

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う川内原子力発電所耐震安全性評価結果報告書の概要

1. はじめに

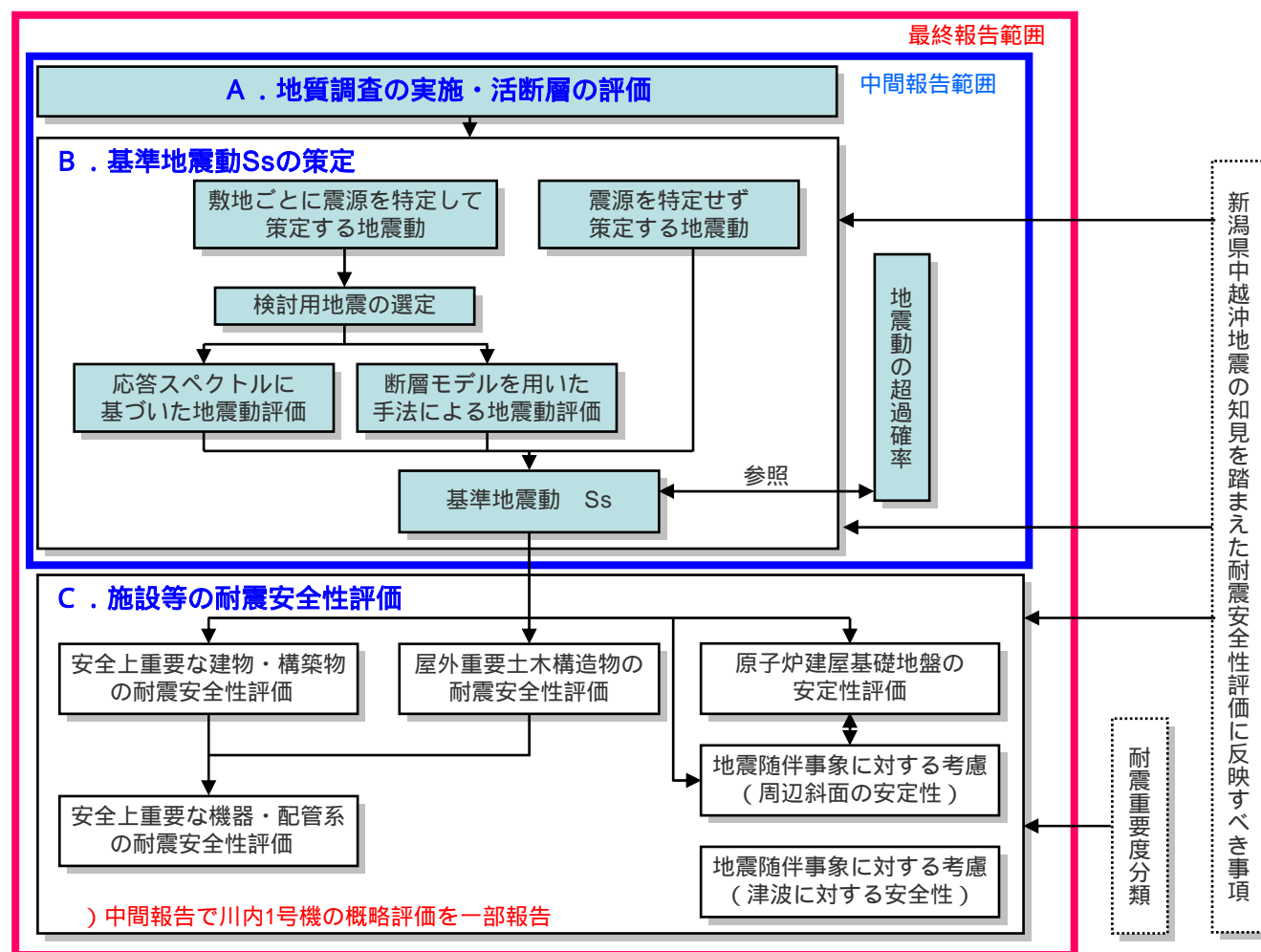
- 平成18年9月20日付けで原子力安全・保安院より、改訂された「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（以下「新耐震指針」という。）に照らした耐震安全性の評価を実施するよう求める文書が出され、当社は耐震安全性評価を行ってきました。
- その後、平成19年7月には新潟県中越沖地震があり、経済産業大臣より、新潟県中越沖地震から得られる知見を耐震安全性の評価に適切に反映し早期に評価を完了する旨の指示があるとともに、原子力安全・保安院より、平成19年12月27日に新潟県中越沖地震を踏まえた耐震安全性評価に反映すべき事項（中間取りまとめ）及び、平成20年9月4日に新潟県中越沖地震を踏まえた耐震安全性評価に反映すべき事項の通知がありました。
- 平成20年3月31日、川内原子力発電所における地質調査結果、基準地震動Ssの策定結果、川内原子力発電所1号機における主要施設の評価結果に関する中間報告をとりまとめ、国に提出いたしました。
- 中間報告後に、新潟県中越沖地震で得られた知見等を反映した詳細な評価を行い、川内原子力発電所1, 2号機の耐震安全性評価結果を取りまとめ、本日、国に提出いたしました。

【報告のポイント】

新耐震指針に照らした各種地質調査（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、従来より保守的に活断層を評価
活断層評価結果に基づく基準地震動Ssは、応答スペクトル法や断層モデルを用いた手法により保守的に策定
基準地震動Ssを用いて、安全上重要な建物・構築物や機器・配管系等について評価を実施し、耐震安全性が確保されていることを確認

2. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価の内容

- 耐震安全性評価の検討に先立ち、新耐震指針に照らした地質調査を実施し、この調査結果を用いて基準地震動Ssの策定を行い、建物・構築物や機器・配管系の耐震安全性評価を順次実施するとともに、あわせて地震随伴事象について検討を行いました。
- 新耐震指針に照らした耐震安全性評価の流れは、下図に示すとおりであり、新潟県中越沖地震の知見による反映すべき事項も踏まえ、評価を行いました。



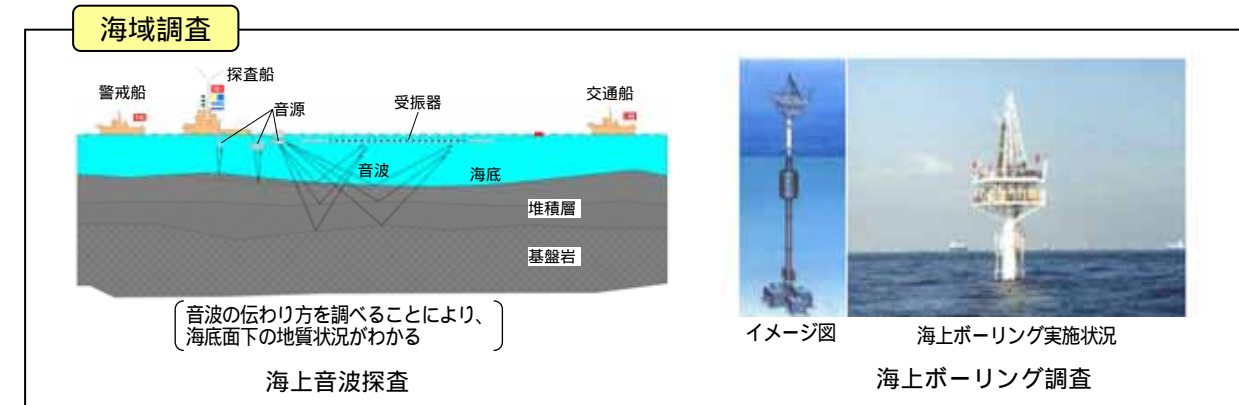
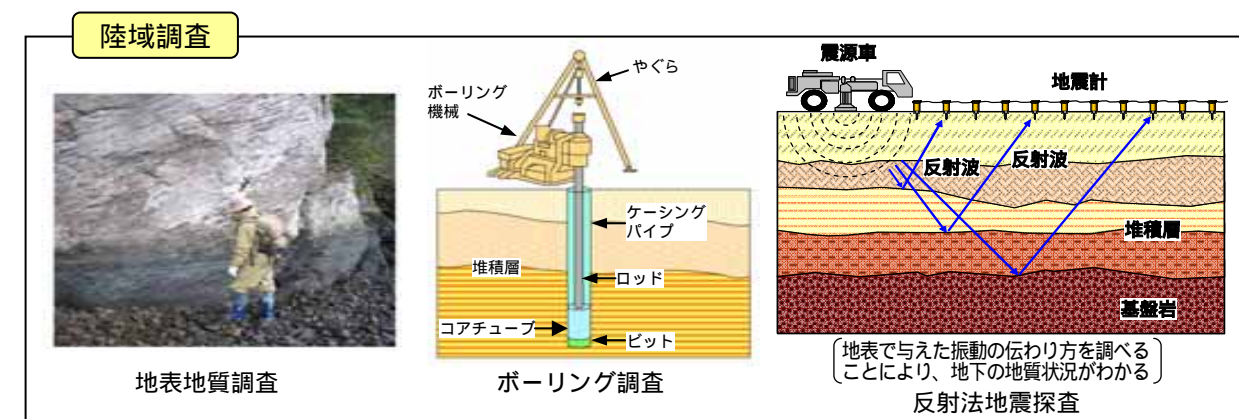
■ : 中間報告後、再評価し報告する項目

3. 耐震安全性評価の概要

A-1 地質調査の概要

- 新耐震指針を先取りし、平成18年8月から、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査等を適切に組み合わせた詳細な調査を徹底して実施しました。
- 実施した主な調査項目は以下のとおりです。

文献調査	・ 活断層・地質等に関する文献調査
陸域調査	・ 変動地形学的調査 ・ 地表地質調査 ・ ボーリング調査 ・ 反射法地震探査
海域調査	・ 海上音波探査 ・ 海上ボーリング調査

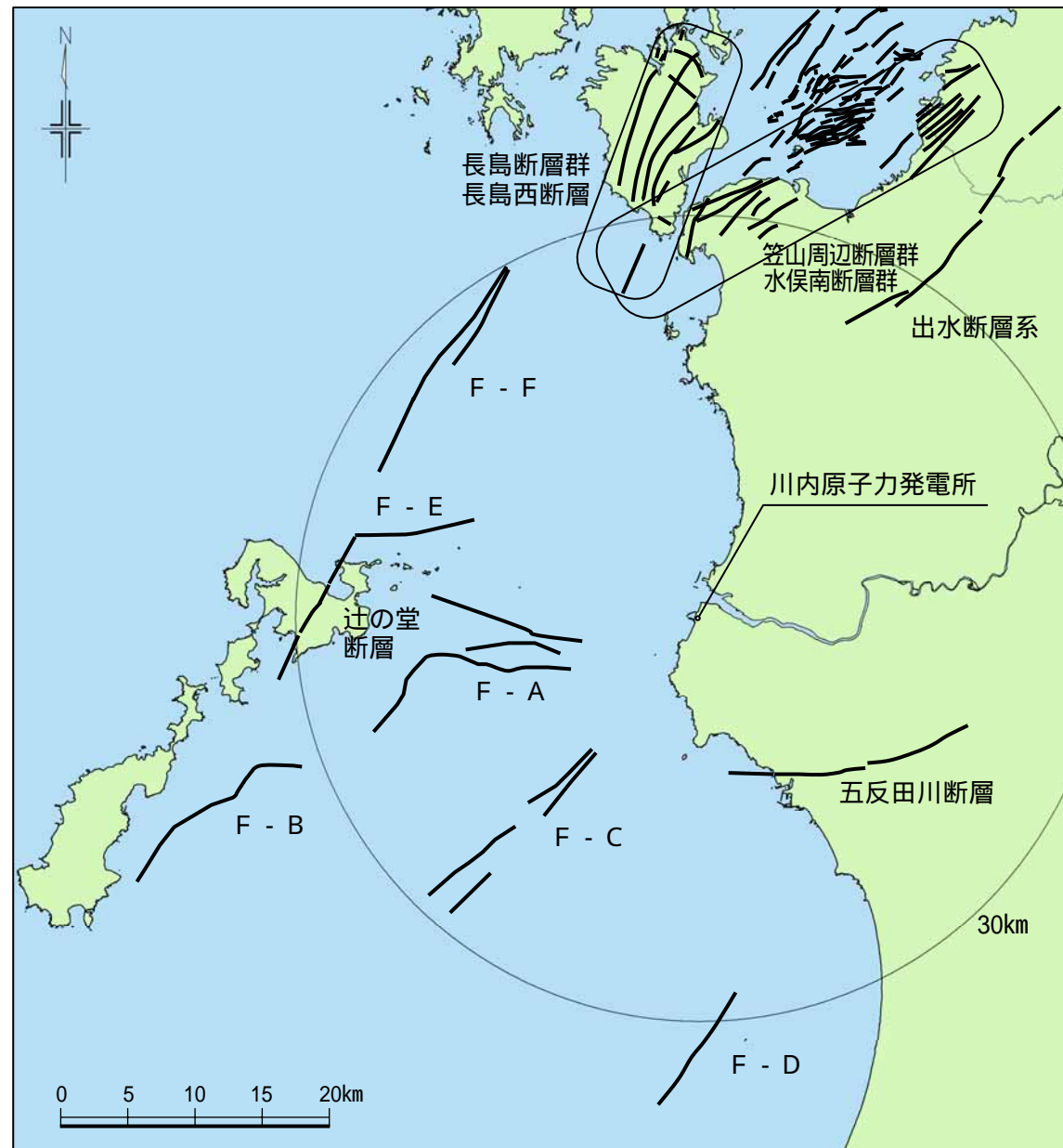


A - 2 活断層の評価【中間報告書で報告済】

- 活断層評価に当たっては、既存の調査結果及び今回の調査結果を基に「新耐震指針」及び「中越沖反映指示」等における活断層評価の考え方や趣旨を踏まえ、保守的に評価を行いました。
なお、中間報告書において評価した活断層及び断層長さに変更はありません。

	陸域			海域			
	断層名	断層長さ L	マグニチュード M	断層名	断層長さ L	マグニチュード M	
陸域	五反田川断層	19km	6.9	海域	F - A断層	18km	6.9
	辻の堂断層	12km	6.8 ¹		F - B断層	15km	6.8
	出水断層系	23km	7.1		F - C断層	16km	6.8
	長島断層群	20km	7.0		F - D断層	10km	6.8 ¹
	長島西断層				F - E断層	9km	6.8 ¹
	笠山周辺断層群	32km	7.3		F - F断層	18km	6.9
水俣南断層群							

1) 孤立した長さの短い活断層については、M6.8と評価
(注) F-A断層とF-B断層については、安全評価上、仮に一連で活動する場合の評価も実施



B 基準地震動Ssの策定【中間報告書で報告済(今回、一部検討を追加)】

(1) 敷地に最も大きな影響を及ぼす「検討用地震」の選定

- 活断層調査結果や既往の研究成果を踏まえ、検討用地震を選定する際には保守的な評価を行いました。具体的には、地表に少しでも活断層が確認された場合は、地下にM6.8相当の地震を起こす活断層が伏在するものとして評価しました。
- 耐震設計上考慮する活断層を比較検討した結果、「五反田川断層による地震」、「F - A断層による地震」、「F - C断層による地震」が敷地への影響が大きいことから、これらを検討用地震としました。

(2) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

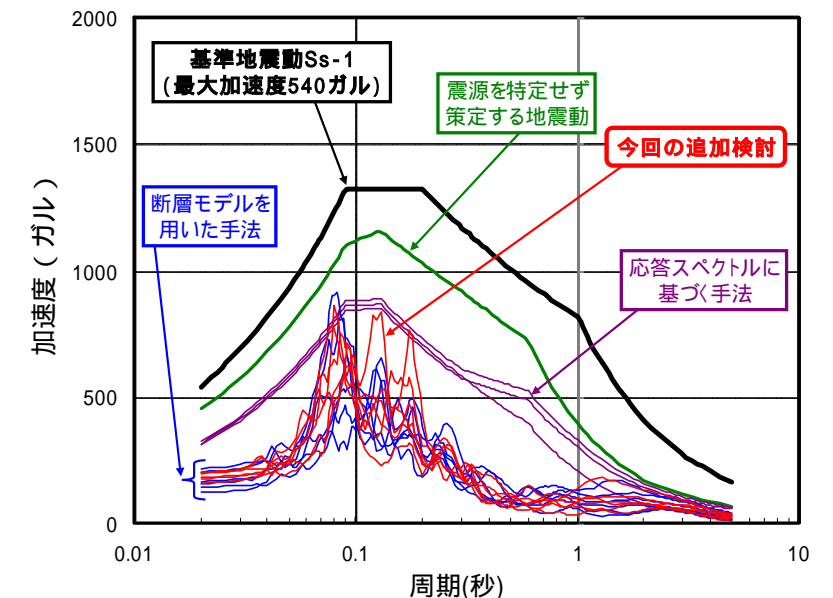
- 応答スペクトルに基づく地震動評価
 - 選定した検討用地震について、応答スペクトルに基づく評価を実施しました。
 - 評価に当たっては、アスペリティ²の位置を発電所敷地に近づけるなど、不確かさについても考慮しました。
- 断層モデルを用いた手法による地震動評価
 - 震源が敷地に近く、破壊過程が地震動に大きな影響を与えらる地震については、断層モデルを用いた手法を重視し、より詳細な検討を行うこととし、以下の検討を行いました。
 - 応答スペクトルに基づく地震動評価と同様に、アスペリティ²の位置の不確かさを考慮して発電所敷地に近づけるなどの厳しい条件についても評価を実施しました。
 - 新潟県中越沖地震の知見を踏まえ、今回、追加検討を実施しました。

(3) 震源を特定せず策定する地震動

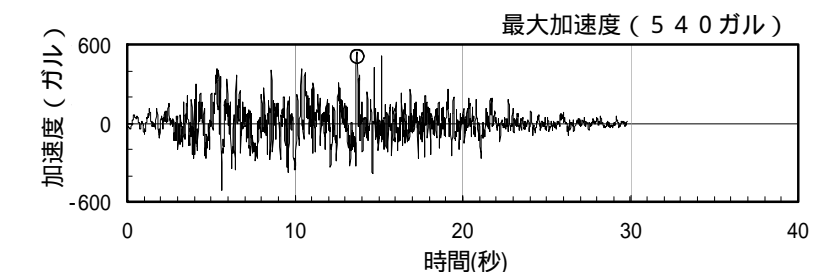
- 敷地周辺における震源を事前に特定できない地震の最大規模について、地域性などの検討によって妥当性を検証した上で、加藤ほか(2004)により提案されている応答スペクトルを「震源を特定せず策定する地震動」として設定しました。
- 上記においては、1997年鹿児島県北西部地震も考慮しました。

(4) 基準地震動Ssの策定のまとめ

- 応答スペクトルに基づく地震動評価結果に、さらに余裕を考慮して「基準地震動Ss-1」(540ガル)を設定しました。
- 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果は、いずれも「基準地震動Ss-1」を上回るものとはならないことから、基準地震動Ssは「基準地震動Ss-1」で代表させることとしました。
- 「震源を特定せず策定する地震動」は、「基準地震動Ss-1」に全ての周期帯で包絡されたため、「基準地震動Ss-1」で代表させることとしました(図B - 、)。



図B - 基準地震動Ssの応答スペクトル(水平動)



図B - 基準地震動Ssの加速度波形(水平動)

2) アスペリティ: 震源域のうち地震時に特に大きな揺れを発生させる場所

C 施設等の耐震安全性評価

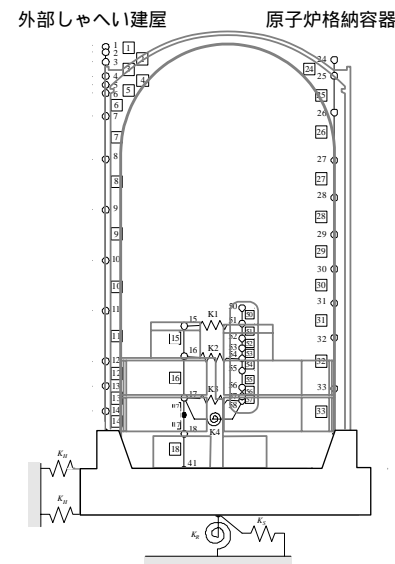
C-1 安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価

- 川内原子力発電所1, 2号機の安全上重要な建物・構築物の耐震安全性の評価に当たっては、建屋全体の健全性を確認する観点から、基準地震動Ssを用いた地震応答解析の結果による耐震壁のせん断ひずみにより評価しました。
- 具体的には、建物・構築物や地盤の特性を適切に表現できるモデルを設定(図C-)し、基準地震動Ssを用いた地震応答解析を実施し、耐震壁のせん断ひずみの値を算出しました。評価としては、解析結果のせん断ひずみが評価基準値 2.0×10^{-3} を超えていないことを確認しました(表C-)。
- 評価の結果、各施設の耐震壁の最大せん断ひずみは評価基準値を満足しており、耐震安全性が確保されていることを確認しました。

表C- 建物・構築物の耐震安全性評価結果

対象施設	対象部位	最大せん断ひずみ	評価基準値	結果
1号機	原子炉建屋 ³⁾	0.29×10^{-3}	2.0×10^{-3}	良
	原子炉補助建屋 ³⁾	0.28×10^{-3}		
	燃料取扱建屋	0.03×10^{-3}		
	ディーゼル建屋	0.20×10^{-3}		
	主蒸気管室建屋	0.16×10^{-3}		
2号機	原子炉建屋	0.28×10^{-3}	2.0×10^{-3}	良
	原子炉補助建屋	0.26×10^{-3}		
	燃料取扱建屋	0.06×10^{-3}		
	ディーゼル建屋	0.21×10^{-3}		
	主蒸気管室建屋	0.14×10^{-3}		

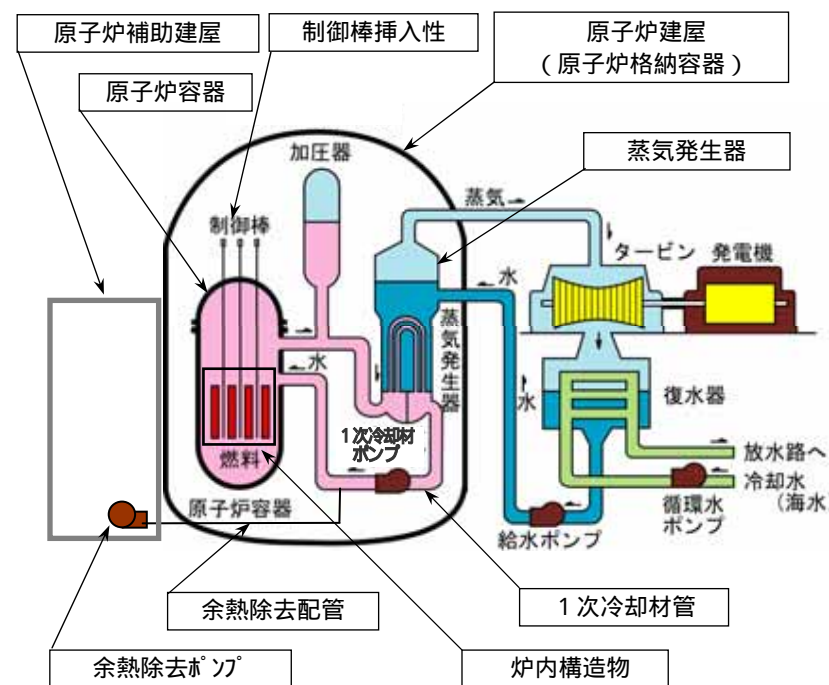
3) 中間報告で報告済み



図C- 地震応答解析モデル概要図(2号機原子炉建屋の例)

C-2 安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価

- 川内原子力発電所1, 2号機の安全上重要な機能を有する耐震重要度分類Sクラスの設備について、耐震安全性評価を実施しました。評価に当たっては、基準地震動Ssによる発生値(発生応力、制御棒にあっては挿入時間)を算出し、評価基準値と比較することによって構造強度評価、動的機能維持評価を行いました。
- ここで、評価基準値とは、構造強度評価の場合は材料毎に定められた許容応力等、動的機能維持評価(制御棒の挿入性)の場合は安全評価の解析条件等を踏まえて設定された規定時間のことを言います。
- 評価の結果、各設備の発生値は評価基準値を満足しており、耐震安全性が確保されていることを確認しました。



下表(表C-)に、川内原子力発電所1, 2号機耐震重要度分類Sクラス設備のうち、原子炉を「止める」、「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」の安全上重要な機能を有する主要設備の評価結果例を示します。

表C- 安全上重要な機能を有する主要設備の評価結果

区分	設備	評価部位	単位	発生値		評価基準値(許容値)		結果
				1号	2号	1号	2号	
止める	炉内構築物	ラジアルサポート	膜応力+曲げ応力 (MPa)	189	241	372	372	良
	制御棒挿入性	-	時間 (秒)	1.86	1.88	2.2	2.2	
冷やす	蒸気発生器	給水入口管台	膜応力+曲げ応力 (MPa)	228	209	413	413	
	1次冷却材管	充てん管台	膜応力+曲げ応力 (MPa)	158	158	383	383	
	余熱除去ポンプ	基礎ボルト	せん断応力 (MPa)	25	24	160	160	
	余熱除去設備配管	配管	一次応力 (MPa)	162	105	401	342	
閉じ込める	原子炉容器	出口管台	膜応力+曲げ応力 (MPa)	243	242	422	422	
	原子炉格納容器本体	胴	座屈 (-)	0.97	0.98	1.00	1.00	

C-3 原子炉建屋基礎地盤・周辺斜面の安定性評価

- 川内原子力発電所1, 2号機の原子炉建屋基礎地盤及び周辺斜面について、基準地震動Ssによる地震応答解析等を実施した結果、すべり安全率は、評価基準値を上回っており、安定性に問題ないことを確認しました(表C-)。

表C- 原子炉建屋基礎地盤・周辺斜面の安定性評価

	すべり安全率	評価基準値	結果
原子炉建屋基礎地盤	2.7	1.5	良
周辺斜面	1.6	1.2	

C-4 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価

- 川内原子力発電所1, 2号機の耐震重要度分類Sクラスの機器・配管系を支持している屋外重要土木構造物(原子炉補機冷却海水系の取水ピット(海水ポンプ基礎)及び海水管ダクト)について、基準地震動Ssによる地震応答解析等を実施した結果、せん断力は、評価基準値を満足しており、耐震安全性に問題ないことを確認しました(表C-)。

表C- 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価

設備	せん断力 (kN)	評価基準値 (kN)	結果
取水ピット(海水ポンプ基礎)	511	530	良
1号機海水管ダクト	1,225	1,514	
2号機海水管ダクト	1,058	1,117	

C-5 津波に対する安全性評価

- 川内原子力発電所周辺の海域において想定される地震に伴う津波の数値シミュレーションを実施した結果、その中で最も大きい津波を想定しても、敷地高さを上回ることがなく、安全性に問題がないことを確認しました。また、津波により水位が低下した場合についても、原子炉補機冷却海水設備へ取水ができ、安全性に問題がないことを確認しました(表C-)。

表C- 津波に対する安全性評価

	水位 (m)	評価基準値 (m)	結果
上昇側水位	T.P.+3.7程度	T.P.+13.0 (敷地高さ)	良
下降側水位	T.P.-3.7程度	T.P.-6.0 (取水口敷高)	

(注) T.P.:東京湾平均海面