

3.1.4 安全裕度評価

3.1.4.1 評価実施方法

3.1.4.1.3 第2回安全性向上評価における評価項目

第1回安全性向上評価届出の評価時点（平成30年11月28日）以降，第1回安全性向上評価における安全裕度評価の結果を踏まえて抽出した追加措置「メタクラ3D保護継電器取替」並びに特定重大事故等対処施設，非常用ガスタービン発電機等の工事を実施し，運用を開始した。

このため，第1回安全性向上評価における安全裕度評価に対して，同工事等による安全裕度向上の効果を確認する。

また，その他自然現象に対する安全裕度評価として，火山事象に対する安全裕度評価を実施し，火山事象に対する炉心損傷防止対策の効果を確認するとともに，クリフエッジ・エフェクトを特定する。

3.1.4.2 評価結果

3.1.4.2.1 地震

(3) 第2回安全性向上評価届出（評価時点：令和4年1月24日）における評価対象期間中の工事等による安全裕度評価への影響

第1回安全性向上評価届出の評価時点（平成30年11月28日）以降，第1回安全性向上評価における安全裕度評価の結果を踏まえて抽出した追加措置「メタクラ3D保護継電器取替」並びに特定重大事故等対処施設，非常用ガスタービン発電機等の工事を実施し，運用を開始した。

このため，本評価では，第1回安全性向上評価における安全裕度評価に対して，以下の工事等による安全裕度向上の効果を確認する。

- ・メタクラ3D保護継電器取替
- ・特定重大事故等対処施設設置
- ・非常用ガスタービン発電機設置
- ・蓄電池（3系統目）設置

メタクラ3D保護継電器取替工事について，取替前後のフラジリティを第3.1.4.2.1.35表に示す。

また，今後，「2.2.2 国内外の最新の科学的知見及び技術的知見」において追加措置として抽出したSSHACハザードを活用することにより，計画的に信頼性の高い地震PRAを実施し，プラントの脆弱点をより適切に把握することとしている。

このため，特定重大事故等対処施設，非常用ガスタービン発電機及び蓄電池（3系統目）については，フラジリティを使用せず，安全裕度向上の効果を確認する。

a. 炉心損傷防止対策

メタクラ3D保護継電器取替、非常用ガスタービン発電機設置及び蓄電池（3系統目）設置に伴う安全裕度向上の効果を確認する。

特定重大事故等対処施設設置については、格納容器機能喪失防止対策に対する安全裕度向上の効果を確認する。なお、今後、計画的に特定重大事故等対処施設設置に伴う炉心損傷防止対策に対する安全裕度向上の効果を確認する。

(a) 出力運転時

i メタクラ3D保護継電器取替

第3.1.4.2.1.35表に示すとおり、クリフエッジ対象機器であるメタクラ3D保護継電器の95%信頼度における5%損傷確率に相当する地震加速度レベル（以下「HCLPF」という。ここで、HCLPFはHigh Confidence of Low Probability of Failure（高信頼度低損傷確率）の略称である。）は、1.02Gから1.52Gに向上した。これを踏まえて、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（地震：出力運転時炉心損傷）への影響を確認した結果、クリフエッジ地震加速度である1.02Gの次にHCLPFが小さい設備等は第3.1.4.2.1.36表に示すとおり原子炉補助建屋であり、HCLPFは1.04Gであった。

また、原子炉補助建屋の損傷により、事象緩和に期待できず直接炉心損傷となるため、影響緩和機能及び収束シナリオは特定されなかった。

このため、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（地震：出力運転時炉心損傷）をベースとした場合、クリフエッジ地

震加速度は 1.04G となり、安全裕度が向上したことを確認した。

なお、現実的には、原子炉補助建屋が損傷した場合でも、直接炉心損傷に至ることは考えにくいいため、引き続き、大規模損壊対応訓練等に取り組むことにより、事象緩和に対する能力向上に取り組んでいく。

ii 非常用ガスタービン発電機設置

第 3.1.4.2.1.37 表及び第 3.1.4.2.1.26 図に示すとおり、第 1 回安全性向上評価における安全裕度評価（地震：出力運転時炉心損傷）への影響を確認した結果、「非常用所内電源からの給電」に失敗した場合、「非常用ガスタービン発電機からの給電」に期待できるため、クリフエッジシナリオに対して新たな収束シナリオが 3 つ追加^{※1}されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

※1：第 1 回安全性向上評価における安全裕度評価（地震：出力運転時炉心損傷）に係るクリフエッジシナリオのうち、イベントヘディング「空冷式非常用発電装置からの給電」の前にイベントヘディング「非常用ガスタービン発電機からの給電」が追加されることから、第 1 回安全性向上評価における安全裕度評価（地震：出力運転時炉心損傷）に係るクリフエッジシナリオのうち、空冷式非常用発電装置からの給電に期待している収束シナリオ（3 つ）が 2 倍（6 つ）に増加する。（以下同様の考え方）

iii 蓄電池（3 系統目）設置

第 3.1.4.2.1.37 表に示すとおり、第 1 回安全性向上評価における安全裕度評価（地震：出力運転時炉心損傷）への影響を確認

した結果、クリフエッジシナリオに対して、サポート系の緩和機能が新たに1つ追加^{※2}されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

※2：第1回安全性向上評価における安全裕度評価（地震：出力運転時炉心損傷）に係るクリフエッジシナリオで考慮しているイベントヘディングに対して、新たに追加されたサポート系「第3バッテリー」は、サポート系「バッテリー」の代替となることから、サポート系の緩和機能が1つ増える。（以下同様の考え方）

(b) 運転停止時

i メタクラ3D保護継電器取替

第3.1.4.2.1.35表に示すとおり、クリフエッジ対象機器であるメタクラ3DのHCLPFは、1.02Gから1.52Gに向上した。これを踏まえて、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（地震：運転停止時炉心損傷）への影響を確認した結果、クリフエッジ地震加速度である1.02Gの次にHCLPFが小さい設備等は第3.1.4.2.1.36表に示すとおり原子炉補助建屋であり、HCLPFは1.04Gであった。

また、原子炉補助建屋の損傷により、事象緩和に期待できず直接炉心損傷となるため、影響緩和機能及び収束シナリオは特定されなかった。

このため、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（地震：運転停止時炉心損傷）をベースとした場合、クリフエッジ地震加速度は1.04Gとなり、安全裕度が向上したことを確認した。

なお、現実的には、原子炉補助建屋が損傷した場合でも、直接炉心損傷に至ることは考えにくいいため、引き続き、大規模損壊対応訓練等に取り組むことにより、事象緩和に対する能力向上に取り組んでいく。

ii 非常用ガスタービン発電機設置

第3.1.4.2.1.38表及び第3.1.4.2.1.27図に示すとおり、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（地震：運転停止時炉心損傷）への影響を確認した結果、「非常用所内電源からの給電」に失敗した場合、「非常用ガスタービン発電機からの給電」に期待できるため、クリフエッジシナリオに対して新たな収束シナリオが1つ追加されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

iii 蓄電池（3系統目）設置

第3.1.4.2.1.38表に示すとおり、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（地震：運転停止時炉心損傷）への影響を確認した結果、クリフエッジシナリオに対して、サポート系の緩和機能が新たに1つ追加されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

b. 格納容器機能喪失防止対策

メタクラ3D保護継電器取替、特定重大事故等対処施設設置、非常用ガスタービン発電機設置及び蓄電池（3系統目）設置に伴う安全裕度向上の効果を確認する。

i メタクラ3D保護継電器取替

第3.1.4.2.1.35表に示すとおり、クリフエッジ対象機器であ

るメタクラ3DのHCLPFは、1.02Gから1.52Gに向上した。これを踏まえて、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（地震：格納容器機能喪失）への影響を確認した結果、クリフエッジ地震加速度である1.02Gの次にHCLPFが小さい設備等は第3.1.4.2.1.36表に示すとおり原子炉補助建屋であり、HCLPFは1.04Gであった。

また、原子炉補助建屋の損傷により、事象緩和に期待できず直接格納容器機能喪失となるため、影響緩和機能及び収束シナリオは特定されなかった。

このため、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（地震：格納容器機能喪失）をベースとした場合、クリフエッジ地震加速度は1.04Gとなり、安全裕度が向上したことを確認した。

なお、現実的には、原子炉補助建屋が損傷した場合でも、直接格納容器機能喪失に至ることは考えにくいため、引き続き、大規模損壊対応訓練等に取り組むことにより、事象緩和に対する能力向上に取り組んでいく。

ii 特定重大事故等対処施設設置

第3.1.4.2.1.39表及び第3.1.4.2.1.28図に示すとおり、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（地震：格納容器機能喪失）への影響を確認した結果、「加圧器逃がし弁（窒素ボンベ）による1次系強制減圧」、「代替格納容器スプレイポンプによる格納容器スプレイ」、「格納容器内自然対流冷却による格納容器内徐熱（海水冷却）」及び「静的水素再結合装置による水素処理」に失敗した場合、特定重大事故等対処施設に期待できる。このため、クリフエッジシナリオに対して、新たな収束シナリオが

7つ、サポート系の緩和機能が新たに1つ追加されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

iii 非常用ガスタービン発電機設置

第3.1.4.2.1.39表及び第3.1.4.2.1.28図に示すとおり、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（地震：格納容器機能喪失）への影響を確認した結果、追加で「非常用ガスタービン発電機からの給電」に期待できるため、クリフエッジシナリオに対して新たな収束シナリオが8つ追加されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

iv 蓄電池（3系統目）設置

第3.1.4.2.1.39表に示すとおり、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（地震：格納容器機能喪失）への影響を確認した結果、クリフエッジシナリオに対して、サポート系の緩和機能が新たに1つ追加されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

c. 使用済燃料ピットの燃料損傷防止対策

メタクラ3D保護継電器取替、非常用ガスタービン発電機設置及び蓄電池（3系統目）設置に伴う安全裕度向上の効果を確認する。

i メタクラ3D保護継電器取替

第1回安全性向上評価における安全裕度評価（地震：SFP燃料損傷）では、SFPのHCLPFが1.20Gであることから、1.20Gで事象緩和に期待できず直接燃料損傷となるものの、炉心損傷防止及び格納容器機能喪失防止に係る収束シナリオは、1.02

Gでクリフエッジに至っていることから、1.02Gを超える場合には屋外の線量が高くなり、SFPの燃料損傷防止に係る緩和機能である「中型ポンプ車による海水注水」の実施が困難になることが予想される。このため、プラント全体のクリフエッジ地震加速度は1.02Gとなることから、SFPの燃料損傷に係るクリフエッジ地震加速度を1.02Gと特定していた。

「a. 炉心損傷防止対策」及び「b. 格納容器機能喪失防止対策」に示すとおり、プラント全体のクリフエッジ地震加速度が1.04Gに向上したことから、SFPの燃料損傷に係るクリフエッジ地震加速度は1.04Gとなり、安全裕度が向上したことを確認した。

ii 非常用ガスタービン発電機設置

第1回安全性向上評価における安全裕度評価（地震：SFP燃料損傷）では、代替交流電源からの給電を必要とする緩和手段がないことから、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（地震：SFP燃料損傷）への影響はない。

iii 蓄電池（3系統目）設置

第3.1.4.2.1.40表に示すとおり、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（地震：SFP燃料損傷）への影響を確認した結果、クリフエッジシナリオに対して、サポート系の緩和機能が新たに1つ追加されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

第3.1.4.2.1.35表 保護継電器取替前後のメタクラ3Dのフラジリティ

	中央値 (G)	β_{CR}	β_{CU}	HCLPF (G)
取替前	1.86	0.14	0.23	1.02
取替後	3.39	0.22	0.27	1.52

β_{CR} : 偶然的不確実さ

β_{CU} : 認識論的不確実さ

第3.1.4.2.1.36表 原子炉補助建屋のフラジリティ

中央値 (G)	β_{CR}	β_{CU}	HCLPF (G)
1.87	0.21	0.15	1.04

β_{CR} : 偶然的不確実さ

β_{CU} : 認識論的不確実さ

第3.1.4.2.1.37表 フロントライン系とサポート系の関連による安全裕度向上効果
(地震：出力運転時炉心損傷)

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.1.38表 フロントライン系とサポート系の関連による安全裕度向上効果

(地震：運転停止時炉心損傷)

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.1.39表 フロントライン系とサポート系の関連による安全裕度向上効果

(地震：格納容器機能喪失)

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.1.40表 フロントライン系とサポート系の関連による安全裕度向上効果
(地震：SFP燃料損傷)

参考資料5に記載する。

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.1.26 図 各収束シナリオの機能喪失に係るHCLPF及びクリフエッジ評価に対する安全裕度向上効果
(地震：出力運転時炉心損傷)

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.1.27 図 各収束シナリオの機能喪失に係るHCLPF及びクリフエッジ評価に対する安全裕度向上効果
(地震：運転停止時炉心損傷)

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.1.28 図 各収束シナリオの機能喪失に係るHCLPF及びクリフエッジ評価に対する安全裕度向上効果

(地震：格納容器機能喪失)

3.1.4.2.2 津波

- (4) 第2回安全性向上評価届出（評価時点：令和4年1月24日）における評価対象期間中の工事等による安全裕度評価への影響
- 第1回安全性向上評価届出の評価時点（平成30年11月28日）以降，特定重大事故等対処施設や非常用ガスタービン発電機等の工事を実施し，運用を開始した。

このため，本評価では，第1回安全性向上評価における安全裕度評価に対して，以下の工事等による安全裕度向上の効果を確認する。

- ・ 特定重大事故等対処施設設置
- ・ 非常用ガスタービン発電機設置
- ・ 蓄電池（3系統目）設置

a. 炉心損傷防止対策

非常用ガスタービン発電機設置及び蓄電池（3系統目）設置に伴う安全裕度向上の効果を確認する。

特定重大事故等対処施設設置については，格納容器機能喪失防止対策に対する安全裕度向上の効果を確認する。なお，今後，計画的に特定重大事故等対処施設設置に伴う炉心損傷防止対策に対する安全裕度向上の効果を確認する。

(a) 出力運転時

i 非常用ガスタービン発電機設置

第3.1.4.2.2.16表及び第3.1.4.2.2.25図に示すとおり，第1回安全性向上評価における安全裕度評価（津波：出力運転時炉心損傷）への影響を確認した結果，非常用ガスタービン発電機の許容津波高さは32mであるため，クリフエッジに至る前の津波高さ

区分2（10.2～14.2m未満）におけるシナリオに対して、新たな収束シナリオが3つ追加されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

なお、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（津波：出力運転時炉心損傷）におけるクリフエッジシナリオは「炉心損傷直結」であるため、クリフエッジに至る直前の津波高さ区分2（10.2～14.2m未満）におけるシナリオを対象とした。

ii 蓄電池（3系統目）設置

第3.1.4.2.2.16表に示すとおり、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（津波：出力運転時炉心損傷）への影響を確認した結果、蓄電池（3系統目）の許容津波高さは14.2mであるため、クリフエッジに至る前の津波高さ区分2（10.2～14.2m未満）におけるシナリオに対して、サポート系の緩和機能が新たに1つ追加されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

なお、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（津波：出力運転時炉心損傷）におけるクリフエッジシナリオは「炉心損傷直結」であるため、クリフエッジに至る直前の津波高さ区分2（10.2～14.2m未満）におけるシナリオを対象とした。

(b) 運転停止時

i 非常用ガスタービン発電機設置

第3.1.4.2.2.17表及び第3.1.4.2.2.26図に示すとおり、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（津波：運転停止時炉心損傷）への影響を確認した結果、非常用ガスタービン発電機の許容津波高さは32mであるため、クリフエッジに至る前の津波高さ

区分2（10.2～14.2m未満）におけるシナリオに対して、新たな収束シナリオが1つ追加されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

なお、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（津波：運転停止時炉心損傷）におけるクリフエッジシナリオは「炉心損傷直結」であるため、クリフエッジに至る直前の津波高さ区分2（10.2～14.2m未満）におけるシナリオを対象とした。

ii 蓄電池（3系統目）設置

第3.1.4.2.2.17表に示すとおり、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（津波：運転停止時炉心損傷）への影響を確認した結果、蓄電池（3系統目）の許容津波高さは14.2mであるため、クリフエッジに至る前の津波高さ区分2（10.2～14.2m未満）におけるシナリオに対して、サポート系の緩和機能が新たに1つ追加されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

なお、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（津波：運転停止時炉心損傷）におけるクリフエッジシナリオは「炉心損傷直結」であるため、クリフエッジに至る直前の津波高さ区分2（10.2～14.2m未満）におけるシナリオを対象とした。

b. 格納容器機能喪失防止対策

特定重大事故等対処施設設置、非常用ガスタービン発電機設置及び蓄電池（3系統目）設置に伴う安全裕度向上の効果を確認する。

i 特定重大事故等対処施設設置

第1回安全性向上評価における安全裕度評価（津波：格納容器機能喪失）への影響を確認した結果、一部の特定重大事故等対処施設の許容津波高さはクリフエッジ津波高さよりも高いため、クリフエッジに至る前の津波高さ区分2（10.2～14.2m未満）におけるシナリオに対して、サポート系の緩和機能が新たに1つ追加されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

なお、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（津波：格納容器機能喪失）におけるクリフエッジシナリオは「炉心損傷直結」となり、炉心損傷防止に必要な緩和機能が喪失するとともに格納容器機能喪失防止に係る収束シナリオが機能喪失するため、クリフエッジに至る直前の津波高さ区分2（10.2～14.2m未満）におけるシナリオを対象とした。

ii 非常用ガスタービン発電機設置

第3.1.4.2.2.18表及び第3.1.4.2.2.27図に示すとおり、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（津波：格納容器機能喪失）への影響を確認した結果、非常用ガスタービン発電機の許容津波高さは32mであるため、クリフエッジに至る前の津波高さ区分2（10.2～14.2m未満）におけるシナリオに対して、新たな収束シナリオが1つ追加されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

なお、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（津波：格納容器機能喪失）におけるクリフエッジシナリオは「炉心損傷直結」となり、炉心損傷防止に必要な緩和機能が喪失するとともに格納容器機能喪失防止に係る収束シナリオが機能喪失するため、クリフエッジに至る直前の津波高さ区分2（10.2～14.2m未満）

におけるシナリオを対象とした。

iii 蓄電池（3系統目）設置

第3.1.4.2.2.18表に示すとおり、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（津波：格納容器機能喪失）への影響を確認した結果、蓄電池（3系統目）の許容津波高さは14.2mであるため、クリフェッジに至る前の津波高さ区分2（10.2～14.2m未満）におけるシナリオに対して、サポート系の緩和機能が新たに1つ追加されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

なお、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（津波：格納容器機能喪失）におけるクリフェッジシナリオは「炉心損傷直結」となり、炉心損傷防止に必要な緩和機能が喪失するとともに格納容器機能喪失防止に係る収束シナリオが機能喪失するため、クリフェッジに至る直前の津波高さ区分2（10.2～14.2m未満）におけるシナリオを対象とした。

c. 使用済燃料ピットの燃料損傷防止対策

非常用ガスタービン発電機設置及び蓄電池（3系統目）設置に伴う安全裕度向上の効果を確認する。

また、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（津波：SFP燃料損傷）では、津波高さ区分2（10.2～14.2m未満）及び津波高さ区分3（14.2m以上）における収束シナリオの許容津波高さである32mでSFP燃料損傷に至ることを確認している。

しかしながら、炉心損傷防止及び格納容器機能喪失防止に係る収束シナリオは、津波高さが14.2mでクリフェッジに至っていることから、津波高さ14.2mを超える場合には屋外の線量が高く

なり、SFPの燃料損傷防止に係る緩和機能である「中型ポンプ車による海水注水」の実施が困難になることが予想されたため、SFP燃料損傷に係るクリフェッジ津波高さを14.2mと特定した。

i 非常用ガスタービン発電機設置

第1回安全性向上評価における安全裕度評価（津波：SFP燃料損傷）では、代替交流電源からの給電を必要とする緩和手段がないことから、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（津波：SFP燃料損傷）への影響はない。

iii 蓄電池（3系統目）設置

第3.1.4.2.2.19表に示すとおり、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（津波：SFP燃料損傷）への影響を確認した結果、蓄電池（3系統目）の許容津波高さは14.2mであるため、クリフェッジに至る前の津波高さ区分2（10.2～14.2m未満）におけるシナリオに対して、サポート系の緩和機能が新たに1つ追加されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

(5) 水密扉からの浸水影響評価

第1回安全性向上評価における津波に対する安全裕度評価では、津波高さが建屋シールの施工高さを超えた時点で建屋内へ浸水することによりほとんどの機器が機能喪失し、その結果、直接炉心損傷に至るものと取り扱うことにより、EL. 14.2m をクリフエッジ津波高さとして特定した。

本評価では、津波に対する安全性及び信頼性のより一層の向上に資する着眼点を得るための試行的な取り組みとして、クリフエッジ津波高さ相当の津波に対して、水密扉の機能喪失を仮定した場合の影響評価を実施する。

i 評価方法

a. 評価対象

原子炉建屋及び原子炉補助建屋の EL. 14.2m 以下に設置されている水密扉（計 21 か所）を評価対象とし、一か所毎に浸水の発生を仮定する。対象とする水密扉の配置図を第 3.1.4.2.2.28 図に示す。

b. 評価指標

水密扉からの浸水が各区画内に伝播し、必要な機器の機能喪失高さまで水位が到達することで、収束シナリオの喪失に至る。この過程を水密扉毎に分析し、最終的に収束シナリオが喪失する段階において、各区画内に滞留する水量をその水密扉の許容浸水量とする。許容浸水量が少ない扉ほど重要度が高いものとし、各水密扉の許容浸水量を比較することで、水密扉の相対的な重要度を評価する。

c. 評価の想定

今回の評価では、第1回安全性向上評価における安全裕度評価において特定したクリフエッジ津波高さである14.2m相当の津波を想定する。この状況下で必要となる炉心損傷防止対策、格納容器機能喪失防止対策及び使用済燃料ピットの燃料損傷防止対策のうち、最も耐力を有する収束シナリオに対して、水密扉からの浸水による影響を確認する。

評価にあたり、建屋内の浸水挙動は不確かさが大きいいため、溢水評価（没水影響に対する評価）に準じて静的に取り扱うものとする。また、水密扉毎に最少の浸水量で収束シナリオが喪失するように、早期に収束シナリオの喪失を引き起こす機器の設置区画へ集中的に伝播・滞留するものと仮定する。

さらに、浸水挙動の検討にあたっては、プラント・ウォークダウンを実施し、機器配置や考慮すべき伝播経路について、現場の状況を確認した。

ii 評価結果

a. 炉心損傷防止対策への影響

(a) 出力運転時

第1回安全性向上評価における安全裕度評価の結果より、最も耐力を有する収束シナリオは、第3.1.4.2.2.29図のとおり、許容津波高さが10.2mである「非常用所内電源からの給電」に依存しない収束シナリオ④から⑥である。また、当該シナリオに係る各影響緩和機能について、フロントライン系とそれに必要なサポート系の関連を整理するとともに、水密扉が健全な状態での許

容津波高さを特定した結果は第 3.1.4.2.2.20 表のとおりである。

これらの収束シナリオに対し、今回想定した各水密扉からの浸水による影響（浸水の伝播区画と喪失によりクリフエッジに至る影響緩和機能）、許容浸水量及び水密扉の重要度を順位付けした結果を第 3.1.4.2.2.21 表に示す。また、想定した浸水過程の例を第 3.1.4.2.2.30 図に示す。伝播経路としては、扉、床開口部、階段室及びエレベータシャフトを考慮した。

上記の検討に際してプラント・ウォークダウンを実施した結果、伝播経路となり得る開口部等や機器配置について、基本的に設計図書との相違は無く、浸水挙動の想定において特に注意を要する箇所は見られなかった。

建屋内の浸水による主な影響としては、「制御用空気系」や「440V AC 電源」といったサポート系の影響緩和機能の喪失が想定される。これに伴い、収束シナリオ④から⑥に共通する「補助給水による蒸気発生器への給水（タービン動）」、「主蒸気逃がし弁による熱放出（手動・現場）」に失敗することですべての収束シナリオが機能喪失し、炉心損傷に至るものと考えられる。

水密扉の重要度としては、許容浸水量を3つのグループに分類した結果、次のとおりとなった。

I : 5 m ³ 未満	4 箇所
II : 5 m ³ 以上～150m ³ 未満	8 箇所
III : 150m ³ 以上	9 箇所

(b) 運転停止時

第1回安全性向上評価における安全裕度評価の結果より、最も

耐力を有する収束シナリオは、第 3.1.4.2.2.31 図に示す収束シナリオ②である。また、当該シナリオに係る各影響緩和機能について、フロントライン系とそれに必要なサポート系の関連を整理するとともに、水密扉が健全な状態での許容津波高さを特定した結果は第 3.1.4.2.2.22 表のとおりである。

この収束シナリオに対し、(a)項と同様の評価を行った結果を第 3.1.4.2.2.23 表に示す。

建屋内の浸水による主な影響としては、出力運転時と同様に、「制御用空気系」や「440V AC 電源」といったサポート系の影響緩和機能の喪失が想定される。これに伴い、「代替格納容器スプレイポンプによる炉心への注水」、「高圧注入による再循環炉心冷却（海水）」などに失敗することで収束シナリオが機能喪失し、炉心損傷に至るものと考えられる。

水密扉の重要度としては、許容浸水量を3つのグループに分類した結果、次のとおりとなった。

I : 5 m ³ 未満	4 か所
II : 5 m ³ 以上～150m ³ 未満	11 か所
III : 150m ³ 以上	6 か所

b. 格納容器機能喪失防止対策への影響

第1回安全性向上評価における安全裕度評価の結果より、最も耐力を有する収束シナリオは、第 3.1.4.2.2.32 図に示す収束シナリオ①である。また、当該シナリオに係る各影響緩和機能について、フロントライン系とそれに必要なサポート系の関連を整理するとともに、水密扉が健全な状態での許容津波高さを特定した

結果は第3.1.4.2.2.24表のとおりである。

この収束シナリオに対し、(a)項と同様の評価を行った結果を第3.1.4.2.2.25表に示す。

建屋内の浸水による主な影響としては、炉心損傷防止対策への影響と同様に、「制御用空気系」や「440V AC 電源」といったサポート系の影響緩和機能の喪失が想定される。これに伴い、「代替格納容器スプレイポンプによる格納容器スプレイ」、「格納容器内自然対流冷却による格納容器除熱（海水冷却）」などに失敗することで収束シナリオが機能喪失し、格納容器機能喪失に至るものと考えられる。

水密扉の重要度としては、許容浸水量を3つのグループに分類した結果、次のとおりとなった。

I : 5 m ³ 未満	4 か所
II : 5 m ³ 以上～150m ³ 未満	8 か所
III : 150m ³ 以上	9 か所

c. 使用済燃料ピットの燃料損傷防止対策への影響

第1回安全性向上評価における安全裕度評価の結果より、最も耐力を有する収束シナリオは、第3.1.4.2.2.33図に示す収束シナリオ③である。また、当該シナリオに係る各影響緩和機能について、フロントライン系とそれに必要なサポート系の関連を整理するとともに、水密扉が健全な状態での許容津波高さを特定した結果は第3.1.4.2.2.26表のとおりである。

同表に示すとおり、必要な影響緩和機能は EL. 32m エリアにて実施する「中型ポンプ車による海水注水」のみであるため、水密

扉の機能喪失に伴う建屋内浸水の影響は無い。

d. まとめ

以上のとおり，水密扉の機能喪失に伴う浸水の発生から収束シナリオ喪失に至るまでの過程を分析するとともに，許容浸水量の観点から重要な水密扉を分類・特定した。水密扉から無制限の浸水を仮定した場合，最終的に収束シナリオ喪失に至る結果は変わらないものの，内包する影響緩和機能の種類や非対称性により，浸水に対する裕度は大きく異なることを確認した。

今後は，特定重大事故等対処施設の活用検討の進捗に応じて，建屋内浸水が発生した場合における同施設による影響緩和の可能性などについても考慮し，安全性向上につながる対策について引き続き検討していく。

第3.1.4.2.2.16表 フロントライン系とサポート系の関連による安全裕度向上効果
(津波：出力運転時炉心損傷)

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.2.17表 フロントライン系とサポート系の関連による安全裕度向上効果
(津波：運転停止時炉心損傷)

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.2.18表 フロントライン系とサポート系の関連による安全裕度向上効果

(津波：格納容器機能喪失)

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.2.19表 フロントライン系とサポート系の関連による安全裕度向上効果

(津波：SFP燃料損傷)

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.2.20表 フロントライン系とサポート系の関連及び各影響緩和機能の喪失に係る許容津波高さ
(水密扉浸水影響：出力運転時炉心損傷(区分2))

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.2.21表 炉心損傷防止対策（出力運転時）の評価結果

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.2.22表 フロントライン系とサポート系の関連及び各影響緩和機能の喪失に係る許容津波高さ
(水密扉浸水影響：運転停止時炉心損傷(区分2))

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.2.23表 炉心損傷防止対策（運転停止時）の評価結果

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.2.24表 フロントライン系とサポート系の関連及び各影響緩和機能の喪失に係る許容津波高さ
(水密扉浸水影響：格納容器機能喪失(区分3))

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.2.25表 格納容器機能喪失防止対策の評価結果

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.2.26表 フロントライン系とサポート系の関連及び各影響緩和機能の喪失に係る許容津波高さ
(水密扉浸水影響：SFP燃料損傷(区分3))

参考資料5に記載する。

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.2.25 図 各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さ及びクフリフェッジ評価に対する
安全裕度向上効果 (津波：出力運転時炉心損傷)

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.2.26 図 各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さ及びクリリース評価に対する
安全裕度向上効果 (津波：運転停止時炉心損傷)

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.2.27 図 各収束シナリオの機能喪失に係る許容津波高さ及びクマリフェッジ評価に対する

安全裕度向上効果 (津波：格納容器機能喪失)

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.2.28 図 評価対象の水密扉

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.2.29 図 建屋内浸水による影響を確認する収束シナリオ
(出力運転時炉心損傷(区分2))

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.2.30 図 想定した浸水過程の例

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.2.31 図 建屋内浸水による影響を確認する収束シナリオ
(運転停止時炉心損傷(区分2))

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.2.32 図 建屋内浸水による影響を確認する収束シナリオ
(格納容器機能喪失(区分3))

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.2.33 図 建屋内浸水による影響を確認する収束シナリオ
(SFP燃料損傷(区分2, 3))

3.1.4.2.3 地震と津波の重畳事象

- (3) 第2回安全性向上評価届出（評価時点：令和4年1月24日）における評価対象期間中の工事等による安全裕度評価への影響
- 第1回安全性向上評価届出の評価時点（平成30年11月28日）以降，第1回安全性向上評価における安全裕度評価の結果を踏まえて抽出した追加措置「メタクラ3D保護継電器取替」，特定重大事故等対処施設や非常用ガスタービン発電機等の工事を実施し，運用を開始した。

このため，本評価では，3.1.4.2.1(3)及び3.1.4.2.2(4)の評価結果に基づき，第1回安全性向上評価における安全裕度評価に対して，以下の工事等に伴う安全裕度向上の効果を確認する。

- ・メタクラ3D保護継電器取替
- ・特定重大事故等対処施設設置
- ・非常用ガスタービン発電機設置
- ・蓄電池（3系統目）設置

a. 炉心損傷防止対策

(a) 出力運転時

i メタクラ3D保護継電器取替

第1回安全性向上評価における安全裕度評価（地震と津波の重畳事象：出力運転時炉心損傷）をベースとした場合，第3.1.4.2.3.14図のとおり，クリフエッジ地震加速度が1.02Gから1.04Gに向上したことから，地震加速度が1.04G以上又は津波高さが14.2m以上の領域では，炉心にある燃料の重大な損傷を回避する手段がなくなるため，その境界線がクリフエッジとし

て特定された。このため、安全裕度が向上したことを確認した。

ii 非常用ガスタービン発電機設置

3.1.4.2.1(3)及び3.1.4.2.2(4)に示すとおり、地震によるクリフエッジシナリオに対して、新たな収束シナリオが3つ追加されること、津波によるクリフエッジに至る前の津波高さ区分2（10.2～14.2m未満）におけるシナリオに対して、新たな収束シナリオが3つ追加されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

iii 蓄電池（3系統目）設置

3.1.4.2.1(3)及び3.1.4.2.2(4)に示すとおり、地震によるクリフエッジシナリオに対して、サポート系の緩和機能が新たに1つ追加されること、津波によるクリフエッジに至る前の津波高さ区分2（10.2～14.2m未満）におけるシナリオに対して、サポート系の緩和機能が新たに1つ追加されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

(b) 運転停止時

i メタクラ3D保護継電器取替

第1回安全性向上評価における安全裕度評価（地震と津波の重畳事象：運転停止時炉心損傷）をベースとした場合、第3.1.4.2.3.15 図のとおり、クリフエッジ地震加速度が1.02Gから1.04Gに向上したことから、地震加速度が1.04G以上又は津波高さが14.2m以上の領域では、炉心にある燃料の重大な損傷を回避する手段がなくなるため、その境界線がクリフエッジとして特定された。このため、安全裕度が向上したことを確認した。

ii 非常用ガスタービン発電機設置

3.1.4.2.1(3)及び3.1.4.2.2(4)に示すとおり、地震によるクリフエッジシナリオに対して、新たな収束シナリオが1つ追加されること、津波によるクリフエッジに至る前の津波高さ区分2（10.2～14.2m未満）におけるシナリオに対して、新たな収束シナリオが1つ追加されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

iii 蓄電池（3系統目）設置

3.1.4.2.1(3)及び3.1.4.2.2(4)に示すとおり、地震によるクリフエッジシナリオに対して、サポート系の緩和機能が新たに1つ追加されること、津波によるクリフエッジに至る前の津波高さ区分2（10.2～14.2m未満）におけるシナリオに対して、サポート系の緩和機能が新たに1つ追加されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

b. 格納容器機能喪失防止対策

i メタクラ3D保護継電器取替

第1回安全性向上評価における安全裕度評価（地震と津波の重畳事象：格納容器機能喪失）をベースとした場合、第3.1.4.2.3.16 図のとおり、クリフエッジ地震加速度が1.02Gから1.04Gに向上したことから、地震加速度が1.04G以上又は津波高さが14.2m以上の領域では、格納容器の機能喪失を回避する手段がなくなるため、その境界線がクリフエッジとして特定された。このため、安全裕度が向上したことを確認した。

ii 特定重大事故等対処施設設置

3.1.4.2.1(3)及び3.1.4.2.2(4)に示すとおり、地震によるク

リフエッジシナリオに対して、新たな収束シナリオが7つ、サポート系の緩和機能が新たに1つ追加されること、津波によるクリフエッジに至る前の津波高さ区分2（10.2～14.2m未満）におけるシナリオに対して、サポート系の緩和機能が新たに1つ追加されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

iii 非常用ガスタービン発電機設置

3.1.4.2.1(3)及び3.1.4.2.2(4)に示すとおり、地震によるクリフエッジシナリオに対して、新たな収束シナリオが8つ追加されること、津波によるクリフエッジに至る前の津波高さ区分2（10.2～14.2m未満）におけるシナリオに対して、新たな収束シナリオが1つ追加されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

iv 蓄電池（3系統目）設置

3.1.4.2.1(3)及び3.1.4.2.2(4)に示すとおり、地震によるクリフエッジシナリオに対して、サポート系の緩和機能が新たに1つ追加されること、津波によるクリフエッジに至る前の津波高さ区分2（10.2～14.2m未満）におけるシナリオに対して、サポート系の緩和機能が新たに1つ追加されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。

c. SFPの燃料損傷防止対策

i メタクラ3D保護継電器取替

第1回安全性向上評価における安全裕度評価（地震と津波の重畳事象：SFP燃料損傷）をベースとした場合、第3.1.4.2.3.17図のとおり、クリフエッジ地震加速度が1.02Gか

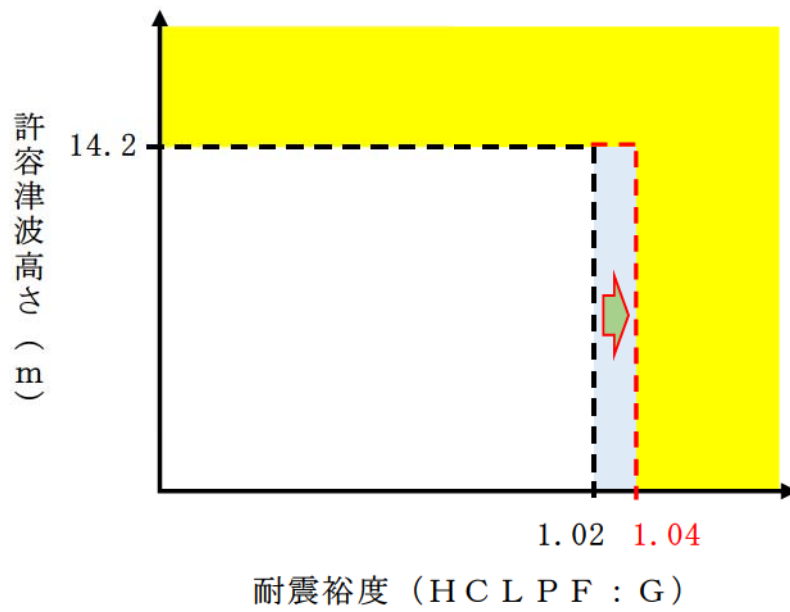
ら 1.04Gに向上したことから、地震加速度が 1.04G以上又は津波高さが 14.2m以上の領域では、炉心にある燃料の重大な損傷を回避する手段がなくなるため、その境界線がクリフエッジとして特定された。このため、安全裕度が向上したことを確認した。

ii 非常用ガスタービン発電機設置

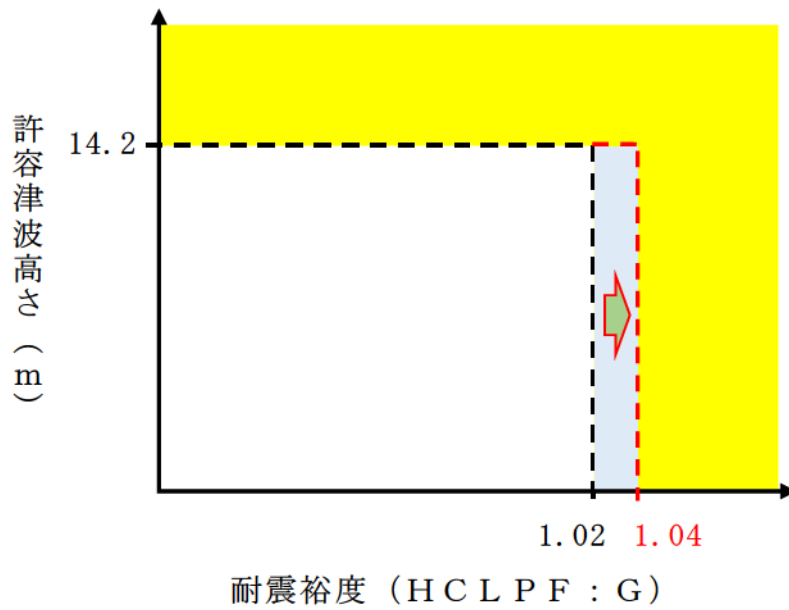
第1回安全性向上評価における安全裕度評価（地震と津波の重畳事象：SFP燃料損傷）では、代替交流電源からの給電を必要とする緩和手段がないことから、第1回安全性向上評価における安全裕度評価（地震と津波の重畳事象：SFP燃料損傷）への影響はない。

iii 蓄電池（3系統目）設置

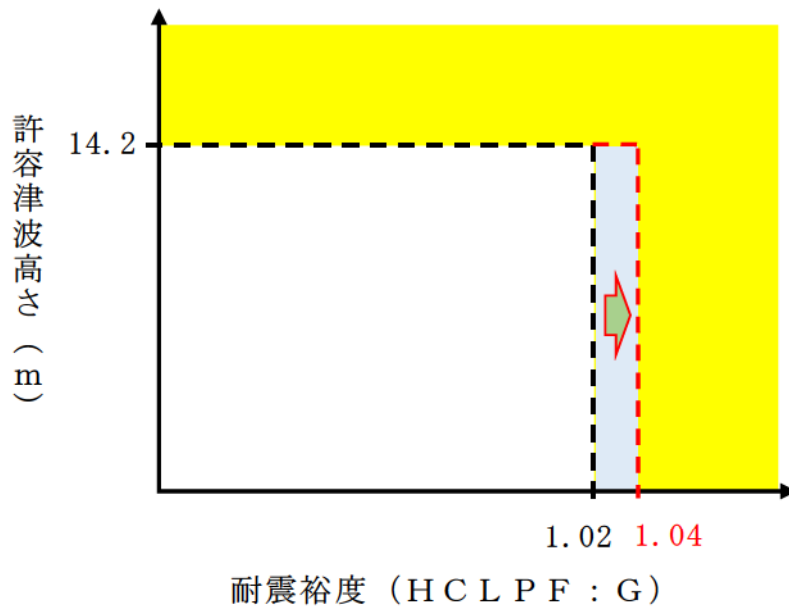
3.1.4.2.1(3)及び3.1.4.2.2(4)に示すとおり、地震によるクリフエッジシナリオに対して、サポート系の緩和機能が新たに1つ追加されること、津波によるクリフエッジに至る前の津波高さ区分2（10.2～14.2m未満）におけるシナリオに対して、サポート系の緩和機能が新たに1つ追加されることから、事故対応手段が多様化したことを確認した。



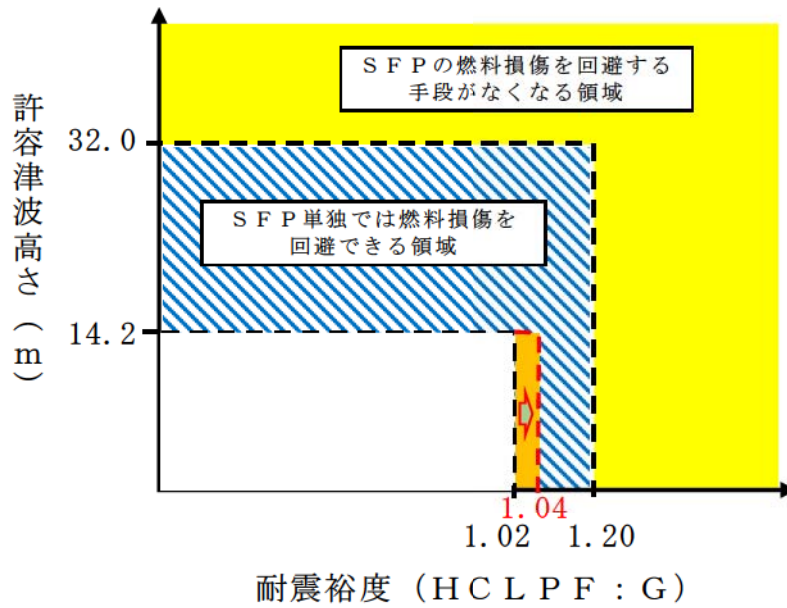
第 3.1.4.2.3.14 図 地震と津波の重畳に関するクリフエッジ評価
に対する安全裕度向上効果結果
(出力運転時炉心損傷)



第 3.1.4.2.3.15 図 地震と津波の重畳に関するクリフエッジ評価
に対する安全裕度向上効果結果
(運転停止時炉心損傷)



第 3.1.4.2.3.16 図 地震と津波の重畳に関するクリフエッジ評価
に対する安全裕度向上効果結果
(格納容器機能喪失)



第 3.1.4.2.3.17 図 地震と津波の重畳に関するクリフエッジ評価
に対する安全裕度向上効果結果
(SFP燃料損傷)

3.1.4.2.5 その他自然現象に対する安全裕度評価

本届出書では、その他自然現象に対する安全裕度評価として、火山事象に関する安全裕度評価を実施し、火山事象に対する炉心損傷防止対策等の効果を示すとともに、クリフエッジ・エフェクトを特定する。

3.1.4.2.5.1 火山事象に対する安全裕度評価

(1) 評価実施方法

火山事象の影響については、「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。）に基づき、発電所運用期間中の活動可能性を考慮すべき火山として、5火山（鶴見岳，由布岳，九重山，阿蘇，阿武火山群）を抽出し、評価条件を設定（九重山での噴出量 6.2km^3 ，降下火砕物厚さ 15cm ，気中降下火砕物濃度 3.1g/m^3 ）し、各種対策を整備している。

伊方発電所で想定される火山事象は「降下火砕物」であるため、今回の安全裕度評価では、設計上の想定である 15cm を超える層厚を仮定し、評価を実施する。

具体的には、伊方発電所に堆積する降下火砕物の層厚（層厚に比例する気中降下火砕物濃度含む）を増加させて、炉心冷却手段の限界層厚を特定する。ここで、使用済燃料ピット（以下「SFP」という。）にある燃料については、燃料取扱棟の限界層厚が 89cm ^{注1}であり、また、全交流動力電源が喪失しSFPの冷却が停止した後、SFP水が沸騰を開始し、SFP水面での線量率が遮へい設計基準（ 0.15mSv/h ）となる 3m の水位低下まで約 1.9 日^{注2}と火山事象に対して、余裕があることから評価対象外とし、今回の評価については、炉心にある燃料を対象に、出力運転中の状態に対し、実施する。

注1：建設時と同様の部材設計法による応力を用いた詳細評価

注2：平成30年12月17日付け原規規発第1812178号にて認可された保安規定の審査資料 TS(66)-02-01（改5）添付資料1 長期的な炉心冷却等の対応について

また、層厚以外の降下火砕物の特性について、今回の評価においては、降下火砕物の密度は対象火山や噴出規模に関わらず設定する値であることから、設計上の想定と同様とし、気中降下火砕物濃度については、対象火山の条件を包絡した値を用いることとする。

(別紙 3.1.4.2.5.1-1)

なお、降下火砕物の層厚を増加させた場合に考慮すべき影響因子について整理した結果、荷重と閉塞以外の影響因子については、考慮不要と判断した。

(別紙 3.1.4.2.5.1-2)

火山事象により、1次冷却材ポンプ（以下「RCP」という。）シールLOCAは発生しないことから、シナリオ上考慮しない。

a. 評価実施事項

- (a) 降下火砕物の層厚が、設計上の想定を超える程度に応じて、炉心冷却手段に関係し得る施設が損傷・機能喪失するか否かを評価する。
- (b) (a)の評価結果を踏まえて、炉心冷却手段が成立しない事象の過程を同定し、クリフエッジの所在を特定する。また、その時の降下火砕物の限界層厚を明らかにする。
- (c) 特定されたクリフエッジへの対応を含め、炉心冷却手段を成立させるための措置について検討し、その効果を示す。

b. 詳細評価方法

炉心冷却手段を対象に、第3.1.4.2.5.1.1図のクリフエッジ評価に係るフロー図に従い、以下の評価を実施する。

(a) 起回事象の選定

火山事象を起因として炉心損傷に至る事象を、これまで実施している内的事象PRA（確率論的リスク評価）での起回事象及び火山事象の影響として固有に考慮すべき事象を勘案の上、起回事象として選定する。

(b) 影響緩和機能の抽出及び収束シナリオの特定

選定した各起回事象に対して、事象の影響緩和に必要な機能を抽出し、炉心冷却手段に係るイベントツリーを作成の上、事象の進展を収束させる収束シナリオを特定する。

なお、イベントツリーは、内的事象PRAで用いられている成功基準、事故シーケンス分析の結果に基づき展開された起回事象に対するイベントツリーを基本にして作成する。

(c) 起回事象、影響緩和機能に関連する施設の抽出

抽出対象は、炉心冷却手段に関係し得る施設とする。

具体的には、(a)項にて選定した起回事象に直接関連する施設に加え、影響緩和機能に関連する施設（フロントライン系に必要な施設及びサポート系に必要な施設）について、起回事象を収束させるのに必要なものを対象として抽出する。

なお、抽出した施設のうち、建屋内に設置している施設については、ダンパを閉止することで、火山事象に対する影響を防ぐことができ、建屋が崩壊しない限り機能喪失することはないので、建屋の評価で代表させる。

(d) 起因事象，影響緩和機能に関連する施設等の火山影響の評価

(c)項で抽出した施設について，当該施設が機能維持できる限界層厚を評価する。

(e) 起因事象発生に係る限界層厚の特定

(a)項において選定した各起因事象について，(d)項で求めた各施設の限界層厚の評価結果を用いて，どの程度の降灰でどのような起因事象が発生するかを特定する。

(f) 影響緩和機能の限界層厚の特定

(e)項で求めた各起因事象発生に係る限界層厚が小さい起因事象から順に，(d)項で求めた施設の限界層厚を使用し，当該起因事象を起点とするイベントツリーの収束シナリオに含まれる影響緩和機能の限界層厚を特定する。

具体的には，各施設の限界層厚から，各影響緩和機能の限界層厚を特定する。

(g) イベントツリーの限界層厚の特定

イ. (f)項で求めた各収束シナリオの影響緩和機能の限界層厚から，各収束シナリオの限界層厚を特定する。

限界層厚は，収束シナリオに必要な各影響緩和機能の限界層厚のうち，最も小さいものとする。

ロ. 収束シナリオの限界層厚から，起因事象を起点とするイベントツリーの限界層厚（以下「イベントツリーの限界層厚」という。）を特定する。

当該イベントツリーの限界層厚は，収束シナリオが複数ある場合には，各シナリオの限界層厚のうち，最も大きい

ものとする。

(h) クリフエッジの特定

起回事象発生に係る限界層厚が小さいイベントツリーから順に、起回事象発生に係る限界層厚と(g)項で求めたイベントツリーの限界層厚を比較することにより、クリフエッジを特定する。

イベントツリーの限界層厚が、次の起回事象発生に係る限界層厚未満になる場合には、当該イベントツリーの限界層厚がクリフエッジとなる。

(i) 事象の過程の進展を防止する措置の効果の評価

事象の過程の進展を防止する措置を検討し、その前後のクリフエッジを比較することで、その効果を評価する。

c. 評価条件

評価条件は、以下のとおりとする。

(a) 降下火砕物の特性等について

イ. 伊方発電所への降下火砕物の影響が継続する時間は火山ガイドを参照し、24時間で全ての降下火砕物が降灰すると仮定する。そのため、層厚の増加に比例して気中降下火砕物濃度も増加するとして評価を行う。

ロ. 今回の評価においては、降下火砕物の密度は対象火山や噴出規模に関わらず設定する値であることから、設計上の想定と同様とし、気中降下火砕物濃度については、対象火山の条件を包絡した値を用いることとする。

ハ. 火山の噴火から伊方発電所への降灰が始まるまでの時

間は、設計時に想定した噴火地点から伊方発電所までの距離と発電所方向への水平方向の最大風速から算出した降灰到達時間と同じ80分とする。

なお、平成28年10月8日の阿蘇山中岳第一火口噴火での伊方発電所降灰到達時間は174分であった。

- ニ. 降下火砕物の降灰量と気中降下火砕物濃度は、降灰開始から24時間一定とする。

(b) 成功基準等について

- イ. 火山事象収束後には、電源の復旧が期待でき、それ以降に低温停止に移行させることが可能であることから、本評価においては、炉心の未臨界性が確保され、降灰開始後から24時間、高温停止状態が維持される状態を炉心冷却成功の判断基準とする。

- ロ. 屋内施設を内包する建屋が限界層厚を超えた場合は直ちに炉心損傷に至るものとする。（屋内施設の限界層厚について、現実的には施設が設置されている建屋が限界層厚を超えたとしても直ちに機能喪失するとは考え難いものの、今回の評価においては、保守的に屋内施設の限界層厚を内包する建屋の限界層厚と同じとする。）

(c) 施設評価について

- イ. 屋外施設のうち、降灰時に機能を期待しない施設（空冷式非常用発電装置、非常用ガスタービン発電機等）については、本評価でも期待しない。
- ロ. 降下火砕物の影響で停止した施設については、降灰時に機能回復することを期待しない。

(d) 手順書の考慮について

- イ. クリフエッジの特定にあたっては、降下火砕物の降灰時に備えて予め整備された手順に従った対応を前提とし、手順書に明記された以外の行動には期待しない。

(2) 評価結果

a. 起回事象の選定結果

(a) 内的事象P R Aを考慮した起回事象の検討

これまで評価を実施している内的事象P R Aにおける起回事象をベースに検討した。

その結果、火山事象を起因として炉心損傷に至る起回事象として、第3.1.4.2.5.1.1表により、「外部電源喪失」及び「補機冷却水の喪失」（以下「CCW喪失」という。）の2事象を選定した。

(b) 火山影響を検討する上で固有に考慮すべき起回事象の検討

火山事象固有のプラントへの影響としては、降灰に伴う外的要因により建屋が崩壊し、「炉心損傷直結」となる事象が考えられる。その他、送電系統への影響や海水取水系統への影響などを考慮する必要があるが、展開される事故シーケンスが同様となることから、起回事象としては、それぞれ「外部電源喪失」と「CCW喪失」で代表することができる。

以上のことから、以下の3事象を、火山の影響により発生を考慮すべき事象として選定した。

- ・ 外部電源喪失

- ・ CCW喪失
- ・ 炉心損傷直結

b. 影響緩和機能の抽出及び収束シナリオの特定結果

上記の各起因事象について、事象の影響緩和に必要な機能を抽出して第3.1.4.2.5.1.2図のとおりイベントツリーを作成し、収束シナリオを特定した。

なお、「炉心損傷直結」については、影響緩和機能に期待せず、炉心損傷に至るとみなすことから、イベントツリーは作成していない。

c. 起因事象、影響緩和機能に関連する施設の抽出結果

起因事象及び影響緩和機能（フロントライン系及びサポート系）に関連する施設を抽出した。

d. 起因事象、影響緩和機能に関連する施設等の火山影響の評価結果

c.項で抽出した施設について、当該施設が機能維持できる限界層厚を評価した。

e. 起因事象発生に係る限界層厚の特定結果

各起因事象について、各施設の限界層厚の評価結果を用いて、どの程度の降灰でどの起因事象が発生するか、第3.1.4.2.5.1.2表のとおり特定した。

f. 影響緩和機能の限界層厚の特定結果

イベントツリーに係る各影響緩和機能について、d.項で求めた各施設の限界層厚から、各影響緩和機能の限界層厚を第3.1.4.2.5.1.3表のとおり評価した。

g. イベントツリーの限界層厚の特定

f.項で求めた各収束シナリオの影響緩和機能の限界層厚から、後記するような事象の過程の進展を防止する措置を講じない場合の各収束シナリオの限界層厚を第3.1.4.2.5.1.3図のとおり特定した。

具体的には、まず、起回事象の限界層厚0cmの「外部電源喪失」のイベントツリーの限界層厚を求めた。火山事象発生に伴い、外部電源喪失が発生すると、層厚19cmで非常用ディーゼル発電機の火山灰フィルタが閉塞し、非常用ディーゼル発電機からの給電に失敗するため、タービン動補助給水ポンプによる蒸気発生器への給水に移行する。次に、タービン動補助給水ポンプによる蒸気発生器への給水では、層厚25cmで2次系純水タンクが構造損傷し水源を失い、かつ、中型ポンプ車等を設置しているタービン建屋（脱気器）の限界層厚は24cmで層厚25cm時には中型ポンプ車及び加圧ポンプ車による蒸気発生器への給水には移行できないため炉心損傷に至る。

よって、外部電源喪失のイベントツリーの限界層厚は、25cmである。また、外部電源喪失の次に発生する起回事象は、層厚70cmの「CCW喪失」及び「炉心損傷直結」であるが、外部電源喪失のイベントツリーの限界層厚が25cmであり、「CC

W喪失」及び「炉心損傷直結」が発生する前に炉心損傷に至ることから、これらの起因事象は評価不要である。

h. クリフエッジの特定

火山事象に対するクリフエッジは、外部電源喪失のイベントツリーの限界層厚 25cm であり、これは、2次系純水タンクの構造損傷の発生に伴い炉心冷却に失敗するシナリオによるものである。また、非常用ディーゼル発電機についても、限界層厚が 19cm であり、クリフエッジではないものの、限界層厚が小さいことを特定した。

i. 事象の過程の進展を防止する措置の効果の評価結果

h. 項で特定したとおり、2次系純水タンク及び非常用ディーゼル発電機については、限界層厚が小さい。そこで、以下の事象の過程の進展を防止する措置を検討した。

(a) 2次系純水タンク

2次系純水タンクの限界層厚は除灰量を基に評価している。除灰量は、人的要因（除灰要員数・除灰速度）で決まることから、これら人的要因を整理し、代表的な2ケースについて事象の過程の進展を防止する措置を検討し、限界層厚を算出した。

その結果、参集要員を2次系純水タンクの除灰に優先的に配員することで、限界層厚は 52cm～74cm 程度に向上する。

(別紙 3.1.4.2.5.1-3)

(b) 非常用ディーゼル発電機

非常用ディーゼル発電機が2基同時停止することは考え難いため、降下火砕物の影響により停止した非常用ディーゼル発電機の要員を含め、運転側非常用ディーゼル発電機の火山灰フィルタ取替え・清掃に注力することで、61cmまで閉塞せず運転を継続できるが、吸気消音器の上部に堆積した降下火砕物の荷重による影響においては限界層厚が45cmであるため、保守的に非常用ディーゼル発電機の限界層厚を45cmとする。

(別紙 3.1.4.2.5.1-4)

これらの措置を講じることで、第3.1.4.2.5.1.4図に示すとおり、層厚45cmまで電源を維持し、複数の炉心冷却手段を確保することができるとともに、クリフエッジが層厚52cm～70cm程度まで引き上げられ、プラント全体の安全性が向上する。

なお、高濃度の降下火砕物環境下での作業性について、「平成30年12月17日付け原規規発第1812178号にて認可された保安規定の審査資料TS(66)-02-01(改5) 別紙4 作業の成立性について」において確認した項目の観点で検討し、第3.1.4.2.5.1.4表に示すとおり、問題ないことを確認している。

(3) 評価における定性的な保守性

今回の火山事象に対する安全裕度評価は、決定論的な考え方に基づき、一定の条件下で定量化可能な範囲で実施した。

参集要員の参集時間や非常用ディーゼル発電機吸気量等に定量化が困難な保守性もあることから、今回の評価結果は更に余裕があると考えられる。

(別紙 3.1.4.2.5.1-5)

また、今回の安全裕度評価では、伊方発電所への降下火砕物の影響が継続する時間は火山ガイドを参照し、24時間ですべての降下火砕物が降灰すると仮定し、補助給水タンク及び2次系純水タンクを水源とした評価を実施したが、伊方発電所には、これらのタンク以外の水源も考慮した場合、全交流動力電源喪失時に原子炉を冷却することが可能な水源の量を単純に評価すると約20日分（1，2号機用の水源も考慮すると約65日分）^{注3}の様々な水源を有している。加えて、令和3年2月8日に非常用ガスタービン発電機を運用開始し、当該設備を設置している建屋の地下に貯水槽を設置した。この対応により、降下火砕物に対して更に強固な水源として約6日分追加（1，2号機用の水源も考慮した場合は約8日分追加）でき、合計で約26日分（1，2号機用の水源も考慮すると約73日分）の水源を確保できた。本評価結果を第3.1.4.2.5.1.5図に示す

注3：平成29年6月22日 降下火砕物の影響評価に関する検討チーム第3回会合 資料1-1-1 降下火砕物濃度に対するプラントの影響評価（PWR）

これらの定性的な保守性を理解すれば、事象の進展を適切に予測でき、原子力防災管理者等の判断の根拠として助けとなり有用である。

(4) まとめ

決定論的な考え方に基づき、伊方発電所への降下火砕物の影響が継続する時間は火山ガイドを参照し、24時間ですべての降下火砕物が降灰すると仮定して、定量化可能な範囲で火山事象に対する安全裕度評価を実施し、クリフエッジを特定し改善点を抽出した。

具体的には、事象の過程の進展を防止する措置を講じない場合のクリフエッジは、2次系純水タンクの構造損傷に起因する層厚25cmであるが、人員を適切に配員すること等で、本タンクの構造損傷を防止することができ、クリフエッジを層厚52cm～70cmまで向上させることができることを確認した。

また、非常用ディーゼル発電機の火山灰フィルタ取替え・清掃作業についても運用を改善することで、61cmまで閉塞せず運転を継続できるが、吸気消音器の上部に堆積した降下火砕物の荷重による影響においては限界層厚が45cmであるため、層厚45cmまで電源を維持し、複数の炉心冷却手段を確保することができることを確認した。

これらの事象の過程の進展を防止する措置については、整備済みの手順に影響を及ぼす内容ではないが、内規等に明記することで、各収束シナリオの確実性を高めることができることから、令和2年10月に内規等に反映した。

第3.1.4.2.5.1.1表 火山事象を起因とした炉心損傷に至る起回事象

内的事象PRAにおける起回事象 〔3.1.3.1.1.2(i)c.(d) 選定した起回事象〕より	発生可能性 の有無	検討内容
1. 原子炉容器破損	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
2. 大破断LOCA	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
3. 中破断LOCA	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
4. 小破断LOCA	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
5. 加圧器逃がし弁/安全弁LOCA	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
6. 極小LOCA	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
7. インターフェイスシステムLOCA (余熱除去系)	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
8. インターフェイスシステムLOCA (充てん/抽出のアンバランス)	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
9. インターフェイスシステムLOCA (余熱除去系及び充てん/抽出のアンバランス以外)	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
10. 1次冷却材ポンプ封水リーク	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
11. 主給水流量喪失	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
12. 負荷の喪失	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
13. 主蒸気隔離弁の誤閉止 (1又は2弁)	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
14. 主蒸気隔離弁の誤閉止 (全弁)	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
15. 過渡事象1 (加圧器逃がし弁作動無)	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
16. 過渡事象2 (加圧器逃がし弁作動有)	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
17. 主給水管破断	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
18. 主蒸気管破断 (主蒸気隔離弁上流)	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
19. 主蒸気管破断 (主蒸気隔離弁下流)	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
20. 蒸気発生器伝熱管破損	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
21. 外部電源喪失	有	外部電源喪失シナリオとして考慮
22. 制御用空気系の部分喪失	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
23. 制御用空気系の全喪失	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
24. 原子炉補機冷却水系の部分喪失 (A又はBヘッド)	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
25. 原子炉補機冷却水系の部分喪失 (Cヘッド)	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
26. 原子炉補機冷却水系の全喪失	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
27. 原子炉補機冷却海水系の部分喪失	有	補機冷却水の喪失シナリオとして考慮
28. 原子炉補機冷却海水系の全喪失	有	補機冷却水の喪失シナリオとして考慮
29. 安全系高圧交流母線の部分喪失	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
30. 安全系高圧交流母線の全喪失	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
31. 安全系低圧交流母線の部分喪失	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
32. 安全系低圧交流母線の全喪失	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
33. 安全系直流母線の部分喪失	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
34. 安全系直流母線の全喪失	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
35. 安全系計装用母線の部分喪失	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
36. 安全系計装用母線の全喪失	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
37. 中央制御室空調系の喪失	有	各シナリオの緩和系イベントツリーにおいて考慮する。
38. 安全補機閉器室空調系の部分喪失	有	各シナリオの緩和系イベントツリーにおいて考慮する。
39. 安全補機閉器室空調系の全喪失	有	各シナリオの緩和系イベントツリーにおいて考慮する。
40. 空調用冷水系の部分喪失	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
41. 空調用冷水系の全喪失	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
42. 手動停止	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
43. ATWS 1 (タービントリップが必要な事象)	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。
44. ATWS 2 (タービントリップが不要な事象)	無	関連施設が屋内に設置されていることから発生しない。

第3.1.4.2.5.1.2表 各起回事象の対象施設及び限界層厚

起回事象	施設	限界層厚
外部電源喪失	工学的判断※	0 cm
CCW喪失	原子炉建屋	70cm
炉心損傷直結	原子炉建屋	70cm

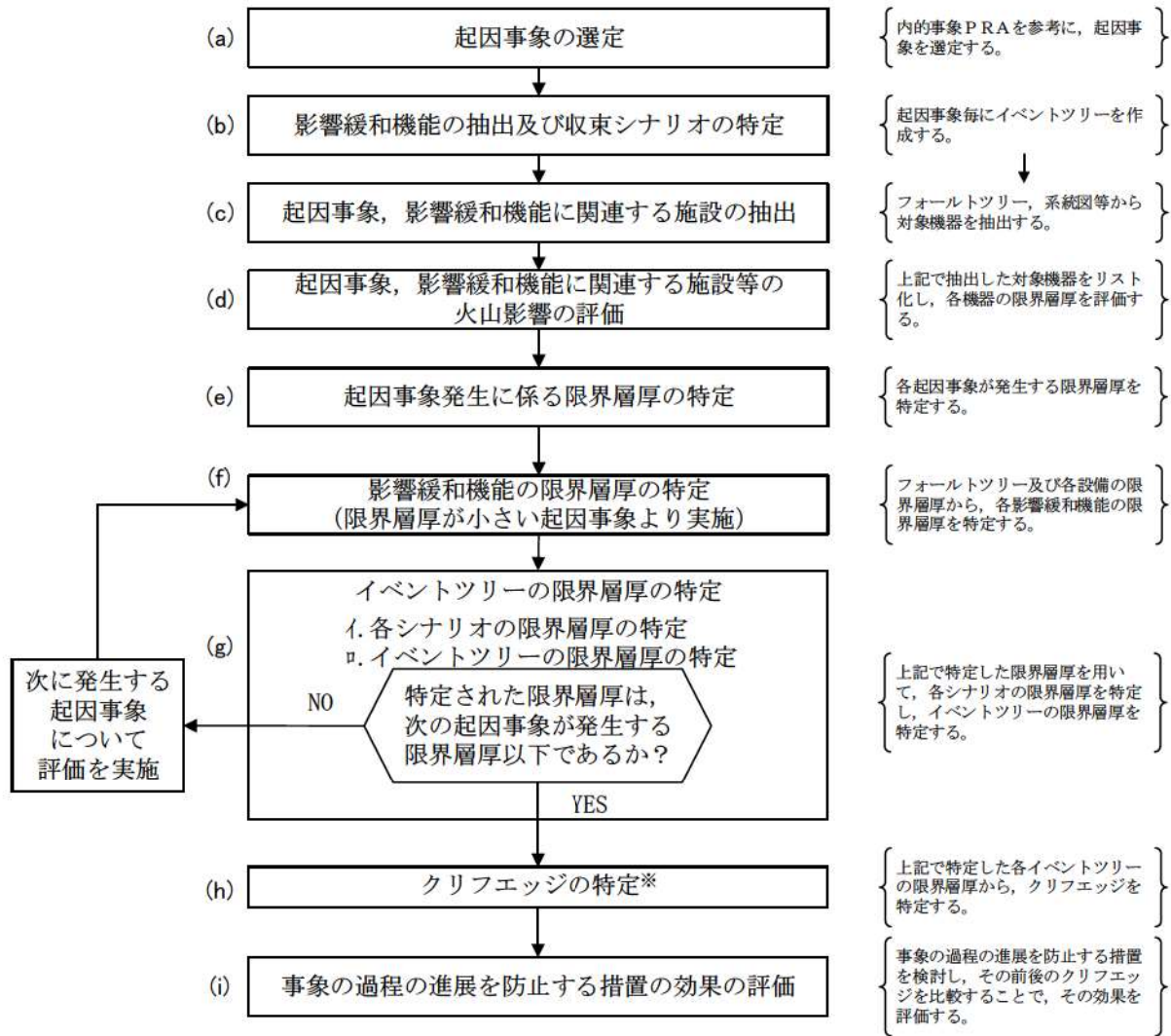
※ 発電所外部の設備である外部電源は、降灰時には保守的に期待しないと想定する。

第3.1.4.2.5.1.3表 フロントライン系とサポート系の関連表（火山：出力運転時炉心損傷）

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.5.1.4表 高濃度の降下火砕物環境下での作業性の検討結果

検討内容	火山灰ファイルタ取替え・清掃	2次系純水タンクの除灰作業
アクセス性	作業エリアまでのアクセス通路等には手すり等が設置されており、夜間においても、ヘッドライト等を携行していることから、高濃度の降下火砕物環境下でもアクセス可能である。	同左
作業環境	作業エリアには、作業を行う上で支障となる設備はなく、作業員はヘッドライト等を携行し、ランタンを設置することから、高濃度の降下火砕物環境下でも作業は実施可能である。 なお、降灰時の視界についても確認を行っており、問題なく作業できる見込みである。	同左
作業性	【装備】 作業時は、作業着を着用の上、ヘルメット、ゴーグル、マスク、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。 【資機材】 降灰の影響を受けないよう養生蓋や清掃ボックスを使用することとしており、高濃度の降下火砕物環境下でも作業は実施可能である。	同左 【装備】 【資機材】 角型コンパクトショベル（スコップ型）やほうき（T型）を使用する。除灰で使用する資機材は特殊なものではなく、一般的な作業であることから、高濃度の降下火砕物環境下でも作業可能である。
連絡手段	中央制御室や緊急時対策所（EL.32m）と通話可能な、バッテリー内蔵型や有線系の設備を複数手段確保している。また、隣接する建屋内に移動すれば通信手段の確保が可能である。	中央制御室や緊急時対策所（EL.32m）と通話可能な、バッテリー内蔵型や有線系の設備を複数手段確保している。なお、高濃度の降下火砕物の影響で通信が出来ない場合でも、付近の緊急時対策所（EL.32m）に直接アクセスすることが可能である。



※ 各イベントツリーの限界層厚のうち, 最も小さいものが, クリフエッジとなる。

第 3.1.4.2.5.1.1 図 クリフエッジ評価に係るフロー図

起因事象:外部電源喪失
起因事象:補機冷却水の喪失

参考資料5に記載する。

起因事象：外部電源喪失

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.5.1.3 図 各起因事象におけるイベントツリーの限界層厚評価結果

起因事象：外部電源喪失

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.5.1.4 図(1/4) 事象の過程の進展を防止する措置実施後の限界層厚評価結果
(2次系純水タンクの事象の過程の進展を防止する措置(ケース1-1)適用)

起因事象：外部電源喪失

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.5.1.4 図(2/4) 事象の過程の進展を防止する措置実施後の限界層厚評価結果
(2次系純水タンクの事象の過程の進展を防止する措置(ケース1-2)適用)

起因事象：外部電源喪失

参考資料5に記載する。

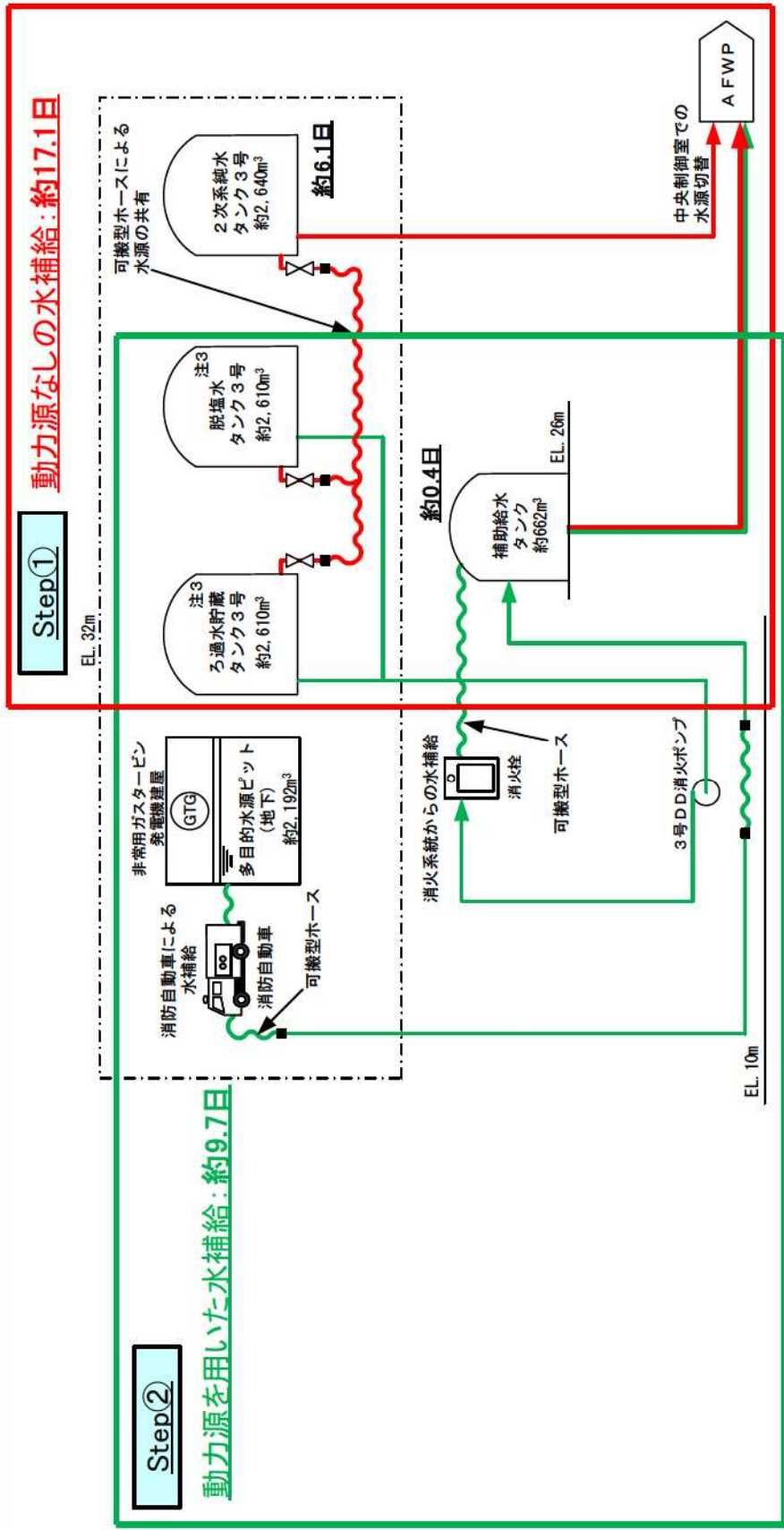
第3.1.4.2.5.1.4 図(3/4) 事象の過程の進展を防止する措置実施後の限界層厚評価結果
(2次系純水タンクの事象の過程の進展を防止する措置(ケース2-1)適用)

起因事象:外部電源喪失

参考資料5に記載する。

第3.1.4.2.5.1.4 図(4/4) 事象の過程の進展を防止する措置実施後の限界層厚評価結果
(2次系純水タンクの事象の過程の進展を防止する措置(ケース2-2)適用)

全交流動力電源喪失時に発電所構内の水源を用いて水補給が可能な期間は、約26.8日 注1, 2

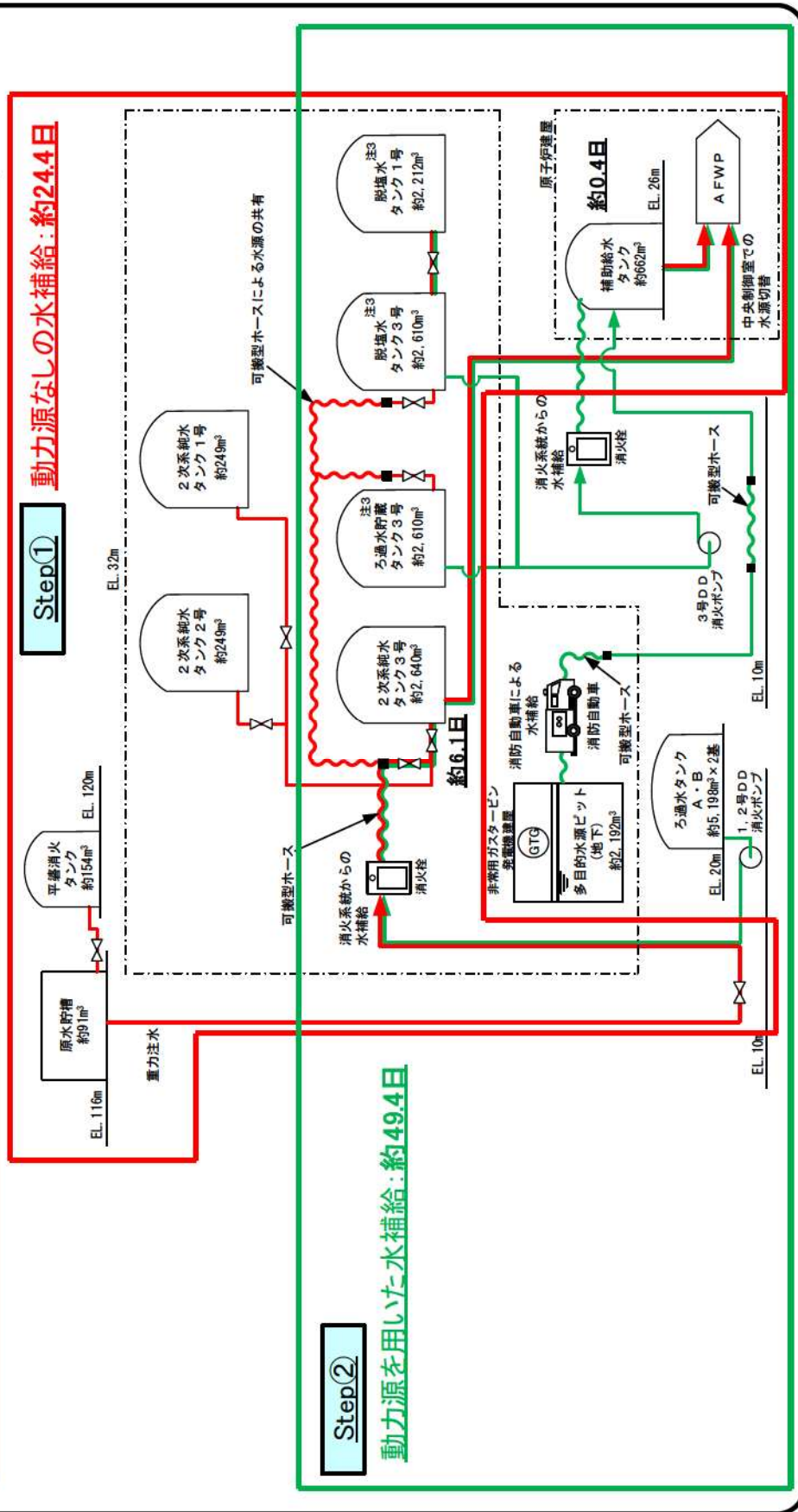


Step 3 更なる対応として、万一水源枯渇の場合には中型ポンプ車を用いて海水補給

注1: 水源については、降下火砕物の層厚増加の進展状況によっては除灰が必要となるタンクや、可搬型設備を使用する必要のある水源もあるが、それらの降下火砕物環境下での詳細な状況は考慮せず単純に水源の量を評価しているため、降下火砕物のその時々々の環境変化の状況に応じて、適切な水源を準備・選択することが重要である。
 注2: 全交流動力電源喪失時のタービン動補助給水ポンプ等を用いた長期的な炉心冷却の対応については、平成30年12月17日付け原規規発第1812178号にて認可された保安規定の審査資料 TS(66)-02-01(改5) 添付資料1 長期的な炉心冷却等の対応についてを参照。
 注3: 可搬型ホース接続配管の立ち上がり高さと消火ポンプ取出管台高との違いにより、動力源を用いなければ更に給水可能なタンク。

第 3.1.4.2.5.1.5 図 (1/2) 全交流動力電源喪失時に発電所構内の水源を用いて水補給が可能な期間 (3号機用の水源を考慮した場合)

1. 2号機用の水源も考慮した場合の
全交流動力電源喪失時に発電所構内の水源を用いて水補給が可能な期間は、約73.8日 注1, 2



注1: 水源については、降下火砕物の層厚増加の進展状況によっては除灰が必要なタンクや、可搬型設備を使用する必要がある水源もあり、また、1, 2号機の水源は現状の水源の量であるが、それらの降下火砕物環境下での詳細な状況は考慮せずに評価しているため、降下火砕物のその時々々の環境変化の状況に応じて、適切な水源を準備・選択することが重要である。
 注2: 全交流動力電源喪失時のタービン動補給水ポンプ等を用いた長期的な炉心冷却の対応については、平成30年12月17日付け原規規発第1812178号にて認可された保安規定の審査資料 TS(66)-02-01 (改5) 添付資料1 長期的な炉心冷却等の対応についてを参照。
 注3: 可搬型ホース接続配管の立ち上がり高さと消火ポンプ取出口高さの違いにより、動力源を用いれば更に給水可能なタンク。

第 3.1.4.2.5.1.5 図 (2/2) 全交流動力電源喪失時に発電所構内の水源を用いて水補給が可能な期間 (1, 2号機用の水源も考慮した場合)

別紙 3.1.4.2.5.1-1

降下火砕物に係る安全裕度評価の評価条件の設定について

平成 27 年 7 月 15 日付け原規規発第 1507151 号にて許可された設置変更許可及び平成 30 年 12 月 17 日付け原規規発第 1812178 号にて認可された伊方発電所原子炉施設保安規定（以下、これらをあわせて「既許可」という。）に基づき、敷地において考慮すべき降下火砕物の層厚を保守的に 15cm と評価している。今回の安全裕度評価では、設計上の想定である 15cm を超える層厚を仮定し、評価を実施することから、層厚以外の降下火砕物に係る安全裕度評価の評価条件を検討する。

1. 既許可における降下火砕物の評価条件

安全裕度評価の評価条件を検討する前に、既許可における降下火砕物の評価条件を整理する。既許可において、伊方発電所に影響を及ぼし得る火山を抽出した上で、文献調査、地質調査、降下火山灰シミュレーションを実施し、降下火砕物の評価条件を設定した。

降下火砕物の評価の概要を第 1.1 図に示す。

2. 安全裕度評価における降下火砕物の評価条件

前述した既許可における降下火山灰シミュレーションでは、風向の不確かさ（九重山から敷地向きの風）を考慮したケースにおいて敷地での降灰が最も厳しくなる。そこで、安全裕度評価として、この最も厳しいケースから更に層厚を増加させた場合の炉心冷却手段の限界を特定する。層厚を増加させた場合、前述の既許可の評価条件のうち、層厚に基づい

て算定される気中降下火砕物濃度も高くなる関係にある。「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。）に示された降下火砕物の気中降下火砕物濃度の算定手法によると、既許可の気中降下火砕物濃度は、降下火山灰シミュレーションによる敷地における降下火砕物の粒径分布に基づき、粒径ごとの降灰量に応じた気中降下火砕物濃度の積算から算出されている。今回の検討において、粒径分布は層厚の増加に関わらず一定であることから、気中降下火砕物濃度は層厚と比例関係となる（第2.1図）。なお、実際は噴出量が大きくなった場合に敷地での層厚が比例倍で大きくなるわけではないものの、今回の検討にあたっては安全裕度評価として、層厚と気中降下火砕物濃度が仮想的に大きくなるケースを想定するため、敷地での降灰が噴出量に比例して厚くなるものとした。

一方、降下火山灰シミュレーションによる粒径分布は、評価地点から遠方の火山を給源とするほど細粒になる傾向がある。火山ガイドに示された気中降下火砕物濃度の算定手法によると、同じ層厚の場合には細粒分が多いほど気中降下火砕物濃度が高くなる。今回の検討のように層厚を増加させて限界を特定する場合、同じ層厚に対応する気中降下火砕物濃度が高い方が、施設への影響が大きい。そのため、敷地から見て偏西風の風上に位置する九州において、地理的領域内（敷地から160km内）に分布する発電所運用期間中の活動可能性を考慮すべき火山のうち、最も遠方に位置する阿蘇（敷地から約130km）についても、降下火砕物の層厚と気中降下火砕物濃度の関係を検討する。

阿蘇を給源とする降下火山灰シミュレーションにあたっては、まず既許可で設定したパラメータを踏襲した上で、最も厳しい不確かさケースを考慮する観点から既許可における九重山から敷地向きの風の合成方法

に倣って阿蘇から敷地向きの風を合成した上で解析を実施する（第2.1表）。降下火山灰シミュレーションの結果、敷地での層厚は約3.2cm

（第2.2図）、気中降下火砕物濃度は $0.8\text{g}/\text{m}^3$ （第2.2表）となり、層厚と気中降下火砕物濃度は第2.3図に示すような比例関係にある。また、第2.1図と第2.3図を比較すると、阿蘇を給源とする降下火砕物の方が同じ層厚に対する気中濃度が高くなる。

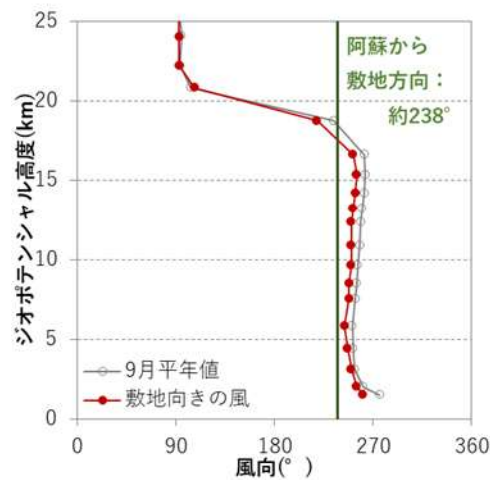
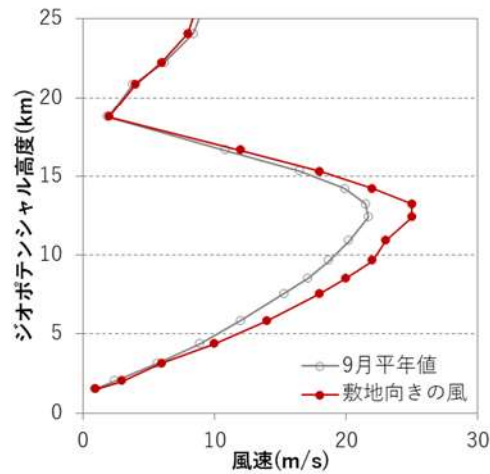
上記を踏まえ、気中降下火砕物濃度の影響を評価する場合は、降下火砕物の層厚から気中濃度を算定する際、阿蘇を給源とする降下火砕物の気中濃度が伊方発電所に影響を及ぼし得る他の火山を給源とする降下火砕物の気中濃度を包絡するため、阿蘇を給源とする降下火砕物の層厚と気中濃度の関係に基づき、安全裕度評価を実施する。

3. 降下火砕物の層厚の確率論的評価

既許可において参照した火山灰層厚の確率論的評価に関し、許可後、敷地に近い宇和盆地における火山灰層厚の調査結果が国際学術誌に査読論文（Tsuji et al., 2018）として公表された（第3.1図）。信頼性が高いとされる約33万年前以降のデータに基づけば、最大層厚は始良カルデラを給源とするAT火山灰の38cmであり、層厚約40cmを超えるような降灰は認められない。大西ほか(2019)によるTsuji et al. (2018)に基づいた火山灰層厚の確率論的評価では、敷地における設計層厚15cmの年超過確率は $10^{-4}\sim 10^{-5}$ であり、設計の妥当性が改めて裏付けられるとともに、敷地における層厚約40cmの年超過確率は $10^{-5}\sim 10^{-6}$ 程度と極低頻度の事象である（第3.2図）。

第2.1表 阿蘇から敷地向きの風を想定した
降下火山灰シミュレーションのパラメータ

パラメータ	単位	値
噴出量	km ³	2.39
噴煙柱高度	m	25000
平均粒径	mm	1/2 ^{4.5}
粒径分散	mm	1/2 ^{3.0}
給源（北緯）	-	32° 53' 1"
給源（東経）	-	131° 5' 49"
給源（標高）	m	1506
Fall Time Threshold	s	3600
岩石密度	t/m ³	2.6
軽石粒子密度	t/m ³	1.0
拡散係数	-	200
渦拡散係数	-	0.04
最大粒径	mm	1/2 ⁻¹⁰
最小粒径	mm	1/2 ¹⁰
風向	m/s	敷地 向きの風
風速	°	



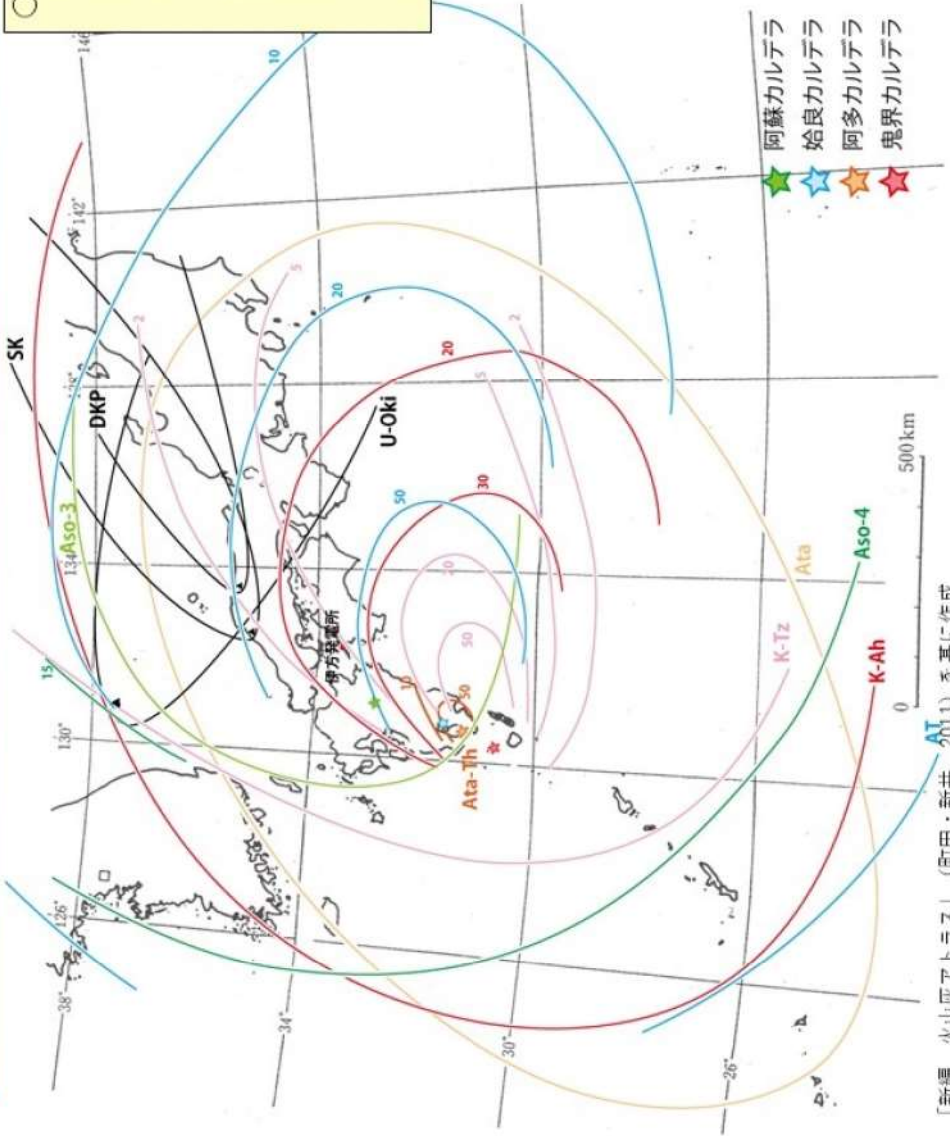
第2.2表 阿蘇から敷地向きの風を想定した敷地の気中降下火砕物濃度

入力条件/計算結果		備考
想定層厚	3.2cm	想定層厚
総降灰量 W_T	32,000g/m ²	想定層厚×降下火砕物密度1g/cm ³
降灰継続時間 t	24h	Carey and Sigurdsson(1989)参考
粒径 i の割合 p_i	下表参照	
粒径 i の降灰量 W_i		
粒径 i の堆積速度 v_i		
粒径 i の終端速度 r_i		
粒径 i の気中濃度 C_i		
気中降下火砕物濃度 C_T	0.8g/m ³	計算結果を保守的に切り上げ

粒径 i ϕ (μ m)	-1~0 (1,414)	0~1 (707)	1~2 (354)	2~3 (177)	3~4 (88)	4~5 (44)	5~6 (22)	6~7 (11)	合計
割合 P_i (wt%)	0.00	0.02	23.03	61.09	13.02	2.60	0.23	0.01	100
降灰量 W_i (g/m ²)	0	5.4×10^0	7.4×10^3	2.0×10^4	4.2×10^3	8.3×10^2	7.4×10^1	2.6×10^0	$W_T=32,000$
堆積速度 v_i (g/s・m ²)	0	6.3×10^{-5}	0.09	0.23	0.05	9.6×10^{-3}	8.5×10^{-4}	3.0×10^{-5}	-
終端速度 r_i (m/s)	2.5	1.8	1.0	0.5	0.35	0.1	0.03	0.01	-
気中濃度 C_i (g/m ³)	0.00	0.00	0.09	0.45	0.14	0.10	0.03	0.00	$C_T=0.80$

評価に用いる降下火砕物の厚さ①<文献調査(1/3)>

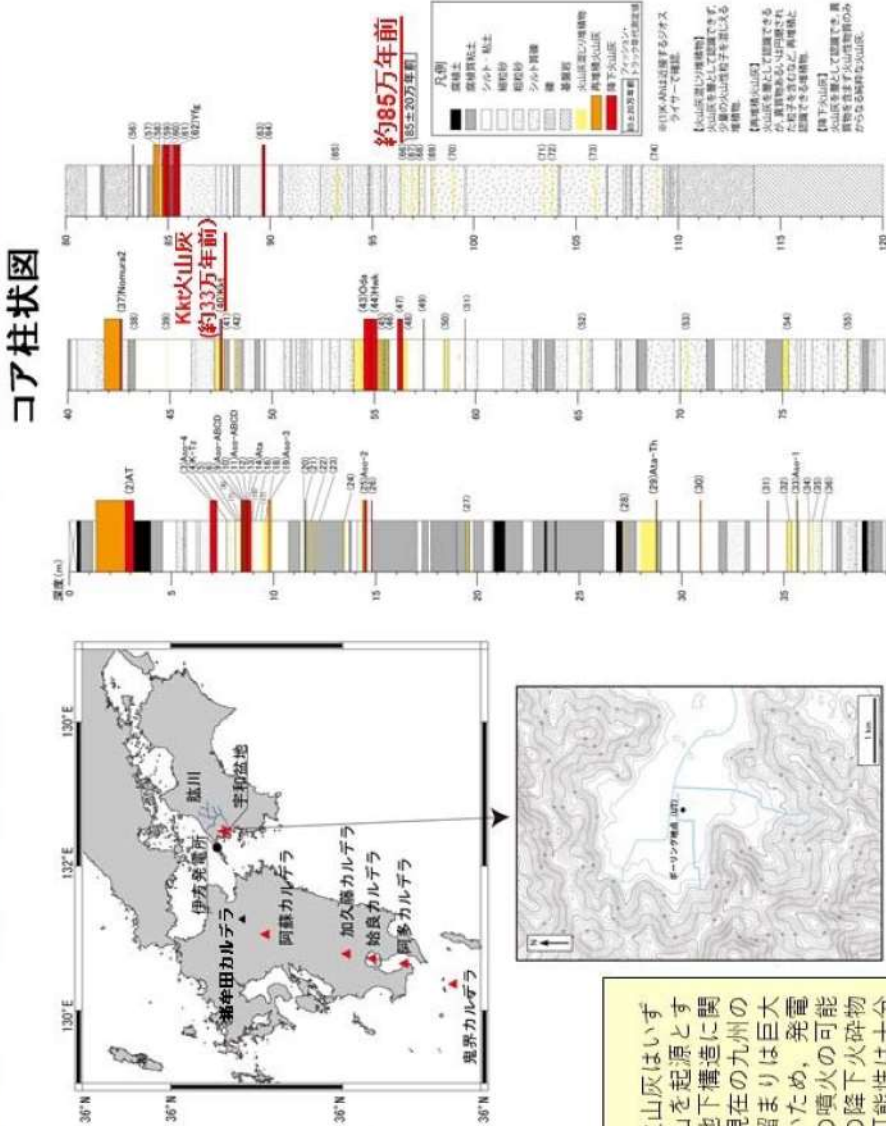
○四国に火山は分布しないものの、偏西風の影響を受けて九州のカルデラ火山を起源とする広域火山灰(K-Ah, AT, Aso-4, Ata等)が敷地付近に降下しているが、発電所運用期間中に厚い火山灰を降下させる巨大噴火の可能性は十分低い。



第 1.1 図(1) 既許可における降下火砕物の評価の概要

評価に用いる降下火砕物の厚さ②<文献調査(2/3)>

○町田・新井(2011)等で四国西部に降下したとされるKkt火山灰(約33万年前)以降の主要な広域火山灰はすべて本コア中に含まれており、地理的領域外の火山を含めた九州のカルデラ火山による広域火山灰の信頼性の高い地質データである。

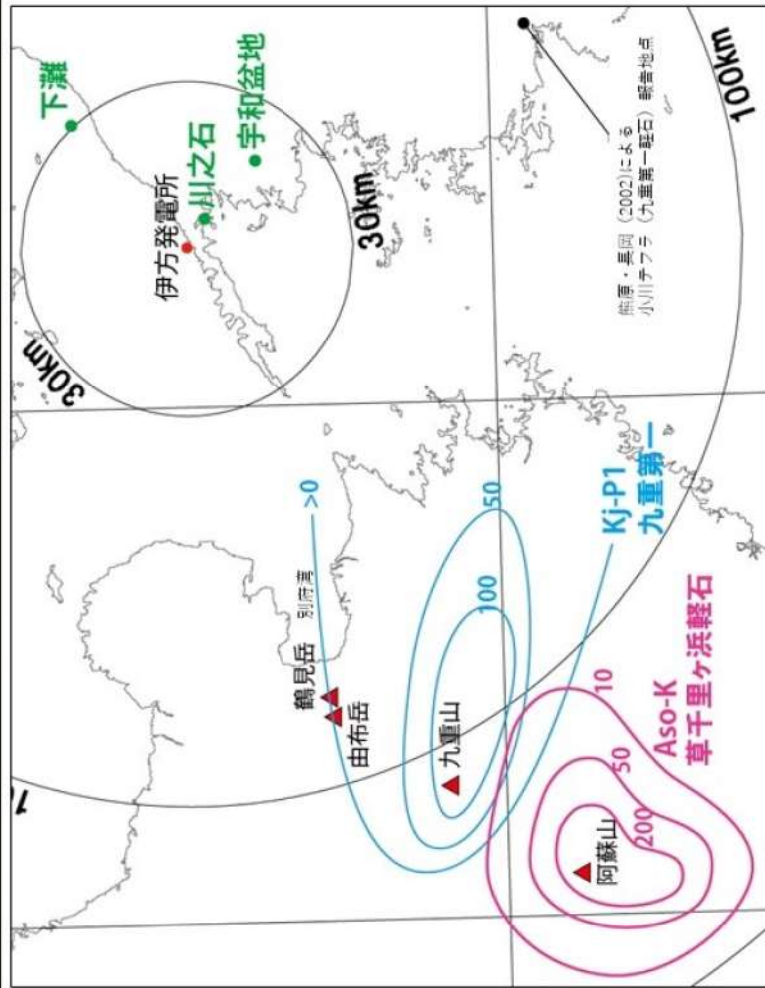


【評価】
○厚さ5cmを超える降下火山灰はいずれも九州のカルデラ火山を起源とする広域火山灰であり、地下構造に関する文献調査によると現在の九州のカルデラ火山のマグマ溜まりは巨大噴火直前の状態ではないため、発電所運用期間中に同規模の噴火の可能性は十分低く、これらの降下火砕物が敷地に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価する。

第 1.1 図 (2) 既許可における降下火砕物の評価の概要

評価に用いる降下火砕物の厚さ③<文献調査(3/3)>

○「新編 火山灰アトラス」(町田・新井, 2011)によると, 地理的領域内の火山による降下火山灰の等層厚線図として, 九重山を給源とする九重第一軽石(約5万年前)と阿蘇山を給源とする草千里ヶ浜軽石(約3万年前)が示されている。九重第一軽石は東南東方向に細長い分布を示し, 四国南西端の宿毛市で火山灰の報告がある(熊原・長岡, 2002)。一方, 草千里ヶ浜軽石は阿蘇山を中心とする同心円状の分布を示し, 四国における報告はみられない。

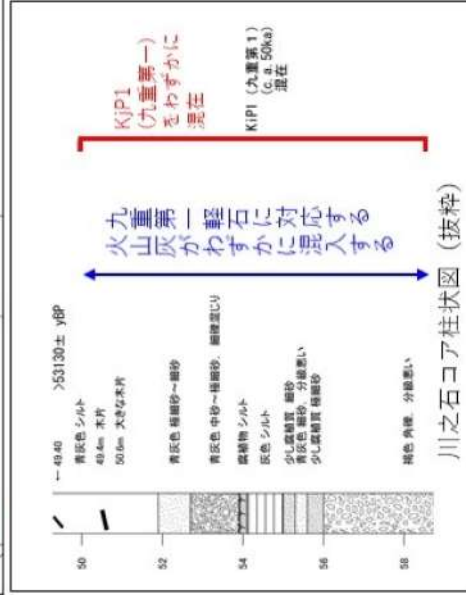
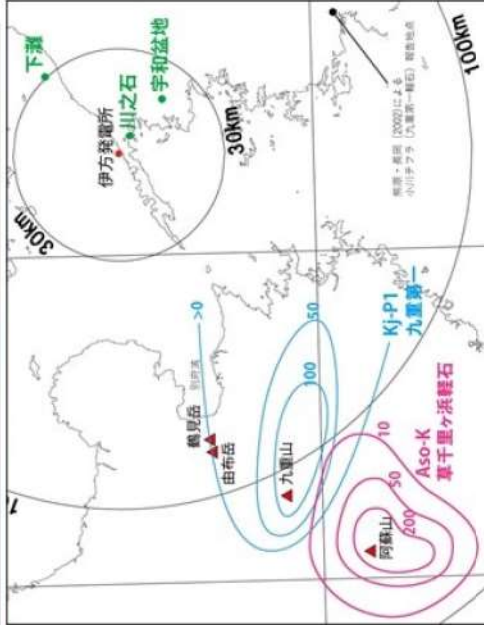
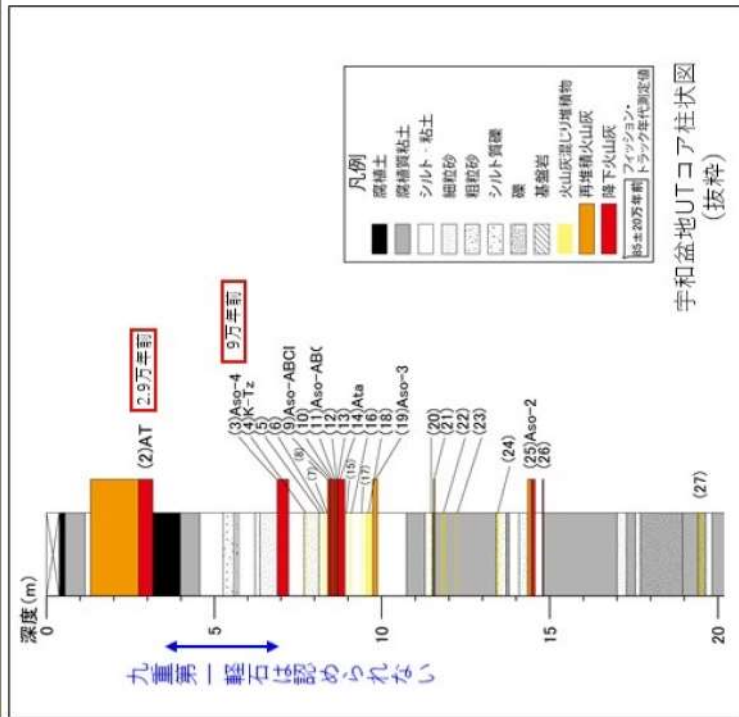


※火山灰厚さの等層厚線図は「新編 火山灰アトラス」(町田・新井, 2011)から転記

第 1.1 図 (3) 既許可における降下火砕物の評価の概要

評価に用いる降下火砕物の厚さ④<地質調査>

○川の石港では九重第一軽石（50ka）に対応する火山灰がわずかに（肉眼観察できなほいほど微量）混入するが、宇和盆地の連続した細粒堆積物中に九重第一軽石と対応する火山灰層は認められない。既存文献に示された通り、九重第一軽石の分布の長軸は四国南西端方向であり、敷地付近における降下厚さはほぼ0cmと評価される。



第 1.1 図 (4) 既許可における降下火砕物の評価の概要

評価に用いる降下火砕物の厚さ⑤<降下火山灰シミュレーション(1/2)>

○約5万年前の九重第一軽石は当時の気象条件に応じて東南東方向へ火山灰が降下したが、同様の噴火が起こった時に現在の気象条件を考慮して敷地にどのような降灰が想定されるかを検討する。

■解析コード：Tephra2 (移流拡散モデル)

■用いたパラメータ

イベント名	パラメータ		単位	値	設計資料等
	基本(1)	基本(2)			
九重第一 軽石	噴出量		km ³	2.03	須藤ほか(2007)による九重第一軽石の噴出量2.03km ³ より設定
			km ³	6.2	長岡・奥野(2014)による九重第一軽石の噴出量6.2km ³ を参照して設定
	噴煙柱高度		m	25000	下鶴ほか編(2008)によるVEI5の噴煙柱高度(25km<)より設定
	平均粒径		mm	1/24.5	Tephra2推奨値(プリニー式噴火, 1980年セントヘレンズVEI5:1/24.5)より設定
	粒径分散		mm	1/23.0	Tephra2推奨値(プリニー式噴火, 1980年セントヘレンズVEI5:1/23.0)より設定
	給源(北緯)		-	33° 5' 9"	
	給源(東経)		-	131° 14' 56"	日本活火山総覧(第4版)(気象庁, 2013)より設定
	給源(標高)		m	1791	
	Fall Time Threshold		s	3600	万年(2013)より設定
	岩石密度		t/m ³	2.6	Tephra2推奨値より設定
	軽石粒子密度		t/m ³	1.0	Tephra2推奨値より設定
	拡散係数		-	200	Tephra2初期値, 万年(2013)より設定
	渦拡散係数		-	0.04	Suzuki(1983)より設定
	最大粒径		mm	1/2 ¹⁰	Tephra2推奨値(往景質:-10)より設定
	最小粒径		mm	1/2 ¹⁰	Tephra2推奨値(往景質:10)より設定
風向		m/s	月別平年値	福岡における高層気象観測データ(「高層気象観測年報」収録)より設定 [※]	
風速		°	月別平年値	福岡における高層気象観測データ(「高層気象観測年報」収録)より設定 [※]	

※福岡と鹿児島に高層の風データがあり、両者に大きな差がないことを確認したうえで福岡の風データを使用

■解析方針

1月～12月の月別平年値の風による敷地での降下火山灰厚さを評価する。12か月の中で敷地で最も厚い火山灰厚さとなる月の風を用いたシミュレーションを保守的に基本ケースとし、さらに各種の不確かさを考慮して敷地における火山灰厚さへの影響について検討する。

- ①風速±1σ(風速のばらつきによる影響を検討)
- ②ばらつきを考慮して風向を敷地方向へ近づける(風向のばらつきによる影響を検討)
- ③噴煙柱高さ±5km(噴煙柱の高低による影響を検討)

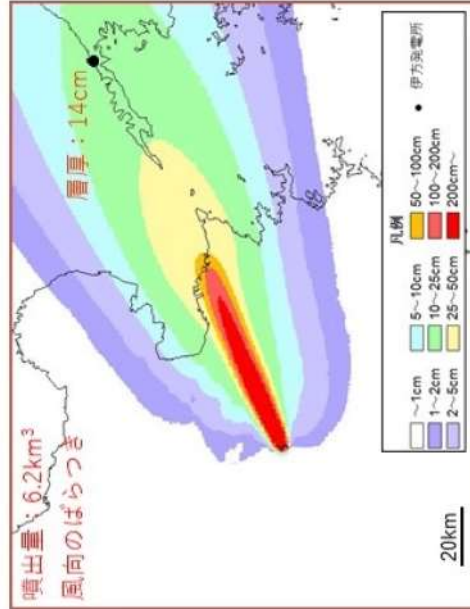
■解析方針

九重第一軽石の等層厚線図と解析結果を比較する。

第 1.1 図 (5) 既許可における降下火砕物の評価の概要

評価に用いる降下火砕物の厚さ⑥<降下火山灰シミュレーション(2/2)>

○九重第一軽石の降下火山灰シミュレーションによると、ジェット気流がほぼ真西で安定する季節は敷地における降下厚さはほぼ0cmと評価され、各種の不確かさを考慮すると敷地において最大4.7cmと評価される。なお、九重第一軽石の等層厚線図と解析結果を比較すると、四国南西方まで降下厚さ10cmの領域が細長く伸びることから給源から遠方(敷地相当)への火山灰到達を概ね再現できているものの、給源付近の降下厚さについてはやや小さい傾向がある。○そこで、噴出量を既存の知見より大きく6.2km³とした場合の解析を行った結果、ジェット気流がほぼ真西で安定する季節は敷地における降下厚さは0~数cmと評価され、各種の不確かさを考慮すると敷地において最大14cmと評価される。なお、九重第一軽石の等層厚線図と解析結果を比較すると、基本ケースとして選定した9月について、給源付近の降下厚さ50cm以上の到達距離がよく一致する。

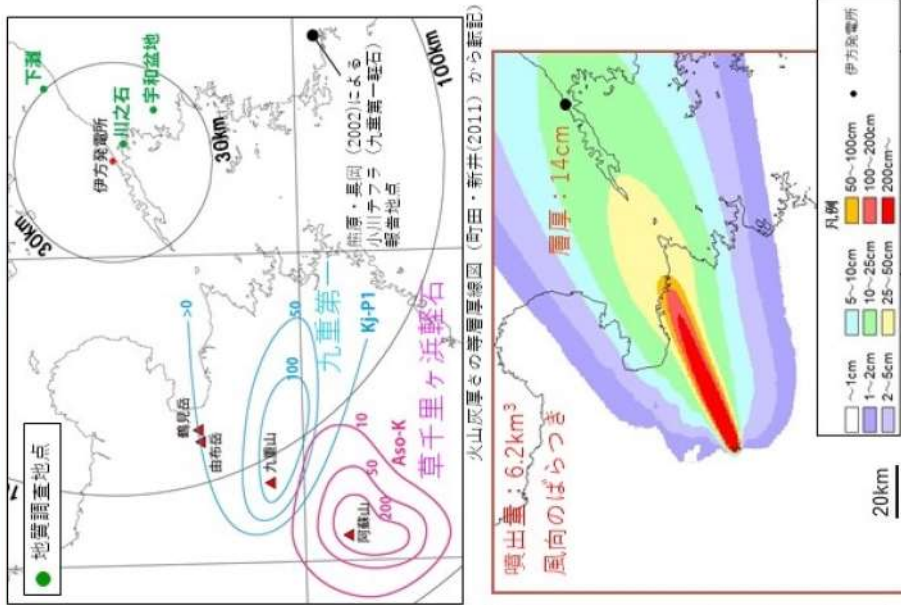


計算結果一覧 (九重第一軽石)	基本ケース(1) 噴出量2.03km ³		基本ケース(2) 噴出量6.2km ³	
	1月	0.0cm	0.1cm	0.0cm
2月	0.0cm	0.1cm	0.0cm	0.1cm
3月	0.0cm	0.1cm	0.0cm	0.1cm
4月	0.1cm	0.3cm	0.1cm	0.3cm
5月	0.2cm	0.6cm	0.2cm	0.6cm
6月	0.6cm	1.9cm	0.6cm	1.9cm
7月	1.1cm	3.2cm	1.1cm	3.2cm
8月	0.8cm	2.5cm	0.8cm	2.5cm
9月(基本)	2.2cm	6.8cm	2.2cm	6.8cm
10月	0.2cm	0.8cm	0.2cm	0.8cm
11月	0.1cm	0.2cm	0.1cm	0.2cm
12月	0.0cm	0.1cm	0.0cm	0.1cm
風速	+1σ	1.6cm	4.8cm	4.8cm
	-1σ	1.4cm	4.4cm	4.4cm
風向	伊方向き	4.7cm	14cm	14cm
	噴煙柱高さ	-5km(20km)	2.1cm	6.3cm
不確かさの考慮	+5km(30km)	2.3cm	7.1cm	7.1cm

第1.1図(6) 既許可における降下火砕物の評価の概要

評価に用いる降下火砕物の厚さ⑦<まとめ>

- 地理的領域内の火山のうち九重山を給源とする九重第一軽石は東南東方向に細長い分布を示し、純層ではないものの四国南西端の宿毛市で火山灰の報告がある。
- 地質調査の結果、既存文献に示された通り、九重第一軽石の分布の長軸は四国南西端方向であり、敷地付近における降下厚さはほぼ0cmと評価される。また、九重第一軽石と同等の噴火が起こった時に、現在の気象条件を考慮して敷地にどのような降灰が想定されるかを降下火山灰シミュレーションによって検討した結果、ジェット気流がほぼ真西で安定する季節は敷地における降下厚さはほぼ0cmと評価される。
- ただし、同規模の噴火時に風向きによっては敷地において厚さ数cmの降下火山灰が想定され、さらに既存の知見よりも噴出量を大きく見積もると十数cmの降下火山灰が想定される。
- 原子力安全に対する信頼向上の観点から、既存の知見を上回る噴出量を考慮し、敷地において考慮すべき降下火砕物の厚さを保守的に15cmと評価する。



敷地からの距離	108km	
イベント名	九重第一軽石	
イベント年代	50ka	
地質調査に基づく敷地付近の火山灰厚さ	ほぼ0cm	
噴出量	2.03km³	6.2km³
降下火山灰シミュレーションによる火山灰層厚	月別平均値の風	平均1.5cm (最大6.9cm)
	不確かさの考慮	最大4.7cm

第 1.1 図 (7) 既許可における降下火砕物の評価の概要

評価に用いる降下火砕物の粒度及び密度

粒度

【文献調査結果】
敷地に最も影響の大きい降灰イベントである九重第一軽石について、九重山から約130kmの高知県宿毛市における粒度が0.5mm以下であり、一般に噴出源から離れるほど火山灰の粒度が細粒となることを踏まえれば、九重山から約108kmの距離に位置する敷地において九重第一軽石に相当する火山灰が降下する場合の粒度は1mm以下が主体と評価される。

【地質調査結果】

敷地は火山と離隔があり、地質調査結果に基づき、厚さ1cm～数十cmまで各種の厚さ（噴火規模）の火山灰のいずれも粒度は1mm以下主体と評価される。

【設備への影響】

設備影響評価において、降下火砕物の粒径によって懸念されるのは「水循環系の閉塞」による影響である。海水取水系統には各段階に除塵装置、ストレーナがあり、これらが目詰まりした場合は清掃等を実施することとしており、各設備に影響を及ぼさないようにしている。1mmを超える降下火砕物があっても設備影響評価が変わるものではない。



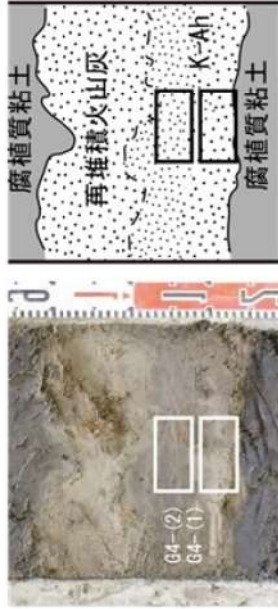
【降下火砕物の評価条件】

- a. 評価条件の検討
「粒度は1mm以下が主体」
- b. 評価条件の設定
「粒度1mm以下と設定」

密度

○宇和盆地において最上位のK-Ah火山灰の密度試験を実施した。K-Ah火山灰は約7千年前の降下であるため、ときほぐして降下直後の状態に調整した試料の密度試験も実施した。
○ときほぐした試料の密度試験結果は、乾燥状態で0.665g/cm³、湿潤状態で1.323g/cm³である。
○上記の密度試験結果を包含するように、火山灰の密度を、乾燥状態で0.5g/cm³、湿潤状態で1.5g/cm³として設備の影響評価を行う。

K-Ah火山灰試料採取位置（G4ジオスライサー）



	ときほぐした試料 (g/cm ³)		<参考>不揃乱試料 (g/cm ³)	
	乾燥	湿潤	乾燥	湿潤
G4-(2)	0.698	1.359	0.842	1.423
G4-(1)	0.632	1.286	0.890	1.417
平均	0.665	1.323	0.866	1.420

第 1.1 図 (8) 既許可における降下火砕物の評価の概要

評価に用いている降下火砕物の気中濃度

○火山ガイドにおける「a. 降灰継続時間」を仮定して降灰量から気中降下火砕物濃度を推定する手法」により気中降下火砕物濃度を右表の通り設定する。

入力条件/計算結果	備考
設計層厚	15cm
設計層厚	設置(変更)許可を得た設計層厚
総降灰量 W_T	150,000g/m ²
降灰継続時間 t	設計層厚×降下火砕物密度1g/cm ³
粒径iの割合 p_i	Carey and Sigurdsson(1989)参考
粒径iの降灰量 W_i	Tephra2による粒径分布の計算値
粒径iの堆積速度 v_i	式①
粒径iの終端速度 r_i	式②
粒径iの気中濃度 C_i	下表参照
気中降下火砕物濃度 C_T	Suzuki(1983)参考
	式③
	式④による計算結果を保守的に切り上げ

【降下火砕物の気中濃度の算定方法】

- 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 $v_i = \frac{W_i}{t}$ (t : 降灰継続時間)
- ③ 粒径iの気中濃度 $C_i = \frac{W_i}{r_i}$ (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 $C_T = \sum C_i$

粒径 ϕ (μ m)	-1~0 (1,414)	0~1 (707)	1~2 (354)	2~3 (177)	3~4 (88)	4~5 (44)	5~6 (22)	6~7 (11)	合計
- 割合 p_i (wt%)	0	1.4×10^{-2}	52.19	37.13	8.83	1.71	0.12	4.2×10^{-2}	100
式① 降灰量 W_i (g/m ²)	0	2.1×10^4	7.8×10^4	5.6×10^4	1.3×10^4	2.6×10^3	1.8×10^2	6.3	$W_T = 150,000$
式② 堆積速度 v_i (g/s・m ²)	0	2.4×10^{-4}	0.91	0.64	0.15	3.0×10^{-2}	2.1×10^{-3}	7.3×10^{-3}	-
- 終端速度 r_i (m/s)	2.5	1.8	1.0	0.5	0.35	0.1	0.03	0.01	-
式③ 気中濃度 C_i (g/m ³)	0.0	1.4×10^{-4}	0.91	1.29	0.44	0.30	0.07	7.3×10^{-2}	$C_T = 3.01$

第 1.1 図 (9) 既許可における降下火砕物の評価の概要

年超過確率の参照

○宇和盆地における調査結果（約85万年前以降に66枚の火山灰層）から火山灰の降下厚さの年超過確率について検討した。敷地において考慮する火山灰厚さ15cmは年超過確率 10^{-4} ～ 10^{-5} の発生頻度である。

<発電用軽水炉型原子炉施設に係る新規制基準骨子>より抜粋
 「設計基準事故」とは、「運転時の異常な過渡変化」を超える異常な状態であって、発生する頻度はまれではあるが、原子炉施設の安全設計の観点から想定するものをいう。

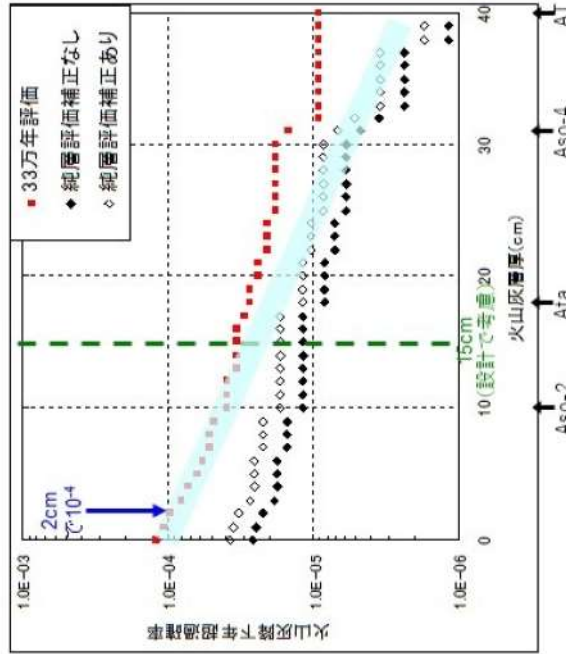
ご意見の概要

「設計基準事故」の定義は、曖昧であり、一般にも分かり易い記述が必要である。
 設計基準事故の定義における「発生頻度はまれ」とする一方、シビアアクシデントの定義には「発生する頻度が極めてまれ」とある。「まれ」と「極めてまれ」の違いが明確にされていないと、恣意的判断が入り、規制の客観性と一貫性が保たれないおそれがある。

考え方

「設計基準事故」の定義については、従来の安全設計評価指針における「事故」を「設計基準事故」と書き換えたものです。設計基準事故は、「原子炉施設の寿命期間中に予想される」頻度の運転時の異常な過渡変化よりもさらに低頻度のものとして、「プラントの寿命中にまれではあるが発生し得るもの」とされています。このため、プラント寿命中に1回の頻度が 10^{-1} /年～ 10^{-2} /年となることを踏まえ、**設計基準事故については、それよりも低頻度であることから、 10^{-3} /年～ 10^{-4} /年程度の発生頻度を念頭においています。**また、シビアアクシデントに至る事故の発生頻度はさらに低いものと考えています。

発電用軽水炉型原子炉施設に係る新安全基準骨子書に対する意見募集の経緯
 （平成25年4月3日 原子力規制庁 技術基準課）より抜粋



火山灰の降下厚さの年超過確率

※33万年評価は薄い火山灰層の評価に達しており、純層評価は年超過確率の下限を示して厚い火山灰層の評価に達していると考えられる。

第 1.1 図(10) 既許可における降下火砕物の評価の概要

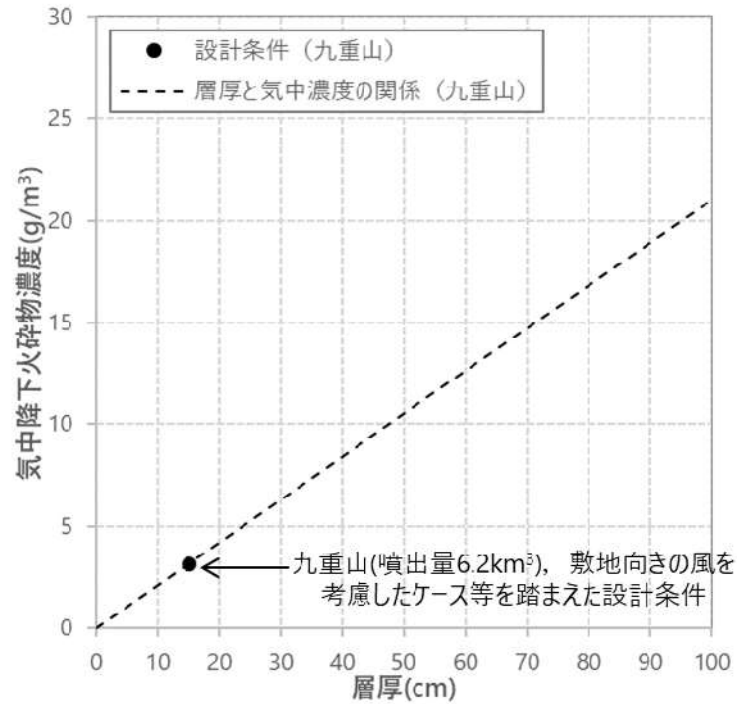
評価に用いる降下火砕物のまとめ

○伊方発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象として降下火砕物が抽出され、地質調査結果等に基づき、評価条件は以下の通りとする。

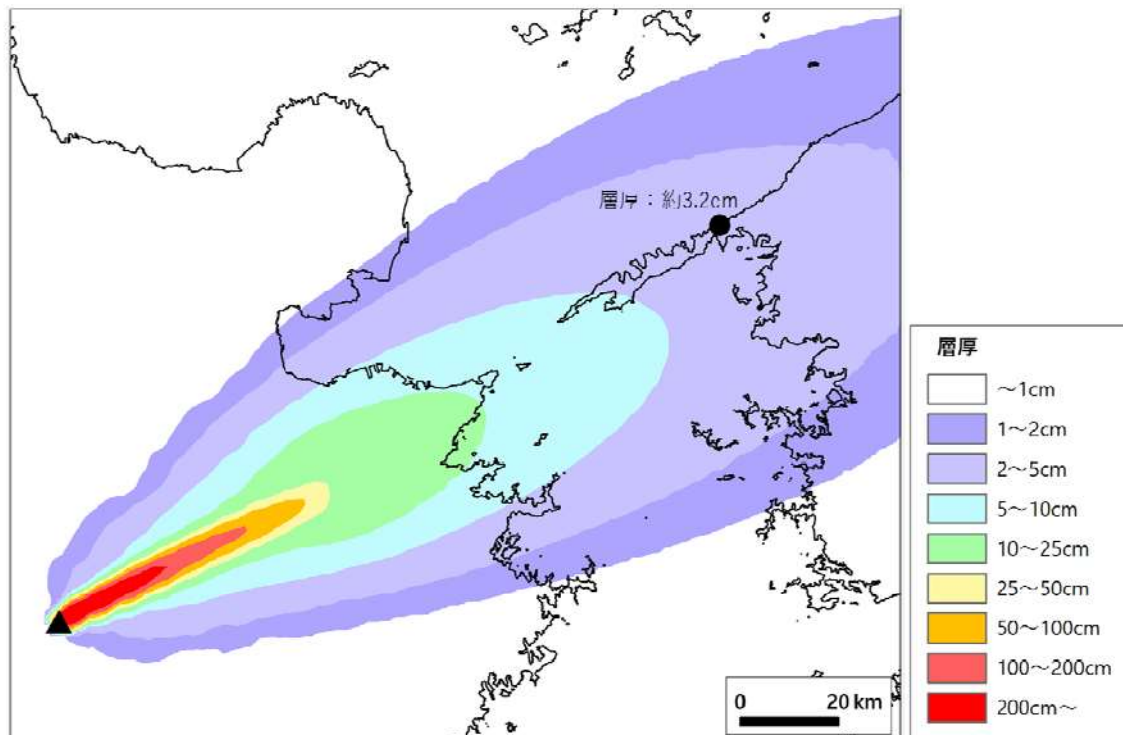
降下火砕物の評価条件

▶ 降下火砕物の厚さ	15cm
▶ 降下火砕物の粒度（粒径）	1mm以下主体
▶ 降下火砕物の密度	乾燥状態 湿潤状態 0.5g/cm ³ ~ 1.5g/cm ³
▶ 降下火砕物の気中濃度	3.1g/m ³

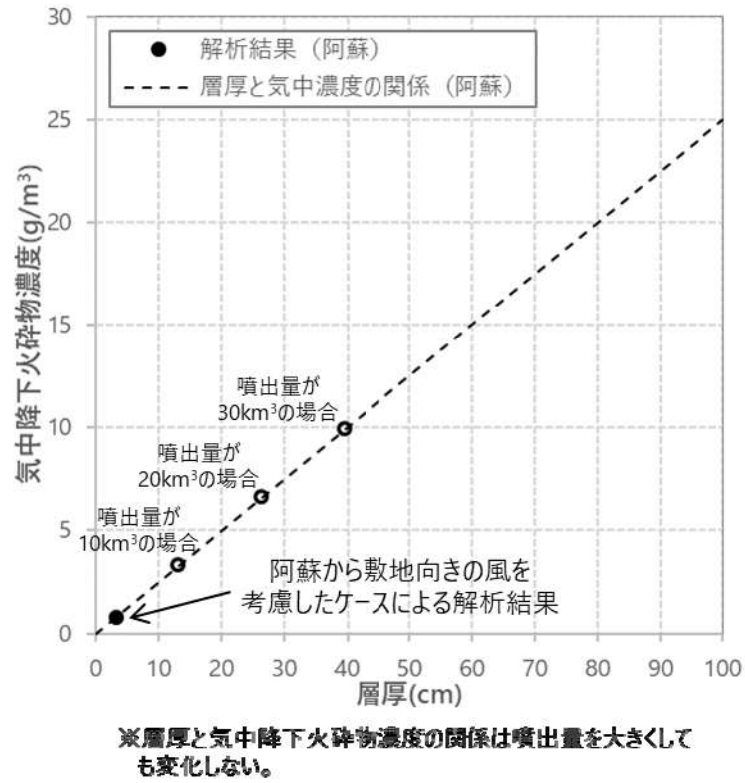
第 1.1 図(11) 既許可における降下火砕物の評価の概要



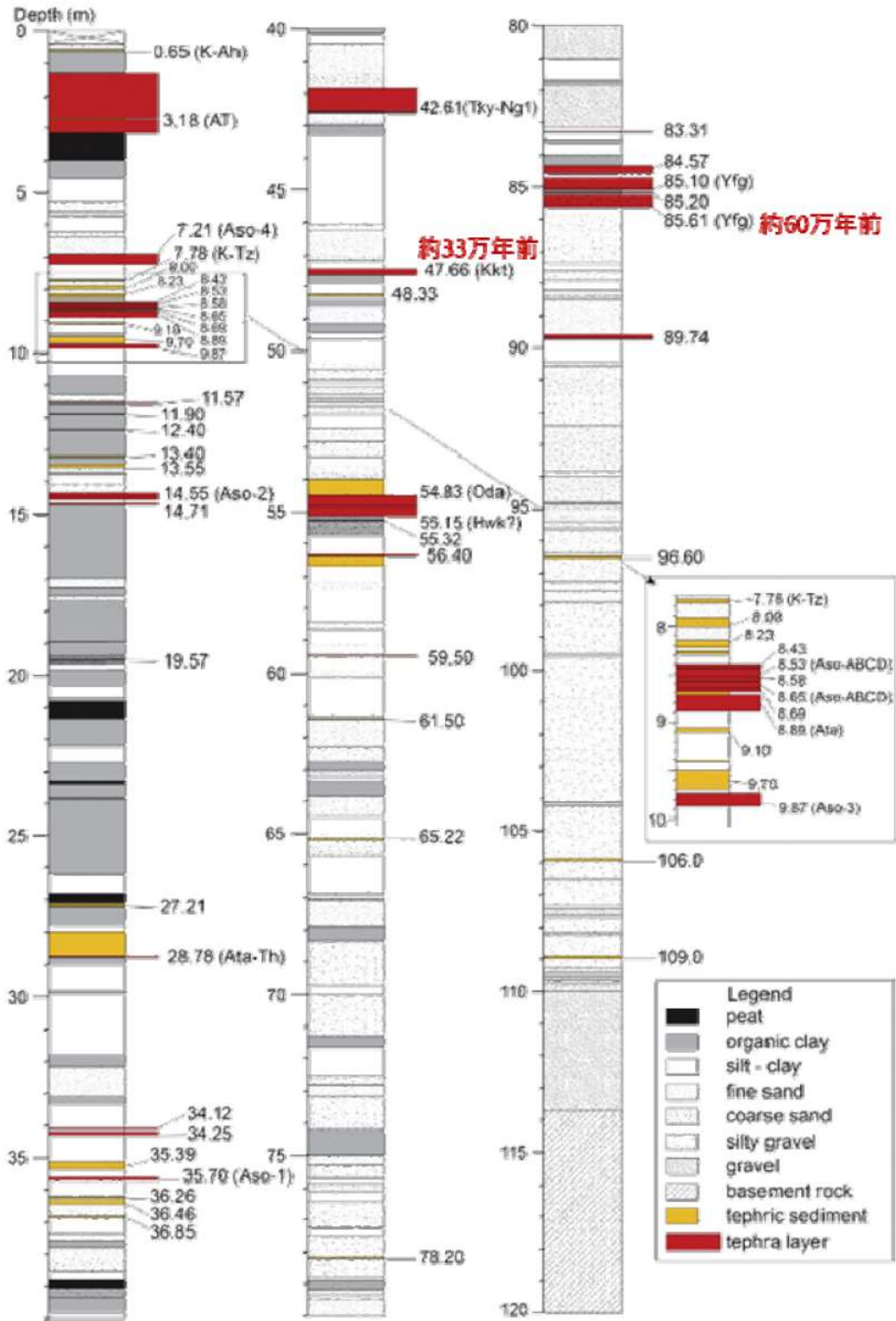
第 2.1 図 九重山を給源とする敷地の層厚と気中降下火砕物濃度の関係



第 2.2 図 阿蘇から敷地向きの風を想定した
降下火山灰シミュレーション結果

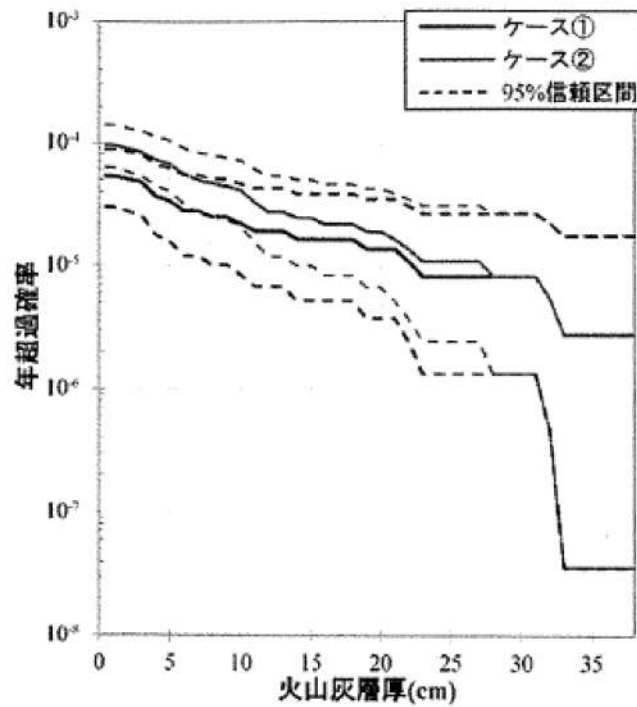


第 2.3 図 阿蘇を給源とする敷地の層厚と気中降下火砕物濃度の関係

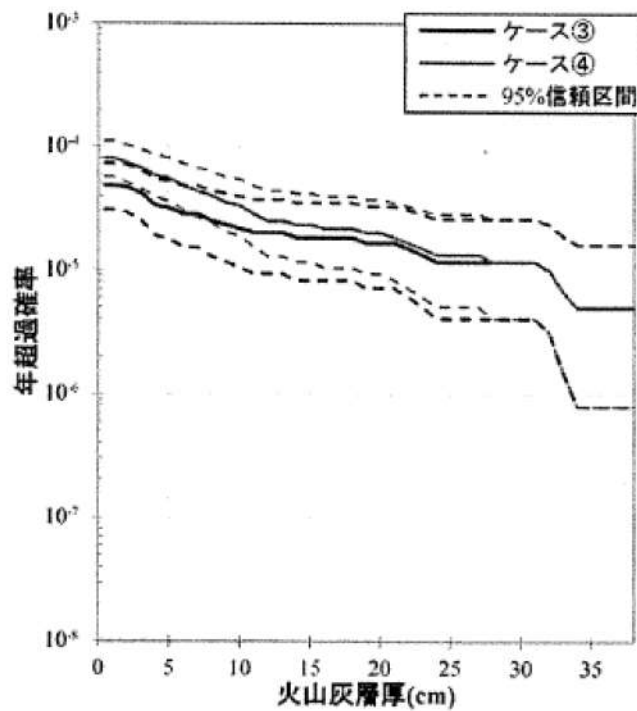


Tsuji et al.(2018)に一部加筆

第 3.1 図 宇和盆地におけるボーリング柱状図



図一6 35万年評価の火山灰ハザードカーブ



図一7 60万年評価の火山灰ハザードカーブ

第 3.2 図 Tsuji et al. (2018)によるデータを用いた
火山灰層厚の確率論的評価

降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）を変動させた場合に
考慮すべき影響因子について

1. 概要

降下火砕物の層厚（層厚に比例する気中降下火砕物濃度）を変動させた場合に、考慮すべき降下火砕物の影響因子について検討を実施する。

2. 考慮すべき降下火砕物の影響因子

発電用原子炉設置変更許可申請書添付書類八に記載する降下火砕物の直接的影響及び間接的影響について、降下火砕物の層厚（層厚に比例する気中降下火砕物濃度）を変動させた場合にそれぞれ考慮すべき影響因子かどうか検討した結果を次頁の表1に示す。

表1に示すとおり、降下火砕物の層厚（層厚に比例する気中降下火砕物濃度）を変動させた場合に考慮すべき影響因子は以下の3つである。

- ・ 荷重：構造物への静的負荷
- ・ 閉塞：水循環系の閉塞
- ・ 閉塞：換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）

これらの影響因子に対し、各炉心冷却手段の影響を確認し、限界層厚を特定する。

表1 降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）を変動させた場合に考慮すべき影響因子

分類	要因	影響因子	降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）を変動させた場合の影響	考慮要否
直接的 影響	荷重	構造物への静的負荷	降下火砕物の層厚が変動した場合に、構造物への静的負荷（荷重）が変動するため考慮する	○
		粒子の衝突	降下火砕物は微小な粒子であり、粒子の衝突による影響については、竜巻による設計飛来物に十分包含されているため、考慮不要である。	×
	閉塞	水循環系の閉塞	降下火砕物の層厚が変動した場合に、水循環系の閉塞の影響を受ける可能性があるため、考慮する。	○
		換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）	降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）が変動した場合に、換気系、電気系及び計装制御系に対して閉塞の影響を受ける可能性があるため、考慮する。	○
	摩耗	水循環系の内部における摩耗	降下火砕物は、砂より硬度が低くもろいことから短期での摩耗への影響はないため、降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）が変動したとしても考慮不要である。	×
		換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響（摩耗）	降下火砕物は、砂より硬度が低くもろいことから短期での摩耗への影響はないため、降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）が変動したとしても考慮不要である。	×
	腐食	構造物への化学的影響（腐食）	降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）が変動したとしても、短期的な腐食が発生しやすくなるわけではないため、考慮不要である。	×
		換気系、電気系及び計装制御系に対する化学的影響（腐食）	なお、発電所内の施設は、基本的に外装の塗装や耐腐食材料の使用等を行っていることから、短期での腐食への影響はない。	×
	大気汚染	発電所周辺の大気汚染	大気汚染は環境面での影響因子として挙げられており、直接定量的評価を実施するものではないため、降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）が変動したとしても考慮不要である。	×
			なお、中央制御室の換気空調系は閉回路循環運転が可能であり、その他換気空調系もダンパ閉止が可能である。屋外作業要員については、ゴーグル、マスク等の防護具を準備している。	×
水質汚染	水質汚染は環境面での影響因子として挙げられており、直接定量的評価を実施するものではないため、降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）が変動したとしても考慮不要である。	水質汚染は環境面での影響因子として挙げられており、直接定量的評価を実施するものではないため、降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）が変動したとしても考慮不要である。	×	
		なお、降下火砕物の影響を受けた海水及び溪流水を直接給水として使用せず、給水処理設備により水処理した給水を使用しているため、安全施設の安全機能には影響しない。	×	
絶縁低下	絶縁低下	降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）が変動したとしても、絶縁低下そのものが発生しやすくなるわけではないため、考慮不要である。	×	
		なお、絶縁低下を考慮する施設は空調管理された区域に設置されていることから、絶縁低下への影響はない。	×	
間接的 影響	外部電源喪失	外部電源喪失については、火山事象を起因として発生することを考慮しているため、降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）の変動による影響は考慮不要である	×	
		発電所外での交通の途絶によるアクセス制限事象については、評価の上で考慮しているため、降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）の変動による影響は考慮不要である。	×	

2次系純水タンクの事象の過程の進展を防止する措置

1. 概要

本資料は、限界層厚の小さい2次系純水タンクの事象の過程の進展を防止する措置の検討内容を説明するものである。

2. 事象の過程の進展を防止する措置の検討方針

2次系純水タンクの限界層厚を表1に示す。

2次系純水タンクの限界層厚は、降下火砕物による構造物への静的荷重で決まることから、降下火砕物による構造物への静的荷重に対する対策、具体的には、2次系純水タンクの除灰作業について検討する。

除灰量は、人的要因（除灰要員数・除灰速度）で決まることから、これらを3.項で整理し、4.項でこれらを踏まえた事象の過程の進展を防止する措置を検討し、5.項にて検討した措置に基づく限界層厚を算出する。

3. 人的要因の整理

(1) 2次系純水タンク上部で除灰作業可能な人数

2次系純水タンクの降下火砕物等に対する強度評価結果から、2次系純水タンク上部で除灰作業可能な人数を算出する。

2次系純水タンクの荷重に関する評価は、平成30年12月17日付け原規規発第1812178号にて認可された保安規定の審査資料TS(66)-02-01(改5)において、降下火砕物15cmの荷重(2,205N/m², 66,500kg)と設計上考慮する積雪量(7cm)に基づく荷重(140N/m², 4,300kg)

を合わせた荷重（2,345N/m²，70,800kg）に風による荷重を組み合わせて評価を実施しており，本計算書での強度評価のうち，最小裕度を表2に示す。

本結果をもとに，除灰を行わない場合の降下火砕物の限界層厚を算定すると，

$$15 \times \frac{2,345 \times \frac{234}{714}}{2,205} = 5.228(\text{cm}) \quad (\text{積雪なし条件})$$

$$15 \times \frac{2,345 \times \frac{234}{714} - 140}{2,205} = 4.275(\text{cm}) \quad (\text{積雪あり条件})$$

となる。

2次系純水タンクは降下火砕物の層厚5cm（積雪がある場合は4cm）を上回らないよう除灰を行う運用としていることから，上記限界層厚と除灰により維持される層厚との差（積雪ありと比較し，差が小さい積雪なし条件の0.228cm）より，2次系純水タンク上部で除灰作業可能な人数を算出する。

降下火砕物0.228cm分の荷重は1,010kg（66,500kg÷15cm×0.228cm）であることから，除灰作業員1名（資機材重量含む）の重量を100kgとすると最大10名まで除灰作業に従事できる。

(2) 除灰作業に従事できる要員数

現状の2次系純水タンクの除灰作業は，緊急時対応要員が1班2名の2班（合計4名）体制にて交替しながら実施することとしている。

一方で，伊方発電所において自然災害等の非常時には徒歩でも4時間以内に45名程度の要員が参集する体制を整備している。そこで，緊急時対応要員4名に加え，降灰開始170分後^{註1}から参集要員6名が除灰作業を開始する場合の事象の過程の進展を防止する措置を検討す

る。(ケース1)

また、外出機会の多い日曜昼間に発生した、伊方発電所第3号機 原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタ引き上がり事象(令和2年1月12日)の電力社員副長以上全員招集実績を調査したところ、火山噴火から降灰開始までの80分^{注2}に余裕を見た呼び出しから約1時間で電力社員18人が参集した実績がある。そこで、こうした過去の実績を踏まえたより現実的なケースとして、降灰開始前までに保守的に参集要員6名が参集して除灰作業に従事する場合の事象の過程の進展を防止する措置についても検討する。(ケース2)

注1：火山噴火から多量降灰予報発表時等までの時間(10分)、火山噴火から発電所に降灰が到達するまでの時間(80分^{注2})及び多量降灰予報発表時等から参集要員が参集するまでの時間(240分)から想定した時間

注2：平成30年12月17日付け原規規発第1812178号にて認可された保安規定の審査資料TS(66)-02-01(改5)及びTS(66)-02-02(改4)で想定した時間

要員の配員については、上記以外にも運転要員の活用等様々なケースが考えられるが、本検討においては、これら2ケースについて、代表して検討する。

(3) 現状の体制で1日あたりの除灰可能な降下火砕物の層厚

2次系純水タンクの除灰作業は1班2名の2班が交替して実施している。ここでは、2次系純水タンク(1/8モデル)での除灰作業検証試験^{注3}を基に、現状の体制で1日あたりの除灰可能な降下火砕物の

層厚を評価する。

本検証試験は、作業員2名が、保守的に密度を $1.7\text{g}/\text{cm}^3$ とした模擬降下火砕物が5cm堆積した条件で実施し、約10分毎に2分程度の休憩（以下「インターバル休憩」という。）をとりながら作業を行った。

2次系純水タンク（1/8モデル）の除灰作業検証条件を表3、除灰作業検証試験の実測結果を表4に示す。

注3：平成30年12月17日付け原規規発第1812178号にて認可された保安規定の審査資料TS(66)-02-01（改5）別紙4 作業の成立性について 別添-3 2次系純水タンクの除灰作業の検証について

【インターバル休憩を行う場合の除灰可能な降下火砕物の層厚】

除灰作業員2名でインターバル休憩を含めた作業時間での1日あたりの除灰可能な降下火砕物の層厚は次式で計算でき、21cm/日となる。

$$\begin{aligned} \text{層厚[cm]} &= (\text{模擬降下火砕物層厚 } 5\text{ cm}) \div (\text{作業時間 } 42 \\ &\quad \text{分}) \div (8) \times (60\text{ 分}) \times (24\text{ 時間}) \end{aligned}$$

【インターバル休憩を行わない場合の除灰可能な降下火砕物の層厚】

実際の除灰作業は、降下火砕物が降灰次第開始するため除灰作業の負荷が小さく、交替要員が確保されており適宜交替が可能であることから、インターバル休憩を除くことも可能であると考えられる。

除灰作業員2名でインターバル休憩を除いた作業時間での1日あたりの除灰可能な降下火砕物の層厚は次式で計算でき、28cm/日となる。

$$\text{(層厚[cm])} = \text{(模擬降下火砕物層厚 5 cm)} \div \text{(作業時間 32 分)} \div \text{(8)} \times \text{(60 分)} \times \text{(24 時間)}$$

4. 事象の過程の進展を防止する措置の検討

3.項で整理した人的要因を踏まえ、事象の過程の進展を防止する措置を検討した。検討した措置を表5に、その詳細内容を以下に記す。

【ケース1】

降灰開始170分までは、現行の体制で除灰作業を継続するが、降灰開始170分後に参集する参集要員を除灰作業に従事させ、最大10名が、2班に分かれて交替で除灰作業を行う。ここで、除灰作業に際し、インターバル休憩を行う場合をケース1-1、行わない場合をケース1-2とする。

【ケース2】

降灰開始前までに参集する参集要員を除灰作業に従事させ、最大10名が、2班に分かれて交替で除灰作業を行う。ここで、除灰作業に際し、インターバル休憩を行う場合をケース2-1、行わない場合をケース2-2とする。

5. 事象の過程の進展を防止する措置を踏まえた限界層厚の算出

限界層厚は、積雪も考慮することとし、設計上考慮する積雪荷重（ 140N/m^2 ）相当の降下火砕物層厚 1 cm （ 147N/m^2 ）が既に堆積しているとして算出する。なお、除灰作業中に降る雪は降下火砕物と混合して湿潤状態の降下火砕物になるが、除灰作業検証試験で、降下火砕物の密度 1.5g/cm^3 （湿潤状態）より保守的な密度 1.7g/cm^3 とした模擬降下火砕物を設定していることから影響はない。

4. 項で検討した事象の過程の進展を防止する措置のうちケース1は、時間とともに除灰作業要員数が変動するため、体制毎の1日あたりの限界層厚を以下の式でそれぞれ算定し、小さい方の値がその措置の限界層厚となる。ケース2については、除灰作業要員数が変動しないことから、ケース1の算出式のうち、「参集要員到着前までの1日あたりの限界層厚」を適用し、限界層厚を算出する。

【参集要員到着前までの1日あたりの限界層厚】

参集要員が到着するまでは除灰要員が少なく、降灰量が除灰量を上回るが、降下火砕物の層厚 5 cm までは2次系純水タンクの構造健全性を維持できることから、除灰作業中に堆積する許容降灰量の層厚は、以下の式で計算される。

（許容降灰量の層厚[cm]）

$$= (\text{1日あたりの除灰可能な降下火砕物の層厚}) \div (1,440\text{分}) \\ \times (\text{除灰作業時間}) + (5\text{ cm} - 1\text{ cm})$$

1日あたりの限界層厚は、許容降灰量の層厚を作業時間で割るこ

とで1分あたりの層厚に換算後、1,440分を掛けて1日あたりの層厚に変換した以下の式で算出される。

$$\begin{aligned} & (\text{1日あたりの限界層厚[cm]}) \\ & = (\text{1日あたりの除灰可能な降下火砕物の層厚}) \\ & \quad + ((5\text{ cm} - 1\text{ cm}) \div (\text{除灰作業時間}) \times (1,440\text{ 分})) \end{aligned}$$

【参集要員到着以降の1日あたりの限界層厚】

参集要員到着前に2次系純水タンクの構造健全性を維持できる層厚5cmまで降下火砕物が堆積することを許容していることから、除灰量と降灰量が一致するポイントが1日あたりの限界層厚となり、1日あたりの限界層厚は以下の式で算出される。

$$\begin{aligned} & (\text{1日あたりの限界層厚[cm]}) \\ & = (\text{1日あたりの除灰可能な降下火砕物の層厚}) \\ & \quad \times ((\text{1班あたりの除灰作業要員}) \div (2\text{ 名})) \end{aligned}$$

算出した各措置の限界層厚を表6に示す。また、時間とともに除灰作業要員数変動するケース1の2次系純水タンク上部の降下火砕物の層厚変化を図1に示す。

ケース1-1では、参集要員到着以降の1日あたりの限界層厚である52cmをこのケースの限界層厚としている。この限界層厚52cmと等しい降灰量が時間あたり一定で降下すると、参集要員到着前までは、除灰量より降灰量が大きいため2次系純水タンク上部の層厚が増加するが、層厚

が5 cmに達する前に参集要員が到着し、それ以降の除灰量と降灰量が一致し、層厚が維持される。2次系純水タンク上部の層厚は、5 cmに若干の余裕がある状態で維持されるものの、参集要員到着後に、除灰量と降灰量が一致するポイントを、保守的にこのケースの1日あたりの限界層厚とした。

ケース1-2では、参集要員到着前までの1日あたりの限界層厚である61cmをこのケースの限界層厚としている。この限界層厚61cmと等しい降灰量が時間あたり一定で降下すると、参集要員到着前までは、除灰量より降灰量が大きいため、2次系純水タンク上部の層厚が5 cmまで堆積するが、参集要員到着以降は除灰量が大きくなるため減少に転じ層厚5 cmを超えることはない。このため、参集要員到着前までの1日あたりの限界層厚をこのケースの1日あたりの限界層厚とした。

6. まとめ

3.(2)「除灰作業に従事できる要員数」で整理した代表的な2ケースについて、事象の過程の進展を防止する措置を検討し、2次系純水タンクの限界層厚を算出した。

具体的には、参集要員を2次系純水タンクの除灰に、優先的に配員するという事象の過程の進展を防止する措置を検討し、それに基づくと、限界層厚は52cm～74cm程度まで向上する。

2次系純水タンクの構造健全性は、除灰作業という人的要因に頼っており、限界層厚についても当該要因に左右されるため、参集要員を優先的に1人でも多く配員すれば、その分、2次系純水タンクの火山事象に対する耐性が増す。この対応については、整備済みの手順に影響を及ぼす内容ではないが、内規等に明記することで、実効性を高めることがで

きることから、令和2年10月に内規等に反映した。

表1 2次系純水タンクの限界層厚

評価対象	要因	影響因子	限界層厚 (cm)
2次系純水タンク	荷重	構造物への静的負荷	25
	閉塞	換気系、電気系及び計装制御系 に対する機械的影響（閉塞）	—注

注：降下火砕物の層厚（気中降下火砕物濃度）が増加した場合を考慮しても、閉塞することはない。

表2 2次系純水タンクの降下火砕物等に対する
強度評価結果（最小裕度抜粋）

評価部材	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度 許容応力/発生応力
屋根板支持部材 (トッププレート)	714	234	0.32

表3 2次系純水タンク（1/8モデル）の除灰作業検証条件

模擬降下火砕物 海砂と山砂の混合物(密度：約 1.7g/cm ³) ^注	
模擬降下火砕物層厚	5 cm
作業員数	2名
インターバル休憩時間を含めた作業時間	42分
インターバル休憩時間を除いた作業時間	32分

注：原子炉設置変更許可申請書添付書類六に記載する降下火砕物の湿潤密度（1.5g/cm³）に対し保守的に設定しており、想定している積雪荷重もこの保守性に包絡される。

表4 除灰作業検証試験の実測結果

活動内容	作業時間	経過時間
除灰作業	10分00秒	10分00秒
インターバル休憩	2分30秒	12分30秒
除灰作業	9分40秒	22分10秒
インターバル休憩	3分20秒	25分30秒
除灰作業	8分30秒	34分00秒
インターバル休憩	4分30秒	38分30秒
除灰作業	3分28秒	41分58秒

除灰作業時間合計：31分38秒

インターバル休憩時間合計：10分20秒

表5 事象の過程の進展を防止する措置

措置 ケース	体制	インターバル 休憩
現状	・ 1班2名で2班が交替	あり
1-1	・ 170分まで：1班2名で2班が交替	あり
1-2	・ 170分以降：1班5名（緊急時対応要員2名 ＋参集要員3名）で2班が交替	なし
2-1	・ 1班5名（緊急時対応要員2名＋参集要員3	あり
2-2	名）で2班が交替	なし

表6 各事象の過程の進展を防止する措置の限界層厚

措置 ケース	1日あたりの限界層厚		措置後の限界層厚
	参集要員到着前まで	参集要員到着以降	
現状	25cm	—注1	25cm
1-1	54cm	52cm	52cm
1-2	61cm	70cm	61cm
2-1	—	56cm ^{注2}	56cm
2-2	—	74cm ^{注2}	74cm

注1：参集要員に期待しない。

注2：降灰開始前までに参集要員が到着する。

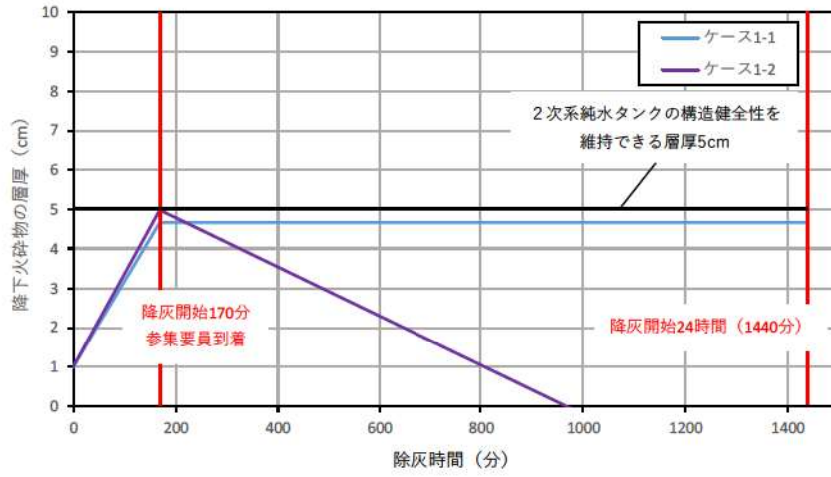


図1 2次系純水タンク上部の降下火砕物の層厚変化

別紙3.1.4.2.5.1-4

非常用ディーゼル発電機の事象の過程の進展を防止する措置

1. 概要

本資料は、限界層厚の小さい非常用ディーゼル発電機（以下「DG」という。）の事象の過程の進展を防止する措置を検討し、検討内容を考慮した限界層厚を評価するものである。

2. 事象の過程の進展を防止する措置の検討

DGの限界層厚を表1に示す。

DGの限界層厚は、降下火砕物による換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）で決まることから、同影響に対する対策として、具体的には、火山灰フィルタ取替え・清掃について検討する。

表1に示す限界層厚は、現行の手順書に基づき火山灰フィルタ取替え・清掃に要する時間を120分と設定して評価を行ったが、実績時間^注に基づき検討する。火山灰フィルタ取替え・清掃タイムスケジュールを図1に示す。

注：平成30年12月17日付け原規規発第1812178号にて認可された
保安規定の審査資料TS(66)-02-01（改5）別紙4 作業の成立
性について

現行の手順では、降下火砕物条件下でDGを運転させるため火山灰フィルタが閉塞しないよう、1班6名（A系3名、B系3名）の2班で交替しながら、DG-A系とDG-B系の火山灰フィルタ取替え・清掃を並行して行う。DG-A系とDG-B系が給電する設備が異なることで吸気

量が異なること、火山灰フィルタ清掃に個人差があること等から、降下火砕物の影響によりDG 2基が同時に停止することは考えにくいため、降下火砕物の影響により停止したDGの要員を含め、運転側DGの火山灰フィルタ取替え・清掃に注力すれば、高頻度で火山灰フィルタを交換できるため、より高濃度の条件下で運転を継続することができる。

火山灰フィルタは14個のフィルタエレメントからなっており、DG 1基にフィルタエレメント14個×2式が準備されている。通常の火山灰フィルタ取替え・清掃では、火山灰フィルタ内のフィルタエレメントと清掃済みのフィルタエレメントの交換後、清掃ボックスを用いて取り外したフィルタエレメントを清掃する。

DG 1基に注力した場合、取り外したフィルタエレメントを停止側DGの要員が停止側DGの清掃ボックスを用いて清掃する。火山灰フィルタ取替え終了後は、運転側DGの清掃ボックスを用いて運転側DG要員が取り外したフィルタエレメント清掃を行うことができるため、残りの火山灰フィルタ清掃時間は実績時間の半分で行え、限界は38.5分となる。なお、DG-A系とDG-B系の火山灰フィルタは同じ仕様であり、停止側DGのフィルタエレメントを活用することで、効率的な清掃作業が可能である。

3. 限界層厚の評価方法

2.項の検討内容を踏まえ、DG 1基に注力した場合の限界層厚を評価する。

気中降下火砕物濃度が火山灰フィルタ取替え・清掃により対応可能な濃度であれば火山灰フィルタは閉塞せずDGの運転が可能であるため、火山灰フィルタ取替え・清掃に要する時間から、DGの運転が可能な限

界濃度を求め、その濃度から限界層厚を算出する。

まず、片系DGの火山灰フィルタ取替え・清掃に注力した場合に要する時間は38.5分と想定しており、この時間から火山灰フィルタの設計上の限界濃度を算出する。

火山灰フィルタの限界濃度については、平成30年12月17日付け原規規発第1812178号にて認可された保安規定の審査資料TS(66)-02-02(改4)の「4. 火山灰フィルタ閉塞時間について」に示す火山灰フィルタの降下火砕物捕集量及びDG吸気流量を用いて、以下の式で算出する。

$$\begin{aligned} & \text{(火山灰フィルタの限界濃度 [g/m}^3\text{])} \\ & = \text{(火山灰フィルタの降下火砕物捕集量 [g])} \div \\ & \quad \text{((DG吸気流量 [m}^3\text{/h])} \times \text{(閉塞までの時間} \\ & \quad \text{38.5分)} \div 60) \\ & = 15.4\text{g/m}^3 \end{aligned}$$

次に、火山灰フィルタの限界濃度 15.4g/m³から限界層厚を算出する。

気中降下火砕物濃度が厳しくなる阿蘇を給源とする降下火砕物の層厚と気中降下火砕物濃度の関係を図2に示す。

降下火砕物の層厚と気中降下火砕物濃度に比例の関係があることから、以下の式より限界層厚を算出する。

$$\text{(限界層厚 [cm])} = \text{(降下火砕物の限界濃度 15.4g/m}^3\text{)} \div (0.25)$$

4. 評価結果

DGについて現状の限界層厚と3.項の評価方法より求めた事象の過程の進展を防止する措置を実施後の限界層厚の比較を表2に示す。

表1 DGの限界層厚

評価対象	要因	影響因子	限界層厚 (cm)
DG	荷重	構造物への静的負荷	45
	閉塞	換気系，電気系及び計装制御系 に対する機械的影響（閉塞）	19

表2 DGの限界層厚

評価対象	要因	影響因子	火山灰フィルタ取替え・清掃体制	限界層厚 (cm)
DG	荷重	構造物への静的負荷	—	45
	閉塞	換気系，電気系及び 計装制御系に対する 機械的影響（閉塞）	【現 状】 A系：3名，清掃ボックス1個 B系：3名，清掃ボックス1個	19
			【措置後】 片系：6名，清掃ボックス2個	61

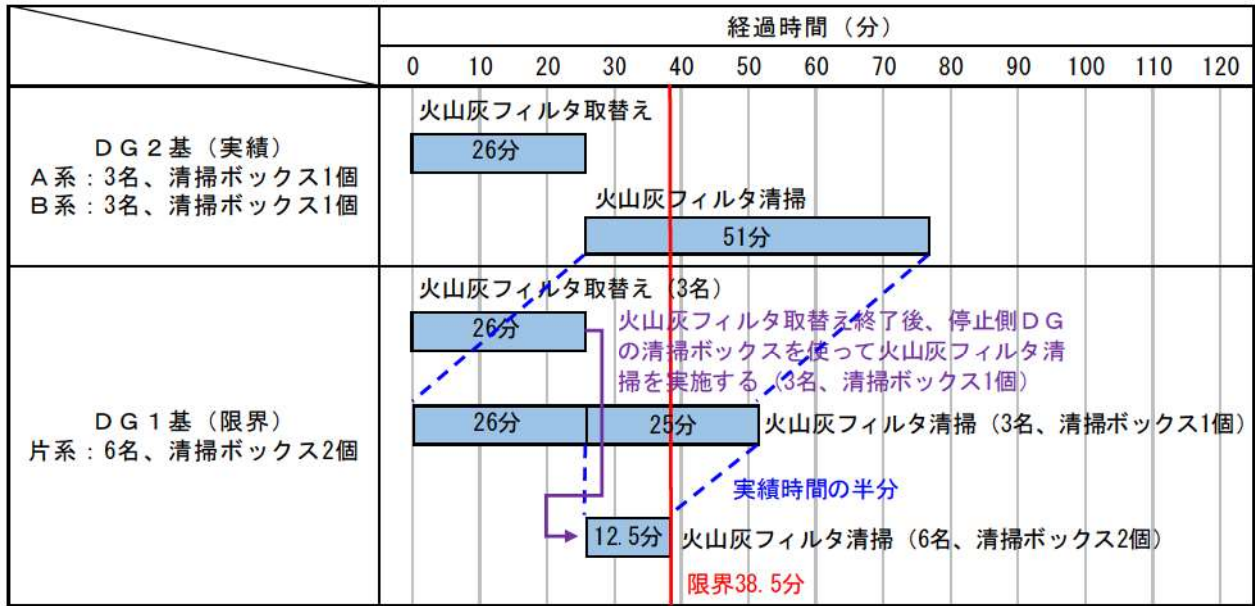


図1 火山灰フィルタ取替え・清掃タイムスケジュール

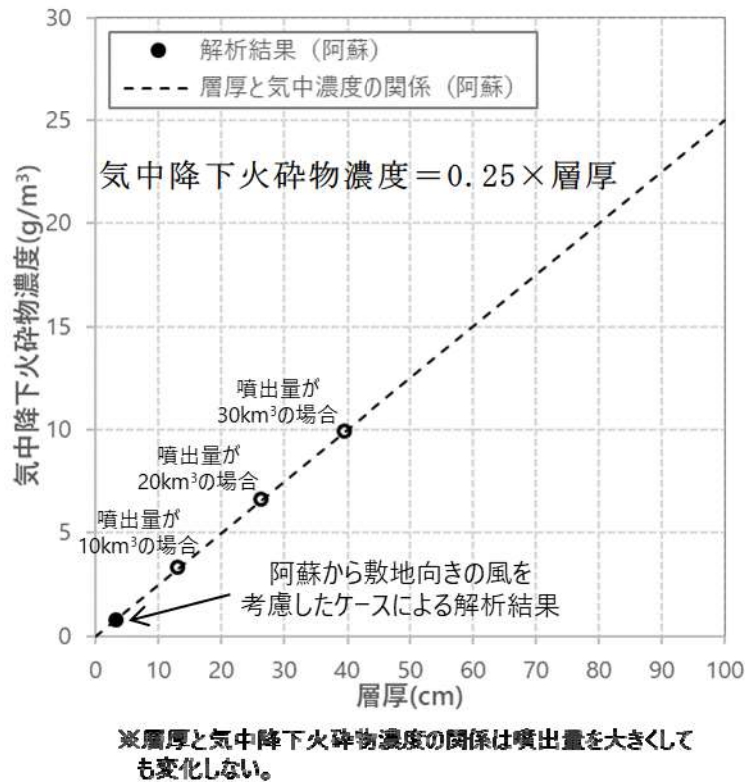


図2 降下火砕物の層厚と気中降下火砕物濃度のグラフ

(別紙 3.1.4.2.5.1-1 第 2.3 図より)

別紙 3.1.4.2.5.1-5

評価における定性的な保守性について

1. 概要

今回の火山事象に対する安全裕度評価においては、決定論的な考え方にに基づき、一定の条件下で定量化可能な範囲で評価している。一方で、定量化が困難な保守性もあることから、今回の評価結果は、更に余裕があると考えられる。本資料では、この定性的な保守性について、降下火砕物のパラメータ設定の観点と施設の限界層厚評価の観点で説明する。

2. 降下火砕物のパラメータ設定における保守性について

今回の安全裕度評価では、層厚以外の降下火砕物の特性については設計と同様とし、設計上の想定である15cmを超える層厚を仮定して評価を実施し、気中降下火砕物濃度については、対象となる5つの火山（鶴見岳，由布岳，九重山，阿蘇，阿武火山群）の条件を包絡した阿蘇の値を設定している。降下火砕物のパラメータ設定における定性的な保守性を表1にまとめる。

3. 施設の限界層厚評価における保守性について

今回の火山事象に対する安全裕度評価では、施設を網羅的に抽出し、2.項に記載の保守性を考慮した降下火砕物のパラメータ設定に基づき、様々な保守性を考慮し、各施設の限界層厚を評価している。ここでは、各施設の限界層厚評価が有する定性的な保守性について、事象の過程の進展を防止する措置実施後の限界層厚評価において、各収束シナリオの限界層厚となった施設（2次系純水タンク，非常用ディーゼル発電機，

原子炉建屋，タービン建屋（脱気器部））について，具体的に考察する。

(1) 2次系純水タンクの限界層厚評価における定性的な保守性

2次系純水タンクの限界層厚評価では，2次系純水タンク（1/8モデル）での除灰作業検証試験^注に基づき，1日あたりの除灰可能な降下火砕物の層厚を評価した。2次系純水タンクの限界層厚評価における定性的な保守性を表2にまとめる。

注：平成30年12月17日付け原規規発第1812178号にて認可された保安規定の審査資料TS(66)-02-01（改5）別紙4 作業の成立性について 別紙-3 2次系純水タンクの除灰作業の検証について

(2) 非常用ディーゼル発電機の限界層厚評価における定性的な保守性

非常用ディーゼル発電機（以下「DG」という。）の限界層厚評価では，DG（吸気消音器 屋根板）の降下火砕物に対する強度評価と，火山灰フィルタ取替え・清掃に要する時間から，降下火砕物の層厚を算出している。DGの限界層厚評価における定性的な保守性を表3にまとめる。

(3) 原子炉建屋及びタービン建屋（脱気器部）の限界層厚評価における定性的な保守性

原子炉建屋及びタービン建屋（脱気器部）の限界層厚評価では，降下火砕物による鉛直荷重による強度評価を行い，建屋部位ごとに検定値（発生値/許容値）を算出し，最も評価結果が厳しい建屋部位の限界層厚を評価している。原子炉建屋及びタービン建屋（脱気器部）の

限界層厚評価における定性的な保守性を表4にまとめる。

4. まとめ

今回の火山事象に対する安全裕度評価においては、前述したとおり、降下火砕物のパラメータ設定や各施設の限界層厚評価において、定量的に示すことが困難な各種の定性的な保守性を有しており、実際には更に余裕があると考えられる。

なお、本資料で整理した定性的な保守性を理解すれば、事象の進展を適切に予測でき、原子力防災管理者等の判断の根拠として助けとなり有用である。

表1 降下火砕物のパラメータ設定における定性的な保守性

項目	定性的な保守性
層厚	降下火山灰シミュレーションでは、敷地での降灰が厳しくなる9月の観測データから風向を敷地方向に変え、敷地方向に一定の風向・風速が継続すると設定しているが、実際には、風向・風速は時々刻々と変化すると考えられるため、敷地方向に一定の風向・風速が継続する設定よりも、層厚は小さくなる。なお、既許可の九重山の噴出量 6.2km^3 での降下火山灰シミュレーション結果では、9月の観測データで層厚 6.8cm であったが、敷地方向の一定の風向・風速が継続する設定としたところ、層厚 14cm となった。このことから、敷地方向に一定の風向・風速が継続する設定は保守的評価である。
密度	既許可では四国西部の宇和盆地における降下火砕物の試験結果（密度：乾燥状態 0.665g/cm^3 ，湿潤状態 1.323g/cm^3 ）を包含するように密度 0.5g/cm^3 （乾燥状態）～ 1.5g/cm^3 （湿潤状態）を設定している。 降下火砕物の荷重評価では、保守的に湿潤状態の密度 1.5g/cm^3 を設定している。
気中降下火砕物濃度	火山ガイドに示された気中降下火砕物濃度の算定手法は、粒径の小さな降下速度が非常に小さく24時間以内に降下しない火砕物も含め、粒径の大小に関わらず24時間以内に粒形分布を維持しながら全て降灰すると仮定した保守的な手法となっている。 また、粒径の小さな降下火砕物は降下する過程で凝集するものの、凝集することで粒径が大きくなった降下火砕物は落下速度が大きくなるため、気中降下火砕物濃度の算定手法に基づけば、気中降下火砕物濃度は小さくなるにも関わらず、凝集を考慮しない保守的な算定方法となっている。

表2 2次系純水タンクの限界層厚評価における定性的な保守性

項目	定性的な保守性
模擬降下火砕物の密度	降下火砕物の荷重評価では、保守的に $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ （湿潤状態）を設定するが、除灰作業検証試験は更に保守的な $1.7\text{g}/\text{cm}^3$ を設定している。
模擬降下火砕物の層厚	現実的には降灰が開始次第除灰を行うが、除灰作業検証試験は模擬降下火砕物層厚を 5cm に設定して除灰作業を行っている。
タンク形状	2次系純水タンクの天井部は、中心から周辺に向かって緩やかな下り坂になっていることから、平地で実施した除灰作業検証試験より効率的に除灰できる。
参集時間	<p>2次系純水タンクの事象の過程の進展を防止する措置については、参集要員から6名を除灰作業に追加配員した評価を行っているが、想定より前に参集し除灰を開始する要員^{注1}がいれば、より多く除灰できる。</p> <p>注1：伊方発電所第3号機 原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタ引き上がり事象（令和2年1月12日）の電力社員副長以上全員招集実績を調査したところ、火山噴火から伊方発電所への降灰到達時間である80分^{注2}より前の、呼び出しから約1時間で電力社員18人が参集していた。</p> <p>注2：降灰到達時間は、保守的に敷地方向に一定の風向・風速が継続する条件で九重山から伊方発電所までの水平距離で算出しているが、実際には、風向・風速は時々刻々と変化するものであり、火砕物の火口からの上昇時間や伊方発電所への落下時間も考慮する必要があるため、降灰到達時間はより長くなると考えられ、降灰前に伊方発電所に到着する参集要員は更に多くなると考えられる。（なお、参考として、平成28年10月8日の阿蘇山中岳第一火口噴火での伊方発電所降灰到達時間は2時間54分であった。）</p>
2次系純水タンク上部で除灰可能な人数	2次系純水タンクの事象の過程の進展を防止する措置の中で、2次系純水タンクの上部で除灰可能な人数は10人と評価し、交替時に10名がタンク上部に合流する想定で1班5名の2班が交替しながら除灰する条件を設定した。しかしながら、交替時にタンク上部に合流する人数を10名以下になるように管理すれば、5名以上の除灰作業員で作業を継続できるため、1日あたりの除灰可能な降下火砕物の層厚は大きくなると考えられる。

表3 DGの限界層厚評価における定性的な保守性

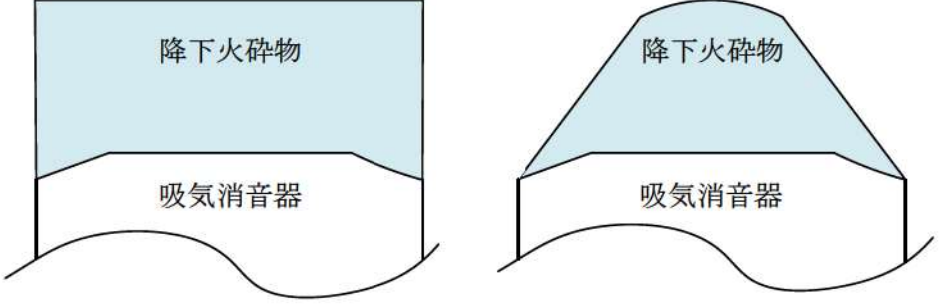
項 目	定性的な保守性
吸気消音器の上部に堆積した降下火砕物の形状	<p>屋根板の曲げ評価は、吸気消音器の上部に降下火砕物が垂直に堆積する条件で評価しているが、実際には周辺部の降下火砕物は崩れて堆積しないため、なだらかな三角形状に堆積することから、保守的な限界層厚となる。吸気消音器の上部に堆積した降下火砕物のイメージを以下に示す。</p> <p>なお、現実には以下のイメージのように降下火砕物が堆積した状態でそのまま放置しておくことはあり得ないことからすれば、実際の限界層厚は本評価で確認した限界層厚よりも大きくなる。</p> <div style="text-align: center;">  <p>評価のイメージ 現実のイメージ</p> <p>図 吸気消音器の上部に堆積した降下火砕物のイメージ</p> </div>
DG吸気量	<p>DGは定格運転していると仮定し、火山灰フィルタ閉塞時間を評価しているが、実際に炉心冷却に必要な電力量は定格容量よりも少ない。容量が減ると吸気量・流速も下がるため、火山灰フィルタに捕集される降下火砕物量（単位時間当たり）・圧損ともに減少し、その結果、火山灰フィルタが閉塞するまでの時間は評価結果よりも長くなる。</p>
吸気口の向き（下向き効果）	<p>降下火砕物は全て吸気口に吸い込まれると仮定し（つまり、吸気消音器の吸気口は上向きと仮定し）、火山灰フィルタ閉塞時間を評価しているが、実際は下向きに設置されている。吸気口に吸い込まれない粒形の降下火砕物も含め全て吸い込むと仮定して、火山灰フィルタ閉塞時間を評価しているため、火山灰フィルタ閉塞までの時間は評価結果よりも長くなる。</p>

表4 原子炉建屋及びタービン建屋（脱気器部）の
限界層厚評価における定性的な保守性

項 目	定性的な保守性
発生応力	規格式に基づき降下火砕物堆積により屋根に発生する応力を算定しているが、規格式は実際より発生応力が大きく評価される。
許容限界	降下火砕物堆積による荷重に対して屋根が弾性状態にとどまることを確認しているが、弾性状態を超えた場合でも終局状態までには余裕があり、屋根が直ちに脱落することはない。
影響範囲	<p>降下火砕物に対して防護すべき設備が設置されている位置等によらず、建屋の一部分でも許容限界を超えると建屋の機能を維持できないと評価しているが、設備が設置されている位置等を踏まえれば、影響範囲を限定することができる。</p> <p>例えば、原子炉建屋の限界層厚を与える具体的な箇所は原子炉周辺補機棟の屋根のスラブであり、当該箇所には建屋の換気のために設置しているガラリがある。ガラリが損傷することで、建屋の換気能力に影響を与える可能性があるが、そもそも降灰時には、火山事象に対する影響を防ぐためダンパを閉止することも想定し、設備を設計していることから、降下火砕物の荷重でスラブが損傷することで、ガラリが機能喪失しても炉心冷却の成功パスに影響しない。</p>