

制定 平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 13061910 号 原子力規制委員会決定
改正 平成 29 年 11 月 29 日 原規技発第 17112910 号 原子力規制委員会決定

原子力発電所の火山影響評価ガイドについて次のように定める。

平成 25 年 6 月 19 日

原子力規制委員会

原子力発電所の火山影響評価ガイドの制定について

原子力規制委員会は、「原子力発電所の火山影響評価ガイド」を別添のとおり定める。

原子力発電所の火山影響評価ガイド

平成25年6月
原子力規制委員会

目 次

	頁
1. 総則	1
1. 1 一般	1
1. 2 適用範囲	1
1. 3 関連法規等	1
1. 4 用語の定義	2
2. 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の流れ	5
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	6
3. 1 文献調査	6
3. 2 地形・地質調査及び火山学的調査	6
3. 3 将来の火山活動可能性	7
4. 原子力発電所の運用期間における火山活動に関する個別評価	8
4. 1 設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価	9
4. 2 地球物理学的及び地球化学的調査	9
5. 火山活動のモニタリング	10
5. 1 監視対象火山	10
5. 2 監視項目	10
5. 3 定期的評価	11
5. 4 火山活動の兆候を把握した場合の対処	11
6. 原子力発電所への火山事象の影響評価	11
6. 1 降下火砕物	12
6. 2 火砕物密度流	13
6. 3 溶岩流	14
6. 4 岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊	15
6. 5 火山性土石流、火山泥流及び洪水	16
6. 6 火山から発生する飛来物（噴石）	17
6. 7 火山ガス	18
6. 8 新しい火口の開口	19
6. 9 津波及び静振	19
6. 10 大気現象	19
6. 11 地殻変動	20
6. 12 火山性地震とこれに関連する事象	20
6. 13 熱水系及び地下水の異常	20
7. 附則	21

1. 総則

本評価ガイドは、原子力発電所への火山影響を適切に評価するため、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出、抽出された火山の火山活動に関する個別評価、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出及びその影響評価のための方法と確認事項をとりまとめたものである。

1. 1 一般

原子力規制委員会の定める「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」第6条において、外部からの衝撃による損傷の防止として、安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならないとしており、敷地周辺の自然環境を基に想定される自然現象の一つとして、火山の影響を挙げている。

火山の影響評価としては、最近では使用済燃料中間貯蔵施設の安全審査において評価実績があり、2009年に日本電気協会が「原子力発電所火山影響評価技術指針」（JEAG4625-2009）を制定し、2012年にIAEAがSafety Standards “Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations” (No. SSG-21)を策定した。近年、火山学は基本的記述科学から、以前は不可能であった火山システムの観察と複雑な火山プロセスの数値モデルの使用に依存する定量的科学へと発展しており、これらの知見を基に、原子力発電所への火山影響を適切に評価する一例を示すため、本評価ガイドを作成した。

本評価ガイドは、新規制基準が求める火山の影響により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の評価方法の一例である。また、本評価ガイドは、火山影響評価の妥当性を審査官が判断する際に、参考とするものである。

原子力発電所の運用期間中に火山活動が想定され、それによる設計対応不可能な火山事象が原子力発電所に影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価できない場合には、原子力発電所の立地は不適と考えられる。

1. 2 適用範囲

本評価ガイドは、実用発電用原子炉及びその附属施設に適用する。

1. 3 関連法規等

本評価ガイドは、以下を参考としている。

- (1) 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（平成25年原子力規制委員会規則第5号）
- (2) 使用済燃料中間貯蔵施設の安全審査における「自然環境」の考え方について（平成20年10月27日 原子力安全委員会了承）

- (3) 日本電気協会 「原子力発電所火山影響評価技術指針」 (JEAG4625-2009)
- (4) IAEA Safety Standards “Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations” (No. SSG-21, 2012)

1. 4 用語の定義

本評価ガイド及び解説における用語の定義は、以下のとおりである。

(1) 火山

火山は、噴火活動で形成された特徴的な形態をもつ地形もしくは構造である。通常地形的高まりである凸の地形であるが、カルデラのように、沈降・陥没によって生じた凹地形の場合もある。

(2) 火山活動

火山活動は、地下のマグマが地表またはその近くまで上昇して冷却固化するまでの間に引き起こすさまざまな作用で、貫入・噴火・熱水活動・火山性地震などが含まれる。

(3) 火山事象

火山災害を引き起こすおそれのある、火山に関連したあらゆる事象若しくは一連の現象。火山事象には噴火を含めてもよく、通常は火山で発生する地滑りなどの非噴火によるものも含める。

(4) 原子力発電所の運用期間

原子力発電所の運用期間とは、原子力発電所に核燃料物質が存在する期間とする。

(5) 地理的領域

火山影響評価が実施される原子力発電所周辺の領域を指す。原子力発電所から半径160kmの範囲の領域とする。

(6) 第四紀及び完新世

第四紀は地質時代の1つで、258万年前から現在までの期間。完新世は第四紀の区分のうちで最も新しいものであり、1万1,700年前から現在までの期間。

(7) マグマ溜まり

マグマで満たされた、地下の貯留層。こうしたマグマ溜まりでは冷却により晶出した鉱物の分離、若しくは新しいマグマの注入・混合によりマグマ組成の変化が普通に起こる。

(8) 降下火砕物

大きさ、形状、組成若しくは形成方法に関係なく、火山から噴出されたあらゆる種類の火山砕屑物で降下する物を指す。

(9) 火山灰

爆発性破碎のさまざまなプロセスによって生じる平均直径2 mm未満の火山岩の破片。

(10) 火砕物密度流

火山噴火で生じた火山ガス、火砕物の混合物が斜面を流れ下る現象の総称（すなわち、火砕流、サージ及びブラスト）。

(11) 火砕流

広い意味の火砕流は、火砕物密度流と同じく火山ガスと火砕物の混合物が斜面を流れ下る現象である。ただし、研究者によっては高温の流れに限定して用いられることも多い。こうした高温流は通常、噴煙柱若しくはドームの崩壊によって形成され、急速に斜面を流れ下る。火砕流は大きな砕屑岩（岩塊、火山弾）を運ぶことが可能であり、通常は地形の勾配に従う。火砕流内の温度は多くの場合、 500°C を超える。速度は火砕流がどのようにして、どこで発生したか、及び流れる斜面に応じて異なるが、一般的には $50\sim 100\text{ km/h}$ とされている。

(12) 火砕サージ

火砕物密度流のうち、比較的流れの密度が小さく乱流性が高いもの。火砕サージは爆発的噴火により火口から直接発生する場合や、濃度の高い火砕流から分離して生じることもある。火砕サージは、大半の火砕流よりも地形の勾配による制約を受けない。

(13) ブラスト

火山ドーム、潜在溶岩ドーム、若しくは表層熱水系の突然の減圧によって生じる側方、低角度の成分を持つ火山性爆発。火山ブラストは、相当な速度（ $\sim 500\text{ km/h}$ ）で側方に広がる強い乱流の火砕サージとして通常動く、ガスと火山性破片（岩塊及びこれよりも小さいサイズ）の希薄な混合物を生じさせることがあり、これには広範囲の破壊を引き起こす能力がある。

(14) 溶岩

溶岩はマグマが地表に流体として流れ出る現象で、その温度は通常 $700\sim 1200^{\circ}\text{C}$ である。その粘性は数桁も異なるほど非常にばらつきがあり、粘性が低い場合は溶岩流として斜面を流れ下り、粘性が高い場合は溶岩ドームとして地形的な高まりをつくる。

(15) 岩屑なだれ

山体が大規模な斜面崩壊を起こし、高速で地表を流走する現象である。この現象で生じた堆積物は山麓を埋め尽くし、海域に流入した場合には津波を引き起こす。国内では磐梯火山 1888 年噴火、雲仙火山 1792 眉山崩れ、北海道駒ヶ岳火山 1640 噴火に伴う岩屑なだれの災害は特に甚大であった。海外では米国セントヘレンズ火山の 1980 年噴火に伴う山体崩壊が、火山観測中に発生し良く知られた事例となっている。火山活動等で不安定化した火山体が噴火や火山性地震をきっかけに山体が崩壊するが、御嶽山 1984 年の伝上崩れのように構造性地震で発生する場合もある。

(16) 土石流

岩屑と水との混合物が地表を流れる現象のうち非粘着性のもの。流路にある建屋や樹木を押し流すほどの大きなエネルギーを伴うことが多い。土石流は、水で飽和した

地滑りによる岩塊から形成されるか、豪雨や急速な融雪や火口湖からの水、若しくは山体系から押し出された水が、火山堆積物を再移動させる場合に形成される可能性がある。豪雨による堆積物の再移動は、噴火の数年後に起きることもある。

(17) 火山泥流

火山砕屑物と水との混合物が地表を流れる現象の総称で、一般にラハールと呼ばれているものとほぼ同じものである。強い降伏強度を持つ粘着性の泥流に限定される場合もある。

(18) 洪水

火山噴火に伴う火砕流や火山泥流等が河川へ流入し、一時的なせき止めを行った後、それが決壊した場合や火砕流等が直接湖水へ流入した場合等に大洪水を引き起こす原因となる。また、岩屑なだれの際に火山体の中に含まれる大量の水によって洪水が発生することもある。

(19) 火口からの弾道放出物（噴石）

火口での爆発活動の結果として激しく噴出される火砕粒子であり、多くの場合は粒径が大きく、火口から地表への高角度の軌道に従い、重力によって落下する。

(20) 火山弾

火山爆発時に噴出される平均直径が 64 mm を超える火砕物(火山岩の破片)であり、移動中に延性変形が生じるほど高温である。火山灰及び火山岩塊も参照のこと。

(21) 火山ガス

マグマ中に含まれる揮発成分が噴気口や火口から噴き出し、生物や施設に被害を与えることがある。また、高濃度の火山ガスは金属を腐食させる。なお、最近の例では、三宅島の山頂火口から大量の火山ガスが放出されている。

(22) 火道

火山でマグマが地表に達するまでの通路。火道の形状は平板状の岩脈から、円筒形に近いほぼ垂直の管までさまざまであるが、複雑な形状が考えられる。地表の火道の開口部は火口である。

(23) 火山性津波

岩屑なだれや火砕流が湖水や海へ流入したり、海底（湖底）噴火などが起ったりすると津波が引き起こされることがある（噴火津波）。噴火津波による被害は、火山から離れた地域でも発生している。このような噴火津波は 1640 年の北海道駒ヶ岳（死者 700 余名）、1741 年の渡島大島（死者 1,475 名）、1792 年の雲仙岳（死者約 15,000 名）など火山災害史上大きな被害を出しているものがある。

(24) 静振

火山性地震や気圧・風向の局所的気象急変で、湖沼や湾内に生ずる定常波。

(25) 大気現象（空振）

爆発的噴火にともなって発生する空気の大気疎密波を空振という。空振により窓ガラスが

破損するなどの被害が出ることもある。

(26) 地殻変動

地殻変動は、マグマが多量に上昇してくることにより生じる地表の変形である。周辺地域で地盤の垂直・水平変動が著しく、多数の断層・亀裂・波状変形が生じ、地上および地下の構造物が破壊されることがある。この様な破壊は地震動による一過性の破壊と違い長期にわたって徐々に進行し、被害も徐々に拡大することがある。

(27) 火山性地震

火山内のプロセスによって引き起こされる地震事象、及び火山内のプロセスに直接関連した地震事象。火山性地震及び地震活動は、噴火の前、その発生時及びその後に多くの形態及び様式（例えば、火山構造成地震、長期事象、混成事象、微動、群発地震）で発生し、さまざまな時間に火山内で起こっている事態を推測するために、これらの特徴及びパターンが利用される。地震観測は、噴火の開始を予測するため、若しくは火山噴火の可能性を評価するために用いられる最も基本的な方法である。地震の増加、継続的な微動、経時的に地表に向かう震源の移動、及び浅い長周期の事象の発生は、噴火の開始が非常に近い可能性が高いことを示唆する。微動は、噴火の初めから終わりまで継続することもある。

(28) 熱水系

火山下部に存在するマグマ溜りを熱源とした高温の岩体中に形成された熱水系で、岩体中の割れ目、間隙などを流れる。

2. 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の流れ

火山影響評価は、図1に従い、立地評価と影響評価の2段階で行う。

立地評価では、まず原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出を行い、影響を及ぼし得る火山が抽出された場合には、抽出された火山の火山活動に関する個別評価を行う。即ち、設計対応不可能な火山事象が原子力発電所の運用期間中に影響を及ぼす可能性の評価を行う。(解説-1)

影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価された場合は、火山活動のモニタリングと火山活動の兆候把握時の対応を適切に行うことを条件として、個々の火山事象に対する影響評価を行う。一方、設計対応不可能な火山事象が原子力発電所運用期間中に影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価されない場合は、原子力発電所の立地は不適と考えられる。

影響評価では、個々の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。

解説-1. IAEA SSG-21 では、火砕物密度流、溶岩流、岩屑なだれ・地滑り及び斜面崩壊、新しい火道の開通及び地殻変動を設計対応が不可能な火山事象としており、本評価ガイドでも、これを適用する。

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

原子力発電所の地理的領域に対して、文献調査等で第四紀に活動した火山を抽出する。
(解説-2、3)

第四紀に活動した火山について、3.1 文献調査、3.2 地形・地質調査及び火山学的調査を行い、火山の活動履歴、噴火規模及びその影響範囲等を把握する。

次に3.3 将来の火山活動可能性の評価を行う。この場合、地域特性、マグマの性質等により火山活動の特性や規模が異なることから、個々の火山噴出物の種類、分布、地形、規模、噴火タイプ、噴火パターン、活動間隔等を総合的に検討する必要がある。なお、類似火山の活動を参照することも重要である。

本章で原子力発電所に影響を及ぼし得るとして抽出された火山について、4章で原子力発電所の運用期間中における火山活動に関する個別評価を、5章で火山活動のモニタリング及び異常を示す兆候を把握した時の対応の検討を行うこととする。

原子力発電所に影響を及ぼし得る火山が抽出されない場合は、当該原子力発電所又はその周辺で観測された降下火砕物の最大堆積量を基に、後述する6.1で降下火砕物の影響を評価する。

解説-2. 第四紀に活動した火山に関しては、日本火山学会、産業技術総合研究所がデータベースを提供している。2009年に国際地質科学連合（IUGS）が第四紀の再定義を行い、わが国も受け入れて下限が変更（181万年前から258万年に変更）されることとなった。この定義に従ったデータベースを用いる必要がある。

解説-3. 第四紀以前に火山活動があった火山で、第四紀の活動が認められない火山は既にその活動を停止しているとみなせる。従って、第四紀に活動した火山を調査の対象とする。

3. 1 文献調査

文献調査では、地理的領域の火山とその現象、噴出物に関する既存の文献を集約し、あるいはデータベースを活用し、原子力発電所周辺の第四紀火山についての概略（火山噴出物、火山噴出中心位置、噴出物種類、活動時期、噴出物分布等）を把握し、最新の知見も参照の上、地理的領域における火山源の存在と分布を決定する。本調査結果は、地形・地質調査を行うための基礎資料として用いる。

3. 2 地形・地質調査及び火山学的調査

(1) 地形調査

地形調査では、既存の地形図、航空写真等を用いた判読及び海底地形データ等に基づき、火山地形の把握を行う。また、必要に応じて航空測量による最新データの取得を行うことも有効である。

(2) 地質調査

地質調査では、文献調査及び地形調査によって、活動位置・規模・様式や噴出時期等の活動履歴の評価に十分な情報が得られなかった場合、当該調査等を行い、原子力発電所周辺の地理的領域の火山噴出物の噴出中心位置、噴出物種類、活動時期、噴出物（堆積物）分布等の評価に必要な情報を収集する。

調査においては、露頭もしくはボーリング、ピット掘削等により火山噴出物の試料採取・分析・年代測定等を行い、詳細な情報の収集・評価を実施する。（解説-4）

（3）火山学的調査

地質調査において、火山灰、火砕流、溶岩流等の火山噴出物（堆積物）が認められた場合、火山学的な調査を行う。

原子力発電所周辺で確認された火山灰については、以下の調査を行う。

- ① 堆積物の範囲、厚さ、量、粒径及び分散軸を示す等層厚線図と等値線図
- ② 堆積物の等価静荷重（湿潤及び乾燥）

原子力発電所近隣に影響を与えた可能性のある火砕流、火砕サージ若しくは火山性ブラストによって発生する識別可能な各堆積物については、以下の調査を行う。

- ① 定置物の厚さ、量、密度、空間分布
- ② 重力によって動くか、若しくは火山性ブラストによって方向付けられる流動の方向と運動エネルギーに影響を与えた地形的特徴に関するデータ（こうした流動が測定可能な堆積物を残さずに通過した可能性のある区域も明らかにするのがよい）

溶岩流、火山泥流、土石流若しくは岩屑なだれによって生じる識別可能な各堆積物については、以下の調査を行う。

- ① これらの流動現象が押し寄せる区域、並びにその堆積物の厚さ及び量
- ② 定置物の推定温度、速度、動圧の推定値
- ③ 発生源からの流動経路及び流動の速度と分布に影響を与えた地形的特徴、並びに現在の地形と堆積物との関係に関するデータ

解説-4. 地質調査においては、別途実施する地質調査（例えば原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-2007）に基づき実施する地質調査）の結果を参照することができる。

3. 3 将来の火山活動可能性

地理的領域にある第四紀火山から、上述の3.1及び3.2の調査により、次の2段階の評価を行い、将来の活動可能性のある火山を抽出する。

（1）完新世に活動を行った火山

完新世における活動の有無を確認する。完新世に活動を行った火山は、将来の活動可

能性があることを示すものとして広く受け入れられていることから、これを将来活動の可能性のある火山とする。（解説-5）

（2）完新世に活動を行っていない火山

地理的領域にある第四紀火山のうち、完新世に活動を行っていない火山については 3.1 及び 3.2 の調査結果を基に、当該火山の第四紀の噴火時期、噴火規模、活動の休止期間を示す階段ダイヤグラムを作成し、より古い時期の活動を評価する。（解説-6、7）

検討対象火山の過去の活動を示す階段ダイヤグラムにおいて、火山活動が終息する傾向が顕著であり、最後の活動終了からの期間が、過去の最大休止期間より長い等、将来の活動可能性が無いと判断できる場合は、火山活動に関する 4 章の個別評価対象外とする。それ以外の火山は、将来の火山活動可能性が否定できない火山として、4 章の個別評価対象の火山とする。（解説-8）

将来の火山活動可能性は無いと評価された場合、原子力発電所又はその周辺で観測された降下火砕物の最大堆積量を基に、後述する 6.1 降下火砕物の影響を評価する。

解説-5. 気象庁の火山噴火予知連絡会では、「概ね 1 万年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山」を活火山と定義（2003 年）しており、本評価ガイドでは、これらを完新世に活動を行った火山とする。2011 年 6 月時点で、活火山の数は 110 となっている。

解説-6. IAEA SSG-21 では、火山系の時間と量の関係、若しくは岩石学的傾向を基に評価することが可能であるとしている。例えば、時間と量の関係は、更新世初期若しくはそれより古い期間における火山活動の明確な衰弱傾向や明白な休止を示す場合がある。こうした状況では、新たな火山活動の可能性が極めて低いとすることができるとしている。

解説-7. 火山活動が終息していると判断する際に、後述する 4.2 地球物理学的及び地球化学的調査を追加的に行い、現在の火山の状態を示すことにより火山活動が終息していることを示すことも可能である。

4. 原子力発電所の運用期間における火山活動に関する個別評価

3 章で、将来の活動可能性があると評価した火山については、原子力発電所の運用期間中において設計対応が不可能な火山事象を伴う火山活動の可能性の評価を行う。この際、検討対象火山の活動を科学的に把握する観点から、過去の火山活動履歴とともに、必要に応じて、4.2 地球物理学的及び地球化学的調査を行い、現在の火山の活動の状況も併せて評価することとする。具体的には、地球物理学的観点からは、検討対象火山に関連するマグマ溜まりの規模や位置、マグマの供給系に関連する地下構造等について、地球化学的観点からは、検討対象火山の火山噴出物等について分析することにより、火山の活動状況を把握する。

4. 1 設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価

(1) 設計対応不可能な火山事象

設計対応不可能な火山事象は6章に示す火山事象の内、6.2 火砕物密度流、6.3 溶岩流、6.4 岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊、6.8 新しい火口の開口、6.11 地殻変動の5事象とする。設計対応不可能な火山事象については、検討対象火山と原子力発電所間の距離が表1に示す原子力発電所との位置関係に記載の距離より大きい場合、その火山事象を評価の対象外とすることができる。

(2) 火山活動の可能性評価

3章の調査結果と必要に応じて実施する4.2 地球物理学的及び地球化学的調査の結果を基に、原子力発電所の運用期間中における検討対象火山の活動の可能性を総合的に評価する。評価の結果、検討対象火山の活動の可能性が十分小さい場合には、過去の最大規模の噴火により設計対応不可能な火山事象が原子力発電所に到達したと考えられる火山を抽出し、5章に従い火山活動のモニタリングを実施し、運用期間中において火山活動を継続的に評価する。

検討対象火山の活動の可能性が十分小さいと判断できない場合は、(3) 火山活動の規模と設計対応不可能な火山事象の評価を実施する。

(3) 火山活動の規模と設計対応不可能な火山事象の評価

検討対象火山の調査結果から噴火規模を推定する。調査結果から噴火の規模を推定できない場合は、検討対象火山の過去最大の噴火規模とする。

次に設定した噴火規模における設計対応不可能な火山事象が原子力発電所に到達する可能性が十分小さいかどうかを評価する。評価では、検討対象火山の調査から噴火規模を設定した場合には、類似の火山における設計対応不可能な火山事象の影響範囲を参考に判断する。過去最大の噴火規模から設定した場合には、検討対象火山での設計対応不可能な火山事象の痕跡等から影響範囲を判断する。いずれの方法によっても影響範囲を判断できない場合には、設計対応不可能な火山事象の国内既往最大到達距離を影響範囲とする。

設計対応不可能な火山事象が原子力発電所に到達する可能性が十分小さいと評価できない場合は、原子力発電所の立地は不適と考えられる。十分小さいと評価できる場合には、過去の最大規模の噴火により設計対応不可能な火山事象が原子力発電所に到達したと考えられる火山については、モニタリング対象とし、5章に従い火山活動のモニタリングを実施し、運用期間中に火山活動の継続的な評価を行う。

4. 2 地球物理学的及び地球化学的調査

地球物理学的調査では、地震波速度構造、重力構造、比抵抗構造、地震活動及び地殻変動に関する検討を実施し、マグマ溜まりの規模や位置、マグマの供給系に関する地下構造等について調査する。(解説-8、9、10、11、12)

地球化学的調査では、火山ガス（噴気）の化学組成分析、温度などの情報から、地理的領域に存在する火山の火山活動を調査する。

解説-8. 地震波速度構造

地震探査の解析により求める地震波速度の空間分布

解説-9. 重力構造

重力探査（精密な重力測定）により求める密度の空間分布

解説-10. 比抵抗構造

電磁気探査により求める比抵抗の空間分布

解説-11. 地震活動

火山周辺における地震発生現象

解説-12. 地殻変動

GPS 測量等によりもとめる火山活動に伴う地殻の変形現象

5. 火山活動のモニタリング

個別評価により運用期間中の火山活動の可能性が十分小さいと評価した火山であっても、設計対応不可能な火山事象が発電所に到達したと考えられる火山に対しては、噴火可能性が十分小さいことを継続的に確認することを目的として運用期間中のモニタリングを行う。噴火可能性につながるモニタリング結果が観測された場合には、必要な判断・対応をとる必要がある。

5. 1 監視対象火山

過去の最大規模の噴火により設計対応不可能な火山事象が原子力発電所に到達したと考えられる火山を監視対象火山とする。

5. 2 監視項目

火山活動の監視項目としては一般的に次のような項目が挙げられる。

- ・地震活動の観測（火山性地震の観測）
- ・地殻変動の観測（GPS 等を利用し地殻変動を観測）
- ・火山ガスの観測（放出される二酸化硫黄や二酸化炭素量などの観測）

地震活動、地殻変動及び火山ガス状況等を適切な方法により監視すること。監視は事業者自ら実施するものとするが、公的機関が火山活動を監視している場合においては、そのモニタリング結果を活用してもよい。（解説-13）

解説-13. 現在、気象庁により 110 の活火山が指定され、このうち 47 の火山について観測体制が設けられている。また、その他の火山も含めて現地に出向いて計画的に調査観測を行っており、火山活動の高まりが見られた場合には、観測態勢を強化している。さらに、気象庁を事務局として、

火山噴火予知連絡会が設置されており、全国の火山活動について総合的に検討を行う他、火山噴火などの異常時には、臨時に幹事会や連絡会を開催し、火山活動について検討し、必要な場合は統一見解を発表するなどして防災対応に資する活動を行っている。

5. 3 定期的評価

モニタリング結果を定期的に評価し、当該火山の活動状況を把握し、状況に変化がないことを確認すること。（必要に応じて、地球物理学及び地球化学的調査を実施する。）

その際、火山活動状況のモニタリング結果の評価は、第三者（火山専門家等）の助言を得る方針とする。

事業者が実施すべきモニタリングは、原子炉の運転停止、核燃料の搬出等を行うための監視であり、火山専門家のみならず、原子力やその関連技術者により構成され、透明・公平性のあるモニタリング結果の評価を行う仕組みを構築する。

また、モニタリング結果については、公的な関係機関等に情報を提供し共有することが望ましい。

5. 4 火山活動の兆候を把握した場合の対処

モニタリングにより、火山活動の兆候を把握した場合の対処方針等を定めること。

- (1) 対処を講じるために把握すべき火山活動の兆候と、その兆候を把握した場合に対処を講じるための判断条件
- (2) 火山活動のモニタリングにより把握された兆候に基づき、火山活動の監視を実施する公的機関の火山の活動情報を参考にして対処を実施する方針
- (3) 火山活動の兆候を把握した場合の対処として、原子炉の停止、適切な核燃料の搬出等が実施される方針

6. 原子力発電所への火山事象の影響評価

原子力発電所の運用期間中において設計対応不可能な火山事象によって原子力発電所の安全性に影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価された火山について、それが噴火した場合、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を表1に従い抽出し、その影響評価を行う。

ただし、降下火砕物に関しては、火山抽出の結果にかかわらず、原子力発電所の敷地及びその周辺調査から求められる単位面積あたりの質量と同等の火砕物が降下するものとする。なお、敷地及び敷地周辺で確認された降下火砕物で、噴出源が同定でき、その噴出源が将来噴火する可能性が否定できる場合は考慮対象から除外する。

また、降下火砕物は浸食等で厚さが低く見積もられるケースがあるので、文献等も参考にして、第四紀火山の噴火による降下火砕物の堆積量を評価すること。（解説-14）

抽出された火山事象に対して、4章及び5章の調査結果等を踏まえて、原子力発電所への

影響評価を行うための、各事象の特性と規模を設定する。(解説-15)

以下に、各火山事象の影響評価の方法を示す。

解説-14. 文献等には日本第四紀学会の「日本第四紀地図」を含む。

解説-15. 原子力発電所との位置関係について

表 1 に記載の距離は、原子力発電所火山影響評価技術指針 (JEAG4625) から引用した。

JEAG4625 では、調査対象火山事象と原子力発電所との距離は、わが国における第四紀火山の火山噴出物の既往最大到達距離を参考に設定している。また、噴出中心又は発生源の位置が不明な場合には、第四紀火山の火山噴出物等の既往最大到達距離と噴出物の分布を参考にしてその位置を想定する。

例えば、噴出中心と原子力発電所との距離が、表中の位置関係に記載の距離より短ければ、火山事象により原子力発電所が影響を受ける可能性があると考えられる。

6. 1 降下火砕物

(1) 降下火砕物の影響

(a) 直接的影響

降下火砕物は、最も広範囲に及ぶ火山事象で、ごくわずかな火山灰の堆積でも、原子力発電所の通常運転を妨げる可能性がある。降下火砕物により、原子力発電所の構造物への静的負荷、粒子の衝突、水循環系の閉塞及びその内部における磨耗、換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的及び化学的影響、並びに原子力発電所周辺の大気汚染等の影響が挙げられる。

降雨・降雪などの自然現象は、火山灰等の堆積物の静的負荷を著しく増大させる可能性がある。火山灰粒子には、化学的腐食や給水の汚染を引き起こす成分（塩素イオン、フッ素イオン、硫化物イオン等）が含まれている。

(b) 間接的影響

前述のように、降下火砕物は広範囲に及ぶことから、原子力発電所周辺の社会インフラに影響を及ぼす。この中には、広範囲な送電網の損傷による長期の外部電源喪失や原子力発電所へのアクセス制限事象が発生しうることも考慮する必要がある。

(2) 降下火砕物による原子力発電所への影響評価

降下火砕物の影響評価では、降下火砕物の降灰量、堆積速度、堆積期間及び火山灰等の特性などの設定、並びに降雨等の同時期に想定される気象条件が火山灰等特性に及ぼす影響を考慮し、それらの原子炉施設又はその附属設備への影響を評価し、必要な場合には対策がとられ、求められている安全機能が担保されることを評価する。(解説-16、18)

(3) 確認事項

(a) 直接的影響の確認事項

- ① 降下火砕物堆積荷重に対して、安全機能を有する構築物、系統及び機器の健全性が維持されること。
- ② 降下火砕物により、取水設備、原子炉補機冷却海水系統、格納容器ベント設備等の安全上重要な設備が閉塞等によりその機能を喪失しないこと。
- ③ 外気取入口からの火山灰の侵入により、換気空調系統のフィルタの目詰まり、非常用ディーゼル発電機の損傷等による系統・機器の機能喪失がなく、加えて中央制御室における居住環境を維持すること。（解説-17）
- ④ 必要に応じて、原子力発電所内の構築物、系統及び機器における降下火砕物の除去等の対応が取れること。

(b) 間接的影響の確認事項

原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮し、燃料油等の備蓄又は外部からの支援等により、原子炉及び使用済燃料プールの安全性を損なわないように対応が取れること。

解説-16. 原子力発電所内及びその周辺敷地において降下火砕物の堆積が観測されない場合は、次の方法により降灰量を設定する。

- ✓ 類似する火山の降下火砕物堆積物の情報を基に求める。
- ✓ 対象となる火山の総噴出量、噴煙柱高度、全粒径分布、及びその領域における風速分布の変動を高度及び関連パラメータの関数として、原子力発電所における降下火砕物の数値シミュレーションを行うことより求める。数値シミュレーションに際しては、過去の噴火履歴等の関連パラメータ、及び類似の火山降下火砕物堆積物等の情報を参考とすることができる。

解説-17. 堆積速度、堆積期間については、類似火山の事象やシミュレーション等に基づいて評価する。また、外気取入口から侵入する火山灰の想定に当たっては、添付1の「気中降下火砕物濃度の推定方法について」を参照して推定した気中降下火砕物濃度を用いる。堆積速度、堆積期間及び気中降下火砕物濃度は、原子力発電所への間接的な影響の評価にも用いる。

解説-18. 火山灰の特性としては粒径分布、化学的特性等がある。

6. 2 火砕物密度流

(1) 火砕物密度流の影響

(a) 直接的影響

火砕物密度流は、火砕流、サージ及びブラストの総称で、高速で移動し、通常は高温（例えば、300°C 超）であるため、その流路の建物等に及ぼす影響は深刻である。また、影響の範囲が広く地形によって抑制できる程度が低く、通常はほとんどの地形的障害物を乗り越える。さらに、状況によっては地形的障害物を乗り越え、大きな水域を横断し

て流れることが分かっている。このような火砕物密度流の直接的影響は設計対応が不可能であることから、原子力発電所の立地は不適と考えられる。

(b) 間接的影響

前述のように、火砕流・火砕サージの影響は広範囲に及ぶことから、原子力発電所周辺の社会インフラに影響を及ぼす。この中には、広範囲な送電網の損傷による長期の外部電源喪失や原子力発電所へのアクセスの制限が発生しうることも考慮する必要がある。

(2) 火砕物密度流による原子力発電所への影響評価

原子力発電所の運用期間中に活動可能性のある火山それぞれに対する火砕物密度流の評価では、対象火山の火砕物密度流の規模、堆積物量などの観点から原子力発電所への影響を示し、設計対応の可否を評価する。(解説-19)

(3) 間接的影響の確認事項

原子力発電所外での影響(長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶)を考慮し、燃料油等の備蓄又は外部からの支援等により、原子炉及び使用済燃料プールの安全性を損なわないように対応が取れること。

解説-19. IAEA SSG-21 では、火砕物密度流からの影響は、設計及び運転による措置によって緩和できないとしている。

6. 3 溶岩流

(1) 溶岩流の影響

(a) 直接的影響

溶岩流は通常、高温の粘性流体で経路における工学的構造物を破壊若しくは埋没させる。溶岩の物理的特性はその成分に依存し、低粘性の溶岩流の移動速度は早く、移動距離も長くなる。また、火口の形態や溶岩流が移動する地形も、溶岩流の到達距離を支配する要素となる。このような溶岩流の直接的影響は設計対応が不可能であることから、原子力発電所の立地は不適と考えられる。

(b) 間接的影響

溶岩流は降下火砕物や火砕密度流に比べて影響範囲は狭いが、溶岩流により河川のせき止めや融雪による洪水を発生する可能性があることも考慮する必要がある。また、原子力発電所周辺の社会インフラに影響を及ぼし、送電網の損傷による長期の外部電源喪失や原子力発電所へのアクセス制限事象が発生しうることも考慮する必要がある。

(2) 溶岩流による原子力発電所への影響評価

原子力発電所の運用期間中に活動可能性のある火山それぞれに対する溶岩流の評価では、原子力発電所と可能性のある溶岩流の空間的範囲は、火口の位置、地形、吐出量、溶岩流の粘度、及び噴火の持続時間等を考慮し、到達する溶岩流の厚さ、温度及び潜在的速度などの観点から原子力発電所への影響を示し、設計対応の可否を評価する。(解

説-20)

(3) 間接的影響の確認事項

原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮し、燃料油等の備蓄又は外部からの支援等により、原子炉及び使用済燃料プールの安全性を損なわないように対応が取れること。

解説-20. IAEA SSG-21 においては、溶岩流は、その動的及び静的負荷とその高温（最大で 1200°C）のために、直接的な影響を及ぼす。溶岩流の影響は通常、設計及び運転による措置によって緩和できないとしている。

6. 4 岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊

(1) 岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊の影響

(a) 直接的影響

火山体系崩壊の結果として起きる岩屑なだれは、非常に大量の土砂（場合により、数十立方キロメートル以上）が含まれ、速度が速く、相当の距離（表 1 参照）まで到達する可能性がある。このような現象は溶岩流と同様に経路における工学的構造物を破壊若しくは埋没させる。このような岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊の直接的影響は設計対応が不可能であることから、原子力発電所の立地は不適と考えられる。

(b) 間接的影響

岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊は降下火砕物や火砕密度流に比べて影響範囲は狭いが、このような現象により河川のせき止めや洪水を発生する可能性があることも考慮する必要がある。また、原子力発電所周辺の社会インフラに影響を及ぼし、送電網の損傷による長期の外部電源喪失や原子力発電所へのアクセス制限事象が発生しうることも考慮する必要がある。

(2) 岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊による原子力発電所への影響評価

原子力発電所の運用期間中に活動可能性のある火山それぞれに対する岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊の評価では、類似する火山の実際の堆積物、及びなだれ流定置モデルから収集した情報を用いて、最大想定量、流出距離、及び原子力発電所における土砂堆積の厚さについて考慮し、発源地域の地形、流出の長さ、速度、量及び厚さを左右するパラメータ値の範囲等の観点から原子力発電所への影響を示し、設計対応の可否を評価する。（解説-21）

(3) 間接的影響の確認事項

原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮し、燃料油等の備蓄又は外部からの支援等により、原子炉及び使用済燃料プールの安全性を損なわないように対応が取れることを確認する。

解説-21. IAEA SSG-21 おいて、岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊が原子力発電所付近で起きた場合や原子力発電所に直接的に影響する場合、これらの影響は設計及び運転による措置によって緩和できないとしている。

6. 5 火山性土石流、火山泥流及び洪水

(1) 火山性土石流、火山泥流及び洪水の影響

(a) 直接的影響

火山事象により発生する土石流、火山泥流、及びこれらに伴って引き起こされる洪水は、流速が速く、流量が多く、相当の距離まで到達する可能性がある。また、このような現象は火山噴出物に依存するため、火山噴火後、数カ月から数十年にわたって持続することがある。溶岩流と同様に経路における工学的構造物を破壊若しくは埋没させる。

(b) 間接的影響

火山性土石流、火山泥流及び洪水は、原子力発電所周辺の社会インフラに影響を及ぼし、送電網の損傷による長期の外部電源喪失や原子力発電所へのアクセス制限事象が発生しうることも考慮する必要がある。

(2) 火山性土石流、火山泥流及び洪水による原子力発電所への影響評価

原子力発電所の運用期間中に活動可能性のある火山それぞれに対する火山性土石流、火山泥流及び洪水の評価では、付近の類似する火山からの実際の堆積物についての情報、及び土石流定置モデルを用いて、原子力発電所についての土石流と火山泥流の堆積物の最大想定量、流出距離及び厚さについて考慮し、可能性のある各火山について流動地形及び吐出量を左右するパラメータ値の範囲等の観点から原子力発電所への影響を示し、設計対応の可否を評価する。また、土石流、泥流は敷地周辺の降下火砕物により発生する可能性があり、その場合には、敷地周辺の地形、6.1の降下火砕物の堆積量を基に影響を評価すること。(解説-22)

(3) 確認事項

(a) 直接的影響の確認事項

火山性土石流、火山泥流及び洪水が原子力発電所に到達しないこと。ただし、到達する火山性土石流、火山泥流及び洪水の特性、規模により設計対応が可能なことを示すことが可能な場合はこの限りではない。

(b) 間接的影響の確認事項

原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮し、燃料油等の備蓄又は外部からの支援等により、原子炉及び使用済燃料プールの安全性を損なわないように対応が取れること。

解説-22. IAEA SSG-21 おいて、土石流と火山泥流の堆積物は、非常に大きい厚さ（例えば、数十メートル）に達することがある。広範囲に及ぶ堆積量とこれに伴う原子力発電所への影響を考えれば、

土石流、火山泥流及び洪水の影響は、一般には設計及び運転による措置によって緩和できないが、場合によっては原子力発電所及びプラントのレイアウトや設計における配慮及び現地での防護措置によって、これらの影響に対処することができるとしている。

6. 6 火山から発生する飛来物（噴石）

(1) 火山から発生する飛来物の影響

(a) 直接的影響

火山から発生する飛来物は、火口において飛来物は50～300 m/sの範囲の速度であり、飛行距離はその粒径と空力抵抗の関数で決まるが、この空気抵抗は大規模な噴火によって生じる衝撃波の背後では減る可能性がある。また、原子力発電所に降下する可能性のある火山から発生する飛来物の数は、非常に膨大に及ぶことがある。（解説-23）

(b) 間接的影響

火山から発生する飛来物は一般的に高温であるため、それらが原子力発電所内やその周囲で火災を発生させる可能性についても考慮する必要がある。このような副次的な事象は、原子力発電所周辺の社会インフラに影響を及ぼし、送電網の損傷による長期の外部電源喪失や原子力発電所へのアクセスの制限が発生しうることも考慮する必要がある。（解説-24）

(2) 火山から発生する飛来物による原子力発電所への影響評価

原子力発電所の運用期間中に活動可能性のある火山それぞれに対する火山から発生する飛来物のハザード評価では、類似する火山の爆発性噴火で生じた飛来物の最長距離及び最大の大きさに関する情報を用いて、火山から発生する飛来物が達する最大の大きさ及び量について、爆発圧、破片密度、出射角度及び関連パラメータのばらつきを考慮して、原子力発電所への影響を示し、設計対応の可否を評価する。（解説-25）

(3) 確認事項

(a) 直接的影響の確認事項

火山から発生する飛来物が原子力発電所に到達しないことを確認する。ただし、到達する飛来物（飛来物の大きさ、量等）に対して設計対応が可能な場合は、それを考慮することができる。

(b) 間接的影響の確認事項

原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮し、燃料油等の備蓄又は外部からの支援等により、原子炉及び使用済燃料プールの安全性を損なわないように対応が取れることを確認する。

解説-23. 火山から発生する飛来物は、竜巻によって運ばれる飛来物若しくは航空機衝突による衝撃と対比できる。

解説-24. 火災については、森林火災などの外部ハザードとして評価しても良い。

解説-25. IAEA SSG-21 おいて、火山から発生する飛来物からの影響は、原則として設計及び運転による措置によって緩和できないが、場合によっては原子力発電所及びプラントのレイアウト、設計、運転、及び原子力発電所防護措置などの手段によって、これらの影響に対処できるとしている。

6. 7 火山ガス

(1) 火山ガスの影響

(a) 直接的影響

火山ガスの影響としては、窒息性、有毒性、腐食性などがある。火山ガスは、噴火時に、大量に放出される可能性があり、また、噴火活動以外の期間中であっても一部の火山の火口から放出されることがある。さらには、火口及び付近の土壌を通して拡散する可能性もある。

(b) 間接的影響

火山ガスは、その特性から一般に、生態に有害なガス（一酸化炭素、亜硫酸ガス、フッ化水素等）を含むことから、原子力発電所周辺の人及びその生活に対し活動制限が加わることがある。また、機械系にも影響を及ぼす。このように火山ガスは、原子力発電所周辺の人員や社会インフラに影響を及ぼし、長期にわたりアクセス制限等の事象が発生しうることも考慮する必要がある。（解説-26）

(2) 火山ガスによる原子力発電所への影響評価

原子力発電所の運用期間中に活動可能性のある火山に対する火山ガスの評価では、類似する火山から収集した情報、若しくは当該火山におけるガス濃度計測値等観測データを用いることによって、潜在的な火山ガス発生源と原子力発電所との距離を規定する、あるいは、当該火山から火山ガスの噴出が起きると仮定し、その質量流束に関する値を仮定しながら、大気分散モデルを用いて原子力発電所への影響を示し、設計対応の可否を評価する。

(3) 確認事項

(a) 直接的影響の確認事項

火山ガスが原子力発電所に到達する場合、運転員、作業員の活動に重大な影響を及ぼさない措置が取られていることを確認する。

また、火山ガスの滞留により、安全上重要な施設等がその機能を喪失することがないよう適切な措置がとられていることについて確認する。

(b) 間接的影響の確認事項

原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮し、燃料油等の備蓄又は外部からの支援等により、原子炉及び使用済燃料プールの安全性を損なわないように対応が取れることを確認する。

解説-26. IAEA SSG-21 おいて、火山ガスからの影響は設計及び運転による措置によって緩和できるとし

ている。

6. 8 新しい火口の開口

(1) 新しい火口の開口の影響

新しい火口の開口は、6.1～6.7 に示す全ての火山事象を潜在的に引き起こす可能性のある地質学的現象である。

(2) 新しい火口の開口による原子力発電所への影響評価

原子力発電所の運用期間中に新しい火口の開口が原子力発電所付近で起きた場合、若しくは原子力発電所に直接的に影響する場合、この影響は設計及び運転のための適切な措置によって緩和できないと考えられる。(解説-27)

(3) 確認事項

新しい火口の開口が、原子力発電所敷地内でないこと。また、火口の開口により原子力発電所への影響が予想される場合は、各火山事象の影響評価及び確認事項による。

なお、新たな火口の開口については、現在活火山とされている火口周辺の地下構造や対象火山の性質などを考慮し、調査を行うことが必要である。(解説-28)

解説-27. IAEA SSG-21 おいて、新しい火口の開口の影響は、設計及び運転による措置によって緩和できないとしている。

解説-28. 新たな火口が開口した過去の事例では、ほとんどの火山では新たな火口の開口は火山の噴出中心から半径 20km の範囲にとどまっている。

6. 9 津波及び静振

(1) 津波及び静振の影響

火山の噴火は津波や静振といった事象を引き起こす可能性がある。火山が誘発した津波及び静振による影響は、地震が誘発した津波及び静振によるものと同様である。

(2) 津波及び静振による原子力発電所への影響評価

地震、津波の影響評価に包含される。

(3) 確認事項

地震、津波の評価による。

6. 10 大気現象

(1) 大気現象による影響

爆発性の火山噴火は、潜在的に危険な特性を持つ大気現象を生じさせることがある。空振による超過圧力は多くの場合、火山物質の噴出の数キロ先まで及ぶ可能性がある。火山灰柱及び噴煙柱を生じさせる噴火は一般的に高頻度の稲妻を伴い、また強い下降噴流風を伴う場合がある。

(2) 大気現象による原子力発電所への影響評価

火山噴火による極端な大気現象は、竜巻、落雷等による影響評価に包含される。

(3) 確認事項

竜巻、落雷等の評価による。

6. 1 1 地殻変動

(1) 地殻変動による影響

地殻変動による影響では、その規模に大きく影響する。変動の規模は、火山の遠方における数ミリメートル規模の垂直及び水平変位から、一部の火山中心近くの数メートル規模の変位までの範囲に及ぶ。原子力発電所がある位置で発生する可能性のある最も大きな地殻変動は、新しい火口の開口に伴って引き起こされる。

(2) 地殻変動による原子力発電所への影響評価

地殻変動による原子力発電所への影響評価において、遠方の火山に関連した火山性の変動は、原子力発電所の耐震設計基準の範囲内である可能性がある。しかし、原子力発電所の近隣地域内での火口近くの変動は、耐震設計基準を超える可能性が高い。また、設計基準を超える可能性のある地殻変動は、新しい火口の開口に伴って引き起こされる。

(3) 確認事項

原子力発電所の敷地もしくは近隣地域内で当該事象が発生しないことを確認する。

6. 1 2 火山性地震とこれに関連する事象

(1) 火山性地震及びこれに関連するハザードによる影響

火山性地震とこれに関連する事象は通常、マグマが地表に向かって上昇することに伴う応力や歪みの変化の結果として発生する。火山性地震事象の特性は、構造性地震のものと大幅に異なることがあり、火山性地震は全体として潜在的ハザードを代表するほど大規模であるか、多発する（1日に数百回から数千回）可能性がある。

(2) 火山性地震とこれに関連する事象による原子力発電所への影響評価

火山性地震とこれに関連する事象による原子力発電所への影響評価においては、原子力発電所の局地的地盤条件を考慮に入れて、原子力発電所で最大の地動を生じさせる火山性地震事象のマグニチュード、震源深さ、及び原子力発電所からの距離の組み合わせを判定・評価する。一方、原子力発電所における火山性地震は、その他の地震源よる地震よりも大幅に危険性が低いと実証することが可能な場合は、当該事象を地震評価に包含できる。

(3) 確認事項

耐震設計基準の評価範囲内にあること。

6. 1 3 熱水系及び地下水の異常

(1) 熱水系及び地下水異常による影響

熱水系は大規模な水蒸気爆発を発生させることがあり、また新しい火口を形成させることもある。熱水系はさらに、岩石を粘土やその他の物質に変える可能性もあり、これに起因して地滑りや不安定な地盤を形成する可能性がある。

(2) 熱水系及び地下水異常による原子力発電所への影響評価

熱水系及び地下水異常による原子力発電所への影響評価において、活動中の熱水系に原子力発電所が位置すると、熱水系による水蒸気爆発、新しい火口の形成等への対処が難しい。また、原子力発電所の非常用冷却水系を地下水に依存する場合、熱水系の影響を受けて、水源として不適当となる可能性がある。(解説-29)

(3) 確認事項

- ① 原子力発電所が、活動中の熱水系内に位置しないこと。
- ② 原子力発電所の非常用冷却水系を地下水に依存する場合、地下水が熱水系の影響を受けないこと。

なお、熱水系による火山泥流、土石流、地盤沈下及び斜面崩壊等は、各火山事象の確認事項による。

解説-29. IAEA SSG-21 において、熱水系は原則として立地排除基準の1つと見なすとしている。

7. 附則

この規定は、平成25年7月8日より施行する。

評価方法は、本評価ガイドに掲げるもの以外であっても、その妥当性が適切に示された場合には、その方法を用いることを妨げない。

また、本評価ガイドは、今後の新たな知見と経験の蓄積に応じて、それらを適切に反映するように見直して行くものとする。

以上

表1 原子力発電所に影響を与える可能性のある火山事象及び位置関係^{注1}

火山事象	潜在的に影響を及ぼす特性	原子力発電所との位置関係
1. 降下火砕物	静的な物理的負荷、気中及び水中の研磨性及び腐食性粒子	注2
2. 火砕物密度流：火砕流、サージ及びブラスト	動的な物理的負荷、大気の過圧、飛来物の衝撃、300℃超の温度、研磨性粒子、毒性ガス	160km
3. 溶岩流	動的な物理的負荷、洪水及び水のせき止め、700℃超の温度	50km
4. 岩層なだれ、地滑り及び斜面崩壊	動的な物理的負荷、大気の過圧、飛来物の衝撃、水のせき止め及び洪水	50km
5. 火山性土石流、火山泥流及び洪水	動的な物理的負荷、水のせき止め及び洪水、水中の浮遊粒子	120km
6. 火山から発生する飛来物（噴石）	粒子の衝突、静的な物理的負荷、水中の研磨性粒子	10km
7. 火山ガス	毒性及び腐食性ガス、酸性雨、ガスの充満した湖、水の汚染	160km
8. 新しい火口の開口	動的な物理的負荷、地盤変動、火山性地震	注3
9. 津波及び静振	水の氾濫	注4
10. 大気現象	動的過圧、落雷、ダウンバースト風	注4
11. 地殻変動	地盤変位、沈下又は隆起、傾斜、地滑り	注4
12. 火山性地震とこれに関連する事象	継続的微小動、多重衝撃	注4
13. 熱水系及び地下水の異常	熱水、腐食性の水、水の汚染、氾濫又は湧昇、熱水変質、地滑り、カルスト及びサーモカルストの変異、水圧の急変	注4

(参考資料：IAEA SSG-21 及び JEAG4625)

注1：噴出中心と原子力発電所との距離が、表中の位置関係に記載の距離より短ければ、火山事象により原子力発電所が影響を受ける可能性があるものとする。

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

注3：新火口の開口については、原子力発電所の運用期間中に、新火口の開口の可能性を検討する。

注4：火山活動によるこれらの事象は、原子力発電所との位置関係によらず、個々に検討を行う。

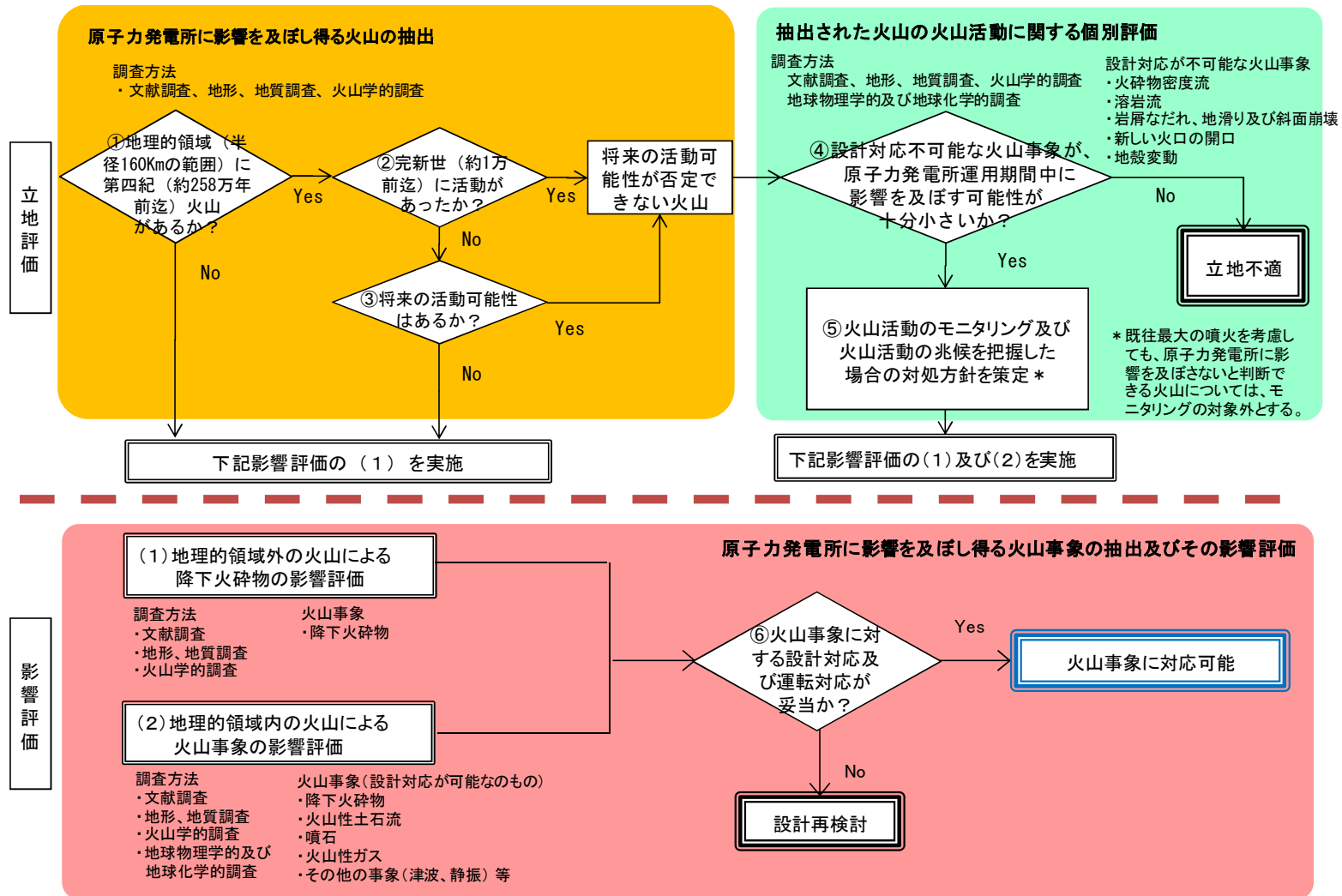


図1 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の基本フロー

**表2 原子力発電所に影響を及ぼす火山評価の基本フロー（図1）
における確認事項について**

番号	確認事項
①	・原子力発電所の地理的領域において第四紀に活動した火山の有無。
②	・完新世における活動の有無。
③	・検討対象火山の過去の活動を示す階段ダイヤグラムにおいて、火山活動が終息する傾向が顕著であり、最後の活動終了からの期間が、過去の最大休止期間より長い等、将来の活動可能性が無いと判断できる場合は、火山活動に関する個別評価の対象外とする。
④	・検討対象火山の原子力発電所運用期間中の活動可能性が十分小さいこと。 ・検討対象火山の原子力発電所運用期間中の活動可能性が十分小さいと判断されない場合は、推定される火山活動によって原子力発電所に影響を及ぼす可能性が十分小さいこと。
⑤	<p>火山活動のモニタリング 監視対象の火山活動のモニタリング及びモニタリング結果の定期的な評価を行う方針が定められていること。</p> <p>(1) 監視対象火山</p> <ul style="list-style-type: none"> ・過去の最大規模の噴火により設計対応不可能な火山事象が原子力発電所に到達したと考えられる火山が抽出されていること。 <p>(2) 監視項目及びその方法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地震活動、地殻変動及び火山ガス状況等を適切な方法により監視すること。 ・事業者が自ら火山活動の監視を実施すること。ただし、公的機関が火山活動を監視している場合においては、そのモニタリング情報を活用してもよい。 <p>(3) 定期的評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・モニタリング結果を定期的に評価し、当該火山の活動状況を把握し、状況に変化がないことを確認すること。（必要に応じて、地球物理学及び地球化学的調査を実施する。） ・その際、火山活動状況のモニタリング結果の評価は、第三者の助言を得る方針であること。 ・モニタリングにより、火山活動の兆候を把握した場合の設計対応が不可能な規模の噴火可能性を示唆する予兆が捉えられた場合に対して、適切な対処方針が確立されていること <hr/> <p>火山活動の兆候を把握した場合の対処 火山活動の兆候を把握した場合の以下の対処方針等を定めること。</p> <p>(1) 対処を講じるために把握すべき火山活動の兆候と、その兆候を把握した場合に対処を講じるための判断基準</p> <p>(2) 火山活動のモニタリングにより把握された兆候に基づき対処を実施する方針</p> <p>(3) 火山活動の兆候を把握した場合の対処として、原子炉の停止、適切な核燃料の搬出等が実施される方針</p>

(つづく)

(つづき)

番号	確認事項
⑥	個別火山事象毎に以下の確認事項による。
	降下火砕物
	(a) 直接的影響の確認事項
	① 降下火砕物堆積荷重に対して、安全機能を有する構築物、系統及び機器の健全性が維持されること。
	② 降下火砕物により、取水設備、原子炉補機冷却海水系統、格納容器ベント設備等の安全上重要な設備が閉塞等によりその機能を喪失しないこと。
	③ 外気取入口からの火山灰の侵入により、換気空調系統のフィルタの目詰まり、非常用ディーゼル発電機機関の損傷等による系統・機器の機能喪失がなく、加えて中央制御室における居住環境を維持すること。
④ 必要に応じて、原子力発電所内の構築物、系統及び機器における降下火砕物の除去等の対応が取れること。	
(b) 間接的影響の確認事項	
原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮し、燃料油等の備蓄又は外部からの支援等により、原子炉及び使用済燃料プールの安全性を損なわないように対応が取れること。	
火砕物密度流	
(a)間接的影響の確認事項	
原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮し、燃料油等の備蓄又は外部からの支援等により、原子炉及び使用済燃料プールの安全性を損なわないように対応が取れること。	
溶岩流	
(a)間接的影響の確認事項	
原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮し、燃料油等の備蓄又は外部からの支援等により、原子炉及び使用済燃料プールの安全性を損なわないように対応が取れること。	
岩層なだれ、地滑り及び斜面崩壊	
(a)間接的影響の確認事項	
原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮し、燃料油等の備蓄又は外部からの支援等により、原子炉及び使用済燃料プールの安全性を損なわないように対応が取れること。	
火山性土石流、火山泥流及び洪水	
(a) 直接的影響の確認事項	
火山性土石流、火山泥流及び洪水が原子力発電所に到達しないこと。ただし、到達する火山性土石流、火山泥流及び洪水の特性、規模により設計対応が可能なことを示すことが可能な場合はこの限りではない。	
(b) 間接的影響の確認事項	
原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮し、燃料油等の備蓄又は外部からの支援等により、原子炉及び使用済燃料プールの安全性を損なわないように対応が取れること。	

(つづく)

(つづき)

番号	確認事項
⑥	火山から発生する飛来物（噴石） (a) 直接的影響の確認事項 火山から発生する飛来物が原子力発電所に到達しないこと。ただし、到達する飛来物（飛来物の大きさ、量等）に対して設計対応が可能な場合はこの限りではない。 (b) 間接的影響の確認事項 原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮し、燃料油等の備蓄又は外部からの支援等により、原子炉及び使用済燃料プールの安全性を損なわないように対応が取れること。
	火山ガス (a) 直接的影響の確認事項 火山ガスが原子力発電所に到達する場合、運転員、作業員の活動に重大な影響を及ぼさない措置が取られていること。 火山ガスの滞留により、安全上重要な施設等がその機能を喪失することがないように適切な措置がとられていること。 (b) 間接的影響の確認事項 原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮し、燃料油等の備蓄又は外部からの支援等により、原子炉及び使用済燃料プールの安全性を損なわないように対応が取れること。
	津波及び静振 地震、津波の評価による。
	大気現象 竜巻、落雷等の評価による。
	火山性地震とこれに関連する事象 原子力発電所における火山性地震が、その他の地震源による地震よりも大幅に危険性が低いこと。耐震設計基準の評価範囲内にあること。
	熱水系及び地下水の異常 ① 原子力発電所が、活動中の熱水系内に位置しないこと。 ② 原子力発電所の非常用冷却水系を地下水に依存する場合、地下水が熱水系の影響を受けないこと。 なお、熱水系による火山泥流、土石流、地盤沈下及び斜面崩壊等は、各火山事象の確認事項による。

気中降下火砕物濃度の推定手法について

1. はじめに

気中降下火砕物の濃度評価及び発電用原子炉施設の機器等への降下火砕物の影響評価に関する考え方及び留意点を検討し、取りまとめることを目的とした、「降下火砕物の影響評価に関する検討チーム」が、平成29年2月15日の第61回原子力規制委員会において設置された。

本検討チームでは、原子力発電所における降下火砕物の濃度評価の考え方と機器への影響評価に関する検討が行われた。火山事象による降下火砕物の影響が発生した場合における原子炉施設の保全のための活動体制の整備、必要な措置を講じる際の降下火砕物濃度の推定について報告書を取りまとめ、平成29年7月19日の第25回原子力規制委員会において報告を行った。

報告の中で、降下火砕物濃度の推定に必要な実測値（観測値）や理論的モデルは大きな不確かさを含んでおり、基準地震動や基準津波のようにハザード・レベルを設定することは困難であることが示された。（注釈-1）

そこで、総合的判断に基づき気中降下火砕物濃度を推定する手法を本文に示す。本手法により推定された気中降下火砕物濃度は、設計及び運用等による安全施設の機能維持が可能かどうかを評価するための基準として用いる。

【注釈-1】ハザード・レベルとは、自然現象の影響を考慮する際に想定する水準である。設定に当たっては、既往最大の実測値（観測値）や検証された理論的モデル評価などを用いる。

2. 用語の定義

(1) 気中降下火砕物濃度

運用期間中に想定される火山事象により原子力発電所敷地に降下する気中降下火砕物の単位体積当たりの質量で、粒径ごとの気中濃度の総和。

(2) 総降灰量（堆積量）

運用期間中に想定される火山事象により原子力発電所敷地において降灰（堆積）する単位面積当たりの降下火砕物の総質量で、粒径ごとの降灰量の総和。本評価ガイドにおいては、礫、岩塊サイズのものを含めて降灰量と呼ぶこととする。

(3) 粒径分布

運用期間中に想定される火山事象により原子力発電所敷地において降灰（堆積）する降下火砕物の粒径の度数分布。

(4) 終端速度

降下時に重力によって加速度運動する火砕物が、空気抵抗など速度に依存する抗力を受けて最終的に一定となった速度。

(5) 降灰継続時間

運用期間中に想定される火山事象により原子力発電所敷地において降灰が継続する時間。降下火砕物の堆積期間に相当する。

(6) 堆積速度

原子力発電所敷地において降下火砕物が堆積（降灰）する速度。単位面積、単位時間当たりの降灰量となる。

(7) 総噴出量

一回の噴火により噴出する火砕物の総質量。

(8) 噴煙柱高度

噴煙の頂点が到達する高度。

(9) 噴出率

一回の噴火において単位時間当たりに噴出する火砕物の質量。

(10) 全粒径分布

一回の噴火により噴出する全火砕物の粒径の度数分布。

3. 気中降下火砕物濃度の推定手法

原子力発電所において想定される気中降下火砕物濃度は、以下に記す 3.1 又は 3.2 の手法により推定する。

3.1 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

3.2 数値シミュレーションにより気中降下火砕物濃度を推定する手法

なお、3.1 の推定手法では、降下火砕物の粒径の大小に関わらず同時に降灰が起こると仮定していること、粒子の凝集を考慮しないこと等から、3.2 の推定手法では、原子力発電所への影響が大きい観測値に基づく気象条件を設定していること等から、いずれの推定値も実際の降灰現象と比較して保守的な値となっている。このため、3.1 又は 3.2 のいずれかの手法により気中降下火砕物濃度を推定する。

3.1 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

本手法においては、原子力発電所の敷地において運用期間中に想定される降下火砕物がある期間（降灰継続時間）に堆積したと仮定して、降下火砕物の粒径の割合から求まる粒径ごとの堆積速度と粒径ごとの終端速度から算出される粒径ごとの気中濃度の総和を、気中降下火砕物濃度として求める。（注釈-2, 3）

<計算方法>

想定される降下火砕物の総降灰量 ($W_T: g \cdot m^{-2}$)と、堆積する降下火砕物のうち粒径 i の割合 p_i を用い、粒径 i の降灰量 ($W_i: g \cdot m^{-2}$)は

$$W_i = p_i W_T$$

降灰継続時間($t: s$)を用い、粒径 i の堆積速度 ($v_i: g \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$)は

$$v_i = \frac{W_i}{t}$$

粒径 i の降下火砕物の終端速度($r_i: m \cdot s^{-1}$)を用い、粒径 i の気中濃度($C_i: g \cdot m^{-3}$)は

$$C_i = \frac{v_i}{r_i}$$

気中降下火砕物濃度($C_T: g \cdot m^{-3}$)は

$$C_T = \sum_i C_i$$

なお、降下火砕物の終端速度は火砕物の粒径に依存し、その終端速度は実験的に求められている値を参考とする。また、降灰継続時間については、同程度の噴火規模での噴火継続時間を参照して設定する。この際、評価対象火山から原子力発電所敷地に向かう一定風を仮定するケースでは、噴火継続時間 \approx 降灰継続時間（降灰量に支配的な主要な降灰）とみなすことが可能である。ただし、原子力発電所敷地での降灰継続時間を合理的に説明できない場合は、降灰継続時間を24時間とする。（注釈-4）

【注釈-2】 粒径分布は、実測値を用いることを基本とするが、実測値の使用が困難な場合は、類似火山噴火の降下火砕物のデータを参考に粒径分布を設定する。また、想定される降灰量を数値シミュレーションにより求めた場合は、降灰量と同時に算出される粒径分布を使用する。

【注釈-3】 粒径ごとの終端速度は既存の文献を参考とするが、最新の知見についても適宜参照する。

【注釈-4】 過去のプリニー式噴火における噴火パラメータを取りまとめた文献（Carey and Sigurdsson, 1989）を参考に、VEI 5～6の規模の噴火継続時間は約24時間とした。

3.2 数値シミュレーションにより気中降下火砕物濃度を推定する手法

本手法においては、3次元の大気拡散シミュレーションにより設定座標点で粒径ごとに気中濃度の時間変化を算出し、得られた最大濃度を気中降下火砕物濃度とする。

シミュレーションで使用するパラメータは、想定する火山噴火の観測値や実測値、類似火山の噴火パラメータ等に基づいて設定するとともに、その設定根拠を明らかにする。

(注釈-5)

- (a) 総噴出量
- (b) 噴煙柱高度
- (c) 噴出率
- (d) 噴火継続時間
- (e) 全粒径分布

気象データの設定は、高層気象観測を実施している評価対象火山又は原子力発電所敷地に近い観測地におけるデータを基に、1年で最も原子力発電所敷地に対して影響のある月を抽出し、一定風を設定する。

【注釈-5】 上記(a)～(e)のパラメータを設定する際には、その不確実さを考慮して文献等に基づくデータを基にパラメータサーベイを行う。