

副本

平成25年(行ウ)第13号

玄海原子力発電所3号機, 4号機運転停止命令義務付け請求事件

原告 石丸 ハツミ 外

被告 国

参加人 九州電力株式会社

最終準備書面

令和2年8月13日

佐賀地方裁判所 民事部合議2係 御中

参加人訴訟代理人弁護士

永 原



同

熊 谷 善 昭



同

家 永 由 佳 里



同

渡 邊 洋 祐



同

恩 穂 井 達 也



目 次

第 1 章	はじめに	6
第 2 章	原子力発電所の仕組み	6
第 1	原子力発電と火力発電	6
第 2	原子炉の種類	7
第 3 章	安全確保に関する基本的な考え方	7
第 1	はじめに	7
第 2	自然的・社会的立地条件の確保	9
第 3	通常運転時の放射性物質の管理	11
第 4	事故防止のための安全確保対策	12
1	はじめに	12
2	異常発生防止対策（第 1 段階）	14
(1)	原子炉の固有の安全性（自己制御性）	14
(2)	誤動作や誤操作による影響を防止するための設計	14
(3)	原子炉の運転状態の監視	15
3	異常拡大防止対策（第 2 段階）	15
(1)	異常を早期にかつ確実に検知する	16
(2)	原子炉を「止める」	16
(3)	原子炉を「冷やす」	18
4	放射性物質異常放出防止対策（第 3 段階）	19
(1)	1 次冷却材喪失事故（LOCA）時の炉心冷却（原子炉を「冷やす」）	20
(2)	放射性物質を「閉じ込める」	23
5	まとめ	25
第 5 章	福島第一原子力発電所事故を契機とした更なる安全確保対策	25
1	はじめに	25

2	福島第一原子力発電所事故を契機とした参加人の対応	26
(1)	事故防止に係る安全確保対策の再評価	26
(2)	更なる安全確保対策の実施	27
(3)	主な重大事故等対策及び必要な措置	28
3	まとめ	43
第4章	地震及び火山に係る安全性	44
第1	はじめに	44
第2	地震に対する安全性	45
1	はじめに	45
2	自然現象である地震の特性	46
(1)	地震における3つの特性（一般論としての「法則」）	46
(2)	地域的な特性	46
3	地震動策定手法の発展と参加人の対応	48
(1)	玄海3号機及び4号機建設時の基準地震動の策定	48
(2)	1995年兵庫県南部地震を契機とした知見と耐震設計審査指針の改訂	49
(3)	2011年東北地方太平洋沖地震等の知見と新規制基準の施行	52
(4)	基準地震動に関する新規制基準における定め	53
4	本件原子力発電所における基準地震動 S_s の策定及びその妥当性	56
(1)	基準地震動の策定の概要	56
(2)	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	56
(3)	震源を特定せず策定する地震動	80
(4)	基準地震動 S_s の年超過確率	84
(5)	小括	84
5	本件原子力発電所の地震動評価に用いた経験式の合理性	85
(1)	入倉・三宅式および壇ほかの式を用いることが合理的であること	85
(2)	強震動予測レシピの一部の関係式を他の式に置き換えるよりも強震動予測レシピに組み込まれた入倉・三宅式及び壇ほかの式による方が	

合理的であること	92
6 本件原子力発電所の耐震安全性	93
(1) 地震に対する安全確保対策の概要	93
(2) 耐震設計上の余裕	95
7 まとめ	96
第3 火山に対する安全性	96
1 はじめに	96
2 破局的噴火について	97
(1) 破局的噴火という事象について	97
(2) 破局的噴火に関する評価について	98
3 運用期間中の破局的噴火の発生可能性の評価方法について	99
(1) 総論	99
(2) 破局的噴火の噴火間隔について	100
(3) 噴火ステージについて	101
(4) マグマ溜まりの状況について	103
(5) 小括	105
4 始良カルデラについて	105
(1) 破局的噴火の噴火間隔について	105
(2) 噴火ステージについて	106
(3) マグマ溜まりの状況について	106
(4) 小括	108
5 加久藤・小林カルデラについて	108
(1) 破局的噴火の噴火間隔について	108
(2) 噴火ステージについて	109
(3) マグマ溜まりの状況について	109
(4) 小括	112
6 阿多カルデラについて	112

(1) 破局的噴火の噴火間隔について	112
(2) 噴火ステージについて	113
(3) マグマ溜まりの状況について	113
(4) 小括	115
7 鬼界カルデラについて	115
(1) 破局的噴火の噴火間隔について	115
(2) 噴火ステージについて	115
(3) マグマ溜まりの状況について	115
(4) 小括	118
8 阿蘇カルデラについて	119
(1) 破局的噴火の噴火間隔について	119
(2) 噴火ステージについて	119
(3) マグマ溜まりの状況について	120
(4) 小括	121
9 火山活動のモニタリングについて	121
10 火山事象の影響評価について	124
(1) 評価の概要	124
(2) 降下火砕物の影響評価	125
(3) 小括	127
11 まとめ	127
第5章 本件原子力発電所の安全確保対策に係る国の確認	127
第1 はじめに	127
第2 新規制基準の施行	128
第3 本件原子力発電所に係る原子炉設置変更許可申請	128
第4 本件原子力発電所に係る原子炉設置変更許可と再稼働	128
第6章 結論	129

第1章 はじめに

参加人は、玄海原子力発電所3号機及び4号機（以下それぞれ「玄海3号機」及び「玄海4号機」といい、総称して「本件原子力発電所」という。）について、自然的・社会的立地条件に十分配慮した上で設計・建設を行い、通常運転時の放射性物質の放出を極力低く抑えるように管理するとともに、万一事故が発生した場合にも放射性物質が周辺環境に異常に放出されることのないよう安全確保対策を講じている。

本件原子力発電所においては、その安全確保対策により、放射性物質が周辺環境に異常に放出される事態の発生は考えられないが、参加人は万が一の事態に備えて、国及び地方公共団体と連携して原子力防災の措置も講じている。

このように、本件原子力発電所の安全は十分確保されており、新規制基準における各基準に適合し、本件原子力発電所の設置変更許可処分に違法はない。

以下、「第2章」及び「第3章」において、原子力発電所の仕組み及び安全確保の基本的な考え方を述べた上で、「第4章」において、地震及び火山といった自然現象に対して本件原子力発電所の安全性が確保されていることを詳細に述べる。そして最後に、「第5章」において、参加人が講じた本件原子力発電所の安全確保対策に関して、国が妥当性を確認していることを述べる。

第2章 原子力発電所の仕組み

第1 原子力発電と火力発電

原子力発電所は、放射性物質であるウラン²³⁵等を原子炉で核分裂させ、その際に生じるエネルギーを蒸気の形で取り出し、蒸気でタービンを回し、タービンにより駆動される発電機で発電を行っている。この仕組みは、原理的には、火力発電におけるボイラを原子炉に置き換えたものである（図1）。

¹ ウラン²³⁵：原子核の中の陽子数と中性子数の合計が235個であるウラン。

第2 原子炉の種類

原子炉には、減速材²及び冷却材の組み合わせによっていくつかの種類があり、そのうち減速材及び冷却材の両者の役割を果たすものとして軽水³を用いるものを「軽水型原子炉」という。

軽水型原子炉を用いた原子力発電所は、大きく分けて2種類あり、一つは、原子炉の中で冷却材を沸騰させ、そこで発生した蒸気を直接タービンに送る沸騰水型原子炉（BWR⁴）を使用する原子力発電所（以下「沸騰水型原子力発電所」という。）である（図2）。東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所は、沸騰水型原子力発電所である。

もう一つは、1次冷却材を加圧することによって原子炉内では沸騰させずに高温水とし、これを蒸気発生器に導き、そこで高温水の持つ熱エネルギーを2次冷却設備を流れている2次冷却材に伝えてこれを蒸気に変え、この蒸気をタービンに送る加圧水型原子炉（PWR⁵）を使用する原子力発電所（以下「加圧水型原子力発電所」という。）である。本件原子力発電所は、加圧水型原子力発電所であり（図3）、仮に2次冷却設備に異常が発生しても、2次冷却材には放射性物質を含んでいないため、放射性物質が周辺環境に放出されることはない。また、1次冷却設備に異常が発生しても、後述する多重の障壁を設けており、放射性物質が周辺環境に異常に放出される危険性はない。

第3章 安全確保に関する基本的な考え方

第1 はじめに

原子力発電所における安全確保とは、運転に伴い不可避免的に発生する放射性物質の有する危険性を顕在化させないことであり、放射性物質を多重の障壁によって原子力発電所内に閉じ込め、通常運転時の放射性物質の放出を極

² 減速材：原子炉内で核分裂で発生した中性子は高速のため、中性子の速度を次の核分裂に適したスピードに減速させるためのもので、本件原子力発電所では軽水（水）を使用している。

³ 軽水：減速材として用いる分子量18の水分子で構成される水。

⁴ BWR：Boiling Water Reactor（沸騰水型原子炉）の略。

⁵ PWR：Pressurized Water Reactor（加圧水型原子炉）の略。

力低く抑え込むとともに、放射性物質の周辺環境への異常な放出を伴う事故を防止することにある。

参加人は、本件原子力発電所を設計・建設するにあたり、事故の誘因となり得る地盤・地震・津波等の自然的立地条件を十分に把握し、これに対処するとともに、万一の事故を想定したとしても放射性物質の有する危険性を顕在化させないよう社会的立地条件について原子炉が十分に公衆から離れていることを確認している。

また、通常運転時、周辺環境への放射性物質の放出を極力抑えるよう管理するとともに、事故防止のための安全確保対策について、異常発生防止対策（第1段階）、異常拡大防止対策（第2段階）、放射性物質異常放出防止対策（第3段階）という3段階の対策を講じている。

これら安全上重要な設備が機能喪失することはないが、福島第一原子力発電所事故を契機として、参加人は、自然現象の想定を従前以上に厳しくして再評価し、既存の安全上重要な設備が機能喪失しないことを確認するとともに、安全上重要な設備が機能喪失するような事態をも想定して、放射性物質異常放出防止対策（第4段階）、放射性物質の放出を極力抑える（第5段階）といった更なる安全確保対策を講じている【丙 180～182】。

したがって、本件原子力発電所において、放射性物質の有する危険性が顕在化することはないが、参加人は、万が一放射性物質が環境へ放出されるような事態が発生した場合をも想定し、防災対策を講じている。住民の避難計画を含む緊急時対応は、地方公共団体の地域防災計画⁶に従って実施されるが、参加人においても、玄海原子力発電所原子力事業者防災業務計画を策定し、原子力災害への対応に必要な体制と資機材を整備するとともに、関係機関（国や佐賀県等の地方公共団体等）と確実に情報連携を行うための体制の整備、放射線測定設備の設置等を行うとともに、国や地方公共団体が定期的に行う原子力防災訓練に参加し、原子力防災対策の実効性を確認している。参加人

⁶ 原子力災害対策特別措置法（平成11年法律第156号）第28条第1項の規定により読み替えて適用する災害対策基本法（昭和36年法律第223号）第40条及び第42条の規定により、都道府県及び市町村には、防災基本計画及び原子力災害対策指針に基づく地域防災計画を作成することが求められている。

は、安全や防災の追及は不断に行うものであるという考えのもと、今後も国や地方公共団体と連携し、原子力防災訓練で得られた結果や最新の知見等を踏まえ、原子力防災対策の実効性を向上すべく、一層の改善、充実を図っていくこととしている。

以下では、第2において、参加人が自然的・社会的立地条件を考慮した上で本件原子力発電所を建設していること、第3において、通常運転時において放射性物質の周辺環境への放出を極力抑えるよう管理していることを述べる。第4において多重防護の考え方に基づく事故防止のための安全確保対策について、第5において福島第一原子力発電所事故を契機として実施した自然現象の再評価及び安全確保対策の一層の充実について述べ、放射性物質が周辺環境に異常に放出されることはないことを改めて述べる。

第2 自然的・社会的立地条件の確保

原子力発電所は、事故を起こさないように設計、建設、運転及び保守を行わなければならないことは当然のことであるが、なお万一の事故に備え、公衆の安全を確保するためには、その立地条件を確認する必要がある。参加人は、本件原子力発電所を設計・建設するにあたり、敷地の自然的及び社会的立地条件の確認を行っている。

自然的立地条件については、大きな事故の誘因となるような事象が過去においてなく、将来においてもあるとは考えられないこと、また災害を拡大するような事象も少ないことを確認するため、敷地及び敷地周辺について、過去の記録調査や詳細な現地調査等を行い、地盤、地震、津波等について地域特性を十分に把握したうえで、合理的に予想される最も過酷な自然力に対して十分な安全が確保できるように設計及び確認を行った。

まず、地盤に関しては、安全上重要な機器・配管系を内包する建物・構築物を支持する基礎地盤について、基準地震動（後記「第4章」で詳述）による地震力に対して十分な安定性を有することを確認している。

具体的には、本件原子力発電所の敷地及びその近傍においてボーリング調査等の詳細な調査を実施し、基礎地盤を構成する主な地質は数千万年以上前

(古第三紀漸新世～新第三紀前期中新世) に形成された佐世保層群であり、堅固な地盤で構成されていること、また、本件原子力発電所のすべり安全率⁷が評価基準値を上回っており、すべりに対して十分な安全性を有していることを確認している【乙 132 (30～33 頁)】。

また、津波に関しても、基準津波を策定し、本件原子力発電所の津波に対する安全性が確保されていることを確認している。

具体的には、基準津波は、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、本件原子力発電所敷地周辺における既往津波の文献調査、海域活断層による地殻内地震、プレート間地震、地すべり等の調査を行った上で、地震に伴う津波、地震以外を要因とする津波及びこれらの組み合わせによる津波を想定し、不確かさを考慮して策定した【乙 132 (34～38 頁)】。

そして、この基準津波に対して安全上重要な設備を内包する建屋等がその安全性を損なうことがないことについて、基準津波による遡上解析⁸を行い、潮位の変動等を考慮した最大津波高さが取水ピット前面で海拔+6m 程度となることを確認の上、評価している。評価の結果、本件原子力発電所の安全上重要な機器・配管系を内包する建物・構築物は、津波が到達しない海拔+11m 以上の高さの敷地に設置されていること、海水ポンプエリア (海拔+11m) については海水の取水路等からの浸水対策として連絡通路への水密扉の設置等の対策を講じていること、基準津波 (水位下降側) により海面が下降した場合でも冷却に必要な海水を継続して取水出来ること等から、津波に対する安全性を確保していることを確認している【乙 132 (38～55 頁)】。

なお、社会的立地条件については、本件原子力発電所の建設時に原子炉が十分に公衆から離れていることを確認するため、放射性物質が放出される事故を想定した解析を行い、万一の事故時においても周辺の公衆に著しい放射線災害を与えないことを確認した【丙 93 (24 頁)】。

このように、参加人は、事故を防止するための種々の安全確保対策を講じ

⁷ 建物・構築物が地震の揺れですべろうとする力に対して基礎地盤が十分な抵抗力を有するかを表すもの。基礎地盤の抵抗力を建物・構築物のすべろうとする力で除して算出する。

⁸ 津波が海域を伝播し、沿岸に到達して陸域に遡上する一連の挙動を求めるための数値シミュレーション。

ているだけでなく、万一の事故に備えて公衆の安全を確保するため、原子炉立地審査指針に照らし、自然的及び社会的立地条件の調査・解析を行った上で、本件原子力発電所を設計・建設している。

第3 通常運転時の放射性物質の管理

原子力発電所においては、その運転に伴い不可避免的に気体状、液体状、固体状の放射性廃棄物が発生する。

このうち、気体状、液体状のものは、廃棄物に含まれるごく微量の放射性物質を環境に放出せざるを得ず、したがってこれにより一般公衆が受ける放射線の線量をできる限り低減することが重要となる。

そのため、本件原子力発電所においては、第一に、燃料被覆管内に生じた放射性物質が1次冷却材に漏えいするのを極力防止し、第二に、1次冷却材に漏えいした放射性物質については、これをできる限り1次冷却設備内に封じ込めるとともに、これをできるだけ捕捉し、第三に、運転に伴いほう素濃度調整のため系統から取り出す必要のある1次冷却材については、蒸発装置により放射性物質を分離した上で、フィルタや脱塩塔を用いて放射性物質を出来るだけ除去し、さらに貯蔵装置内で一定期間減衰させるなど、適切に処理することによって、環境に放出する放射性物質の量を最小限に抑制している。

また、放射性物質を環境に放出するにあたっては、一般公衆が受ける放射線量を自然界に存在する放射線量と同程度まで抑えるための線量限度⁹を十分に下回る放射性物質の放出管理目標値を定めて¹⁰、実際の放出量がこの放射線管理目標値を下回るよう放出量を管理し、周辺に影響が生じていないことを放射線モニタリングにより監視している。玄海原子力発電所の実際の運転においては、被ばく低減対策をとることによって環境へ放出する放射性物

⁹ 「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則の規定に基づく線量限度等を定める告示3条1項号に定める軽水炉における一般公衆に対する線量限度（1年間につき実効線量1mSv）」、さらには、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針（1年間につき実効線量0.05mSv）」において定められている。

¹⁰ 玄海原子炉施設保安規定において、一般公衆の受ける線量を1年間につき0.0042mSv以下とする放出管理目標値を定め適切に管理している。

質からの放射線により一般公衆の受ける実効線量¹¹を上述の放射線管理目標値よりも更に低い値である年間 0.001mSv¹²未満に抑えている。

第4 事故防止のための安全確保対策

1 はじめに

本件原子力発電所においては、放射性物質が周辺環境に異常に放出される危険性を顕在化させないため、何らかの異常または事故が発生した場合であっても多重の障壁（燃料ペレット¹³、燃料被覆管、原子炉冷却材圧力バウンダリ¹⁴、原子炉格納容器（鋼板）、原子炉格納容器（コンクリート））（図4）の健全性を維持するため、原子炉を「止める」、「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」という安全上重要な設備によって事故を防止する安全確保対策を講じている【丙1（5～6、9～10頁）】。

そして、事故防止のための安全確保対策を講ずるにあたっては、後述する「第1段階 異常発生防止対策」、「第2段階 異常拡大防止対策」、「第3段階 放射性物質異常放出防止対策」の3段階の防護策を用意し、異常の発生を防止するとともに、この異常発生防止対策にも関わらず異常が発生した場合には、異常を早期に検知して、速やかに原子炉を「止める」、「冷やす」ことで、異常が拡大することを防止している。それでも万一異常が拡大した場合には、炉心の冷却を継続することで炉心の著しい損傷及び圧力、温度の上昇による原子炉容器の損傷を防止し、放射性物質の閉じ込め機能を確保する。

¹¹ 実効線量：がんや遺伝的影響（子供あるいはその後の子孫に現れる影響）の起こりやすさが身体組織・臓器ごとに異なることを考慮して、全身が均等に被ばくした場合と同一尺度で被ばくの影響を表す量。

¹² Sv(シーベルト), mSv(ミリシーベルト)：人体が放射線を受けた時、その影響の程度を測る単位。吸収された放射線量に、人体への影響に関する係数（放射線の種類や人体の部位により異なる）を掛け合わせたもの。1Sv = 1,000mSv。

¹³ 燃料ペレット：ウランと酸素の化合物である二酸化ウランを焼き固めたもの。本件原子力発電所で使用するウランは、そのままでは融点が低いため、酸化物にして融点を高めており、このウラン酸化物を粉末状にして円筒形の磁器のように焼き固めることで、核分裂によってできた放射性物質をペレット内に保持する。

¹⁴ 原子炉冷却材圧力バウンダリ：原子炉の通常運転時に、1次冷却材を内包して原子炉と同じ圧力条件となり、運転時の異常な過渡変化時及び事故時に圧力障壁を形成するもので、それが破壊されると1次冷却材喪失事故となる範囲をいい、原子炉や1次系配管等が含まれる。

また、原子炉格納容器についても、原子炉格納容器内を冷却・減圧し、原子炉格納容器を設計圧力以下に保つことで、その内封機能を確保し、放射性物質が周辺環境へ異常に放出されることを防止する。これら3段階の防護策については、それぞれの段階について、後続の段階に期待せず当該段階で異常の発生等を防止するという多重防護の考え方を採用している（図5）【丙1（9～10頁）】。

また、この原子炉を「止める」、「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」といった機能を担う安全上重要な設備については、基準地震動に対する耐震安全性を備えるとともに、1台で必要十分な機能を持つ機器を複数配置するという多重性または1台で必要十分な機能を果たす異なる形式の機器を複数配置するという多様性をもたせて、単一故障・単一誤操作による機能喪失を防止しており、さらに、これらが共通要因¹⁵により同時に機能を喪失することがないように独立性をもたせることで、信頼性を確保し、その機能が確実に達成されるようにしている。独立性の確保にあたっては、共通要因に対する対策を講じているが、自然現象は共通要因として安全機能の喪失をもたらし得ることから、後に詳述するとおり自然現象については詳細な調査を実施し、各種知見を収集するなどして、自然現象の想定とこれに対する対策との両面から施設の安全機能の喪失に至らないように対策を講じ、事故の誘因とならないように配慮している。

そして、本件原子力発電所の運転開始以降、国内外のトラブル情報をはじめとした発電所の安全性向上に資する様々な知見を不断に収集・分析し、これらの知見を踏まえた運転管理・保守管理の継続的な改善を図りながら運転を継続してきた。

以下、参加人が本件原子力発電所において福島第一原子力発電所事故以前から講じている事故防止に係る安全確保対策について具体的に述べる。

¹⁵ 共通要因：2つ以上の系統又は機器に同時に作用する要因であって、例えば、系統若しくは機器に供給される電力、空気、油、冷却水等による影響因子及び地震、溢水又は火災等の影響をいう。

2 異常発生防止対策（第1段階）

本件原子力発電所における事故防止に係る安全確保対策の基本は、何らかの異常や事故が発生した場合に原子炉を「止める」、「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」という安全上重要な設備を働かせることにより、多重の障壁の健全性を維持して放射性物質を閉じ込めることにあるが、原子炉の安定した運転を維持し、そもそも異常が発生すること自体を未然に防止することが、事故防止の観点から極めて重要である。

このため本件原子力発電所においては以下の対策を講じている。

(1) 原子炉の固有の安全性（自己制御性）

本件原子力発電所の原子炉は、制御棒及び制御材（ほう素）により、核分裂連鎖反応を安定した状態に制御できるが、何らかの原因で核分裂反応が増加した場合に、この制御棒等による制御とは関係なく、核分裂反応を自動的に抑制するという性質（原子炉の固有の安全性という。）を有しており、このことが原子炉の安定した運転を維持する上での前提となっている。具体的には、燃料の大部分に核分裂しにくい性質を有するウラン238を使用することによって燃料のドップラー効果¹⁶を有し、また、減速材として水を使用することによって減速材の温度効果(密度効果)¹⁷を有し、核分裂反応が急激に増加した場合であっても、それが自動的に抑制される（原子炉の固有の安全性）（図6）。

(2) 誤動作や誤操作による影響を防止するための設計

本件原子力発電所においては、原子炉の出力、圧力及び水位の安定制御

¹⁶ 燃料のドップラー効果：燃料の大部分は核分裂しにくい性質を有するウラン238が占めているが、このウラン238は、その温度が上昇すると中性子を吸収しやすくなるという性質を有している。そのため、何らかの原因で核分裂が増加すると、燃料の温度が上昇しウラン238に吸収される中性子の割合が高くなり、ウラン235に吸収される中性子の数が減少するため、核分裂の増加が抑制され、出力が低下することとなる。

¹⁷ 減速材の温度効果(密度効果)：原子炉の出力が上昇して減速材の温度が高くなると、その密度が低下するため、中性子が減速材と衝突しづらくなり、減速する中性子が少なくなる。結果として、ウラン235に吸収される中性子の数が減少するため、核分裂が抑制され、出力が低下することとなる。

に万全を期すべく、誤動作や誤操作により異常が発生することを防止するため、異常が発生した場合に常に安全側に作動するフェイル・セーフ・システム¹⁸や、ある条件が揃わなければ操作しようとしても動かないようなインターロック・システム¹⁹の仕組みを採用している。

(3) 原子炉の運転状態の監視

本件原子力発電所においては、原子炉の運転に必要な能力を有する者が運転を行うとともに、中央制御室に常駐した運転員が、各種指示計・記録計のパラメータからの情報により原子炉の運転状態を監視し、また発電所内の巡視点検により各機器の運転状態に異常のないことを確認している。そして、異常に至らなくとも何らかの異常の兆候があれば予備の機器に切替え、点検を実施するなど、安全上重要な機器の機能・性能の維持を図り、原子炉の安定運転の維持に努めている。

以上のとおり、これらの「第1段階 異常発生防止対策」により、核分裂生成物の大部分は燃料ペレット内（第1の障壁）に、一部の気体状の核分裂生成物は燃料被覆管内（第2の障壁）にそれぞれ保持される。また、この時は当然、他の障壁（原子炉冷却材圧力バウンダリ、原子炉格納容器（鋼板）、原子炉格納容器（コンクリート））の健全性は維持されている。

3 異常拡大防止対策（第2段階）

本件原子力発電所においては、前記「異常発生防止対策（第1段階）」で述べたとおり、異常を発生させないための種々の対策を行っているが、

¹⁸ フェイル・セーフ・システム：故障や誤作動・誤動作による障害が発生した場合、常に安全側に制御すること。例えば、制御棒を保持している制御棒駆動装置の電源が何らかの原因で喪失した場合、電源喪失により制御棒駆動装置による保持力が失われることで、自重により制御棒が炉心に落下し、原子炉は自動停止する。また、一部の空気作動弁は、供給空気がなくなった場合に、安全側へ作動する。

¹⁹ インターロック・システム：誤った操作や機械の誤動作で起こる事故を防止するための仕組み。例えば、運転員が誤って制御棒を引き抜こうとしても所定の手順を踏まなければ制御棒の引抜きができない。また、ポンプの破損防止のため、決められた吐出圧力以上になるとポンプは自動的に停止する等の仕組みをいう。

それにもかかわらず運転中に何らかの異常が発生した場合には、その異常の拡大をできる限り防止するために、①まず何よりもこの異常の発生を早期にかつ確実に検知し、②必要に応じて原子炉を停止し、そこで発生する熱エネルギーを低減させることが重要となる。

このため、以下のとおり、異常の発生を早期にかつ確実に検知するための計測制御設備や原子炉を緊急停止させる原子炉保護設備、原子炉を冷却するための冷却設備を備えている。

(1) 異常を早期にかつ確実に検知する

本件原子力発電所においては、何らかの異常が発生した場合、この異常の発生を早期にかつ確実に検知する計測制御設備を設置している(表1)。すなわち、原子炉の出力や1次冷却材の流量、温度、圧力及び原子炉格納容器内雰囲気中の放射性物質の濃度等の各変化が示す異常の兆候は、原子炉容器や原子炉格納容器等に設置されている中性子束計²⁰、流量計、圧力計及びエリアモニタ等により検知され、その程度に応じて中央制御室の制御盤に警報を発することにより、運転員(24時間体制)は直ちに原子炉の停止などの適切な対応をとることができる。

また、検出器があらかじめ定めた許容値を超える異常値を検知した場合には、中央制御室の制御盤に警報が発せられるとともに、後述のとおり原子炉等に自動でトリップ(停止)信号を発する原子炉保護設備を設置している。

(2) 原子炉を「止める」

本件原子力発電所は、原子炉を「止める」ための設備として、制御棒及び制御棒駆動装置を備えるとともに、化学体積制御設備を設置している。

検出器が異常の兆候または異常の発生(前述の原子炉の自動トリップに係るものを除く)を検知した場合には、必要に応じ、運転員が原子炉の停

²⁰ 中性子束計:原子炉容器の外側に設置されており、単位時間あたりに単位面積を通過する中性子数(束, $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)を検知することにより、原子炉の停止状態から定格出力の120%までの原子炉出力を計測することができる検出器。

止操作を行い、電動駆動で制御棒を炉心へ挿入して原子炉を停止する（制御棒が中性子を吸収し、核分裂反応が停止する。）。

一方、燃料被覆管や原子炉冷却材圧力バウンダリの健全性に重大な影響を及ぼすおそれがある異常が発生した場合や、放射性物質の異常放出に至るおそれのある事故が発生し、これらの異常検知のための検出器の値が、予め定めた許容値を超えた場合は、前述の原子炉保護設備から原子炉トリップ信号が発せられ、原子炉を緊急停止させる（表2）。通常運転時には制御棒駆動装置により燃料集合体からほぼ全部を引き抜かれた状態で保持されている制御棒が、原子炉トリップ信号によって原子炉トリップ遮断器が自動的に開放され（制御棒を保持している制御棒駆動装置への電源が遮断され）、制御棒駆動装置による保持力を失い、自重で炉心に落下、原子炉を緊急停止させる（図7）。原子炉を緊急停止させることにより、燃料から発生する熱エネルギーを低減させ、異常の拡大及び事故への発展を防止する。あわせて、タービン及び発電機が自動停止する。なお、化学体積制御設備から高濃度のほう酸水を原子炉に注水することによっても、原子炉を停止することができる（ほう酸が中性子を吸収して核分裂反応が停止する。）。

原子炉トリップ信号が発せられる一例として、本件原子力発電所の各号機に設置している原子炉停止用地震感知器が地震発生時における運転中原子炉の運転継続に係る設定値（以下「原子炉停止用地震感知器の設定値」という。）を超過する地震加速度を検知した場合、原子炉保護設備からの原子炉トリップ信号が発信され、原子炉は緊急停止する。原子炉停止用地震感知器の設定値は、水平方向 170 ガル以下、鉛直方向 80 ガル以下と、基準地震動による最大加速度 620 ガルに対して低いレベルに設定されている。なお、本件原子力発電所において最大の揺れを観測した平成 17 年 3 月 20 日に発生した福岡県西方沖地震の場合でも、地震の揺れは建屋基底部で水平方向 85 ガルであり、運転開始以降現在に至るまで、上記設定値を超過する地震加速度により原子炉が緊急停止したことはない。

(3) 原子炉を「冷やす」

原子炉が停止した後も、燃料から崩壊熱²¹が発生し続けるため、これを除去（冷却）し続けることが必要である。前述した地震による原子炉の緊急停止後も、通常停止時に用いる主給水ポンプ等が健全であれば、通常停止時と同じ流れで原子炉を冷却する（図8）。以下に、原子炉緊急停止時における原子炉冷却の流れについて説明する。

原子炉の緊急停止時は、①定格出力状態から瞬時に原子炉が停止し、あわせてタービン及び発電機も自動停止する。②原子炉の停止後、主給水ポンプで蒸気発生器への給水を継続することにより、蒸気発生器で1次冷却材の熱を2次冷却材へ伝え、蒸気となった2次冷却材をタービンバイパス系により復水器²²で水に戻す、または主蒸気逃がし弁から大気に逃がすことにより、原子炉の崩壊熱を除去する。③その後、1次冷却材の温度及び圧力が177℃、約3MPaになった段階で、余熱除去ポンプで1次冷却材を余熱除去冷却器²³に送り、余熱除去冷却器で1次冷却材の熱を原子炉補機冷却系の水に伝え最終的な熱の逃がし場である海へ移送、1次冷却材の温度及び圧力を60℃、0.3MPaまで下げる（冷却完了）。また、④主給水ポンプが何らかの要因で使用できない場合は、後述する補助給水設備により、蒸気発生器へ給水する。

以上のとおり、異常発生時には、これらの「異常拡大防止対策（第2段階）」により、異常の発生を早期にかつ確実に検知し、必要に応じて原子炉を「止める」、そして「冷やす」こと、すなわち燃料から発せられる熱エネルギーを低減し、冷却することによって、燃料ペレット及び燃料被覆

²¹ 崩壊熱：原子炉の運転中に、燃料の核分裂もしくは中性子の吸収により生じた放射性物質が放射性崩壊する際に発生する熱。原子炉の停止後も発生が継続するが、時間とともに少なくなっていく。

²² 復水器：タービンの排気側に設置されており、海水が流れる多数の冷却管が設置されている。タービンを回転させた蒸気は復水器に流れ込み、復水器内部において冷却管の周りを流れることにより、冷却・凝縮して水に戻る。

²³ 余熱除去冷却器：原子炉に注水され燃料の崩壊熱を奪って温度が上昇した1次冷却材と余熱除去冷却器内を流れる原子炉補機冷却水との間で熱交換を行い、1次冷却材の水温を下げる設備。原子炉補機冷却水は原子炉補機冷却系の原子炉補機冷却水設備から供給され、1次冷却材との熱交換により水温が上昇した原子炉補機冷却水は、原子炉補機冷却水冷却器にて海水ポンプ等の原子炉補機冷却海水設備から供給された海水との熱交換で冷却される。

管の健全性を維持する。このため、通常運転時と同様、核分裂生成物の大部分は燃料ペレット内（第1の障壁）に、一部の気体状の核分裂生成物は燃料被覆管内（第2の障壁）にそれぞれ保持される。いうまでもなく、この場合、他の障壁（原子炉冷却材圧力バウンダリ、原子炉格納容器（鋼板）、原子炉格納容器（コンクリート））の健全性も維持される。

4 放射性物質異常放出防止対策（第3段階）

本件原子力発電所においては、何らかの異常が発生した場合、前記「異常拡大防止対策（第2段階）」で述べたとおり、この異常の発生を早期にかつ確実に検知し、必要に応じて原子炉を停止し、冷却することにより、放射性物質は燃料ペレット及び燃料被覆管内（第1及び第2の障壁）に閉じ込められる。また、仮に燃料被覆管が破損して放射性物質が漏出するような事態が生じても、燃料被覆管の外側の障壁である原子炉冷却材圧力バウンダリ（第3の障壁）の健全性が損なわれなければ、放射性物質は原子炉冷却材圧力バウンダリ外に漏えいすることはない。

また、配管の健全性確保には万全を尽くしているが、万一原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する配管の破損等により1次冷却材が流出する事故（以下「LOCA²⁴」という。）が発生した場合には、1次冷却材が原子炉格納容器内に流出し、1次冷却材により蒸気発生器へ熱エネルギーを運ぶ機能が低下（原子炉を冷やす機能が低下）することによって、そのままでは炉心の冷却ができなくなり、燃料の損傷、原子炉容器の損傷につながりかねない。

このため、原子炉を「冷やす」設備として非常用炉心冷却設備（以下「ECCS²⁵」という。）や補助給水設備を設けている。また、LOCAのように原子炉冷却材圧力バウンダリによる放射性物質の閉じ込めが期待できない事故が発生した場合に1次冷却材とともに漏えいした放射性物質を「閉じ込める」ために原子炉格納容器を設けており、この原子炉格納容器

²⁴ LOCA : Loss of Coolant Accident（1次冷却材喪失事故）の略

²⁵ ECCS : Emergency Core Cooling System（非常用炉心冷却設備）の略

の放射性物質を「閉じ込める」機能を失わせないため、後述する原子炉格納容器スプレイ設備等を設けている。

以下、周辺環境への放射性物質の異常な放出を防止するための対策についてLOCAを例に説明する。

(1) 1次冷却材喪失事故（LOCA）時の炉心冷却（原子炉を「冷やす」）

ア ECCSによる冷却

仮にLOCAが発生した場合、その配管破断部から漏えいした高温（約300℃）・高圧（約150気圧）の1次冷却材は、瞬時に原子炉格納容器（内部は大気圧とほぼ同じ圧力）に高温・高圧の蒸気となって噴出し、1次冷却材圧力の著しい低下や、原子炉格納容器内の圧力の上昇等の異常が発生する。検出器がこれらの異常を検知した場合、ECCSは、原子炉保護設備から発せられる非常用炉心冷却設備作動信号により自動作動する（原子炉は原子炉トリップ信号により緊急停止する。）。

ECCSは、原子炉冷却材圧力バウンダリを構成するいかなる配管の破断等を想定しても炉心の重大な損傷を防止するに十分な量のほう酸水を、原子炉容器内に注入することができる能力を備えており、①高圧注入系、②低圧注入系及び③蓄圧注入系という複数の注水系統を有する。LOCAの発生により、①高圧注入系の高圧注入ポンプ及び②低圧注入系の余熱除去ポンプが直ちに自動作動し、原子炉冷却材圧力バウンダリの圧力が高い際には高圧注入系が、その後原子炉冷却材圧力バウンダリの圧力が低下すると低圧注入系が、それぞれ有効に働き、ほう酸水を原子炉容器内に注水する。③蓄圧注入系の蓄圧タンクは、原子炉冷却材圧力バウンダリの圧力が一定程度低下した時点で自動開放し、ほう酸水を原子炉容器内に注水する。これにより、原子炉の緊急停止後も発生する燃料の崩壊熱を除去し、燃料ペレット及び燃料被覆管の健全性は維持される。

安全上重要な設備であるECCSは、以下のとおり、多重性または多様性及び独立性を有する設備である（図9）。

①高圧注入系は、1台で十分な量を燃料取替用水タンク（ピット）²⁶から炉心へ注水できる容量の高圧注入ポンプ（図9①）を2台分離して設置（2系列）し、同ポンプの電動機は、各々独立した非常用母線に接続している。また、外部電源が喪失した場合には、非常用ディーゼル発電機等からの電力を受電できる。さらに、燃料取替用水タンク（ピット）のほう酸水量が減少した場合には、水源を格納容器再循環サンプ²⁷（図9④）に切り替え（循環モード）、原子炉格納容器の底に溜まった水を冷却し、再度注入する。

②低圧注入系は、1台で十分な量を燃料取替用水タンク（ピット）から炉心へ注水できる容量の余熱除去ポンプ（図9②）を2台分離して設置（2系列）しており、高圧注入系と同様、非常用ディーゼル発電機の利用、格納容器再循環サンプ（同④）からの給水ができる。高圧注入系、低圧注入系とも2系列あり、何らかの要因により1系列が使用できない場合には、もう1系列で十分に炉心を冷却できる。

③蓄圧注入系は、高濃度のほう酸水を貯える蓄圧タンク（図9③）（4基）と1次冷却設備とを配管で接続した装置で、蓄圧タンクは窒素ガスで加圧されており、1次冷却材の圧力が一定程度低下した場合に、外部電源等の駆動源（電源）を必要とせず、逆止弁の自動開放によってほう酸水を原子炉に自動的に注入することができる。

なお、①、②、③いずれかの方法により炉心に注水されたほう酸水は、燃料の崩壊熱を奪って温度が上昇した状態で格納容器再循環サンプ（図

²⁶ 燃料取替用水タンク：ほう酸水を貯えるタンク。事故等発生時、ECCS、原子炉格納容器スプレイ設備の水源となる。（玄海4号機では燃料取替用水ピットという。）

²⁷ 格納容器再循環サンプ：原子炉格納容器の床面に設置された、1次冷却設備から漏れいした1次冷却材（ECCSにより注入されたほう酸水を含む。）及び原子炉格納容器スプレイ設備からスプレイされたほう酸水を溜める槽。

9④)に溜まることとなるが、余熱除去冷却器(同⑤)(2基)によって冷却することができ、水源を格納容器再循環サンプに切り替え注水する際は、冷却されたほう酸水を注水することができる。

イ 補助給水設備による冷却

ECCSが作動した場合、補助給水設備が自動的に作動し、原子炉の冷却を開始する。補助給水設備は、蒸気発生器を通じた崩壊熱の除去(冷却)のため、主給水ポンプとは別の水源(復水タンク²⁸等)から蒸気発生器に水を送る設備である(図8)。

安全上重要な設備である補助給水設備は、蒸気発生器への注水のためのポンプを複数備えるなど多重性または多様性及び独立性を有する設備である。具体的には、本件原子力発電所の各号機に、電動機により駆動する電動補助給水ポンプを2台ずつ、動力源として電力を必要とせず蒸気タービンにより駆動するタービン動補助給水ポンプを1台ずつ備えている。これらは独立性を有して配備されており、かつ、1台でも冷却のための十分な能力を有する注水ポンプである。また、電動補助給水ポンプの電動機は、外部電源が失われた場合でも非常用ディーゼル発電機等から電源供給を受けることができ、タービン動補助給水ポンプは主蒸気管から分岐した蒸気で駆動するため、外部電源及び非常用ディーゼル発電機からの電源が失われた場合にも運転できる。

これまで述べてきたECCS及び補助給水設備によるLOCA時における原子炉等への注水の流れについて、図10にその概略を示す。

²⁸ 復水タンク：2次冷却設備への補給水を貯えるタンクで、原子炉運転中は常に満水状態にある(玄海4号機においては復水ピットという)。事故等発生時には、補助給水設備の水源となる。

(2) 放射性物質を「閉じ込める」

ア 原子炉格納容器

LOCAのように原子炉冷却材圧力バウンダリ（第3の障壁）に障壁としての機能を期待できない事故が発生した場合に備え、放射性物質を閉じ込める障壁として、その外側に原子炉格納容器（鋼板）（第4の障壁）及び原子炉格納容器（コンクリート）（第5の障壁）を設けている。

原子炉格納容器は、耐圧性に優れたプレストレストコンクリート造とし、その内面に気密性を確保するための鋼製ライニングを設けた円筒形容器（内高約65m、内径約43m、胴部厚約1.3m）であり、原子炉容器や蒸気発生器等を格納する。LOCAが発生した場合等においては、圧力障壁となり、放射性物質の放出に対する障壁（外部遮蔽）となる。その基礎は直接岩盤で支持するとともに、原子炉格納容器の建設完了後、最高使用圧力の1.125倍の耐圧試験を行い、漏えいのないことを確認するとともに、運転開始後も定期的に確認している。

後述する原子炉格納容器スプレイ設備とあわせ、原子炉格納容器の障壁としての機能はLOCA時等においても確保される。

イ 原子炉格納容器スプレイ設備

LOCA等の事故発生時における原子炉格納容器内の圧力・温度の上昇から原子炉格納容器を守り、放射性物質を「閉じ込める」機能を失わせないため、原子炉格納容器スプレイ設備を備えている（図9）。

原子炉格納容器スプレイ設備は、格納容器スプレイポンプ（2台）、スプレイリング及び格納容器スプレイ冷却器等で構成され、燃料取替用水タンク（ピット）内のほう酸水に苛性ソーダを混ぜた冷却水を原子炉格納容器内に噴霧する設備であり、原子炉格納容器圧力の異常高が検知された時点で自動作動する。

このような設備を具備しているのは、第一に、LOCAにより高温・

高压（約 300℃，約 150 気圧）の 1 次冷却材が蒸気の状態です原子炉格納容器内に充満した場合，原子炉格納容器内の圧力・温度が上昇し，原子炉格納容器が破損するおそれがあるところ，スプレイリングから冷却水を原子炉格納容器内に噴霧することによって，蒸気を凝縮し水に変え（体積を減少させ），原子炉格納容器内の圧力・温度を低下させるためである。第二に，冷却水にヨウ素除去薬品タンク内の苛性ソーダを添加することによって，LOCAにより原子炉格納容器内に漏えいした 1 次冷却材（蒸気）に含まれる放射性ヨウ素を苛性ソーダと反応させ，冷却水に取り込み減少させるためである。燃料取替用水タンク（ピット）の水量が減少した場合には，水源を格納容器再循環サンプに切り替え，原子炉格納容器の底に溜まった水を再利用して注水することができるのは ECCS と同様である（燃料の崩壊熱で水温が上昇しているが，格納容器スプレイ冷却器により冷却し，冷却した水を噴霧できる。）。

ウ アニュラス空気浄化設備

LOCA発生時には，前述のとおり核分裂により生成した放射性物質が 1 次冷却材（蒸気）に含まれ原子炉格納容器内に放出されることから，この放射性物質を捕捉し，周辺環境への放出を極力抑制するためにアニュラス空気浄化設備が設置されている（図 9）。

アニュラス部²⁹に設置されたアニュラス空気浄化設備（2 台）は，アニュラス空気浄化ファン，アニュラス空気浄化フィルタユニット（よう素フィルタ及び微粒子フィルタ内蔵型）等により構成された設備で，ECCS の作動と同時に自動作動する。アニュラス空気浄化ファンの作動によりアニュラス部の圧力を原子炉格納容器より負圧にし，アニュラス部に漏れ出た原子炉格納容器の空気（蒸気）に含まれる放射性物質をよう素フィルタ（よう素除去効率：95%以上）及び微粒子フィルタ（粒子除

²⁹ アニュラス部：原子炉格納容器を取り巻く，密閉された空間。

去効率：99%以上)により除去する。

以上のとおり、LOCA等により一部の放射性物質が原子炉冷却材圧力バウンダリ外に流出した場合においても、これらの「放射性物質異常放出防止対策（第3段階）」により、炉心の著しい損傷を防ぎ、大部分の核分裂生成物は燃料ペレット、燃料被覆管及び原子炉冷却材圧力バウンダリ内に保持され、放射性物質を原子炉格納容器に確実に閉じ込めることで、放射性物質の周辺環境への異常な放出は防止される。

5 まとめ

以上のとおり、参加人は、本件原子力発電所において、多重防護の考え方にに基づき、原子炉を「止める」、「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」という機能を果たす安全上重要な設備を配備して事故防止に万全を期している。したがって、事故等の発生により多重の障壁の健全性が損なわれ、放射性物質が周辺環境に異常に放出されるようなことはない。

なお、玄海3号機（平成6年3月営業運転開始）及び玄海4号機（平成9年7月営業運転開始）は、営業運転開始以降、約25年間にわたり順調な運転実績を積み重ねており、これまで1次冷却設備が原因で原子炉を緊急停止した実績はなく、ECCSの動作を伴う原子炉の緊急停止の実績もない。

第5 福島第一原子力発電所事故を契機とした更なる安全確保対策

1 はじめに

平成23年3月11日、東北地方太平洋沖地震に伴い福島第一原子力発電所事故が発生した。この事故においては、地震発生後直ちに原子炉は停止したものの、地震により同発電所への送電設備が損傷したため外部電源が失われたこと（図1-1①）、その後襲来した津波により外部電源喪失後に作動していた非常用ディーゼル発電機が停止し、同じく津波により原子炉の熱を海に逃がすための海水ポンプも破損したこと、さらに計測や制御のために必要な直流電源が喪失したこと（同②）により、炉心の著しい損傷に至り（同③、

④，⑤)，格納容器等も損傷し（同⑥，⑦），周辺環境へ放射性物質が多量に放出された。

参加人は、東北地方太平洋沖地震に関する知見，そして新たな規制基準を踏まえて，地震及び津波の想定をより厳しいものに引き上げてはなお，多重防護の考え方に基づく異常発生防止対策，異常拡大防止対策及び放射性物質異常放出防止対策に要する安全上重要な設備がその機能を喪失しないことを確認している。また，幾重にも講じた安全確保対策が奏功しない場合をあえて想定しても，放射性物質の有する危険性が顕在化することがないよう，炉心を冷却することでその著しい損傷を防止し，仮に炉心の著しい損傷が生じた場合にも，原子炉格納容器内を冷却・減圧することで原子炉格納容器の内封機能を維持し，放射性物質の異常な放出を防止するための更なる安全確保対策を講じている。この更なる安全確保対策についても自然現象を誘因とした共通要因故障を起こさぬよう，多重性または多様性及び独立性を確保している。

以下，福島第一原子力発電所事故を踏まえ，参加人が本件原子力発電所において講じた更なる安全確保の具体的内容を述べる。

2 福島第一原子力発電所事故を契機とした参加人の対応

(1) 事故防止に係る安全確保対策の再評価

参加人は，第4で述べた異常発生防止対策（第1段階），異常拡大防止対策（第2段階），放射性物質異常放出防止対策（第3段階）における既存の安全上重要な設備について，従前より，本件原子力発電所に係る自然的立地条件（地盤，地震，津波等）を十分に把握した上でその特性を踏まえた設計及び建設を行い，建設以降も随時，最新の知見に基づいた評価・検討を実施し，安全上重要な設備が機能喪失しないことを確認してきた。そのうえで福島第一原子力発電所事故を契機として，地震や津波など安全上重要な設備が一斉に機能喪失するような共通要因故障の原因となりうる自然的立地条件の想定を従前以上に厳しく（安全側に）した上で，更に

火山や竜巻などの他の自然現象も想定し（表3）、これらが本件原子力発電所に及ぼす影響について再評価し、既存の安全上重要な設備が機能喪失しないことを確認した。

(2) 更なる安全確保対策の実施

上記のとおり、異常発生防止対策（第1段階）、異常拡大防止対策（第2段階）、放射性物質異常放出防止対策（第3段階）における既存の安全上重要な設備により、本件原子力発電所の多重の障壁の健全性が損なわれることはない。しかし、参加人は、これらの安全上重要な設備が機能喪失するような事態も想定し、そのような場合でも事象の進展、拡大を防止し、炉心の著しい損傷や原子炉格納容器の破損を防止するため、「更なる安全確保対策」を講じた。具体的には、「第4段階 放射性物質異常放出防止対策」及び「第5段階 放射性物質の放出を極力抑える」ための対策として、常設及び可搬式の設備（注水設備、電源設備等）を新たに配備するとともに（図12）、その手順等を定め、訓練を繰り返し実施し、より一層安全確保対策を充実させている（図13）。

例えば、事故時には原子炉容器の閉じ込め機能確保のための原子炉冷却手段として、通常 ECCS（高圧注入ポンプや余熱除去ポンプ）を使用するところ、万一これらが機能喪失したとしても、原子炉の冷却が可能となるよう常設電動注入ポンプを新たに設置している（図14）。常設電動注入ポンプは、既存の非常用ディーゼル発電機に加えて、新たに設置した大容量空冷式発電機からの電源の供給が可能となるよう電源を多様化しており、また、燃料取替用水タンクに加え、復水タンクを水源とすることが可能となるよう水源についても多様化している。

また、仮に炉心が著しく損傷し原子炉容器の閉じ込め機能が確保できなくなった場合でも原子炉格納容器の閉じ込め機能を確保するため、通常、格納容器スプレイポンプを用いて容器内の圧力を低下させるところ、万一この格納容器スプレイポンプが機能喪失したとしても、原子炉格納容器内の圧力の上昇を抑えることが可能となるよう常設電動注入ポンプや電源

を必要としない可搬型ディーゼル注入ポンプを設置している。

さらに、炉心が著しく損傷した際に考えられる高温の燃料被覆管と水とが反応して発生する水素の爆発について述べると、本件原子力発電所においては、発生した水素の濃度を低減するため、電気式水素燃焼装置（イグナイタ）を14台、静的触媒式水素再結合装置（PAR）を5台、玄海3・4号機それぞれの原子炉格納容器内に設置するといった水素爆発防止対策を行っている（図15）。静的触媒式水素再結合装置（PAR）は、電源を必要とせず、原子炉格納容器内の水素濃度上昇にしたがって、自動的に水素を低減させる装置であり、電気式水素燃焼装置（イグナイタ）は、既存の非常用ディーゼル発電機に加えて、新たに設置した大容量空冷式発電機からの電源の供給が可能となるよう多様化し、水素爆発が確実に防止できるようにしている。

そして安全確保対策がすべて機能せず、万一原子炉格納容器が損傷したとしても、発電所外への放射性物質の拡散を抑制することができるよう破損箇所に放水するための放水砲を配備している【丙9-3（55条-1～28頁）】。

(3) 主な重大事故等対策及び必要な措置

以下、原告らが特に主張する重大事故等対策に関し、参加人が行った主な重大事故等対策及び必要な措置について詳述する。

上記のとおり、異常発生防止対策（第1段階）、異常拡大防止対策（第2段階）、放射性物質異常放出防止対策（第3段階）における既存の安全上重要な設備により、本件原子力発電所の多重の障壁の健全性が損なわれることはない。しかし、参加人は、これらの安全上重要な設備が機能喪失するような事態も想定し、そのような場合でも事象の進展、拡大を防止し、炉心の著しい損傷や原子炉格納容器の破損を防止するため、「更なる安全確保対策」を講じている。具体的には、「第4段階 放射性物質異常放出防止対策」及び「第5段階 放射性物質の放出を極力抑える」ための対策として、常設及び可搬式の設備（注水設備、電源設備等）を新たに配備する

とともに（図12）、その手順等を定め、訓練を繰り返し実施し、より一層安全確保対策を充実させている（図13）。

ア 放射性物質の異常な水準の放出を防止するために必要な措置

設置許可基準規則37条2項は、重大事故が発生した場合において、原子炉格納容器の破損及び工場等外への放射性物質の異常な水準の放出を防止するために必要な措置を講じたものでなければならないとしている。ここで、必要な措置とは、それぞれの格納容器破損モード³⁰において、網羅的・体系的に事故の原因と事故に至るまでの進展を想定し、原子炉格納容器の破損を防止するための対策を立案し、その有効性を確認することとなっている。

以下、（ア）において、上記必要な措置として、参加人が実施した原子炉格納容器の破損を防止するための対策に係る有効性評価について概略的に述べた上で、（イ）において、原子炉格納容器下部の熔融炉心を冷却するための設備³¹等に係る「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧破損）」（以下「格納容器過圧破損」という。）の有効性評価についてその内容を詳述する。

（ア）参加人は、PRA³²の結果を踏まえて、原子炉格納容器が破損に至る可能性があるとして想定する格納容器破損モード及び格納容器破損モード毎に最も厳しい事故シーケンス³³をそれぞれ選定した上で、当該事故シーケンスにおいて参加人が講じる重大事故等対策について、有効性評価を行った。その結果、いずれの格納容器破損モードにおける事

³⁰ 格納容器破損モード：格納容器破損に至る格納容器への負荷の種類に着目して類型化されたもの。

³¹ 原子炉格納容器下部の熔融炉心を冷却するための設備については設置許可基準規則51条で、当該手順等については「実用発電用原子炉に係る発電用原子炉設置者の重大事故の発生及び拡大の防止に必要な措置を実施するために必要な技術的能力に係る審査基準」（以下「技術的能力基準」という。）1.8項でそれぞれ求められている。

³² PRA：「Probabilistic Risk Assessment」（確率論的リスク評価）の略。原子炉で想定される事故を対象に、事故を収束するために必要な安全設備が運転に失敗する可能性を確率を用いて評価し、原子炉の炉心損傷頻度等を評価する手法。

³³ 事故シーケンス：事故の進展について、起因事象、安全設備や緩和操作の成功・失敗、物理現象の発生の有無などの組み合わせとして表したもの。

故シーケンスについても参加人の講じる重大事故等対策により原子炉格納容器の破損に至らないことを確認した。(表4)【丙4-2(3.1-25, 3.1-77頁), 丙4-3(3.2-14~15頁), 乙71(3.3-10頁), 丙4-4(3.4-18頁), 丙4-5(3.5-14頁)】

(イ) 格納容器過圧破損の評価

a 格納容器過圧破損の特徴

格納容器過圧破損では、原子炉の出力運転中に原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する配管の破断、及び全交流動力電源喪失が発生するとともに、格納容器スプレイ注入機能、ECCSの低圧注入機能及び高圧注入機能等の喪失が重畳する。このため、何らの対策がとられない場合には、原子炉格納容器内へ流出した高温の1次冷却材及び溶融炉心の崩壊熱等の熱に伴い発生した水蒸気、金属-水反応等によって発生した非凝縮性ガス³⁴の蓄積により、原子炉格納容器圧力が緩慢に上昇し、原子炉格納容器の破損に至る。【丙4-2(3.1-1頁)】

b 格納容器過圧破損防止対策

格納容器過圧破損で想定される事故シーケンスに対して、原子炉格納容器の破損を防止し、かつ、放射性物質が異常な水準で本件原子力発電所外へ放出されることを防止するため、原子炉格納容器圧力及び温度の上昇を抑制する観点から、原子炉格納容器内の冷却等のための対策³⁵並びに原子炉格納容器の過圧破損を防止するための対策³⁶として整備している常設電動注入ポンプによる代替格納容器スプレイ及びA、B格納容器再循環ユニット³⁷による格納容器内自

³⁴ 非凝縮性ガス：温度が下がっても液体にならないガスをいう。

³⁵ 原子炉格納容器内の冷却等のための設備については設置許可基準規則49条で、当該手順等については技術的能力基準1.6項でそれぞれ求められている。

³⁶ 原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備については設置許可基準規則50条で、当該手順等については技術的能力基準1.7項でそれぞれ求められている。

³⁷ 格納容器再循環ユニット：冷却コイルを内蔵し、原子炉補機冷却水設備により冷却コイル

然対流冷却等を実施する。

また、熔融炉心・コンクリート相互作用に伴う水素等の非凝縮性ガスの発生を抑制する観点及び原子炉下部キャビティに落下した熔融炉心により原子炉格納容器雰囲気が過熱状態となることを防止する観点から、原子炉格納容器下部の熔融炉心を冷却するための対策として整備している常設電動注入ポンプによる代替格納容器スプレイ等を実施するとともに、継続的に発生する水素を処理するため、水素爆発による格納容器破損を防止するための対策³⁸として整備している静的触媒式水素再結合装置及びイグナイタ³⁹による水素濃度低減対策を実施する。これらの対策の概略系統図を図16に、対応手順の概要を図17に示す。

評価事故シーケンスにおける玄海3号機及び玄海4号機同時の重大事故等対策は、運転員（当直員）、緊急時対策本部要員（指揮者等）及び重大事故等対策要員で構成される計52名で実施する。

【丙4-2（3.1-1～2，3.1-27頁）】

c 有効性評価の結果

(a) 事象進展

大破断 LOCA 発生後、全交流動力電源喪失に伴い、原子炉は自動停止するが、LOCA の対策である ECCS の低圧注入機能及び高圧注入機能が喪失していることから原子炉への注水ができず、原子炉容器内水位が低下し、炉心溶融に至る。

さらに、格納容器スプレイ注入機能が喪失しているため、大容量空冷式発電機を起動し、当該発電機から電源を供給することで、常設電動注入ポンプによる代替格納容器スプレイを開始し、原子

へ冷却水を供給することにより、原子炉格納容器内の気体と冷却水との熱交換・自然循環で、原子炉格納容器内の温度や圧力を低下させる設備。

³⁸ 水素爆発による格納容器破損を防止するための設備については設置許可基準規則52条で、当該手順等については技術的能力基準1.9項でそれぞれ求められている。

³⁹ イグナイタ：電気式水素燃焼装置で、電気ヒータにより、水素を強制的に燃焼させて水にする装置。

炉格納容器内を冷却し、原子炉格納容器圧力及び温度の上昇を抑制するとともに、原子炉下部キャビティへ注水する。

その後、原子炉容器内水位がなくなることにより、原子炉容器破損に至り、熔融炉心が原子炉下部キャビティに流出するが、熔融炉心が原子炉下部キャビティに流出する時点では、原子炉下部キャビティには水量が確保されており、熔融炉心は冷却され、原子炉容器からの熔融炉心流出が停止することに伴い、原子炉格納容器圧力の上昇が緩やかになり、原子炉格納容器圧力は低下に転じる。

また、原子炉補機冷却機能が喪失しているため、移動式大容量ポンプ車により海水を冷却水として通水することで、A、B格納容器再循環ユニットによる格納容器内自然対流冷却を開始することにより、原子炉格納容器内の水蒸気が凝縮され、原子炉格納容器内温度は低下に転じる。【丙 4-2 (3.1-11 頁)】

(b) 評価項目毎の結果

参加人が実施した本評価事故シーケンスにおける有効性の評価結果を評価項目毎に以下に述べる。【丙 4-2 (3.1-12～13 頁)】

原子炉格納容器圧力の最高値は、代替格納容器スプレイにより、約 0.444MPa[gage]となるが、以降は低下傾向となることから、原子炉格納容器にかかる圧力は、限界圧力を下回る圧力である原子炉格納容器の最高使用圧力の 2 倍(0.784MPa[gage])を下回る。

原子炉格納容器内温度は、格納容器内自然対流冷却により、最高値約 144℃となり、以降は低下傾向となることから、原子炉格納容器バウンダリにかかる温度は、限界温度を下回る温度である 200℃を下回る。

本評価事故シーケンスは、事象初期から原子炉格納容器内に蒸気が放出されることにより事象進展中の原子炉格納容器圧力が高く推移することから、環境に放出される放射性物質量は多くな

るが、事象発生から7日後までのセシウム 137 の総放出量は約 4.5 テラベクレルであり、アニュラス空気浄化設備を起動し、フィルタによる除去を行うことにより、100 テラベクレル⁴⁰を十分下回る。また、事象発生から7日以降、セシウム 137 の放出が継続した場合の影響評価を行ったところ、事象発生後 30 日（約 4.8 テラベクレル）及び 100 日（約 4.8 テラベクレル）においても総放出量の増加は軽微であり、100 テラベクレルを下回っている。

大破断 LOCA が発生し低圧注入機能及び高圧注入機能が喪失することにより原子炉容器破損に至るが、その時点での 1 次系圧力は約 0.21MPa [gage]であり、原子炉容器が破損する際に微粒子化した熔融炉心を原子炉格納容器内に噴出（飛散）させるおそれのある 1 次系圧力である 2.0MPa [gage]を下回る。

熔融炉心と原子炉下部キャビティ水の相互作用は、当該作用により圧力上昇は見られるものの、熱的・機械的荷重によって原子炉格納容器の健全性に影響を与えることはない。【乙 71 (3.3-5 頁)】

原子炉格納容器内の水素濃度については、格納容器スプレイが作動することにより本評価事故シーケンスよりも水蒸気が凝縮することで水素濃度が高くなるとともに、全炉心内ジルコニウム量の 75%が水と反応して水素が発生することを想定した「④ 水素燃焼」（表 4）にて評価しており、事象発生後早期にジルコニウム-水反応に伴い発生する水素により上昇するが、原子炉格納

⁴⁰ 「実用発電用原子炉に係る炉心損傷防止対策及び格納容器破損防止対策の有効性評価に関する審査ガイド」では、想定する格納容器破損モードに対して、セシウム 137 の放出量が 100 テラベクレルを下回っていることを確認するとされている。【乙 12 (14 頁)】格納容器破損時において放出されると想定される放射性物質は希ガス、ヨウ素 131 (半減期約 8 日)、セシウム 137 (半減期約 30 年)、セシウム 134 (半減期約 2 年) などがある。原子力発電所の近隣に住む住民が長期避難を余儀なくされる可能性がある放射性物質を基準とする観点から、想定される放出量が多く、半減期が長いセシウム 137 の放出量を元に評価することを求めている。福島第一原子力発電所の事故では、セシウム 137 の環境への総放出量は約 1 万テラベクレルであったと評価されており、100 テラベクレルという値は、現に発生した上記事故を踏まえても妥当であるとしている。加えて、イギリス、スウェーデン等の諸外国においても、重大事故発生時の放射性物質の放出量を指標にしており、フィンランドでは、日本と同様のセシウム 137 の放出量 100 テラベクレルを規制値として設定している。【丙 5(159~160 頁)】

容器内に設置する静的触媒式水素再結合装置の効果により、ドライ条件⁴¹に換算した原子炉格納容器内水素濃度は最大約12.8vol%で減少に転じ、13vol%を下回る。【丙 4-4 (3.4-10 頁)】

原子炉格納容器内の水素蓄積を想定した場合の原子炉格納容器バウンダリにかかる圧力については、全炉心内ジルコニウム量の75%が水と反応することにより発生する水素と、水の放射線分解等により発生する水素を、静的触媒式水素再結合装置により処理した場合の発熱量は、炉心崩壊熱の約2%と小さく、静的触媒式再結合装置による発熱が全て原子炉格納容器圧力及び温度の上昇に寄与したと仮定しても、原子炉格納容器圧力の増分は約0.005MPa、原子炉格納容器内温度の増分は約0.9℃となる。【丙 4-2 (添 3.1.1.15-1 頁)】したがって、水素の蓄積を考慮しても原子炉格納容器バウンダリにかかる圧力及び温度は限界圧力を下回る圧力である原子炉格納容器の最高使用圧力の2倍(0.784MPa[gage])及び限界温度を下回る温度である200℃を下回る。

また、熔融炉心の全量が原子炉下部キャビティに落下するが、代替格納容器スプレイ及び格納容器内自然対流冷却により、原子炉格納容器圧力及び温度は低下傾向を示し、原子炉下部キャビティに落下した熔融炉心及び原子炉格納容器雰囲気は安定して除熱される。その後も格納容器内自然対流冷却を継続することにより、安定状態を維持できる。

原子炉下部キャビティ床面(ベースマツト)については、代替格納容器スプレイによる原子炉下部キャビティへの注水により、原子炉下部キャビティに落下した熔融炉心を冷却することから、有意な侵食は発生しない。【丙 4-5 (3.5-4 頁)】

⁴¹ ドライ条件：ある気体中に含まれる物質のうち、水蒸気を除外した条件として考慮すること。

(c) 必要な要員及び資源の評価

必要な要員の評価について、格納容器破損モード「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧破損）」において、玄海3号機及び玄海4号機同時の重大事故等対策に必要な要員は、前述のとおり52名であり、重大事故等対策に必要な要員52名にて対処可能である。

また、必要な水源、燃料及び電源については、大容量空冷式発電機による電源供給について全負荷での7日間運転継続に必要な重油が供給可能である等、全交流動力電源喪失時においても供給可能である。【丙4-2（3.1-23～24頁）】

(d) 結 論

格納容器破損モード「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧破損）」の評価事故シーケンス「大破断 LOCA 時に低圧注入機能、高圧注入機能及び格納容器スプレイ注入機能が喪失する事故」に全交流動力電源喪失及び原子炉補機冷却機能喪失の重畳を考慮して有効性評価を実施した結果、以上のとおり、代替格納容器スプレイ、格納容器内自然対流冷却等の格納容器破損防止対策は、評価事故シーケンスに対して有効であることが確認でき、格納容器破損モード「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧破損）」に対して有効であることを確認している。【丙4-2（3.1-25頁）】

イ 原子炉格納容器下部に落下した炉心を冷却するための設備

(ア) 設備

参加人は、炉心の著しい損傷が発生した場合において原子炉格納容器の破損を防止するため、溶融し、原子炉格納容器の下部に落下した炉心を冷却するために、以下①ないし④の対策とそのための設備を整備している。(図16)【丙9-2（51条-1～25頁）】

- ① 原子炉格納容器下部に落下した熔融炉心の冷却のための格納容器スプレイを行うための格納容器スプレイポンプ等の整備。
- ② 原子炉格納容器下部に落下した熔融炉心の冷却のための代替格納容器スプレイを行うための新たな常設電動注入ポンプ等の整備。
- ③ 熔融炉心の原子炉格納容器下部への落下遅延又は防止のための炉心注入を行うための高圧注入ポンプ，余熱除去ポンプ等の整備。
- ④ 熔融炉心の原子炉格納容器下部への落下の遅延又は防止のための代替炉心注入を行うための B 格納容器スプレイポンプ，B 充てんポンプ等の整備及び常設電動注入ポンプ等の新たな整備。

また，参加人は，上記①ないし④に掲げる設備に係る多重性又は多様性⁴²及び独立性，位置的分散について以下のとおり確認している。

- a 原子炉格納容器下部に落下した熔融炉心の冷却のための設備（①，②）

格納容器スプレイポンプは，多重性を持った非常用ディーゼル発電機から給電でき，系統として多重性を持つ。

常設電動注入ポンプを使用した代替格納容器スプレイは，大容量空冷式発電機からの独立した電源供給ラインから給電することにより，格納容器スプレイポンプを使用した格納容器スプレイとは互いに多様性を持った電源により駆動できる。

また，常設電動注入ポンプを使用した代替格納容器スプレイは，燃料取替用水タンク（ピット）及び復水タンク（ピット）を水源とすることで，燃料取替用水タンク（ピット）を水源とする格納容器スプレイポンプを使用した格納容器スプレイに対して，異なる水源を持つ。

常設電動注入ポンプ及び復水タンク（ピット）は，格納容器スプレ

⁴² 多様性：同一の機能を有する 2 つ以上の系統又は機器が，想定される環境条件及び運転状態において，これらの構造，動作原理その他の性質が異なることにより，共通要因又は従属要因によって同時にその機能が損なわれないこと。

イポンプ及び燃料取替用水タンク（ピット）と異なる場所に設置することで、位置的分散を図っている。

格納容器スプレイに使用する格納容器スプレイポンプ及び代替格納容器スプレイに使用する常設電動注入ポンプは、非常用ディーゼル発電機に対して、多様性を持った大容量空冷式発電機から給電できる。

b 熔融炉心の原子炉格納容器下部への落下の遅延又は防止のための設備（③，④）

B 格納容器スプレイポンプを使用した代替炉心注入は、格納容器スプレイ設備の B 格納容器スプレイポンプにより炉心注入できることで、余熱除去ポンプ又は高圧注入ポンプによる炉心注入並びに余熱除去ポンプ及び余熱除去冷却器を使用した余熱除去機能に対して多重性を持つ。B 格納容器スプレイポンプは、余熱除去ポンプ及び高圧注入ポンプと異なる場所に設置することで位置的分散を図っている。

常設電動注入ポンプを使用した代替炉心注入は、大容量空冷式発電機からの独立した電源供給ラインから給電することにより、余熱除去ポンプ及び高圧注入ポンプによる炉心注入並びに余熱除去ポンプ及び余熱除去冷却器を使用した余熱除去機能に対して多様性を持った電源により駆動できる。

また、常設電動注入ポンプを使用した代替炉心注入は、燃料取替用水タンク（ピット）及び復水タンク（ピット）を水源とすることで、燃料取替用水タンク（ピット）を水源とする余熱除去ポンプ及び高圧注入ポンプを使用した炉心注入に対して、異なる水源を持つ。

常設電動注入ポンプ及び復水タンク（ピット）は、高圧注入ポンプ、余熱除去ポンプ及び燃料取替用水タンク（ピット）と異なる場所に設置することで、位置的分散を図っている。

代替炉心注入時において B 充てんポンプは、非常用ディーゼル発

電機に対して、多様性を持った大容量空冷式発電機から給電することにより、余熱除去ポンプ及び高压注入ポンプを使用した炉心注入に対して多様性を持った駆動源（電源）により駆動できる。

代替炉心注入時において B 充てんポンプは、化学体積制御系⁴³の充てんラインを用いて炉心に注入できることで、余熱除去ポンプ及び高压注入ポンプを使用した炉心注入に対して多重性を持つ。

また、B 充てんポンプの自己冷却は、B 充てんポンプ出口配管から分岐した自己冷却ラインにより B 充てんポンプを冷却でき、原子炉補機冷却水ポンプを使用する補機冷却（原子炉補機冷却機能）に対して異なる冷却手段を用いることで多様性を持つ。

B 充てんポンプは、余熱除去ポンプ、高压注入ポンプ及び原子炉補機冷却水ポンプと異なる場所に設置し、位置的分散を図っている。

熔融炉心の原子炉格納容器下部への落下遅延・防止において、代替炉心注入に用いる常設電動注入ポンプは、非常用ディーゼル発電機に対して多様性を持った大容量空冷式発電機から給電できる

(イ) 手順等

参加人は、上記①ないし④に掲げる設備を用いた主な手順等を以下のとおり定めている。（図 1 8， 1 9）【丙 10-2（1.8-1～60， 1.8-85～86， 1.8-90～91 頁）】

a 原子炉格納容器下部に落下した熔融炉心の冷却

炉心の著しい損傷が発生し、格納容器再循環サンプ広域水位が 75%未満の場合において、原子炉格納容器に注水するために必要な燃料取替用水タンク（ピット）の水位が確保されている場合には、格

⁴³ 化学体積制御系：体積制御タンク，充てんポンプ，ほう酸タンク，ほう酸ポンプ等の設備から構成され，1次冷却材中のほう素濃度の調整のほか，1次冷却設備の1次冷却材保有量の調整，1次冷却材の水質調整，腐食生成物及び核分裂生成物等の除去等の機能を担う。また，万一制御棒が挿入できない場合は高濃度のほう酸水を原子炉に注水し，原子炉を停止することができる。

格納容器スプレイの手順に着手する。

格納容器再循環サンプ広域水位が 75%未満であり、格納容器スプレイポンプ等の故障等(全交流電源喪失又は原子炉補機冷却機能喪失を含む。)により原子炉格納容器への注水が確認できない場合において、原子炉格納容器へ注水するために必要な燃料取替用水タンク(ピット)の水位が確保されている場合には、常設電動注入ポンプによる代替格納容器スプレイの手順に着手する。

b 熔融炉心の原子炉格納容器下部への落下の遅延又は防止

炉心の著しい損傷が発生した場合、かつ、原子炉へ注水するために必要な燃料取替用水タンク(ピット)の水位が確保されている場合には、高圧注入ポンプ又は余熱除去ポンプによる炉心注入の手順に着手する。

高圧注入ポンプ又は余熱除去ポンプの故障等により原子炉への注水ができない場合において、原子炉へ注水するために必要な燃料取替用水タンク(ピット)の水位が確保されている場合には、充てんポンプによる炉心注入の手順に着手する。

充てんポンプの故障等により原子炉への注水が確認できない場合において、原子炉へ注水するために必要な燃料取替用水タンク(ピット)の水位が確保されている場合には、B 格納容器スプレイポンプによる代替炉心注入の手順に着手する。

B 格納容器スプレイポンプの故障等により原子炉への注水が確認できない場合において、原子炉へ注水するために必要な燃料取替用水タンク(ピット)の水位が確保され、代替格納容器スプレイに使用されていない場合には、常設電動注入ポンプによる代替炉心注入の手順に着手する。

全交流電源喪失又は原子炉補機冷却機能喪失時において、原子炉へ

注水するために必要な燃料取替用水タンク（ピット）の水位が確保されている場合には、B 充てんポンプ（自己冷却）による代替炉心注入の手順に着手する。

（ウ）設備及び手順の有効性評価

参加人は、前述の原子炉格納容器の破損を防止するための対策に係る有効性評価のうち、格納容器破損モード「溶融炉心・コンクリート相互作用」に係る評価（31 頁・表 4 の⑥）において、原子炉格納容器下部の溶融炉心を冷却するために、常設電動注入ポンプを用いた代替格納容器スプレイによる原子炉格納容器下部への注水を必要な対策とし、その有効性があることを確認している。

ウ 放射性物質の拡散を抑制するための設備

（ア）設備

参加人は、炉心の著しい損傷及び原子炉格納容器の破損又は貯蔵槽内燃料体等の著しい損傷に至った場合において本件原子力発電所外への放射性物質の拡散を抑制するために、以下①ないし③の対策とそのための設備を整備している⁴⁴。（図 2 0）【丙 9-3（55 条・1～28 頁）】

- ① 原子炉格納容器又は燃料取扱棟などに放水するための移動式大容量ポンプ車及び放水砲等の配備
- ② 海洋への放射性物質の流出経路にあたる本件原子力発電所放水口側雨水排水処理槽等への放射性物質吸着剤の設置、及び放射性物質の海洋への拡散を抑制するためのシルトフェンス等の配備
- ③ 航空機燃料火災に対して泡消火するための移動式大容量ポンプ車及び放水砲等の配備

⁴⁴ 工場等外への放射性物質の拡散を抑制するための設備については設置許可基準規則 5 5 条で、当該手順等については技術的能力基準 1. 1 2 項でそれぞれ求められている。

上記①について、重大事故に至った場合、一般に、原子炉格納容器等は放射線レベルが極めて高い環境にあって、突発的に同容器外に放射性物質を含んだプルームが発生するおそれがあり、同プルームには、多量の放射性物質を含むおそれがある上に、短時間のうちに広範囲に拡散するおそれもある。

このため、あらかじめ配備している放水砲を用いて速やかに放水することで、放射性物質の拡散を抑制、すなわち放水砲により原子炉格納容器頂部から水を噴霧し、放射性プルームに含まれる微粒子状の放射性物質に衝突させ水滴に捕集、水滴とともに落下させることにより、放射性物質の拡散を抑制する⁴⁵。

移動式大容量ポンプ車及び放水砲は、海を水源とし、車両等により、運搬、移動でき、複数の方向から原子炉格納容器又は燃料取扱棟に向けて放水できるとともに原子炉格納容器の最高点である頂部に放水できる。

また、移動式大容量ポンプ車は、玄海3号機及び玄海4号機において同時に使用する場合を想定し、1台で玄海3号機及び玄海4号機の両方に同時に放水できる容量を有するものを玄海3号機及び玄海4号機で1台、予備として1台の合計2台（玄海3号機及び玄海4号機共用）、放水砲も、玄海3号機及び玄海4号機同時に使用する場合を想定し、玄海3号機、玄海4号機それぞれ1台（玄海3号機及び玄海4号機共用）の合計2台を配備している。

次に、上記②については、原子炉格納容器等へ放水することにより必然的に放射性物質を含んだ放水後の水が海洋に拡散する事態が想定されるが、その事態に対し、あらかじめ海洋への拡散を抑制する設備を配備することにより、海洋への放射性物質の拡散を抑制する。

⁴⁵ 降雨時に、雨粒が空気中の微粒子を捕集し地上へ落下することによって雨上がりの空気が澄むことと同様の原理である。

本件原子力発電所に配備している放射性物質吸着剤は、放射性物質を吸着する特性を持つ鉱物であり、放射性物質を含んだ水の流路となる場所に設置し、放射性物質を吸着させることにより、海洋への拡散抑制が期待できる。また、シルトフェンスは、港湾工事等の際に水質汚濁の原因となる土砂や汚泥（シルト）が周囲の水域へ流出・拡散することを防止するために水中に設置するカーテン状の仕切りであり、海水中にカーテン状の仕切りを張ることで、シルトフェンス内に拡散する汚濁水を滞留させ、滞留した汚濁物質を凝固・沈殿させるものである。海水中に流出した放射性物質は、土や砂、埃などに付着して拡散することから、放射性物質をシルトフェンス内に滞留させるとともに、凝固・沈殿させることにより、海洋への拡散抑制が期待できる。

また、上記③については、航空機衝突による航空機燃料火災に対し、上記①の移動式大容量ポンプ車内蔵の泡薬剤ポンプにより、泡消火薬剤を混合し、放水砲による泡消火ができる。

(イ) 手順等

参加人は、上記①ないし③に掲げる設備を用いた主な手順等を以下のとおり定めている。【丙 10-3 (1.12-1～33 頁)】

a 炉心損傷により、炉心出口温度が 350℃以上かつ格納容器内高レンジエリアモニタ（高レンジ）が $1 \times 10^5 \text{mSv/h}$ 以上になり、原子炉格納容器へのスプレイが格納容器スプレイ流量等で確認できない場合には、原子炉格納容器等への放水の手順に着手する。この手順では、移動式大容量ポンプ車を取水箇所周辺に配置し、取水準備及び移動式大容量ポンプ車から放水砲まで可搬型ホースを敷設後、移動式大容量ポンプ車を起動し、放水を開始する。

b 使用済燃料ピット水位が EL.+10.75m 未満まで低下し、かつ水位低下が継続しており、さらに燃料取扱棟の損壊又は使用済燃料ピットエ

リアモニタの指示値上昇により燃料取扱棟に近づけないと判断される場合には、燃料取扱棟への放水の手順に着手する。この手順では、放水砲の放水先が原子炉格納容器等から燃料取扱棟に変わるだけでその他の手順は上記(ア)の場合と同様である。

c 移動式大容量ポンプ車、放水砲等による放射性物質の大気への拡散抑制を行うと判断した場合には、併せて放射性物質を含んだ水の海洋への拡散抑制の手順に着手する。この手順では、放水を開始する前に放射性物質を含んだ水が海へ流出する場所である雨水排水流路へ放射性物質吸着剤を設置し、その後シルトフェンスを設置場所へ運搬し、小型船舶等を使って展張する。

d 航空機燃料火災が発生した場合には、原子炉周辺建屋への泡消火を行うための手順に着手する。この手順では、移動式大容量ポンプ車を取水箇所周辺に配置し、取水準備及び移動式大容量ポンプ車から放水砲まで可搬型ホースを敷設後、移動式大容量ポンプ車を起動し、放水砲による泡消火を開始する。

3 まとめ

参加人は、多重の障壁（燃料ペレット、燃料被覆管、原子炉冷却材圧力バウンダリ、原子炉格納容器（鋼板・コンクリート一体型））により放射性物質を閉じ込め、事故等発生時においても多重の障壁の健全性を維持するため、原子炉を「止める」「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」という事故防止に係る安全確保対策を、従来の規制基準のもと講じつつ、これまで約20年超にわたり本件原子力発電所を順調に運転してきた。

その後、福島第一原子力発電所事故を踏まえて施行された新規制基準のもと、事故防止に係る安全確保対策を再評価し、自然現象により既存の安全上重要な設備が機能喪失しないことを確認するとともに、新たに

要求された重大事故等対策も実施した結果、平成29年1月18日に国から設置変更許可を受けている。そして、参加人は重大事故等が発生した場合の対応について手順書や体制、設備等を整備し、様々な訓練を繰り返し行い、重大事故等の混乱の中でも迅速かつ適切に対応できるよう備えている。

このように、参加人は事故防止に係る安全確保対策及び安全上重要な設備が機能喪失した場合を想定し「第4段階 放射性物質異常放出防止対策」及び、「第5段階 放射性物質の萌出を極力抑える」対策を講じており、万一事故が発生した場合にも放射性物質が周辺環境に異常に放出されることはない。

第4章 地震及び火山に係る安全性

第1 はじめに

前述のとおり、参加人は安全確保の基本的考え方に基づき、本件原子力発電所について、地震や火山等の自然現象が大きな事故の誘因とならないよう、自然的立地条件について十分安全側に考慮している。

具体的には、本件原子力発電所の敷地及び敷地周辺の自然的立地条件について詳細に調査し、調査結果及び最新の知見等を踏まえた検討を行い、敷地及び敷地周辺において想定される自然現象を保守的に評価しており、本件原子力発電所において放射性物質の異常放出となるような事故は起きないことを確認している。

以下、自然的立地条件のうち、本件訴訟において論点となっている地震及び火山に関し、参加人が十分安全側となるよう保守的に評価しており、本件原子力発電所の安全性が確保されていることについて詳述する。

第2 地震に対する安全性

1 はじめに

原告らは、原子力規制委員会による平成29年1月18日付本件原子力発電所に関する原子炉設置変更許可に関して、参加人が策定した耐震安全性確保の基礎となる基準地震動が入倉・三宅式及び壇ほかの式を用いて策定されており過小であるとして、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以下「原子炉等規制法」という。）第43条の3の6第1項第4号及び実用発電用原子炉及びその付属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（以下「設置許可基準規則」という。）第4条第3項に違反する違法があるとして、本件許可は取り消されるべきである旨主張する。

しかしながら、参加人は、福島第一原子力発電所の事故を受けて平成25年7月に施行された改正原子炉等規制法等の各法律、及び新たに作成された設置許可基準規則及び技術基準規則等の各規則（以下「新規制基準」という。）における規制要求に従って、最新の科学的知見及び詳細な調査結果を踏まえて地域的な特性（「震源特性⁴⁶」、「伝播経路特性⁴⁷」及び「サイト特性⁴⁸」）を把握し、安全側の評価を実施して基準地震動を策定しており、原告らの主張には理由がない。

以下、参加人が本件原子力発電所における地震動を保守的に評価し、基準地震動を策定したこと、基準地震動に対する耐震安全性が確保されていることについて詳述する。

⁴⁶ 震源特性は、一般的には震源断層が大きいほど断層のずれも大きいため、大きな揺れを放出する。震源の大きさは、気象庁マグニチュード M_j 、モーメントマグニチュード M_w や地震モーメント M_0 などで表される。ただし、震源断層が同じ大きさであっても、放出される揺れの大きさは、断層のずれ方等によって必ずしも同じではなく、ばらつきを有することに留意しなければならない。

⁴⁷ 伝播経路特性は、震源断層からの距離が遠ければ遠いほど、震源から放出された揺れは小さくなる。このように距離に応じて揺れが小さくなる現象を距離減衰という。ただし、地下の深いところの傾き等によって影響を受けることがあるため、留意しなければならない。

⁴⁸ サイト特性は、地盤が軟らかいほど増幅し、硬いほど増幅しない。地盤の軟らかい・硬いだけでなく、地盤の形状（整形・不整形）等によっても増幅することがある。

2 自然現象である地震の特性

(1) 地震における3つの特性（一般論としての「法則」）

自然現象である地震による揺れは、図 2 1 のとおり、「①震源特性」、「②伝播経路特性」及び「③サイト特性」という3つの特性で把握できる。これらの3つの特性には、以下に述べるとおり、いかなる地域で発生する地震でも共通する一般論としての「法則」がある。【丙173（4～5頁）】

① 震源特性

地震の規模（マグニチュード）が大きいほど、揺れが大きくなる。

② 伝播経路特性

震源からの距離が遠くなるほど、揺れが小さくなる。

③ サイト特性

地盤が硬いほど、揺れが小さくなる。

(2) 地域的な特性

上記の3つの特性については、地域に応じて以下のような「地域的な特性」が存在する。「地域的な特性」は、その地域に特徴的な揺れをもたらし得るため、地震による揺れの評価を行う場合には、この「地域的な特性」を十分考慮することが重要である。

①震源特性に係る地域的な特性【丙 173（5～6頁）】

ア 一般に、プレートとプレートとの間の断層で発生する地震（プレート間地震：マグニチュード 8～9 クラス：2011 年東北地方太平洋沖地震等）は規模が大きく、プレート内部の断層で発生する地震（内陸地殻内地震：マグニチュード 7 クラス：1995 年兵庫県南部地震等、海洋プレート内地震：マグニチュード 7 クラス：2001 年芸予地震等）は規模が小さい。

これは、地震の規模（マグニチュード）は、断層がずれ動く際の面積が大きいほど大きくなる場所、プレートとプレートとの間は地震が発生する領域が厚く、ずれ動く面積が大きくなるが、プレート内部は地震が発生する領域が薄いことからずれ動く面積が小さいためである。

る（図22～図24）。

プレート間地震，内陸地殻内地震及び海洋プレート内地震のいずれの影響が大きいかは，その原子力発電所の立地する位置に関係し，地域によって異なる。

イ 内陸地殻内地震の断層型には，逆断層型，正断層型及び横ずれ断層型があり（図25），正断層型及び横ずれ断層型は，逆断層型よりも揺れの大きさが小さい傾向にある（図26）【丙11（928頁），丙12（8,15頁）】。

日本列島は，ユーラシアプレート，北米プレート，太平洋プレート，フィリピン海プレートの4つのプレートが複雑に押し合う場所に位置しており（図22），押し合いによって働く力の向きや大きさ（応力場）の違いによって断層のずれ動き方にも違いがある。例えば，新潟県北部から中部地方北部を經由して近畿地方まで続く地域は，東西方向の圧縮応力場で，その周辺よりも大きくひずんでいて「ひずみ集中帯」と呼ばれているが，「ひずみ集中帯」においては，逆断層型の地震が起こりやすい。

このように，いずれの断層型が発生しやすいかは地域によって異なる（図27）【丙13（3.1-1頁）】。

②伝播経路特性に係る地域的な特性

震源からの距離が同じでも，地震波が伝播する過程における減衰が大きいほど揺れが小さくなる場所，減衰の大きさは，地域によって異なる（図28）【丙14（36,49頁），丙173（6頁）】。

③サイト特性に係る地域的な特性

地盤（地層）の褶曲等がある地域では，揺れが大きく増幅する場所がある（図29）【丙15（2,3頁），丙173（6頁）】。

3 地震動策定手法の発展と参加人の対応

(1) 玄海3号機及び4号機建設時の基準地震動の策定

ア 策定方針

3号機及び4号機建設時は、昭和53年に制定された「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」(以下「旧指針」という。)に基づき、基準地震動 S_1 及び S_2 ⁴⁹を策定して耐震設計を行った。3号機及び4号機建設時の基準地震動 S_1 及び S_2 の策定フローは、図30に示す通りであり、基準地震動 S_1 は「設計用最強地震」を考慮して策定し、基準地震動 S_2 は「設計用限界地震」及び「直下地震」を考慮して策定した。

イ 基準地震動 S_1 の策定

(ア) 「設計用最強地震」は、i 歴史的資料から過去において敷地またはその近傍に影響を与えたと考えられる地震が再び起こり、敷地及びその周辺に同様の影響を与えるおそれのある地震、ii 近い将来敷地に影響を与えるおそれのある活動度の高い活断層による地震のうちから最も影響の大きいものを想定するものとされ、参加人は、地質調査及び文献調査の結果をもとに、1700年杵岐・対馬付近の地震(マグニチュード7.0、震央距離35km)を設計用最強地震として考慮した。

(イ) この設計用最強地震から策定した基準地震動 S_1 の最大加速度は188ガルであった。

⁴⁹ 昭和53年に原子力委員会によって決定された「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針(旧指針)」において、施設の耐震設計に用いるものとして策定することが求められていた基準地震動。将来起こりうる最強の地震による地震動として、過去の地震及び過去1万年の間に活動した活断層による地震を対象に、それぞれ揺れの周期及び強さを評価し、これらを全て上回るように設定した地震動を設計用最強地震による基準地震動 S_1 という。およそ現実的ではないと考えられる限界的な地震による地震動として、過去5万年の間に活動した活断層による最大の想定地震、地震地体構造から考えられる最大の地震、さらには直下地震を対象にそれぞれ揺れの周期及び強さを評価し、これら全てを上回るように設定した地震動を設計用限界地震による基準地震動 S_2 という。

ウ 基準地震動 S_2 の策定

(ア) 「設計用限界地震」は、地震学的見地に立脚し、設計用最強地震を上回る地震について、i 過去の地震の発生状況、ii 敷地周辺の活断層の性質、iii 地震地体構造に基づき工学的見地からの検討を加え、最も影響の大きいものを想定するものとされ、参加人は、地質調査及び文献調査の結果をもとに、地震地体構造の見地から想定する地震（マグニチュード 7.5、震央距離 35km）を設計用限界地震として考慮した。

(イ) また、実際に起きる地震との関連はないが、その程度の地震が発生したと仮定しても安全が保たれるように耐震設計を行っておくとの観点から、「直下地震」（マグニチュード 6.5、震源距離 10km）も考慮するよう要求されていたため、これを考慮した。

(ウ) 以上の「設計用限界地震」及び「直下地震」から策定した基準地震動 S_2 の最大加速度は、それぞれ 275 ガル及び 370 ガルであった。

(2) 1995年兵庫県南部地震を契機とした知見と耐震設計審査指針の改訂

ア 1995年兵庫県南部地震を契機とした知見

1995年兵庫県南部地震では、日本で初めて震源近傍で強震動（被害をもたらすような強い地震動）が観測され、「震源特性」、「伝播経路特性」及び「サイト特性」が強震動やそれによる被害に大きく影響していることが明らかになった。これによって、将来の地震における強震動を高精度で予測するためには、これら3つの特性（地域的な特性）を考慮した地震動評価を行う必要があることが強く認識され、地震に関し様々な調査及び観測が行われた。その結果、地震学や地震工学等の新たな知見が急速に蓄積された。

具体的には、1995年兵庫県南部地震では、震源となった断層の直上ではなく、やや離れた所に「震災の帯」と呼ばれる被害の集中域が現れたメカニズムが詳細に分析された。その結果、この現象は、震源における

断層破壊の進行方向で地震動が大きくなる指向性と、地下構造による地震波の増幅との相乗効果によることが種々の研究で明らかになった。これを契機として、文部科学省に地震調査研究推進本部が設置され、全国の基盤的観測網の構築と併せて、活断層調査、地下構造調査等が行われた。強震動観測網の充実によって大きな地震が起きると精度良い地震動が記録され、その解析により直ちに震源断層の破壊過程が断層モデルとして計算されることなどにより、「震源特性」に係る知見が蓄積された。その結果、「震源特性」のうち強震動に直接影響する短周期レベルA⁵⁰について、壇ほか（2001）や佐藤（2010）等の知見により、日本海溝沿いの太平洋プレートで発生する宮城県沖のプレート間地震は他の地域と比べて短周期レベルAが大きいこと【丙11（930頁）】や、内陸地殻内地震のうち横ずれ断層型・正断層型の地震は逆断層型の地震に比べて短周期レベルAが小さいことなどの地域的な特性等が明らかになった【丙11（928頁）,丙12（8頁,15頁）】。また、都市部の関東平野、濃尾平野、大阪平野を中心に地下構造調査が行われ、各地域の「伝播経路特性」及び「サイト特性」による影響が検討された。さらには、南海トラフ沿いの海域についても詳細な地下構造調査が行われた。

これらの知見の蓄積に伴って、地震動評価手法に関する研究も大きく進展し、断層モデルを用いた手法に関する研究が急速に進み、地震調査研究推進本部(2009)による「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」（以下「強震動予測レシピ」という。）【乙33,乙57】等が整備された結果、「震源特性」,「伝播経路特性」及び「サイト特性」を踏まえた地震動評価手法が確立し、一般的に用いられるようになった。

イ 耐震設計審査指針の改訂【乙11（4～5頁）】

上記「ア」で述べた地震動評価手法の発展を踏まえて、平成18年に耐震設計審査指針（旧指針）が改訂された（以下「改訂指針」という。）。

⁵⁰ 短周期レベルとは、震源特性のうち強震動に直接影響を与える短周期領域における加速度震源スペクトルのレベルを表す値（ $N \cdot m / s^2$ ）をいう。なお、Nはニュートン、mはメートル、sは秒である。

改訂指針では、旧指針と比べ基準地震動の策定に係る地震動評価手法が大幅に高度化され、震源を特定した地震動評価、すなわち地下の震源断層の位置、長さ、幅及び傾斜角等を具体的に設定して、「応答スペクトル⁵¹に基づく地震動評価⁵²及び断層モデルを用いた手法による地震動評価の双方を実施すること（図3-1～3-2）」、「地震動評価に当たっては、地震発生様式、地震波伝播経路等に応じた諸特性（その地域における特性を含む。）を十分に考慮すること」、さらには「基準地震動 S_s の策定過程に伴う不確かさ（ばらつき）については、適切な手法を用いて考慮すること」が明記され、「震源特性」、「伝播経路特性」及び「サイト特性」を詳細な調査に基づき地域的な特性を踏まえて詳細に考慮することとされた。

さらに、前述の基準地震動の策定方法の高度化に加え、活断層評価年代の拡張（12～13万年前以降）及び地質調査等の高度化等が図られ、原子力事業者は、より入念な調査を実施し、より高度な手法によって、基準地震動を策定することとなった。改訂指針では、旧指針における基準地震動 S_1 及び基準地震動 S_2 が、図3-3に示すとおり、「基準地震動 S_s 」に一本化された。

具体的には、基準地震動 S_2 をもたらず設計用限界地震の考慮の対象とされていた「活断層による地震」及び「地震地体構造による地震」は、設計用最強地震とともに「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価の中で考慮されることとなった。

⁵¹ 建物等の周期毎の揺れの大きさを表すもの。地震動は様々な周期の波が含まれる複雑な波である。一方、建物等は、特定の揺れやすい周期を有しており、この周期と同じ周期を持つ地震動が到来すると、共振して大きく揺れる。応答スペクトルとは、いろいろな周期を有する建物等に対して、地震動がどのくらいの揺れを生じさせるかを、横軸に周期、縦軸に最大応答値をとって、わかりやすいように描いたものである。応答スペクトルを作成することにより、建物等の周期がわかれば、その地震動によって建物等に生じる揺れの大きさが把握できる。

⁵² 応答スペクトルに基づく地震動評価とは、「距離減衰式による地震動評価」のひとつで、過去の地震記録から導かれた回帰式により地震動の応答スペクトルを作成する方法をいう。応答スペクトルに基づく地震動評価は、断層モデルを用いた手法による地震動評価と比較すると、地震規模や震源距離等のより少ないパラメータで地震動評価を行うことができる利点がある。

一方で、旧指針の直下地震に対応するものとして、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震について得られた震源近傍の観測記録を収集し、これらを基に敷地の地盤物性等を加味して策定する「震源を特定せず策定する地震動」が定められた。すなわち、「震源を特定せず策定する地震動」は、旧指針の直下地震の考え方を踏襲し、更なる耐震安全性を確保する観点から策定するものである。

以上の改訂指針を踏まえた耐震バックチェックにおいて、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」から策定した基準地震動 S_s の最大加速度は540ガルであった【丙103(20~22頁)】。

(3) 2011年東北地方太平洋沖地震等の知見と新規制基準の施行

2011年東北地方太平洋沖地震及びこれによる津波に起因した福島第一原子力発電所事故を受けて、原子力規制委員会により、新規制基準が制定され、平成25年7月に施行された。この新規制基準は、改訂指針と同様に、多数の専門家による議論を尽くし、2007年新潟県中越沖地震や2011年東北地方太平洋沖地震で得られた最新の知見を反映したより厳格な基準として策定されている。新規制基準の地震動評価において、「震源特性」、「伝播経路特性」及び「サイト特性」について地域性を含めて詳細に考慮するという点は改訂指針から変更されていないものの、プレート間地震や海洋プレート内地震、並びに地下構造による地震波の「伝播経路特性」及び「サイト特性」の考慮に関する要求水準が高度化したため、従来より詳細な調査や確認が必要となった【乙32(3頁, 5~6頁)】。

具体的には、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」(以下「審査ガイド」という。)において、敷地及び敷地周辺の地下構造(深部・浅部地盤構造)などが地震波の伝播経路特性に与える影響を適切に評価することや、地震動の継続時間、振幅包絡線の経時的变化等の地震動特性を適切に評価することなどが要求されている。

参加人は、「第2 4 本件原子力発電所における基準地震動 S_s の策定

及びその妥当性」で詳述するように、新規制基準及び審査ガイドに基づき、過去に基準地震動を超過した地震から得られた知見等も取り入れ、詳細な調査を実施し、多くの観測データを用いて地域的な特性を十分に把握した上で、安全側の地震動評価を行い、基準地震動(最大加速度 540 ガルの Ss-1, 最大加速度 268 ガルの Ss-2, 最大加速度 524 ガルの Ss-3, 最大加速度 620 ガルの Ss-4, 最大加速度 531 ガルの Ss-5)を策定している【丙 16(367 頁)】。

(4) 基準地震動に関する新規制基準における定め

ア 基準地震動に関する新規制基準における定め

改正原子炉等規制法では、発電用原子炉施設の自然的条件にかかる原子炉設置許可及び設置変更許可の要件について「発電用原子炉施設の位置、構造及び設備が」、「発電用原子炉による災害の防止上支障がないものとして原子力規制委員会規則で定める基準に適合するものであること」(同法43条の3の6第1項第4号)とし、これを受けた設置許可基準規則では、地震について「耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力(以下「基準地震動による地震力」という。)に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない」(設置許可基準規則4条3項)【乙9(11頁)】と定めている。

基準地震動は、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造、地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から想定することが適切なものとして策定される(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の解釈(以下「設置許可基準規則解釈」という。)別記2第4条5項)【乙9(126頁)】。基準地震動策定の基本的な枠組みは、図3-4に示す通りであり、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について「解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動」としてそれぞれ策定するとされている(設置許可基準規則解釈・別記2第4条5項「一」)【乙9(126頁)】。

(ア) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」は、内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震について、敷地に大きな影響を与えると予想される地震（検討用地震）を複数選定し、選定した検討用地震ごとに、不確かさを考慮して応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を、解放基盤表面までの地震波の伝播特性を反映して策定する。検討用地震の選定に当たっては、内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震について、活断層の性質や地震の発生状況を精査するほか、敷地周辺の中・小・微小地震の分布、応力場、及び地震発生様式(プレートの形状、運動、相互作用を含む。)に関する既往の研究成果等を総合的に検討し、複数選定する。また、「地震動評価に当たっては、敷地における地震観測記録を踏まえて、地震発生様式及び地震波の伝播経路等に応じた諸特性（その地域における特性を含む。）を十分考慮すること」とされ、基準地震動策定過程に伴う「各種の不確かさ(震源断層の長さ、地震発生層の上端深さ・下端深さ、断層傾斜角、アスペリティの位置・大きさ、応力降下量、破壊開始点等の不確かさ、並びにそれらにかかる考え方及び解釈の違いによる不確かさ)については、敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析した上で、必要に応じて不確かさを組み合わせる等適切な手法を用いて考慮すること」とされている。(設置許可基準規則解釈・別記2第4条5項「二」【乙9(126～128頁)】)

(イ) 震源を特定せず策定する地震動

「震源を特定せず策定する地震動」については、「震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に、各種の不確かさを考慮して敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定して策定すること」とされ、「解放基盤表面までの地震波の伝播特性を必要に

応じて応答スペクトルの設定に反映するとともに地震動の継続時間及び振幅包絡線の経時的変化等の地震動特性を適切に考慮すること」とされている（設置許可基準規則解釈・別記2第4条5項「三」【乙9（128～129頁）】）。

イ 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド等

（ア）審査ガイドの概要

審査ガイドは、発電用軽水型原子炉施設の設置変更許可段階の耐震設計方針に関わる審査において、審査官等が設置許可基準規則及び設置許可基準規則解釈【乙9】の趣旨を十分に踏まえ、基準地震動の妥当性を厳格に確認するために活用することを目的として定められたものである【乙32（1頁）】。

設置許可基準規則解釈では、断層モデルを用いた手法による地震動評価を行うに当たっては、検討用地震ごとに適切な手法を用いて震源特性パラメータを設定したモデルを策定し、地震動評価をすることとされている（設置許可基準規則解釈・別記2第4条第5項「二」④ii【乙9（128頁）】）。これを受け、審査ガイドでは、断層モデルを用いた手法による地震動評価をおこなう際の震源断層のパラメータについて、強震動予測レシピ等の最新の研究成果を考慮し設定されていることを確認すると定めており（審査ガイドI3.3.2（4）①1【乙32（4～5頁）】）、強震動予測レシピが震源断層のパラメータ設定の代表的な手法として記載されている。

（イ）強震動予測レシピの概要

強震動予測レシピとは、震源モデルの設定（震源の各種パラメータの設定）に際し一般的に用いられる代表的な手法である。これまで地震調査研究推進本部の下部組織である地震調査委員会が実施してきた強震動計算、予測結果の検証の現状における手法や震源特性パラメータの設定に当たっての考え方を取りまとめたものである。強震動予

測レシピは、震源断層を特定した地震を想定した場合の強震動を高精度に予測するための、「誰がやっても同じ答えが得られる標準的な方法論」を確立することを目指しており、今後も強震動評価における検討により、修正を加え、改訂されていくことを前提としている。【乙33（付録3-1頁）、乙57（1頁）】

4 本件原子力発電所における基準地震動 S_s の策定及びその妥当性

(1) 基準地震動の策定の概要

基準地震動は、新規制基準では、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造、地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から想定することが適切なものとして策定することが求められており（設置許可基準規則解釈・別記2第4条5項）【乙9（126頁）】、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について「敷地における解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動」としてそれぞれ策定する。

参加人は、かかる新規制基準を踏まえ、基準地震動については、詳細な調査・観測結果に基づき地域的な特性（「震源特性」、「伝播経路特性」及び「サイト特性」）を把握した上で十分に余裕を持って策定する「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」を評価して策定した（図35）。以下、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」の策定について個別に詳述する。

(2) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

ア 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動評価の概要

参加人は、地質・地震に関する詳細な調査・観測結果を踏まえ、敷地に特に大きな影響を与えると予想される地震（以下「検討用地震」という。）を複数選定し、それぞれ「震源モデル」（「基本震源モデル」及び

「不確かさ考慮モデル」を設定した。「震源モデル」の設定に当たっては、詳細な調査・観測結果に基づき把握した地域的な特性を反映させ、安全側となるような設定した。

その上で「応答スペクトルに基づく地震動評価」による地震動と「断層モデルを用いた手法による地震動評価」による地震動とを考慮した上で、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」を策定した。

イ 地域的な特性の把握

(ア) 概要

本件原子力発電所の敷地は、佐賀県東松浦郡玄海町北部の半島の先端部に位置している。本件原子力発電所の基準地震動 S_s の策定にあたっては、「活断層及び地震動の評価においては、最新の科学的・技術的知見を踏まえ多様な調査方法を適切な手順と組合せによって実施し調査結果の信頼性と精度を確保すること、地震観測記録等を踏まえて地震発生様式及び地震波の伝播経路等に応じた諸特性（その地域における特性を含む。）を十分考慮すること。」とする設置許可基準規則解釈 別記2第4条第5項「二」「四」【乙9（126～129頁）】の規定を踏まえて、本件原子力発電所敷地周辺で発生する地震の地域的な特性（「震源特性」、「伝播経路特性」及び「サイト特性」）を把握するため、表5に示す、地質・地震等に関する調査・観測を実施した。

(イ) 敷地周辺の地震調査

本件原子力発電所の敷地周辺で発生する地震について、(ア) 地震発生様式、(イ) 地震発生状況、(ウ) 被害地震及び(エ) 断層型及び応力場に関する調査を以下のとおり実施した。

a 地震発生様式

本件原子力発電所が位置する九州地方北部における地震は、陸域及び海域の浅いところで発生する内陸地殻内地震、太平洋側沖合の南海トラフから陸の方へ傾き下がるプレート境界付近で発生するプレート

間地震、海洋プレート内で発生する海洋プレート内地震及びその他の地震に分けることができる。

内陸地殻内地震については、九州地方北部でマグニチュード7程度の地震が発生している。

プレート間地震としては、太平洋側沖合の日向灘周辺でマグニチュード7クラスの地震が十数年から数十年に一度発生している。

海洋プレート内地震としては、海溝付近またはそのやや沖合の沈み込む海洋プレート内で発生する地震及び海溝よりも陸側の沈み込んだ海洋プレート内で発生する地震がある。陸側に深く沈み込んだプレート内では、稀に規模の大きな地震が起こることがある。

その他の地震としては、島原半島の地震活動が見られる。

b 地震発生状況

敷地周辺におけるマグニチュード5未満の微小地震の震央分布を図36～図38に示す。微小地震分布の震源データは、「気象庁地震カタログ」のうち1997年10月から2012年12月までの期間に、深さ0～30km、30～60km及び60km以深で発生したものである。

これらの図から、以下のような微小地震活動の特徴が見られる。

敷地から半径100km以内において発生した微小地震は、2005年福岡県西方沖地震の余震及び島原半島周辺に活動域が見られる(図36)【丙16(7頁)】。

敷地から半径100km以遠では、熊本地方で深さ30km以浅の地震帯が見られる(図36)【丙16(7頁)】。

深さ30～60km(図37)では日向灘の南北に沿って、深さ60km以深(図38)では内陸部の南北に沿ってそれぞれ震源が高密度に存在する。これは、フィリピン海プレートの沈み込みに関連したプレート間地震及び海洋プレート内地震である【丙16(7頁)】。

敷地から半径100km以内では、深さ30km以深のフィリピン海プレートの沈み込みに関連したプレート間地震及び海洋プレート内地震

は見られない（図 3 7 及び図 3 8）【丙 16（7 頁）】。

なお、微小震源の鉛直分布は図 3 9 及び図 4 0 に示すとおりであり、上記のプレート間地震及び海洋プレート内地震が発生する領域は、本件原子力発電所の敷地から十分に距離が離れている【丙 18-5（6（3）-7-5-72～73 頁）】。

c. 被害地震

日本国内の被害地震に関する地震史料や明治以降の地震観測記録を基に、主な地震の震央位置、地震規模等を取りまとめた地震カタログを用いた、敷地から 200km 程度以内の「敷地周辺の被害地震の震央分布」を図 4 1 に示す。図 4 1 に示した地震について、震央距離を横軸、マグニチュードを縦軸として描いたものが図 4 2 であり、敷地における旧気象庁震度階級区分も書き加えている【丙 16（9 頁）】。

図 4 1 及び図 4 2 によると、陸域及び海域の浅いところで発生する内陸地殻内地震として、敷地から半径 50km 以内において、1700 年 壱岐・対馬の地震（マグニチュード 7.0）や 2005 年福岡県西方沖地震（マグニチュード 7.0）が発生している。2005 年福岡県西方沖地震の概要は、図 4 3 のとおりであり、横ずれ断層型である。1700 年 壱岐・対馬の地震及び 2005 年福岡県西方沖地震は、図 4 2 によると、敷地において、旧気象庁震度階級で震度 V（気象庁震度階級で震度 5 弱）程度以上と推定され、後述の検討用地震の選定対象とした。

図 4 1 によると、敷地からの震央距離が 200km 程度を超える日向灘周辺では、マグニチュード 7 クラスのプレート間地震が発生している。しかしながら、日向灘周辺で発生するプレート間地震は、その発生位置と敷地までの距離とが十分に離れているため、敷地に大きな影響を与える地震ではない。図 4 4 右図「距離減衰式による評価」は、横軸をプレート間地震として国内最大規模の 2011 年東北地方太平洋沖地震（マグニチュード 9.0）の震源からの距離とし、縦軸を各観測点における最大加速度（ガル）として各観測記録をプロットしたもの

であるが、観測記録のうち岩盤上の観測点からの距離と当該地震の震源からの距離とが、本件原子力発電所とプレート境界との距離（200km 程度以上）とおおよそ同じ観測点における観測記録の最大加速度は、数ガル～20 ガル程度であり、本件原子力発電所の基準地震動 Ss-1（最大加速度 540 ガル）の方が明らかに大きい。

また、図 4 1 によると、敷地からの震央距離が 200km 程度の日向灘周辺から九州地方内陸部にかけて、海洋プレート内地震である 1909 年宮崎県西部の地震（マグニチュード 7.6）が発生している。しかしながら、海洋プレート内地震についても、その発生位置と敷地までの距離が十分に離れているため、敷地に大きな影響を与える地震ではない。

さらに、図 4 1 によると、その他の地震として、島原半島周辺の地震があるが、その発生位置から敷地までは約 100km であって、距離が十分に離れており、敷地に大きな影響を与える地震ではない。

d 断層型及び応力場

九州地方の浅い陸域の地震（深さ 30km 以浅）を対象に、独立行政法人防災科学技術研究所広帯域地震観測網 F-net⁵³のデータを用い、1997 年の F-net 運用開始から 2014 年 1 月 3 日までの約 16 年間に発生した地震の発震機構解を図 4 5 に示す。これによると敷地周辺の浅い陸域の地震の発震機構解は、横ずれ断層型が多く、逆断層型や正断層型は少ないという特徴がある（図 4 5 の右下に見られる逆断層型の地震はプレート間地震）【丙 16（172 頁）】。数多くの観測記録を用いて、断層型毎に揺れの大きさを整理した知見（佐藤(2010)）によると、前述のとおり、逆断層型の地震に比べ、横ずれ断層型の地震は、相対

⁵³ F-net (Full Range Seismograph Network of Japan : 広帯域地震観測網)は、独立行政法人防災科学技術研究所による特別研究「地震素過程と地球内部構造に関する総合的研究」(フリージア計画 : Freesia = Fundamental Reserach on Earthquakes and Earth's Interior Anomaly) に基づいて、日本全国の約 80 箇所に整備された広帯域地震観測網のことである。F-net は、広帯域地震計と(速度型)強震計からなり、その名の通り地震によって発生するほとんど全ての地震動を記録することが可能である。

的に揺れが小さくなる（図46）【丙11（928頁）】。

また、全国のGPS観測結果（図47及び図48）によると、新潟県北部から中部地方北部を經由して近畿地方まで続く地域は、東西方向の圧縮応力場であり、その周辺よりも大きくひずんでおり、これらの地域は「ひずみ集中帯」と呼ばれている。九州地方のGPS観測結果（図49）によると、本件原子力発電所敷地周辺ではひずみがほとんど確認されず、「ひずみ集中帯」とは地域的な特性が異なる【丙17（13～19頁）】。

（ウ）地質調査

a 敷地周辺及び敷地近傍の地質調査

① 概要

各種の調査及び観測等により、内陸地殻内地震等の震源として想定する「将来活動する可能性のある断層等（活断層等）」の位置、長さ等の評価が適切に行われている必要がある【乙10（10～13頁）】。

「将来活動する可能性のある断層等」については、後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が否定できない断層等とした【乙10（4頁）】。

② 調査内容

敷地周辺及び敷地近傍の地質調査にあたっては、敷地からの距離に応じて、陸域及び海域について、文献調査、変動地形学的調査⁵⁴、地球物理学的調査⁵⁵、地表地質調査⁵⁶等の最新の手法による詳細な調査を実施し、既往調査結果や最新の知見も踏まえて検討を行い、

⁵⁴ 断層や褶曲等により動いた形跡のある地形のことを変動地形といい、特にこれに着目した空中写真判読等による調査。

⁵⁵ 地盤中の振動の伝わり方や、場所毎に微小に異なる重力値等の物理的手段を用いて、地下構造を把握する調査のことで、海上で船から海底に向けて音波を発振し、海底からの反射波を受振する海上音波調査や場所毎の重力値を調べる重力探査がある。

⁵⁶ 現地で地表観察や試料採取等を実施し、地表付近の地質状況を把握する調査。

断層の活動性や連続性を安全側に評価した。特に、敷地近傍については、より精度の高い詳細な調査を実施した【丙 18-4 (6(3)-7-3-1~2 頁)】。地質調査の概要を図 5 0 に示す。

i 陸域における地質調査内容【丙 18-4 (6(3)-7-3-6,62 頁)】

敷地を中心とするおおむね半径 100km 範囲の文献調査の結果を踏まえ、敷地を中心とする半径 30km の範囲及びその周辺陸域において、変動地形学的調査、地表地質調査及び地球物理学的調査を実施した。

変動地形学的調査としては、主に国土地理院で撮影された縮尺 4 万分の 1、2 万分の 1 及び 1 万分の 1 の空中写真並びに同院発行の縮尺 5 万分の 1 及び 2 万 5 千分の 1 の地形図を使用して、空中写真判読等を行い、活断層等に起因した変動地形の可能性がある地形（以下「リニアメント」という。）を抽出した。

地表地質調査としては、文献に示されている活断層、推定活断層及びリニアメント並びに空中写真判読によるリニアメントを対象に地表踏査等を実施し、これらの調査結果に基づいて敷地周辺陸域の地質及び地質構造の検討を行った。

地球物理学的調査としては、重力探査を実施し、海域を含めた範囲の解析を行った。

また、敷地近傍における地質及び地質構造を詳細に把握するため、敷地周辺における調査結果を踏まえて、敷地を中心とする半径 5km の範囲において、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査等を実施した。

ii 海域における地質調査内容【丙 18-4 (6(3)-7-3-6~8 頁)】

敷地を中心とするおおむね半径 100km 範囲の文献調査の結果を踏まえ、敷地周辺海域については、敷地を中心とする半径約 30km

の範囲の海域（以下「敷地前面海域」という。）において、シングルチャンネル方式⁵⁷及びマルチチャンネル方式⁵⁸の音波探査を実施した。音波探査は、原則として汀線方向の測線については、約5km間隔、汀線直交方向の測線については、約2.5km間隔で実施した。測線の総延長は約1,620kmである。

敷地前面海域に加え、敷地を中心とするおおむね半径100kmの範囲のうち敷地前面海域を除く範囲（以下「敷地周辺海域」という。）に分布する地層の地質時代を検討するため、シングルチャンネル方式及びマルチチャンネル方式の音波探査を実施した。測線の総延長は約330kmである。

敷地周辺海域のうち対馬北西海域から五島列島西方の海域（以下「対馬－五島西方海域」という。）では、文献に示されている断層にはほぼ直交する方向の約10km～約20km間隔の測線及びこれらを横断する測線で、シングルチャンネル方式の音波探査を実施しており、その測線の総延長は約740kmである。

また、地震調査委員会の「警固断層帯の長期評価について」（2007）を踏まえ、地震調査委員会が示す警固断層帯の北西延長海域（以下「福岡県西方海域」という。）において、シングルチャンネル方式等の音波探査を実施した。その測線の総延長は約160kmである。

海上音波探査の概要及び調査測線を図5-1に示す【丙19(81頁)】。

⁵⁷ 海上音波探査では、音波を発する振源を曳航しながら、受振器で海底地盤からの反射音をとらえて、海底地形、海底地盤の地質や断層等の地質構造等を探査する。シングルチャンネル音波探査は1つの受振器で探査を行う方法であり、浅部の地質構造等を精度よく探査できる。

⁵⁸ マルチチャンネル音波探査とは、複数の受振器を配列させ探査を行う方法。複数経路の反射波を重ね合わせて編集することができるため、深部の微弱な信号を強調したり、ノイズを打ち消したり等、海底下の深いところまでの地質構造等を探査できる。

③ 調査結果

敷地周辺の半径 30km 以内及び半径 30km 以遠の主な活断層分布を図 5 2 及び図 5 3 に示す。敷地周辺の主な活断層として、陸域については、竹木場断層、今福断層、城山南断層、楠久断層、国見断層、真名子－荒谷峠断層及び銚ノ木山リニアメントがある。海域については、F－h 断層及び糸島半島沖断層群がある。半径 30km 以遠の主な活断層として、警固断層帯、佐賀平野北縁断層帯、日向峠－小笠木峠断層帯、宇美断層、西山断層帯、水縄断層帯、雲仙断層群、杵岐北東部断層群、対馬南方沖断層、対馬南西沖断層群、巖原東方沖断層群、宇久島北西沖断層群、沖ノ島東方沖断層、F_{TW}－3、F_{TW}－4、中通島西方沖断層群及びF_{TW}－1 がある【丙 16 (11～12 頁)】。

b 敷地内の地質調査

① 概要

安全上重要な原子炉施設が「将来活動する可能性のある断層等」の露頭がある地盤に設置された場合、その将来の断層等の活動による地震や地盤の変位等により安全機能に重大な影響を与えるおそれがあるため、安全上重要な原子炉施設を設置する地盤（以下「基礎地盤」という。）に、「将来活動する可能性のある断層等」の露頭が無いことを確認する必要がある【乙 10 (8 頁)】。

「将来活動する可能性のある断層等」については、後期更新世以降（約 12～13 万年前以降）の活動が否定できない断層等とした【乙 10 (4 頁)】。

② 調査内容

参加人は、本件原子力発電所の敷地において、地表地質調査、ボーリング調査、試掘坑調査等の詳細な調査を実施し、基礎地盤の地

質や断層の分布及びその活動性を検討した【丙 18-4(6(3)-7-3-1,2 頁)】。

ボーリング調査においては、272 孔、総延長約 19,300m を実施した【丙 18-4 (6(3)-7-3-70 頁)】。

また、地表地質調査、ボーリング調査等により得られた敷地の地質及び地質構造を直接確認するため、試掘坑調査を実施した。さらに、発電所建設時に基礎掘削面の地質観察を行い、基礎岩盤を構成する地質の分布、断層の走向、傾斜等を直接確認した【丙 18-4 (6(3)-7-3-70～71 頁)】。

③ 基礎地盤の性質【丙 18-4 (6(3)-7-3-75～76 頁)】

上記調査の結果、基礎地盤付近の地質は、古第三紀～新第三紀に形成された佐世保層群を基盤とし、これに貫入した玢岩と、これらを不整合に覆う八ノ久保砂礫層、東松浦玄武岩類及び沖積層によって構成されていることが分かった。

このうち、基礎地盤を構成する主な地質は、砂岩及び頁岩から成る佐世保層群であり、相当な拡がりをもって広く分布していることを確認した。

④ 断層の分布と活動性【丙 18-4 (6(3)-7-3-77～80,213～214 頁)】

3号機及び4号機の試掘坑で確認された断層は計4本（G-1断層、G-2・4断層、G-3断層、G-5断層）であり、位置を図54に示す。

また、玄海原子力発電所1号機及び同2号機（以下、それぞれ「1号機」「2号機」という。）の試掘坑で確認された断層は計7本（g-1断層、g-2断層、g-3断層、g-4断層、g-5断層、g-6断層、g-7断層）であり、位置を図55に示す。

試掘坑で確認された断層は、①佐世保層群の層理に走向がほぼ平行な断層（G-1断層、g-1断層、g-4断層、g-5断層、g

－6断層, g－7断層), ②佐世保層群の層理に走向がほぼ直交する断層(G－2・4断層, G－3断層), ③佐世保層群に貫入した玢岩の岩脈に沿う断層(g－2断層, g－3断層)及び玢岩脈と同系統の断層(G－5断層)に区分した。

3号機及び4号機周辺で最も規模が大きいG－1断層は, 3号機及び4号機南側の試掘坑(N坑, Y=425坑, S坑, G－1断層調査坑(Y=492坑, X=789坑))で確認された。本断層は佐世保層群の層理に走向がほぼ平行な逆断層で, 破碎幅は最大45cmである。

1号機及び2号機周辺で最も規模が大きいg－1断層は, 1号機及び2号機の試掘坑(連絡坑, 中東横坑)及び1号機基礎掘削面で確認した。本断層は佐世保層群の層理に平行な断層のため変位は確認できないが, 破碎幅は最大40cmである。

G－2・4断層及びG－3断層は, いずれもその走向が佐世保層群の層理にほぼ直交する高角度の正断層で, 延長は短く破碎幅及び落差も小規模である。

3号機及び4号機の試掘坑で確認したG－5断層は, 佐世保層群の地層と同走向であるが, 傾斜は逆であり, 近接する玢岩の岩脈と走向・傾斜が同系統であることから, 玢岩の貫入に伴う局所的かつ小規模なものと判断した。また, 1号機及び2号機の試掘坑で確認された玢岩の岩脈に沿う断層(g－2断層, g－3断層)は, No. 1横坑, 連絡坑, 中東横坑及び玢岩追跡坑(B)で確認され, 約100m連続するが, その岩脈の延長であるNo. 2横坑では玢岩の岩脈と佐世保層群の境界は密着している。

G－1断層の活動性について検討するため, 3号機及び4号機のN坑よりG－1断層の傾斜に沿ってG－1断層調査坑(Y=492坑)を掘削した。

その結果, 本断層が基礎岩盤を被覆する東松浦玄武岩類中に延び

ていないことから、東松浦玄武岩類の噴出以前にその活動を終えたと判断した。

基礎掘削面地質観察結果によると、G-2・4断層の北西方向の延長部は本断層にほぼ直交する玢岩中に伸びていないことから、G-2・4断層及び同系統のG-3断層は玢岩の貫入以前にその活動を終えたと判断した。

1号機及び2号機付近の佐世保層群に貫入している玢岩をトレンチ調査により追跡調査した結果、玢岩は東松浦玄武岩類に覆われていることから、玢岩の貫入時期は佐世保層群の堆積後から東松浦玄武岩類の噴出前の間であり、玢岩の岩脈に沿う断層及び同系統の断層の生成時期及び活動時期も同様と判断した。なお、3号炉及び4号炉の試掘坑においてG-1断層が幅約1.5m及び約3mの2本の玢岩を変位させていることを確認しており、玢岩の貫入時期はG-1断層の活動よりも古いと判断した。

以上より、基礎地盤付近に認められる断層の生成時期及び活動時期はすべて東松浦玄武岩類の噴出時期よりも古いと考え、少なくとも新第三紀鮮新世以降における活動はなく、基礎地盤に「将来活動する可能性のある断層等」はないと判断した。

(エ) 地下構造調査

a 敷地及び敷地周辺の地盤構造

敷地周辺においては、花崗岩類及び古第三紀～新第三紀の堆積岩類並びにこれらを不整合に覆って、鮮新世の東松浦玄武岩が分布する【丙16(23頁)】。敷地近傍の地質は、古第三紀～新第三紀の佐世保層群を基盤とし、同層群を新第三紀鮮新世の東松浦玄武岩類が不整合関係で覆う。

敷地近傍においては、地下浅部から佐世保層群が拡がりをもって分

布している【丙 16 (16~17 頁)】。

b 敷地内調査

試掘坑内の弾性波試験結果によると、原子炉基礎岩盤における岩盤の弾性波平均速度値は、P 波が約 3.0 km/s、S 波が約 1.35km/s であり、良質の硬い岩盤といえる。地質調査の結果、この良質の硬い岩盤は相当の広範囲にわたり基盤を構成していることを確認した【丙 16(44 頁)】。

c 微動アレイ探査【丙 16 (50 頁)】

敷地の地下構造を把握するため、一辺が約 1700m の LL アレイ、約 900m の L アレイ、約 500m の M アレイ、約 200m の S アレイ、約 50m の SS アレイについて、それぞれの頂点 3 点、重心位置の計 4 点で微動アレイ探査⁵⁹を実施した。また、高振動数を補間するために単点微動測定時の 1 辺約 50m の L 字型の SS アレイのデータを利用した。微動アレイ探査の観測位置を図 5 6 に、微動アレイ探査結果を図 5 7、微動アレイ探査結果による同定結果を図 5 8 に示す。

微動アレイ探査により得られた観測分散曲線（図 5 7）を基に、敷地の地下のせん断波速度の同定を実施した。その結果（図 5 8）によると、表層から深くなるにつれ、せん断波速度は大きくなる。これは、上層よりせん断波速度が極端に小さい層が存在せず、特異な増幅がないことを意味する。

d 単点微動観測

敷地の地下構造を把握するため、50m 間隔で単点微動観測を実施し、水平/上下のスペクトル比 (H/V) の卓越ピークの空間分布の評価を実施した。単点微動観測結果を図 5 9 に示す。短周期側では表層の影

⁵⁹ 微動探査とは、地表付近で発生している微小な振動を測定し、測定したデータを分析することで、敷地の地下構造の確認を行う調査のこと。

微動アレイ探査は、地表において複数の観測機器を群設置(アレイという)して実施する。

響が見られるものの、長周期側では明確な傾向が見られず、深部の地下構造による特異な増幅の影響は見られていない【丙 20 (15～16 頁)】。

(オ) 地震観測【丙 16 (30 頁)】

本件原子力発電所では、建設時から地震観測を開始し、継続的に地震観測を実施しており、平成 25 年 7 月の設置許可申請時までに合計 76 もの地震の観測記録が得られている。観測記録が得られた 76 地震の震央分布を図 6 0 に示す。本件原子力発電所の基準地震動策定にあたり、かかる 76 地震の観測記録の分析を行った。

a 観測記録の特徴【丙 16 (102 頁)】

本件原子力発電所の敷地周辺の地震による揺れの地域的な特性を把握するため、本件原子力発電所で得られた 76 地震のうちマグニチュード 5.0 以上の地震による観測記録の応答スペクトルと「関東・東北地方の過去の地震動の平均像」(Noda et al.(2002)による手法)による応答スペクトルの比を算出し、検討した。この比が 1.0 を上回るということは、平均的な地震による揺れより大きい揺れであったことを示し、下回るということは小さな揺れであったことを示す。観測記録の応答スペクトルと Noda et al.(2002)による応答スペクトルの比を図 6 1 に示す。図 6 1 によると、上記の比は、1.0 を大きく下回る。

これは、本件原子力発電所の敷地地盤が堅固な岩盤であることによるものと考えられ、本件原子力発電所敷地周辺で発生する地震の揺れが「関東・東北地方の過去の地震動の平均像」(Noda et al.(2002))よりも小さいという地域的な特性の表れである。

なお、Noda et al.(2002)は、岩盤における観測記録に基づいて提案された距離減衰式であり、解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動の応答スペクトルを予測することができ、敷地における地震観測記録に基づいて補正することにより、地震の分類に従った震源特性、伝播経路特性及びサイト特性を的確に反映することが可能な手法である。後述するとおり、敷地における地震観測記録に基づいて補

正する（例えば図 6 1 の平均値を用いて 0.5 倍するなど）ことも可能であったが，安全側の判断から，地震観測記録による補正は行わず，Noda et al.(2002)による方法をそのまま用いて評価している。

b 特異な増幅特性の有無【丙 16（33 頁）】

本件原子力発電所敷地及び敷地周辺の地下構造が地震波の伝播経路特性及びサイト特性に与える影響を検討するため，地震の到来方向による増幅特性の分析を行った。

まず，前述の合計 76 の地震の観測記録のうち，マグニチュード 5.0 以上の地震により得られた観測記録の応答スペクトルの Noda et al.(2002)による平均的な応答スペクトルに対する比を到来方向別に算定し，比較・検討した。この比が 1.0 を上回るということは，平均的な地震による揺れより大きい揺れであったことを示し，下回るということは小さな揺れであったことを示す。また，この比が地震波の到来方向によって，異なる傾向が見られた場合，地震の到来方向により地震波の増幅特性が異なることを意味し，敷地及び敷地周辺の地下に褶曲構造などの揺れを増幅させる要因があることを示す。図 6 2 右に示すとおり，地震波の到来方向によらず，1.0 秒以下の短周期側の比は概ね 1.0 を下回っている。

したがって，地震の到来方向による観測記録の増幅特性の差異は存在せず，本件原子力発電所敷地及び敷地周辺の地下構造には特異な増幅を生じさせるものはないと判断した。

c 敷地と敷地周辺の地盤増幅率の差異【丙 16（40 頁）】

本件原子力発電所敷地及び敷地周辺の地下構造が，地震波のサイト特性に与える影響を検討するため，敷地における地盤増幅率と敷地周辺の K-NET⁶⁰観測点及び KiK-net⁶¹観測点における各地盤増幅率とに

⁶⁰ K-NET (Kyoshin Net : 全国強震観測網) は，独立行政法人防災科学技術研究所が運用する，全国を約 20km 間隔で均質に覆う 1,000 箇所以上の強震観測施設からなる強震観測網の

ついて、比較・検討を実施した。

具体的には、本件原子力発電所における敷地地盤で得られた観測記録と敷地周辺の K-NET 観測点及び KiK-net 観測点で得られた各観測記録とを用いて、地震基盤からの地盤増幅率を算定した。地盤増幅率の算定結果を図 6 3 に示す。図 6 3 右図は、縦軸に地盤増幅率、横軸に周波数を描いたものであり、これによれば、本件原子力発電所敷地における地盤増幅率は、周辺の K-NET 観測点及び KiK-net 観測点における地盤増幅率と概ね整合しており、顕著な増幅傾向は見られない。

d 2005 年福岡県西方沖地震の検討

前述のとおり、本件原子力発電所の敷地地盤で合計 76 の地震の観測記録が得られており、これらの観測記録のうち揺れが最も大きかったものは 2005 年福岡県西方沖地震によるものである。このため参加人は、本件原子力発電所敷地周辺で発生する地震の地域的な特性（震源特性）を調べるために、2005 年福岡県西方沖地震による観測記録を用い、その震源特性を分析した。

具体的には、強震動予測レシピ（入倉・三宅式、壇ほかの式を含む）に基づいて、主な断層パラメータを設定し、図 6 4 に示す震源モデルを構築し、経験的グリーン関数法⁶²による地震動評価を実施した。そ

ことである。地震被害に直接結びつく地表の強震動を均質な観測条件で記録するために、各観測施設は、一部の例外を除き統一した規格で建設され、自由地盤上（地表）に強震計が設置されている。

⁶¹ KiK-net（Kiban-Kyoshin Net：基盤強震観測網）は、全国にわたる総合的な地震防災対策を推進するために、政府の地震調査研究推進本部が推進している「地震に関する基盤的調査観測計画」の一環として、独立行政法人防災科学技術研究所が整備した強震観測網である。KiK-net の観測施設は、全国約 700 箇所に配置され、各観測施設には観測用の井戸（観測井）が掘削されており、地表と地中（井戸底）の双方に強震計が設置されている。

⁶² 経験的グリーン関数法とは、断層モデルを用いた手法において、地震による揺れを計算する方法のひとつで、敷地における地震観測記録を要素地震とするものである。具体的には、実際に発生した小さな地震の観測記録のうち、地震動評価に用いるのに適切な観測記録（要素地震）を足し合わせて大きな地震による揺れを計算する方法をいう。この方法には、評価する活断層付近で発生した小さな地震による評価地点での適切な観測記録が必要となる。経験的グリーン関数法に用いる要素地震には観測記録を用いるため、震源から敷地までの地震波の伝わり方を適切に反映している。

の結果、図 6 5 に示すとおり、2005 年福岡県西方沖地震で得られた本件原子力発電所敷地地盤の観測記録を概ね再現することができた【丙 16 (99~100,127~130 頁)】。

以上を踏まえ、参加人は、本件原子力発電所における検討用地震の地震動評価では、強震動予測レシピ（入倉・三宅式、壇ほかの式を含む）に基づき、断層パラメータ及び基本震源モデルを構築することとした。強震動予測レシピに基づく断層パラメータの設定方法を図 6 6 に示す【丙 16 (106 頁)】。

(カ) 小括

上記(イ)～(オ)までの検討を踏まえ、参加人が把握した本件原子力発電所敷地周辺の地域的な特性（「震源特性」、「伝播経路特性」及び「サイト特性」）は、以下のとおりである。

a 震源特性

- ① 敷地周辺で発生する地震のうち、敷地に大きな影響を与える地震は、「内陸地殻内地震」である。敷地に大きな影響を与える内陸地殻内地震として、活断層による地震及び過去の被害地震を抽出した。
- ② 海側のプレートに起因するプレート間地震及び海洋プレート内地震は、敷地から海側のプレートまでの距離が 200km 程度以上離れており、敷地に大きな影響を与えることはない。
- ③ 敷地周辺で発生する内陸地殻内地震は、「逆断層型」よりも揺れの大きさが小さい「横ずれ断層型」が多い。
- ④ 敷地周辺は、ひずみがほとんど確認されず、逆断層型の地震が起こりやすい「ひずみ集中帯」には位置していない。
- ⑤ 敷地及び敷地から半径 5km 範囲に活断層はない。

b 「伝播経路特性」及び「サイト特性」

- ① 基盤（硬い岩盤）がある程度の広がりをもって比較的浅所に分布しているため、敷地は揺れ難い。

- ② 敷地における揺れは、地震動の到来方向または周期帯によって異なる増幅はみられない。

c 敷地の観測記録の傾向

- ① 観測記録から、敷地周辺で発生する地震による揺れは「関東・東北地方の過去の地震動の平均像」(Noda et al.(2002)) に比べて小さい。

ウ 検討用地震の選定

上記「イ(ウ)地質調査」で示した主な活断層から想定される地震について、震央距離を横軸、マグニチュードを縦軸として、敷地における旧気象庁震度階級区分も書き加えたものを図67に示す。図67によると、敷地において、周辺の活断層から想定される地震による揺れは、宇美断層、水縄断層帯、雲仙断層群、巖原東方沖断層群、宇久島北西沖断層群、沖ノ島東方沖断層、 F_{TW-3} 、 F_{TW-4} 、中通島西方沖断層群及び F_{TW-1} による地震を除き、震度5弱程度以上と推定される。

参加人は、「イ(イ)c 被害地震」及び上記を踏まえ、敷地に大きな影響を及ぼすと想定される震度5弱程度以上の18地震全てをNoda et al.(2002)の方法により算定した応答スペクトルを基に評価し、その中から検討用地震を選定した。

2005年福岡県西方沖地震(マグニチュード7.0)、1700年老岐・対馬の地震(マグニチュード7.0)及び敷地周辺の主な活断層による18地震の応答スペクトルの比較を図68に示す。参加人は、この比較の結果、応答スペクトルの大小関係から、全周期帯において敷地に及ぼす影響が大きい「竹木場断層による地震」(図68中の①)及び「城山南断層による地震」(図68中の③)の2つを検討用地震として選定した【丙16(13,92頁)】。

エ 検討用地震の地震動評価における震源モデルの設定

検討用地震の地震動評価では、検討用地震ごとに「応答スペクトルに基づく地震動評価」及び「断層モデルを用いた手法による地震動評価」を実施することとされており（設置許可基準規則解釈・別記2第4条第5項「二」②【乙9（126頁）】）、参加人もこれに従って地震動評価を実施した。検討用地震の地震動評価の流れを図69に示す。

検討用地震の地震動評価に当たっては、まず、前述の調査結果及び観測記録に基づく分析等により十分に把握された地域的な特性を踏まえ、基本とする地震の震源モデル（基本震源モデル）を十分安全側に構築した。

次いで、基準地震動の策定過程において、不確かさが存在することを念頭に置き、前述の調査結果及び観測記録に基づく分析等によっても、それでもなお十分には把握されていない、または把握できないものについては、不確かさとして考慮し、不確かさを考慮した震源モデル（以下「不確かさ考慮モデル」という。）を構築した。

（ア）基本震源モデルの設定

「（2）地質・地震に関する調査・観測」における調査結果及び観測記録に基づく分析等に基づき、基本震源モデルの断層パラメータを設定した。「竹木場断層による地震」及び「城山南断層による地震」の2地震の基本震源モデルの断層パラメータの設定根拠を表6に示す【丙18-5（6(3)-7-5-45頁）】。かかる検討用地震の基本震源モデルをそれぞれ図70及び図71に示す。

基本震源モデルのパラメータは、「（2）オ（エ）2005年福岡県西方沖地震の検討」において、本件原子力発電所敷地での観測記録を概ね再現できることを確認した地震調査研究推進本部(2009)による強震動予測レシピに基づき設定した（地震モーメント M_0 は、断層面積から「入倉・三宅式」に基づき設定し、短周期レベルAは「壇ほかの式」に基づいて設定した。）。また、安全側に評価するため、アスペリティ

位置は、敷地に最も近い位置とし、破壊開始点⁶³は、破壊の進行方向が敷地に向かう方向となるように断層下端に設定した【丙 16 (117～119, 121 頁)】。

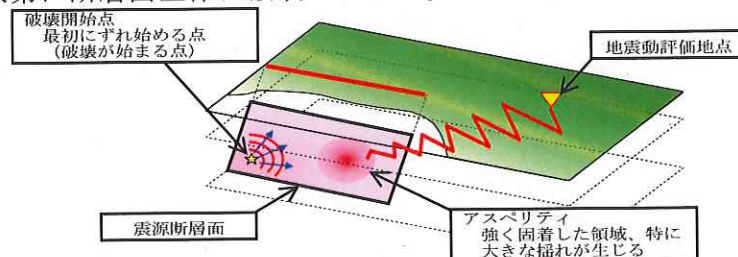
(イ) 不確かさ考慮モデル【丙 16 (107～118 頁)】

新規基準では、各種不確かさについては、敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析した上で、必要に応じて不確かさを組み合わせる等の適切な手法を用いて考慮することとされており（設置許可基準規則解釈・別記 2 第 4 条第 5 項「二」⑤【乙 9 (128 頁)】）、参加人は、検討用地震について、基準地震動の策定過程における不確かさを考慮した場合の地震動評価を行った。

参加人による不確かさの考慮の有無について、その根拠を整理したものを表 7 に示す【丙 18-5 (6(3)-7-5-49 頁)】。表 7 に示すとおり、不確かさを考慮するパラメータは、調査結果及び地震観測記録の分析から考慮する必要がないと判断したパラメータを除き、①断層長さ及び震源断層の拡がり、②断層傾斜角、③応力降下量、④アスペリティの位置及び⑤破壊開始点の 5 つとした。

その上で、図 7 2 に示すとおり、考慮する 5 つの不確かさを「地震発生前におおよそ把握できるもの」と「地震発生前に把握が困難なもの」に分類した。①断層長さ及び震源断層の拡がり、②断層傾斜角及び③応力降下量については、地震発生前に、地質調査、敷地周辺の地震発生状況及び地震に関する過去のデータによる経験則からおおよ

⁶³ 固着している断層面において、最初にずれ始める点（破壊が始まる点）のことであり、これを起点にして次第に断層面全体に破壊が広がる。



を把握できるものであり、①～③の不確かさについては、それぞれ独立して考慮した。また、④アスペリティの位置及び⑤破壊開始点については、地震発生前に把握が困難なもの（地震発生後に分析等により把握できるもの）であり、①～③の不確かさを考慮する際に、④及び⑤の不確かさを重畳させた。

不確かさを考慮するパラメータを表8に、検討ケースを表9～10、不確かさ考慮モデルの震源モデルをそれぞれ図73～図74に示す。応力降下量の不確かさは、2007年新潟県中越沖地震（マグニチュード6.8）の知見を踏まえ、短周期レベルAに関する既往の経験式の1.5倍相当の値を考慮して、地震動を評価した。断層傾斜角の不確かさは、強震動予測レシピ等を参考に断層傾斜角を60度として、地震動を評価した。

断層長さ及び震源断層の拡がりの不確かさは、Stirling et al.(2002)⁶⁴による知見を踏まえ、断層長さを20kmとし、敷地に最も近い位置に震源断層面を想定したものを考慮して、地震動の評価を行った。

また、破壊開始点の不確かさは、敷地への影響の程度を考慮し、アスペリティの破壊が敷地に向かう方向となる複数ケースを選定して、地震動評価を行った。

なお、「応答スペクトルに基づく地震動評価」では、③応力降下量及び⑤破壊開始点の不確かさについて考慮できないものの、①断層長さ及び震源断層の拡がり、②断層傾斜角及び④アスペリティの位置については不確かさを考慮している。Noda et al.(2002)の方法では、震源断層面の拡がりや断層面の不均質（アスペリティの分布）を考慮して補正した等価震源距離⁶⁵を用いており、断層面の拡がりや不均質性

⁶⁴ 内陸で活断層に関係して発生した地震に関して、地表地震断層の長さ（L）と地震規模や震源断層の長さ（Lsub）との関係を整理したもの。このデータに基づく分析では、地表断層の長さ（L）が20kmよりも大きい地震では、地表断層の長さ（L）と震源断層の長さ（Lsub）とは比較的良く対応するが、Lが20kmよりも小さくなると、両者は顕著にずれている。Lが小さくなくてもLsubは約20km付近に漸近し、それ以上は小さくならないとされている。

⁶⁵ 拡がりを持つ震源断層面から地震波エネルギーと同じエネルギーを持つ点震源までの距

による効果を考慮できる。特に④アスペリティの位置の不確かさを考慮したケースでは、アスペリティを敷地近傍に設定することによって、等価震源距離を短くし、敷地に厳しい地震動を与えるような評価を実施している。

オ 応答スペクトルに基づく地震動評価

「応答スペクトルに基づく地震動評価」は、マグニチュードや等価震源距離などの数少ないパラメータから地震による揺れを「応答スペクトル」により評価するものである。設置許可基準規則では、応答スペクトルに基づく地震動評価について、検討用地震ごとに適切な手法を用いて応答スペクトルを評価の上、それらを基に設計用応答スペクトルを設定することと定められている（設置許可基準規則解釈・別記2第4条第5項「二」④i【乙9（127頁）】）。

参加人は、「応答スペクトルに基づく地震動評価」では、まず、過去の地震動の平均像に関する知見に基づいた地震動を評価（算出）した。具体的には、「関東・東北地方の平均像」を導き出す手法である Noda et al.(2002)による手法を用いて評価を実施した。Noda et al.(2002)の手法は、岩盤における観測記録に基づいて提案された距離減衰式で、解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動の応答スペクトルを評価（算出）することができる。

本件原子力発電所周辺での観測記録は、既に述べたとおり Noda et al.(2002)の手法による関東・東北地方の過去の地震の平均像より小さな揺れとなる地域的な特性が確認されている（図6-1）。このように Noda et al.(2002)による過去の地震の平均像よりも小さな揺れとなる地域的な特性が確認された場合、社団法人日本電気協会が策定した民間規格である「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-2008）」によれば、敷地の観測記録に基づいて補正すること（実際の観測記録が小さいことを

離。距離減衰式に等価震源距離を用いれば、震源断面の広がりによる影響が大きい震源近傍の地震動を評価できる利点を有する。

踏まえ下方修正すること)も可能とされているが、参加人は、地震動評価がより安全側となるべく、かかる補正を実施せず、実際の観測記録を上回る「関東・東北地方の平均像」を「応答スペクトルに基づく地震動評価」による地震動とした【丙16(101~102,363頁)】。

カ 断層モデルを用いた手法による地震動評価

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動評価は、前述した「応答スペクトルに基づく地震動評価」に加え、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」を実施する。

「断層モデルを用いた手法による地震動評価」とは、活断層調査により将来活動する可能性のある断層等を認定した上で、震源断層面を設定し、ある1点の破壊開始点からこれが次第に破壊伝播し、揺れが伝わっていく様子を解析することにより地震動を計算する評価方法である。具体的には、①震源断層面を設定した上でさらに細かい要素面に分割する、②ある特定の要素面から破壊が始まるものとして破壊開始点を設定する、③破壊開始点から破壊が各要素面に伝播し、分割された各要素面からの地震波が次々に評価地点に伝わることにより評価地点に生じる地震動を足し合わせる、④足し合わせの結果、評価地点での地震動が求められる。(図75)

「断層モデルを用いた手法による地震動評価」は、「時刻歴波形」(主に加速度時刻歴波形)により評価するものであり、地域的な特性(「震源特性」、「伝播経路特性」及び「サイト特性」)を詳細に反映することが可能である。設置許可基準規則では、断層モデルを用いた手法による地震動評価について、検討用地震ごとに適切な手法を用いて震源特性パラメータを設定し地震動評価を行うことと定められている(設置許可基準規則解釈・別記2第4条第5項「二」④ii【乙9(127~128頁)】)。

参加人は、詳細に設定した基本震源モデルを基に、「伝播経路特性」や「サイト特性」を精度よく反映できる経験的グリーン関数法及び経験的

グリーン関数法と理論的手法によるハイブリッド合成法⁶⁶とを用いて精緻な評価を行い、本件原子力発電所敷地周辺の地域的な特性を反映した地震動（実像）を「断層モデルを用いた手法による地震動評価」による地震動とした。

その際、経験的グリーン関数法で用いる要素地震は、敷地までの地震波の伝わり方（伝播経路特性・サイト特性）の地域的な特性が反映されている適切な観測記録（2005年3月22日福岡県西方沖地震の余震、マグニチュード5.4）が敷地で得られていたため、これを用いた。

理論的手法で用いる地下構造モデルは、試掘坑内弾性波試験の調査結果、微動アレイ探査から推定されたせん断波速度構造及び既往の知見（地震調査研究推進本部(2007)、地震調査研究推進本部(2003)）を参考に設定した【丙16（101,147～148,364頁）】。

キ 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」による基準地震動の策定【丙16（363～365頁）、丙18-5（6(3)-7-5-125, 127, 129～130頁）】

参加人は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」による基準地震動の策定において、先ず、敷地に大きな影響を及ぼす可能性があるとして選定した2つの検討用地震（「城山南断層による地震」及び「竹木場断層による地震」）それぞれについて、基本震源モデルおよび不確かさ考慮モデルの「応答スペクトルに基づく地震動評価」による地震動を求め、これらの地震動を全て包絡する「設計用応答スペクトル」を設定し、これを基準地震動 Ss-1（最大加速度 540 ガル）とした（図76）。

次に、それぞれの検討用地震について、基本震源モデル及び不確かさ考慮モデルの「断層モデルを用いた手法による地震動評価」による応答スペクトルを求め、基準地震動 Ss-1（設計用応答スペクトル）と比較を行った（図77～79）。その結果、「城山南断層による地震」の断層傾

⁶⁶ ハイブリッド合成法（ハイブリッドグリーン関数法）とは、短周期領域の評価に適している経験的グリーン関数法又は統計的グリーン関数法により計算した地震動と、長周期帯の評価に適している理論的手法により計算した地震動とを組み合わせ、広い周期帯で精度よく地震動を評価する手法をいう。

斜角の不確かさ考慮モデル（破壊開始点3）及び「竹木場断層による地震」の断層傾斜角の不確かさを考慮モデル（破壊開始点2）の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果が、一部の周期帯において基準地震動 Ss-1（設計用応答スペクトル）による応答スペクトルを上回ったため、前者を基準地震動 Ss-2（最大加速度 268 ガル）、後者を基準地震動 Ss-3（最大加速度 524 ガル）とした。

ク まとめ

参加人は、新規制基準を踏まえ、地震動研究の知見を踏まえて発展し、精度も飛躍的に向上した地震動評価手法に基づき、地域的な特性（「震源特性」、「伝播経路特性」及び「サイト特性」）を把握し、安全側の評価となるように十分な余裕を持たせた上で「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」として基準地震動 Ss-1, Ss-2, Ss-3 を策定したものであり、その結果は妥当なものである。

(3) 震源を特定せず策定する地震動

ア 「震源を特定せず策定する地震動」による基準地震動の策定

震源を特定せず策定する地震動は、前述のとおり、「震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源断層における観測記録を収集し、これらを基に、各種の不確かさを考慮して敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定して策定すること」とされている（設置許可基準規則解釈・第4条第5項「三」【乙9（128～129頁）】）。参加人は、審査ガイドの定めも踏まえて、震源を特定せず策定する地震動を策定した。

(ア) 審査ガイドにおいて例示された地震

審査ガイドには、原子力規制委員会及び多数の専門家による検討の結果、震源を特定せず策定する地震動において考慮すべき16地震（表11）が選定されている【乙32（8頁）】。参加人は、これらの地震の観測記録を収集して検討した結果、2000年鳥取県西部地震における

賀祥ダムの観測記録及び 2004 年北海道留萌支庁南部地震における K-NET 港町観測点の観測記録を評価対象として選定した。

(イ) Mw6.5 以上の 2 地震についての検討

参加人は、審査ガイドに示される 16 地震（表 1 1）のうち Mw6.5 以上の 2 地震（①2008 年岩手・宮城内陸地震，②2000 年鳥取県西部地震）について，その発生した地震の震源域周辺と本件原子力発電所敷地周辺との地質・地質構造等について，比較・検討を実施した。

その結果，2008 年岩手・宮城内陸地震の震源域周辺は，ひずみ集中帯であり，主に逆断層型の地震が発生する地域であるが，本件原子力発電所敷地周辺は，ひずみ集中帯のようなひずみが集中する地域ではなく，主に横ずれ断層型の地震が発生する地域であり，両地域は地質学的・地震学的背景が異なるため，検討対象から外した【丙 16（160 頁）】。

一方，2000 年鳥取県西部地震の震源域周辺と本件原子力発電所敷地周辺については，地質学的・地震学的背景が異なるものの，両地域は横ずれ断層型が主体であること，相対的にひずみ速度が小さいことなどの共通性も見られるため，2000 年鳥取県西部地震を「震源を特定せず策定する地震動」の検討対象地震として選定した。2000 年鳥取県西部地震の震源近傍の記録としては，震源断層のほぼ直上に位置し，かつ，硬い岩盤上に設置されたダムの基礎（監査廊内）の観測記録である賀祥ダムの観測記録を選定した。なお，賀祥ダムの堰体基礎下の地盤の S 波速度は，本件原子力発電所の解放基盤表面の S 波速度 1.35km/s と同等であるため，賀祥ダムの観測記録を本件原子力発電所の解放基盤表面相当の地震動として扱い，これを「震源を特定せず策定する地震動」として策定した（図 8 0）【丙 16（237，356 頁）】。

(ウ) Mw6.5 未満の 14 地震についての検討 (図 8 1)

a 審査ガイドに示される 16 地震のうち Mw6.5 未満の 14 地震については、まず、震源近傍 (震源距離 30km 以内) の観測点 112 地点における観測記録を収集し、そのうち地盤が著しく軟らかいと考えられる観測点を除外するため、地下 30m の平均せん断波速度が 500m/s 以上 ($AVS30 \geq 500\text{m/s}$) の観測点 46 地点における観測記録を抽出した。これらの観測記録のうち本件原子力発電所敷地に大きな影響を与える可能性のある地震を抽出するため、加藤ほか(2004)による応答スペクトルとの比較・検討を実施した結果、③2011 年長野県北部地震の K-NET 津南、⑪2011 年茨城県北部地震の KiK-net 高萩、⑫2013 年栃木県北部地震の KiK-net 栗山西、⑬2004 年北海道留萌支庁南部地震 K-NET 港町、⑯2011 年和歌山県北部地震 KiK-net 広川の観測記録を抽出した【丙 16 (241~255 頁)】。

抽出したこれら 5 つの観測記録は、本件原子力発電所の解放基盤表面より軟らかい地表の観測点もしくは地中の観測記録であることや地盤非線形を含んでいることから、本件原子力発電所の解放基盤表面相当での地震動を推定するにあたっては、ボーリング調査等による精度の高い地盤情報 (せん断波速度、減衰、非線形特性など) が必要である。これら 5 つの観測記録が得られた観測点において、上記のような精度の高い地盤情報が得られている観測点は、2004 年北海道留萌支庁南部地震の K-NET 港町観測点のみであったため、当該観測記録を選定した【丙 16 (339~340 頁)】。

b 2004 年北海道留萌支庁南部地震の K-NET 港町観測点における観測記録を用いた「震源を特定せず策定する地震動」の策定

K-NET 港町観測点においては、佐藤ほか (2013) によるボーリング調査や PS 検層などから、深さ -41m までの地盤の物性値 (せん断波速度など) が、また、室内試験により、深さ -6m までの地盤の非線形特性 (大きな揺れに伴うひずみの増加に応じたせん断波速度の低

下や減衰の増加)に係る詳細なデータが得られており、地表から解放基盤表面までの精度の高い地盤データが直接把握できている(図82)。佐藤ほか(2013)の知見では、これらの精度の高い地盤データを基にはぎとり解析⁶⁷を実施し、深さ-41m(せん断波速度 $V_s=938\text{m/s}$)での解放基盤波(585ガル)が推計されている。参加人は、この佐藤ほか(2013)の知見を基に、地盤の減衰定数のばらつき等を考慮し、解放基盤波(620ガル)を策定し、これを「震源を特定せず策定する地震動」として策定した(図83)【丙16(350~352,356頁)】。

(エ) 「震源を特定せず策定する地震動」による基準地震動の策定

「震源を特定せず策定する地震動」は、震源近傍の観測記録を収集して策定するものであり、その波形には、実際に発生した地震の地震動の諸特性(周波数特性、継続時間、位相特性等)が含まれるものであるため、2000年鳥取県西部地震賀祥ダムの観測記録及び2004年北海道留萌支庁南部地震のK-NET港町観測点のはぎとり解析によって求めた地震動をそのまま採用した。

「震源を特定せず策定する地震動」は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の基準地震動 $Ss-1\sim3$ と比較した結果、一部の周期帯で基準地震動 $Ss-1\sim3$ を上回ったため、基準地震動 $Ss-1\sim3$ とは別個に取り扱うこととし、2004年北海道留萌支庁南部地震のK-NET港町観測点のはぎとり解析によって求めた地震動を基準地震動 $Ss-4$ (最大加速度 620ガル)とし、2000年鳥取県西部地震賀祥ダムの観測記録を基に策定した地震動を基準地震動 $Ss-5$ (最大加速度 531ガ

⁶⁷ はぎとり解析とは、地表もしくは地中で得られた地震観測記録から、表層の軟らかい地盤の影響を取り除き、硬い地盤の表面における地震動を推定する手法であり、推定された地震動をはぎとり波という。これは基準地震動が上部地盤や建物の振動による影響を全く受けない岩盤の表面(解放基盤表面)で設定されるものであるため、地表観測記録または地中観測記録と単純に比較することができないために行われるものであり、一般的な手法である。

ル)として策定した(図8 4～8 5)【丙 18-5(6(3)-7-5-25,135～136 頁)】。

イ まとめ

参加人は、最新の知見を踏まえて策定された新規制基準の内容に従って「震源を特定せず策定する地震動」として基準地震動 Ss-4, Ss-5 を策定したものであり、その結果は妥当なものである。

(4) 基準地震動Ssの年超過確率

審査ガイドでは、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について、それぞれ策定された地震動の応答スペクトルがどの程度の超過確率になるかを確認するとされている(審査ガイド 1.6.1)【乙 32 (9～10 頁)】。参加人は、審査ガイドを踏まえ、基準地震動の超過確率を評価しており、その結果を図8 6に示す。

本件原子力発電所における基準地震動 Ss-1(最大加速度 540 ガル), Ss-2 (同 268 ガル), Ss-3 (同 524 ガル), Ss-4 (同 620 ガル) 及び Ss-5 (同 531 ガル) の年超過確率はそれぞれ縦軸の黒, 青, 赤, 緑及び紫で表すところであり、いずれも超過確率は 10^{-5} /年程度(10 万年に 1 回)となっている。

なお、図8 6によれば最大加速度が大きくなれば、それを超過する確率は下がることになり、例えば、最大加速度 1,000 ガルを超過する確率は 10^{-6} /年(100 万年に 1 回程度)となる。

(5) 小括

参加人は、新規制基準による基準地震動策定フロー(図3 5)に従い、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」の評価結果に基づき基準地震動 Ss を策定した。具体的には、基準地震動として、Ss-1(最大加速度 540 ガル), Ss-2(最大加速度 268

ガル) , Ss-3 (最大加速度 524 ガル) , Ss-4 (最大加速度 620 ガル) 及び Ss-5 (最大加速度 531 ガル) を策定した【丙 16 (365~367 頁)】。基準地震動 Ss の応答スペクトルを図 8 7 及び図 8 8 に、加速度時刻歴波形を図 8 9 ~ 図 9 3 に示す。

これらの基準地震動は詳細な調査・観測結果に基づき、地域的な特性(「震源特性」, 「伝播経路特性」及び「サイト特性」)を把握した上で、安全側の評価となるように十分な余裕を持たせた上で策定されたものであり、合理的なものである。

なお、本件原子力発電所敷地地盤において観測された既往最大の地震による揺れは、2005 年福岡県西方沖地震時における最大加速度 85 ガルであり、上記基準地震動 Ss と比べると著しく小さいものである。

5 本件原子力発電所の地震動評価に用いた経験式の合理性

(1) 入倉・三宅式および壇ほかの式を用いることが合理的であること

ア 強震動予測レシピの合理性

(ア) 強震動予測レシピの位置づけ

強震動予測レシピは、地震調査研究推進本部の下部組織である地震調査委員会において実施してきた強震動評価に関する検討結果から、強震動予測手法の構成要素となる震源特性、地下構造モデル、強震動計算並びに予測結果の検証の現状における手法や震源特性パラメータの設定に当たっての考え方をとりまとめたものであり、震源モデルの設定(震源の各種パラメータの設定)に際し一般的に用いられる代表的な手法である。強震動予測レシピは、震源断層を特定した地震を想定した場合の強震動を高精度に予測するための「誰がやっても同じ答えが得られる標準的な方法論」を確立することを目指しており、今後も強震動評価における検討により修正を加え、改訂されていくことを前提としている。【乙 33 (付録 3-1 頁) , 乙 57 (1 頁)】

(イ) 入倉・三宅式及び壇ほかの式を含む強震動予測レシピの合理性

地震による揺れ（強震動）は、震源となる断層の性質や震源から観測点に至る地下構造により異なり、結果として構造物に対する強い破壊力の地震動が生じた地域で大きな被害が引き起こされることになる。構造物に対する地震動の破壊力を1つの指標で表すのは困難であり、構造物・施設の動的な耐震性を知るためには地震動の時刻歴波形あるいは応答スペクトルの評価が必要となる。そのためには震源断層の破壊過程及び震源から対象地点までの地下構造による伝播特性に基づいた強震動の予測がなされなければならない。強震動予測を行うには、地質・地形学的アプローチだけでなく、地下にある断層の動きを知るために地震記録や測地記録から断層運動を推定する地震学的アプローチとの連携が重要であって、精緻な調査や観測、そしてそれらのデータ解析から得られる震源や波動伝播に関する高精度の情報が必要となる。すなわち、活断層や地震活動の調査に基づく活断層ごとの地震危険度評価、これまでの地震動記録のインバージョン（逆解析）に基づく震源のモデル化、さらには地下構造調査や地震動観測によるグリーン関数の評価などを総合して、各地の地震動の推定が可能となる。このようにして予測された地震動は、これまでに得られている強震動の関係式や過去の大地震の被害分布などとの比較により、その有効性を検証されることになる。

入倉・三宅式及び壇ほかの式を採用した強震動予測レシピによれば、強震動予測のための震源モデルは、巨視的断層パラメータ⁶⁸、微視的断層パラメータ⁶⁹及びその他のパラメータ⁷⁰により、決定論的に与えられる。巨視的断層パラメータとしては、活断層調査により同時に活

⁶⁸ 巨視的パラメータとは、震源断層面の形状や規模等、その全体的なパラメータを示すもので、その諸元には震源断層の位置や走向・長さ・幅・深さ・傾斜角、地震規模、平均すべり量等がある。

⁶⁹ 微視的パラメータとは、震源断層面での細かな特徴を表すもので、その諸元にはアスペリティの位置・個数・面積、アスペリティと背景領域の応力降下量等がある。

⁷⁰ その他のパラメータとは、巨視的パラメータ及び微視的パラメータ以外のパラメータであり、岩盤のずれ破壊に関する特性として破壊伝播速度、破壊開始点等がある。

動する可能性の高い断層セグメントの総和から断層長さ L 、また地震発生浅さ限界及び深さ限界から断層幅 W がそれぞれ推定され、長さ \times 幅との積から断層面積 S 、そして断層面積 S と地震モーメント M_0 との経験的關係から地震モーメント M_0 が推定される。断層の走向と傾斜角は、地質・地形・地理的調査、さらには反射法探査などから推定される。微視的断層パラメータは、断層面上のすべり不均質性をモデル化するものであって、アスペリティ面積の総和、最大アスペリティ面積、アスペリティの面積及びそこでの応力降下量が与えられる。

このように震源を特性化することの有効性は、1995年兵庫県南部地震の震源モデル化及びそれに基づいた経験的グリーン関数法、並びにハイブリッドグリーン関数法を用いて合成された強震動が観測記録とよく一致することで確認されている。そのため、強震動予測レシピは、現在の科学技術水準に照らして特定の活断層を想定した強震動の予測手法として合理的であり、また、上記巨視的断層パラメータの1つである地震モーメント M_0 と断層面積 S とのスケーリング則（関係式）について入倉・三宅式を用いること、地震モーメント M_0 と短周期レベル A （地震動の強さ）とのスケーリング則について壇ほかの式を用いることも合理的である。

イ 強震動予測レシピにおける入倉・三宅式について

(ア) 強震動予測レシピにおける入倉・三宅式の位置づけ

強震動予測レシピにおいては、図9-4に示すフローのように、震源断層面の形状（断層長さ L 及び断層幅 W ）から震源特性を表す様々なパラメータを設定する方法が体系的に整理されている。

強震動予測レシピにおいて、「過去の地震記録などに基づき震源断層を推定する場合や詳細な調査結果に基づき震源断層を推定する場合」に、断層面積 S と地震モーメント M_0 との関係式として採用されているのが上記図9-4の(2)式及び(3)式である。（参加人準備書面2・110頁）

$$\left\{ \begin{array}{l} M_0 = (S/2.23 \times 10^{15})^{3/2} \times 10^{-7} \quad (M_0 < 7.5 \times 10^{18} \text{ (Nm)}) \quad (2) \text{ 式} \\ M_0 = (S/4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7} \quad (M_0 \geq 7.5 \times 10^{18} \text{ (Nm)}) \quad (3) \text{ 式} \end{array} \right.$$

上記 (2) 式は、Somerville et al. (1999) により提案された関係式であり、モーメントマグニチュード Mw 6.5 相当未満の地震に適用される関係式である。

他方 (3) 式は、モーメントマグニチュード Mw 6.5 以上の地震に適用される関係式であり、論文「シナリオ地震の強震動予測」(入倉・三宅 (2001) 【乙 31】) により提案された関係式であって、この (3) 式が入倉・三宅式と呼ばれるものである。

上記 (2) 式及び (3) 式を用いた断層面積 S と地震モーメント M_0 との関係を図 9 5 に示す。

(イ) 入倉・三宅式の信頼性

a 震源インバージョンという手法は信頼性が高いこと

入倉・三宅式は、入倉・三宅(2001)において、もともと主として海外で発生した地震の震源インバージョンデータを基に作成された経験式である。震源インバージョンとは、地震観測記録を用いて実際に起きた地震における地下の断層面の動きを把握する手法の一つである。複数の観測地点で得られた観測記録を基に断層面を仮定し、当該断層面の各地点において生じるすべり量やすべりの方向等を解析によって求め、それらの結果から震源断層を推定する方法であり、高精度に断層面積 S を求めることができる、地震学においては確立された手法である。【乙 37 (46 頁)】

かかる震源インバージョンについては、国内外の研究者によって、1999 年トルコ・Kocaeli 地震 (Mw7.4)、1999 年台湾・Chi-Chi 地震 (Mw7.6)、さらに鳥取県西部地震 (Mw6.8) をはじめとする最近の

日本の 5 つの内陸地震 ($M_w 5.8 \sim 6.9$) の各観測結果とも整合することが確認されており、震源インバージョンによる断層パラメータは、最も精度が高いと評価されている。

b 国内で最近発生した 18 地震についても整合性が確認されていること

入倉・三宅式は、入倉・三宅(2001)において提案されたものであるが、入倉ほか(2014)【乙 38】において、1995 年以降に国内で発生した最新の 18 個の内陸地殻内地震に関する震源インバージョン結果も、入倉・三宅式による計算結果と調和的であることが確認されている(表 1 2, 図 9 6)。

c 以上の通り、断層面積 S から地震モーメント M_0 を設定する際に入倉・三宅式を使用することは現在の科学技術水準に照らし合理的である。

ウ 強震動予測レシピにおける壇ほかの式について

(ア) 強震動予測レシピにおける壇ほかの式の位置づけ

強震動予測レシピによる震源特性パラメータ設定においては、上述した入倉・三宅式(図 9 4 青枠)により、断層面積から地震モーメント M_0 が導かれる。この地震モーメント M_0 を基にして、短周期レベル A (強震動予測において重要となる短周期の揺れの大きさに直接影響を与えるパラメータ) を求めるときに用いられるのが、壇ほか(2001)による地震モーメント M_0 と短周期レベル A の関係式である(図 9 4 赤枠「壇ほかの式」)。

壇ほか(2001)では、過去に発生した地震の地震観測記録の分析により、短周期レベル A と地震モーメント M_0 との相関が確認されており、以下の経験式が示された確立された式である。

$$A=2.46 \times 10^{17} \times M_0^{1/3}$$

同じ地震モーメント M_0 を有する地震の場合、図の上に行くほど短周期レベル A の値が大きいこと、すなわち短周期側の地震による揺れが大きいことを意味する（図 9 7）。

(イ) 壇ほかの式の信頼性

壇ほか(2001)は、比較的規模の大きい $M_w 5.6$ 以上の地震を対象に、短周期レベル A が地震モーメント M_0 の $1/3$ 乗に比例するという関係性を仮定した上で、観測記録の回帰分析を行っているが、短周期レベル A が地震モーメント M_0 の $1/3$ 乗に比例するという仮定については、過去の内陸地殻内地震の観測記録等から合理的であることが確認されている【丙 21】。

また、壇ほかの式は、入倉・三宅式と同じように、地震調査委員会による強震動予測レシピに体系的に組み込まれ、後述のとおり、地震調査委員会により 2000 年鳥取県西部地震及び 2005 年福岡県西方沖地震の地震観測記録の再現性が確認されている。

熊本地震に関しても、熊本地震の短周期レベル A と地震モーメント M_0 との関係が壇ほかの式に整合することが佐藤(2016)【丙 22】により示されている（図 9 8：壇ほかの式の線以下）。

このように、短周期レベル A を設定するにあたって壇ほかの式を適用することは、現在の科学技術水準に照らし合理的である。

エ 参加人が行った強震動予測レシピの本件原子力発電所敷地周辺における適用性の確認

地震動審査ガイドにおいては、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の策定における震源特性パラメータの設定に際しては、「経験式を

用いて地震規模を設定する場合には、経験式の適用範囲が十分に検討されていることを確認する。」【乙32（3頁）】と定められているところ、参加人は、2005年福岡県西方沖地震を用いて、強震動予測レシピが本件原子力発電所敷地周辺において適用できるかどうか確認した。

具体的には、強震動予測レシピを用いて2005年福岡県西方沖地震の震源モデルを策定し、本件原子力発電所敷地の地震動をシミュレーションした値が実際に2005年福岡県西方沖地震の際に敷地で観測された記録を良く再現できることを確認した（図9-9）【丙16（100頁）】。このことは、2005年福岡県西方沖地震の震源特性が強震動予測レシピで設定する標準的な震源特性と良く整合すること（再現できること）を意味し、入倉・三宅式などの経験式を含む強震動予測レシピが本件原子力発電所敷地周辺を含む北部九州地域に適合すること（北部九州地域の震源特性は強震動予測レシピの標準的な震源特性と整合すること）を意味している。

オ. 小括

以上のとおり、入倉・三宅式及び壇ほかの式はいずれも信頼性が高く、これらの式を含む強震動予測レシピは、専門家から構成された地震調査委員会に取りまとめられたものであって、2000年以降に我が国で発生した地震に係る地震観測記録を精度よく再現できるものとして評価されている。したがって、入倉・三宅式及び壇ほかの式を含む強震動予測レシピが現在の科学技術水準に照らして合理的であり、それに組み込まれている入倉・三宅式及び壇ほかの式も合理的なものである。

なお、佐賀地方裁判所平成23年（ヨ）第21号玄海原子力発電所3号機再稼働差止仮処分申立事件及び同平成28年（ヨ）第49号玄海原子力発電所4号機再稼働差止仮処分申立事件（以下「玄海3・4号機再稼働差止仮処分申立事件」という。）における平成29年6月13日決定においても、入倉・三宅式及び壇ほかの式は現在の科学技術水準に照らして合理的なものであると判断されている。【丙23】

(2) 強震動予測レシピの一部の関係式を他の式に置き換えるよりも強震動予測レシピに組み込まれた入倉・三宅式及び壇ほかの式による方が合理的であること

原告らは、準備書面(8)等において、強震動予測レシピで採用されている入倉・三宅式及び壇ほかの式では地震動評価が過小になるとして、入倉・三宅式を武村式に、壇ほかの式を片岡ほかの式にそれぞれ置き換えるべきである旨主張する。

しかしながら、強震動予測レシピが採用する入倉・三宅式及び壇ほかの式は、前述の通り観測記録とも整合する信頼性の高い関係式であって、これらの関係式を採用した強震動予測レシピは合理的であり、武村式、片岡ほかの式に置き換える必要性はない。

そもそも強震動予測レシピは、前述のとおり、多くの震源特性パラメータが、一連の体系・フローに従って順次算定されるものであり、この体系全体をもって観測記録との整合性が確認された合理性を有する地震動評価手法である。さらに、参加人は、前述のとおり強震動予測レシピに基づく検討を行い、2005年福岡県西方沖地震で得られた本件原子力発電所敷地地盤の観測記録を概ね再現できることを確認している。

一方で、原告らが主張するように一部の関係式を他の式に置き換えた場合、観測記録との整合性の確認などの検証が行われておらず、科学的な裏付けがないため合理性に欠ける。

したがって、強震動予測レシピに組み込まれた入倉・三宅式及び壇ほかの式による方が合理的であり、入倉・三宅式と壇ほかの式をそれぞれ武村式、片岡ほかの式と置き換えるべきであるとする原告らの主張は理由がない。

6 本件原子力発電所の耐震安全性

(1) 地震に対する安全確保対策の概要

ア 原子力発電所の地震に対する安全確保に関しては、設置許可基準規則4条において設計基準対象施設の、同規則39条において重大事故等対処施設のいずれも地震による損傷の防止をそれぞれ求めている。具体的には、設置許可基準規則解釈において、「建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力との組み合わせに対して、当該建物・構築物が構造物全体としての変形能力（終局耐力⁷¹時の変形）について十分な余裕を有し、建物・構築物の終局耐力に対し妥当な安全余裕を有していること」、「機器・配管系については、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び事故時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件に対して、その施設に要求される機能を保持すること」等と定めている。（設置許可基準規則解釈・別記2【乙9（11,82～83,129～130頁）】）

イ 本件原子力発電所が、前述のとおり安全側に評価した基準地震動による地震力に対して耐震安全性を確保していることを確認するため、参加人は、上記定めに従い、安全上重要な建物・機器等について、運転時に作用する荷重等と基準地震動による地震力との組合せに対する評価値（応力値）を求め、それが評価基準値⁷²（許容応力）を下回ることを評

⁷¹ 建物・構築物に対する荷重または応力を漸次増大していくとき、その変形またはひずみが著しく増加するに至る限界の最大耐力のこと。

⁷² 鉄筋コンクリート造耐震壁の評価基準値については、「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987）」に、終局耐力時の歪み「 4.0×10^{-3} 」に2倍の余裕を持たせた「 2.0×10^{-3} 」という歪みの値が定められている（下左図）。

また、原子炉容器の評価基準値については、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」、「同 材料規格」に最大の引張り強さ（最大強度） S_u に1.5倍の余裕を持たせた「 $2/3S_u$ 」という引張り強さの値が定められている（下右図）。

なお、下図の弾性領域とは、力を加えると変形するものの、力を取り除けば元の状態に戻る領域。塑性領域とは、力を取り除いても元の状態に戻らなくなる領域。

価（耐震安全性評価）している。

具体的には、建物・構築物の評価値については、各建屋の地震応答解析モデルに基準地震動による加速度時刻歴波を入力し、当該モデルがどのように揺れるか、またどの箇所にどのような応力が働くかを解析によって求めている。また、機器・配管系の評価値については、上記地震応答解析モデルから建屋の各階床の揺れ（床応答波）を求め、この床応答波を基に当該階床に設置している機器・配管系に生じる応力を求めている。

評価基準値は、社団法人日本電気協会が策定した民間規格である「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987）」及び「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（JEAG4601・補-1984）」等に基づき定めている。この指針は、基準地震動 S_2 （設計用限界地震、基準地震動 S_s に相当）による地震力に、他の荷重を組み合わせた状態でも、建物・構築物が「構造物全体として十分変形能力（ねばり）の余裕を有し、終局耐力に対して安全余裕をもたせる」値を、機器・配管系が「過大な変形を起して必要な機能が損なわれない」値をそれぞれ評価基準値としており、原子力規制委員会の「耐震設計に係る工認審査ガイド」において「安全上適切と認められる規格及び基準等」とされている。

参加人は、上記評価基準値を用いて基準地震動に対する耐震安全性評価を実施し、本件原子力発電所の安全上重要な建物・機器等の評価値が評価基準値を下回ることを確認している。すなわち、本件原子力発電所の安全上重要な建物・機器等は、基準地震動による地震力に対し、建物・

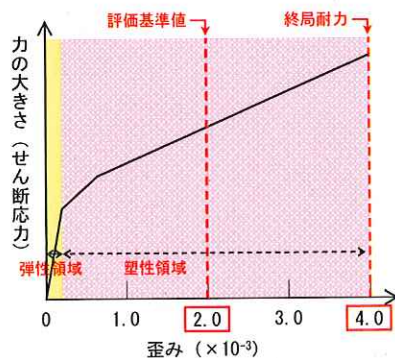


図 鉄筋コンクリート造耐震壁の評価基準値

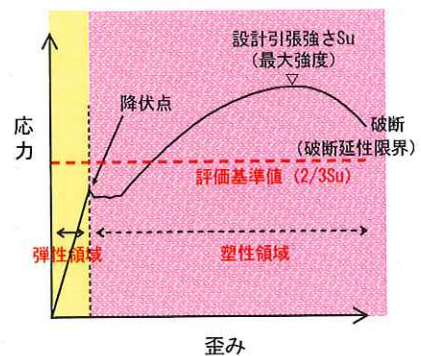


図 原子炉容器の評価基準値

構築物は構造物全体として十分変形能力（ねばり）の余裕を有し、機器・配管系は過大な変形を起して必要な機能が損なわれないことから、いずれもその安全機能を喪失することではなく、地震に対する安全性が確保されている。あわせて、安全上重要な動的機器（ポンプ、弁、制御盤等）については、試験または解析によって動作することが確認されている加速度と基準地震動がもたらす加速度との比較を行い、必要な機能が地震時または地震後に維持できることを確認している。

(2) 耐震設計上の余裕

また、設計当時から現在に至るまで、設備の安全性を確保するため、耐震設計に対する余裕の確保の考え方は、何ら変わるものではない。

耐震設計においては、規格・基準類で決められた評価基準値に対してギリギリとならないよう工学的な判断のもと余裕を持たせ、また、地震によって働く力を計算する過程で、計算結果が非安全側とならないように計算条件の設定等で余裕を持たせている。そもそも、耐震設計時の判定の基準となる評価基準値も、実際に建物等が壊れる限界値に対し、十分余裕を持った値に設定されている。

これらの余裕に加え、原子力発電所の施設は、放射線に対する遮蔽の要求や、運転等に伴って発生する温度に対する耐熱の要求から、建物の壁の厚さがより厚く設計されるなど、耐震以外の要求から更なる余裕が付加されている。

この余裕に関しては、実際の建物等での地震観測データの蓄積とその分析により、地震時の挙動が正確に把握されるようになり、より詳細な計算が可能な計算機の発達も相まって、より大きいこと（実際に建物に働く力はもっと小さい）が明らかになっている。

また、大型高性能振動台等の実験設備が整備された財団法人原子力発電技術機構の多度津工学試験所⁷³において、原子力発電所の実機を模擬した

⁷³ 1982年度から2004年度まで、財団法人原子力発電技術機構（当時）多度津工学試験所において、大型高性能振動台を用いて実施された実証試験。試験では、原子力発電所の安全上重要な設備について、可能な限り実機に近い条件で加振試験が行われ、設備の耐震安全上

振動実験を実施したところ、設計に用いる揺れに対して十分な余裕を有すること等も明らかになっている。

以上のように、本件原子力発電所は、新規制基準の定めを踏まえて、地震力に対して十分な余裕をもった設計となっており、設計当時からの累々たる知見の蓄積や設計手法の高度化によって、基準地震動の見直し(増大)に対してもなお十分な余裕を有していることが明らかになっている。(図100)

7 まとめ

以上のとおり、参加人は、設置許可基準規則及び設置許可基準規則解釈の要求事項を踏まえ、最新の科学的・技術的知見である強震動予測レシピに基づき、詳細な調査結果等を踏まえ、安全側となるよう適切に基準地震動を策定した上で、その地震力に対して本件原子力発電所が十分な耐震安全性を有していることを確認しているのであり、その内容は合理的なものである。

第3 火山に対する安全性

1 はじめに

本章第2の1で述べたとおり、原子炉等規制法43条の3の6第1項第4号は、発電用原子炉施設の自然的条件にかかる原子炉設置許可及び設置変更許可の要件を定めている。

また、これを受けた「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」では、地震及び津波を除いた火山等の自然現象について「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」(設置許可基準規則6条1項)【乙9(11頁)】と定められている。

の余裕や、耐震設計手法の妥当性、制御棒挿入性など機能の信頼性等が実証されている。このうち、設備の耐震安全上の余裕については、基準地震動を超える地震波で加振した試験において、全ての試験対象設備について何ら異常は発生せず、十分な耐震安全上の余裕を有していることが実証されている。

これを踏まえ、原子力規制委員会は、国際的な安全指針である IAEA・SSG-21【乙 169】や火山学における最新の知見に基づいた合理的な基準【乙 195「山崎意見書」】として「原子力発電所の火山影響評価ガイド（以下、「火山ガイド」という。）」を策定した【乙 245】。参加人は、この火山ガイドを基に、本件原子力発電所の火山影響評価として、文献調査、地形・地質調査及び地球物理学的調査を行って、将来の活動可能性を否定できない火山として、5つのカルデラ火山（阿蘇，始良，加久藤・小林，阿多，鬼界）を含む21火山（5つのカルデラ火山以外に壱岐火山群，多良岳，小値賀島火山群，雲仙岳，南島原，金峰山，万年山火山群，船野山，涌蓋火山群，福江火山群，九重山，立石火山群，野稻火山群，由布岳，高平火山群，鶴見岳）を抽出した上で、各火山の火山活動に関する個別評価，すなわち設計対応不可能な火山事象が運用期間中に影響を及ぼす可能性の評価を行った。

そして、5つのカルデラ火山については、運用期間中における破局的噴火の可能性が十分小さいことを確認したため、現在の噴火ステージにおける既往最大規模の噴火を考慮し、また、その他の16火山については、各火山の既往最大規模の噴火を考慮して評価した結果、火山事象が本件原子力発電所の安全性に影響を及ぼす可能性は極めて低いことを確認した。

以下、参加人火山現象に関する参加人の評価を改めて詳述し、本件原子力発電所の安全性が確保されていることについて述べる。

2 破局的噴火について

(1) 破局的噴火という事象について

ア 破局的噴火は、火山爆発指数（VEI）7以上の噴火であり（表13）、 100km^3 以上の噴出物を伴う噴火のことをいう（図101，図102）。

イ 破局的噴火は、日本列島のカルデラ火山において数万年から十数万年に1回程度の極めて低い頻度で発生する火山事象である。

破局的噴火のエネルギーは、日本の観測史上最大の地震である東北地方太平洋沖地震（M9）のエネルギーの約80倍～500倍にも及ぶ（図103）。他の噴火と比較すると、例えば、1991年の雲仙普賢岳の噴火

(死者・行方不明者 43 名) は VEI1, 2011 年の霧島新燃岳の噴火 (前年から立入規制。死傷者なし) は VEI3, 2014 年の御嶽山の噴火 (死者 58 名) は VEI1~2 であり, 破局的噴火は, これらの噴火の数千倍~数十万倍以上の噴出物量にも及ぶ噴火である。

また, 破局的噴火では, 直径 10km を超える大規模なマグマ溜まりが地殻内に形成され, マグマ溜まりの圧力の上昇などにより噴火が発生・継続し, 大量のマグマを噴出すると, マグマ溜まりに空洞が生じ, 天井部が破壊され, 巨大なカルデラ (円形または円弧状の陥没地形のことで, 例えば, 阿蘇カルデラの大きさは 25km×18km にも及ぶ) が生じる (図 104)。

破局的噴火は, 一般の火山噴火と比較すると, より広範囲かつ大規模な地殻変動や地震などが観測されると考えられる。

ウ 仮に, 現時点において阿蘇カルデラで破局的噴火が起きた場合, 九州の中部以北は火砕流の直撃でほぼ全滅し, 死者は1000万人を超え, 北海道を含む日本列島全体が15cm以上の火山灰で覆われて, 家屋の倒壊が相次ぎ, ライフラインが機能停止し, 食糧生産も不可能となって飢餓状態になり, かるうじて生き残った人々も火山灰に覆われた日本列島から海外への避難・移住が必要となると言われる【丙29「破局噴火 (高橋正樹著)」195~205頁】。

実際に発生した破局的噴火の記録を見ても, 例えば 7300 年前の鬼界カルデラにおけるアカホヤ噴火では, 火砕流は, 薩摩・大隈半島, 種子島, 屋久島を覆い, 火山灰は偏西風により東日本まで運ばれて, 南九州の縄文文化と自然環境に壊滅的なダメージを与えるとともに, 西日本から東日本にかけても降灰による甚大な影響を及ぼしたと考えられる。

(2) 破局的噴火に関する評価について

ア 上記のとおり, 破局的噴火は, 桁外れに大規模な自然現象であり, 広域的な地域に重大かつ深刻な災害を引き起こすものである一方, 極めて低頻度な事象であり, 災害対策基本法や建築基準法などの各種法令においても破局的噴火を想定した法規制は行われておらず, これらの法令に

基づく国の防災基本計画【乙211】や活動火山対策の総合的な推進に関する基本的な指針【乙212】、火山防災マップ作成指針【乙213】においても、破局的噴火は想定されていない。また、火山ガイドにおける巨大噴火の基本的な考え方【乙158】において、「巨大噴火によるリスクは、社会通念上容認される水準であると判断できる」旨が示されている上、多くの裁判例においても、「破局的噴火が発生する可能性が相応の根拠をもって示されない限り、原子力発電所の安全確保の上で自然災害として想定しなくても安全性に欠けるところはないとするのが、現時点における我が国の社会通念である」などと判断されているところである【丙111「広島高裁平成30年9月25日決定（伊方3号機に関する仮処分異議審）」、丙112「大分地裁平成30年9月28日決定（伊方3号機に関する仮処分）」、丙113「高松高裁平成30年11月15日決定（伊方3号機に関する仮処分抗告審）」、丙114「福岡高裁令和元年7月10日決定（玄海3・4号機に関する仮処分抗告審）」、丙172「福岡高裁令和元年9月25日決定（玄海3・4号機に関する仮処分抗告審）」】。

イ 破局的噴火は、有史以来、人類が経験したことのない自然現象であるため、資料やデータが乏しく、発生に至るまでの原理や機序について完全に解明されているものではないが、そのように現在の火山学自体に限界がある中で、参加人は、国内に限らず海外の知見も含めた最新の知見を可能な限り収集・検討した上で、これらを踏まえた評価を行ったものであり、参加人の評価は、現在の科学技術水準に照らして十分な合理性を有するものである。

3 運用期間中の破局的噴火の発生可能性の評価方法について

(1) 総論

参加人は、5つのカルデラ火山（阿蘇，始良，加久藤・小林，阿多，鬼界）における運用期間中の破局的噴火の発生可能性について、以下のとおり、①破局的噴火の噴火間隔，②噴火ステージ，③マグマ溜まりの状況の3つの観点を総合的に考慮して、評価を行った。

(2) 破局的噴火の噴火間隔について

ア 各カルデラ火山の破局的噴火の噴火間隔について

上述のとおり、破局的噴火は極めて大規模な噴火であり、地下のマグマ溜まりに大量のマグマが蓄積されることが必要である。

参加人は、各カルデラ火山における破局的噴火の噴火間隔と最新の破局的噴火からの経過時間との比較により、破局的噴火に必要な大量のマグマが蓄積されるために必要な時間が経過しているかを検討した。

なお、原告らは準備書面(21)17頁において、神戸大学の巽教授の見解を引用し、噴火間隔に基づく評価は出来ないと主張するが、噴火間隔により将来の噴火可能性を評価する手法は、火山学において一般的に一定の有用性が認められている。

例えば、前野(2014)【丙30(62頁)】は、「鬼界カルデラは7,300年前にアカホヤ噴火をおこしており、それまでの履歴を考慮すると、この場所で次のカルデラ噴火がすぐに到来するとは考えにくいかもしれない」として、過去の噴火履歴から噴火間隔を検討して将来の噴火を想定することの有用性を示している。

イ 鹿児島地溝にある3カルデラの噴火間隔について

(ア) 参加人は、鹿児島地溝にある3カルデラ(始良, 加久藤・小林, 阿多)

全体【丙115「中央防災会議 桜島噴火報告書」(5頁), 丙116「日本地方地質誌」(260頁)】としての噴火間隔についても検討したところ、階段ダイヤグラム(噴出物量と時間との関係図)における過去60万年の破局的噴火の噴火間隔は、約9万年の周期性を有していることが分かった⁷⁴(図105)【丙117「阪神コンサルタンツ意見書」】。

そして、上記3カルデラにおける最新の破局的噴火は、約3万年前の始良T_nであり、始良T_nからの経過期間は上記「約9万年」よりも十分短いことから、参加人は、運用期間中に3カルデラで破局的噴

⁷⁴ なお、上記階段ダイヤグラムを作成するにあたっては、火山灰アトラス【丙27】に基づき3カルデラにおける破局的噴火を選定し、選定した各噴火の噴出物量及び噴火年代を設定している。

火が発生する可能性が低いことに関する事情の1つとして考慮した。

(イ) この点，上記評価の合理性については，「小林・矢野（2007）」【丙118】において，鹿児島地溝の形成が火山活動と密接に関わっており，鹿児島地溝内部は全体として活動的な火山構造性地溝とみなせることが述べられていること（「小林（2014）」【丙119（91頁）】でも同趣旨のことが述べられている），「中田（2015）」【丙120】において，南九州地域のカルデラにおける噴火の頻度と規模の間に一定の規則性が存することが述べられていること，「中田（2014）」【丙121】において，規則性が認められる広範囲において，階段図を検討することは合理的であり，南九州カルデラ地域という単位で階段図を検討することが合理的であることが述べられていることから裏付けられる。

(3) 噴火ステージについて

ア 噴火ステージは，過去の噴火活動から活動期を分類するものであり，ハザードマップの作成に際しても用いられるなど，対象とすべき火山の活動時期，噴火規模等を想定する考え方の一つである。

イ Nagaoka（1988）は，詳細な地質調査（テフラの対比等）に基づき，始良カルデラ，阿多カルデラ及び鬼界カルデラの噴火史を明らかにし，噴火ステージに関する総合的な検討を行った論文であり，①鹿児島地溝における噴火サイクルについて，噴火フェーズの考えに基づくと，プリニー式噴火サイクル，大規模火砕流噴火サイクル，中規模火砕流噴火サイクル及び小規模噴火サイクルに分類されること，②始良カルデラ及び阿多カルデラでは，10万年間に複数回のプリニー式サイクルが，それぞれ大規模火砕流噴火サイクルの前に断続的に発生し，数万年間に及び，大規模火砕流噴火サイクルに続いて，中規模火砕流噴火サイクルが1万年間続き，次いで，後カルデラ火山で小規模噴火サイクルが発生し，これらのサイクルは5～8万年続く「噴火マルチサイクル」を構成するこ

と、③鬼界カルデラは、この一般的パターンの例外であり、噴火口にかかる高い水圧のため、プリニー式噴火サイクルと中規模火砕流噴火サイクルが存在しないこと、④鹿児島地溝のカルデラは、1回の大規模火砕流噴火サイクルで生じたのではなく、複数の噴火サイクル及びマルチサイクルで形成されたことが述べられている【丙32「Nagaoka (1988)」(105～117頁)】。

ウ 参加人は、上記Nagaoka (1988) の知見から、始良カルデラ及び阿多カルデラにおいては、プリニー式噴火ステージ、破局的噴火ステージ、中規模火砕流噴火ステージ及び後カルデラ火山噴火ステージからなる噴火マルチサイクルを繰り返す、鬼界カルデラにおいては、破局的噴火ステージ及び後カルデラ火山噴火からなる噴火マルチサイクルを繰り返すと考えることに一定の合理性があると考えた。

また、参加人は、Nagaoka (1988) に示された噴火ステージの考え方は、他のカルデラ火山についても一定の参考になると考え、加久藤・小林カルデラ及び阿蘇カルデラにおける過去の噴火履歴をもとに噴火ステージについて評価したところ、いずれもプリニー式噴火ステージ及び中規模火砕流噴火ステージは確認できず、破局的噴火ステージ及び後カルデラ火山噴火ステージのみが確認できた。

そこで、参加人は、各カルデラ火山の噴火ステージを検討し、運用期間中の破局的噴火の可能性に関する1つの考慮要素とした。

なお、原告らは準備書面(21)18～19頁において、プリニー式噴火ステージから破局的噴火ステージに移行するまでの時間間隔は不明であり、参加人の主張を前提にしたとしても、現時点が破局的噴火直前の状態でないことが認められるにとどまると主張する。しかし、過去のプリニー式噴火ステージの継続時間は、始良カルデラの例では約6万年、阿多カルデラの例では約4万年であり、いずれも数万年に及ぶため、今後数十年の運用期間中に、破局的噴火に至る可能性は極めて低いと評価できる。

(4) マグマ溜まりの状況について

ア マグマ溜まりとは、地下深部から上昇してきたマグマが地殻浅所で一時的に蓄えられたものである。

マグマは、珪素 (SiO_2) の量が少ない順番 (珪素の量が少ないほど密度が高く粘り気が低い) に、玄武岩質、安山岩質、デイサイト質及び流紋岩質の4つに分類され、破局的噴火を発生させるのはデイサイト質及び流紋岩質のような珪素の量が多い珪長質の大規模なマグマ溜まりである【丙34「荒牧 (2003)」】。

イ そして、破局的噴火を発生させるためには、深さ10kmよりも十分浅い位置に、破局的噴火を発生させ得るほど多量の珪長質マグマが蓄積されている必要がある (この点については、参加人「準備書面3」で詳述したとおり、多数の知見や実例により裏付けられている⁷⁵⁾。

-
- ⁷⁵⁾ ①下司 (2016)【丙38】は、破局的噴火を発生させるために、珪長質の巨大なマグマ溜まりが、密度中立深度 (深さ数 km 程度の浅所) に形成され滞留する必要があることについて述べている。
- ②東宮 (1997)【丙36】は、珪長質マグマ溜まりが自身の浮力中立点に相当する浅所へ移ること、珪長質マグマの浮力中立の目安が深さ7km以浅であることを述べている。
- ③吉田ほか (2017)【丙39】は、浮力中立点にマグマ溜まりが形成されるとし、浮力中立点の深さの目安として東宮 (1997) を援用している。
- ④荒牧 (2003)【丙34】は、破局的噴火に関して、地殻下部で発生した珪長質マグマが上昇して地殻上部 (深さ10~数 km) に達し、マグマ溜まりを形成すること、多くのマグマ溜まりの天井が極めて浅いところにあり、マグマ溜まりは扁平状であることを指摘している。
- ⑤荒牧 (2003)【丙122】は、珪長質マグマが上昇して地殻上部 (深さ10~数 km) に達し、マグマ溜まりを形成したものが大型のカルデラをつくる火砕流噴火のマグマの元であると考えられることを指摘している。
- ⑥鍵山編 (2003)【丙37】は、マグマが地殻浅部 (通常は深さ10kmから3km程度) で蓄積され、噴火のために待機していることなどを述べる。
- ⑦小林 (2017)【丙50】は、珪長質マグマが徐々に地殻の上部に移動し、地下浅所に大規模な珪長質マグマ溜まりが形成されること、上昇するマグマは周囲の母岩との密度差がなくなる層準 (地下10km~数 km) まで到達することなどを述べる。
- ⑧安田ほか (2015)【丙40】は、始良カルデラにおける約3万年前の破局的噴火のマグマ溜まりの上部が深さ4~5km程度の地殻浅部にまで広がっていたことを明らかにしている。
- ⑨篠原ほか (2008)【丙41】は、鬼界カルデラの約7300年前の破局的噴火について、噴火直前に、深さ3~7kmにかけて、巨大な流紋岩マグマだまりが存在したことを明らかにしている。
- ⑩高橋 (2014)【丙42】は、約2万6000年前の破局的噴火である Oruanui 噴火について、深さ6~12kmにあった超巨大マグマ溜りから流紋岩質マグマが絞り出されて、深

そこで、参加人は、各カルデラについて、深さ 10km 以浅における大規模なマグマ溜まりの有無を検討した。

ウ また、多くのカルデラ噴火の前にはマグマ溜まりの膨張があったと考えられるところ、マグマ溜まりの規模の変化は、カルデラ火山の基線長の変化から推定することができる（マグマ溜まりの膨張の点については、参加人「準備書面 3」で詳述したとおり、多数の知見により裏付けられており⁷⁶、また、実際に VEI5 クラスの噴火でもある程度の兆候を把握できており⁷⁷、その数十倍以上の規模を有する破局的噴火の兆候を把握することは十分に可能である）。

そこで、参加人は、基線長の変化からマグマ溜まりの増大の有無について検討し、その結果を考慮した。

エ この点につき、原告らは準備書面（21）4～5頁において東宮（2016）を引用し、マグマ溜まりの状況の変化（マッシュの再流動化）は比較的短期間で起こるため、マグマ溜まりの状況などから運用期間中の巨大噴火の発生可能性を一定程度確認できるという考え方に科学的根拠はないと主張する。

しかし、東宮（2016）の趣旨は、マッシュ状マグマが存在することを

さ 3.5km～6km にある浅所巨大マグマ溜りに 1000 年～数 100 年かけて移動してその後噴火したことについて述べている。

① 下司（2018）【乙 164】は、マグマ溜まりが安定かつ長期的に地殻内部に存在するためには浮力中立点に定置する必要があるが、陥没カルデラを形成するような大規模噴火では、そのメカニズムから地下 4～5km にマグマ溜まりの天井があったと推測されるとしている。

⁷⁶ ① Druitt et al.（2012）【丙 43】は、破局的噴火の直前に急激にマグマ供給量が増大したことに関する知見を示している。

② 大倉（2017）【丙 49】は、これまでに多くのマグマ噴火の前兆現象としてマグマ溜まりの膨張がとらえられており、基線長に変化がない火山が直ちに噴火に至る可能性は低いことを指摘している。

③ 小林（2017）【丙 50】は、カルデラ噴火の 100 年～数 100 年前に急激な地盤の上昇が起こる旨を指摘している。

⁷⁷ 京都大学防災研究所は、桜島の活動を観測行っており、現在の昭和火口における小規模爆発については、多数の観測装置により微小な山体の隆起・膨張を事前に捉えることに成功し、今後 10 年程度で桜島大正噴火（VEI5・巨大噴火）によって放出されたマグマに相当する量に達する見込みであるとの知見を示している【丙 123「井口（2014a）」、丙 124「井口（2014b）」】。

前提に、マッシュ状マグマの下に高温マグマが定置すれば比較的短期間でマッシュ状マグマの再流動化が発生するというものであり、マッシュ状マグマが形成される期間も含めた期間について「比較的短期間」であるというものではない。

参加人は、破局的噴火には非常に大規模なマグマ溜まりが必要であり、火山学的にそのようなマグマ溜まりは数万年をかけて蓄積されるものであるため、現時点で巨大なマグマ溜まり（マッシュ状マグマを含む）が蓄積されていないのであれば、原子力発電所の運用期間中に破局的噴火が発生する可能性は十分小さいと主張しているものであり、蓄積後の再流動化に関する原告らの指摘は、参加人の主張を否定するものではない。

(5) 小括

以上のおり、参加人は、運用期間中の破局的噴火の発生可能性について、上記3つの観点を総合的に考慮して評価を行ったものであり、最新の知見に照らしても合理的である。

4 始良カルデラについて

(1) 破局的噴火の噴火間隔について

始良カルデラは、最後の破局的噴火（始良T_n）から約3万年が経過しているが、始良T_nの前の破局的噴火は約6年以上前であるから、経過時間は、破局的噴火の噴火間隔に比べて十分に短い（町田・新井編(2011)【丙27】，長岡ほか(2001)【丙125】，西村・小林(2012)【丙126】，奥野(2002)【丙127】，小林ほか(2013)【丙128】，小林・溜池(2002)【丙129】，須藤ほか(2007)【丙130】）ため、運用期間中に始良カルデラで破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な事情として考慮した（図106）。

また、上述したように、鹿児島地溝の3カルデラにおける破局的噴火の噴火間隔についても、始良カルデラにおいて運用期間中に破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な事情として考慮した。

(2) 噴火ステージについて

現在の始良カルデラにおける噴火活動は、桜島において多様な噴火様式の小規模噴火が発生しているのみであり、プリニー式噴火が間欠的に発生しているものではなく、Nagaoka (1988) においても、現在、後カルデラ火山噴火ステージにあることが示されている【丙 32 (109 頁「Fig.48」, 107 頁)】ことから、参加人は、運用期間中に始良カルデラで破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な事情として考慮した。

なお、始良カルデラは、一般的にも、現在、後カルデラ期にあると考えられており【丙 131 (日本火山学会第 21 回公開講座資料, 14 頁), 丙 132 (桜島火山の地質, 309 頁)】、参加人の評価と整合する。

(3) マグマ溜まりの状況について

ア 総論

始良カルデラにおいて、地下深さ 10km より十分浅い位置に、大規模な珪長質マグマ溜まりは存在しない。

この点、始良カルデラに関しては、①始良カルデラ中央部下約 10～12km に主マグマ溜まり、②桜島南岳下 4km、③桜島北岳下 3～6km に副マグマ溜まりがあるとの知見があるが、下記イないしオのとおり、いずれも破局的噴火を起こし得る大規模な珪長質マグマ溜まりではない。

また、国土地理院による電子基準点の解析結果によると、基線長に若干の変化はみられるものの(図 107)、既往の研究に基づくマグマ供給率は $0.01\text{km}^3/\text{年}$ 程度であり、マグマ溜まりの顕著な増大はない【丙 133 (加茂・石原 (1980)), 丙 134 (江頭 (1989)), 丙 135 (山本ほか (2013)), 丙 136 (井口ほか (2013))】。

従って、始良カルデラにおいて、破局的噴火を起こし得るようなマグマ溜まりが存在する可能性は低いと考えられ、参加人は、運用期間中に破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な事情として

考慮した。

イ 始良カルデラ中央部下のマグマ溜まり

始良カルデラ中央部下約 10～12km にマグマ溜まりがあるとする知見がある（井口ほか（2011）【丙 137】，京都大学防災研究所（2013）【丙 138】）が，上述したように，破局的噴火を起こすような大規模な珪長質マグマ溜まりは，深さ 10km よりも十分浅い位置に定置すると考えられる上に，始良カルデラでの過去の破局的噴火時のマグマ溜まりの上部は深さ 4～5km 程度の地殻浅部にまで広がっていた【丙 40（安田ほか（2015））】ことからすると，このマグマ溜まりが破局的噴火を起こすような大規模な珪長質のマグマ溜まりである可能性は低い。

ウ 桜島南岳下のマグマ溜まりについて

桜島南岳下約 4km にマグマ溜まりがあるとする知見がある（京都大学防災研究所（2013）【丙 138】，井口（2015）【丙 139】）が，桜島南岳における噴出物は安山岩質であり【丙 128（桜島火山地質図）】，また，このマグマ溜まりが大規模であることを示す知見もないことから，破局的噴火を起こすような大規模な珪長質マグマ溜まりではないと考えられる。

エ 桜島北岳下のマグマ溜まりについて

桜島北岳下約 3～6km にマグマ溜まりがあるとする知見がある（井口ほか（2011）【丙 137】，井口（2015）【丙 139】，京都大学防災研究所（2013）【丙 138】）が，南岳のマグマ溜まりと連動していることから安山岩質であると考えられ（井口（2015）【丙 139】），また，大規模であることを示す知見もないことから，破局的噴火を起こすような大規模な珪長質マグマ溜まりではないと考えられる。

オ 上記イないしエと整合する知見について

上記イないしエの評価について、関口ほか(2014)【丙 140 (308頁)】が「現在の桜島の活動はまだマグマ混合過程で珪長質マグマの巨大マグマ溜まり過程には移行していないと解釈でき、現在は珪長質マグマ溜まりが小さく苦鉄質マグマが地表近くまで到達している可能性がある」との知見を示していること、小林(2017)【丙 50】が、始良カルデラを含めた九州のカルデラ火山について、今後の数 100 年以内にカルデラ噴火が発生するような状況にない旨を明言していること、宮町ほか(2018)【丙 141】が、始良カルデラを含めた南九州で人工地震探査を行った結果、始良カルデラの地下深さ 10 km程度までにマグマ溜まりを疑わせるような異常な低速度領域は観測されていないこと、井口(2018)【丙 142】が、地震波トモグラフィによる 3 次元構造の調査結果及びこれまでの始良カルデラ及び桜島に関する各種知見等を踏まえれば、現在の始良カルデラの状況で、VEI7 以上の破局的噴火が発生する可能性は低いと考えられるとしていることとも整合する(図 108)。

(4) 小括

参加人は、上記 1 ないし 3 を総合的に考慮して、始良カルデラにおいて、運用期間中に破局的噴火が発生する可能性は極めて低いと評価した。

5 加久藤・小林カルデラについて

(1) 破局的噴火の噴火間隔について

加久藤・小林カルデラは、最後の破局的噴火(加久藤噴火)から約 33 万年が経過しているが、加久藤噴火とその前の破局的噴火(小林笠森噴火)は約 20 万年の間隔である(町田・新井(2011)【丙 27】、長岡ほか(2010)【丙 143】、井村・小林(2001)【丙 144】)(図 109)。

このことのみからすると、破局的噴火が切迫している可能性があるとの

評価もあり得る（その意味では破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する消極的な事情として考慮すべきものである）が、上述したように、鹿児島地溝の3カルデラにおける破局的噴火の噴火間隔については、加久藤・小林カルデラにおいて運用期間中に破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な1つの事情と言える。

また、以下で述べるように、加久藤・小林カルデラは、現在、後カルデラ火山噴火ステージにあると考えられ、しかも、現在、破局的噴火を起こすような大規模な珪長質のマグマ溜まりは確認されておらず、基線長の変化も見られずマグマ溜まりの顕著な増大は認められないことから、参加人は、運用期間中に破局的噴火が発生する可能性は低いと評価したものである。

(2) 噴火ステージについて

現在の加久藤・小林カルデラにおける噴火活動は、最新の破局的噴火以降、霧島山においてイワオコシ軽石等の多様な噴火様式の小規模噴火が発生しているのみであり、破局的噴火ステージにあると評価すべき事情が存しないことから、後カルデラ火山噴火ステージにあると考えられ、加久藤・小林カルデラにおいて運用期間中に破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な1つの事情として考慮した。

(3) マグマ溜まりの状況について

ア 参加人の主張

加久藤・小林カルデラにおいて、地下深さ10kmより十分浅い位置に、大規模な珪長質マグマ溜まりは存在しない。

この点、加久藤カルデラの南東縁に位置する霧島火山群に関し、北西部の火山（硫黄山・新燃岳・中岳）の地下深さ10km付近にマグマ溜まりがあると考えられているが、硫黄山や新燃岳における噴出物が安山岩質

である【丙 144 (霧島火山地質図)】ことから、浅い位置に大規模な珪長質のマグマ溜まりが存在する可能性は低い⁷⁸。また、マグマ溜まりが水平方向に広がっているのは約 10km 以深であって、10km より十分浅い位置には広がっていない(図 1 1 0)ことから、破局的噴火を起こし得るような大規模な珪長質のマグマ溜まりではない。

イ 上記アの主張の根拠となる知見

上記アの参加人の主張は、以下の知見により裏付けされている。

① 鍵山ほか(1997)【丙 146】

鍵山ほか(1997)は、霧島火山群の比抵抗構造を分析し、人工地震探査の結果と合わせて火山の地下構造について考察したものであるが、北西側の火山(硫黄山・新燃岳・中岳)の地下 10km 付近に低比抵抗層が広がっており、硫黄山・新燃岳の火口近傍ではその深さが浅くなる傾向があること【丙 146 (S159 頁「Fig.2.」)】、人工地震探査の結果、約 10km の深さと 2.5~3km にかけての浅部に強い反射面が存在し、上記の低比抵抗領域に対応すると考えられることを指摘した上で、図 1 1 0 のとおりマグマ供給系の模式図を示している【丙 146 (S162 頁)】。

これらの考察及び図 1 1 0 から、霧島火山群の北西部のマグマ溜まりに関し、10km より浅い位置には広がっていないことが分かる。

② 鍵山(2003)【丙 147】

鍵山(2003)は、霧島火山群及び加久藤カルデラにおける比抵抗構造を基にマグマの構造について述べたものであるが、霧島火山群に

⁷⁸ 地殻の形成【丙 145】において、地殻内に大規模な低密度の珪長質マグマ溜まりが存在し、そこに地下深くから高密度の玄武岩質マグマが供給された場合、玄武岩質マグマはマグマ溜まりの中の珪長質マグマを突き抜けて地表に達することができず、マグマ溜まりの底部に留まることが流体力学的に推定されるとされており【丙 145 (141 頁)】、実際に安山岩質マグマが噴出していることからすれば、地下浅いところに広範囲にわたって珪長質のマグマ溜まりが形成されている可能性は低い。

ついて、北西側の火山の地下 10km 付近にマグマに関連する低比抵抗領域が広がっていること、火口の近くでは 3km 程度の浅さまで上昇していることを指摘した上で【丙 147 (841~842 頁)】、上記図 1 1 0 と同様の図を示しており、マグマ溜まりが 10km より浅い位置には広がっていないことが分かる。

また、加久藤カルデラについては、「加久藤カルデラの地下にマグマが存在する可能性は低い」【同 840 頁】、「地震が多く発生する深さ 8km 付近の比抵抗は高く、マグマや熱水が多く存在しているとは思えない結果となっている。従って、電磁気探査からは、カルデラの地下にマグマが存在することには否定的であるが、もう少し深い 10km から 20km の深さの構造はまだ十分に明らかにされていないので、より深部にマグマが存在するかどうかは分からない」とされており【同 842 頁】、少なくとも 10km より十分浅い位置にマグマ溜まりがないことが明らかにされている。

③ Goto, T. et al. (1997) 【丙 148】

Goto, T. et al. (1997) は、加久藤カルデラの南東部で発生したえびの群発地震に関して、MT 法による調査を実施して震源域周辺の比抵抗構造を明らかにしたものであるが、地下 10km 以浅の群発地震発生領域(丙 148 (1280 頁「Fig. 1.」)における A-A' 断面及び B-B' 断面)については高い比抵抗値を示し、大規模な流体は存在しないことを示した。このことから、えびの群発地震の発生領域においては、地下 10km 以浅に大規模なマグマ溜まりが存在しないことが分かる(図 1 1 1)。

④ 大倉 (2017) 【丙 49】

大倉 (2017) は、測地学的手法による観測によって得られた地殻変動のデータを基に、加久藤・小林カルデラその他のカルデラのマ

マグマ溜まりの状態について分析した最新の知見である。

大倉（2017）は、霧島火山近傍及び加久藤・小林カルデラ周辺の GEONET 観測点における 2004 年～2011 年の基線長の変化を分析し、新燃岳噴火前後のマグマ溜まりの膨張・伸縮・再膨張のみが捉えられ、特に加久藤カルデラ及び小林カルデラの両カルデラにおいては火山活動に伴う地殻変動が観測されなかったことを明らかにした上で、いずれのカルデラもマグマが供給されていないと考えられることから、大規模な噴火に至る状態にはないと推定される旨の知見を示している（図 1 1 2）【丙 49（29～32 頁）】。

以上の他、加久藤・小林カルデラの地下浅所における大規模なマグマ溜まりの存否について検討した知見は見当たらず、加久藤・小林カルデラに破局的噴火を起こし得るマグマ溜まりが存在する可能性は低いと考えられる。

(4) 小括

参加人は、上記(1)ないし(3)を総合的に考慮して、加久藤・小林カルデラにおいて、運用期間中に破局的噴火が発生する可能性は極めて低いと評価した。

6 阿多カルデラについて

(1) 破局的噴火の噴火間隔について

阿多カルデラは、最後の破局的噴火（阿多噴火）から約 10.5 万年が経過しているが、阿多噴火とその前の破局的噴火（阿多鳥浜噴火）は約 14 万年の間隔があったことから、経過時間は、破局的噴火の噴火間隔に比べて十分に短い（町田・新井編(2011)【丙 27】，Nagaoka(1988)【丙 32】，川辺・阪口(2005)【丙 149】，藤野・小林(1997)【丙 150】，奥野ほか(1995)【丙 151】，日本の第四紀火山カタログ(1999)【丙 152】）ため、運用期間中に破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な事情として考慮した（図 1

13)。

また、上述したように、鹿児島地溝の3カルデラにおける破局的噴火の噴火間隔についても、阿多カルデラにおいて運用期間中に破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な事情として考慮した。

(2) 噴火ステージについて

現在の阿多カルデラにおける噴火活動に関して、開聞岳においては多様な噴火様式の小規模噴火が発生している。池田噴火についてはプリニー式噴火ステージの兆候である可能性があるものの、随所で間欠的なプリニー式噴火が発生しているわけではなく、プリニー式噴火ステージである可能性は低い上に、仮にプリニー式噴火ステージにあるとしても、過去のプリニー式噴火ステージの継続期間は数万年であり、池田噴火からの経過時間(約0.6万年)は十分短い。

また、Nagaoka (1988) においても、現在、阿多カルデラが後カルデラ火山噴火ステージないし初期のプリニー式噴火ステージにあることが示されていることから【丙 32 (109 頁「Fig.48」, 107 頁)】、参加人は、運用期間中にこれらのカルデラで破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な事情の1つとして考慮した。

なお、阿多カルデラは、一般的にも、現在、後カルデラ期にあると考えられており【丙 131 (日本火山学会第 21 回公開講座資料, 14 頁)】、参加人の評価と整合する。

(3) マグマ溜まりの状況について

ア 参加人の主張

阿多カルデラにおいて、地下深さ 10km より十分浅い位置に、大規模な珪長質マグマ溜まりは存在しない。

この点、阿多カルデラの地下浅所における大規模なマグマ溜まりの存否について検討した知見は見当たらない。

イ 上記アの主張の根拠となる知見

上記アの参加人の主張は、以下の知見により裏付けられている。

① 西ほか(2001)【丙153】

西ほか(2001)は、南九州の火山に関して、地震波トモグラフィー手法による3次元速度構造から地震波速度構造についての知見を示すものである。

始良カルデラについては、低速度異常域の存在を指摘するとともに、一般に知られている地殻変動の力源(マグマ溜まり)との関係について考察がなされているのに対して、阿多カルデラについては、熱水活動に関連する低速度異常域の存在が指摘されるのみであり、マグマ溜まり等に関する言及はなされていない【丙153(574~575頁)】。

② 大倉(2017)【丙49】

大倉(2017)は、上述したとおり、測地学的手法による観測によって得られた地殻変動のデータを基に、阿多カルデラその他のカルデラのマグマ溜まりの状態について分析した最新の知見である。

大倉(2017)は、阿多カルデラ周辺のGEONET観測点における2004年~2011年の基線長の変化等を分析し、始良カルデラの膨張の影響と考えられる基線変化のみが捉えられ、阿多カルデラにおいては火山活動に伴う地殻変動が観測されなかったことを明らかにした上で、阿多カルデラにはマグマが供給されていないと考えられることから、大規模な噴火に至る状態にはないと推定される旨の知見を示している(図114)【丙49(30~32頁)】。

以上の他、阿多カルデラの地下浅所における大規模なマグマ溜まりの存否について検討した知見は見当たらず、阿多カルデラに破局的噴火を起こし得るマグマ溜まりが存在する可能性は低いと考えられる。

(4) 小括

参加人は、上記(1)ないし(3)を総合的に考慮して、阿多カルデラにおいて、運用期間中に破局的噴火が発生する可能性は極めて低いと評価した。

7 鬼界カルデラについて

(1) 破局的噴火の噴火間隔について

鬼界カルデラは、最後の破局的噴火（アカホヤ噴火）から約7300年が経過しているが、小アビ山噴火と葛原噴火の間隔は約5万年、葛原噴火とアカホヤ噴火の間隔は約9万年であり、経過時間は、破局的噴火の噴火間隔に比べて十分に短い(町田・新井(2011)【丙 27】、小野ほか(1982)【丙 154】、小林ほか(2010)【丙 33】、前野・谷口(2005)【丙 155】)ため、運用期間中に破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な事情として考慮した(図115)。

(2) 噴火ステージについて

現在の鬼界カルデラにおける噴火活動は、薩摩硫黄島において多様な噴火様式の小規模噴火が発生しているのみであり、破局的噴火ステージにあると評価すべき事情が存しない上に、Nagaoka(1988)においても、現在、後カルデラ火山噴火ステージにあることが示されている【丙 32(109頁「Fig.48」, 107頁)】ことから、参加人は、運用期間中に鬼界カルデラで破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な事情として考慮した。

なお、鬼界カルデラは、一般的にも、現在、後カルデラ期にあると考えられており【丙 131(日本火山学会第21回公開講座資料, 14頁)】、参加人の評価と整合する。

(3) マグマ溜まりの状況について

ア 参加人の主張

鬼界カルデラにおいて、地下深さ10kmよりも十分浅い位置に、大規

模な珪長質マグマ溜まりは存在しない。

鬼界カルデラにおいて約 7300 年前のアカホヤ噴火の時に蓄積されていた流紋岩質マグマについては出尽くしたと考えられる。その後、破局的噴火を起こし得るような大規模な珪長質マグマ溜まりが形成されるような時間は経過しておらず、現時点でそのような大規模な珪長質マグマ溜まりが形成されている可能性は低い。

また、マグマ溜まりの顕著な増大は認められないことから、破局的噴火が起こるような状態ではないと考えられる。

以下、この点について詳述する。

イ アカホヤ噴火の流紋岩質マグマは出尽くし、その後、破局的噴火を起こすマグマ溜まりが形成されるほどの時間は経過していないこと

(ア) アカホヤ噴火の流紋岩質マグマが出尽くしたことについて

約 7300 年前のアカホヤ噴火時に溜まっていた流紋岩質マグマが出尽くしたことは、前野ほか (2001)【丙 156】において示されている。

すなわち、前野ほか (2001) は、約 7300 年前のアカホヤ噴火以降の火山活動について、各火山活動における噴出物の地質学的特徴及び岩石学的特徴を分析したものであるが、①硫黄岳前期 (約 5200 年前) の噴出物は、アカホヤ噴火と同様の特徴を有するのに対して、②稲村岳 (約 3600 年～2400 年前) の玄武岩質マグマは、アカホヤ噴火の苦鉄質マグマとは組成的に異なり、また、③硫黄岳後期 (約 2200 年前～) の流紋岩質マグマは、アカホヤ噴火及び硫黄岳前期の流紋岩質マグマとは全岩化学組成が異なるという結果を示した【丙 156(272～273 頁)】。

この結果を基に、前野ほか (2001) は、図 1 1 6 を示して、①硫黄岳前期の活動において、アカホヤ噴火の残存マグマが爆発的な噴火を伴いながら硫黄岳を成長させ (図 1 1 6 (b))、珪長質マグマが出尽くし (なお、安山岩質マグマの残存は不明であるため波線で記されている) (図

116 (c)), ②稲村岳の活動において、新しい苦鉄質マグマが供給され (図116 (d)), これが熱源となり地殻を融解して新たな流紋岩質マグマを生み出して、③硫黄岳後期の活動において、硫黄岳前期の活動と異なる流紋岩質マグマを噴出した (図116 (e)) との考えを示している【丙156 (272~274頁)】。

以上より、約7300年前のアカホヤ噴火の時に蓄積されていた流紋岩質マグマについては、硫黄岳前期の活動 (約5200年前) までに出尽くしたと考えられ、現在の流紋岩質マグマの大部分は、稲村岳の活動期 (約3600年~2600年前) 以降に生成されたものであると考えられる。

(イ) 現時点で破局的噴火を起こすほどの大量の流紋岩質マグマが溜まっている可能性は低いこと

上記(ア)で述べたように、約7300年前のアカホヤ噴火の時に蓄積されていた流紋岩質マグマは、硫黄岳前期の活動 (約5200年前) までに殆ど出尽くし、現在の流紋岩質マグマの大部分は、稲村岳の活動期 (約3600年~2600年前) 以降に生成されたものであると考えられる。

鬼界カルデラにおける破局的噴火の間隔が、約5万年 (「小アビ山」と「鬼界葛原」) 及び約9万年 (「鬼界葛原」と「鬼界アカホヤ」) であること等を考え合わせると、アカホヤ噴火時の流紋岩質マグマが出尽くした後、破局的噴火を起こすほど大規模な流紋岩質マグマ溜まりが形成されるような時間は経過しておらず、現時点でそのようなマグマ溜まりが存在する可能性は低いと考えるのが合理的である。

前野 (2014) 【丙30 (62頁)】の「鬼界カルデラは7300年前にアカホヤ噴火をおこしており、それまでの履歴を考慮すると、この場所で次のカルデラ噴火がすぐに到来するとは考えにくいかもしれない」との見解も同趣旨であり、参加人の評価の合理性を裏付けている。

(ウ) マグマ溜まりの顕著な増大は認められないこと

鬼界カルデラに関して、国土地理院による電子基準点データに基づく参加人の解析結果では、大きな基線長の変化はなく、マグマ溜まりの顕著な増大は認められない(図 1 1 7)【丙 157 (平成 28 年度火山活動のモニタリング評価結果)】。

また、井口ほか(2002)【丙 158 (鬼界カルデラの地殻変動)】は、硫黄島などに設置された GPS の観測結果について、鬼界カルデラ周辺では顕著な膨張は検出されておらず、少なくとも最近数年間には鬼界カルデラには深部からの新たなマグマの供給はないと判断できる旨の知見が示されている【丙 158 (鬼界カルデラの地殻変動, 30~31 頁)】。

これらの知見からも、鬼界カルデラに破局的噴火を起こし得るマグマ溜まりが存在する可能性が低いと考えられる。

(エ) マグマ溜まりの脱ガスが進んでいること

鬼界カルデラにおいては、流紋岩マグマを經由した長年の火山ガス活動によって流紋岩マグマ溜まりの H₂O 濃度が~1wt.%まで減少し、ガスに不飽和な状態になっているところ【丙 175 (火山研究解説集, 91 頁「現在のマグマだまりモデル」, 93~94 頁)】、大規模なマグマ溜まりがあったとしても、含水量が高く飽和に近いような状態でなければ、マグマを大量に噴出することができない可能性が高いため【丙 40 (安田ほか(2015), 392 頁), 丙 41 (篠原ほか(2008), 3 枚目)】、破局的噴火を起こす可能性は低い。

(4) 小括

参加人は、上記(1)ないし(3)を総合的に考慮して、鬼界カルデラにおいて、運用期間中に破局的噴火が発生する可能性は極めて低いと評価した。なお、鬼界カルデラの破局的噴火の可能性に関する参加人の評価結果は、

齋藤（2018）【乙 168】で示されている知見とも整合するものである。

8 阿蘇カルデラについて

(1) 破局的噴火の噴火間隔について

阿蘇カルデラは、破局的噴火の最短の噴火間隔が約 2 万年，平均発生間隔が約 5.3 万年であるのに対して，最後の破局的噴火からは約 9 万年が経過している（町田・新井(2011)【丙 27】，小野・渡辺(1983)【丙 159】，松本ほか(1991)【丙 160】，小野ほか(1977)【丙 161】，小野・渡辺(1985)【丙 162】，宮縁ほか(2003)【丙 163】，三好ほか(2009)【丙 164】，須藤ほか(2007)【丙 130】）（図 1 1 8）。

このことのみからすると，破局的噴火が切迫している可能性があるとの評価もあり得る（その意味では破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する消極的な事情として考慮すべきものである）。

しかしながら，以下で述べるように，阿蘇カルデラは，現在，後カルデラ火山噴火ステージにあると考えられ，また，破局的噴火を起こすような大規模な珪長質のマグマ溜まりは確認されておらず，しかも，基線長の変化も見られずマグマ溜まりの顕著な増大は認められないことから，参加人は，運用期間中に破局的噴火が発生する可能性は低いと評価したものである。

(2) 噴火ステージについて

現在の阿蘇カルデラにおける噴火活動は，最新の破局的噴火以降，阿蘇山において草千里ヶ浜軽石等の多様な噴火様式の小規模噴火が発生しているのみであり，破局的噴火ステージにあると評価すべき事情が存しないことから，後カルデラ火山噴火ステージにあると考えられ，阿蘇カルデラにおいて運用期間中に破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な 1 つの事情として考慮した。

なお、阿蘇カルデラは、一般的にも、現在、後カルデラ期にあると考えられており【丙 131（日本火山学会第 21 回公開講座資料）14 頁，丙 45（産業技術総合研究所 地質調査総合センターHP）】，参加人の評価と整合する。

(3) マグマ溜まりの状況について

ア 総論

準備書面 3 で述べた通り、阿蘇カルデラにおいて、地下深さ 10km より十分浅い位置に、大規模な珪長質マグマ溜まりは存在しない。

この点、阿蘇カルデラに関しては、カルデラ中央部の地下深さ 6km 付近にマグマ溜まりがあると考えられており、下記イのとおり、破局的噴火を起こし得る大規模な珪長質マグマ溜まりではない。

また、国土地理院による電子基準点の解析結果によると、大きな基線長の変化はなく、マグマ溜まりの顕著な増大は認められない（図 1 1 9）。

従って、阿蘇カルデラにおいて、破局的噴火を起こし得るようなマグマ溜まりが存在する可能性は低いと考えられ、参加人は、運用期間中に破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な事情として考慮した。

イ カルデラ中央部の地下深さ 6km 付近のマグマ溜まりについて

阿蘇カルデラのカルデラ中央部の地下深さ 6km 付近にマグマ溜まりがあると考えられている（Sudo and Kong(2001)【丙 46】ほか）（図 1 2 0）が、珪長質ではなく玄武岩質のマグマ溜まりであり⁷⁹（図 1 2 1），大

⁷⁹ 三好ほか(2005)【丙 44】は、カルデラ中央部に苦鉄質噴出物の火口が分布し、その周辺により珪長質な噴出物の火口が分布する傾向があるとの結果を踏まえて、仮にカルデラ直下に大規模な珪長質マグマ溜まりが存在する場合には、中央部でより珪長質、その周囲で苦鉄質になる（阿蘇の場合と逆になる）と考えられることから、後カルデラ形成期では、カルデラ形成期のような単一の大規模な珪長質マグマ溜まりは存在しなくなった旨の知見を示している。また、三好(2012)【丙 47】は、過去 1 万年間はほとんど玄武岩マグマのみが活動しており、珪長質マグマの噴出は起こっておらず、Sudo and Kong (2001) が指摘するマグマ溜まりに蓄積されているのは玄武岩マグマと考えられるため、少なくとも現在のカルデラ直下の地殻浅部には、カルデラ形成噴火時のような大規模珪長質マグマは蓄積されていないと考えられる旨の知見を示している。

規模なものではなく、しかも全体として縮小傾向にある⁸⁰ことから、破局的噴火を起こし得る珪長質のマグマ溜まりではない。

(4) 小括

参加人は、上記(1)ないし(3)を総合的に考慮して、阿蘇カルデラにおいて、運用期間中に破局的噴火が発生する可能性は極めて低いと評価した。

なお、阿蘇カルデラの破局的噴火の可能性に関する参加人の評価結果は、三好(2018)【丙 165】で示されている知見⁸¹や、榊原教授の意見書【丙 166】で示されている知見⁸²、Dr.Brittain E.Hill の意見書【丙 167】で示されている知見⁸³とも整合するものである。

9 火山活動のモニタリングについて

(1) 上述したように、5つのカルデラ火山において、本件原子力発電所の運用期間中に破局的噴火が発生する可能性は極めて低いが、5つのカルデラ火山において破局的噴火が発生する可能性が十分に小さいことを継続的に確認するため、5つのカルデラ火山について地殻変動や地震活動等の火山活動のモニタリングを実施している【丙 28「玄海原子力発電所 火山について(新規制基準適合性審査資料)」】。

⁸⁰ 大倉(2017)【丙 49】は、「地下約 6km 付近のマグマ溜まりは全体として縮小傾向にあり、長期間の水準測量データを踏まえると、1930 年代と比べて約 1000 万 m³ (0.01km³) 少なくなっている」旨の知見を示している。

⁸¹ 「阿蘇カルデラの活動及びマグマ供給系の変遷から、後カルデラ期の最近 1 万年間には、阿蘇カルデラ直下にカルデラ形成期のような巨大な珪長質マグマ溜まりは存在しなかったと考えられる」との知見が示されている。

⁸² 「現在の阿蘇火山の状態は、破局噴火を起こすような珪長質で大規模なマグマ溜まりが存在している可能性は非常に低い」「今後、破局噴火を起こすような珪長質の大規模マグマ溜まりを形成するには数千年～数万年の期間を要すると考えられる」との知見が示されている。

⁸³ 「現在の阿蘇火山のマグマシステムは、玄武岩質で小規模であり、阿蘇 4 タイプの噴火の特徴を有していない」「大規模なマグマの存在や集積を示す物理学的な特徴も認められない」として、「阿蘇 4 タイプの噴火は、伊方発電所 3 号機の安全性評価上考慮すべき事象ではない」と結論付けている。

(2) 各カルデラ火山の 2018 年度のモニタリング（評価期間：2018 年 4 月 1 日～2019 年 3 月 31 日）における評価結果は以下のとおりであり、いずれも「活動状況に変化なし」という結果であった【丙 176, 177（モニタリング結果に係る評価について）】。

① 始良カルデラ

地殻変動について、カルデラへのマグマ供給を示唆する広範囲な伸びの傾向が認められるが、2018 年度の基線長の変動率に有意な変化は認められず、また、地震活動についても、過去の地震活動と比較して有意な変化は認められず、総合評価としては「活動状況に変化なし」。

② 加久藤・小林カルデラ

地殻変動について、霧島火山に関連した変動が認められるものの、カルデラへのマグマ供給を示唆する広範囲な伸びの傾向が認められないことから、カルデラ火山の活動に起因する有意な変化はなく、また、地震活動についても、2018 年 12 月に最大 M3.4 の地震が発生したものの、現在は地震前の状態に戻っており（ただし、この地震は加久藤カルデラ内で発生しており、今後の地震活動に留意していく）、総合評価としては「活動状況に変化なし」。

③ 阿多カルデラ

地殻変動について、カルデラへのマグマ供給を示唆する広範囲な伸びの傾向は認められないことから、カルデラ火山に起因する有意な変化はなく、また、地震活動についても、2017 年 7 月鹿児島湾の地震（M5.3）の余震が認められるものの、過去 1 年間の地震活動と比較して減少傾向にあり、総合評価としては「活動状況に変化なし」。

④ 鬼界カルデラ

地殻変動について、カルデラへのマグマ供給を示唆する広範囲な伸びの傾向は認められないことから、カルデラ火山の活動に起因する有意な変化はなく、また、地震活動についても、過去の地震活動と比較して有意な変化は認められず、総合評価としては「活動状況に変化なし」。

⑤ 阿蘇カルデラ

地殻変動について、熊本地震に伴う余効変動が認められるものの、カルデラへのマグマ供給を示唆する広範囲な伸びの傾向が認められないことから、カルデラ火山の活動に起因する有意な変化は認められず、また、地震活動についても、熊本地震の余震が認められるものの、過去1年の地震活動と比較して減少傾向にあり、総合評価としては「活動状況に変化なし」。

(3) 上記(2)の評価結果については、2019年11月27日に開催された第6回原子炉安全専門審査会原子炉火山部会会合において、原子力規制庁から妥当と判断されている【丙176, 177】。

また、2019年度のモニタリング（評価期間：2019年4月1日～2020年3月31日）の評価結果においても、5つのカルデラ火山はいずれも「活動状況に変化なし」という結果であり、参加人はその旨を原子力規制委員会に報告している【丙183】。

参加人は、5つのカルデラ火山について、引き続きモニタリングを行い、破局的噴火に発展する可能性が僅かでも存するような事象が確認された時点で、直ちに適切な対処を行うものである。

10 火山事象の影響評価について

(1) 評価の概要

参加人は、阿蘇カルデラを含めた5つのカルデラ火山について、上述した評価を行い、本件原子力発電所の運用期間中に破局的噴火が起こる可能性は極めて低いことを確認した。これを踏まえ、参加人は5つのカルデラ火山の火山事象による本件原子力発電所へ与える影響について、現在の各噴火ステージにおける既往最大規模の噴火を考慮して評価した。なお、破局的噴火に至らないVEI6規模の噴火については、始良カルデラ以外のカルデラ火山においては過去に発生しておらず、また、5つのカルデラ火山における現在のマグマ溜まりの状況などから、今後数十年の運用期間中に現在の各噴火ステージにおける既往最大規模の噴火を超える噴火が発生する可能性は低いと判断している。

また、その他の16火山（壱岐火山群、多良岳、小値賀島火山群、雲仙岳、南島原、金峰山、万年山火山群、船野山、涌蓋火山群、福江火山群、九重山、立石火山群、野稻火山群、由布岳、高平火山群、鶴見岳）については、各火山の既往最大規模の噴火（VEI5以下の噴火）を考慮して、本件原子力発電所への火山事象の影響を評価した【丙28（11～36頁）】。

その結果、21火山の噴火規模と本件原子力発電所までの距離との関係等から、降下火砕物（火山灰等）を除く火山事象（火砕物密度流、溶岩流、岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊、新しい火口の開口、地殻変動等）については、いずれも本件原子力発電所の敷地には影響がないことを確認した【丙28（42～44頁，54～56頁）】。

また、降下火砕物（火山灰等）については、約5万年前の九重第1噴火を踏まえ、降下火砕物（火山灰等）の層厚を想定し、評価を行い、安全性を確認した【丙28（45～53頁）】。以下、降下火砕物の影響評価の詳細について述べる。

(2) 降下火砕物の影響評価

ア 想定した噴火

降下火砕物につき、安全上重要な建物・機器等に影響を及ぼし得る火山事象として、抽出した噴火（5つのカルデラ火山については現在の各噴火ステージにおける既往最大規模の噴火（始良カルデラ：約1.3万年前の桜島薩摩噴火（VEI6）、加久藤・小林カルデラ：約4.5～4.0万年前の霧島イワオコシ噴火（VEI5）、阿多カルデラ：約0.6万年前の池田噴火（VEI5）、鬼界カルデラ：約0.6万年前以降の薩摩硫黄島での噴火（VEI4）、阿蘇カルデラ：約3.0万年前の阿蘇草千里ヶ浜噴火（VEI5））、その他の16火山については既往最大規模の噴火）の中で本件原子力発電所付近に最も影響が大きい約5万年前の「九重第1噴火」を選定した（図122，123）。

なお、原告らは、参加人の行った影響評価について、始良カルデラ及び鬼界カルデラにおける破局的噴火による降灰を想定していないため、火山ガイドに反し不合理である旨を主張するが、上述したとおり、参加人は、これらのカルデラ火山において運用期間中に破局的噴火が発生する可能性は極めて低いと評価した上で、5つのカルデラ火山の現在の各噴火ステージにおける既往最大規模の噴火を想定したものであり、何ら火山ガイドに反するものではない。

また、原告らは、阿蘇カルデラについて、現在「14～33 km³」程度のマグマ溜まりが存在し、VEI6規模の噴火が発生した場合の噴出量は、参加人の評価の約2倍近くになるため過小評価である旨を主張する。

しかしながら、噴出可能なマグマは、マグマ溜まりのうち結晶量が低く溶融体が大部分を占める部分である【丙170（東宮(2016)）283～285頁】ところ、上記マグマ溜まりの溶融率は「数%以上」とされており【甲98（須藤(2006)）】、そもそも噴出可能なマグマは数km³程度に過ぎない上に、マグマの噴出に必要な圧力の観点からは噴出できるマグマの量はマグマ溜まり全体の体積のうちごく少量である【丙171（青木(2016)）】のであり、原告らの主張は不合理である。

イ 想定した降下火砕物の層厚

参加人は、九重第1噴火を想定し、文献調査、地質調査及びシミュレーション調査を行って、降下火砕物の層厚を「10cm」と評価した【乙54(67頁)】。

すなわち、文献調査及び地質調査として、町田・新井(2011)【丙27(117頁)】においては、九重第1噴火における降下火砕物は、給源である九重山の主に東側に分布し、九重山の西側に位置する本件原子力発電所周辺には堆積していないことを確認した(図123)。

そして、シミュレーション調査として、参加人は、九重第1噴火と同規模の噴火が起こった場合の本件原子力発電所での降灰量について、風や噴煙柱高さのパラメータを変化させてシミュレーションした結果、想定される層厚は最大でも2.2cmであり影響が小さいことを確認した。

以上で述べた文献調査、地質調査及び数値シミュレーションの結果を踏まえ、参加人は、降下火砕物の層厚についてさらに安全側に評価し、10cmに設定しており、その判断は合理的である。

ウ 設備に対する影響評価

参加人は上記のとおり安全側に想定した層厚10cmの降下火砕物(火山灰等)が生じた場合についての評価を行い、安全性を確認している。具体的には、参加人は、降下火砕物によって安全機能を失う恐れのある安全上重要な建物・機器等を評価対象施設として抽出し、各評価対象施設の特徴(形状、機能、外気吸入や海水の通水の有無等)を考慮した上で、降下火砕物による直接的影響(堆積荷重、閉塞、磨耗、腐食等)及び間接的影響(外部電源の喪失及び交通の途絶)を評価している。評価の結果、参加人は、降下火砕物の直接的影響により、本件原子力発電所の安全性が損なわれることはないことを確認するとともに、間接的影響として、降下火砕物による外部電源喪失及び交通の途絶を想定しても、非常用ディーゼル発電機の7日間連続運転により、原子炉及び使用済燃料ピットの安全性を確保できることを確認している【乙54(68~72頁)】。

加えて、参加人は、火山影響等発生時⁸⁴に備え、非常用ディーゼル発電機の機能維持のためにフィルタコンテナを平成 29 年 11 月に新設⁸⁵するなど、降下火砕物に対する本件原子力発電所の安全性を一層高めている。

(3) 小括

以上のとおり、火山事象が本件原子力発電所の安全性に影響を及ぼす可能性は、極めて低い。

1 1 まとめ

以上のとおり、本件原子力発電所の運用期間中に、火山事象が本件原子力発電所の安全性に影響を及ぼす可能性は極めて低く、本件原子力発電所の火山事象に対する安全性は確保されている。

第 5 章 本件原子力発電所の安全確保対策に係る国の確認

第 1 はじめに

原子力発電所の安全確保対策は、事業者がその責任により実施するものであるが、国によっても安全確保対策の妥当性が厳格に審査、確認されている。本件原子力発電所についても、上述したとおり、その設計から運転開始以降現在に至るまで、必要な対応を不断に行うなどしているが、その妥当性については国による所要の確認を受けている。以下では、新規制基準施行以後の本件原子力発電所に係る原子炉設置変更許可等の国の許認可について述べる（参加人準備書面 4・12, 13 頁）。

⁸⁴ 火山影響等発生時：火山現象による影響が発生するおそれがある場合又は発生した場合をいう。

⁸⁵ 降下火砕物の大気中濃度が高濃度となった場合、非常用ディーゼル発電機の吸気消音器吸気フィルタの閉塞時間が短くなり、吸気フィルタの取替・清掃が間に合わなくなるおそれがある。このため、吸気消音器の近傍にフィルタコンテナ（フィルタ面積の拡大、フィルタの二重化及びフィルタ取替えの容易化を図った機材）を新設し、高濃度の降下火砕物が予想される場合、吸気消音器とフィルタコンテナをダクトで接続することによって、非常用ディーゼル発電機を運転しながら、吸気フィルタを順次取替・清掃し、吸気フィルタの閉塞を防ぐもの。

第2 新規制基準の施行

平成25年7月8日、改正原子炉等規制法のもと施行された新規制基準では、原子力発電所の安全確保に関して、共通要因による安全機能の一斉喪失を防止する観点から自然現象の想定及び対策を大幅に引き上げるとともに、自然現象以外でも、共通要因による安全機能の一斉喪失を引き起こす可能性のある事象に対する対策を強化した。

第3 本件原子力発電所に係る原子炉設置変更許可申請

上記新規制基準に対応するためには、施設及び体制の整備等を行う必要があり、これらに対応するためには発電用原子炉施設の位置、構造及び設備の変更を伴うため、改正原子炉等規制法43条の3の8第1項に基づき、原子力規制委員会による原子炉設置変更許可を受けることが必要となった。

このため、参加人は、平成25年7月12日、原子力規制委員会に対し本件原子力発電所に係る原子炉設置変更許可を申請するとともに工事計画認可及び保安規定変更認可の各申請を行った【丙75～78】。

第4 本件原子力発電所に係る原子炉設置変更許可と再稼働

上記原子炉設置変更許可申請に対しては、平成28年11月10日から平成28年12月9日までの間原子力規制委員会が作成した本件原子力発電所の審査書案に対する科学的・技術的意見の公募手続（パブリックコメント）が実施された上で、平成29年1月18日に開催された第56回原子力規制委員会において、「九州電力株式会社玄海原子力発電所の発電用原子炉設置変更許可申請書（3号及び4号発電用原子炉施設の変更）に関する審査書」の案が付議、了承され、改正原子炉等規制法43条の3の8第1項に基づき、参加人の申請に対する同委員会の許可処分がなされた【乙54、丙3】。

加えて、改正原子炉等規制法43条の3の9第1項及び電気事業法第47条第1項の規定に基づき、玄海3号機については平成29年8月25日、玄海4号機については平成29年9月14日にそれぞれ工事計画認可がなされ、改正原子炉等

規制法43条の3の24第1項に基づき、平成29年9月14日に本件原子力発電所の保安規定変更認可がなされた【丙79～81】。

その後、玄海3号機については、平成30年3月23日に原子炉を起動、同年3月25日に発電再開⁸⁶、同年5月16日に使用前検査及び定期検査が終了し、使用前検査合格証及び施設定期検査終了証が交付され【丙82～85】、また玄海4号機については、平成30年6月16日に原子炉を起動、同年6月19日に発電再開、同年7月19日に使用前検査及び定期検査が終了し、使用前検査合格証及び施設定期検査終了証が交付され【丙86～89】、同日営業運転を再開した。

第6章 結論

以上のとおり、参加人は、本件原子力発電所の建設時から現在に至るまで、放射性物質を多重の障壁に「閉じ込める」ことに万全を期しており、通常運転時の放射性物質の放出について極力低く抑えるよう適切に管理している。

また、参加人は放射性物質が周辺環境に異常に放出されるような事態に至らないよう、福島第一原子力発電所事故以前から多重防護の考え方に基づいた事故防止に係る安全確保対策を講じるとともに、福島第一原子力発電所事故以後には地震等の自然現象の想定をより厳しいものに引き上げてもおも、多重防護の考え方に基づく安全確保対策に要する設備がその機能を喪失しないことを確認した上で、機能喪失した場合をあえて想定しても、放射性物質の有する危険性が顕在化することがないように、更なる安全確保対策を講じることにより放射性物質を「閉じ込める」ことに万全を期している。

こうした対策により、放射性物質が周辺環境に異常に放出されるような事態が生じることは考え難く、原告らの人格権を侵害するような具体的危険性が生じるとは考えられない。

したがって、原告らの請求はいずれも理由がないから、速やかに棄却されるべきである。

以上

⁸⁶ 発電再開後、2次系の空気抜き管からの微小な蒸気漏れが発生し、平成30年3月31日に発電を停止し、当該配管交換後、同年4月18日再度発電を再開した。