

関西電力(株)大飯発電所3号機及び4号機
の安全性に関する総合的評価
(一次評価)に関する審査書

平成24年2月13日
原子力安全・保安院

目 次

1.はじめに ······	6
2.大飯発電所の概要 ······	9
2.1 大飯発電所の概要 ······	9
2.2 発電所が位置する周辺の地勢の概要 ······	9
2.3 発電所の主要な設備の概要 ······	10
2.4 大飯発電所の緊急安全対策等の実施について ······	10
3.当院による審査の方針 ······	12
3.1 審査の基本的な考え方 ······	12
3.2 審査の方法 ······	12
3.3 透明性の確保 ······	12
3.4 審査の時点 ······	13
3.5 審査の体制 ······	13
3.6 本審査書の構成 ······	13
4.品質保証体制に関する評価 ······	14
4.1 関西電力における品質保証体制 ······	14
4.2 当院の評価 ······	15
5.地震に関する評価 ······	17
5.1 機器等の耐震裕度の評価について ······	17
5.2 クリフエッジの特定について ······	33
5.3 緊急安全対策等の効果について ······	45
5.4 当院の評価（まとめ） ······	46
6.津波に関する評価 ······	48
6.1 機器等の津波に係る裕度の評価について ······	48
6.2 クリフエッジの特定について ······	55
6.3 緊急安全対策等の効果について ······	61
6.4 当院の評価（まとめ） ······	63
7.地震と津波の重畳に関する評価 ······	64
7.1 機器等の地震と津波の重畳に係る裕度の評価について ······	64

7. 2 クリフエッジの特定について ······	65
7. 3 緊急安全対策等の効果について ······	67
7. 4 当院の評価（まとめ） ······	69
 8. 全交流電源喪失に関する評価 ······	71
8. 1 全交流電源喪失時の事象進展と冷却継続時間について ······	71
8. 2 クリフエッジの特定について ······	79
8. 3 緊急安全対策等の効果について ······	80
8. 4 当院の評価（まとめ） ······	80
 9. 最終ヒートシンク喪失に関する評価 ······	82
9. 1 最終ヒートシンク喪失時の 事象進展と冷却継続時間について ······	82
9. 2 クリフエッジの特定について ······	86
9. 3 緊急安全対策等の効果について ······	87
9. 4 当院の評価（まとめ） ······	88
 10. 地震、津波及び地震・津波の重畳時における 原子炉及び使用済燃料ピットの冷却継続時間の評価 ······	89
10. 1 地震、津波及び地震・津波 の重畳時の事故シナリオについて ······	89
10. 2 緊急安全対策に係る運転操作、作業の成立性について ······	90
10. 3 原子炉及び使用済燃料ピットの冷却継続時間について ······	93
10. 4 緊急安全対策等の効果について ······	96
10. 5 当院の評価（まとめ） ······	97
 11. その他のシビアアクシデント・マネジメントの評価 ······	99
11. 1 安全確保に必要な安全機能と 防護措置の整備状況について ······	99
11. 2 イベントツリーによる 事象進展シナリオの分析について ······	100
11. 3 事象の進展を防止する措置の効果について ······	107
11. 4 当院の評価（まとめ） ······	107
 12. 総合的評価に関する当院としての見解 ······	110

図表一覧

図 2-1 大飯発電所 敷地図	116
図 2-2 大飯発電所 3号機 断面図	117
図 2-3 大飯発電所 3号機 系統図	118
図 2-4 大飯発電所 3号機及び4号機の 緊急安全対策等に係る設備の概要	119
表 5-1 各起因事象の対象設備及び 裕度一覧 (地震:炉心燃料損傷)	120
表 5-2 各収束シナリオの評価結果 (地震:炉心燃料損傷)	120
図 5-1 地震時のクリフェッジを示す イベントツリー (炉心燃料損傷)	121
図 5-2 大飯発電所への社員の召集について	122
図 5-3 防護措置に係る要員配置等	123
図 5-4 全交流電源喪失時における対応体制	124
表 5-3 各起因事象の対象設備及び 裕度一覧 (地震: SFP の燃料損傷)	125
表 5-4 各収束シナリオの評価結果 (地震: SFP の燃料損傷)	125
図 5-5 地震時のクリフェッジを示す イベントツリー (SFP の燃料損傷)	126
図 6-1 構内配置図	127
図 6-2 扉に対する波圧の設定方法	128
図 6-3 浸水量評価結果	129
図 6-4 浸水対策	130
表 6-1 各起因事象の対象設備及び 裕度一覧 (津波:炉心燃料損傷)	131
表 6-2 各収束シナリオの評価結果 (津波:炉心燃料損傷)	131
図 6-5 津波時のクリフェッジを示す イベントツリー (炉心燃料損傷)	132
表 6-3 各起因事象の対象設備及び 裕度一覧 (津波: SFP の燃料損傷)	133
表 6-4 各収束シナリオの評価結果 (津波: SFP の燃料損傷)	133
図 6-6 津波時のクリフェッジを示す イベントツリー (SFP の燃料損傷)	134
表 7-1 地震と津波の重畠に関するクリフェッジ 評価結果 (重畠:炉心燃料損傷)	135

表 7-2 地震と津波の重畠に関するクリフェッジ	
評価結果（重畠：SFP の燃料損傷）	135
図 7-1 地震と津波の重畠時のクリフェッジを示す	
イベントツリー（炉心燃料損傷）	136
図 7-2 地震と津波の重畠時のクリフェッジを示す	
イベントツリー（SFP の燃料損傷）（1／2）	137
図 7-3 地震と津波の重畠時のクリフェッジを示す	
イベントツリー（SFP の燃料損傷）（2／2）	138
図 8-1 全交流電源喪失から燃料の	
重大な損傷に至る事象の過程（炉心）	139
図 8-2 全交流電源喪失から燃料の	
重大な損傷に至る事象の過程（SFP）	140
図 8-3 全交流電源喪失時における原子炉及び	
SFP の冷却継続時間（原子炉運転中）	141
図 8-4 全交流電源喪失時における	
SFP の冷却継続時間（原子炉停止中）	142
図 9-1 最終ヒートシンク喪失から燃料の重大な	
損傷に至る事象の過程（炉心）	143
図 9-2 最終ヒートシンク喪失から燃料の重大な	
損傷に至る事象の過程（SFP）	144
図 9-3 最終ヒートシンク喪失時における原子炉及び	
SFP の冷却継続時間（原子炉運転中）	145
図 9-4 最終ヒートシンク喪失時における	
SFP の冷却継続時間（原子炉停止中）	146
図 10-1 全交流電源喪失時（地震及び津波の重畠）に	
おいて使用する設備・機器の配置	147
図 10-2 全交流電源喪失（地震及び津波の重畠）に	
おける緊急安全対策の成立性について	148
図 10-3 全交流電源喪失時（地震及び津波の重畠）	
における対応時間（電源確保）	149
図 10-4 全交流電源喪失時（地震及び津波の重畠）における	
対応時間（SG への給水確保、SFP への給水確保）	150
表 10-1 地震、津波及び地震・津波の重畠時における	
原子炉及び SFP 冷却継続時間の評価結果	151
図 10-5 地震・津波の重畠時の原子炉（原子炉運転中）の	
冷却継続時間の評価	152

図 10-6 地震・津波の重畠時の SFP（原子炉運転中）の 冷却継続時間の評価	153
図 10-7 地震・津波の重畠時の SFP（原子炉停止中）の 冷却継続時間の評価	154
表 11-1 安全機能別の AM 策、緊急安全対策等の整備状況	155
表 11-2 炉心損傷に係るイベントツリーと防護措置との関係	156
表 11-3 格納容器機能喪失に係るイベントツリーと 防護措置の関係	157

別添資料

別添 1 東京電力株式会社福島第一原子力発電所における事故を踏まえた既設の発電用原子炉施設の安全性に関する総合的評価に関する報告について（平成 23 年 7 月 6 日、原子力安全委員会）	158
別添 2 我が国原子力発電所の安全性の確認について（ストレステストを参考にした安全評価の導入等）（平成 23 年 7 月 11 日、内閣官房長官 枝野幸男、経済産業大臣 海江田万里、内閣府特命担当大臣 細野豪志）	161
別添 3 東京電力株式会社福島第一原子力発電所における事故を踏まえた既設の発電用原子炉施設の安全性に関する総合的評価に関する評価手法及び実施計画（平成 23 年 7 月 21 日、原子力安全・保安院）	164
別添 4 ストレステスト（一次評価）に関する審査の視点（案）（平成 23 年 11 月 14 日、原子力安全・保安院、（独）原子力安全基盤機構）	172
別添 5 大飯発電所現地調査報告について	177
別添 6 IAEA MISSION TO REVIEW NISA'S APPROACH TO THE "COMPREHENSIVE ASSESSMENTS FOR THE SAFETY OF EXISTING POWER REACTOR FACILITIES" (Tokyo and Ohi, Japan 23-31 January 2012) (Preliminary Summary)	204
別添 7 日本への IAEA レビューミッション 予備的な要旨 2012 年 1 月 31 日 (別添 6 の日本語仮訳)	210

1. はじめに

平成23年3月11日に東京電力株式会社福島第一原子力発電所で発生した事故を踏まえ、原子力安全・保安院（以下「当院」という。）は、同年3月30日、各事業者に対して、同程度の津波により全交流電源喪失に至ったとしても、炉心損傷など深刻な事態を回避し、冷温停止状態に繋げるための対策として、緊急安全対策の実施を指示し、同年5月6日にはそれらの実施状況に対する確認結果を公表した。またその後も各事業者に対して外部電源の信頼性向上や万ーシビアクシデントが発生した場合の対策を指示し、それらの実施状況を確認してきた。

こうした中、平成23年7月6日、班目春樹原子力安全委員会委員長より海江田万里経済産業大臣に対し、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所における事故を踏まえた既設の発電用原子炉施設の安全性に関する総合的評価に関する報告について」（平成23年7月6日付け23安委決第7号）により、既設の発電用原子炉施設について、設計上の想定を超える外部事象に対する頑健性に関して総合的に評価を行うこと、また、このための総合的な評価手法及び実施計画を作成し原子力安全委員会（以下「安全委員会」という。）に対して報告するよう要請があった（別添1）。

同月11日には、枝野幸男内閣官房長官、海江田万里経済産業大臣及び細野豪志内閣府特命担当大臣の連名により、「我が国原子力発電所の安全性の確認について」が公表され、新たな手続き、ルールに基づく安全評価を実施することとされ、同評価は一次評価と二次評価により行うこと、一次評価は定期検査中で起動準備の整った原子力発電所について順次、安全上重要な施設・機器等が設計上の想定を超える事象に対しどの程度の安全裕度を有するかの評価を実施することとされた（別添2）。

これらを受けて、当院は、総合的な安全評価に関する評価手法及び実施計画を作成し、同月15日と21日の二度にわたり安全委員会に報告し、同月21日に安全委員会の了承を得たため、翌22日に、各発電用原子炉設置者に対して、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所における事故を踏まえた既設の発電用原子炉施設の安全性に関する総合的評価に関する評価手法及び実施計画」（以下「実施計画」という、別添3。）に基づき、発電用原子炉施設の安全性に関する総合的評価（以下「ストレステスト」という。）を行い、その結果について、当院に対して報告することを求めた。

これを受けて、同年10月28日に、関西電力株式会社（以下「関西電力」という。）より、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所における事故を踏まえた大飯発電所3号機の安全性に関する総合評価（一次評価）の結果について（報告）」が当院に提出され、また、同年11月17日に、同社より「東京電力株式会社

福島第一原子力発電所における事故を踏まえた大飯発電所4号機の安全性に関する総合評価（一次評価）の結果について（報告）」が当院に提出された（以下これらの報告をあわせて「事業者報告書」という。）。

これを受け、当院では、「発電用原子炉施設の安全性に関する総合的評価に係る意見聴取会」（以下、単に「意見聴取会」という。）を設置・開催し、専門家からの意見聴取を行いつつ、関西電力へのヒアリングや現地調査により審査を行った。

本審査書は、関西電力より提出のあった事業者報告書について、当院の審査結果をとりまとめたものである。なお、これまでの審査の主な経緯は、以下のとおりである。

＜審査の主な経緯＞

平成23年11月14日 第1回意見聴取会を開催。当院からストレステスト（一次評価）に関する審査の視点（案）について説明し、委員から意見を聴取した。

また、関西電力より大飯発電所3号機のストレステスト評価について説明がなされた。

平成23年11月17日 ストレステストに関する国際セミナーを開催。欧州をはじめとする海外の専門家を招へいし、各国のストレステストに関する取組の紹介及び意見交換（パネルディスカッション）を実施。

平成23年11月18日 第2回意見聴取会を開催。前日の国際セミナーに参加された海外の専門家にも参加していただき、各国のストレステストに関する取組の紹介と意見交換を実施。

平成23年11月29日 第3回意見聴取会を開催。関西電力より大飯発電所4号機のストレステスト評価について説明がなされ、第1回意見聴取会で説明がなされた同発電所3号機のストレステスト評価と併せて委員から意見を聴取した。

平成23年12月8日 第4回意見聴取会を開催。当院より審査のためのヒアリングにおける主なコメントとそれに対する関西電力の回答概要等について説明し、委員から意見を聴取した。

平成23年12月22日 第5回意見聴取会を開催。当院より審査における主要な論点整理について説明し、委員から意見を聴取した。

平成23年12月26日 当院及び独立行政法人原子力安全基盤機構（以下「基盤機構」という。）により、大飯発電所において現地調査を実施した。

平成24年1月6日 第6回意見聴取会を開催。当院より審査における主要な論点整理について説明し、委員から意見を聴取した。

平成24年1月18日 第7回意見聴取会を開催。当院より審査書（素案）について説明し、委員から意見を聴取した。

平成24年1月23日～31日 国際原子力機関（IAEA）のレビューミッションが来日し、ストレステストに関する当院の取組等について評価がなされた。

平成24年2月8日 第8回意見聴取会を開催。当院より審査書（案）について説明し、委員から意見を聴取した。

また、当院における審査にあたっては、基盤機構の技術支援を受けた。具体的な支援内容は以下のとおりである。

- 審査の視点（案）、意見聴取会の机上資料として用いたプラント整理表（案）等の原案作成
- 平成23年12月26日に実施した大飯発電所3号機及び4号機の現地調査への同行
- 審査のためのヒアリングにおける関西電力からの説明に対する技術的なコメント及び評価

2. 大飯発電所の概要

2. 1 大飯発電所の概要

大飯発電所は、昭和54年3月に1号機（電気出力117.5万kW）、昭和54年12月に2号機（同117.5万kW）、平成3年12月に3号機（同118万kW）、平成5年2月に4号機（同118万kW）が営業運転を開始した、4基合計の電気出力（定格）は471.0万kWの原子力発電所である。原子炉型式はいずれも加圧水型原子炉で、蒸気発生器（以下「SG」という。）を4つ有する4 ループである。

2. 2 発電所が位置する周辺の地勢の概要

大飯発電所は、大島半島の最先端部にある、おおい町大島に立地しており、敷地面積約188万m²の中央部に主要な施設を集約し、東から西に向かい1号機から4号機が順に配置されている。敷地の北、西、南側が標高100m～200m程度の山に囲まれており、敷地東部分は若狭湾に面し、取水口が配置されている（図2-1、図2-2）。

2. 3 発電所の主要な設備の概要

大飯発電所3号機及び4号機は、基本的に同じ設計のプラントであり、それらの主要な仕様は以下のとおりである。また、系統は、図2-3のとおりである。

項目	仕様
原子炉熱出力	約342.3万kW
定格電気出力	118.0万kW
炉心	燃料集合体
	炉心全ウラン量
	制御棒クラスタ
原子炉容器	高さ
	内径
原子炉格納容器	高さ
	内径
ECCS	蓄圧注入系
	高圧注入ポンプ (2台) 燃料取替用水ピット (1基)
	低圧注入系
化学体積制御設備	ほう酸タンク (2基) ほう酸ポンプ (2台) 充てんポンプ (3台)
原子炉補機冷却水設備	原子炉補機冷却水ポンプ (4台)
	原子炉補機冷却水冷却器 (2基)
原子炉補機冷却海水設備	海水ポンプ (3台)
非常用ディーゼル発電機	2台
補助給水ポンプ	電動 (2台)、タービン動 (1台)
使用済燃料貯蔵設備の貯蔵能力	2,129体 (全炉心燃料の約1,100%相当分)

2. 4 大飯発電所の緊急安全対策等の実施について

(1) 当院の指示への対応

当院は、平成23年3月30日に「平成23年福島第一・第二原子力発電所事故を踏まえた他の発電所の緊急安全対策の実施について（指示）」に基づき、津波により全交流電源の喪失、原子炉及び使用済燃料貯蔵プールの冷却機能の喪失が生

じた場合においても、炉心損傷など深刻な事態を避けるために必要な対策を講じることを指示した。

関西電力は、同指示を踏まえ、500kVA1台及び610kVA3台の電源車及び消防ポンプ（25台）の配備、消防ポンプ燃料用のガソリン約2,980リットルの備蓄、東京湾平均海面（以下「T.P.」という。）11.4mまでの範囲について浸水対策の実施等を講じたとしている（図2-4）。当院は、同年4月27日に、関西電力より、この実施結果について「平成23年福島第一・第二原子力発電所事故を踏まえた緊急安全対策に係る実施状況報告書（改訂版）（大飯発電所）」により報告を受け、立入検査を実施しその実施内容を確認した。

また、当院は、同年6月7日に「平成23年福島第一原子力発電所事故を踏まえた他の原子力発電所におけるシビアアクシデントへの対応に関する措置の実施について（指示）」に基づき、①中央制御室の作業環境の確保、②緊急時における発電所構内通信手段の確保、③高線量対応防護服等の資機材の確保及び放射線管理のための体制の整備、④水素爆発防止対策、⑤がれき撤去用の重機の配備の実施を指示した。

関西電力は、同年6月14日、同指示を踏まえた対策を「平成23年福島第一原子力発電所事故を踏まえたシビアアクシデントへの対応に関する措置に係る実施状況報告書」として当院に報告し、当院は立入検査によりその実施内容を確認した。

これら緊急安全対策等に係る設備の概要を、図2-4に示す。

（2）その後の強化対策

関西電力は、当院の指示への対応に加え、炉心や使用済燃料の損傷防止に対する一層の信頼性向上のため、同年10月に、より電源容量の大きい空冷式非常用発電装置（各原子炉あたり1,825kVA2台、合計8台）を配備し、その運用を開始したとしており、同装置により、炉心冷却の維持のために必要なタービン動補助給水ポンプに加え、電動補助給水ポンプを稼動できるなど、原子炉の状態監視計器や原子炉の冷却機能に必要な機器等に安定的に電力を供給することができるとしている。同装置は、津波の影響を受けない発電所内の高台に設置するとともに、電源系統に容易に接続できるようケーブル等を恒設化したとしている。

また、炉心や使用済燃料の冷却のための消防ポンプについては、予備も含め87台を配備したとしている。さらに、消防ポンプの燃料であるガソリンの発電所内の備蓄量については、平成23年10月1日時点では3,400リットルであったが、同年12月15日時点では10,250リットルに増強し、発電所内に数ヶ所に分散させて保管されている。

3. 当院による審査の方針

3. 1 審査の基本的な考え方

当院は、事業者報告書について、当院が策定した実施計画に記載されている実施方法や実施事項に沿っているか、その内容が適切であるかについて確認を行い、確認結果を本審査書としてとりまとめた。

審査にあたっては、「ストレステスト（一次評価）に関する審査の視点（案）」を策定し、意見聴取会において専門家からの意見を聴取した上でこれを定め、これを中心に確認することとした（別添4）。

3. 2 審査の方法

当院及び基盤機構により、関西電力からヒアリングを行うとともに、必要に応じ追加資料の提出を求め、審査を進めた。また、大飯発電所において、地震に対する防護措置の耐性、津波が設備に及ぼす影響、運転員等のアクセスルート及び操作・作業現場の状況並びに緊急安全対策等において整備した設備等の保管状況に関して現地調査による確認を実施した。現地調査では、改善が必要と考えられる点について指摘を行い、指摘を踏まえた措置に関する関西電力からの回答を審査に反映した。

さらに、専門家による意見聴取会を設置し、専門家から技術的意見を聴取するとともに、関西電力への質問、関西電力からの説明の聴取、当院がとりまとめた論点に対する審議等を実施した。

なお、大飯発電所3号機と4号機は、基本的に同じ設計のプラントであり、隣接して立地していることから、審査は同時に進め、両機で相違のある点については、その都度、説明を求めた。

当院は、本審査書を安全委員会に報告し、その妥当性の確認を求める。

3. 3 透明性の確保

審査過程の透明性確保の観点から、意見聴取会は公開で実施するとともに、当院のホームページには本件に係る情報を一括して掲載する専用のホームページを設け、意見聴取会の配布資料や議事録を掲載するとともに、当院及び基盤機構による関西電力からのヒアリングについても、ヒアリング終了後に議事概要等を掲載した。また、当院のホームページには、ストレステストの審査で確認すべき技術的事項について、一般の方々からの質問や要望を常時受け付ける窓口を設け、寄せられた質問は、一定期間ごとにとりまとめて公表するとともに、当院の評価がまとまった段階で、寄せられた意見に対する考え方を公表することとした。また、これらの意見については意見聴取会の委員にも共有した。

3. 4 審査の時点

事業者報告書においては、平成 23 年 10 月 1 日を評価時点とするとされており、基本的にその時点における施設と管理状況を審査の対象とするが、その時点以降に、関西電力自らが講じた措置や、当院の指摘に基づいて実施した措置等があることから、ヒアリングや現地確認において、その内容が確認された場合には、これらを確認の対象に含めることとした。

3. 5 審査の体制

事業者報告書の審査は、当院及び基盤機構によって実施し、当院においては、浦野統括安全審査官以下 4 名のチームが、また、基盤機構においては、原子力システム安全部及び耐震安全部が主に対応し、最終的には、当院の責任において確認結果を本審査書にとりまとめた。

3. 6 本審査書の構成

本報告書においては、4 章以降に事業者報告書の確認結果を記載する。

4 章においては、ストレステスト評価作業を実施するにあたっての関西電力の品質保証体制について記載した。

5 章から 7 章においては、設計上の想定を超える外的事象（地震及び津波）に対する評価を扱い、5 章においては地震を、6 章においては津波を、7 章においては地震と津波の重畳について記載した。

8 章から 10 章においては、全交流電源喪失事象及び最終的な熱の逃し場（最終ヒートシンク）の喪失（以下「最終ヒートシンク喪失」という。）事象に対する評価を扱い、8 章においては全交流電源喪失事象を、9 章においては最終ヒートシンク喪失事象を、10 章においては、これらの事象と地震・津波が重畳した場合に冷却が継続できる時間の評価を記載した。

11 章においては、これまでに講じられたシビアアクシデント・マネジメントの評価について記載した。

12 章においては、前章までの評価を踏まえ、大飯発電所 3 号機及び 4 号機のストレステスト結果に対する当院の見解を記載した。

なお、大飯発電所において実施した現地調査で確認した内容等については、上記の関係する箇所にそれぞれ記載した（別添 5）。

4. 品質保証体制に関する評価

本章においては、関西電力がストレステストに関する作業を実施するにあたり、品質を保証するための取組が適切になされているかどうかを確認した。

その結果、関西電力が品質保証のために定めた文書が存在していること、関西電力が自社内で実施する作業、調達先に委託して実施する作業それについて、計画や手順が業務文書として定められ、検証等が適切に実施されていることなどから、当院としては、ストレステストに係る関西電力の品質保証の取組は適切なものと判断する。

以下、当院が確認した内容の詳細について記載する。

4. 1 関西電力における品質保証体制

(1) 業務計画の策定

関西電力においては、ストレステスト及び事業者報告書の作成業務を実施するにあたり、「原子力発電所における安全のための品質保証規程 (JEAC4111-2009 (日本電気協会の原子力規格委員会が発行する学協会規格のひとつ。以下「JEAC品質保証規程」という。))」を適用した原子炉施設保安規定に基づき、総合評価に係る実施計画を新たに策定し、目的、評価体制、解析業務における品質保証の取組等を明確化したとしている。

さらに解析業務については、「原子力施設における許認可申請等に係る解析業務の品質向上ガイドライン (JANTI-GQA-01-第1版 (日本原子力技術協会が定める民間規格のひとつ))」を反映して定められた「原子力発電所保修業務要綱指針」及び「原子力発電所請負工事一般仕様書に関する要綱指針」に記載された取組をストレステストの解析業務にも適用し、総合評価に係る実施計画において、一連のプロセス (解析業務の計画、計算機プログラムの検証、入力根拠の明確化、入力結果の確認・検証、解析結果の検証、品質記録の保管管理 等) の確認のためチェックシートを用いた検証方法を明確にしたとしている。

(2) 解析業務の検証について

調達先及び関西電力での解析業務が、関西電力の社内標準に定める要求事項を遵守しているかについて、以下のとおり検証したとしている。

1) 調達先での解析業務の場合

調達先での解析業務については、調達先からの関係文書の収集及び調達先へ調査に赴くことにより検証を行ったとしている。調達先での調査においては、チェックシートを用いて、調達先でのストレステスト解析業務資料 (チェックシート及びチェックエビデンス等、総数約95,000ページ) に対し、調達先で入

力結果がダブルチェックされているかなど、一連のプロセスの実施状況をサンプリングにて確認し、関西電力からの調達要求事項が遵守されていることを確認したとしている。

2) 関西電力での解析業務の場合

関西電力での解析業務については、調達先に対する確認と同様の一連のプロセスの実施状況を確認するチェックシートに基づき、入力結果及び解析結果の検証は解析を実施した者以外の者が確認を行い、さらに複数のグループ間でデータの受け渡しが行われる評価については、確認した者の属するチーフマネジャーが確認結果を承認したとしている。

(3) 事業者報告書に関する確認について

作成された事業者報告書については、ストレステストに影響を与える数値等の誤りがないか等を調査するため、調査目的、調査体制、調査手順等を明確化した調査実施計画を策定し、同計画に基づき、調査担当部署の担当者及び役職者等によるダブルチェックを実施したとしている。具体的には、ストレステストに影響を及ぼす数値等について信頼性のあるエビデンスとの照合、本文と添付資料の整合性の確認等を実施したとしている。また、独立の品質保証グループがその調査実施プロセスの適切性を確認したとしている。

4. 2 当院の評価

当院は、事業者報告書に関し、業務文書が適切に策定されたものであることを確認し、それに基づき評価や検証等が行われていることを以下のとおり確認したことから、ストレステストに係る関西電力の品質保証の取組は妥当なものと判断した。

- 関西電力が、ストレステスト及び事業者報告書の作成にあたって、JEAC 品質保証規程を適用して構築した品質マネジメント・システムに基づき総合評価に係る実施計画を策定し、同計画には調達先の作業を含めた評価の実施体制や、個々の作業の検証手法、調達管理の方法等が定められていることを確認した。
- 解析業務に関しては、「原子力発電所保修業務要綱指針」及び「原子力発電所請負工事一般仕様書に関する要綱指針」に基づき、それぞれ関西電力が実施する業務及び調達先に依頼するものについて品質保証の取組を明確にし、検証を実施していることを確認した。
- 関西電力が実施する解析業務のうち、単独部署で作業が行われる津波に対する浸水量等の評価について、許容津波高さの再評価方法を策定し、同評価方法に基づき評価を行っていること、また自社の解析実施状況調査結果により

一連の作業プロセスを検証した結果を記録していることを確認した。また、複数の部署が関与して評価を行う作業については、複数のグループ間でのデータの受け渡しや評価手順を作業フローとしてまとめ、ストレステストにおける評価業務実施計画書（評価フロー及び実施状況確認チェックシート）を定めていること、同計画に基づき一連の作業プロセスについて検証を行い、自社の解析実施状況調査結果を記録していることを確認した。

- 調達先に依頼する解析業務については、関西電力による「原子力発電所請負工事一般仕様書」に従った解析業務計画書が調達先において作成されており、同計画書の中で解析の作業フローや解析結果の妥当性の検証方法が明確化され、関西電力に提出されていることを確認した。また、関西電力は、チェックシートを用いて調達先において一連の作業プロセスが適切に行われているか否かをチェックし、調達先の解析実施状況調査結果として結果を記録していることを確認した。
- 事業者報告書については、ストレステストに影響を与える数値等の誤りがないか等を調査するため、調査目的、調査体制、調査手順等を明確化した調査実施計画を定めていることを確認した。また、同計画に基づき、調査担当部署の担当者及び役職者等がダブルチェックを行い、評価結果に影響を及ぼす数値等について信頼性のあるエビデンスとの照合、本文と添付資料の整合性の確認等を実施し、事業者報告書の調査結果及び調査結果の確認結果を記録していることを確認した。また独立の品質保証グループがその調査実施プロセスの適切性を確認し、品質保証グループの確認結果を記録していることを確認した。

5. 地震に関する評価

本章においては、関西電力により、設計上の想定を超える地震動が発電所に来襲した場合に、燃料の重大な損傷に至ることなく、どの程度の地震動まで耐えられることができるかの評価が適切に行われたかどうかを確認した。

関西電力の評価においては、まず、建屋、機器等が単体で有する裕度が評価され、その上で、これらの組合せにより大飯発電所3号機あるいは4号機のシステム全体として有する裕度が評価されており、システム全体としての評価はイベントツリーを用いて行われ、クリフェッジの所在の特定、限界となるイベント過程、その時の地震動の大きさについて評価がなされている。

建屋、機器等が単体で有する裕度の評価については、評価のベースとなる地震動が適切に設定されているか、検討対象とすべき機器等の設備が適切に選定されているか、評価の手法は適切か、経年劣化は適切に評価されているか等を確認した上で、裕度が適切に算出されているかを確認した。

システム全体としての評価については、想定を超える地震動により引き起こされる事象（起因事象）やその場合の収束シナリオの特定、クリフェッジの特定等が適切になされているかを確認した。なお、確認は、運転中の原子炉に対する評価及び使用済燃料ピット（以下「SFP」という。）に対する評価のそれぞれについて実施した。

また、燃料の重大な損傷防止のための措置や対策の効果についても確認した。その際は、当院の指示に基づいて実施した緊急安全対策等の効果を確認するとともに、その後に実施した対策の効果を合わせて確認した。

その結果、当院は、関西電力が実施した設計上の想定を超える地震動が発電所に来襲した場合の評価について、適切に実施されたと考える。以下、当院が確認した内容の詳細を記載する。

なお、検討対象とすべき機器や燃料の重大な損傷を防止するための措置等に対して波及的な影響を及ぼす可能性がある地震随伴事象、例えば、原子炉建屋の周辺斜面の安定性や、原子炉格納容器内及びSFPへのクレーン類の落下等についても、システム全体の評価に及ぼす影響の観点から検討を行った。

5. 1 機器等の耐震裕度の評価について

(1) 評価に用いる地震動について

関西電力は、本評価に用いる地震動は「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（平成18年9月19日、原子力安全委員会決定）」（以下「耐震指針」という。）及び「新耐震指針に照らした既設発電用原子炉施設等の耐震安全性の評価及び確認にあたっての基本的な考え方並びに評価手法及び確認基準について

て（平成 18 年 9 月 20 日、原子力安全・保安院）」に基づき策定した基準地震動（以下「Ss」という。）としている。

当院としては、ストレステストにおいては、どの程度の地震動まで燃料の重大な損傷を発生させることなく耐えられるか、また、設計上の想定に比べその裕度はどの程度のものかを調べるものであり、その地震に関する評価のベースとして大飯発電所に対して設定された Ss を用いることは妥当なものと考える。

ストレステストで用いられ、耐震バックチェック（平成 18 年 9 月 20 日に当院が各電力会社等に対して実施を指示した、稼働中及び建設中の発電用原子炉施設等に対する耐震指針に照らした耐震安全性評価）に係る審議において耐震指針等に照らして妥当なものと判断した Ss の策定方法及びその結果は以下のとおりである。

- 大飯発電所に関する Ss の策定方法については、詳細な地質調査等に基づき耐震設計上考慮すべき活断層を評価した上で、活断層による複数の地震について、敷地への影響の大小を比較し、特に影響の大きな地震を、Ss 策定のための検討用地震として複数を抽出している。複数の検討用地震に対して、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基づく地震動評価の双方を実施し、これらの地震動評価結果を比較し包絡する等して Ss を策定している。
- 検討用地震については、耐震設計上考慮すべき活断層による地震のうち敷地への影響の大きなものとして、熊川断層、上林川断層及び F0-A～F0-B 断層による地震が抽出されている。
- Ss-1（最大加速度：水平 700 ガル、鉛直 468 ガル）については、検討用地震に対する応答スペクトルに基づく地震動評価の結果から、これらを包絡するように策定されている。
- Ss-2（最大加速度：水平 326 ガル（NS 方向）及び 591 ガル（EW 方向）、鉛直 468 ガル）及び Ss-3（最大加速度：水平 450 ガル（NS 方向）及び 520 ガル（EW 方向）、鉛直 468 ガル）については、検討用地震に対する、断層モデルを用いた手法に基づく地震動評価の結果と Ss-1 を比較した上で、Ss-1 を一部の周期帯で超えるものが策定されている。

また、平成 23 年 3 月 11 日に発生した平成 23 年東北地方太平洋沖地震（以下「今回の地震」という。）を受け、当院は、「地震・津波に関する意見聴取会」を開催し、東京電力株式会社福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所、東北電力株式会社女川原子力発電所並びに日本原子力発電株式会社東海第二発

電所における地震動の解析及び評価を行うとともに、今回の地震から得られた知見について整理し、原子力発電所等の耐震安全性評価に反映すべき事項を検討してきた。当院は、地震・津波に関する意見聴取会、関係機関等における検討、調査等を踏まえ、原子力発電所の速やかな耐震安全性確保の観点から、耐震安全性評価にあたって検討すべきものとして、以下の事項を中間的にとりまとめ、原子力事業者等に対して、これらを踏まえ活断層の運動性について検討を実施し、平成24年2月29日までに当院に検討結果を報告することを指示した。

- 内陸地殻内の活断層の運動性の検討において、活断層間の離隔距離が約5キロメートルを超える活断層等その運動性を否定していたものに関し、地形及び地質構造の形成過程（テクトニクス）、応力の状況等を考慮して、運動の可能性について検討すること。
- 上の項目の検討にあたって、活断層の運動を否定する場合は、過去に当該地域において発生した最大規模の地震から推定される断層の長さを主な根拠としないこと。

大飯発電所においては、Ssを策定するための検討用地震の対象とされている活断層のうち熊川断層及びF0-A～F0-B断層が、上記の指示内容の主な検討対象となるものと考える。当院としては、関西電力の検討に係る報告結果について、「地震・津波に関する意見聴取会」において厳正に確認する。

したがって、現行の大飯発電所に関するSsについては、耐震バックチェックに係る審議において耐震指針等に照らして妥当なものと判断されたものであるが、今後、Ssの見直しが行われた場合は、本ストレステストで評価された裕度が変更される可能性があるものと考える。

（2）検討対象設備について

関西電力は、評価対象とする建屋、系統、機器（以下「設備等」という。）を、燃料の重大な損傷に係わる耐震Sクラス設備及びその他のクラスの設備等とし、各起因事象に直接関係する設備等に加え、フロントライン系（各イベントツリーの安全機能の達成に直接必要な緩和機能）及びサポート系（フロントライン系を機能させるために必要な電源や冷却水等を供給する機能）のそれぞれに必要な設備等を抽出したとしている。

なお、耐震Sクラスの設備等のうち、「支持構造物」、「クレーン」及び「原子炉トリップ遮断器」については、地震により安全機能の喪失に至ることが極めて考えにくいこと、また、「制御棒挿入性及び関連する設備」及び「支持構造物」

については、安全機能を失うまでの耐震裕度について、既往の知見等から少な
くとも 2 倍以上の裕度が存在することが明らかであることから、これらの設備
については、ストレステスト結果に影響を及ぼすことはないとし、裕度評価の
対象外としたとしている。

また、耐震 S クラス以外の設備で評価対象設備としたものとして、SFP 冷却系
等があるほか、緊急安全対策等で整備した空冷式非常用発電装置、消防ポンプ
設備等を挙げている。

当院は、全ての耐震 S クラス設備等、緊急安全対策等で整備された設備及び
機能を期待する下位クラス設備等の中から、燃料の重大な損傷に係わる設備等
が裕度評価の対象として選定されているか、一部の耐震 S クラス設備等を対象
外としていることは適切かということについて、その妥当性を確認した。

具体的には、耐震裕度評価における対象設備の選定の考え方、選定プロセス
の妥当性を確認した上で、全ての耐震 S クラス設備等、緊急安全対策等で整備
された設備及び機能を期待する下位クラス設備等について、損傷モード（構造
的な損傷、機能的な損傷等）、 S_s に対して発生する応力等の値、許容値等を確認
した。また、耐震裕度評価の対象外とされた耐震 S クラス設備については、対
象外として扱う具体的な理由と根拠が妥当であることを確認した。その結果は
以下のとおりである。

- 耐震バックチェックで対象とした耐震 S クラス設備等に加え、ストレステス
トにおける各起因事象に関連する設備等及び各起因事象の緩和シナリオに
おいて必要な設備等が全て選定され、耐震裕度を算定するための基礎データ
として損傷モード、発生値、許容値等が一覧表に全て示されていることを確
認した。
- 耐震裕度評価の対象外とされた耐震 S クラス設備等については、地震の揺れ
に伴う荷重や変形等が安全機能喪失に直接に結びつくものではなく、かつ、
安全機能の喪失や波及的影響の発生に至るまでに大きな余裕がありストレ
ステストの結果に影響を及ぼさないことを、既往の試験や解析の成果等によ
って確認した。詳細は以下のとおりである。なお、安全機能の喪失や波及的
影響の発生に至るまでの余裕が 2 倍の S_s 以上あれば、後述（「5. 2 クリ
フエッジの特定」）のとおりクリフエッジとして特定した設備の耐震裕度で
ある 1.8 倍の S_s を上回っていることから、ストレステストの結果に影響を
及ぼさないものとして扱った。
- ✓ 「制御棒挿入性及び関連する設備」については、既往の制御棒挿入試験
や実機条件での解析結果を基に、設計に用いる地震動を大きく超えるよ
うな地震動 (S_s の 2 倍を超える約 1,560 ガルの地震動) に対して制御棒

が全挿入されること、挿入経路の設備（制御棒駆動装置、制御棒クラスタ案内管、燃料集合体）について構造強度面での耐力評価に大きな余裕（ S_s の 3 倍を超える約 2,100 ガル以上の地震動に対する発生応力が許容値以内）があること等が確認されている。

- ✓ 「支持構造物」については、配管系耐震試験等、既往の実証試験において、設計荷重を超えるような地震荷重に対して、損傷が本体の安全機能喪失に至るまでには大きな余裕があることが確認されている。また、対象外とする「支持構造物」については、既往の実証試験等において実績があるものが選定されている。その詳細については以下のとおりである。
 - 大飯発電所 3 号機及び 4 号機に用いている配管スナバについては、既往研究等により、 S_s の 2 倍以上の裕度が見込まれる。
 - 静的機器の基礎ボルトについては、解析的な検討により、基礎ボルト応力が許容値に達する荷重の更に 2 倍の荷重を負荷しても引張強さ以下であること、コンクリート定着部についても、引張荷重において設計許容荷重が限界荷重に対し有する安全余裕 ($1/0.6 = 1.66$)、コンクリート圧縮強度の実強度と設計基準との間の余裕 (1.5 以上) から S_s の 2 倍以上の裕度が見込まれる。
- ✓ 海水ポンプ室については、屋外重要土木構造物として支持機能の保持及び、損傷による波及的影響の防止を検討する必要があるが、工事計画認可及び耐震バックチェック（以下「既往の評価等」という。）で実績のある性能照査手法による解析を実施し、 S_s の 2 倍以上の裕度がある。
- ✓ 原子炉建屋の PCCV ドーム部及び原子炉建屋の屋根鉄骨部については、その落下による波及的影響を検討する必要があるが、 S_s の 2 倍の地震動に対する地震応答解析結果から算定される応力等の発生値が許容値を十分下回る。
- ✓ 「クレーン」（ポーラクレーン、補助建屋クレーン及び SFP クレーン）については、落下による波及的影響の防止を検討する必要があるが、クレーンガーダの全長が、ランウェイガーダ（クレーンの両端をそれぞれ支持する梁）間の開口寸法より大きく、また、クレーンガーダと建屋の躯体との隙間が小さいことから、転倒・浮上りによる落下が極めて考え難い構造である。さらに、耐震バックチェックにおける評価結果等に基づき、クレーンガーダの浮上り量やトロリの転倒（浮上り）防止装置の健全性については、 S_s に対するクレーンガーダの浮上り量が落下に必要な浮上り量に達するまでに 2 倍を大きく超える裕度があり、トロリの転倒防止装置の損傷に対しても S_s の 2 倍以上の裕度がある。また、ランウェイガーダ等の支持性能については、 S_s に対する発生値が許容値に対

して 2 倍以上の裕度がある。これらのことから、後述（「5. 2 クリフエッジの特定」）のとおりクリフエッジとして特定した設備の耐震裕度である 1.8 倍の Ss が発生した場合であっても、クレーンガーダ及びトロリが転倒、落下することはない。

- ✓ 「原子炉トリップ遮断器」については、既往の機器耐力試験において、耐震許容値を超えた場合の挙動として、操作機構部が損傷することなく、かつ、遮断器の投入状態を保持できなくなることにより開放し、その結果としてトリップボタンが作動する安全側の動作となる構造である。

以上を確認した結果、当院は、耐震裕度評価の対象設備の選定は妥当なものと考える。

（3）評価手法及び評価条件について

関西電力は、耐震裕度の評価にあたって、原子炉建屋及び原子炉補助建屋の解析モデル、並びに機器・配管系の解析モデルとして応答性状を適切に表現できる解析モデルを設定した上で応答解析を行ったとし、解析諸元については、設計時の値を基本とするが、実寸法、実測の物性値及び試験研究等で得られた知見も適用したとしている。

当院は、解析モデル、解析手法及び解析諸元の妥当性について確認した。

まず、原子炉建屋、補助建屋、機器・配管等に関する耐震裕度の評価が、既往の評価等において実績のある解析手法及び解析条件を基本的に適用して行われており、妥当なものであることを、関西電力が示す資料によって確認した。主に確認した点は以下のとおりである。

- 原子炉建屋及び補助建屋の地震応答解析モデルについては、耐震バックチェックに適用したモデルが用いられている。具体的には、原子炉建屋は、建屋と大型機器を連成させた多軸の質点系曲げせん断棒モデルとし、地盤を等価なばねで評価した建屋-地盤連成モデルとし、補助建屋は、建屋を一軸の質点系曲げせん断棒モデルとし、地盤及び建屋基礎の 3 次元有限要素法 (FEM) モデルを用いた建屋-地盤連成モデルとしている。また、いずれの建屋のモデルにおいても剛床を仮定している。
- 機器・配管系の地震応答解析モデルについては、既往の評価等において実績のあるモデルが適用され、機器・配管系の応答性状を適切に表現できるモデルが設定されている。具体的には、1 次冷却設備の地震応答解析においては、1 次冷却設備を構成する、原子炉容器を中心とした SG・1 次冷却材ポンプ・1 次冷却材配管からなる複数の 1 次冷却ループをモデル化した 3 次元はり質

点系とし、建屋モデルと連成させた解析モデルとしている。

- 水平方向及び鉛直方向の地震力の組合せ方法については、原子炉容器、SG 及び 1 次冷却材ポンプ等の評価にあたっては、水平方向及び鉛直方向について、それぞれ建屋一機器・配管系の連成応答解析が行われ、また、比較的小型の機器については、当該設備の据付床の水平方向及び鉛直方向それぞれの床応答スペクトルを用いた応答解析等が行われ、その後、二乗和平方根 (SRSS) 法等により組み合わされている。
- 構造強度評価については、当該設備の地震時の機能保持を確認する観点から重要な評価箇所が選定され、既往評価等において実績のある手法としてスペクトルモーダル解析または時刻歴応答解析法等により評価がなされ、解析諸元については設計時の値が基本とされている。
- 動的機能維持評価については、地震時に動的機能が要求される動的機器の設置位置における Ss による応答加速度と許容値の比較により評価を行うとされており、機能確認済加速度が設定されていない機器、Ss による応答加速度が機能確認済加速度を上回る機器もしくは裕度をより精緻に求めている機器については、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」等における考え方に基づき、対象部位毎の構造強度評価または動的機能維持評価が行われている。
- 減衰定数については、既往の評価等において妥当性が確認されている値が用いられている。

次に、耐震バックチェックにおける評価結果があるものの、敢えて、耐震バックチェックと異なる評価部位・解析条件等を用いているものについて、その妥当性を確認した。また、耐震バックチェックで対象としていない耐震 S クラス以外の設備等が評価対象とされていることについて、当該設備等に係る評価内容の妥当性を、関西電力が示す資料によって確認した。その結果は以下のとおりである。

- 耐震バックチェックと異なる評価を用いていることについては、以下のとおり、ストレステストの目的である耐震裕度の把握をより実状に近づけ、精緻化するためになされたものと考えられることから妥当なものと考える。
 - ✓ 評価部位に相違のある設備としては、原子炉容器、SG 等がある。これらについては、耐震バックチェックでは、地震荷重と地震以外の荷重（常時荷重、運転時荷重等）を組み合わせた場合の発生値と許容値を比較し最も耐震裕度が小さい部位を特定しているが、ストレステストでは、荷重分析等を基に、地震荷重による発生値と地震以外の荷重による発生値を分離し、地震荷重だけがどれだけ増加すれば許容値に達するかを考慮

- して、地震荷重に対する耐震裕度をより詳細に算定した上で、最も耐震裕度の小さい評価部位が抽出されているため、評価部位が異なっている。
- ✓ 耐震バックチェックと異なる解析条件を用いた設備として、海水ポンプ及び SG 伝熱管がある。これらについては、床応答スペクトルを拡幅しないでスペクトルモーダル解析を実施しているが、これは、設備の実力をより忠実に反映する観点から、実機の構造を踏まえ実機の振動特性を適切に模擬できる解析モデル（海水ポンプ：ロータとケーシングを別々にモデル化し双方の接触部をばねでモデル化。SG 伝熱管：後述「(4) 許容値」）のとおり。）を用いた上で、時刻歴解析に準じる手法として採用している。なお、海水ポンプの解析に用いる床応答スペクトルについては、それを支持する海水ポンプ室及び地盤系の 2 次元 FEM モデルを用いて地震応答解析を実施し算定している。
 - 耐震 S クラス以外の設備等に関し、C-SFP 冷却器の耐震性評価については、既往試験の知見及び耐震 S クラス設備での評価実績等からバウンダリ機能は維持でき、また、側板及び支持脚を対象とした評価の結果から、S_s の 2 倍以上の耐震裕度を有している。
 - 耐震 S クラス以外の設備等に関し、緊急安全対策等で整備した設備のうち空冷式非常用発電装置については、S_s の α 倍の地震動を入力値とした非線形の地震応答解析を実施し、その結果から少なくとも S_s の 1.84 倍までの地震動に対して転倒することなく、機能上の損傷もないことが確認されている。なお、消防ポンプ及びホースについては地震の影響がないように保管され、耐震裕度の評価を要しない設備としている。

以上のことから、当院は、設備等に関する地震応答解析手法及び応力評価手法、並びに評価条件は妥当なものと考える。

(4) 許容値について

関西電力は、設備等の安全裕度評価に用いる許容値について、設計基準上の許容値を用いることを基本としつつ、構造強度に係る許容値については、必要に応じ、基準で規定されている以外の許容値を、その妥当性を示した上で用いたとしている。また、動的機能に係る許容値について、既往の評価等で実績のあるものを機能確認済加速度として用い、設備の実力をより忠実に反映する観点で詳細評価を実施する場合には、部位毎の動的機能維持に係る許容値として、個別に試験等で妥当性が確認されている値を用いたとしている。

当院は、設備等の耐震裕度評価に用いる許容値の妥当性について、構造強度

に関するもの、動的機能に関するものそれぞれについて確認した。

まず、既往の評価等で実績のある許容値、すなわち、構造強度については基準で定められた許容値、また、動的機能については機能確認済加速度を用いている設備等については、妥当なものであることを、関西電力が示す資料によって確認した。その結果は以下のとおりである。

- 構造強度評価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-補・1984, JEAG4601-1991 追補版」及び「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005」等に準拠しており、既往の評価等で実績のあるものが基本的に用いられている。
- 動的機能維持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 JEAG4601-1991 追補版」に基づく値または既往の試験において確認された値等、既往の評価等で実績のあるものが基本的に用いられている。
- 動的機能維持に係る詳細評価については、構造強度評価の評価基準値として既往の評価等で認められている値が用いられ、部位毎の動的機能維持の許容値については、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」における考え方に基づき、個別に試験等で妥当性が確認されている値が用いられている。

次に、耐震バックチェックにおける評価結果があるものの、敢えて、耐震バックチェックと異なる許容値を用いているもの、すなわち、設計基準上の許容値を用いていないものについて、その妥当性を確認した。

設計基準上の許容値を用いていないものは、原子炉建屋及び原子炉補助建屋と SG 伝熱管である。これらについては、以下のとおり、ストレステストの目的である耐震裕度の把握をより実状に近づけ、精緻化するためになされたものと考えられ、また、既往の試験、解析等の知見を必要に応じて参考・整理し、精緻化した解析手法や解析モデル等により分析した設備の応答性状を踏まえた上で、適用可能であることが示されていることから妥当なものと考える。その結果は、以下のとおりである。

- 「原子炉建屋及び原子炉補助建屋」について、耐震バックチェックにおいては、耐震壁の機能維持限界のせん断ひずみ度 2.0×10^{-3} が使用されているのに対して、ストレステストにおける耐震裕度の評価においては、耐震壁の終局せん断ひずみ度 4.0×10^{-3} が使用されている。これらの限界については、いずれも既往の評価等で実績があるが、建屋に求められる機能維持に係る耐震裕度評価において終局せん断ひずみ度を用いて差し支えないか検討した。建屋に求められる機能は、安全上重要な設備への波及的影響の防止、支持機能の保持、漏えい防止機能の保持であり、これらの機能それぞれに関して、

既往の試験・解析等の知見を整理した結果を確認し、終局せん断ひずみ度においても、建屋に求められる機能の実耐力が確保されるものと考える。なお、耐震壁の終局せん断ひずみ度 4.0×10^{-3} については、複数の形状の壁（ボックス型、円筒型等）に対する既往の試験成果から、最大耐力時のせん断ひずみの平均値（約 6.0×10^{-3} ）に対して 1σ 程度の余裕を考慮して設計上の終局値として設定されたものである。

- ストレステストにおける「SG 伝熱管」の強度評価においては、JEAC4601-2008 に定められた許容値 ($2.4Sm^*$ または $2/3Su^*$ のうち小さい方の α (形状係数) 倍) の代わりに Su の α 倍を使用している。これに関し、実機の構造や模擬試験体による振動試験等に基づき、解析モデルを 3 次元モデルとして精緻化し、地震応答解析を実施した上で構造強度を適切に評価している。SG 伝熱管は、曲げ半径の異なる数多くの逆 U 字形状の細管を組み合わせて半球状に束ねた管群を成すものであり、逆 U 字形の半径方向（面内）と半径方向に対し直角方向（面外）の振動特性がある。また、同一面内の半球状の管群には、振止め金具が挿入されているため、面内振動及び面外振動ともに伝熱管が一体となって振動し、管群内で変形によるひずみは制限される特性がある。今回の許容値の変更は、設備の構造や振動特性を踏まえ、耐震裕度の把握をより実状に近づけるために、従来 $2/3Su$ としていたものを Su に変更したものであるが、上記のように SG 伝熱管はひずみが制限される振動特性を有するため、弾性解析での応力評価値が Su に達した場合であっても、生じるひずみは破断ひずみに比べて十分小さいことから、破壊に至るまでには余裕がある。

* Sm : JSME 設計・建設規格に定められる設計応力強さ

Su : JSME 設計・建設規格に定められる設計引張強さ

また、電気盤の動的機能に係る許容値については、BWR 型の原子炉施設においては既往の評価等で実績があるが、PWR 型の原子炉施設においては既往の評価等の実績が不足していることから、その許容値の妥当性を、関西電力が示す資料によって確認した。その結果は以下のとおりである。

- 電気盤の動的機能維持に関する評価は、JEAC4601-2008 に基づく手順により検討されている。
- 耐震裕度が Ss の 2.5 倍程度以下である①主盤・原子炉補助盤、②メタルクラッドスイッチギア（以下「メタクラ」という。）、③パワーセンター、④直流水盤、⑤ドロップ盤及び⑥ディーゼル発電機制御盤を対象とし、これらの機能維持確認済加速度の設定について、評価対象とする器具（内部部品）、各器具の機能維持確認試験の概要、機能維持確認済加速度の設定値を精査し

た。その結果、評価に用いられた試験結果の出典や試験方法が明らかであり、それらの内容が信頼性を有していると考えられることから、ストレステストに用いる判定根拠として妥当なものと考える。なお、機能維持確認済加速度には、試験の条件（試験の目的に応じた試験仕様、試験装置の限界性能等）により、機能限界に達していないが、当該加速度まで機能が確保されたとして設定されるものと、実際に器具の機能限界に達した加速度を確認することにより設定されるものがあるが、後述の「5. 2 クリフエッジの特定」においてクリフエッジとして特定した設備であるメタクラ、パワーセンターの耐震裕度評価において用いられている機能確認済加速度は、試験の条件により設定されているもののうち試験装置の限界性能によるものである。)

なお、IAEA の勧告において「適切な信頼性を有する許容安全余裕の定義が明確にされ、事業者に伝えられることを確実にすべきである。」とされていることを踏まえ、設備等の評価における保守性について以下の通り考察した。

- 原子力施設等の耐震設計体系における保守性は、基準地震動の設定後においては、設備等の応答評価及び許容限界の設定の各段階に存在する。具体的には、設備等の応答評価の段階では、入力する地震動に対して応答を大きく算出するような評価方法、評価条件が採用されていることに、また、許容限界の設定の段階では、実際に機能喪失する限界に対して相当の裕度をもった限界が設定されていることに、保守性が存在する。
- 設備等の応答評価において保守性を与える要素として、主なものを以下に例示する。
 - ✓ 建屋の応答解析においては、コンクリート強度として実強度より低い設計基準強度を用いていること、せん断応力とせん断ひずみの復元力特性としてエネルギーの吸収による減衰効果を期待していないこと等、ひずみ等の応答が大きく算出されるよう設定されている。
 - ✓ 機器・配管の応答解析においては、減衰定数として実験データの下限値に余裕をとった値を採用する等、加速度、応力等の応答が大きく算出されるよう設定されている。
- 許容限界の設定において保守性を与える要素として、構造強度に対する許容値及び動的機能維持に関する許容値に関するものを以下に例示する。
 - ✓ 構造強度に対する許容値は JSME 設計・建設規格、JEAG4601 等によるものが用いられているが、これらの許容値は元々 ASME の規定を基に設定されており、諸外国で広く用いられている信頼性の高いものである。なお、規格における S_u 値については、材料試験値を基に 1% 破損確率限界値を上回らないように設定されており、それ自身に高い信頼性を持つもので

ある。

- ✓ 動的機能維持に関する許容値は、前述の電気盤のように試験装置の限界性能によるものが多く、限界値までに相当の余裕がある値が設定されているものと考える。

したがって、ストレステストの評価においては、これらの保守性を含む耐震裕度の評価が実施されており、信頼性を有するものとなっていると考える。ただし、全てが定量的に把握されているわけではなく、今後の二次評価も含めて段階ごとに整理、考察して検討していくことが必要である。

以上のことから、当院は、本評価で用いる構造強度及び動的機能に係る許容値は妥当なものと考える。

(5) 経年劣化について

関西電力は、PWR プラントの高経年化技術評価における耐震安全性評価の知見を踏まえ、耐震安全上考慮すべき経年変化事象を抽出し、これらのうち、本評価時点で当該プラントにおいて事象の発生が認められていないもの、さらに、プラント運転と地震による影響を比較した結果として耐震裕度の値に影響しにくいものを対象外とした上で、考慮する経年変化要素と対象設備及び部位を抽出し、経年変化の影響を加味した耐震裕度を算出したとしている。

当院は、考慮すべき地震に係る経年変化が網羅されているかどうかを確認するため、評価対象外とした事象の考え方が妥当か、また評価対象とした設備等に対する経年変化の考慮の仕方が妥当かを検討した。

具体的には、同型炉型の高経年化対策（以下「PLM」という。）の評価実績を踏まえて、経年変化要素の網羅性、耐震性への影響度合いを考慮した要素の選定、当該要素が顕在化する可能性がある設備及び部位の選定が適切に実施されていること、また、評価にあたって考慮すべき要素ごとの評価条件、評価方法が適切に適用されていることを、関西電力が示す資料によって確認した。その結果は以下のとおりである。

- 大飯発電所 3 号機及び 4 号機については、ともに運転開始後約 20 年超であり、運転開始後 30 年を超える高経年プラントに対して実施される PLM 評価は未実施であるが、関西電力の美浜発電所 1~3 号機、高浜発電所 1 号機及び 2 号機、大飯発電所 1 号機及び 2 号機に対する既往の PLM 評価実績を踏まえ、評価対象設備の主要な部位に想定される経年変化事象を網羅的に検討し、耐震安全性評価上着目すべき経年変化事象（応力腐食割れ、腐食、脆化、疲

労割れ、摩耗) が適切に抽出されている。

- ストレステストの目的を勘案した上で、評価対象機器・部位に対して想定される経年変化事象に当該プラントの保全実績及び耐震裕度への影響を考慮し、当該プラントにおいて事象の発生が認められていないもの（応力腐食割れ、脆化、摩耗）、及びプラント運転と地震による影響を比較した結果として耐震裕度の値に影響しにくいもの（疲労割れ）を対象外として、ストレステストにおいて考慮すべき経年変化事象（流れ加速型腐食）が適切に抽出されている。詳細は以下のとおりである。
 - ✓ 応力腐食割れについては、定期的に試験、検査を実施し、有意な欠陥がないことが確認されている。なお、配管等の応力腐食割れについては、発生が懸念される箇所に対して測定、調査を実施した結果を踏まえて予防保全工事が実施されている。
 - ✓ 脆化については、中性子照射脆化に対して超音波探傷検査を実施し、有意な欠陥がないことが確認されるとともに、監視試験片による試験等を実施し運転管理上の制限を設け運用がなされている。
 - ✓ 摩耗については、定期的に摩耗等による異常がないことが確認されるとともに、摩耗が僅かに生じたとしても設備に求められる機能に影響がないことが試験等により確認されている。
 - ✓ 疲労割れについては、定期的に超音波探傷検査を実施し、有意な欠陥がないことが確認されるとともに、運転による累積疲労が設計時に設定された条件に対して小さいことが確認されている。
 - ✓ 配管の流れ加速型腐食については、減肉配管の管理指針に基づき肉厚管理を行い、必要最小肉厚を下回らないよう管理されているが、主給水配管については、「JSME 配管減肉管理に関する技術規格」で管理が要求される、環境の厳しい配管であるため、評価対象事象、設備として抽出されている。
- 以上を踏まえ、考慮すべき経年変化事象としては、主給水系配管の流れ加速型腐食による減肉事象が抽出され、当該事象を反映した耐震裕度評価がされている。また、その具体的な反映方法については、減肉想定部位（主給水系配管のエルボ部及びその下流部）について、通常の設計解析で用いる公称肉厚（21.4mm）ではなく、必要最小肉厚（13.5mm）まで一様減肉させた状態で配管系をモデル化し、設計評価と同等の荷重条件、応答解析手法、許容値を用いて、応答解析及び評価を行っており、これまでの PLM 評価の実績と整合している。なお、考慮すべき経年変化事象を反映して算定した主給水系配管の耐震裕度は S_s の 2.13 倍であり、「5. 2 クリフエッジの特定」においてクリフエッジとして特定した設備の耐震裕度である S_s の 1.8 倍に影響を

与えるものではない。

以上のことから、当院は、地震に係る経年変化の考慮は妥当なものと考える。

(6) 裕度の算出方法について

関西電力は、各設備の S_s に対する裕度として、当該評価対象設備の損傷モデルに応じた S_s に対する評価値と許容値から、評価対象設備毎に耐震裕度を求め、評価値が許容値に達する値を S_s との比で算出したとしている。なお、 S_s に対する評価値と許容値から耐震裕度を算定しにくい一部の設備等については、 S_s を係数倍した地震動を用いた地震応答解析を実施して、直接、耐震裕度を算定している。

当院は、設備等の耐震裕度の算出方法の妥当性について、関西電力が示す資料によって確認した。

設備等の耐震裕度の算出方法については、平成 23 年 7 月に当院が示した際には、設計上の想定を超える程度に応じて、設備等の発生値と許容値等を比較し、機能喪失するか否かを評価して、その限界となる値を求め、これを裕度として算出することとしている。関西電力は、地震動の増加に伴って設備等の地震応答解析による発生値が線形的に増加していく傾向にあるものについては、 S_s に対する評価値と許容値の比較から耐震裕度を算出する一方、そのような傾向にないもの（一般的には、入力に対して応答が比例しないような場合、応答が非線形であるという。）について、 S_s を係数倍した地震動に対する評価値と許容値の比較から耐震裕度を算出している。

これらのうち、 S_s に対する評価値と許容値の比較から耐震裕度を算出する方法については、「(3) 評価手法及び評価条件について」及び「(4) 許容値について」で当院が確認した値を算出根拠としていることから、妥当なものと考える。

また、 S_s を係数倍した地震動に対する評価値と許容値の比較から耐震裕度を算出しているものとしては、原子炉建屋及び原子炉補助建屋があり、これらについて水水平方向に関して 2 倍の S_s に対する地震応答解析が実施され、RC 造耐震壁のせん断ひずみが終局限界付近であることにより、この 2 倍の S_s が耐震裕度とされている。当院は、このように設計レベルを大きく超える範囲の評価であることから、当該解析の条件、手法の適用性、結果等の詳細を提示するよう関西電力に指摘した。

その結果、原子炉建屋及び原子炉補助建屋ともに、設計レベルを大きく超える範囲であっても適用可能な解析の条件、手法が採用されているが、基礎の接

地率等については、基礎浮上りによる誘発上下動の影響を検討するためのめやす値である 65%を下回ることから、基礎浮上りによる誘発上下動が設備の耐震裕度の評価に及ぼす影響を、関西電力が示す資料によって確認した。

また、原子炉建屋及び原子炉補助建屋ともに、2 倍の Ss に対する応答が非線形の領域に達しており、建屋の剛性低下等の影響により建屋の床応答スペクトルの特性が変わり建屋に設置している機器・配管系の耐震裕度の評価結果や後述（「5. 2 クリフェッジの特定」）のクリフェッジの特定結果が変動する可能性があることから、建屋応答の非線形性（建屋の剛性低下により振動特性が変化し応答が非線形となる。）がストレステストに及ぼす影響を、関西電力が示す資料によって確認した。

これら 2 点について重点的に確認した結果は以下のとおりである。

1) 基礎浮上りによる誘発上下動が設備の耐震裕度の評価に及ぼす影響

- 原子炉建屋については、地震応答解析モデルのうち、建屋、地盤間の相互作用ばねに付着力を考慮して解析した結果、基礎の接地率等がめやす値の 65% を上回る数値となったこと、付着力を考慮したものとそうでないモデルによる床応答の差異が小さいことから、誘発上下動の影響は軽微である。
- 原子炉補助建屋については、地震応答解析モデルのうち、基礎と地盤の間の付着力に関して、大飯発電所の岩盤から採取した試験体の直接引張試験における、最小値に余裕を考慮した値 (0.3N/mm^2) から平均値 (0.87N/mm^2) に変更して解析した結果、基礎の接地率等が 97%程度まで改善されたこと、水平動による誘発上下動成分が鉛直動による鉛直成分に比して小さいことから、誘発上下動の影響は軽微である。

以上より、基礎浮上りによる誘発上下動が応答に及ぼす影響に関しては、原子炉建屋及び原子炉補助建屋について、基礎と地盤の間の付着力として、より現実的な値を考慮して解析した結果、基礎の接地率等が改善されるとともに、設備の評価に用いる床応答スペクトルにおいて基礎浮上りによる誘発上下動の影響が軽微であり、設備の耐震裕度の評価への影響は極めて小さいものと考える。

2) 建屋応答の非線形性がストレステストに及ぼす影響

- 後述（「5. 2 クリフェッジの特定」）のクリフェッジとなるイベントツリーについて、イベントツリーを構成する緩和機能において最小裕度となる設備（9 設備）を対象に、Ss から α 倍（主には $\alpha=2.0$ ：原子炉建屋及び原子炉補助建屋の耐震裕度が 2 倍の Ss を入力値とした地震応答解析により求めら

れているため) の S_s に建屋への水平方向の入力を増加させた場合の設備の応答倍率(以下、単に「応答倍率」という。)を算定した結果、応答倍率が 1 をほぼ下回り、減衰効果が見られる。したがって、 α 倍の S_s を入力値とした建屋の地震応答解析を基に算定した耐震裕度を用いれば、耐震裕度の向上が見込まれるが、 S_s を入力値として同様に算定した耐震裕度を用いることにより、安全側の(ほぼ同程度の、または小さい)耐震裕度を算定していることを確認した。その詳細は以下のとおりである。

- ✓ 地震応答解析結果の最大応答加速度等を評価値として用いている設備として、燃料取替用水ポンプについては、応答倍率が 1.02 であり入力とほぼ同程度となり、裕度もほぼ同程度となること、地震加速度計、原子炉補機冷却水ポンプ、メタクラ、パワーセンター、直流き電盤及びタービン動補助給水ポンプについては、応答倍率が 0.93~0.99 であり、 α 倍の S_s を入力とした方が 1 割以内の減衰効果があり、1 割以内の裕度向上が見込まれる。
- ✓ 地震応答解析結果による荷重を基に算定した応力等を評価値として用いている設備として、海水ポンプについては、応答倍率が 1.01 であり入力とほぼ同程度となり、裕度もほぼ同程度となること、余熱除去系配管については、応答倍率が 0.80 であり、 α 倍の S_s を入力とした方が 2 割程度の減衰効果があり 2 割程度の裕度向上が見込まれる。
- ✓ 応答倍率の傾向に関する考察として、余熱除去系配管については、当該配管の設置位置における床応答スペクトルが、建屋の非線形応答の影響により当該配管の複数の固有周期帯より長周期側にやや変化し、応答に影響のある複数の固有周期において床応答スペクトルが低下し、建屋の非線形応答の影響による低減効果が他の設備より大きくなったものと考える。余熱除去系配管以外の設備については、剛性の高い機器であり応答に影響のある固有周期が短周期側で、かつ周期も限られているため、建屋の非線形応答の影響による低減効果が相対的に小さくなるか、または僅かに増加したものと考える。
- S_s から α 倍の S_s に入力を増加させた場合等の応答倍率を基に建屋応答の非線形性を簡易的に考慮した耐震裕度を算定し、イベントツリー上で比較した結果、影響緩和機能の耐震裕度に若干の変動があるものの、後述(「5. 2 クリフエッジの特定」)のクリフエッジの特定結果(1.80)に影響が無いことを確認した。その詳細は以下のとおりである。
 - ✓ 起因事象の成功パスを構成する影響緩和機能の変動のうち、クリフエッジの特定結果(1.80)未満の耐震裕度の設備が変動(原子炉補機冷却水ポンプ: 1.75→1.89、海水ポンプ 1.78→1.77、燃料取替用水ポンプ: 1.64

- 1.61) し、成功パスにおける最小裕度の設備とその値が変わる。
- ✓ 地震加速度計、メタクラ及びパワーセンターについては、鉛直方向の線形解析により評価した値で耐震裕度が決まっており、鉛直方向の地震応答解析では非線形性の影響が出ないため、耐震裕度の値が変化しない。
 - ✓ 起因事象における成功パスのうちクリフェッジ (1.80) を特定するメタクラ、パワーセンターについては、非線形性を考慮する前と後で、クリフェッジの値及び対象設備は変わらない。

以上より、建屋応答の非線形性がストレステストに及ぼす影響に関しては、建屋応答が線形的に増加するものとして扱うことにより、建屋に設置された設備等の耐震裕度が、建屋応答の非線形を考慮した場合に比べ、安全側の（ほぼ同程度の、または小さい）値となることから、耐震裕度の把握の観点から支障無いものと考える。また、大飯発電所3号機及び4号機の評価結果においては、建屋応答の非線形性がクリフェッジの特定に影響しないことから、ストレステストの目的のひとつである弱点の把握の観点から支障無いものと考える。

以上のことから、当院は、設備等の耐震裕度の算出方法は妥当なものと考える。

なお、今回算出した、設備等の耐震裕度については、既往評価等において実績のあるモデル、解析条件等を用いた場合の検討結果であり、今後、さらに詳細なモデルを採用する等、モデル、解析条件を変更した場合には、耐震裕度の値が変わる可能性があるものと考える。

5. 2 クリフェッジの特定について

(1) 炉心に対する評価について

1) 関西電力による評価

地震を起因として炉心損傷に至る事象（以下「起因事象」という。）を、「原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準：2007」（以下「地震PSA学会標準」という。）に示される考え方に基づき選定した上で、各起因事象の影響緩和に必要な機能（以下「影響緩和機能」という。）を抽出し、各起因事象が発生した場合にも炉心損傷に至らない場合のシナリオ（以下「収束シナリオ」という。）を、イベントツリーを用いて特定したとしている（表5-1、表5-2）。

各起因事象の発生に直接関係する設備等の耐震裕度を評価した結果、起因事

象発生までの耐震裕度が最も小さいのは「主給水喪失」及び「外部電源喪失」であり、それぞれ Ss 未満の地震動においても耐震 C クラスの設備等（それぞれ主給水ポンプ、碍子等：発電所構内の母線などの電線を支持し、絶縁する磁器製の支持構造物等）の破損により当該事象が発生するとし、また、主給水喪失事象のイベントツリーを構成する影響緩和機能は外部電源喪失のイベントツリーに含まれることから、外部電源喪失について評価を行ったとしている。

外部電源喪失の収束シナリオを特定した上で、収束に活用される全ての影響緩和機能の裕度を評価した結果、耐震裕度は 1.80 倍の Ss であるとしている。なお、次に大きな地震動で発生する起因事象は、「補機冷却水の喪失」であるが、この場合の収束シナリオを分析した結果、耐震裕度は、外部電源喪失シナリオと同様の 1.80 倍の Ss であったとしている（図 5－1）。

同シナリオでは、起因事象発生後、原子炉の停止に成功するものの、非常用所内電源からの電源供給の喪失により全交流電源喪失に至る。この際、タービン動補助給水ポンプによる SG への給水と、主蒸気逃がし弁を手動操作で開放することで熱を放出し、2 次系による冷却を行う。また、蓄圧タンクのほう酸水の注入を行うことで未臨界性を確保し、蓄電池が枯渇するまでに空冷式非常用発電装置を繋ぎこみ給電を行うとともに、復水ピットの水が枯渇するまでに、消防ポンプを用いた海水の給水を行うことにより水源を確保し、2 次系冷却を継続することにより炉心損傷を防止することとしている。

また、この収束シナリオの中で最も裕度の小さい影響緩和機能及び当該影響緩和機能失敗の要因（以下「クリフェッジ」という。）の所在は、空冷式非常用発電装置による給電の失敗であり、当該影響緩和機能失敗の原因是、メタクラ、パワーセンターの機能損傷であり、それらの耐震裕度は 1.80 倍の Ss であると特定している。

2) 当院の評価

当院は、地震による起因事象の選定やクリフェッジの特定の妥当性を確認するため、ストレステストのクリフェッジ評価のための手順、起因事象の選定方法、イベントツリー、フォールトツリーの構築方法及びそれらの結果について、関西電力が示す資料によって確認した。確認したポイントは以下のとおり。

①起因事象の選定方法

起因事象の選定は、設置許可申請書添付書類十における起因事象、内的事象 PSA で考慮している起因事象を基に、地震に特有な事象を追加、統合、または地震により発生しないと考えられる事象を除外することで行っていることを確認した。

内的事象 PSA では、主給水喪失、外部電源喪失、過渡事象、2 次冷却系の破断、SG 伝熱管破損、大・中・小破断 LOCA (冷却材喪失)、ATWS (スクラム失敗事象)、補機冷却水の喪失、余熱除去系隔離弁 LOCA、手動停止の 12 事象が起因事象として挙げられている。

- 今回の評価では、内的事象 PSA の起因事象の他に、地震 PSA における起因事象の考え方を踏まえ、設備等の損傷によって影響緩和機能に期待できない事象（例えば、地震による原子炉建屋の構造損傷や中央制御室の制御盤等の機能損傷）が「炉心損傷直結」として追加されている。なお、「炉心損傷直結」については、事象の進展に冗長性があったとしても状態の把握や制御が困難であるものと位置付けられ、評価上、ただちに炉心損傷に至るものとして、保守的に扱われている。
- 他方、内的事象 PSA の起因事象のうち、「手動停止」については、ストレステストで対象とする地震動レベルでは原子炉が既に自動停止しているため対象外とされている。なお、地震時に原子炉自動停止に失敗した場合には「ATWS」となるが、「ATWS」は先に定めた「炉心損傷直結」に含められている。
- 「過渡事象」については、地震時には、まず耐震クラスの低い主給水系が機能喪失し、これによって「過渡事象」に至るため、「主給水喪失」に含められている。
- 「余熱除去系隔離弁 LOCA」及び「SG 伝熱管破損」については、地震時の起因事象として考えれば、いずれも放射性物質を含む 1 次冷却材が格納容器を経由せずに直接環境に放出される事象となるため、「格納容器バイパス」という起因事象が新たに定義され、ここに含められている。

以上の考察を経て、地震による起因事象として、主給水喪失、外部電源喪失、2 次冷却系の破断、格納容器バイパス、大・中・小破断 LOCA、補機冷却水の喪失、炉心損傷直結が選択されており、これはこれまでの PSA 等の知見に照らして妥当なものと考える。それぞれの事象が発生する原因となる設備及びその耐震裕度等を表 5-1 に示す。

②イベントツリー、フォールトツリー、評価対象設備の関連について

- 選定した各起因事象に対して、予め作成された機器リスト作成に係るフローに基づき、既往の PSA の知見、運転手順等を参考に、事象の影響緩和に必要な機能抽出され、事象の進展を収束させるシナリオが特定され、イベントツリーが作成されている。
- 作成されたイベントツリーの各ヘディング（フロントライン系）として、要

求される機能を満足するために必要となる設備が抽出されるとともに、各設備の機能達成に必要なサポート系（電源、補機冷却水（以下「CCW」という。）、制御用空気など）の設備が抽出され、系統図上で整理されている。

- 上記 2 項目の作業により抽出された設備に対して、既往の知見等から大きな裕度があることが明らかな設備等を除いたものを対象に各設備の耐震裕度評価が行われ、評価結果とあわせて、機器リストとして策定されている。
- 機器リストの耐震裕度をインプットとして、フォールトツリーを開発することで、イベントツリーの各ヘディングの耐震裕度を評価することにより、地震におけるクリフエッジ評価が行われている。
- ここで、クリフエッジ評価について事業者報告書において明確でない事項であって、地震評価について重要と考えられる、非常用電源の種類及び裕度の考え方、SG への補助給水に係る影響緩和機能の裕度の考え方、中央制御室からの操作と現場操作との相違について、以下のとおり確認した。
 - ✓ 地震の評価における非常用電源の種類及び裕度の考え方：
 - 非常用所内電源からの給電に成功するパスの場合、非常用所内電源（6.6kVAC、480VAC、125VDC 及び 115VAC）の耐震裕度は、この機能達成に必要となる設備のうち、最も裕度の小さい非常用ディーゼル発電機に冷却水を供給する海水ポンプの裕度（1.78）により決まるとしている。一方、非常用ディーゼル発電機からの給電に失敗するパスの場合、タービン動補助給水ポンプの起動等は、蓄電池からの直流電源給電により達成されるため、これに関わる設備のうち最も裕度の小さい 125VDC 電源に属する直流水盤の裕度（2.13）により、非常用所内電源（125VDC 及び 115VAC）の裕度が決まるとされている。
 - ✓ 地震の評価における補助給水による SG への給水に係る影響緩和機能の裕度の考え方：
 - イベントツリーにおける補助給水による SG への給水に係る影響緩和機能は、①補助給水による SG への給水（電動またはタービン動）（裕度：1.78）、②補助給水による SG への給水（タービン動（消防ポンプによる復水ピットへの給水を含む））（裕度：1.81）、③補助給水による SG への給水（電動またはタービン動（消防ポンプによる復水ピットへの給水を含む））（裕度：1.78）の 3 通りとされている。
 - これらのうち、①と③においては、電動補助給水ポンプ使用のため、非常用所内電源を必要とすることから、その機能達成に必要となる設備のうち最も裕度の小さい海水ポンプの裕度 1.78 により、当該影響緩和機能の裕度が決まるとされている。②においては、必要とな

る設備のうち最も裕度の小さなタービン動補助給水ポンプの裕度 1.81 により、当該影響緩和機能の裕度が決まるとしている。なお、消防ポンプによる復水ピットへの給水は裕度決定には直接影響しない。

- ✓ 地震の評価における中央制御室からの操作と現場操作の相違点について：
 - 中央制御室からの操作と現場操作を想定するものとして、主蒸気逃がし弁による熱放出があり、①中央制御室からの自動または手動操作（裕度：1.75）と②現場における手動操作（裕度：2.13）の 2 通りとされている。
 - ①は非常用所内電源からの給電に成功するパスにおける緩和系であり、中央制御室からの主蒸気逃がし弁を開放するための駆動源となる制御用空気系統を冷却するため、CCW 系統の機能が必要とされている。この機能を達成するために必要となる設備のうち最も裕度の小さい CCW ポンプの裕度 1.75 により、当該影響緩和機能の裕度が決まるとしている。
 - ②は非常用所内電源からの給電に失敗するパスにおける緩和系であり、作業員が現場で当該弁を開放するため、制御用空気系や CCW 系統は不要であるが、1 次冷却材圧力計・温度計に 115VAC 電源を供給する機器が必要とされている。短期的にはこの 115VAC 電源は、蓄電池を供給源として、125VDC 電源から変換して供給されるものであり、この機能達成に必要となる設備のうち最も裕度の小さな 125VDC 電源に属する直流き電盤の裕度 2.13 により、当該影響緩和機能の裕度が決まるとしている。

以上より、各起因事象のイベントツリーの各ヘディングとなるフロントライン系、及び、当該フロントライン系の達成に必要なサポート系が適切に抽出されていること、評価対象設備の耐震裕度の評価結果からフォールトツリーを開いた上で各ヘディングの耐震裕度が適切に評価されていること等から、イベントツリー、フォールトツリーの作成及びこれらと評価対象設備の関連については妥当なものと考える。

③防護措置の成立性について

緊急安全対策等、事象の進展に応じて必要となる防護措置に関して、防護措置の成立性や信頼性を確認するため、措置に係る設備、その設置場所、アクセスルート等の地震に対する耐性、防護措置に係る体制等について、関西電力が

示す資料及び現地調査によって確認した。その結果は以下のとおりである。

- 防護措置に係る設備の地震に対する耐性については、前述「(3) 評価手法及び評価条件について」のとおり、消防ポンプ及び消火ホース等が地震の影響を受けないよう保管され、耐震裕度の評価を要しない設備となっていること、空冷式非常用発電装置の機能保持に係る裕度が S_s の 1.84 倍であり、炉心燃料のクリフェッジとして特定されたメタクラ、パワーセンターの耐震裕度 (1.80) よりも大きいことから、措置の実施に支障はないと考える。
- 防護措置に係る設備の設置場所の地震に対する耐性については、設置場所や周辺の状況を踏まえて被害想定をした上で、当院の指摘を反映して、設備等の損傷を最小限に抑えるための対策等を適切に施しており、措置の実施に支障はないと考える。重点的に確認した内容は以下のとおりである。
 - ✓ 消防ポンプ及び消火ホースの保管場所であるトンネル（吉見トンネル及び陀羅山トンネル）については、硬質岩盤内に設置されており耐震性は高いと考える。また、適切に維持管理されていることを確認したが、 S_s を超える地震動に対してトンネル内面のコンクリート小片の剥落が否定できないことから、鋼製ラック、フード等による防護対策の強化を検討するよう指摘した結果、対策が施され、現地調査において実施済みの状況を確認した。また、設備の棄損を考慮し、予備率 248%（必要台数 25 台のところ予備を 62 台準備）とし、吉見トンネルに 62 台（必要設備 25 台及び予備設備 37 台）、陀羅山トンネルに予備設備 25 台を分散させて設置していることは適切と考える。ただし、陀羅山トンネルについては、現地調査の結果として指摘した内容等は以下のとおりである。
 - 閉止処理した未使用配管がトンネル内頂部に残存しており、地震時に落下して作業通路を塞ぐ可能性があるため、作業の阻害要因となるまいよう撤去することを検討するよう指摘した。この指摘への対応としては、平成 24 年 9 月までに当該配管を撤去するとされていることを確認した。
 - トンネル内に設置されている水配管は耐震クラスが低く地震時の破断による漏水が予想されるため、保管台のかさ上げ等、対策を検討するよう指摘した。この指摘への対応としては、配管の下部にあらかじめ堰が設けられており、水配管が破断し漏水した場合であってもポンプ配置エリアへの浸水は限定されること、消防ポンプは高さ約 50mm のパレットの上に配置されていること、同パレットの上に配置されていなかつた一部の消防ポンプについてもパレット上に配置されるよう措置が施されたことを確認した。
 - ✓ 空冷式非常用発電装置等の電源機能に係る設備の設置場所である原子炉

建屋背面道路については、盤面に相当の強度を有しており支持性が確保されているものと考える。当該道路は背後斜面に面しているが、当該斜面については、地震時の安定性評価結果が示され S_s に対して十分な余裕（2倍以上）を有し安定性は確保されている。ただし、 S_s を超える地震動に対して表層部の剥落が否定できないことから、今後も法面の維持管理を継続的に実施していくことが重要である。なお、現地調査を踏まえて指摘した内容等は以下のとおりである。

- 背後斜面の擁壁の上部の地山についても影響の有無に関する調査を実施する必要性について指摘した。この指摘への対応としては、擁壁上部の地山の部分のすべり安定性についても具体的な評価結果が示され、 S_s に対して十分な余裕（2倍以上）を有し安定性は確保されていることを確認した。
- 電源機能の残存性のより一層の向上の観点から、落下物に対する防護対策の強化、将来的な設備の分散配置等を検討するよう指摘した。この指摘への対応としては、斜面からの落石に対して万全を期するため、平成24年6月までに落石防護柵を設置するとされていることを確認した。
- ✓ 消防ポンプ用燃料であるガソリンの保管庫については、壁式鉄筋コンクリート構造または軽量鉄骨構造の平屋であり、いずれも耐震性能が一般産業施設と同程度である。このうち、壁式鉄筋コンクリート構造の保管庫については、壁の破損等によりガソリン補給の困難な状況が否定できないため、施設の残存性に対して有利な軽量鉄骨構造の保管庫への移設を検討するよう指摘した。その結果、対応がなされ、現地調査において実施済みの状況を確認した。また、保管庫をコンクリートブロックにアンカー止めして保管庫の転倒防止の対策を施していること、ドラム缶を固縛して転倒防止、散乱の対策を施していることは適切と考える。
- 防護措置に係るアクセスルートの地震に対する耐性については、アクセスルート周辺の地形やこれまでの維持管理状況等（現地調査において確認済み）を踏まえて、地震による道路面の不等沈下、周辺の地山のすべりによる道路面への土砂等の流れ込み、地震による道路面へのがれきの散乱などの被害想定を行った上で、不等沈下による段差の解消、周辺から流れ込んだ土砂及び散乱したがれき等の撤去などの復旧想定や、「道路土工施工指針」（昭和61年、社団法人日本道路協会）を用い余裕を持たせた復旧時間（水源及び電源に係る措置に必要なルートの復旧に対して7時間）の算定を行っており、これらの被害想定、復旧想定、復旧時間の算定の考え方は、適切なものと考える。なお、防護措置に係るアクセスルート等に関連して、原子炉建屋近辺の地盤

の状況についても原子炉建屋基礎地盤における地震時の安定性評価結果が示され、Ss に対して十分な余裕（2 倍以上）を有していることから、安定性は確保されていると考える。

- 算定した時間内の復旧の実現性に関しては、人員、重機性能を確認するとともに、現地調査において、アクセスルートへ流入した土砂の撤去に係る訓練の実施状況として、人員の重機操作能力や目標時間内の撤去完了を確認した。今後も、実際の被災時の状況での復旧の実現性や復旧措置後の使用性を高めるため、訓練等を継続して実施することが必要と考える。
- アクセスルート上にある補助ボイラー燃料タンクが、地震時に損傷して燃料がアクセスルート周辺に流出し火災の原因となる可能性があることから、当該タンクの耐漏えい機能に係る耐震裕度を把握した上で、必要に応じて漏出対策を強化するよう指摘した。この指摘への対応として、2 倍の Ss に対する耐漏えい機能に係る解析の結果から、当該タンク本体がただちに崩壊することなく小規模な漏えいに留まると推定されること、防油堤のかさ上げ等の更なる対策について継続的に検討されることを確認した。
- 消防ポンプへの給油時における火災対策の必要性について、当院から指摘したところ、現地調査において各消防ポンプに消火器が配備されていることを確認した。また、現地調査において、消防ポンプを停止せずに給油を継続できる別置きタンク等の機材の準備を進めていたとの説明があったため、これらについても火災に対する安全管理の徹底の必要性を指摘した。この指摘への対応として、現地調査後に、追加配備したタンクの周囲には監視員の配置及び消火器を配備し防火対策を講じるとしていることに加え、吸着マット上に同タンクを配置することで給油時のこぼれ等にも対応できるようにしたこと、訓練等を通じて安全管理の徹底を図ることを確認した。さらに複数のタンクを固縛し転倒防止をより確実にする対策を実施すべく継続的な取り組みを行っていることを確認した。
- 防護措置に係る体制や役割分担、要員配置については、直流電源が喪失するまでに代替の交流電源を確保すること、炉心や使用済燃料の冷却のために必要な給水確保など、必要な作業が抽出され、この作業を遂行するために必要な要員数について評価が行われていることを確認した。空冷式非常用発電装置の起動・接続等の初動対応において防護措置を行う要員は、発電所に常駐する30名（運転員22名（1号機及び2号機12名、3号機及び4号機10名）、緊急安全対策要員8名（社員2名、協力会社要員6名））で行い、炉心等の冷却の給水確保等は発電所外からの召集要員20名が加わり行われ、さらに、その後の防護措置の実施のため十分な要員を確保することとし、発電所外から、166名の要員を召集する計画としている（平成23年12月26日現在）（図5－2、図5－

3)。発電所対策本部長（発電所長）の指揮の下に課長クラスを班長とする体制が構成され、それぞれ、防護措置として必要な作業が割り振られていることを確認した（図5-4）。発電所外からの召集要員の確保については、発電所までのアクセスルートや手段の確保などについて実現性のある評価を行っていること、平成23年12月28日には常駐者を14名増員し、今後も引き続き発電所の常駐者を段階的に増強し、体制の強化を図る予定であることを確認した。

- 事故時の指揮所の成立性について確認した。放射線被ばくを防止する機能を備えた緊急時対策所は、1号機タービン建屋横の第1事務所地下1階にあり、当該建物の耐震性は建築基準法の1.5倍の耐力であるため、地震によるクリフェッジ（Ssの1.80倍）に対して使用が期待できず、また、建物はEL. 9.3mに設置されているため、後述（「6. 2 クリフェッジの特定」）の津波によるクリフェッジ（津波高さT.P. 11.4m）に対しては、津波来襲後に浸水することになり、使用が期待できない。また、この代替施設は、EL. 11.3mに設置された第2事務所の6階（EL. 32.4m）であるが、同所は津波による影響はないものの、建物自体が建築基準法に基づき設計されたものであるため、地震によるクリフェッジに対して使用が期待できない。
- このため、関西電力は、地震と津波両方のクリフェッジに対して機能する緊急時対策所を確保するため、平成28年度中を目途に、クリフェッジとなるEL. 11.4mを超える高台を整地し、免震構造により耐震Sクラスと同等の耐震性を持ち、放射線被ばくを防止する機能、非常用発電機、通信設備等を備える免震事務棟を設置する計画を有していることを確認した。また、同免震事務棟を設置するまでの間は、緊急時対策所の代替の指揮所として、3号機及び4号機共用の中央制御室の会議室及び運転員控室（延べ約108m²、放射線被ばくを防止する機能有り）を利用し、緊急時衛星通信システム（配備済）等の通信機器により発電所内外との情報連絡を行う等により、指揮機能を確保する用意があることを確認した。また、1号機及び2号機の中央制御室資料室（32m²、放射線被ばくを防止する機能有り）についても、緊急時衛星通信システム（配備済）等の通信機器により、初動の段階において発電所内外との情報連絡を行う等により指揮を行うことは可能な場所としていることを確認した。さらに、建屋内の施設がいずれも使用できない場合を想定し、緊急時対策所の代替の指揮所として、発電所構内の屋外に災害対応用の屋外テントを設置し、そこに発電所外との連絡用の緊急時衛星通信システムや発電所構内外連絡用の衛星携帯電話、トランシーバー、仮設電源を備える用意があることを確認した。
- 関西電力は、休日夜間に事象が発生した場合、発電所に常駐する指揮者（副

所長クラス）と当直課長が連絡、連係して対応することとしており、防護措置に係る主要な作業は、指揮者と当直課長からの指示に従い行われるものであることを確認した。なお、地震や津波が発生した場合における発電所対策本部の召集要員の確保の方法についての追加的な検討や、4機同時に被災した場合における指揮所機能についての訓練の実施等により、より合理的、効果的な活動を実施できるよう継続的な取組をすべきと考える。

- 大飯発電所の中央制御室及び同会議室等における放射線被ばくを防止する機能は、放射線遮へい構造及び換気空調設備による。換気空調設備は、通常は、外気の一部取入れと屋外への放出により行っているが、事故時は、中央制御室非常用循環ファンが自動起動するとともに、外気取入れ口及び放出口が閉止し、閉回路循環運転に切り替わる。また、循環空気の一部をよう素除去フィルタが装着された中央制御室非常用循環フィルタユニットに通すことにより中央制御室及び同会議室等の空気を浄化する。大飯発電所3号機及び4号機は、平成23年6月に当院より指示したシビアアクシデントへの対応に関する措置として、全交流電源喪失時においても空冷式非常用発電装置から非常用換気空調設備へ電力を供給できるよう対策を実施している。
- 当院としては、緊急時における指揮系統の要としての対策所の重要性に鑑みれば、免震事務棟の前倒し設置を図るとともに、それまでの間についても、より確実な代替措置の構築を検討すべきと考える。

なお、IAEA の勧告では「耐震安全余裕評価において、基本的安全機能の成功パスの完全性をチェックするためのシステムウォークダウン、及び安全余裕の計算に使用するために相互の影響を特定し、竣工時及び運転時の情報を収集するための地震／洪水耐性ウォークダウンが含まれることを確実にすべきである。」とされている（別添6、別添7）。そこで、関西電力により実施されている現場確認の概要について整理した。その結果は以下のとおりである。

- 建設時の使用前検査等における確認や運転開始以降の定期検査等における現場確認に加え、関西電力が別途実施している地震 PSA 実施に向けた確認において、日本原子力学会の地震 PSA 標準に基づき、耐震安全性に係る確認として、対象機器、配管について設計図面等と相違ないこと、基礎部分を含めて異常がないこと、周辺の設備等が波及的影響を及ぼさないことが確認されている。また、リカバリー操作の確認として、現場操作のためのアクセスが可能であること、現場操作が可能であることが確認されている。
- また、緊急安全対策等の実施にあたり、原子炉建屋外及び原子炉補助建屋外の浸水領域からそれぞれの建屋内の浸水対策範囲への浸水経路となりうる、扉、配管貫通部、ドレン配管、トレーンチ等が網羅的に点検されるとともに、

浸水対策箇所と処置方法が決定され、扉や貫通部へのシール施工やドレン配管の閉止等の浸水対策工事が実施されている。また、工事完了段階において、計画どおりに施工され、所定の機能が達成されることが確認されている。

したがって、ストレステストは、建設時、運転開始以降のそれぞれの段階における現場確認の内容を基に適切に評価が実施されているものと考える。ただし、今後の二次評価も含めて段階ごとに、事業者が IAEA の指針等と整合した原子力学会 PSA 標準等に基づき現場確認を体系的に整理し報告するとともに、その結果を当院が確認することが、信頼性、説明性のより一層の向上の観点から必要である。

以上のことから、当院は、炉心の燃料に対する評価における、地震による起因事象の選定やクリフエッジの特定、また防護措置の成立性については、緊急時対策所について、一層の検討の余地はあるものの、概ね妥当なものと考える。

(2) SFP の燃料に対する評価について

1) 関西電力による評価

地震を起因として SFP にある燃料の損傷に至る事象を、SFP の保有水の流出、SFP 冷却系の機能喪失に伴う崩壊熱除去失敗を考慮して選定した上で、各起因事象の影響緩和機能を抽出し、イベントツリーを用いて収束シナリオを特定している（表 5-3、表 5-4）。

各起因事象の発生に直接関係する設備等の耐震裕度を評価した結果、起因事象発生までの耐震裕度が最も小さいのは「外部電源喪失」であり、Ss 未満の地震動においても耐震 C クラスの設備等（碍子等：発電所構内の母線などの電線を支持し、絶縁する磁器製の支持構造物等）の破損により当該事象が発生するとし、また、「補機冷却水の喪失」及び「SFP 冷却機能喪失」についてはイベントツリーが同様のものとなることから、これら 2 つの起因事象の評価をまとめて行ったとしている。

外部電源喪失、SFP 冷却機能喪失及び補機冷却水の喪失の各起因事象の収束シナリオを特定した上で、収束に用いられる全ての影響緩和機能の耐震裕度を評価し、収束シナリオの耐震裕度を特定した結果、2 倍の Ss 以上で SFP の構造損傷が発生し（以下「SFP 損傷」という。）重大な燃料の損傷に至ると考えられることから、耐震裕度は 2 倍の Ss であるとしている。選定された主な収束シナリオは、起因事象発生後、非常用所内電源からの給電、燃料取替用水ポンプによる注水、燃料取替用水ピットによる水源の確保に失敗し、消防ポンプによる注

水を行うシナリオである（図5-5）。

クリフェッジの所在は、SFPの構造損傷であり、その耐震裕度は2倍のSsであると特定している。

2) 当院の評価

当院は、地震による起因事象の選定やクリフェッジの特定の妥当性を確認するため、ストレステストのクリフェッジ評価のための手順、起因事象の選定方法、イベントツリー、フォールトツリーの構築方法及びそれらの結果について確認した。その結果は以下のとおりである。

①起因事象の選定方法

地震によりSFPに貯蔵中の燃料の健全性を脅かす要因として、SFPの冷却機能喪失による燃料の異常な過熱が考えられ、これに至る要因として、「SFP冷却機能喪失」及び「SFP損傷」のようなフロントライン系の故障または損傷、「外部電源喪失」及び「補機冷却水の喪失」のようなサポート系の喪失が挙げられることから、「外部電源喪失」、「SFP冷却機能喪失」、「補機冷却水の喪失」及び「SFP損傷」が起因事象として選定されていることは妥当なものと考える。それぞれの事象が発生する原因となる設備及びその耐震裕度等を表5-3に示す。

②イベントツリー、フォールトツリー、評価対象設備の関連について

イベントツリー、フォールトツリーは、影響緩和機能に期待せず、燃料の重大な損傷に至るとする「SFP損傷」を除く3つの起因事象、「外部電源喪失」、「SFP冷却機能喪失」及び「補機冷却水の喪失」について、緩和機能の地震による機能喪失を考慮して適切に展開されていることを確認した。なお、「SFP冷却機能喪失」及び「補機冷却水の喪失」については、同一の事象進展となることから、イベントツリーが区別されていないことを確認した。ここで、「外部電源喪失」の成功パスとして、i) SFP冷却系による冷却、ii) 燃料取替用水ピットによる水源の確保、iii) 消防ポンプによる注水が設定され、「SFP冷却機能喪失」及び「補機冷却水の喪失」については、i) 燃料取替用水ピットによる水源の確保、ii) 消防ポンプによる注水が設定されていることは、各起因事象の事象進展に對して適切と考える。

構築したイベントツリーに關連する影響緩和機能の評価対象設備として、非常用所内電源（6.6kVAC、440VAC、125VDC、115VAC及び蓄電池を含む。）からの給電、SFP冷却系による冷却、燃料取替用水ポンプによる注水、燃料取替用水ピットによる水源の確保、消防ポンプによる注水が選定され、それらの耐震裕度として、それぞれのフォールトツリーを構成する設備の耐震裕度のうち最小の

値が抽出されていることを確認した。

以上に加え、防護措置の成立性については、5. 2 (1) で記載したとおりであることから、当院は、SFP の燃料に対する評価におけるクリフェッジの特定は妥当なものと考える。

5. 3 緊急安全対策等の効果について

(1) 炉心の燃料に対する評価について

関西電力は、緊急安全対策等の効果の確認の観点から、収束シナリオの耐震裕度評価結果を踏まえ、「外部電源喪失」の緊急安全対策等実施前後のイベントツリーを作成し比較を行った結果、緊急安全対策等実施前後で、地震によるクリフェッジは改善されると評価され、緊急安全対策等の効果について把握することができたとしている。

当院は、緊急安全対策等実施前後のイベントツリーを比較し、緊急安全対策等により、燃料の重大な損傷に至ることを防止するための多重かつ多様な防護措置がとられていることを確認した。その結果は以下のとおりである。

- 緊急安全対策等実施前には、最大の耐震裕度となる収束シナリオにおいても原子炉補機冷却水ポンプが機能喪失することにより、複数の補機の冷却不全により複数の機能が喪失し、海へ熱を逃がす機能が喪失する結果、燃料の重大な損傷に至り、そのクリフェッジは 1.75Ss（原因は原子炉補機冷却水ポンプの機能損傷）であった。
- 緊急安全対策等実施後には、原子炉補機冷却水ポンプの機能が喪失した場合においても緊急安全対策等で配備した空冷式非常用発電装置、タービン動補給水ポンプの水源の確保により、海水系を用いた冷却に頼らないタービン動補助給水ポンプを用いた 2 次冷却系が可能となり多様化がなされた。
- 緊急安全対策等の実施により、クリフェッジが従前の 1.75Ss から 1.80Ss（メタクラ、パワーセンターの機能損傷）に向上するとともに、収束シナリオが従前の 2 シナリオから 3 シナリオとなり、多重性・多様性が向上した。

(2) SFP の燃料に対する評価について

関西電力は、緊急安全対策等の効果の確認の観点から、収束シナリオの耐震裕度評価結果を踏まえ、「外部電源喪失」の緊急安全対策等実施前後のイベントツリーを作成し比較を行った結果、緊急安全対策等前後で、地震によるクリフェッジは改善されると評価され、緊急安全対策等の効果について把握すること

ができたとしている。

当院は、緊急安全対策等実施前後のイベントツリーを比較し、緊急安全対策等により、燃料が重大な損傷に至ることを防止するための多重かつ多様な防護措置がとられていることを確認した。その結果は以下のとおりである。

- 緊急安全対策等実施前には、最大の耐震裕度となる収束シナリオにおいても SFP 冷却系による冷却機能が喪失する結果、燃料の重大な損傷に至り、そのクリフェッジは 1.75Ss（原因は原子炉補機冷却水ポンプの機能損傷）であった。
- 緊急安全対策等実施後には、SFP 冷却系による冷却機能が喪失した場合においても緊急安全対策等で整備した消防ポンプを用いた SFP への海水の補給により、SFP 冷却系による冷却に頼らない冷却が可能となった。
- 緊急安全対策等の実施により、クリフェッジが従前の 1.75Ss から 2Ss（SFP の構造損傷）に向上するとともに、「外部電源喪失事象」の収束シナリオの総数が、耐震裕度を評価しない収束シナリオを含め、従前の 2 シナリオから 3 シナリオとなり、多重性・多様性が向上した。

5. 4 当院の評価（まとめ）

以上のとおり、当院は、関西電力が実施した設計上の想定を超える地震動が発電所に来襲した場合の評価について、当院の指示に沿って適切に実施されたと考える。すなわち、設備等が単体で有する裕度の評価においては、地震動の設定、検討対象とすべき設備等の選定、評価手法、経年劣化の評価、裕度の算出については妥当なものと考える。また、これらの組合せにより大飯発電所 3 号機あるいは 4 号機がシステム全体として有する裕度の評価にあたっては、起因事象の設定、イベントツリーを用いた収束シナリオの特定、クリフェッジの所在の特定についても妥当なものと考える。また、緊急安全対策等の防護措置の成立性について、措置に用いる設備の保管場所の耐震性や措置を行うための要員召集計画の実現性も含めて現地調査等により確認した結果、クリフェッジ未満の地震動に対する防護措置の成立性に関する関西電力の評価は概ね妥当なものと考える。また、燃料の重大な損傷防止のために実施した緊急安全対策等の効果についても適切に評価されていると考える。

したがって、想定を超える地震に対するクリフェッジは、運転中の原子炉については、「Ss の 1.80 倍 (1,260 ガル) において、メタクラ、パワーセンターの損傷のため、空冷式非常用発電装置による給電に失敗し、炉心の重大な損傷を防止するための措置が講じられなくなる可能性がある」とし、SFP については、「Ss の 2 倍 (1,400 ガル) において、SFP の構造損傷のため、SFP にある水が大

量に失われ、燃料の重大な損傷を防止するための措置が講じられなくなる可能性がある」とする関西電力の評価は妥当なものと考える。

また、これまで実施されてきた緊急安全対策等により、地震に対する裕度が向上するとともに、空冷式非常用発電装置による給電機能及び消防ポンプによる水源確保の多様化と事象収束シナリオの追加がなされ多重化・多様化が向上されたと評価する。

6. 津波に関する評価

本章においては、関西電力により、設計上の想定を超える津波が発電所に来襲した場合に、燃料の重大な損傷に至ることなく、どの程度の津波高さまで耐えられることができるかの評価が適切に行われたかどうかを確認した。関西電力の評価においては、まず、建屋、機器等が単体で有する裕度が評価され、その上で、これらの組合せにより大飯発電所 3 号機あるいは 4 号機のシステム全体として有する裕度が評価されている。システム全体としての評価はイベントツリーを用いて行われ、クリフェッジの所在の特定、限界となるイベント過程、その時の津波高さについて評価がなされている。

建屋、機器等が単体で有する裕度の評価については、評価のベースとなる設計津波高さが適切に設定されているか、検討対象とすべき機器等の設備が適切に選定されているか、対象とする設備への浸水口及び当該設備の許容津波高さが適切に設定されているか、裕度が適切に算定されているかを確認した。

システム全体としての評価については、想定を超える津波高さにより引き起こされる事象（起因事象）やその場合の収束シナリオの特定、クリフェッジの特定等が適切になされているかを確認した。なお、確認は、運転中の原子炉に対する評価及び SFP に対する評価のそれぞれについて実施した。

また、燃料の重大な損傷防止のための措置や対策の効果についても確認した。その際は、当院の指示に基づいて実施した緊急安全対策等の効果を確認するとともに、その後に実施した対策の効果を合わせて確認した。

その結果、当院は、関西電力が実施した設計上の想定を超える津波が発電所に来襲した場合の評価について、適切に実施されたと考える。以下、当院が確認した内容の詳細を記載する。

6. 1 機器等の津波に係る裕度の評価について

（1）評価に用いる設計津波高さについて

関西電力は、本評価に用いる設計津波高さは「原子力発電所の津波評価技術」（平成 14 年、社団法人土木学会。以下「平成 14 年土木学会手法」という。）を用いて評価した津波高さとしている。

当院としては、ストレステストにおいては、どの程度の津波高さまで燃料の健全性を保つことが出来るか、また設計上の想定に比べその裕度はどの程度のものかを調べるものであり、その評価のベースとして大飯発電所に対して平成 14 年土木学会手法を用いた設定された設計津波高さを用いることは妥当なものと考える。

ストレステストで用いられた大飯発電所の設計津波高さの評価方法及びその結果は以下のとおりである。

- 大飯発電所に関する設計津波高さの評価方法については、文献調査等を基に敷地に影響を及ぼしたと考えられる既往津波を対象にして数値シミュレーションのモデルや手法の妥当性が検証されている。
- その上で、文献調査等や Ss の策定における内陸地殻内地震の震源となる活断層の評価結果を基に、敷地に影響を及ぼすと考えられる海域の活断層による地震に伴う津波及び日本海東縁部に想定される地震に伴う津波を設定し、敷地への影響の大小を比較し、特に影響の大きな津波が検討用津波として複数抽出されている。複数の検討用津波に対して、波源の不確かさを考慮した数値シミュレーション等を行うことにより、敷地前面における水位変動が検討されている。なお、海域の活断層による地震に伴う津波については、耐震バックチェックにおいて Ss の策定に考慮した活断層を踏まえて設定されている。
- 検討用津波については、水位上昇量が最大となるものとして、大陸棚外縁～B～野坂断層が、また、水位下降量が最大となるものとして、和布一干飯崎沖～甲楽城断層が抽出されている。
- 設計津波高さについては、主要な建屋に近い 1 号機及び 2 号機側の取水口エリアにて算定される水位変動を基に、上昇側の設計津波高さとして、満潮時の平均水位 (T.P. +0.40m) を考慮して T.P. +2.85m 程度、下降側の設計津波高さとして、干潮時の平均水位 (T.P. -0.08m) を考慮して T.P. -1.85m 程度としている。なお、緊急安全対策を施した平成 23 年 4 月においては、上昇側の設計津波高さが平成 14 年に算出した T.P. +1.9m 程度であったが、耐震バックチェックにおいて Ss の策定に考慮した活断層を踏まえて、今回のストレステストにおいて波源を変更したことにより上記の T.P. +2.85m 程度に変更されている。

また、古文書（兼見卿記等）において、若狭湾に天正地震による大規模な津波の被害があった旨記載されていることから、事業者（関西電力、日本原子力発電、日本原子力研究開発機構）は、古文書で書かれている大規模な津波が天正年間に若狭湾に襲来したことの有無を確認するため、三方五湖周辺で津波堆積物調査を行うとともに若狭湾沿岸地域での文献調査等を行ったとしている。当院は、これまで得られている調査等の結果を踏まえると、現状においては、古文書に記載されているような天正地震による大規模な津波が若狭湾に襲來したことを明確に示すものは無いが、事業者は、地震・津波に関する意見聴取会における専門家の意見を踏まえ、データを拡充するために、津波堆積物につい

て、さらなる追加調査を行うこととしている。当院としては、関西電力の調査結果を地震・津波に関する意見聴取会において厳正に確認する。

したがって、大飯発電所に関する設計津波高さについては、耐震バックチェックに係る審議において Ss の策定に考慮した海域活断層等を踏まえて波源を想定して最新の評価としているが、今後、新たな知見等が得られ設計津波高さの見直しが行われた場合は、ストレステストで評価された裕度が変更される可能性があるものと考える。

(2) 検討対象設備について

関西電力は、評価対象とする設備等を、燃料の重大な損傷に係わる耐震 S クラス設備及びその他のクラスの設備等とし、各起因事象に直接関係する設備等に加え、影響緩和機能のフロントライン系（各イベントツリーの安全機能の達成に直接必要な緩和機能）及びサポート系（フロントライン系を機能させるために必要な電源や冷却水等を供給する機能）のそれぞれに必要な設備等を抽出したとしている。

なお、耐震 S クラスの設備等のうち、「原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系設備」並びに「原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設」である制御棒クラスタ及び制御棒駆動装置については、原子炉格納容器が水密化されており津波単独の事象で機能喪失することはないことから、評価対象外としている。

当院は、全ての耐震 S クラス設備等、緊急安全対策等で整備された設備及び機能を期待する下位クラス設備等の中から、燃料の重大な損傷に係わる設備等が裕度評価の対象として選定されているか、一部の耐震 S クラス設備等を対象外としていることは適切かということについて、その妥当性を確認した。

具体的には、津波に対する裕度評価における対象設備の選定の考え方の妥当性を確認した上で、燃料の重大な損傷に關係し得る耐震 S クラス及びその他のクラスの設備等が対象設備として選定されていること、また、津波に対する裕度評価の対象外とされた設備等については、対象外として扱う理由を確認した。その結果は以下のとおりである。

- 耐震重要度分類における機能分類を参照し、機能を構成する設備ごとに津波による浸水が機能に影響するもの等を抽出した結果として、ストレステストにおける各起因事象に関連する設備等及び各起因事象の緩和シナリオにおいて必要な設備等が全て選定されていることを確認した。
- 津波単独事象で機能喪失しないものとして対象外とした設備等及び対象外

として扱う理由については以下のとおりであることを確認した。

- ✓ 原子炉容器、SG、1次冷却材ポンプ、加圧器及び制御棒クラスタ及び制御棒駆動装置等については、水密化された原子炉格納容器内にある。
- ✓ 原子炉格納容器本体については、原子炉建屋低層部において周辺棟等の耐震壁に囲まれており、構造強度等が浸水や波力等によって直接影響を受けないと評価している。
- ✓ 原子炉建屋及び原子炉補助建屋の建屋内にある SFP 等のピット、各種タンク及び冷却器、並びに建屋外の地下に設置した燃料タンクについては、それぞれの設備の構造強度等が浸水によって直接影響を受けないと評価している。

以上のことから、当院は、津波に対する裕度評価の対象設備の選定は妥当なものと考える。

(3) 許容津波高さの算出について

関西電力は、各設備等の津波に対する損傷モード（水位上昇による浸水等）を考慮した上で、「設計津波高さ」と、設備が機能維持できる高さで定義される「許容津波高さ」の比較により、設計津波高さに対する裕度（設計津波高さを何 m 超える津波で設備が損傷・機能喪失するか）を評価している。ここでいう「許容津波高さ」については、津波が敷地を越上し、設備等の設置エリア等に到達した位置における海面からの津波高さである。

屋外設備の許容津波高さについては、設備の設置レベルとし、屋内設備の許容津波高さについては、基本的に浸水口の下端レベルとし、津波による浸水高さがこれらのレベルを上回った場合に当該設備が損傷・機能喪失するものとしている。ただし、屋内設備の許容津波高さの設定にあたっては、緊急安全対策等として実施した扉や貫通部のシール施工等 (T.P. 11.4m) の効果を考慮している。また、後述（「6. 2 クリフエッジの特定」）するとおり、影響緩和機能のうち特に重要なタービン動補助給水ポンプ等に対して、許容津波高さ（浸水口の防潮扉のシール施工範囲である T.P. 11.4m）の設定の検証として、津波による敷地内浸水高さ及び浸水継続時間から建屋内の当該設備設置位置の浸水高さを計算し、当該設備の機能に影響を与えないことを確認している（図2-2）。

当院は、各設備の許容津波高さの算出の妥当性を確認した。

まず、設備の設置位置（平面的な位置とその高さ）、設備の設置位置に対して浸水経路上、近接した浸水口の位置とその高さ及び仕様が網羅されて示されて

いること、それらの基礎データに基づいて、設備が浸水等により機能を喪失する許容津波高さが適切に設定されていることについて、関西電力が示す資料及び現地調査によって確認した。その結果は以下のとおりである。

- 各設備の設置位置については、屋内設備に対して、建屋名及び設置階（設置高さ）と当該階における平面位置を、また、屋外設備に対して、敷地における設置位置とその高さを、建屋内の設備配置図または敷地内の設備配置図等と照合し、報告書の記載と一致していることを確認した。
- 浸水口の位置については、建屋内の設備の設置階及び平面位置と、建屋に複数ある浸水口との関係を設備配置図で確認するとともに、緊急安全対策等として実施した扉や貫通部のシール施工等の効果を考慮した上で、浸水経路上、近接した浸水口が適切に選定されていることを確認した。
- 浸水口の高さについては、選定された扉がシール施工等、実施されている場合はシール施工範囲の上限である T.P. 11.4m、シール施工等が実施されていない場合は扉の下端の高さとしており、その考え方や設定の結果は適切なものと考える。
- なお、緊急安全対策等として実施した扉や貫通部のシール施工や緊急安全対策等実施後に設置した防潮扉については、建屋内の設備配置図等や現地調査により、位置、構造及び施工状況について確認した。
- 許容津波高さの設定方法については、建屋内の設備については上記の浸水口高さとし、建屋外の設備については、設置高さとしていることは適切なものと考える。

次に、許容津波高さの設定の検証方法及びその結果の妥当性について、関西電力が示す資料及び現地調査によって確認した。

事業者報告書を確認する過程で把握した課題は以下のとおりである。

- 課題①－1：影響緩和機能として特に重要と考えられるタービン動補助給水泵ポンプに対して想定される主な浸水口（シール施工した防潮扉）が、3号機の場合、原子炉建屋とタービン建屋間の最奥部にあり（図6－1）、動水圧による影響を受けやすいと考えられるが、動水圧を考慮した浸水量計算が実施されておらず、浸水による当該設備の機能喪失の可能性があること。
- 課題①－2：シール施工した防潮扉の浸水量計算に用いる定数は、設置された防潮扉と同仕様の扉の試験結果に基づいているが、試験は1.0mまでの浸水深における静水圧を考慮したものであり、適用範囲が限定されるため、動水圧による水圧増分を考慮した浸水量計算に適用できない可能性があること。
- 課題②：原子炉建屋の外面の扉の中には、防潮扉が設置されていないものが

あり、動水圧を考慮すると扉の破損の可能性があること。

- 課題③：配管貫通部等の充填剤、シールは、地震によって止水性能が低下する可能性があること。

これらの課題①～③に対し、津波時の動水圧の作用を踏まえ保守性を有した浸水量評価、防潮扉以外の扉の浸水の可能性及び地震による配管貫通部等の止水性能低下の可能性について、重点的に検討するよう関西電力に指摘した。その結果、緩和機能として特に重要と考えられるタービン動補助給水ポンプとその許容津波高さ T.P. 11.4m（浸水口は防潮扉+シール施工）を対象に、動水圧を大きめに考慮し、かつ、シール施工を考慮しないという厳しい条件（防潮扉の隙間から浸水するものと仮定）で浸水量評価を実施した場合であっても、タービン動補助給水ポンプの機能が保持できること等から、当該設備の許容津波高さを T.P. 11.4m と設定していることは妥当なものと考える。また、防潮扉以外の扉に対して動水圧を考慮しても重要な設備等が設置された区域に浸水しないことを確認するとともに、地震によって配管貫通部等の止水性能が低下する可能性は低いものと考える。検討の詳細は以下のとおりである。

課題①：津波時の動水圧の作用を踏まえ保守性を有した浸水量評価：

- ✓ 保守性を有した浸水量評価の方法については、国土交通省が平成 23 年東北地方太平洋沖地震後に策定した暫定指針を参考に、建屋間の最奥部にある扉等に対して、動水圧を浸水深の 1.5 倍の静水圧（海岸線との離隔距離 500m 以上（図 6-1））とするところ、海に面した扉と同等の動水圧（浸水深の 3.0 倍の静水圧（図 6-2））を考慮する等、保守的な波圧を設定し、扉が有する強度に応じて破損の有無を判断するとともに、建屋間の最奥部にある扉に対して動水圧及び浸水時間を保守的に考慮した浸水量が計算されている（課題①-1への対応）。なお、津波が敷地を遡上した場合の建屋の最奥部の津波高さは、取水口エリアの津波高さより高くなる可能性があるが、その可能性を考慮して上記のような保守的な波圧が考慮されている。
- ✓ 浸水量の計算においては、試験範囲を超える浸水深（圧力）に対する適用性が確認できなかった定数を用いないで、止水処理を無効とし、防潮扉の隙間から水が流入するものとされている（課題①-2への対応）。
- ✓ 上記の手法に基づき、緩和機能のうち特に重要なタービン動補助給水ポンプ（設置レベル T.P. 3.5m）及び同起動盤（設置レベル T.P. 10.0m）を対象として、許容津波高さである T.P. 11.4m の妥当性を検証するため、保守性を有した浸水量評価が実施された結果（図 6-3）、①3 号機については、建屋外から浸水するものの、浸水経路上で周りの区画より高さ

が低い原子炉補機冷却水ポンプ室 (T.P. 7.0m) に滞留（浸水高さ 8cm）するため、当該設備の区画には浸水しないこと、②4号機については、当該設備の区画に浸水するものの、タービン動補助給水ポンプ及び同起動盤の浸水高さは、それぞれ 17.5cm、13.2cm であり、それぞれの設備が機能喪失する浸水高さ 66cm、27cm を十分下回ることから、機能には影響しないものと評価される。

課題②：防潮扉以外の扉の浸水の可能性：

- ✓ 防潮扉が設置されていない扉のうち、原子炉建屋の南東側の扉について
は、動水圧を考慮した保守的な波圧（浸水深の 1.5 倍の静水圧）に対して
破損があるものとして評価した場合、原子炉建屋の非管理区域が浸水
するものの、重要な設備等がある他区域へ浸水しないものと評価された。
また、非常用ディーゼル発電機の設置エリアの扉については、動水圧を
考慮した保守的な波圧（浸水深の 1.5 倍の静水圧）に対して破損せず、
当該エリアへ浸水しないものと評価された。

課題③：地震による配管貫通部等の止水性能低下の可能性：

- ✓ 配管貫通部については、配管が貫通部の両側で建屋に支持されており地
震時に相対変位が発生しにくく、貫通部シール部への影響は軽微であり
地震後に止水性能が低下する可能性は低いものと評価された（図 6-4）。ただし、地震と津波の重畳を踏まえた更なる信頼性向上のため、
今後もブーツラバーの追加設置等の止水処理の多重化等について継続
的に検討する必要がある。

また、現地調査において、津波が設備に及ぼす影響を調査し、敷地への浸水
経路、敷地内の浸水経路について確認するとともに（図 6-1）、漂流物による
2 次的影響に対する防護策や 4 号機への浸水防止対策について指摘し、関西電力
により適切な対応がなされていることを確認した。その結果等は以下のとおり
である。

- 敷地への浸水経路及び敷地内の浸水経路としては、敷地への津波の浸入口に
は外海に面して防波堤があり、取水路から山に囲まれた敷地へ浸水し、500m
ほどの距離を 1 号機及び 2 号機の建屋と高台の間を遡上する経路となること
を確認した。
- 漂流物による 2 次的な影響については、浸水深が 1m 強と浅いことから軽微
であると考えられるが、3 号機の浸水口に漂流物も集中しやすく、特に 3 号
機の浸水口の東側に、やや距離があるものの駐車場があることから、車等の
漂流物に対する防護策を検討するよう指摘した。この指摘への対応としては、
平成 24 年 9 月までに、浸水口手前に車両等の漂流物浸入を防止するための

鋼製門扉を設置するとされていることを確認した。また、平成 24 年 9 月までに、浸水口の防潮扉を、止水に対してより信頼性の高い水密扉に取り替えるとされていること、当該対策が実施されれば、強度や漂流物への耐性のより一層の向上が期待できることを確認した。

- 関西電力が、4 号機について、当院が指摘した保守的な浸水量評価の結果を踏まえて、浸水防止が最も重要との認識のもと、海側から 4 号機の建屋外のエリアへの浸水経路である雨水排水管に逆止弁を設置する対応を図ったことから、当該弁の設置状況を調査した。その結果、当該止水弁の構造、材質、雨水排水管への流入口となる集水枠の障害物流入防止対策、維持管理の方針から、当該止水弁が雨水排水管としての本来の機能を阻害することなく津波による浸水防止が機能することを確認した（図 6-4）。

以上のことから、当院は、許容津波高さの算出は妥当なものと考える。

6. 2 クリフエッジの特定について

（1）炉心の燃料に対する評価について

1) 関西電力による評価

津波を起因として炉心損傷に至る事象（以下「起因事象」という。）を、発電用原子炉施設の安全評価審査指針に示される安全評価事象、定期安全レビューーアクシデントマネジメント整備の有効性等でこれまで実施している内的事象 PSA での起因事象、及び津波の影響として固有で考慮するべき事象について勘案して選定した上で、各起因事象の影響緩和機能を抽出し、イベントツリーを用いて収束シナリオを特定したとしている（表 6-1、表 6-2）。

各起因事象の発生に直接関係する設備等の許容津波高さを評価した結果、起因事象発生までの許容津波高さが最も小さいのは「補機冷却水の喪失」であり許容津波高さ T.P. 4.65m で海水ポンプが浸水することにより発生し、制御用空気系の機能喪失に伴う主給水流量制御弁の閉止により従属性に「主給水喪失」及びその後の原子炉トリップによる「過渡事象」が発生するとしている。また、主給水喪失及び過渡事象のイベントツリーを構成する影響緩和機能は、補機冷却水の喪失のイベントツリーに含まれることから、補機冷却水の喪失について評価を行ったとしている。

補機冷却水の喪失の収束シナリオを特定した上で、収束に用いられる全ての影響緩和機能の許容津波高さを評価し、収束シナリオの許容津波高さを特定した結果、許容津波高さは T.P. 11.4m であるとしている（図 6-5）。

本シナリオでは、起因事象発生後、原子炉の停止に成功し、外部電源により電動またはタービン動補助給水ポンプによる SG への給水が行われ、主蒸気逃がし弁を手動操作で開放し熱の放出を行う。また、蓄圧タンクのほう酸水の添加により未臨界性を確保し、蓄圧タンク出口隔離弁を中央制御室からの手動操作にて閉止し、復水ピット枯渇までに 2 次系純水タンク、海水の順に補給を行うことにより 2 次系冷却を継続し、炉心損傷を防止することとしている。

クリフェッジの所在は、補助給水による SG への給水の失敗であり、当該影響緩和機能失敗の原因は、「タービン動補助給水ポンプの浸水」、「タービン動補助給水ポンプ起動盤の浸水」及び「電動補助給水ポンプの浸水」によると特定している。これらの設備は建屋内に設置されていることから、設置区画への浸水量等を算出し許容津波高さを再評価した結果、クリフェッジとしての許容津波高さは浸水口の扉において止水対策を施工した高さである T.P. 11.4m としている。

2) 当院の評価

当院は、津波による起因事象の選定やクリフェッジの特定の妥当性を確認するため、ストレステストのクリフェッジ評価のための手順、起因事象の選定方法、イベントツリー、フォールトツリーの構築方法及びそれらの結果について確認した。その結果は、以下のとおりである。

①起因事象の選定方法

起因事象の選定は、設置許可申請書添付書類十における起因事象、内的事象 PSA で考慮している起因事象を基に、津波に特有な事象を追加、または津波により発生しないと考えられる事象を除外することで行われていることを確認した。

内的事象 PSA では、主給水喪失、外部電源喪失、過渡事象、2 次冷却系の破断、SG 伝熱管破損、大・中・小破断 LOCA、ATWS、補機冷却水の喪失、余熱除去系隔離弁 LOCA、手動停止の 12 事象が挙げられている。

- 今回の評価では、内的事象 PSA の起因事象の他に、津波により、原子炉建屋内（格納容器外）に設置された原子炉の制御・保護に係る系統の設備が浸水や水没し、原子炉制御不能または保護機能喪失に至ることが考えられるため、これらが、「炉心損傷直結」として定義され追加されている。なお、「炉心損傷直結」については、事象の進展に冗長性があったとしても状態の把握や制御が困難であるものと位置付けられ、評価上、ただちに炉心損傷に至るものとして、保守的に扱われている。
- 他方、内的事象 PSA の起因事象のうち、「ATWS」については、津波の影響で直接的に発生するものではないため、対象外とされている。

- 「手動停止」については、津波時にプラントに影響を与える可能性がある場合は自動停止されることから対象外とされている。
- 「2次冷却系の破断」、「大・中・小破断 LOCA」、「余熱除去系隔離弁 LOCA」、「SG 伝熱管破損」は、津波による影響で起因事象となることは考え難い等のため、対象外としている。
- 引き津波時の水位低下による取水性への影響については、ストレステストにおける津波に係る評価において明示的に対象としていないが、引き津波により水位下降側の設計津波高さを継続して過度に下回り、運転マニュアルにおける海水ポンプ停止手順が潮位の監視機能の喪失等が原因で失敗した場合に発生する起因事象は、海水ポンプの損傷による「補機冷却水の喪失」であり、これは、寄せ津波時の水位上昇により海水ポンプが損傷した場合と同じ起因事象であることから、「補機冷却水の喪失」に包絡される。

以上の考察のもと、津波による起因事象として、主給水喪失、外部電源喪失、過渡事象、補機冷却水の喪失、炉心損傷直結が選択されており、これはこれまでの PSA 等の知見に照らして妥当なものと考える。それぞれの事象が発生する原因となる設備及びその設置高さ等を表 6-1 に示す。

②イベントツリー、フォールトツリー、評価対象設備の関連について

- 選定した各起因事象に対して、地震の場合と同様な手順で、イベントツリー、フォールトツリーが作成されている。
- 作成したイベントツリーの各ヘディング（フロントライン系）として、要求される機能を満足するために必要となる設備が抽出されるとともに、各設備の機能達成に必要なサポート系（電源、CCW、制御用空気など）の設備が抽出され、系統図上で整理されている。
- 上記の作業により抽出された関連設備に対して、許容津波高さ評価が行われ、評価結果とあわせて、機器リストとして策定されている。
- 機器リストの許容津波高さをインプットとして、フォールトツリーを展開することで、イベントツリーの各ヘディングの許容津波高さを評価することにより、津波におけるクリフェッジ評価が行われている。ここで、クリフェッジ評価について事業者報告書において明確でない事項であって、津波評価について重要と考えられる、非常用電源の種類及び裕度の考え方、SG への給水の裕度の考え方等について、以下のとおり確認した。
 - ✓ 津波評価における非常用電源の種類及び裕度の考え方 :
 - 非常用所内電源からの給電に成功するパスの場合、非常用所内電源 (6.6kVAC、440VAC、125VDC 及び 115VAC) の許容津波高さは、この

機能達成に必要となる設備のうち、最も許容津波高さの低い、非常用ディーゼル発電機に冷却水を供給する海水ポンプの許容津波高さ（T.P. 4.65m）により決まるとしている。一方、非常用ディーゼル発電機からの給電に失敗するパスの場合に必要とされる機能（例：タービン動補助給水ポンプの起動）は、許容津波高さ T.P. 15.8m の蓄電池からの直流電源給電により機能が達成されるとされている。

- なお、当該プラントは外部電源設備（変圧器）の据付高さがT.P. 13.5m と高く、「外部電源喪失」以外の起因事象のシナリオにおけるクリフエッジの T.P. 11.4m 以上であるとされている。

✓ 津波評価における補助給水による SG への給水に係る影響緩和機能の裕度の考え方：

- イベントツリーにおける補助給水による SG への給水は①補助給水による SG への給水（電動またはタービン動）（許容津波高さ：T.P. 11.4m）、②補助給水による SG への給水（タービン動（消防ポンプによる復水ピットへの給水を含む））（許容津波高さ：T.P. 11.4m）、③補助給水による SG への給水（電動またはタービン動（消防ポンプによる復水ピットへの給水を含む））（許容津波高さ：T.P. 11.4m）の 3 通りとされている。
- このうち、①と③においては、電動補助給水ポンプ使用のため交流電源が必要とされるが、そのクリフエッジは、外部電源設備の据付高さが T.P. 13.5m と高いため、電動補助給水ポンプの許容津波高さ T.P. 11.4m で決定されていることを確認した。②においては、補助給水機能の達成に必要となる設備のうち、許容津波高さが最も低いタービン動補助給水ポンプ（T.P. 11.4m）により、裕度が決まるとしている。消防ポンプは、復水ピットへの給水に係る裕度決定には直接影響しない。

✓ 津波の評価における中央制御室からの操作と現場操作の相違点について：

- 中央制御室からの操作と現場操作を想定するものとして、主蒸気逃がし弁による熱放出があり、①中央制御室における自動または手動操作（許容津波高さ：T.P. 4.65m）と②現場における手動操作（許容津波高さ：T.P. 15.8m）の 2 通りとされている。
- ①は非常用所内電源からの給電に成功するパスにおける緩和系であり、中央制御室から主蒸気逃がし弁を開放するための駆動源となる制御用空気系統を冷却するため、OCW 系統の機能が必要とされている。この機能を達成するために必要となる設備のうち、海水ポンプ

の許容津波高さ T.P. 4.65m により、裕度が決まるとされている。

- ②は非常用所内電源からの給電に失敗するバスにおける緩和系であり、作業員が現場で当該弁を開放するため、制御用空気系や CCW 系統は不要であるが、1 次冷却材圧力計・温度監視用計器に 115VAC 電源が必要であり、その許容津波高さ T.P. 15.8m により、裕度が決まるとされている。

以上より、各起因事象のイベントツリーの各ヘディングとなるフロントライン系、及び、当該フロントライン系の達成に必要なサポート系が適切に抽出されていること、評価対象設備の許容津波高さの評価結果からフォールトツリーを展開した上で各ヘディングの許容津波高さが適切に評価されていること等から、イベントツリー、フォールトツリーの作成及びこれらと評価対象設備の関連については妥当なものと考える。

③防護措置の成立性について

緊急安全対策等、事象の進展に応じて必要となる防護措置に関して、防護措置の成立性や信頼性を確認するため、措置に係る設備、その設置場所、アクセスルート等の津波に対する耐性について、関西電力が示す資料及び現地調査によって確認した。その結果は以下のとおりである。

- 防護措置に係る設備、その設置場所の津波に対する耐性については、防護措置に係る屋外設備が、クリフェッジとして特定された許容津波高さ（炉心燃料の場合 T.P. 11.4m、後述（2）の SFP 燃料の場合 T.P. 33.3m）よりも基本的に高い位置に設置されていること、また、屋内設備、地下埋設物が津波の影響を受けない設置状況であることから、措置の実施に支障はないと考える。
- 防護措置に係るアクセスルートの津波に対する耐性については、地震による道路面へのがれきの散乱などの被害想定を基に、がれき等の撤去などの復旧想定を行っている。現地調査において、消防ポンプによる取水地点が敷地への狭い浸水経路の入口、排水経路の出口付近にあり、波が引いた後、陸上からの漂流物が散乱し、防護措置の時間等に影響を及ぼす可能性があることから、漂流物除去箇所等の重点化、そのための能力向上への取組をより一層図ることの必要性について指摘した。この指摘への対応としては、地震による影響を受けにくい代替取水地点の選定、及び取水地点の津波による漂流物撤去用の重機の配備について、平成 24 年 2 月末までに完了するとされていること、漂流物または瓦礫等の撤去能力の向上を継続的に実施するとされることを確認した。

以上のことから、5.2(1)における、IAEA勧告を踏まえた現場確認に係る記載を踏まえ、当院は、炉心の燃料に対する評価におけるクリフェッジの特定は妥当なものと考える。

(2) SFP の燃料に対する評価について

1) 関西電力による評価

津波を起因として SFP にある燃料の損傷に至る事象を、SFP 冷却系の機能喪失に伴う崩壊熱除去失敗を考慮して選定した上で、各起因事象の影響緩和機能を抽出し、イベントツリーを用いて収束シナリオを特定したとしている（表 6-3、表 6-4）。

各起因事象の発生に直接関係する設備等の許容津波高さを評価した結果、起因事象発生までの許容津波高さが最も小さいのは「補機冷却水の喪失」であり、許容津波高さ T.P. 4.65m で海水ポンプが浸水することにより発生し、SFP 冷却器が使用できなくなることにより、従属的に「SFP 冷却機能喪失」が発生するとしている。また、SFP 冷却機能喪失のイベントツリーを構成する影響緩和機能は、補機冷却水の喪失のイベントツリーに含まれることから、補機冷却水の喪失について評価を行ったとしている。

補機冷却水の喪失の収束シナリオを特定した上で、収束に用いられる全ての影響緩和機能の許容津波高さを評価し、収束シナリオの許容津波高さを特定した結果、許容津波高さは T.P. 33.3m としている。なお、他の起因事象の「外部電源喪失」の収束シナリオの裕度を特定した結果、許容津波高さは T.P. 33.3m であるとしている。選定された収束シナリオは、起因事象発生後、非常用所内電源からの給電が喪失することにより燃料取替用水ピットのほう酸水を SFP へ注水する機能が喪失し、淡水タンクや 1 次系純水タンクを水源とした水、もしくは消防ポンプにより海水注入を行うシナリオである（図 6-6）。

クリフェッジの所在は、「消防ポンプ等による注水」であり、当該影響緩和機能失敗の原因是「消防ポンプ用燃料の浸水」によると特定している。当該燃料については、複数箇所に分散して保管されているが、そのうち最も低い箇所の高さが T.P. 33.3m であることから、クリフェッジとしての許容津波高さは T.P. 33.3m としている。なお、ガソリン燃料の保管庫は、複数の箇所に分散しているが、その全てが使用できることを念頭に、最も低い箇所が浸水した時点で消防ポンプが使用不能となるものと保守的に評価されている。

2) 当院の評価

当院は、津波による起因事象の選定やクリフェッジの特定の妥当性を確認す

るため、ストレステストのクリフェッジ評価のための手順、起因事象の選定方法、イベントツリー、フォールトツリーの構築方法及びそれらの結果について確認した。その結果は、以下のとおりである。

①起因事象の選定方法

津波によりSFPに貯蔵中の燃料の健全性を脅かす要因として、SFPの冷却機能喪失による燃料の異常な過熱が考えられ、これに至る要因として、「SFP冷却機能喪失」のようなフロントライン系の故障、「外部電源喪失」及び「補機冷却水の喪失」のようなサポート系の喪失が挙げられることから、「外部電源喪失」、「SFP冷却機能喪失」及び「補機冷却水の喪失」を起因事象として選定されていることは妥当なものと考えられる。それぞれの事象が発生する原因となる設備及びその設置高さ等を表6-3に示す。

②イベントツリー、フォールトツリー、評価対象設備の関連について

イベントツリー、フォールトツリーは、上記の3つの起因事象について、緩和機能の津波による機能喪失を考慮して適切に展開されていることを確認した。なお、「SFP冷却機能喪失」及び「補機冷却水の喪失」については、同一の事象進展となることから、イベントツリーが区別されていないことを確認した。ここで、「外部電源喪失」の成功パスとして、i) 消防ポンプによる注水が設定され、「SFP冷却機能喪失」及び「補機冷却水の喪失」については、ii) 燃料取替用水ピットによる水源の確保、iii) 消防ポンプ等による注水が設定されていることは、許容津波高さの低い海水ポンプの水没による非常用所内電源及び補機冷却水系喪失を前提として考えれば妥当なものと考える。

構築したイベントツリーに関する影響緩和機能として、非常用所内電源(6.6kVAC電源、440VAC電源、125VDC電源、115VAC電源及び蓄電池を含む)からの給電、燃料取替用水ポンプによる注水、燃料取替用水ピットによる水源の確保、消防ポンプ等による注水が選定され、それらの影響緩和機能の許容津波高さとして、それぞれのフォールトツリーを構成する設備の許容津波高さのうち最小の値が抽出されていることを確認した。

以上のことから、当院は、SFPの燃料に対する評価におけるクリフェッジの特定は妥当なものと考える。

6. 3 緊急安全対策等の効果について

(1) 炉心の燃料に対する評価について

関西電力は、緊急安全対策等の効果の確認の観点から、収束シナリオの裕度評価結果を踏まえ、緊急安全対策等実施前後のイベントツリーを作成し比較を行った結果、緊急安全対策等前後で、津波によるクリフェッジは改善されると評価され、緊急安全対策等の効果について確認することができたとしている。

当院は、緊急安全対策等実施前後のイベントツリーを比較し、緊急安全対策等により、燃料の重大な損傷に至ることを防止するための多重かつ多様な防護措置がとられていることを確認した。その結果は以下のとおりである。

- 緊急安全対策等実施前には、起因事象が発生した段階において海水ポンプが機能喪失することより、複数の補機の冷却不全により複数の機能が喪失し、海へ熱を逃がす機能について喪失する結果、燃料の重大な損傷に至り、そのクリフェッジは T.P. 4. 65m（原因は海水ポンプの機能損傷）であった。
- 緊急安全対策等実施後には、海水ポンプの機能が喪失した場合においても、電動またはタービン動補助給水ポンプの水源の確保により、海水系を用いた冷却に頼らない電動またはタービン動補助給水ポンプを用いた 2 次冷却が可能となり、また、既存扉及び建屋貫通部の隙間にシール施工を行ったことにより、クリフェッジが T.P. 4. 65m から T.P. 11. 4m（タービン動補助給水ポンプ等の機能損傷）と裕度が向上した。

(2) SFP の燃料に対する評価について

関西電力は、緊急安全対策等の効果の確認の観点から、収束シナリオの裕度評価結果を踏まえ、緊急安全対策等実施前後のイベントツリーを作成し比較を行った結果、緊急安全対策等前後で、津波によるクリフェッジは改善されると評価され、緊急安全対策等の効果について確認することができたとしている。

当院は、緊急安全対策等実施前後のイベントツリーを比較し、緊急安全対策等により、燃料の重大な損傷に至ることを防止するための多重かつ多様な防護措置がとられていることを確認した。その結果は以下のとおりである。

- 緊急安全対策等実施前には、燃料取替用水ポンプを用いた SFP への給水機能が喪失する結果、燃料の重大な損傷に至り、そのクリフェッジは T.P. 13. 5m（原因は 440VAC 電源の機能喪失）であった。
- 緊急安全対策等実施後には、燃料取替用水ポンプの機能が喪失した場合においても、消防ポンプを用いた SFP への海水の補給等により、燃料取替用水ポンプに頼らない冷却水補給が可能となり、クリフェッジが T.P. 13. 5m から T.P. 33. 3m（消防ポンプ用燃料の喪失）に向上了。
- 緊急安全対策等により、収束シナリオが従前の 1 シナリオから 2 シナリオと

なり、多重性・多様性が向上した。

以上のことから、当院は、これまで実施してきた緊急安全対策等により、津波に対する裕度が向上するとともに、非常用交流電源による給電機能及び消防ポンプによる水源確保の多様化と事象収束シナリオの追加がなされ、多重化・多様化が向上されたと評価する。

6. 4 当院の評価（まとめ）

以上のとおり、当院は、関西電力が実施した設計上の想定を超える津波が発電所に来襲した場合の評価について、当院の指示に沿って適切に実施されたと考える。すなわち、設備等が単体で有する裕度の評価においては、設計津波高さの設定、検討対象とすべき設備等の選定、評価手法、許容津波高さの算出については妥当なものと考える。また、これらの組合せにより大飯発電所3号機あるいは4号機がシステム全体として有する裕度の評価にあたっては、起因事象の設定、イベントツリーを用いた収束シナリオの特定、クリフェッジの所在の特定についても妥当なものと考える。また、燃料の重大な損傷防止のために実施した緊急安全対策等の効果についても適切に評価されていると考える。

したがって、想定を超える津波に対するクリフェッジは、運転中の原子炉については、「設計津波高さ 2.85m を約 8.5m 上回る津波高さ（ストレステスト実施前の設計津波高さ 1.9m を 9.5m 上回る）T.P. 11.4mにおいて、タービン動補助給水ポンプ等の浸水のため、2次系による冷却に失敗し、炉心の重大な損傷を防止するための措置が講じられなくなる可能性がある」とし、SFPについては、「設計津波高さ 2.85m を約 30.4m 上回る津波高さ（ストレステスト実施前の設計津波高さ 1.9m を 31.4m 上回る）T.P. 33.3mにおいて、消防ポンプ用燃料の浸水のため、海水の SFPへの供給に失敗し、SFPにある燃料の重大な損傷を防止するための措置が講じられなくなる可能性がある」とする関西電力の評価は妥当なものと考える。

また、これまで実施してきた緊急安全対策等により、津波に対する裕度が向上するとともに、非常用交流電源による給電機能及び消防ポンプによる水源確保の多様化と事象収束シナリオの追加がなされ多重化・多様化が向上されたと評価する。

7. 地震と津波の重畠に関する評価

本章においては、関西電力により、設計上の想定を超える地震と設計上の想定を超える津波が発電所に来襲した場合に、燃料の重大な損傷に至ることなく、どの程度の地震動及び津波高さまで耐えられることができるかの評価が適切に行われたかどうかを確認した。関西電力の評価においては、まず、地震と津波の事象としての重畠の考え方が設定されるとともに、建屋、機器等が単体で有する裕度が評価され、その上で、これらの組み合わせにより大飯発電所3号機あるいは4号機のシステム全体として有する裕度が評価されている。システム全体としての評価はイベントツリーを用いて行われ、クリフェッジの所在の特定、限界となるイベント過程、その時の地震動及び津波高さについて評価がなされている。

建屋、機器等が単体で有する裕度の評価及びシステム全体としての評価については、「5. 地震に関する評価について」及び「6. 津波に関する評価について」において妥当性を確認した評価結果をそれぞれ用いた。

また、燃料の重大な損傷防止のための措置や対策の効果についても確認した。その際は、当院の指示に基づいて実施した緊急安全対策等の効果を確認するとともに、その後に実施した対策の効果を合わせて確認した。

その結果、当院は、関西電力が実施した設計上の想定を超える地震とそれに引き続く設計上の想定を超える津波が発電所に来襲した場合の評価について、適切に実施されたと考える。以下、当院が確認した内容の詳細を記載する。

7. 1 機器等の地震と津波の重畠に係る裕度の評価について

(1) 地震と津波の重畠に係る評価方法について

関西電力は、本評価に用いる地震動及び津波高さについて、「5. 1 (1) 評価に用いる地震動について」に記載したSs及び「6. 1 (1) 評価に用いる設計津波高さについて」に記載した設計津波高さとしている。

これら事象の重畠の想定については、地震と津波の大きさの相関性を定量的に示すには現段階でデータや知見等が十分ではなく相関性を適切に考慮することが困難であるため、耐震裕度と許容津波高さのパラメータは相互に独立のものとして扱い、両パラメータの全ての組み合わせを考慮するとしている。また、本方法による評価は、地震と津波に対しあらゆる大きさの組合せを考慮しており、相関性を考慮した場合に比べて安全側の評価となるとしている。

当院は、当該サイトではSsの策定に支配的な震源と設計津波高さの設定に支配的な波源が異なっていることを踏まえ、耐震裕度と許容津波高さのパラメー

タは相互に独立のものとして扱い、設備ごとにそれぞれのパラメータの最も厳しい組合せを抽出し、地震、津波、どちらかによる機能喪失を重畠時の機能喪失として評価することにより、安全側の評価となっていることから、地震と津波の重畠に係る評価方法は妥当なものと考える。

7. 2 クリフェッジの特定について

関西電力は、「5. 地震に関する評価について」及び「6. 津波に関する評価について」の評価結果から、特定されたクリフェッジとしての耐震裕度までの範囲並びに許容津波高さまでの範囲で発生する各起因事象を選定した上で、各起因事象について、特定された収束シナリオの影響緩和機能に関する耐震裕度と許容津波高さのそれぞれの最小値を算定し、それらの組合せを当該収束シナリオに対する地震並びに津波への耐力とし、全ての収束シナリオから、最も耐力を有するシナリオを抽出し、そのシナリオの耐力を地震と津波の重畠によるクリフェッジとして特定したとしている。

(1) 炉心の燃料に対する評価について

関西電力は、地震と津波の重畠に対して炉心損傷に至る事象について、地震側の起因事象である「主給水喪失」、「外部電源喪失」、「補機冷却水の喪失」、及び、津波側の起因事象である「補機冷却水の喪失」、「主給水喪失」、「過渡事象」を対象としている。

地震による起因事象をベースとした場合には、前述（5. 2 (1)）のとおり「外部電源喪失」と「補機冷却水の喪失」にまとめて評価できることから、これらの起因事象に対して既に特定されている収束シナリオを対象に評価を行っている。

津波による起因事象をベースとした場合には、前述（6. 2 (1)）のとおり「補機冷却水の喪失」にまとめて評価できることから、この起因事象に対して既に特定されている収束シナリオを対象に評価を行っている。

この結果、耐震裕度が 1.80Ss 以上または許容津波高さが T.P. 11.4m 以上の領域では、炉心にある燃料の重大な損傷を回避する手段がなくなるため、その境界線をクリフェッジと特定している（表 7-1）。

当院は、地震と津波の重畠によるクリフェッジの特定の妥当性を確認するため、「5. 地震に関する評価について」及び「6. 津波に関する評価について」において確認した、それぞれの起因事象の選定結果及び収束シナリオの評価結果を踏まえて、地震と津波が重畠した場合の収束シナリオとその耐震裕度及び許容津波高さが、地震及び津波の双方の影響を考慮した耐力の組合せとして適

切に抽出され、その結果として最も高い耐力を有する収束シナリオの裕度がクリフェッジとして特定されていることを確認した。その結果は、以下のとおりである。

①地震による起因事象をベースとした評価

地震側の起因事象である「主給水喪失」、「外部電源喪失」、「補機冷却水の喪失」に対するイベントツリーで示される全ての成功パスにおける影響緩和機能の各々の耐力として、耐震裕度及び許容津波高さの評価を行い、地震及び津波に対して最も耐力を有する成功パスのシナリオが抽出されていることを確認した（図7-1）。

②津波による起因事象をベースとした評価

「補機冷却水の喪失」のイベントツリーを用いて、津波単独の評価において既に特定されている成功パスのシナリオを対象に評価を行っている。ただし、そこでは、外部電源の喪失を考慮していないため、地震との重畳の評価においては、これを考慮し、非常用所内電源の喪失後に空冷式非常用発電装置からの給電を行うシナリオとしていることを確認した。この措置の後で、最も耐力を有する成功パスとして、上記①と同一のシナリオが抽出されていることを確認した（図7-1）。

以上に加え、防護措置の成立性については、5.2(1)及び6.2(1)で記載したとおりであることから、当院は、地震と津波が重畳した場合の炉心の燃料に対する評価におけるクリフェッジの特定は妥当なものと考える。

(2) SFPの燃料に対する評価について

関西電力は、地震と津波の重畳に対してSFPにある燃料の損傷に至る事象として、地震側の起因事象である「外部電源喪失」、「SFP冷却機能喪失」、「補機冷却水の喪失」、「SFP損傷」及び、津波側の起因事象である「補機冷却水の喪失」、「SFP冷却機能喪失」、「外部電源喪失」を対象としている。

地震による起因事象をベースとした場合には、前述(5.2(2))のとおり「補機冷却水の喪失」と「外部電源喪失」にまとめて評価できることから、これらの起因事象に対して既に特定されている収束シナリオを対象に評価を行っている。

津波による起因事象をベースとした場合には、前述(6.2(2))のとおり「補機冷却水の喪失」と「外部電源喪失」にまとめて評価できること、また、これらのイベントツリーの許容津波高さは同じであることから、「補機冷却水の

喪失」に対して既に特定されている収束シナリオを対象に評価を行っている。

この結果、耐震裕度が 2Ss 以上または許容津波高さが T.P. 33.3m 以上の領域では、SFP にある燃料の重大な損傷を回避する手段がなくなるため、その境界線をクリフェッジと特定している（表 7-2）。

当院は、地震と津波の重畳によるクリフェッジの特定の妥当性を確認するため、「5. 地震に関する評価について」及び「6. 津波に関する評価について」において確認した、起因事象の選定結果及びクリフェッジの特定結果を踏まえて、収束シナリオとその耐震裕度及び許容津波高さが、地震及び津波の双方の影響を考慮した耐力の組合せとして適切に抽出され、その結果として最も高い耐力を有する収束シナリオの裕度がクリフェッジとして特定されていることを確認した。その結果は、以下のとおりである。

①地震による起因事象をベースとした評価

地震側の起因事象である「補機冷却水の喪失」、「外部電源喪失」に対するイベントツリーで示される全ての成功パスにおける影響緩和機能の各々の耐力として、耐震裕度及び許容津波高さの評価を行い、地震及び津波に対して最も耐力を有する成功パスのシナリオが抽出されていることを確認した（図 7-2）。

②津波による起因事象をベースとした評価

「補機冷却水の喪失」のイベントツリーを用いて、津波単独の評価において既に特定されている成功パスのシナリオを対象に評価を行っている。ただし、そこでは、外部電源の喪失を考慮していないため、地震との重畳の評価においてもこれを考慮し、非常用所内電源の喪失後に消防ポンプ等による注水を行うシナリオとしていることを確認した。外部電源の喪失を考慮した後で、最も耐力を有する成功パスのシナリオが抽出されていることを確認した（図 7-3）。

以上に加え、防護措置の成立性については、5. 2 (1) 及び 6. 2 (1) で議論したとおりであることから、当院は、地震と津波が重畳した場合の SFP の燃料に対する評価におけるクリフェッジの特定は妥当なものと考える。

7. 3 緊急安全対策等の効果について

(1) 炉心の燃料に対する評価について

関西電力は、緊急安全対策等の効果の確認の観点から、収束シナリオの特定及びプラント全体の裕度評価を踏まえ、緊急安全対策等実施前後のイベントツ

リーを作成し比較を行った結果、地震と津波の重畠によるクリフェッジが改善されると評価され、緊急安全対策等の効果について確認することができたとしている。

当院は、緊急安全対策等実施前後のイベントツリーを比較し、緊急安全対策等により、燃料の重大な損傷に至ることを防止するための多重かつ多様な防護措置がとられていることを確認した。その結果は以下のとおりである。

- 緊急安全対策等実施前では、1.75Ss 以上の地震により、「補機冷却水の喪失」（原子炉補機冷却水ポンプの機能損傷）が発生した場合、または、T.P. 4.65m 以上の津波により、海水系の機能喪失に伴う「補機冷却水の喪失」（海水ポンプの機能損傷）が発生した場合、地震の影響により外部電源が喪失し、かつ、津波の影響により非常用所内電源からの給電に期待できないため、燃料の重大な損傷に至る。
- 緊急安全対策等実施後では、「補機冷却水系の喪失」または海水系の機能喪失に伴う「補機冷却水系の喪失」が生じた場合でも、空冷式非常用発電装置の配備、タービン動補助給水ポンプの水源確保、既存扉及び建屋貫通部の隙間へのシール施工等により、耐震裕度 1.80Ss（メタクラ、パワーセンターの機能損傷）までの範囲、及び許容津波高さ T.P. 11.4m（タービン動補助給水ポンプ等の機能損傷）までの範囲では、タービン動補助給水ポンプを用いた 2 次系冷却が可能となり、クリフェッジとなる裕度が向上した。

（2）SFP の燃料に対する評価について

関西電力は、緊急安全対策等の効果の確認の観点から、収束シナリオの特定及びプラント全体の裕度評価を踏まえ、緊急安全対策等実施前後のイベントツリーを作成し比較を行った結果、地震と津波の重畠によるクリフェッジが改善されると評価され、緊急安全対策等の効果について確認することができたとしている。

当院は、緊急安全対策等実施前後のイベントツリーを比較し、緊急安全対策等により、燃料の重大な損傷に至ることを防止するための多重かつ多様な防護措置がとられていることを確認した。その結果は以下のとおりである。

- 緊急安全対策等実施前では、1.75Ss 以上の地震により、「補機冷却水の喪失」（原子炉補機冷却水ポンプの機能損傷）が発生した場合、同時に「SFP 冷却機能の喪失」も発生し、非常用所内電源からの給電に成功しても、地震の影響により、その後の緩和手段である「燃料取替用水ポンプによる注水」機能が喪失しているため、燃料の重大な損傷に至る。また、T.P. 4.65m 以上の津

波により、海水系の機能喪失に伴う「補機冷却水の喪失」（海水ポンプの機能損傷）が発生した場合、津波の影響により非常用所内電源からの給電に期待できず、かつ地震の影響により外部電源も喪失しているため、燃料の重大な損傷に至る。

- 緊急安全対策等実施後では、燃料取替用水ポンプを用いたSFPへの給水機能の機能喪失が生じた場合でも、耐震裕度 2Ss (SFP の構造損傷)までの範囲、及び許容津波高さ T.P. 33.3m (消防ポンプ用燃料の喪失)までの範囲で、SFPへ海水等の水源から消防ポンプ等を用いて直接水を供給することが可能となり、クリフエッジとなる裕度が向上した。

以上のことから、当院は、これまで実施してきた緊急安全対策等により、地震と津波の重畳に対する裕度が向上するとともに、非常用交流電源による給電機能及び消防ポンプによる水源確保の多様化と事象収束シナリオの追加がなされ、多重化・多様化が向上されたと評価する。

7. 4 当院の評価（まとめ）

以上のとおり、当院は、関西電力が実施した設計上の想定を超える地震と設計上の想定を超える津波が発電所に来襲した場合の評価について、適切に実施されたと考える。すなわち、地震と津波の事象を独立のものとして安全側の評価を実施していること、設備等が単体で有する裕度の評価においては、「5. 地震に関する評価について」及び「6. 津波に関する評価について」において妥当性を確認した評価を用いていることは妥当なものと考える。また、これらの組み合わせにより大飯発電所 3 号機あるいは 4 号機がシステム全体として有する裕度の評価にあたっては、「5. 地震に関する評価について」及び「6. 津波に関する評価について」において確認した、それぞれの起因事象の選定結果及び収束シナリオの評価結果を踏まえて、地震と津波が重畳した場合のクリフエッジを特定することについても妥当なものと考える。また、燃料の重大な損傷防止のために実施した緊急安全対策等の効果についても適切に評価されていると考える。

したがって、想定を超える地震と津波に対するクリフエッジは、運転中の原子炉については、「Ss の 1.8 倍以上の地震動または設計津波高さ T.P. 2.85m を約 8.5m 上回る津波高さ（ストレステスト実施前の設計津波高さ 1.9m を 9.5m 上回る）T.P. 11.4m において、メタクラ、パワーセンターの機能損傷のため空冷式非常用発電装置による給電に失敗し、またはタービン動補助給水ポンプ等の浸水のため 2 次系による冷却に失敗し、炉心の重大な損傷を防止するための措置が講じられなくなる可能性がある」とし、SFP については、「Ss の 2 倍以上の地震

動または設計津波高さ T.P. 2.85m を約 30.4m 上回る津波高さ T.P. 33.3m において、SFP の構造損傷のため、SFP にある水が大量に失われ、または消防ポンプ用燃料の浸水のため、海水の SFP への供給に失敗し、同ピットにある燃料の重大な損傷を防止するための措置が講じられなくなる可能性がある」とする関西電力の評価は妥当なものと考える。

また、これまで実施されてきた緊急安全対策等により、地震と津波の重畳に対する裕度が向上するとともに、非常用交流電源による給電機能及び消防ポンプによる水源確保の多様化と事象収束シナリオの追加がなされ多重化・多様化が向上されたと評価する。