

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密または
防護上の機密に属しますので公開できません。

資料3-1-2

伊方発電所 3 号炉
降下火砕物（火山灰）の評価条件見直しについて
補足説明資料

平成 2 7 年 4 月 9 日

四国電力株式会社

6 条：外部からの衝撃による損傷の防止
(火山)

<目 次>

1. 基本方針
 - 1.1 要求事項の整理
 - 1.2 気象等
 - 1.3 追加要求事項に対する適合性（手順等含む）
 - (1) 位置，構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性説明
 - 1.4 設備等
2. 外部からの衝撃による損傷の防止（火山）
(別添資料 1) 火山に対する防護
3. 運用，手順説明資料
(別添資料 2) 外部からの衝撃による損傷の防止（火山）

<概 要>

1. において、設計基準事故対処設備の設置許可基準規則、技術基準規則の追加要求事項を明確化するとともに、それら要求に対する伊方発電所3号炉における適合性を示す。
2. において、設計基準事故対処設備について、追加要求事項に適合するために必要となる機能を達成するための設備又は運用等について説明する。
3. において、追加要求事項に適合するための運用、手順を抽出し、必要となる運用対策等を整理する。

1. 基本方針

1.1 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。(表1)

表 1 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

1.2 気象等

8. 火山

8.1 検討の基本方針

敷地周辺の火山の活動履歴、噴出物の分布等に関する文献調査、地形調査、地質調査、地球物理学的調査等の結果に基づき、まず立地評価として原子力発電所の運用期間中に設計対応不可能な火山事象が及ぶ可能性の評価を行い、次に影響評価として原子力発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象について検討を行う。

原子力発電所が設計対応不可能な火山事象は、火砕物密度流、溶岩流、岩屑なだれ（地滑り及び斜面崩壊を含む）、新しい火口の開口、地殻変動の5事象である。また、原子力発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象は、これら5事象に降下火砕物、火山土石流（火山泥流及び洪水を含む）、火山から発生する飛来物（噴石）、火山ガス、津波（静振を含む）、大気現象、火山性地震（これに関連する事象を含む）、熱水系（地下水の異常を含む）を加えた13事象である。

なお、火山事象の検討にあたっては、地理的領域である敷地から半径160km内の第四紀火山（258万年前から現在までの期間に活動が認められる火山）について検討を行った。また、降下火砕物については、広域テフラの到達範囲も考慮し、地理的領域外の火山も含めてその影響を検討した。

【別添資料1（1.：P.6条(火山)-別添1-1～3）】

8.2 調査・検討内容

8.2.1 既往文献調査

地理的領域内の火山に関して、工業技術院地質調査所（以下「地質調査所」という。）あるいは産業技術総合研究所地質調査総合センター（以下「地質調査総合センター」という。）による文献として、20万分の1地質図幅「山口及び見島^{みしま}」（松浦ほか、2007）、「中津^{なかつ}」（石塚ほか、2009）、「大分」（対馬・小野、1958）、「延岡」（寺岡ほか、1981）、「小串^{こぐし}」（尾崎ほか、2006）、「福岡」（久保ほか、1993）、「熊本」（星住ほか、2004）、「八代及び野母崎^{のべおか}の一部^{やっしろ}」（斎藤ほか、2010）、50万分の1地質図幅「福岡（第3版）」（広川ほか、1976）、「鹿児島（第2版）」（今井ほか、1980）、「100万分の1日本地質図第3版」（地質調査総合センター、2003）、「200万分の1地質編集図「日本の火山（第3版）」（中野ほか編、2014）、「日本の火山」（地質調査総合センター、2013）、「第四紀火山岩体・貫入岩体データベース」（西来ほか編、2012）などがある。

また、その他の機関による主な文献としては、「日本の第四紀火山カタログ」（第四紀火山カタログ委員会編、1999）、「日本活火山総覧（第4版）」（気象庁編、2013）,

「海域火山データベース」(海上保安庁海洋情報部, 2015), 「新編 火山灰アトラス」(町田・新井, 2011), 「日本第四紀地図」(日本第四紀学会編, 1987) などがある。

これらの文献により, 主に地理的領域内における第四紀火山, 火山噴出物の種類, 分布, 地形, 規模, 活動間隔等を把握した。

8.2.2 地形調査・地質調査

火山の活動履歴や降下火砕物の分布等を把握するために, 地形調査, 地質調査等を実施した。

地形調査は, 主に国土地理院で撮影された縮尺2万分の1, 必要に応じて4万分の1の空中写真及び同院発行の2万5千分の1の地形図を使用して地形判読を実施し, 火山地形を把握した。

地質調査は, 四国に分布する第四紀層の地表踏査, ボーリング調査等を実施し, 採取したテフラの分析等によって降下火砕物の給源, 厚さ, 年代等を把握した。

8.2.3 地球物理学的調査

火山の活動性等を把握するために, 地震波速度構造, 地震活動, 地殻変動, 地温勾配及び地殻熱流量等に関する調査・検討を実施し, マグマ溜まりの規模や位置に関連する地下構造等について分析した。

【別添資料1 (2.1 : P.6 条(火山)-別添1-4)】

8.3 調査・検討結果

8.3.1 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

地理的領域内における第四紀火山及び第四紀火山岩類の分布を第8.3.1図に示す。敷地は, 四国北西部に細長く延びる佐田岬半島の付け根付近の瀬戸内海側に位置する。山口県の内陸部から大分県の国東半島, 別府湾沿岸へと連なる火山フロントはフィリピン海プレートの沈み込みと対応して発生する深発地震面の深さ約120kmの等深度線と対応している(鎌田ほか, 1988)。敷地は火山フロントから南東に大きく離れており, 敷地を中心とする半径50km内に第四紀火山や第四紀火山岩類は分布しない。

「日本の火山(第3版)」(中野ほか編, 2013)に約260万年前から現在までに活動した第四紀火山が収録されており, 地理的領域内に42の第四紀火山が分布する(第8.3.1表)。これらのうち完新世に活動を行った火山は, 敷地との距離が近いものから, 鶴見岳(85km), 由布岳(89km), 九重山(108km), 阿蘇(130km), 阿武火山群(130km)であり, 「日本活火山総覧(第4版)」(気象庁編, 2013)において活火山と定義されている。これらの5火山は原子力発電所に影響を及ぼし得る火山であり, 発電所運用期

間中の活動の可能性を考慮する。また、完新世に活動を行っていない火山のうち、^{ひめしま}姫島（65km）、^{たかひら}高平火山群（89km）は活火山ではないものの、火山活動が終息する傾向が明確ではなく、将来の火山活動可能性が否定できないため、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として抽出する。

一方、残りの35火山はいずれも活動年代が古く、最新活動からの経過期間が過去の最大休止期間より長い等より、将来の火山活動可能性は無いと評価する。

8.3.2 運用期間中の活動可能性及び噴火規模の評価

8.3.2.1 鶴見岳

鶴見岳は大分県の別府湾西岸に位置する標高1,375mの安山岩やデイサイトを主とする成層火山であり、約9万年前以前から活動を開始し、現在も噴気活動が認められる（地質調査総合センター，2014）。南北5kmにわたり連なる溶岩ドームの最南端に位置する鶴見岳は厚い溶岩流の累積からなり、北端の^{がらんだけ}伽藍岳には強い噴気活動がある（気象庁編，2013）。完新世で最大規模の噴火は10.6～7.3kaの鶴見岳山頂溶岩噴火で噴出量は0.15km³とされている（地質調査総合センター，2014）。

鶴見岳では、29～7.3kaの間に溶岩の噴出を伴う噴火が繰り返し発生しており、7.3ka以降は溶岩の噴出を伴わない比較的小規模な噴火が主体であったと推定されている（藤沢ほか，2002）。鶴見岳を起源とする幾つかの火山灰の体積はいずれも10⁶m³（0.001km³）のオーダー以下と推定されており（藤沢ほか，2002），鶴見岳山頂溶岩噴火は溶岩主体の噴火と推定される。また、鶴見岳を起源とする大規模火砕流は知られておらず（町田・新井，2011；星住ほか，1988），発電所に影響を及ぼす可能性はない。

完新世以前の噴火規模についての報告はなく、完新世で最大規模の噴火である鶴見岳山頂溶岩噴火は敷地に影響を及ぼす可能性のない溶岩主体の噴火である。

なお、高平火山群は鶴見岳の下位に位置する古い火山群であり、少なくとも約9万年前以降は鶴見岳が活動している。したがって、その活動は鶴見岳に包含されているものと評価する。

8.3.2.2 由布岳

由布岳は大分県の鶴見岳西方に位置する標高1,583mの安山岩やデイサイトを主とする成層火山であり、約9万年前より古い時代から活動を開始し、最新噴火は2,000～1,900年前とされている（地質調査総合センター，2014）。由布岳は数個の溶岩ドーム及び山頂溶岩からなり、約2千年前に規模の大きな噴火活動（2ka噴火）が発生したが、その後有史から現在に至るまで噴火活動は起きていない（気象庁編，2013）。

完新世以前の噴火規模についての報告はなく、完新世で最大規模の噴火は2ka噴火で噴出量は0.207km³とされている（地質調査総合センター，2014）。

由布岳の山麓には2ka噴火に伴う火砕流堆積物が分布するが（藤沢ほか，2001），由布岳を起源とする大規模火砕流は知られておらず（町田・新井，2011），発電所に影響を及ぼす可能性はない。また，2ka噴火に伴う由布岳1火山灰は厚さ数cmで別府湾に降下・堆積しており（梅田ほか，1996），その体積は0.05km³とされている（須藤ほか，2007）。

8.3.2.3 九重山

九重山は由布岳と阿蘇山の間の大分県西部に東西15kmにわたって分布する20以上の火山の集合であり，最高峰は中岳（標高1,791m）である（気象庁編，2013）。約20万年前以降に活動し，最新噴火は1996年である（地質調査総合センター，2014）。火山の多くは急峻な溶岩ドームで山体の周囲を主に火砕流からなる緩傾斜の裾野がとりまき，1995年の噴火を発生した星生山^{ほっしょうざん}には活発な硫気孔群がある（気象庁編，2013）。

九重山を起源とする比較的規模の大きな火砕流として，150～140kaに噴出したと推定される宮城火砕流^{みやぎ}，約110kaに噴出したと推定される下坂田火砕流^{しもさかた}，約80～70kaに噴出したと推定される飯田火砕流^{はんた}があり，より小規模な火砕流（ブロック・アンド・アッシュ・フロー）や小規模な水蒸気爆発も知られている（鎌田，2006）。3つの比較的規模の大きな火砕流のうち最も新しい飯田火砕流が最大規模とされ（熊原・長岡，2002），その堆積物は^{はんた}大分県から熊本県にかけての地域に分布し，最大層厚約200m，推定分布面積約150km²，推定体積は約5km³と見積もられている（鎌田，1997）。これらの火砕流堆積物の分布は九州内陸部に限られ（鎌田，1997），発電所に影響を及ぼす可能性はない。飯田火砕流堆積物は広域テフラの九重第一軽石と対応し（鎌田，1997；町田・新井，2011），火山灰の分布の長軸は四国南端方向で体積は2.03km³とされている（須藤ほか，2007）。宮縁ほか（2003）は飯田火砕流と阿蘇4との間に膨大な量の降下テフラが存在することからその噴出年代として50ka前後が適当としている。九重山は完新世にも頻繁にマグマを噴出しており，マグマを出した最後の活動として約1,700年前に黒岳の溶岩ドーム（1.6km³）が形成されているが（地質調査総合センター，2014），敷地から遠く影響ない。

8.3.2.4 阿蘇

阿蘇カルデラは熊本県東部で東西約17km，南北約25kmのカルデラである。阿蘇カルデラ周辺の火山としては，カルデラの中央部に阿蘇山が，東側に根子岳^{ねこだけ}が位置し，縁辺部に先阿蘇^{せんあそ}の火山岩類が分布する。阿蘇山は，高岳^{たかだけ}（標高1,592m），中岳^{なかだけ}（標高

1, 506m)等の東西方向に連なる成層火山からなる火山群であり、根子岳(標高1, 433m)は、開析の進んだ成層火山である。以下、阿蘇カルデラ、阿蘇山、根子岳、先阿蘇を一括して阿蘇と称する。

町田・新井(2011)等によると、阿蘇カルデラでは、約27万年前～約25万年前に阿蘇1噴火が、約14万年前に阿蘇2噴火が、約12万年前に阿蘇3噴火が、約9万年前～約8.5万年前に阿蘇4噴火が認められ、いずれも火砕流及び降下火砕物を噴出した噴火とされている。阿蘇1噴火の際に噴出した阿蘇1火砕流堆積物及び阿蘇2噴火の際に噴出した阿蘇2火砕流堆積物は、大分県西部並びに熊本県北部及び中部の広い範囲に、阿蘇3噴火の際に噴出した阿蘇3火砕流堆積物は、大分県西部及び中部並びに熊本県北部及び中部の広い範囲に、阿蘇4噴火の際に噴出した阿蘇4火砕流堆積物は、九州北部及び中部並びに山口県南部の広い範囲に分布する。また、阿蘇3噴火及び阿蘇4噴火の噴火規模は、破局的噴火とされており、阿蘇1噴火及び阿蘇2噴火についても、火砕流堆積物の分布範囲等から、その噴火規模は破局的噴火と考えられる。これらの阿蘇1～阿蘇4の4回の破局的噴火の中で阿蘇4が突出して大きく、600km³とされている(町田・新井, 2011)。

日本第四紀学会編(1987)及び町田・新井(2011)は阿蘇4火砕流堆積物の到達範囲を推定・図示しており、敷地の位置する佐田岬半島まで到達した可能性を示唆している。ただし、その分布は方向によって偏りがあり、佐田岬半島において阿蘇4火砕流堆積物を確認したとの報告はない。

佐田岬半島では段丘面の発達全般が悪いものの、狭小な海成段丘が沿岸部に点在する。地表踏査結果によると、佐田岬半島に点在するM面(中位段丘面)の段丘堆積物を覆う風成層は阿蘇4テフラを混在するものの阿蘇4火砕流堆積物は確認されず、中位段丘に阿蘇4火砕流堆積物が保存されている山口県とは状況が異なる。また、堆積条件のよい低地あるいは盆地であるため、阿蘇4火砕流堆積物が保存されやすいと考えられる佐田岬半島西端部の阿弥陀池^{あみだ}、佐田岬半島中央部の伊方町高茂^{こうも}、佐田岬半島付け根部^{やわたはま}の八幡浜市川之石港^{かわのいし}におけるボーリング調査においても、更新統が薄く阿蘇4噴火時の堆積物を欠き、阿蘇4火砕流堆積物は確認されない。

敷地と阿蘇カルデラの距離は約130kmであり、その間には佐賀関半島^{さかのせき}や佐田岬半島などの地形的障害も認められるので、阿蘇4火砕流は敷地まで達していないものと考えられる。

阿蘇4噴火に関する活動について、阿蘇4噴火以前の活動としては、小野ほか(1997)によると、阿蘇3噴火及び阿蘇4噴火の間に、降下軽石又は降下火山灰を主体とする噴火が複数回発生した阿蘇4/3噴火期が認められる。阿蘇4噴火以降の活動としては、小野・渡辺(1985)及び宮縁ほか(2003)によると、約9万年前以降に阿蘇山が噴火活動を開始し、溶岩や火砕物を噴出する小規模噴火の繰り返しにより形成された

火山体とともに、降下軽石を主体とする噴火が複数回認められる。なお、三好ほか(2009)及び中野ほか編(2013)によると、約80万年前～約40万年前の間に先阿蘇の火山岩類の活動が認められ、約14万年前～約12万年前の間に根子岳の火山岩類の活動が認められる。

破局的噴火の活動間隔については、阿蘇1噴火と阿蘇2噴火との間隔は約11万年、阿蘇2噴火と阿蘇3噴火との間隔は約2万年、阿蘇3噴火と阿蘇4噴火との間隔は約3万年であり、活動間隔にばらつきはあるものの、最新の破局的噴火は約9万年前～約8.5万年前の阿蘇4噴火であることから、破局的噴火の最短の活動間隔は最新の破局的噴火からの経過時間に比べて短い。

また、Nagaoka(1988)を参考にすると、現在の阿蘇山の活動は、多様な噴火様式の小規模噴火を繰り返していることから、後カルデラ火山噴火ステージと判断される。

阿蘇カルデラの地下構造については、Sudo and Kong(2001)に示される地震波速度構造において、地下6kmに小規模なマグマ溜まりは認められるものの、大規模なマグマ溜まりは認められない。高倉ほか(2000)によると、阿蘇カルデラの地下10km以浅にマグマと予想される低比抵抗域は認められない。また、三好ほか(2005)によると、阿蘇4噴火以降の火山岩の分布とそれらの組成から、大規模な流紋岩質～デイサイト質マグマ溜まりは想定されないとされている。

また、国土地理院による電子基準点の解析結果によると、マグマ溜まりの顕著な増大を示唆する基線変化は認められない。

以上のことから、現在のマグマ溜まりは破局的噴火直前の状態ではなく、今後も、現在の噴火ステージが継続するものと判断され、運用期間中の噴火規模については、後カルデラ火山噴火ステージである阿蘇山での既往最大噴火規模を考慮する。なお、宮縁ほか(2003)によると、阿蘇山での既往最大噴火は阿蘇草千里ヶ浜^{くさせんりがはま}噴火であり、その噴出量は約2km³とされている。また、阿蘇山起源の火砕流堆積物の分布は阿蘇カルデラ内に限られ(小野・渡辺, 1985)、発電所に影響を及ぼす可能性はない。

8.3.2.5 阿武火山群

阿武火山群は山口県の日本海側に位置する玄武岩や安山岩を主とする約40の小火山体から構成される火山群である(地質調査総合センター, 2014)。約80万年前から約1万年前まで活動し、最新噴火は8,800年前であり、190万～150万年前には先阿武火山活動があったとされる(地質調査総合センター, 2014)。最新の噴火は萩市^{はぎ}の笠山^{かさやま}(標高112m)で起こり、約11,000年前に玄武岩質安山岩の溶岩台地が形成され、約8,800年前に宇生賀^{うしょうが}溶岩が流出、3,000年前にストロンボリ式噴火でスコリア丘が形成された(気象庁編, 2013)。

約80万年前以降の後期阿武単成火山活動の噴出量は約2.9km³と見積もられており、過去の噴火規模(溶岩の体積)は0.001～0.75km³であるが(角縁ほか, 2000)、敷地

から遠く影響ない。阿武火山群は小規模な溶岩噴出を主体とし、阿武火山群を起源とする大規模火砕流や広域火山灰は知られておらず（町田・新井，2011），発電所に影響を及ぼす可能性はない。

8.3.2.7 姫島

姫島は、大分県北東部国東半島の北方約4km 沖の周防灘に位置する東西約7km、南北約3km の細長い島であり、標高267m^{やはずだけ}の矢筈岳を最高峰とする火山群である（地質調査総合センター，2014）。姫島には噴出中心を異にする複数の単成火山が認められ、最も山体の大きい矢筈岳の体積は0.02km³であり、これに大海^{おおみ}、金^{かね}、稲積^{いなづみ}、城山^{しろやま}、達磨山^{だるまやま}、浮洲^{うきす}を加えた7つの小規模な火山がある（伊藤ほか，1997）。姫島の基盤は更新世前期～中期の堆積岩類であり、これを貫いてデイサイトや流紋岩を主とする溶岩ドームあるいは火砕丘（タフリング及びタフコーン）が分布する（伊藤ほか，1997；地質調査総合センター，2014）。また、姫島を起源とする大規模火砕流は知られておらず（町田・新井，2011），発電所に影響を及ぼす可能性はない。

地質調査総合センター（2014）によると、姫島の活動時期は約30万～10万年前とされている。全活動期間の約20万年間に7回以上の活動があり、平均活動間隔は数万年程度であるのに対して、最新活動から約10万年が経過している。

現在、姫島に噴気活動はなく、地下深部に流体移動の関与を示唆する低周波地震も認められない（第8.3.2図）。

以上を踏まえれば、姫島が近い将来に噴火する可能性は極めて低く、発電所運用期間中に噴火する可能性はないものと評価する。

8.3.3 立地評価

火砕物密度流については、個々の火山における過去の火砕流堆積物の分布は九州あるいは山口県の内陸部に限定され、発電所に影響を及ぼす可能性はない。溶岩流及び岩屑なだれについては、いずれの火山も敷地から50km 以遠に位置するので影響ない。新しい火口の開口及び地殻変動については、敷地は山口県から別府湾に至る火山フロントから十分な離隔があり、問題となるものではない。

以上より、設計対応不可能な火山事象の敷地への到達はなく、立地に問題ないと評価される。

【別添資料1（2.1～2.2：P.6条(火山)-別添1-4～5）】

8.3.4 影響評価

鶴見岳、由布岳、九重山、阿蘇、阿武火山群の5火山について発電所運用期間中

の活動可能性を考慮し、発電所の安全性に影響を与える可能性について検討した。なお、降下火砕物については、地理的領域外の火山も含めてその影響を検討した。

8.3.4.1 降下火砕物

「新編 火山灰アトラス」(町田・新井, 2011)によれば、降下火砕物は偏西風の影響で東方へ偏って分布することが多く、敷地へ到達したと考えられる主な降下火砕物は西方の九州に分布する第四紀火山を起源とする。敷地付近には、阿蘇カルデラを起源とする降下火砕物のほか、地理的領域外の加久藤カルデラ、始良カルデラ、阿多カルデラ及び鬼界カルデラを起源とする降下火砕物も降下したとされている(町田・新井, 2011)。敷地周辺(九州～四国)における第四紀火山起源の主な降下火砕物の分布を第8.3.3図に示す。敷地付近における主な降下火砕物として、約7,300年前のK-Ah 火山灰、3～2.8万年前のAT 火山灰、約9～8.5万年前の阿蘇4火山灰があり、降下厚さはそれぞれ20～30cm, 20～50cm, 15cm以上とされている(町田・新井, 2011)。

敷地南東に位置する宇和盆地中心部におけるボーリング調査結果によると、大分県の猪牟田カルデラが活動を終えた約85万年前(中野ほか編, 2013)以降に66枚の火山灰層を挟在しており(第8.3.4図)、本ボーリングコアを用いて花粉分析を行った守田ほか(2014)によってKkt 火山灰以降の連続的な堆積環境が示されている。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ボーリング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。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、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される。

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と阿蘇山を給源とする草千里ヶ浜軽石が示されている。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見られない。

熊原・長岡(2002)は、敷地から約70km南南東の高知県宿毛市において、厚さ20cm, 40cmの小川テフラを報告し、九重第一軽石と対比した。テフラ中には非火山性の砂が混入していることから、ユニットは水流によって二次的に形成された可能性が高いと評価されており(熊原・長岡, 2002; 熊原, 2002)、これらは厚さ変化の著しいものであり、降下時の純粋な層厚には言及されてない。須藤ほか(2007)は、熊原・長岡(2002)による九重第一軽石報告地点の層厚を10cmとして等層厚線図を完成させ、その噴出量が2.03km³と見積もられることを示した。宿毛市における熊原・長岡(2002)

の九重第一軽石露頭は現在確認できないが、その北西方約 100m に同層準の地層が露頭しており、厚さ 20cm の九重第一軽石を確認できる。当該露頭において、火山灰層は礫層中に挟まれて径数 cm 以上の礫を含み、全体の約 50% は異質岩片から成るとともに降下ユニットが認められないことから、水流による再堆積層と判断される。

地質調査結果に基づき敷地周辺の連続した細粒堆積物について検討した結果、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、敷地付近における火山灰の降下厚さはほぼ 0 cm 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 0 cm と評価される（第 8.3.5 図）。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る（第 8.3.5 図、第 8.3.6 図）。ここで、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 以上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、給源付近については厚い火山灰が降下する領域の面積がやや小さい傾向がある。

そこで、長岡・奥野(2014)を参照して噴出量を既存の知見より大きく 6.2km^3 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（第 8.3.7 図、第 8.3.8 図）。九重第一軽石の等層厚線図と解析結果を比較すると、給源付近の厚い火山灰が降下する領域の広がりを概ね再現できている。

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。

宇和盆地における火山灰の試験結果から、密度は乾燥状態で 0.665g/cm^3 、湿潤状態で 1.323g/cm^3 であり、粒径は 1mm 以下が主体である。また、高知県宿毛市で報告された九重第一軽石は中～細粒砂サイズとされており（熊原・長岡, 2002）、粒径は 0.5mm 以下である。降下火砕物の諸元について、地質調査結果及び文献調査結果に基づき、乾燥密度を 0.5g/cm^3 、湿潤密度を 1.5g/cm^3 、粒径を 1mm 以下主体と評価する。

以上を踏まえて、降下火砕物による影響を考慮することとする。

なお、宇和盆地における火山灰層厚さの頻度分布を見ると、薄い火山灰ほど頻度が高く、厚い火山灰の頻度は低い（第 8.3.9 図）。また、約 33 万年前の Kkt 火山灰以降に 40 枚の火山灰が降下しており、町田・新井（2011）等で四国西部に降下したとされる主要な広域火山灰がすべて含まれている。したがって、宇和盆地における火山灰

の降下頻度は1.2枚／万年であり、ポアソン過程を用いた評価によると年超過確率で 10^{-4} に相当する層厚は約2cmである。敷地において考慮する降下火砕物厚さ15cmの年超過確率は $10^{-4} \sim 10^{-5}$ であり、設計として妥当である。

8.3.4.2 火砕物密度流

発電所運用期間中の活動可能性を考慮する火山における過去の火砕流堆積物の分布は敷地と海を隔てた九州あるいは山口県の内陸部に限定されていることから、火砕物密度流が敷地の位置する四国まで到達するとは考えられない。したがって、火砕物密度流による影響はないと評価される。

8.3.4.3 溶岩流

溶岩流については、発電所運用期間中の活動可能性を考慮するいずれの火山も敷地から50km以遠で、敷地と海を隔てた九州あるいは山口県に位置していることから、四国への到達は考えられない。したがって、溶岩流による影響はないと評価される。

8.3.4.4 岩屑なだれ

岩屑なだれについては、発電所運用期間中の活動可能性を考慮するいずれの火山も敷地から50km以遠で、敷地と海を隔てた九州あるいは山口県に位置していることから、四国への到達は考えられない。したがって、岩屑なだれによる影響はないと評価される。

8.3.4.5 火山土石流

火山土石流については、発電所運用期間中の活動可能性を考慮するいずれの火山も敷地から80km以遠で、敷地と海を隔てた九州あるいは山口県に位置していることから、四国への到達は考えられない。したがって、火山土石流による影響はないと評価される。

8.3.4.6 噴石

噴石については、発電所運用期間中の活動可能性を考慮するいずれの火山も敷地から10km以遠に位置していることから、敷地への到達は考えられない。したがって、火山から発生する飛来物による影響はないと評価される。

8.3.4.7 火山ガス

発電所運用期間中の活動可能性を考慮するいずれの火山も敷地から80km以遠の遠方に位置するとともに、敷地は沿岸部で瀬戸内海に向かって突き出した小半島に位置

し、火山ガスが滞留するような地形ではない。したがって、火山ガスによる影響はないと評価される。

8.3.4.8 新しい火口の開口

新しい火口の開口については、敷地は山口県から別府湾に至る火山フロントと十分な離隔があるため、問題となるものではない。したがって、新しい火口の開口による影響はないと評価される。

8.3.4.9 津波

敷地前面海域である伊予灘西方の別府湾沿岸には、発電所運用期間中の活動可能性を考慮する火山として鶴見岳が分布する。

別府湾沿岸では、鹿鳴越^{か な ご え}などの古い第四紀火山が過去に大規模な山体崩壊を発生させた痕跡が岩屑なだれ堆積物として残っている（第8.3.10図；石塚ほか，2005；星住ほか，1988）。歴史時代にも，1596年別府湾の地震に伴って内陸の水口山^{みずぐちやま}北斜面で崩壊規模 0.0045km^3 の津江岩屑なだれ^{つ え}が発生している（星住ほか，1988；日本地すべり学会編，2012）。また，この地震の際に海岸の高崎山^{たかさきやま}で崖崩れが発生したとされ（吉岡ほか，1997），石辺・島崎（2005）によって津波の二次的な要因となった可能性が指摘されている。

したがって，活火山であるとともに山体規模が突出して大きい鶴見岳（伽藍岳含む）の山体崩壊に伴う津波について検討が必要である。

鶴見岳周辺の地形分類図を第8.3.11図に示す。鶴見岳は標高1,375mの北西－南東方向にやや長い楕円形円錐状の火山である。別府湾に面する東麓は傾斜30～40度の斜面で開析谷はほとんどない。一方，北に隣接する大平山^{おおひらやま}との間には東西方向の深さ200m程度の浸食谷が発達し，その谷頭部は東に開いた急斜面となっている。また，鶴見岳山頂の北側には新鮮な滑落崖が認められる。気象庁編（2005）によれば，1597年に鶴見岳において「地震，山崩れ」が発生したとされている。この崩壊箇所は特定されていないものの，鶴見岳山頂北側の崩壊地形の一部がこれと対応する可能性があり，現状の崩壊地形が一度に形成されたものとして崩壊規模を見積もるとおよそ 0.02km^3 である。鶴見岳山頂から別府湾までの距離は約7kmである。

伽藍岳は標高1,045mの円錐状の溶岩円頂丘であり，あまり開析されていない。伽藍岳山頂の南側には馬蹄形の火口があり，噴気活動が活発で変質が著しい。また，東方には鍋山（なべやま）の高まりがあり，伽藍岳山頂との間は南北方向で深さ50～100mの谷となっているため，別府湾側の東麓が大規模に崩壊することは考え難い。

以上を踏まえ，山体が大きく別府湾への崩壊物の流入量も大きい鶴見岳東麓の崩

壊を考慮することとし、既往最大規模に相当する 0.02km^3 の崩壊に伴う津波を基準津波の設定に考慮する。さらに、仮想的な崩壊として、地形や溶岩の分布に基づく検討から山頂を含む大規模な山体崩壊 (0.54km^3) についても、これに伴う津波が基準津波に包含されることを確認する。

なお、発電所運用期間中の活動可能性を考慮する火山に海底火山は存在せず、対象となる火山の過去の火砕流堆積物の分布も内陸部に限定されることから、海底噴火や火砕流による津波については問題とならない。

8.3.4.10 大気現象

大気現象については、発電所運用期間中の活動可能性を考慮するいずれの火山も敷地から80km以遠の遠方に位置していることから、空振による超過圧力等の影響は考えられない。したがって、大気現象による影響はないと評価される。

8.3.4.11 地殻変動

敷地は山口県から別府湾に至る火山フロントと十分な離隔があるため、発電所運用期間中の活動可能性を考慮する火山による地殻変動のほか、新しい火口の開口に伴って引き起こされる地殻変動についても問題となるものではない。したがって、地殻変動による影響はないと評価される。

8.3.4.12 火山性地震

火山性地震については、発電所運用期間中の活動可能性を考慮するいずれの火山も敷地から80km以遠の遠方に位置するので小規模な地震の多発が問題となるものではない。火山近傍で起きた被害地震の中で特に大きなものとして桜島の1914年大正大噴火に伴うM7.1の地震が知られていることから(西村・井口, 2006; 気象庁編, 2013), 発電所運用期間中の活動可能性を考慮する各々の火山においてM7.1の地震を基準地震動の策定に考慮する。

8.3.4.13 熱水系

敷地は山口県から別府湾に至る火山フロントと十分な離隔がある。また、敷地における深部ボーリング調査によると、深度2,000mにおける地温は約73℃、地温勾配は2.8℃/100mと低く、敷地付近の地質に過去に顕著な熱水活動を被った痕跡も認められない。したがって、熱水系による影響はないと評価される。

【別添資料1 (3.1 : P.6条(火山)-別添1-6~8)】