dを入力すると, 加振方向に指向性のある地震動となる。(図(1)参照)
- ・水平の1方向にSs-D, 1方向に組合せ用地震動を入力すると, 加振方向がランダムな地震動となる。(図(2)参照)
- ・既往知見[※]により, 矩形貯槽のスロッシング挙動において, 加振方向により最大波高が変化することが確認されている。
- ・現実的な地震動を考慮すると, 1方向に組合せ用地震動を用いて評価することは妥当である。

※出典: 則竹一輝, 鈴木森晶他, 「矩形貯槽におけるスロッシング挙動とその抑制方法に対する検討」, 土木学会論文集A2(応用力学), Vol.68, No.2(応用力学論文集Vol.15), I_785-I_794, 2012.



(1) NS方向及びEW方向ともにSs-Dを用いた場合



(2) NS方向にSs-D, EW方向に組合せ用地震動を用いた場合

図 燃料プールのスロッシング解析入力波のオービット

⑥参考資料2 審査会合の指摘事項に対する回答

●燃料プールの溢水量算出結果

- ・NS方向+鉛直方向, EW方向+鉛直方向にそれぞれSs-Dを入力したスロッシング解析の結果を下表に示す。
- ・内部溢水影響評価に用いる溢水量は, NS方向+鉛直方向, EW方向+鉛直方向の解析結果を足し合わせた溢水量に対し, 解析コード(Fluent)における解析値と試験値の差異を踏まえて1.1倍を考慮し, 保守的に設定した。

表 燃料プールのスロッシング解析による溢水量（2方向入力）

	床面への溢水量 [m ³]	埋設ダクト 流入量 [m ³]	合計値 [m ³]	備 考
①NS方向+鉛直方向	55	20	75	解析結果
②EW方向+鉛直方向	56	21	76	解析結果
①+②	110	41	151	溢水量を足し合わせ
(①+②) × 1.1	121	45	166	1.1倍の考慮
内部溢水影響評価用	130	50	180	溢水影響評価に 用いる値

※ 表中の解析結果は, 小数点以下を切り上げた値を示す。また, 溢水量の足し合わせ及び係数倍は解析結果に基づき実施し, 表記上は小数点以下を切り上げた値を示す。

5. 想定破損評価に用いる各項目の算出及び影響評価(1/10)

- 想定破損による溢水に対し、溢水源毎の溢水量を算出し、設定した溢水経路をもとに、影響評価を実施。
- あらゆる箇所での溢水の発生を想定した上で、溢水防護対象設備への溢水影響の確認及び機能喪失の判定を実施し、多重性・多様性を有する安全機能が同時に損なわれないことを確認。
- 安全機能が同時に損なわれるおそれがある場合は、溢水源、溢水経路又は溢水防護対象設備に対して、拡大防止対策、影響緩和対策又は発生防止対策を組み合わせることで安全機能を損なわない設計とする。
- 発生防止対策については、評価ガイドに則り応力評価に基づき想定破損を除外。

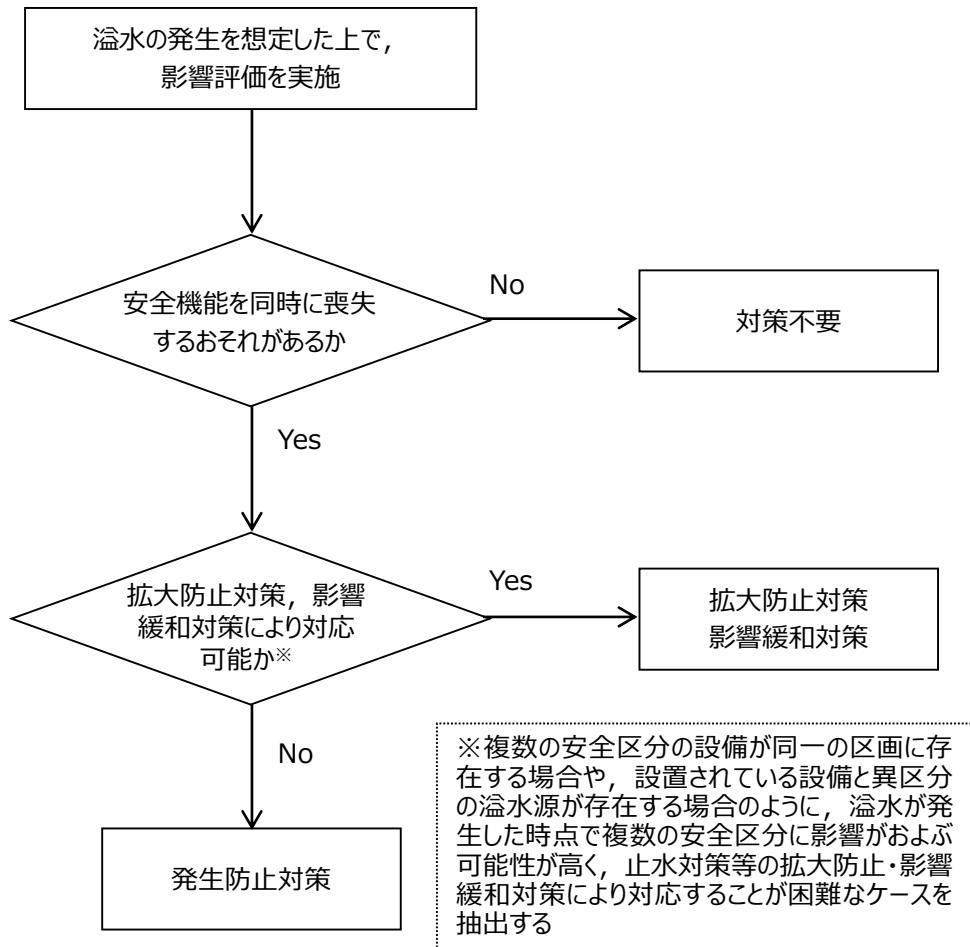


図 想定破損に対する評価及び防護方針の概要フロー

5. 想定破損評価に用いる各項目の算出及び影響評価(6/10)

- 没水影響評価（例）で示した溢水防護対象設備の個別の機能喪失判定を踏まえ、プラント全体として安全機能が保たれているかについて判定を実施する。
 - 一部の溢水防護対象設備の機能に影響を及ぼすものの、表に示すとおり、同一の安全機能を有する他の系列の溢水防護対象設備の機能は維持される。

表 没水による安全機能への影響評価（例）

評価種別	想定破損	
溢水発生区画	R-B1F-09N	
溢水源	高圧炉心スプレイ系	
溢水量[㎥]	495	

6. 電源の信頼性

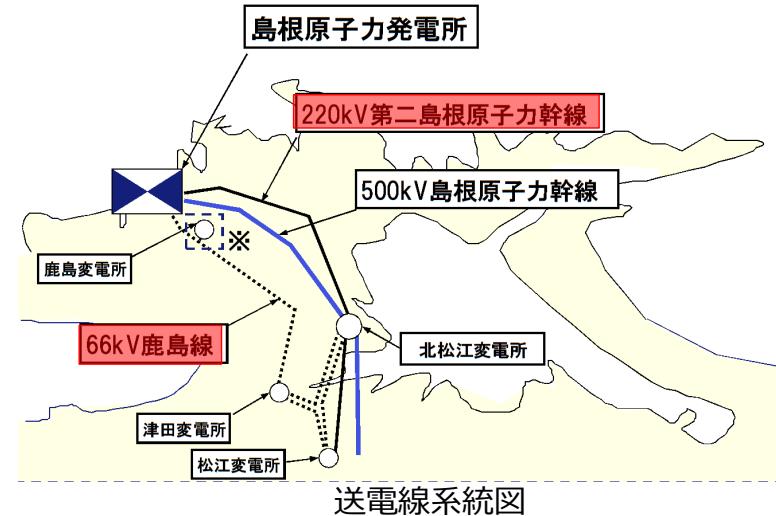
外部電源(1／2)

- 複数の独立した送電線ルートを確保していることに加え、万が一送電線の事故が発生した場合にも、他のルートから電源の確保が可能である。

【電力系統の概要】

島根 2 号炉は、220kV 送電線 1 ルート 2 回線及び 66kV 送電線 1 ルート 1 回線の合計 2 ルート 3 回線で連系しており、220kV 送電線は、北松江変電所に、66kV 送電線は、津田変電所に接続され、それぞれ互いに独立している。

注) 500kV 送電線は、建設中の島根 3 号炉に連系し、島根 2 号炉の申請対象外である。



【電線路の物理的分離】

全ての送電線が同一鉄塔に架線された箇所ではなく、物理的に分離した設計としている。

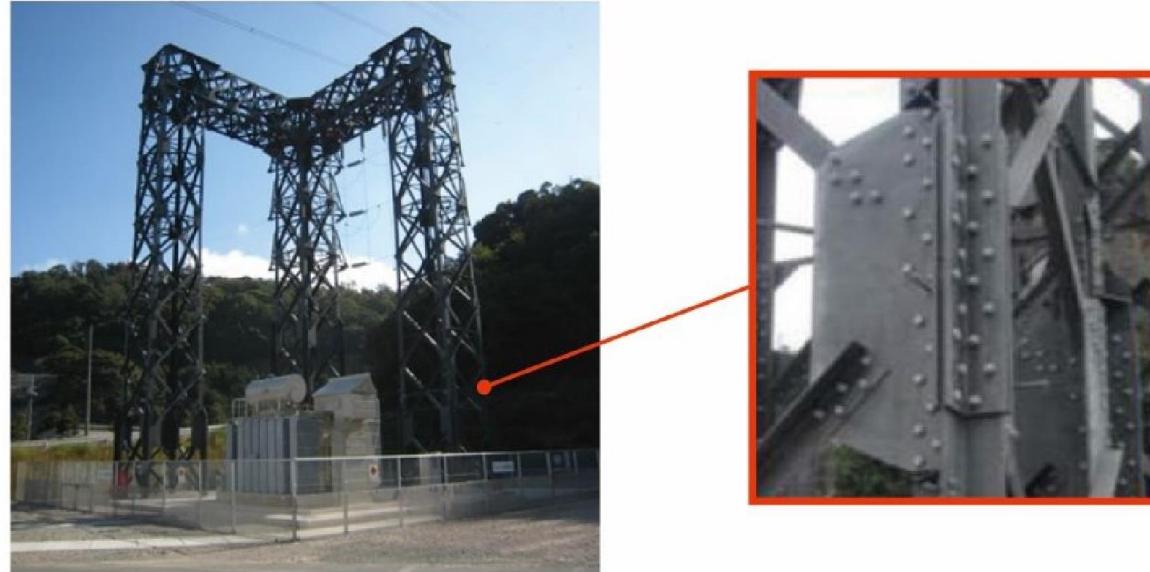
220kV 送電線と 66kV 送電線の交差箇所において、送電線に異常があっても、災害時の復旧体制を整備しており、ディーゼル発電機の燃料容量の 7 日以内に 66kV 送電線を復旧することにより発電所への電源供給を確保する。

No	交差の状況	交差箇所での異常発生時の評価
①	220kV 第二島根原子力幹線(下部)と 500kV 島根原子力幹線(上部)	66kV 鹿島線・鹿島支線が健全
②	220kV 第二島根原子力幹線(上部)と 66kV 鹿島支線(下部)	非常用ディーゼル発電機の燃料容量の 7 日以内に 66kV 鹿島支線を復旧
③	66kV 鹿島支線(下部)と 500kV 島根原子力幹線(上部)	220kV 第二島根原子力幹線が健全
④	220kV 第二島根原子力幹線(上部)と 66kV 第 2-66kV 開閉所線(下部)	66kV 鹿島支線が健全

- 中国電力および中国電力ネットワーク株式会社は「原子力災害対策規程」を制定しており、一体的な体制により、緊急事態が発生または発生するおそれのある場合、迅速かつ円滑な災害対応を行うこととしている。
- なお、構内アクセスルートに支障となる鉄塔については、耐震評価を行いアクセスルートが確保できる設計としている。

外部電源(2/2) 【自主対策】

- 地震により「外部電源喪失かつ島根 2 号炉受電設備の機能喪失」という多重事故が発生する場合においても、島根 3 号炉の66kV受電回路として設置している第2-66kV開閉所から66kV外部電源復旧後、島根 2 号炉へ電力を供給できる設計としている。
- 第2-66kV開閉所は、高台(EL44m)に設置し設計基準地震動での耐震性を評価している。



第2-66kV開閉所外観

- なお、外部電源からの受電が出来なくなった場合には、自動的に非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心入プレイ系ディーゼル発電機から受電する。ディーゼル発電機は 3 台備え、各ディーゼル発電機を 7 日間以上連続運転できる燃料容量を有している。

代替交流電源設備

- 外部電源喪失、非常用交流電源設備である非常用ディーゼル発電機および高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機が故障（「全交流動力電源喪失」）した場合に備え、重大事故等対処設備として、以下の代替交流電源設備を新たに設置している。

- ・ ガスタービン発電機（常設代替交流電源設備）
- ・ 高圧発電機車（可搬型代替交流電源設備）

2台（うち予備1台）

7台（うち予備1台）



ガスタービン発電機 外観

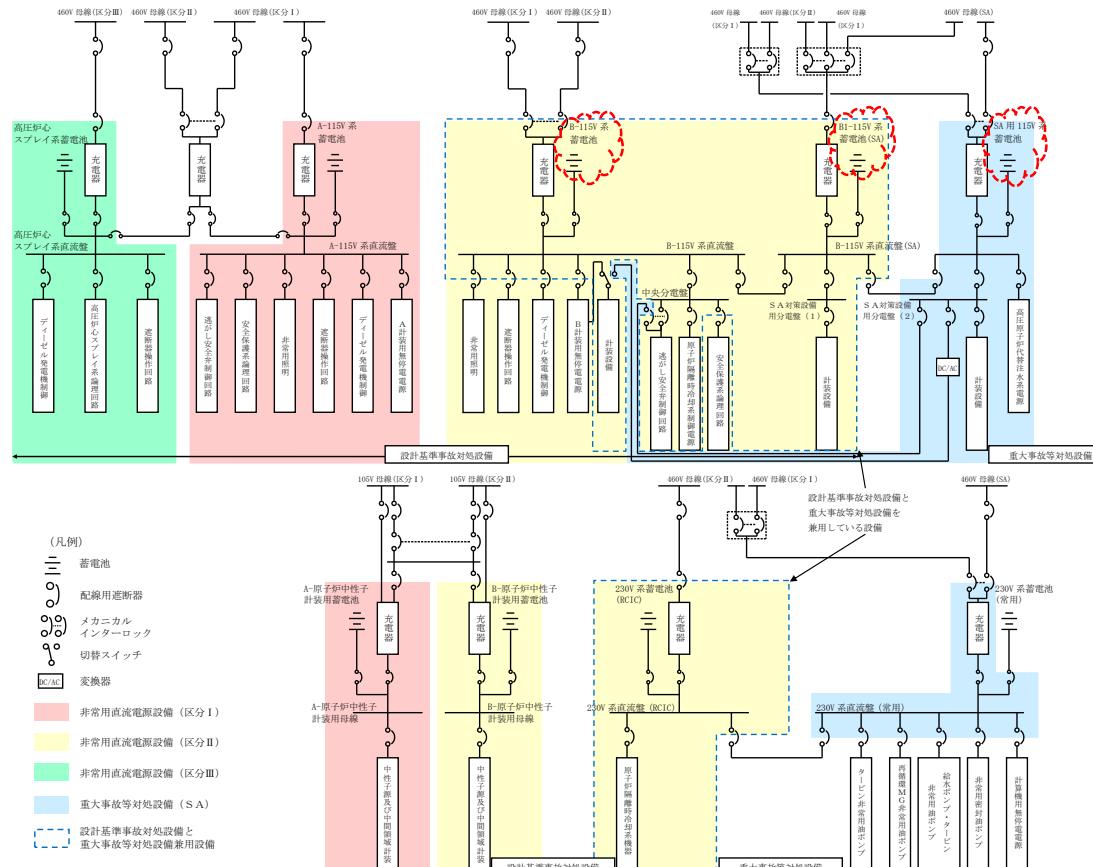


高圧発電機車（保管場所）

- 代替交流電源設備は、非常用交流電源設備に対して、独立性を有し、位置的分散を図る設計とする。
- 平成25年の申請時には、常設代替交流電源設備をガスタービン発電機車としていたが、見直した基準地震動において耐震評価した結果、一部の部位で耐震性を確保できないことが判明したため、耐震性を有した常設型のガスタービン発電機に変更した。

非常用直流電源設備及び代替直流電源設備

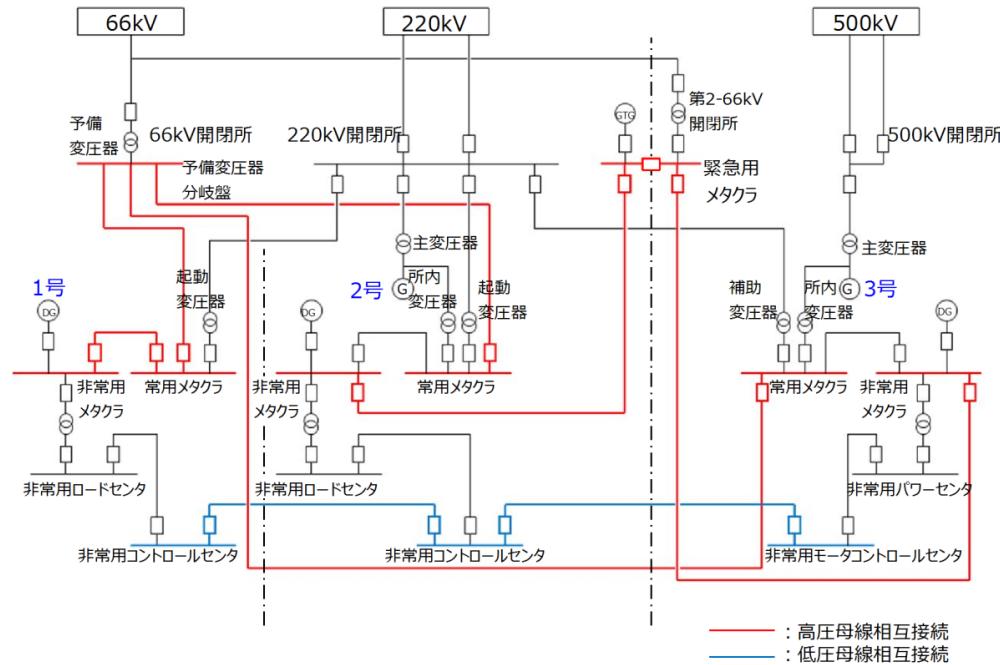
- 全交流動力電源喪失時から重大事故等に対処するために必要な電力の供給が、常設代替交流電源設備から開始されるまでの間にも、原子炉格納容器の健全性を確保するための設備の動作に必要な容量を有する蓄電池を設置している。非常用直流電源設備は3系統を有し、いずれかの1系統が故障しても残りの2系統で原子炉の安全を確保できる。
- 島根2号炉は原子炉隔離時冷却系の制御電源、動力電源への電源供給を行う**区分Ⅱに対して重大事故等対処設備として増強 (B-115V系蓄電池、B1-115V系蓄電池 (SA))**を行い、8時間後に不要な負荷の切り離しを実施し、蓄電池を組み合わせることで24時間電源供給可能としている。また、重大事故時計装及び高圧原子炉代替注水系に直流電源を供給できる**SA専用の蓄電池 (SA用115V系蓄電池)**を設置している。



B-115V系蓄電池（代表例）

号炉間電源融通【自主対策】

- 島根 2 号炉は自主対策として、廃止措置期間中の島根 1 号炉及び島根 3 号炉を相互に接続することで安全性が向上する場合、非常用所内電源系の相互接続を行う。
- 2 号炉非常用メタクラと 1 号炉非常用メタクラ、3 号炉非常用メタクラは、号炉間で独立しているが、予備変圧器分岐盤又は、緊急用メタクラを用いた相互接続が可能な設計としている。また、非常用コントロールセンタ間でも相互接続可能な設計としている。
- なお、通常時は号炉間の両端の遮断器を開放することにより 2 号炉非常用所内電源系の分離を図ることしている。



単線結線図（非常用所内電源系の相互接続）

- 他号炉から 2 号炉へ電源融通ができない場合でも、高圧発電機車から電源供給が可能である。