地震特別報告会資料集

「柏崎刈羽の復旧と
　地震安全特別専門委員会の活動状況」
（第5回　於　東北大学）

2009年9月17日

日本原子力学会
原子力発電所地震安全特別専門委員会

目　次

１．概要……1

２．報告会プログラム……1

３．第1部　地震安全特別専門委員会からの報告……2
（1）地震安全に関する日本原子力学会の活動
（2）構造分科会における裕度の議論と検討項目の抽出
（3）原子力発電所の地震安全問題に関する
日本地震工学会と日本原子力学会の協働
（4）総合討論 「地震における原子力安全について」
①原子力発電所の地震安全の信頼性向上を目指す
地震工学的課題の要点
②耐震評価上の余裕について
③原子力発電所の地震時の安全確保について
④原子力安全を確保する規制と民間基準・規格の役割
⑤地震安全確保におけるPSAとリスク情報活用の意義
⑥総合討論

４．第2部　駿河湾地震の対応状況……3
（1）浜岡原子力発電所の状況について

５．第3部　柏崎刈羽の復旧と国の対応状況……3
（1）柏崎刈羽原子力発電所の状況について
（2）原子力安全・保安院／IAEAの対応状況
（3）原子力安全委員会の対応状況

添付資料
資料1　地震安全に関する日本原子力学会の活動……5
資料2　構造分科会における裕度の議論と検討項目の抽出……11
資料3　原子力発電所の地震安全問題に関する
日本地震工学会と日本原子力学会の協働……23

資料４－１　原子力発電所の地震安全の信頼性向上を目指す
　　地震工学的課題の要点……33
資料４－２　耐震評価上の余裕について……35
資料４－３　原子力発電所の地震時の安全確保について……37
資料４－４　原子力安全を確保する規制と民間基準・規格の役割……41
資料４－５　地震安全確保におけるPSAとリスク情報活用の意義……43
資料４－６　総合討論……45
資料４－７　総合討論の記録……46
資料5　浜岡原子力発電所の地震時の状況について……55
資料6　柏崎刈羽原子力発電所の状況について……79
資料7　NISA／JNESの活動状況とIAEAへの対応状況……129
資料8　原子力安全委員会の取り組み……143

1．概　要

（社）日本原子力学会は，2009年秋の大会（9/16～9/18　於　東北大学）に合わせて第5回地震特別報告会を東北大学工学部の青葉記念会館にて開催した。

主な内容は，第一部で地震安全特別専門委員会の活動を中心とした報告を行い，第二部では2009年8月11日の駿河湾の地震に関わる浜岡原子力発電所の状況，第三部では中越沖地震に関わる柏崎刈羽原子力発電所の復旧と国の対応状況が報告された。また，第一部では地震時の原子力安全をテーマとしてパネル討論を行った。

2．プログラム

日時：2009年9月17日（木）13：00～17:15
場所：東北大学工学部　青葉記念会館　4階大研修室

第1部　地震安全特別専門委員会からの報告
（1）地震安全に関する日本原子力学会の活動　（東京大学）班目　春樹
（2）構造分科会における裕度の議論と検討項目の抽出　（東北大学）高木　敏行
（3）原子力発電所の地震安全問題に関する日本地震工学会と日本原子力学会の協働　（JNES技術顧問）亀田弘行
（4）総合討論 「地震における原子力安全について」
パネリストの発表
①原子力発電所の地震安全の信頼性向上を目指す地震工学的課題の要点　（JNES技術顧問）亀田　弘行
②耐震評価上の余裕について　（東京大学）岡本　孝司
③原子力発電所の地震時の安全確保について　（安全分科会）渡邉　憲夫
④原子力安全を確保する規制と民間基準・規格の役割　（東芝プラントシステム）宮野　廣
⑤地震安全確保におけるPSAとリスク情報活用の意義　（大阪大学）山口　彰
総合討論

第2部　駿河湾地震の対応状況
（1）浜岡原子力発電所の状況について　（中部電力）鈴木　純也

第3部　柏崎刈羽の復旧と国の対応状況
（1）柏崎刈羽原子力発電所の状況について　（東京電力）山下　和彦
（2）原子力安全・保安院／IAEAの対応状況　（JNES）蛯沢　勝三
（3）原子力安全委員会の対応状況　（原子力安全委員会）小山田　修

まとめ　（原子力学会）辻倉　米蔵

３．第１部　地震安全特別専門委員会からの報告

（１）地震安全に関する日本原子力学会の活動（資料１）

　地震安全に関する日本原子力学会の活動状況について、地震安全特別専門委員会委員長の班目春樹氏（東京大学）が報告した。委員会は、本日まで五回の特別報告会を開催してきており、今後、「地震安全の論理」の取り纏め、「地震全ロードマップ」の検討を進めていく予定である。また、合わせて関係機関に働きかけ、支援することで「原子力に対する社会の理解・安心の一層の向上」に寄与していく。

（２）構造分科会における裕度の議論（資料２）

　構造分科会における裕度の議論と検討項目の抽出について、構造分科会副主査の高木敏行氏（東北大学）が報告した。構造分科会では、これまでに耐震設計において機器・配管の応答解析から強度評価までを対象に、現状の耐震設計の高度化や地震後の健全性評価の標準化・高度化に繋げる検討項目を抽出し、今年五月にとりまとめた地震安全ロードマップ中間報告に反映した。現在、ロードマップのブラッシュアップについて継続活動中である。

（３）原子力発電所の地震安全問題に関する日本地震工学会と日本原子力学会の協働（資料３）

　原子力発電所の地震安全問題に関する日本地震工学会と日本原子力学会の協働について、地震工学分科会主査の亀田弘行氏（JNES技術顧問）が報告した。日本地震工学会の「原子力発電所の地震安全問題に関する調査委員会」と日本原子力学会の地震工学分科会は、協働でロードマップの検討を進めており、その活動の背景、検討手順、作成方針、活動計画、課題の抽出状況、今後の検討予定と委員会で提供された具体的話題の例などが紹介された。

（４）総合討論「地震時の原子力安全について」

　「地震における原子力安全について]をテーマに、班目春樹（東京大学）氏を座長に、亀田弘行氏，岡本孝司氏（東京大学），山口彰氏（大阪大学），渡邉憲夫氏（JAEA），宮野廣氏（東芝プラントシステム）をパネリストに招いて総合討論が行われた。

　最初に、各パネリストから、それぞれ数枚のパワーポイントでテーマに関連した発表があり、引き続いて座長の元でパネリスト間の討論が行われた。最後に会場の出席者も参加して意見交換が行われた。各パネリストの発表内容は以下の通り。総合討論の内容については別に取り纏めた。

①原子力発電所の地震安全の信頼性向上を目指す地震工学的課題の要点（資料４－１）

亀田氏から、安全確保の体系に関する認識、KKの経験から提起された地震工学的課題、「耐震裕度」定量化の要点が提示された。

②耐震評価上の余裕について（資料４－２）

岡本氏から、耐震評価上の様々な余裕と不確定要因が提起され、学協会での地震安全に関わる構造分野での検討状況について説明された。

③原子力発電所の地震時の安全確保について（資料４－３）

安全分科会の渡邉氏から、安全分科会の主な活動として検討している内的事象と耐震設計における安全確保の概念の関係について中間報告があった。

④原子力安全を確保する規制と民間基準・規格の役割（資料４－４）

宮野氏から、安全確保のための規制基準と学協会規格の役割と信頼性確保のレベルを比較して、それぞれの位置づけを明示し、在り方を示した。

⑤地震安全確保におけるPSAとリスク情報活用の意義（資料４－５）

山口氏から、リスク情報活用の意義、PSAの効用、そして安全規制のための適正な裕度の考え方について例示しながら、説明した。

⑥総合討論（資料４－６）

班目座長から，総合討論の論点を提示し、これに対して各パネラーが意見を述べた。さらに，会場からの意見も踏まえて，今後の取り組みとしてまとめた。総合討論の詳細は資料４－7に別にとりまとめた。

４．第2部 駿河湾の地震の対応状況

（1）浜岡原子力発電所の地震時の状況について（資料5）

浜岡原子力発電所の地震時の状況について、鈴木純也氏（中部電力）が報告した。８月１１日に発生した地震により浜岡発電所では運転中の原子炉は自動停止したが、いずれも安全上重要な施設に損傷はなく、外部への放射能の影響もなかったことが報告された。また、設備の健全性評価の結果について説明があった。

５．第3部　柏崎刈羽の復旧と国の対応状況

（1）柏崎刈羽原子力発電所の状況について（資料6）

柏崎刈羽原子力発電所の状況について、山下和彦氏（東京電力）が報告した。中越沖地震による発電所への影響、その後の設備健全性評価の現況、基準地震動Ｓｓの策定状況及び耐震強化工事の実績等について紹介された。

（2）NISA／JNESの活動状況とIAEAへの対応状況（資料7）

原子力安全・保安院／JNESの活動の現状とIAEAへの対応状況について、蛯沢勝三氏（JNES）が報告した。説明内容は以下の通りである。

・耐震安全最新知見の耐震審査への反映の仕組み

・原子力耐震・構造研究拠点プロジェクトーJNES柏座耐震安全ｾﾝﾀｰの活動ー

・IAEA国際耐震安全ｾﾝﾀｰ（ISSC）の活動
・NISA／JNESのIAEA（ISSC）への対応

（3）原子力安全委員会の取り組み（資料8）

原子力安全委員会の取り組みの状況について、小山田修氏（原子力安全委員会）が報告した。原子力安全委員会では、柏崎刈羽原子力発電所6，7号機を含む全ての原子力発電所を対象にした新耐震指針によるバックチェックを保安院と同時並行的に審議を進めており、その基本的考え方、審議体制、安全委員会のこれまでの見解、今後の予定等について説明があった。

以　上

資料１

地震安全に関する
日本原子力学会の活動

2009年9月17日

原子力発電所地震安全特別専門委員会
委員長　班目　春樹（東京大学）

1. 原子力学会におけるこれまでの動き

2007年7月16日に新潟県中越沖地震発生が発生して以降、学会では、この地震に対する「原子力安全の確保」についてのポジションペーパー」をただちに発表した。また、年会において中越沖地震に関する特別報告会を定期的に開催すると共に、「原子力発電所地震安全特別専門委員会」を発足させ、他の学協会と連携した活動を進めてきた。

（これまでの経緯）
2007年　7月20日　中越沖地震に関するポジションペーパーを発表
2007年　9月28日　秋の大会にて第一回特別報告会を開催
2007年12月19日　第一回地震安全特別専門委員会開催
2008年　3月27日　春の年会にて第二回特別報告会を開催
2008年　6月　4日　第二回地震安全特別専門委員会開催
2008年　9月　5日　秋の大会にて第三回特別報告会を開催
2008年10月30日　第三回地震安全特別専門委員会開催
2009年　3月25日　春の年会にて第四回特別報告会を開催
2009年　4月15日　第四回地震安全特別専門委員会開催
2009年　9月17日　秋の大会にて第五回特別報告会を開催　（本日）

2. 活動の目的

原子力発電所地震安全特別専門委員会とは

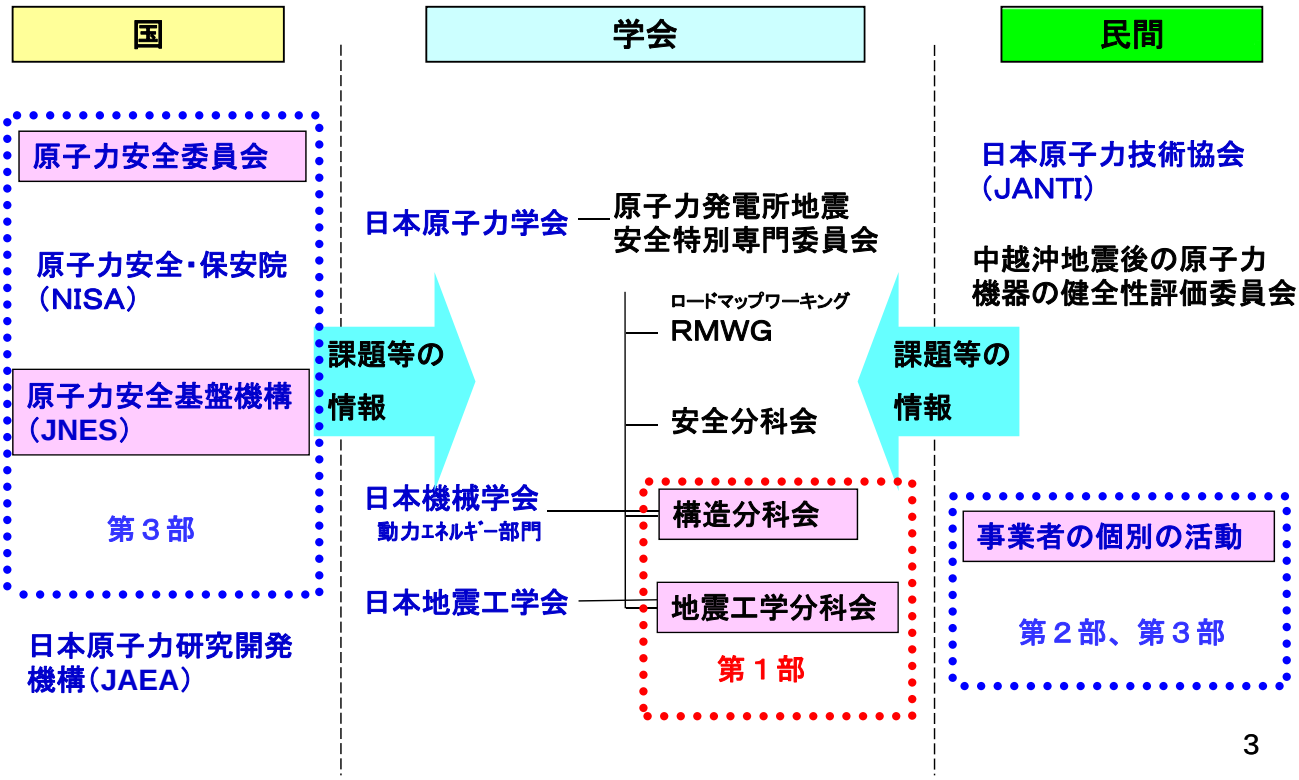
地震発生時の原子力発電所の安全を確保するため、
地震動の大きさ、建物・機器の構造強度、安全機能の確保などの
諸問題に対し、関連する様々の技術者、研究者により
包括的な整理と対応について議論を行う　場として発足した。

活動の目的

- **地震時の安全確保の基本的考え方を明らか**にしたうえで、それを基に各分野で検討すべき課題を提起し、問題解決のための研究開発と方策の検討を行う**ロードマップを整備する。**
- そこから、各分野の専門家がそれぞれの役割と考え方を相互に理解し、全体最適をどのように実現していくべきかを議論して、**共通認識**を持つ。
- さらに、地震安全が全体として進むべき方向に関してコンセンサスを形成し、それを**社会に発信、実行**する。

2

3. 活動体制



3

4. 活動の概要（1／2）

□ ロードマップWG

各専門分野毎に作成されたロードマップを元に、横通しの整理を行い、地震安全ロードマップ中間報告を取りまとめ公表した。（前回発表）

今後、各分科会での検討結果を踏まえてロードマップを完成させる。

□ 安全分科会

地震に関する各専門分野を束ねる横串となる、原子力の安全確保に関する基本的考え方を「地震安全の論理」として取りまとめる。（前回発表）

更に、この地震安全確保の基本的考え方を基に，安全設計・安全評価上の技術課題を抽出，検討し、ロードマップに反映する

4. 活動の概要（2／2）

□ 構造分科会

国，日本機械学会（動力エネルギー部門），日本原子力技術協会などの検討内容も参考にしつつ，地震動に対する原子力発電所の機器の持つ裕度に関わる部分を中心に検討課題を抽出し，その対応について検討するとともに，ロードマップに反映する。（今回発表）

□ 地震工学分科会

日本地震工学会「原子力発電所の地震安全問題に関する調査委員会」（2008年10月発足）の検討成果をベースに，地質，地盤の調査から　基準地震動の策定，建屋の健全性など幅広い分野の検討課題を抽出し，その対応について検討するとともに，ロードマップに反映する。（今回発表）

5. 国際的な動き（1／2）

■ **IAEA　EBPでの活動状況**

- 国際原子力機関（IAEA）は、世界標準としての耐震評価基準を策定することを目的として、2007年より、特別拠出金プロジェクト（Extra Budgetary Project: EBP）を開始した。
- EBPでは、世界各国から出席する専門家の協力のもと、5つのWGにおいて各種検討が進められている。
  （1）地震動に関する検討（Area1）
  （2）既設プラントの耐震安全性評価に関する検討（Area2）
  （3）地震を受けたプラントの再起動基準等の検討（Area3）
  （4）上記に係わる情報収集・共有等の検討（Area4）
  （5）地震経験のフィードバック（Area5）
- 中越沖地震等の経験等、日本の貢献が大きく期待される。
- プロジェクトは、3年の時限で実施されている。

5. 国際的な動き（2／2）

■ **ASME PVP2009会議**(ﾌﾟﾗﾊ,July 27-30,2009)

- 中越沖地震に関するパネルセッションを開催。
  日本から耐震設計基準、地震時及び事後対応、設備健全性評価、耐震設計改良について4件の発表（東京電機大、東電他)、IAEAから1件の報告

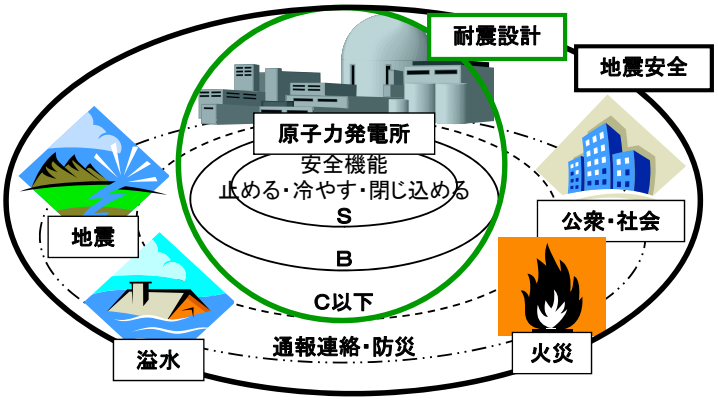
■ **SMiRT-20会議**(ﾍﾙｼﾝｷ,Aug.7-15,2009)

地震特別ｾｯｼｮﾝを開催。

- 第1部：中越沖地震後の状況・調査報告4件
  (東電、産総研、原技協、IAEA)
- 第2部：IAEA耐震安全ｾﾝﾀｰ、NRC、India耐震規制当局の報告
- ﾊﾟﾈﾙ討論：
  テーマ：設計を超える地震、地震後のﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄと公衆の受容

6.今後の活動

- 原子力発電所における地震安全確保の基本的考え方を「地震安全の論理」として取り纏めていく



8

6.今後の活動（続）

- 地震安全の論理に基づいて、地震安全ロードマップを完成し、その後継続的にローリングを行う
- 下記の項目について、関係機関に働きかけ、支援することで、原子力に対する社会の理解・安心の一層の向上に寄与する
  - 国、関連学協会等との連携による、原子力発電所の地震時の原子力安全の確保に向けた研究推進
  - IAEA等との連携による、研究成果共有と国際基準作りに向けた国際協力
  - 規格・基準等の制度基盤、人材基盤の整備に向けた活動の展開

9

日本原子力学会　2009年秋の大会　特別報告会
柏崎刈羽の復旧と地震安全特別専門委員会の活動状況
東北大学青葉記念会館4階大研修室

構造分科会における裕度の議論と検討項目の抽出

平成21年9月17日

構造分科会副主査　高木敏行(東北大学)

1

構造分科会の活動状況

●構造分科会体制

主査：岡本（東京大学）、副主査：高木（東北大学）
委員：学識経験者、電力、メーカ、JANTI 、JNES　他

●概要

地震安全の観点から，耐震設計において機器・配管の応答解析から強度評価までを対象に，設計建設段階と運転段階に分けて技術分野と課題を整理し，現状の耐震設計の高度化や地震後の健全性評価の標準化・高度化に繋げる検討項目を抽出

●実績

・2008.2　第1回分科会開催
・2008.5　構造分科会中間取りまとめ
・2009.2　今後の活動方針の検討，個別課題の見直し
・2009.5　“地震安全”ロードマップ－中間報告－
（原子力発電所地震安全特別専門委員会）

・2009.9/17　秋の大会にて第五回特別報告会を開催(本日)

現在，ロードマップのブラッシュアップ、ローリングについて継続活動中

2

構造分科会の課題と検討項目

設計建設段階と運転段階に分けて技術分野と課題を整理し，今後の耐震設計のあり方（高度化）や地震後の健全性評価の標準化及び高度化に繋げていくためのロードマップの検討を継続中

構造分科会で抽出した主な検討項目

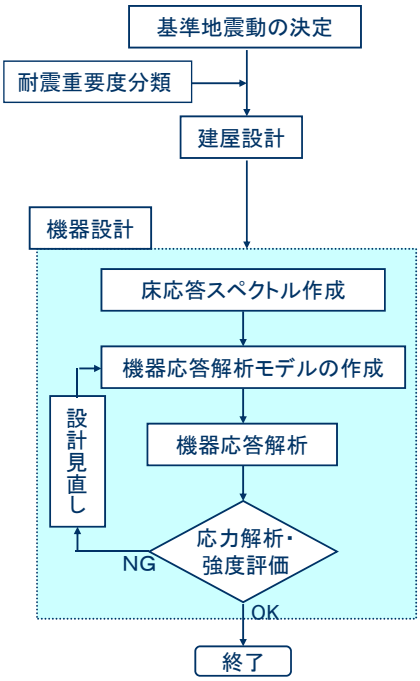
○裕度の定量化／設計高度化
- ・安全裕度の定量化
- ・減衰定数
- ・動的応答評価モデル
- ・弾塑性解析手法の適用

○裕度把握のためのデータ採取
- ・地震時の機器応答データ取得

○（設計裕度を考慮した）評価基準
- ・地震動指標の検討
- ・健全性評価基準
- ・点検項目策定と点検方法の高度化

3

裕度に関する議論



これまでの活動では，地震動に対する原子力発電所の機器の持つ裕度に関わる部分を中心に検討課題を抽出し，その対応について検討

○現状の耐震設計の持つ保守性について議論

1）設計条件の保守的な設定
　床応答スペクトル，減衰定数

2）保守的な解析モデル
　簡易解析モデル，静的荷重として評価

3）実耐力に余裕を持った許容値の設定
　設計引張り強さ、設計疲労線図　　等

許容値（許容応力）には，設計条件に応じて荷重や材料強度のばらつきが考慮されるが，設計段階では1），2）のような保守性も含んでいるため対許容値以上の裕度も生まれる

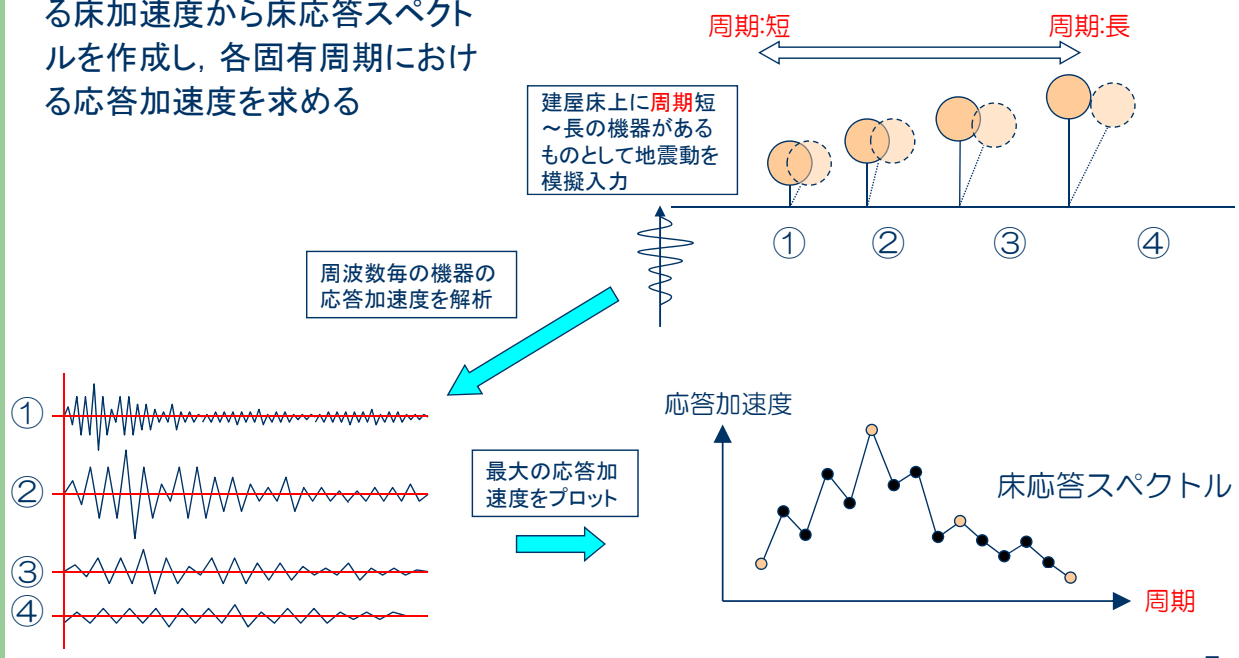
⇩

裕度の把握が設計の高度化にも繋がるものとして課題を抽出

4

裕度に関する議論（例：床応答スペクトル1/2）

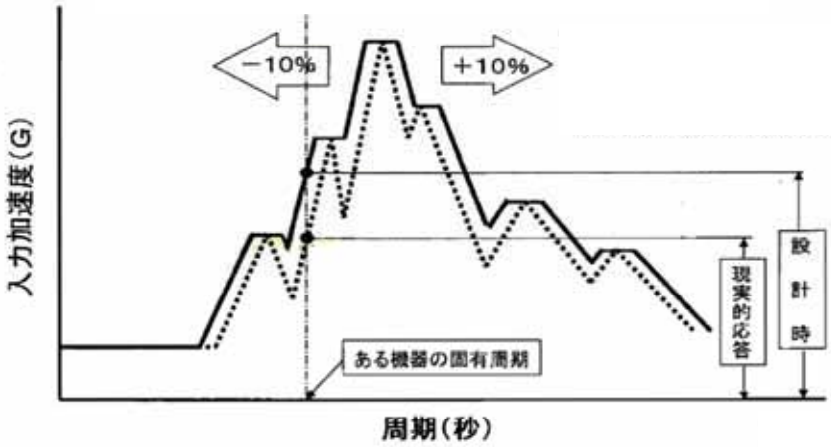
配管の減衰と設置レベルにおける床加速度から床応答スペクトルを作成し，各固有周期における応答加速度を求める



裕度に関する議論（例：床応答スペクトル2/2）

設計用床応答スペクトルでは，地盤物性，建屋剛性等の因子による地震動の変動を考慮し周期方向に±10%拡幅

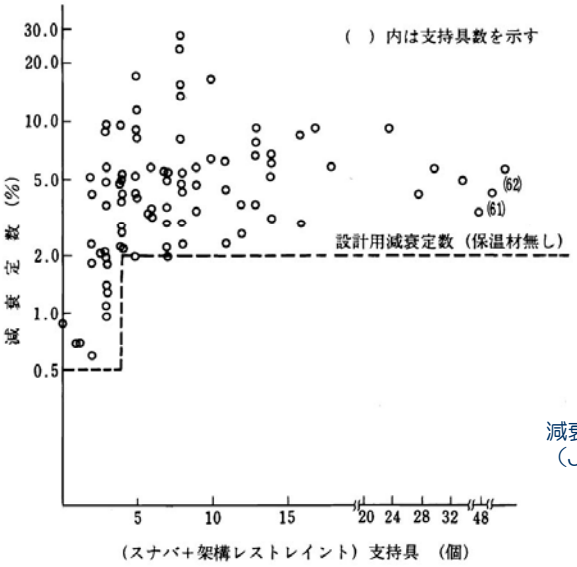
→<u>固有周期が仮に現実と異なっていても，保守性を確保</u>



裕度に関する議論（例：減衰定数）

応答スペクトル作成に用いる減衰定数については，試験の下限値で設定された規格基準値を適用

→<u>応答加速度は保守的に大きく設定される</u>



減衰定数データ
（JEAG4601-1991より抜粋）

裕度に関する議論（例：簡易解析モデル）

設計段階では，設備数が膨大であり，合理性を犠牲にしても簡便で信頼性の高い設計手法を採用

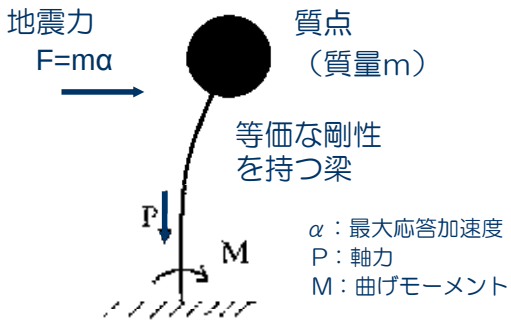
簡易的手法で許容値を満たすことが確認できれば、詳細評価は実施しない

簡易な（現行）設計手法

○質点系の簡易モデル

○各モードの時間的変化を考慮せず各モードの最大応答を重ね合せてモーメントを算出

○水平地震動と上下地震動の応答の時間的な相違も考慮しない



※ 詳細な設計手法

○塑性することによる材料特性の変化等を考慮した有限要素法によるモデル

○地震動を動的に扱い，時刻歴解析

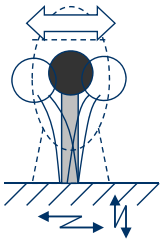
裕度に関する議論（例：静的荷重として評価／設計強度）

○地震の慣性力により発生する応力は自己制御性のない一次応力として評価

○一次応力＋2次応力に対し、弾完全塑性体を仮定して評価

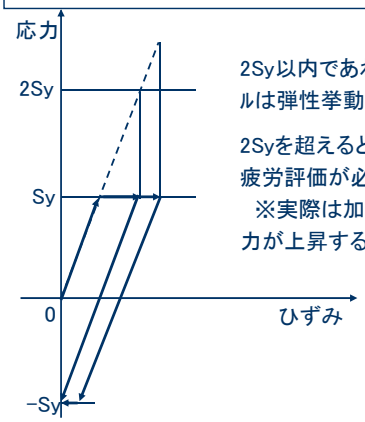
○繰り返し荷重による疲労評価

地震加速度による慣性力



地震加速度

最大の地震慣性力にも耐えられるように一次応力として扱っている。
（時々刻々変化する地震力によって徐々にひずみが蓄積して破損に至るものが大半であるが、最大の地震慣性力が加わり続けていることとして評価）



2Sy以内であれば2回目以降のサイクルは弾性挙動の繰り返し

2Syを超えると塑性サイクルを描き、疲労評価が必須
※実際は加工硬化により降伏応力が上昇する

○材料強度は設計値以上を確保するように製造　：　実強度／設計強度＞1

9

原子力機器の耐震裕度（参考 1/4）

現状の一般的な設計手法の保守性を考察するため，配管系を例に現実的な応答や許容値で解析・評価した結果が報告されている

解析または評価方法

ケースA　一般的に耐震設計で採用されている方法で、床応答スペクトルの10%拡幅を含むスペクトルモーダル法による解析結果

①配管のモデル化(3次元ビームで固有値解析)、 ②応答加速度の導出（床応答スペクトル、拡幅、減衰係数）、

③各モードの重ね合わせ(応力の加算)

④応力値の算出（応力係数）

ケースB　ケースA と同じ方法であるが、床応答スペクトルの*10%拡幅をなくした解析*結果

ケースC　ケースB の解析結果に対して、水平方向、上下方向の応力の加算において、*絶対値和の代わりに二乗和平方根を採用*した解析結果

ケースD　ケースC で*スペクトルモーダルの代わりに時刻暦解析*で評価した結果

ケースX　ケースD に対して、*配管減衰定数として過去の試験における平均値*を適用した試算結果

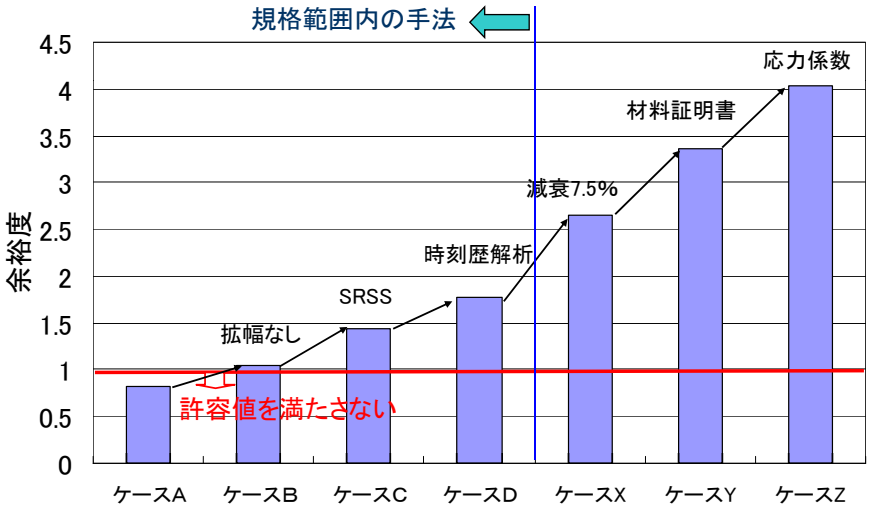
ケースY　ケースX に対して、*材料証明書に記載された材料の強度から想定される許容値*で評価した結果

ケースZ　主蒸気管台の*有限要素解析の結果をもとに応力係数*の保守性をケースY の結果に乗じて余裕度を算出した結果

10

原子力機器の耐震裕度（参考 2/4）

この例では，現実的な応答や許容値で評価した場合には，余裕度は3～4倍程度となったことが報告されている



※総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会 第23回構造ワーキンググループ資料をもとに作成

原子力機器の耐震設計では設計の各段階において保守性が考慮され，構造強度は十分な裕度を有したものとなっている

11

原子力機器の耐震裕度（参考　3/4）

●<u>学協会での地震安全に関わる構造分野での検討状況(紹介)</u>

●「原子力発電所の耐震安全・余裕検討WG」
-日本機械学会　動力エネルギーシステム部門
「原子力の安全規制の最適化に関する研究会」傘下

●WGの体制
主査:岡本(東京大学)、副主査:奈良林(北海道大学)、高木(東北大学)
委員:学識経験者、国、JNES、JANUS、電力、メーカー

●概要
⇒現行の耐震設計における余裕の考え方を明確化
(一つの考え方を基本として、他の考え方へはその繋ぎを明確化)
⇒代表機種について余裕を定量化(過去の検討から)
⇒システムとしての余裕を議論

これらの関係を判りやすく示し、公開の上、必要に応じて改訂

12

原子力機器の耐震裕度（参考 4/4）

●実績

2009.5 第一回WG開催(検討方針、中越沖地震対応)

2009.8 第二回WG開催(既存の研究成果、中越沖地震対応他)

●第二回WGでの議論

⇒過去の研究成果(裕度の分類と程度)

①設計時の地震応答評価による裕度②設計手法による応答計算値と許容限度との間の裕度③設計許容限界の持つ裕度

個別及び組合せた場合の余裕を議論

⇒至近の研究成果(配管の裕度評価法と耐震性向上技術)

地震分析、建屋への影響、配管関係(応力集中部の結晶学的評価法、埋設配管の耐震性向上他)

⇒中越沖地震に関わる原因究明、設備の健全性(立ち上げまでの点検、解析モデル・評価内容)

質点系モデル/FEMモデル、観測値との整合性、最起動までの手順等を議論

13

構造分科会の課題と検討項目

構造分科会では，既述のような裕度についての議論を参考としつつ，地震後の健全性を評価する際にも設計時の裕度を考慮した解析評価や解析結果に応じて重点的な点検を実施する等，設備点検と相互に関連づけた検討項目も抽出

設計建設段階と運転段階に分けて技術分野と課題を整理し，今後の耐震設計のあり方（高度化）や地震後の健全性評価の標準化及び高度化に繋げていくためのロードマップの検討を継続中

構造分科会で抽出した主な検討項目

○裕度の定量化／設計高度化
- ・安全裕度の定量化
- ・減衰定数
- ・動的応答評価モデル
- ・弾塑性解析手法の適用

○裕度把握のためのデータ採取
- ・地震時の機器応答データ取得

○（設計裕度を考慮した）評価基準
- ・地震動指標の検討
- ・健全性評価基準
- ・点検項目策定と点検方法の高度化

14

まとめ

○構造分科会では，地震安全の観点から，設計建設段階と運転段階に分けて技術分野と課題を整理し，今後の耐震設計のあり方（高度化）や地震後の健全性評価の標準化及び高度化に繋げていくためのロードマップの検討を継続中

○耐震設計における裕度の把握が設計の高度化にも繋がるものとして課題を抽出

○地震後の健全性を評価する際にも設計時の裕度を考慮した解析評価や解析結果に応じた点検を実施する等，設備点検とも相互に関連づけた検討項目を抽出

今後も，国，学協会，民間での地震安全に関わる構造分野での検討状況を参考に議論を継続し，ロードマップをブラッシュアップしていく予定

15

安全裕度の定量化

目　的

・これまでの国、学協会等の検討を参考に、地震時に設備がもつ実際の余裕がどれだけあるか、耐震設計手法に内在する裕度や荷重等の因子のばらつきを考慮し把握する。

・これをもとに各種基準等の検討も踏まえ、構造基準の高度化を目指す。

実施項目

(1)耐震設計手法の内在する裕度の定量的把握（短～中期）

(2)信頼性評価法を活用した構造基準の高度化検討

a.「荷重・耐力係数設計法」概念の導入検討（中～長期）

b.「システム化規格」概念の導入検討（長期）

※機械学会を中心に、高圧力協会、溶接協会、火力原子力発電技術協会等の検討成果も適宜活用しながら、今後の日本電気協会のJEAC反映事項への取り組み方針や国の関連動向を踏まえつつ実施。

16

減衰定数

目的

● 機器種別、地震力に応じた設計用減衰定数の設定
● 現実に即した応答評価

●現行の機器・配管系の設計用減衰定数は、振動試験データの下限値に基づき保守的に設定
●米国Regulatory Guide 1.61では、安全停止地震SSE（Safe Shutdown Earthquake）の減衰定数は運転規準地震OBE（Operating Basis Earthquake）に比べ大きく、地震力に応じた値としている。
●合理的な耐震設計、耐震裕度の適切な評価のため、より現実的な設計用減衰定数の設定が必要
・機器種別に応じた減衰定数の設定
・地震入力の大きさ応じた減衰定数の設定

実施項目

●設計用減衰定数の設定法の調査
●対象設備の選定
●既往振動試験結果による減衰定数の評価
●新規振動試験に基づく減衰定数の評価
●基準化の検討

成果の適用

●JEAC4601改訂
・耐震設計への適用
・耐震バックチェック等への適用
●地震PSA標準改訂＊
・設備のフラジリティ評価への適用

＊：日本原子力学会標準　原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全性評価実施基準：2007

動的応答評価モデル

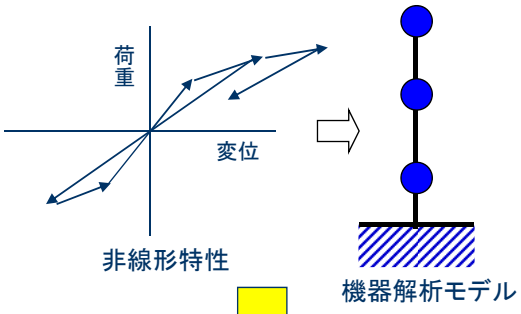
目的

●合理的な地震応答解析モデルの策定
●現実に即した応答評価

●現状の耐震設計における地震応答解析
・建屋：耐震壁の復元力特性を考慮
・機器設備：線形解析
●機器設備の地震応答解析には保守性が含まれる
●合理的な耐震設計、耐震裕度の適切な評価のため、非線形応答解析等のより現実的な応答評価法の構築が必要

実施項目

●対象選定、解析モデル、手法の検討
●試験の実施（又は既往試験の評価）
●非線形応答評価モデルの策定
●非線形応答評価手法の構築
●基準化の検討



成果の適用

●JEAC4601改訂
・耐震設計への適用
・耐震バックチェックへの適用
●地震PSA標準改訂＊
・設備のフラジリティ評価への適用

＊：日本原子力学会標準　原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全性評価実施基準：2007

弾塑性解析手法の適用

目的：弾塑性解析による設計裕度評価及び耐震評価手法の確立

実施項目（短期）

①弾塑性解析による設計裕度検証
→EPD規格の裕度評価（現行規格との比較）
②地震荷重の合理的評価手法検討
→弾塑性解析による耐震手法の規格案検討

期待される成果とその適用

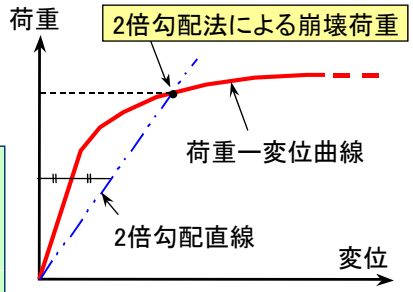
弾塑性解析による耐震評価手法の事例規格化
・耐震バックチェック評価
・設計合理化
・クラス1種容器以外の機器への適用

実施項目（中期）

動的応答解析の取り込み
（3D動的応答FEM解析＋耐震評価規格による構造強度評価）

参　考

現行許認可設計規格（JSME設計・建設規格）	代替化（設計合理化）	JSME事例規格（EPD規格）
・弾性解析（簡易弾塑性） ・シェル・ビーム理論 ・応力分類による評価 ・対象設備広範囲	→	・弾塑性解析の部分的採用 ・有限要素法（複雑形状表現） ・応力分類不要 ・クラス1種容器を対象



2倍勾配法による崩壊荷重評価
（一次荷重評価）

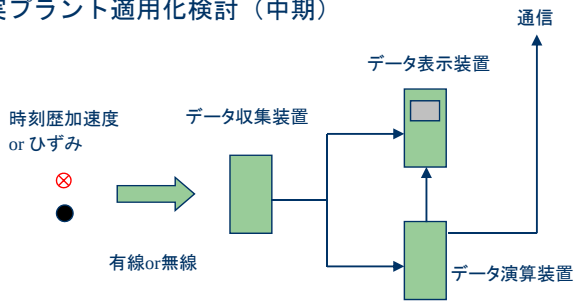
地震時の機器応答データ取得

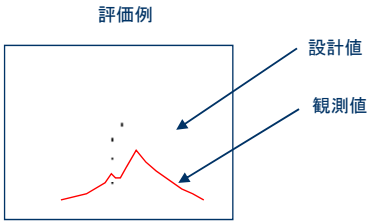
目　的

地震時に受けた機器等の応答データが直接取得出来れば、設計時点での応答と直接比較することで、早期のプラント起動が可能となること及び耐震設計の高度化が期待される。このため機器応答データを計測するシステムのガイドを策定する。

実施項目

(1) 機器応答データ取得の基本的な考え方
（範囲、方法、評価との関係）　短期
(2) データ取得の要求事項整理
（部位、測定方法、測定レベル、データ収集他）短期
(3) 具体的部位、測定機器・システムの構築　短期～中期
(4) データの活用、評価手法等　短期～中期
(5) 実プラント適用化検討（中期）





地震動指標の検討

目　的

サイト発生地震動記録には一過性の大きな加速度が記録されることがよくある

現行の設計法は地震慣性力に対する設計が基本
F＝M×α

実際の地震や耐震試験においては、地震慣性力により破損する事例は少ない

設計入力加速度を僅かでも超えると直ちに大きな問題。
→ 国民の不安

米国における地震対応指針では、CAV指標を対応判断に活用

破壊を引起す応答変位や運動エネルギを代表する速度成分に着目した新たな『地震動指標』の検討が望まれる

実機への活用

・地震直後の迅速な安全評価
・健全性点検レベルの判断基準

実施項目（方向性）

・原子力施設の安全性に適切な指標候補の調査(CAV,速度スペクトル等)　短期

・指標を用いた過去の被害や実験結果の整理(必要に応じて試験の実施)　中期

成果の適用

地震の影響を受けた機器の健全性評価基準（1／2）

目　的

・設備点検の結果と解析結果は、相互に関連づけて解析の結果に応じて重点的な点検を実施する等、解析及び点検の目的、評価を総合的に実施

・損傷モードに応じた許容レベル（損傷防止レベル）を検討し、点検の目的、評価を整理して、体系的な評価が可能となるように健全性評価基準を策定

実施項目

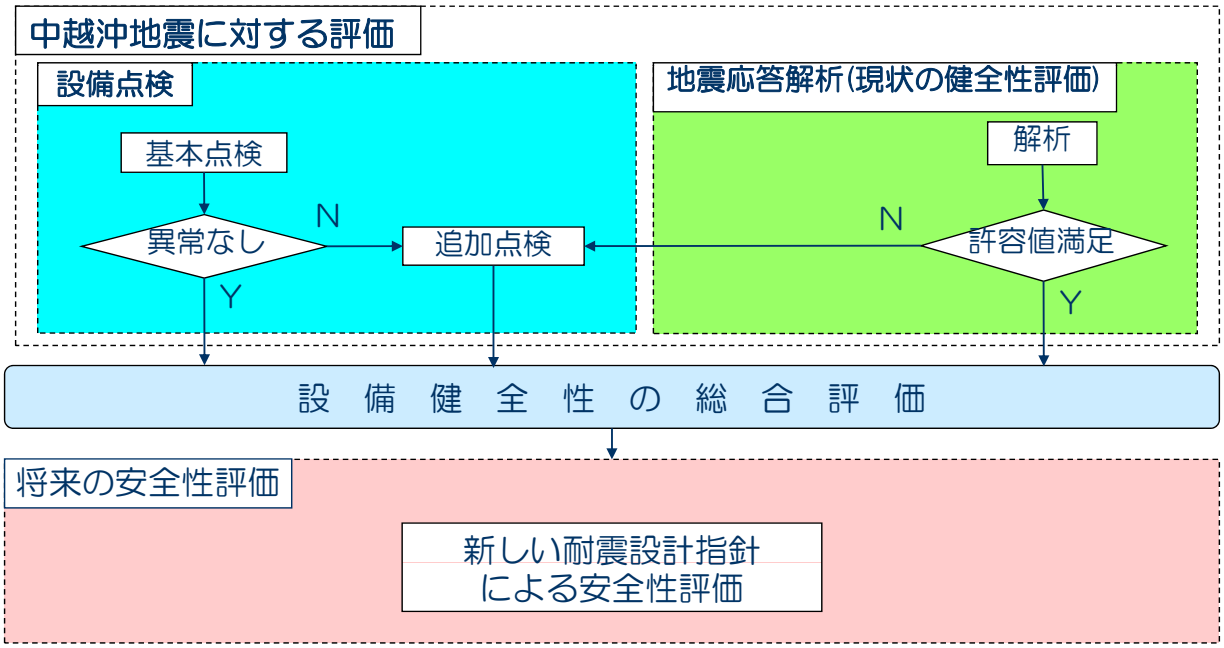
(1)評価基準の基本的な考え方（短期）
(2)評価基準の策定（短期）
(3)上記のためのバックデータ（材料特性、疲労強度・・・）（短期～中期）
(4)評価手法の高度化に伴う基準の改訂（継続的）

※NISA委員会、JANTI委員会の活動成果を適宜反映

(1)(2)は現在進められている国、学協会、民間での検討成果を活用
(1)(2)から抽出された課題解決に向けて(3)を実施
(4)は解析手法等の関連研究動向を　踏まえて実施

地震の影響を受けた機器の健全性評価基準（2／2）

設備点検の結果と解析結果はそれぞれ独立に捉えるのではなく、相互に関連づけて解析の結果に応じて重点的な点検を実施する等、**解析及び点検の目的、評価を総合的に実施**する



点検項目の策定と点検方法の高度化

目　的

・地震後の設備点検の基本的な点検項目を整理し、点検項目に応じた高精度かつ効率的な点検方法を開発

・損傷モードに応じた点検項目を策定し、適切な点検方法で実施

実施項目

(1)点検の基本的な考え方（点検と評価の関係）（短期）

(2)点検方法への要求事項の整理（短期）

(3)点検方法の高度化に向けた検討及び開発（基礎データ採取）（短期～中期）

(4)実プラント適用化検討（中期）

※NISA委員会、JANTI委員会の活動成果を適宜反映

(1)(2)は現在進められている国、学協会、民間での検討成果を活用

(3)(4)は検査手法の基礎研究動向を踏まえて実プラント適用に向け実施

参　考(評価の観点)

・塑性ひずみの検出方法　⇒　「硬さ」、「音速比法」など

資料３

原子力発電所の地震安全問題に関する日本地震工学会と日本原子力学会の協働

日本原子力学会秋の大会(2009：仙台)
特別報告会

亀田弘行
原子力安全基盤機構（JNES）技術顧問
京都大学名誉教授

＊日本地震工学会(JAEE)「原子力発電所の地震安全問題に関する調査委員会」

＋JAEE委員会設置の背景

・柏崎刈羽原子力発電所の経験（2007）：今後の原子力発電所の地震安全に活かすことの意義

・地震、地盤、土木、建築、機械など多分野に関わる問題：横断学会としてのJAEEが主体的に取り組むに相応しい課題

・日本原子力学会(AESJ)の「原子力発電所地震安全特別専門委員会」による地震安全ロードマップ活動：日本地震工学会への協力要請

＊日本地震工学会(JAEE)「原子力発電所の地震安全問題に関する調査委員会」

＋JAEE委員会の目的

・地震工学的研究課題を網羅的に抽出・体系化して地震安全研究ロードマップをとりまとめる。

・討議の内容・範囲は、耐震設計および地震PSAを視野に入れ、個別技術要素とシステム評価の全体系を対象

・AESJ特別委員会の「原子力発電所の地震安全研究ロードマップ」形成における地震工学的事項の実質的討議の担い手

＊JAEEとAESJの連携関係

・JAEE委員会委員（一部）のAESJ特別委員会の「地震工学分科会」委員兼務

・AESJ地震工学分科会委員は基本的にJAEE委員会の討議に参加

JAEE「原子力発電所の地震安全問題に関する調査委員会」

委員長	亀田 弘行*	京都大学名誉教授，NIED，JNES	地震工学(土木)
副委員長	高田 毅士*	東京大学	リスク評価(建築)
委員	秋山 伸一	伊藤忠ﾃｸﾉｿﾘｭｰｼｮﾝｽﾞ	地震工学(土木)
	有賀 義明	弘前大学	地震工学(土木)
	安中 正	東電設計	地震工学(土木)
	石川 裕	清水建設	地震工学(土木)
	今塚 善勝	大林組	耐震設計(建築)
	蛯沢 勝三*	原子力安全基盤機構	地震工学(土木)
	落合 兼寛	日本原子力技術協会	プラント設計(機械)
	香川 敬生	鳥取大学	強震動地震学(地震)
	菊地 優	北海道大学	免震構造(建築)
	小泉 孝之	同志社大学	機械力学(機械)
	鈴木 浩平	首都大学東京	地震工学(機械)
	中島 正人	電力中央研究所	地震工学(土木)

委員	中村 晋*	日本大学	地盤工学(土木)
	伯野 元彦	攻玉社工科短期大学	地震工学(土木)
	藤田 聡	東京電機大学	地震工学(機械)
	藤原 広行	防災科学技術研究所	強震動地震学(地震)
	村上 通章	構造計画研究所	地震工学(土木)
	吉田 郁政	東京都市大学	地盤工学(土木)
	吉田 望*	東北学院大学	地震地盤工学(土木)
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ	尾之内 厚志	中部電力	地震工学(建築)
	菊地 利喜郎	東京電力	建築構造(建築)
	中村 隆夫*	関西電力	システム安全(原子力)
	宮野 廣	東芝ﾌﾟﾗﾝﾄｼｽﾃﾑ	システム安全(機械)
委員事務局	中村 英孝*	原子力安全基盤機構	地震工学(土木)
	日比野 憲太*	原子力安全基盤機構	地震工学(土木)

＊ 幹事会出席

（委員構成）

090611現在

AESJ地震安全特別委「地震工学分科会」

主査	亀田 弘行	京都大学名誉教授，NIED，JNES	地震工学(土木)
幹事	蛯沢 勝三	原子力安全基盤機構	地震工学(土木)
	尾之内 厚志	中部電力	地震工学(建築)
	菊地 利喜郎	東京電力	建築構造(建築)
	中村 英孝	原子力安全基盤機構	地震工学(土木)
委員	高田 毅士	東京大学	リスク評価(建築)
	中村 晋	日本大学	地盤工学(土木)
	中村 隆夫	関西電力	システム安全(原子力)
事務局	岡村 知巳	日本原子力学会	－

（ロードマップ検討の手順）

＊フェーズ1：課題抽出（第1、2回委員会）

・委員全員による検討課題提出→幹事によるKJ法整理→委員会における検討課題の具体化・体系化

＊フェーズ2：内容検討（第3～7回委員会）

・委員他による話題提供→全員討議によるﾛｰﾄﾞﾏｯﾌﾟ課題抽出→幹事会討議による整理→委員会での検討（このｻｲｸﾙを繰り返す）

+中越沖地震の教訓の整理

+耐震設計の課題、地震PSAとの総合化

+安全目標とコミュニケーション

+地震工学の要素技術ワークショップ

+その他

＊フェーズ3：ロードマップ案作成（第8，9回委員会）

＊まとめ（第10～12回委員会）

（ロードマップ作成の基本方針）

＊委員の提言を重視、その意義を十分な討議で検証

＊総花的でなく、重要項目を落とさぬことに集中

＊総合化課題と個別技術課題のバランスを重視

＊ロードマップ項目について、地震工学的意義に関する記述を各委員で分担して執筆

＊ロードマップ分科会作成の案との整合性をフェーズ3で検討

「原子力発電所の地震安全問題に関する調査委員会」の活動計画（案）（090815）

実施項目	2008年	2009年				2010年				2011年
	9-12	3	6	9	2	3	6	9	12	1-3
1. 活動方針設定	1回 9/3									
2. ロードマップ作成	2回 12/7	3回 3/13	4回 5/26	5回 7/7	6回 2/12	7回 3/**	8回 6/**	9回 9/**		
フェーズ1 課題抽出										
フェーズ2 内容検討										
フェーズ3 ロードマップ案作成										
3. まとめ									10回（12/**）	11回（1/**） 12回（3/**）
準備会・事務局打合せ	6/19, 7/11, 8/7, 8/8, 9/19,	1/29, 2/13, 3/13	6/11, 7/3, 7/16	8/19						
幹事会	8/19, 10/30, 11/19, 12/9	4/10, 5/29	7/23	8/20						
シンポジウム等の開催										
日本原子力学会等の活動状況 特別専門委員会 年次大会	第2回 10/30	2回	第3回 4/15	4回						

中越沖地震の教訓を、本委員会の視点から議論

耐震設計の課題・地震 PSA との総合化

安全目標とコミュニケーション

地震工学の要素技術のワークショップ

その他

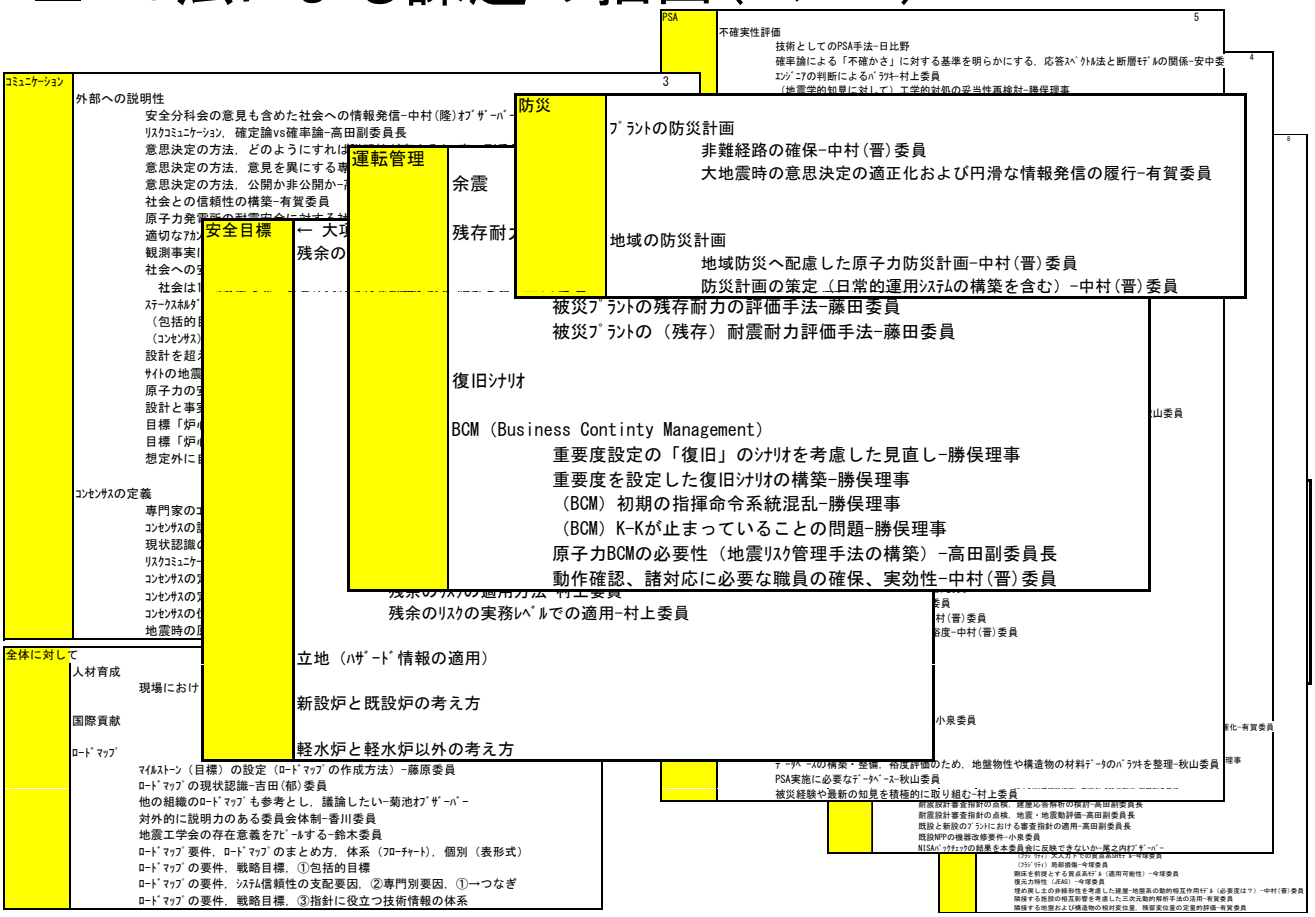
■KJ法による課題の抽出（1／2）

K-J法による
課題抽出

整理

大項目	中項目
安全目標	残余のリスク 立地 新設炉と既設炉 ・・・
コミュニケーション	外部への説明性 コンセンサスの定義
耐震設計	設計用地震動 設計評価技術 限界状態 ・・・
PSA	不確実性評価 地震PSA 随伴事象PSA ・・・
防災	プラントの防災計画 地域の防災計画
運転管理	余震 残存耐力 復旧シナリオ ・・・
地震工学的技術	解析技術 設計技術 非線形 ・・・
全体として	人材育成 国際貢献 ロードマップ ・・・

■KJ法による課題の抽出（2／2）



■委員会討議に基づくロードマップへの反映事項の整理（第3,4回委員会の討議に基づく）（1／4）

ﾌﾟﾗﾝﾄとしてのあり方	技術的･研究的な課題		ロードマップへの反映事項
	大項目	小項目	
ハザードの理解	パルスの扱い方	捕らえ方，周期帯域 発生メカニズムの整理， 将来の見込み方	・ﾊﾟﾙｽの動特性と衝撃的破壊の関連 ・ﾐｭﾚｰｼｮﾝ技法としてのﾊﾟﾙｽ予測（ｿｰｽの問題，ｻｲﾄの問題）
	水平動/上下動	建物の上下共振 → 設備への影響	・正確な上下動のｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ（ﾊｻﾞｰﾄﾞ側の問題） ・非線形挙動下での荷重の組み合わせ（設計側の問題）
	地震ハザード評価手法の高度化	調査 → 精密さ 予測 → 不確定性の定量的評価 海溝型と内陸型 完成時点から先のハザード評価 サイト補正	・震源調査におけるﾕｰｻﾞｰ側とﾌﾟﾗﾊﾞｲﾀﾞｰ側の関係とそれに基づく調査手法の体系化（ﾊｻﾞｰﾄﾞの調査の問題） ・不確定性を踏まえた意思決定ﾌﾟﾛｾｽの体系化（断層の問題，工学がｲﾆｼｱﾁﾌﾞを取る問題） ・海溝型と内陸型のﾘｽｸ評価上の差別化 ・断層～距離減衰式（ｽﾍﾟｼﾌｪｯｸとｵｰﾊﾞｰｵｰﾙ，整合性の考え方） ・断層評価（原子力 vs 地震本部，整合性）
	対象地震の決定プロセス	議論の拡大，収束のプロセス，リスクチェック，再開	・継続性を見込んだ設計ﾏﾈｰｼﾞﾒﾝﾄ体系（修復と再開とｼｬｯﾄﾀﾞｳﾝの地震も含めたﾊｻﾞｰﾄﾞの体系）⇒ 位置付けはﾊｻﾞｰﾄﾞではないかもしれない

■委員会討議に基づくロードマップへの反映事項の整理（第3,4回委員会の討議に基づく）（2／4）

ﾌﾟﾗﾝﾄとしてのあり方	技術的･研究的な課題		ロードマップへの反映事項
	大項目	小項目	
耐震裕度	nominal な耐震裕度 実体としての耐震裕度	破壊のメカニズム （実験，地震動指標） ・建屋として ・設備として 構造：配管，　タンク 動的：ポンプ，電気品 ・地盤	・耐震裕度の捕らえ方（非常に沢山の内容） ・破壊力学と構造･地盤をつなぐ破壊ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ ・探査技術と探査結果の理解
	設計手法と解析手法の組み合わせ	建屋：FEM 設備：構造や動的 地盤： サブシステム：冷却系	－
	設計技法	－	・BC ｸﾗｽに地盤工学、地震工学の知見を反映する（現場の問題，地震防災の問題，ﾄｰﾀﾙｼｽﾃﾑとしての社会からの信頼感の確保）

■委員会討議に基づくロードマップへの反映事項の整理（第3,4回委員会の討議に基づく）（3／4）

ﾌﾟﾗﾝﾄとしてのあり方	技術的･研究的な課題		ロードマップへの反映事項
	大項目	小項目	
リスク　設計	要求性能 耐震強度， 継続性， 再使用性	Ss の工学的決定法 （水平/上下，ﾘｽｸﾍﾞｰｽﾄﾞ） 弾性設計用地震動（Sd）	
	多重防護の地震工学体系 （止める，冷やす， 閉じ込める） →数十時間のプロセス	－	総合化（AESJ と JAEE のｷﾞｬｯﾌﾟを埋める）
	不確定性 同定， 低減， 意思決定方法	決定論＋不確定性評価	
評価	リスク評価（SPSA）の usability 向上	評価 静的荷重（3CI）の問題 数値に手を付けるか 意義の再定義	・多数基地震 PSA ・安全の説明学の分野へ（ﾊｻﾞｰﾄﾞの問題から切り離す，3CI と社会ﾘｽｸとの関連，一般構造物の３倍の意味，全国一律に用いる意味）
	ﾅﾚｯｼﾞﾃﾞｰﾀﾍﾞｰｽの整備	－	

■委員会討議に基づくロードマップへの反映事項の整理（第3,4回委員会の討議に基づく）（4／4）

ハザードの理解	耐震裕度	リスク		関連課題
		設計	評価	
・ﾊﾟﾙｽの扱い方 ・水平動/上下動 ・地震ﾊｻﾞｰﾄﾞ評価手法の高度化 ・対象地震の決定ﾌﾟﾛｾｽ	・nominalな耐震裕度 ・実体としての耐震裕度 ・設計手法と解析手法の組み合わせ ・設計技法	・要求性能 耐震強度, 継続性, 再使用性 ・多重防護の地震工学体系 (止める, 冷やす, 閉じ込める) → 数十時間のプロセス	・不確定性 同定, 低減, 意思決定方法 ・リスク評価(SPSA)のusability向上 ・ﾅﾚｯｼﾞﾃﾞｰﾀﾍﾞｰｽの整備	・再立上げ基準(現象と柏崎刈羽の経験＋ｼｽﾃﾑ工学) →現場とｱｶﾃﾞﾐｯｸの協力 ・ﾌﾟﾗﾝﾄｳｫｰｸﾀﾞｳﾝﾏﾆｭｱﾙ(柏崎刈羽の経験) ・役割分担論(ﾊｻﾞｰﾄﾞ, PSA etc) ※本委員会のみでは解決できない

■委員会討議に基づくロードマップへの反映事項の整理（第5,6回委員会予定）

第5回委員会：安全目標とｺﾐｭﾆｹｰｼｮﾝ(091002)

(1) 地震安全の論理について
・安全分科会からの問題提起（成宮）

(2) 安全目標について
・原子力安全委員会での検討（平野）

第6回委員会：要素技術に関するﾜｰｸｼｮｯﾌﾟ(091210)

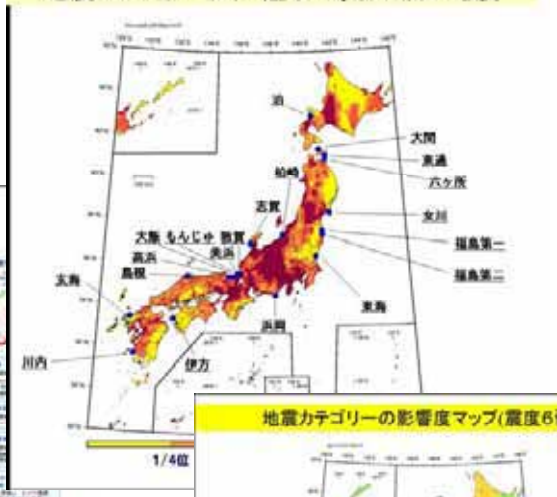
	分野	時間
1	委員会活動の概要と本ﾜｰｸｼｮｯﾌﾟの主旨	9:30～9:45
2	地震・地震動	9:45～10:35
	休憩(15分)	10:35～10:50
3	地盤	10:50～11:40
4	構造物−地盤の相互作用	11:40～12:30
	お昼休み(60分)	12:30～13:30
5	構築物	13:30～14:20
6	機器・配管	14:20～15:10
	休憩(20分)	15:10～15:30
7	免震	15:30～16:20
8	全体討論	16:20～17:30

■話題提供の例（1／4）

地震ハザード評価の現状と課題

独立行政法人　防災科学技術研究所
藤原　広行

地震カテゴリー（3）　陸域・海域の浅い地震



地震発生確率の評価

地震調査研究推進本部による

地震カテゴリーの影響度マップ(震度6弱)

■話題提供の例（2／4）

日本地震工学会 原子力発電所の地震安全問題に
関する調査委員会 第3回委員会

中越沖地震における柏崎刈羽原子力発電所での原子炉建屋応答ｽﾍﾟｸﾄﾙ特性の原因究明

平成21年3月18日
JNES本館 4A会議室

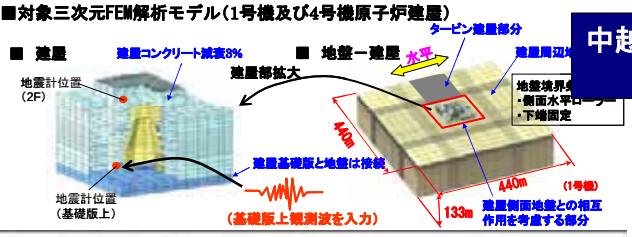
独立行政法人 原子力安全基盤機構
耐震安全部 土木・建築ｸﾞﾙｰﾌﾟ

Ⅲ-2 【C.建屋周辺地盤の伝播特性】 及び 【D. 建屋の振動特性】の検討

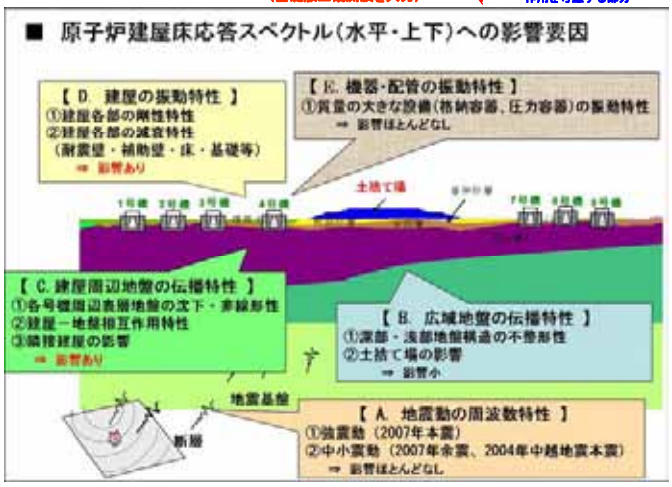
■観点（イ）及び（ロ）に対する検討方針

●地震計の設置位置により、床応答スペクトルが異なる可能性がある。
⇒ 床の面内変形が生じている可能性がある。
●モデル検討の方針
・床の変形 （床の位置の違いによる応答スペクトルの違いを確認）。
・建屋周り局所地盤の非線形化等を考慮した相互作用。
・タービン建屋の存在。
} ３次元FEMモデルで検討

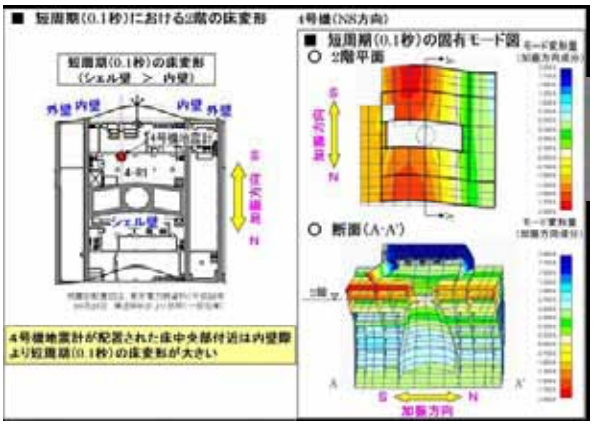
■対象三次元FEM解析モデル（1号機及び4号機原子炉建屋）



■ 原子炉建屋床応答スペクトル（水平・上下）への影響要因



■ 短周期(0.1秒)における2階の床変形



■話題提供の例（3／4）

・日本地震工学会
・「原子力発電所の地震安全問題に関する調査委員会」

地震PSAから耐震設計/耐震安全評価
への有用情報

・平成21年6月25日
・JNES　神谷町ビル11A,B,C会議室

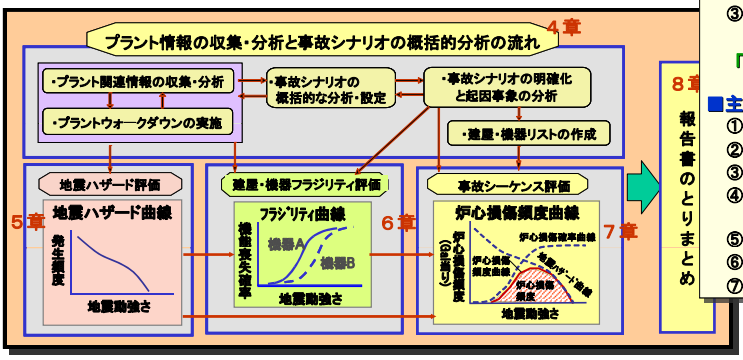
原子力安全基盤機構
蛯沢　勝三

Ⅱ．地震PSAに係わる検討項目の一覧

Ⅱ−1.地震PSAの有用性
（1）主要な特徴の1つは、地震動側の情報（地震ハザード）と構造側の情報（フラジリティ）とを、同じ土俵で取り扱い、残余のリスク関連の炉心損傷頻度/格納容損傷頻度/被爆頻度を用い、各種意思決定（耐震設計/耐震安全評価）に繋げ得ることである。
（2）PSAは、最終評価結果の1つのCDFを求めることと考えている方が多いが、最も重要なことは、途中プロセスにおける情報を不確実さ要因と共に、定量的に陽に示すことである。
①どのような条件、モデルを用いた結果か。
②どのような事故シーケンスが、緩和系システムが、機器が支配的か、重要か。
③我が国特有の重要事故シナリオに何か。
④CDFを支配する地震動の範囲（解放基盤。今後地震基盤への変更必須）がほぼ分かっている。
⑤地震ハザードの評価の範囲を2000Gal程度までの有限値とする。
自然現象に無限の大きさはないので、打ち切りを明記し、説明性を確保する。
⑥上記情報等から、リスクを低減するための対策工をどのようにすべきかを考え、それらの対策工の有効性評価に再度用いる。
（3）不確実さを定量的に取り扱える現有の唯一の手段。
①不確実さの定義・手法：物理現象固有の要因と知識不足・認識不足の要因。ロジックツリー手
②不確実さ要因には、確率論も、決定論もなく、同じ。
③不確実さの取り扱いは、地震ハザード、フラジリティ、事故シーケンスの各評価で行われる。
④不確実さ評価結果が大きいので、PSAはだめとの専門家もいるが、現状の姿として謙
（4）各種事象（地震、 …を同じ尺度で比較し、我が国に… …ある。

Ⅲ−1．地震PSAの有用性

（1）主要な特徴の1つは、地震動側の情報（地震ハザード）と構造側の情報（フラジリティ）とを、同じ土俵で取り扱い、残余のリスク関連の炉心損傷頻度/格納容損傷頻度/被爆頻度を用い、各種意思決定（耐震設計/耐震安全評価）に繋げ得ることである。



Ⅰ−2．地震PSA実施基準の策定方針

■活用対象・技術レベル
① 対象施設：出力運転時の軽水炉発電施設（他炉型にも基本的に準用可）
② 実施基準の形式：仕様規定の形で策定
③ 主な活用先：安全目標／性能目標との適合性，地震時アクシデントマネージメント対策の選定・効果，耐震設計手法の高度化・効果確認

「あるレベルの技術者が、本実施基準に従って作業を行えば、ある程度は揃った評価内容／評価項目が得られること」

■主な特長
① 地震・地震動に係る不確実さ要因の明確化と不確実さの定量評価の実施
② 強地震動下での情景を考慮した広範な事故シナリオの同定・スクーリニング
③ 地震起因の2次的影響（クレーン落下，周辺斜面損傷、ヒューマンエラー等）
④ 新耐震指針審議の動向から導入されそうな重要項目を先取りして導入（断層モデルパラメータ、鉛直動、余震、免震構造、周辺斜面、経年化等）
⑤ 新耐震指針，耐震設計技術指針（JEAG）等との専門用語の統一を図る。
⑥ 実施基準の理解の促進のために，可能な限り多くの解説例を記載。
⑦ 地震起因の火災，溢水，津波の実施基準は別途作成するとし，検討対象外。

■話題提供の例（4／4）

日本地震工学会「原子力発電所の地震安全問題に関する調査委員会」
2009.6.25

不確定状況下の意思決定規範としての耐震設計
Seismic Design as Decision Criteria under Uncertainty

東京大学大学院工学系研究科建築学専攻
高田　毅士

実現象自体の不確定性の存在

実現象を予測・解釈するのに伴う不確定性の存在

未来の予測に伴う不確定性の存在

不確定であるがゆえに余裕を付与すべき

付与した余裕は定量的に明示すべき

余裕の程度は国際的な目標値に照らして設定

設計クライテリア設定の合理的な根拠付け

設計クライテリア（設計で考慮する断層、基準地震動、等）

＝　工学的判断　×　科学的事実
＝　（余裕を与える部分）　×　（プラント挙動を表す部分）
＝　（目標性能水準）　×　（物理法則・データ）
＝　（工学意思決定）　×　（科学としての普遍的部分）

「評価」と「設計」の違い

評価：既存のものの現実をできるだけ反映して分析する

できるだけ現実を反映させる、
保守性を排除、プラント固有、厳密化

設計：科学法則や一般的な経験則などに基づいて不確定なものに一定の余裕を付与して、ものを造る

余裕（保守性）を意図的に付与、一般性、実用性

（日本原子力学会秋の大会(2009)関連行事）

柏崎刈羽の復旧と地震安全特別専門委員会の活動状況

（2009年9月17日，仙台）

総合討論

原子力発電所の地震安全の信頼性向上を目指す地震工学的課題の要点

亀田弘行

JNES技術顧問・京都大学名誉教授

1．認識：地震工学的観点からみた安全確保の体系

＋耐震設計の概念

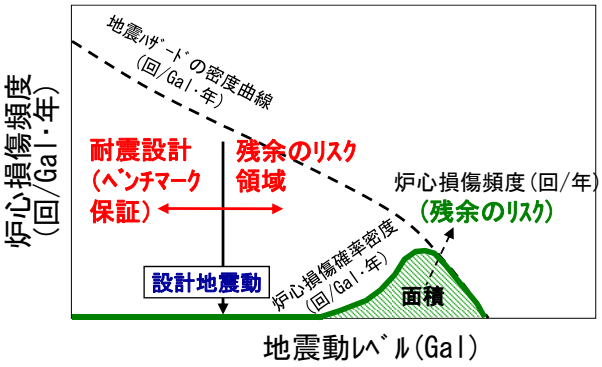
（新耐震設計審査指針(2006)を出発点として）

＊決定論的設計によるベンチマーク保証

・耐震設計の結果により基本的な地震時安全レベル（設計点/ベンチマーク）を確実に保証

・個々の構造物・設備機器の設計における*「耐震裕度」*により不確実さへの対応を担保

・ただし、個々の構造要素の設計裕度からは、システム全体の挙動に関するリスクは不明



＋ ↕ 相互補完 ⇒ ＊地震時システム安全性の定量評価（安全目標／性能目標との対応） ⇒ 国民への説明力向上

＊残余のリスクが十分小さいことの保証（地震PSA）

・諸々の設計変数が不確実さを有することこそ現実、特に、基準地震動S_sを上回る地震動発生の可能性（きわめて小さいが））に由来する残余のリスクの認識

・残余のリスクを適切に評価することは*「システムを全体系として評価」*することにより安全性確認の信頼度を高める

2. 新潟県中越沖地震(NCOE):柏崎刈羽原発の経験から提起された地震工学的課題

＋地震ハザード評価の高度化／耐震裕度の定量評価(S,Bｸﾗｽ)とリスク評価との統合／BCM(事業継続ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ)に係る地震工学的課題／地盤震害対策技術への適応(Cｸﾗｽ)／etc.

＋最重要の地震工学的課題:*原子炉発電施設耐震設計体系の先進性*の回復*→耐震裕度の定量評価

＊旧指針(1981)において、ハザード(地震動:人間が制御できない要因)と構造設計(人間が制御すべき要因)を分離し、他に魁けて、「性能設計」へ移行した(すなわち震度法からの脱却／他の多くの施設では阪神・淡路以後)

＊耐震裕度の定量評価の重要性:

・設計地震動を超える状況下で「(定性的な)設計裕度で安全が保持された」とするままでは、原子力施設の設計体系が本来持つ明示的構造が崩れている。

・K-Kについては、NCOEレベルまでは実証されている。将来の地震、他サイトの評価、新設プラントのために、耐震裕度の定量評価が不可欠。

・耐震裕度の定量評価法を先進の手法と知見で確立することにより、設計体系の明示的構造を回復、現代の耐震設計の体系(1. で述べた)を担保できる。

3.「耐震裕度」:定量化の要点

(1)「耐震裕度」の概念明確化

・言葉だけが一人歩きして同床異夢で語られる状態

・どのような設問(疑問)に答えるか→設問が複数あると定義も複数必要

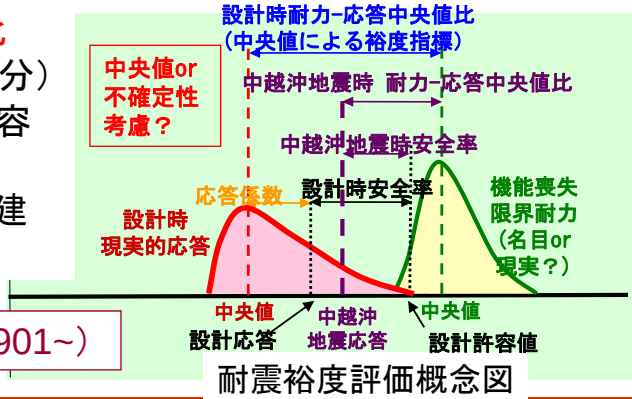
対象とする地震動	(A)基準地震動Ss:大地震を未経験のプラント(設計・建設段階を含む)	(B)特定の地震による強震動(強震記録、シミュレーション):大地震(e.g.: NCOE)を経験したプラント
(1)特定の地震動に対する耐震裕度	設計条件(基準)下での耐震裕度	既存プラントの大地震(e.g.: NCOE)経験時点での耐震裕度
(2)将来(不確定)の地震動に対する耐震裕度	ハザードの不確定性を含む耐震裕度(残余のリスクに相当)	特定の地震(e.g.: NCOE)を経験したプラント(proof load、deteriorationの両面)の、将来の耐震裕度(荷重履歴条件下での残余のリスク)＝運転再開などに関わる

(2)「耐震裕度」の定量指標(定義)の明確化

・不確定性を考慮(中央値での定義は不十分)

・機能喪失限界分布(現実値を用いる／許容応力、弾性限界では、実態との乖離が大)

・応答分布評価法の高度化(地震ﾊｻﾞｰﾄﾞ、建屋の床柔性ﾓﾃﾞﾙ等)



耐震裕度評価概念図

＊JNES耐震裕度研究グループの活動(0901~)

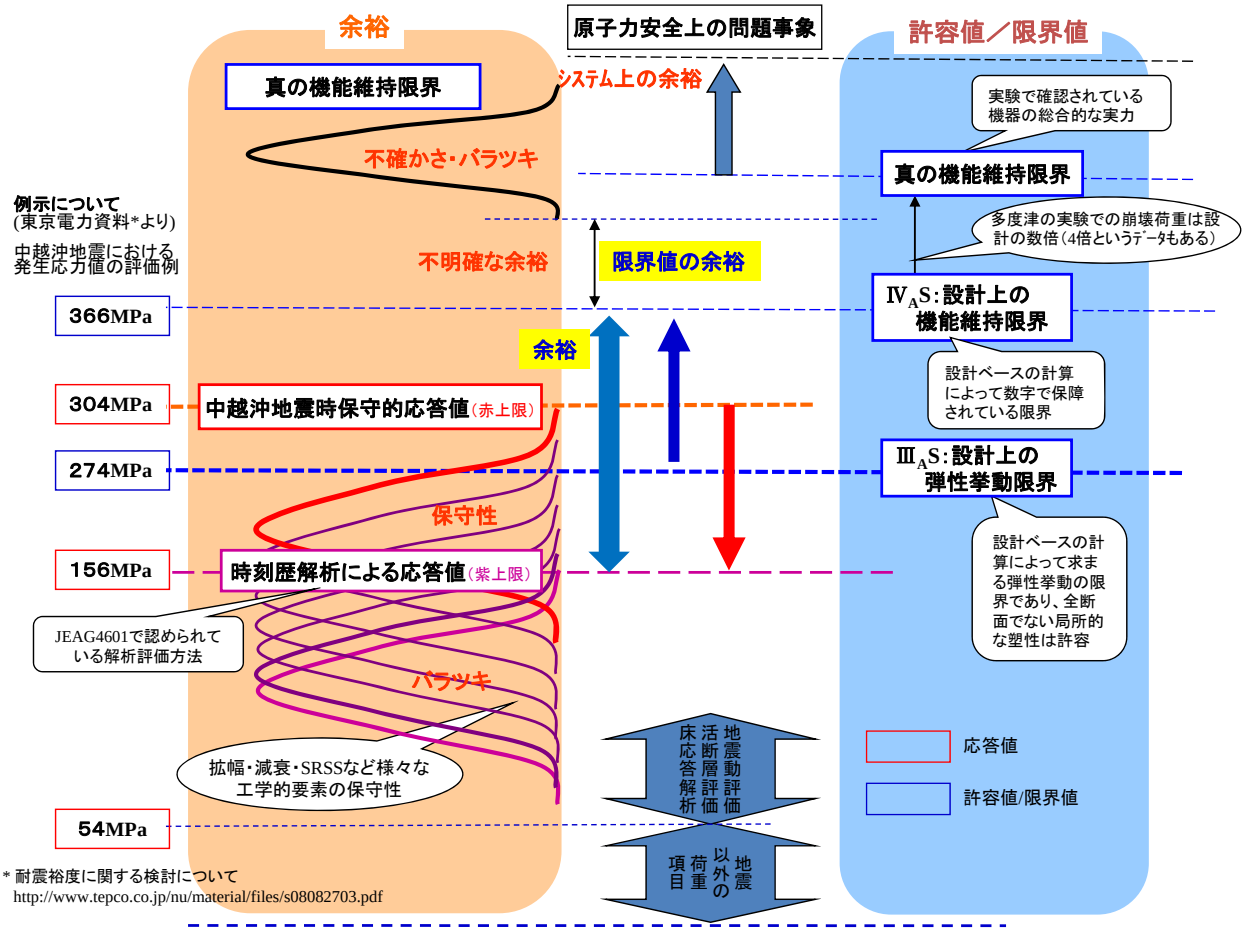
耐震評価上の余裕について

東京大学大学院　新領域創成科学研究科

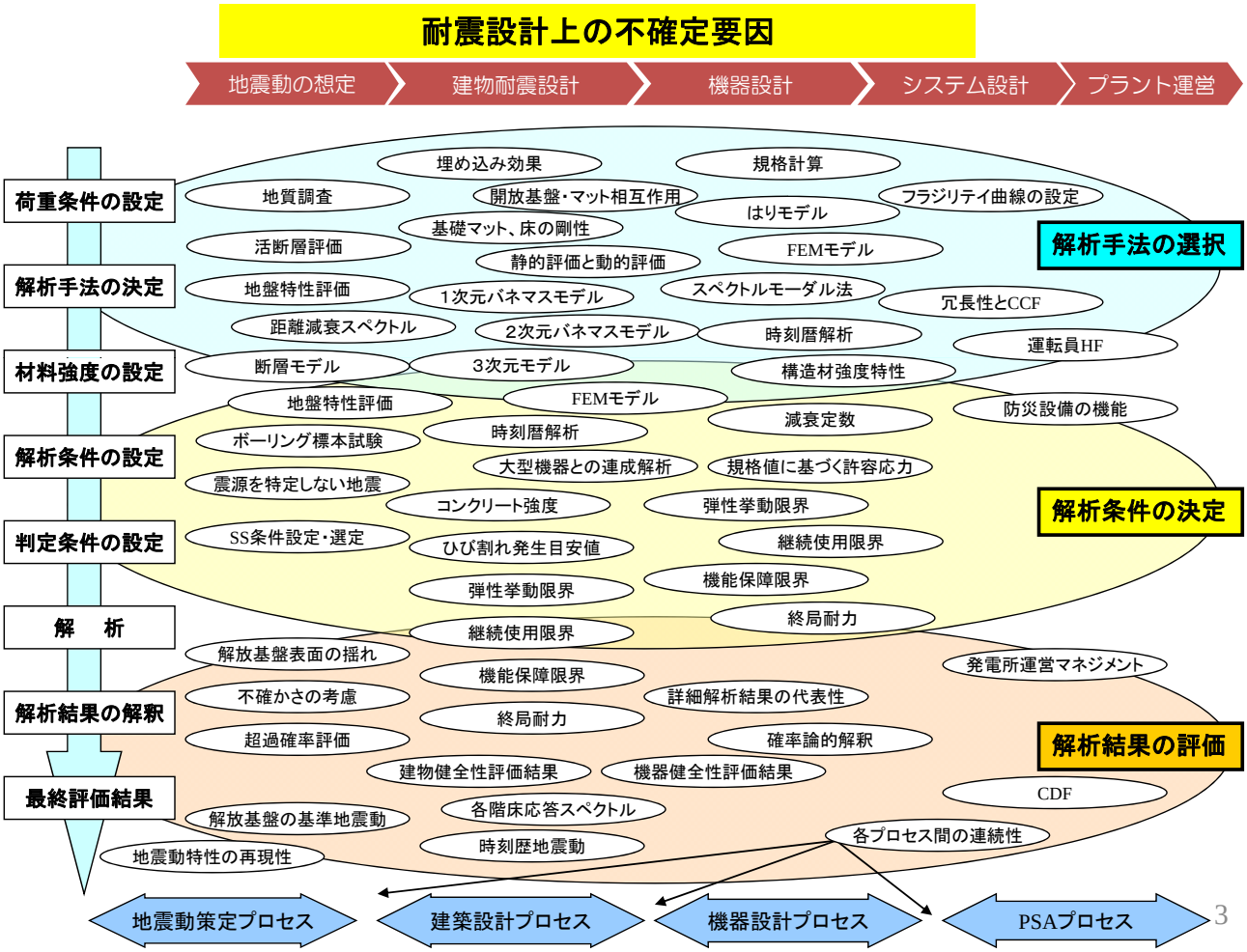
岡本　孝司

1

耐震評価上の様々な余裕（不確かさ・ﾊﾞﾗﾂｷ・保守性など）の関係



2



学協会での地震安全に関わる構造分野での検討状況(紹介)

●「原子力発電所の耐震安全・余裕検討WG」
　-日本機械学会　動力エネルギーシステム部門
　「原子力の安全規制の最適化に関する研究会」傘下

●WGの体制
　主査:岡本(東京大学)、副主査:奈良林(北海道大学)、高木(東北大学)
　委員:学識経験者、国、JNES、JANUS、電力、メーカー

●概要
　⇒現行の耐震設計における余裕の分類、明確化
　⇒個々の余裕の検証(合理的な設定か)
　　代表的な機器を選定して、定量的な余裕の分析を行うとともに、耐震設計の考え方を分かりやすく説明することを試みる

●実績
　2009.5 第一回WG開催(検討方針、中越沖地震対応)
　2009.8 第二回WG開催(既存の研究成果、中越沖地震対応他)

原子力発電所における
地震時の安全確保について

平成21年9月17日
日本原子力学会　特別報告会
地震安全特別専門委員会からの報告＠東北大学

日本原子力学会　地震安全特別専門委員会
安全分科会幹事　渡邉憲夫

1

安全分科会の活動

・「地震安全の論理」の構築
・研究項目の洗い出し、等

原子力発電所の設計と評価に対する地震安全の論理

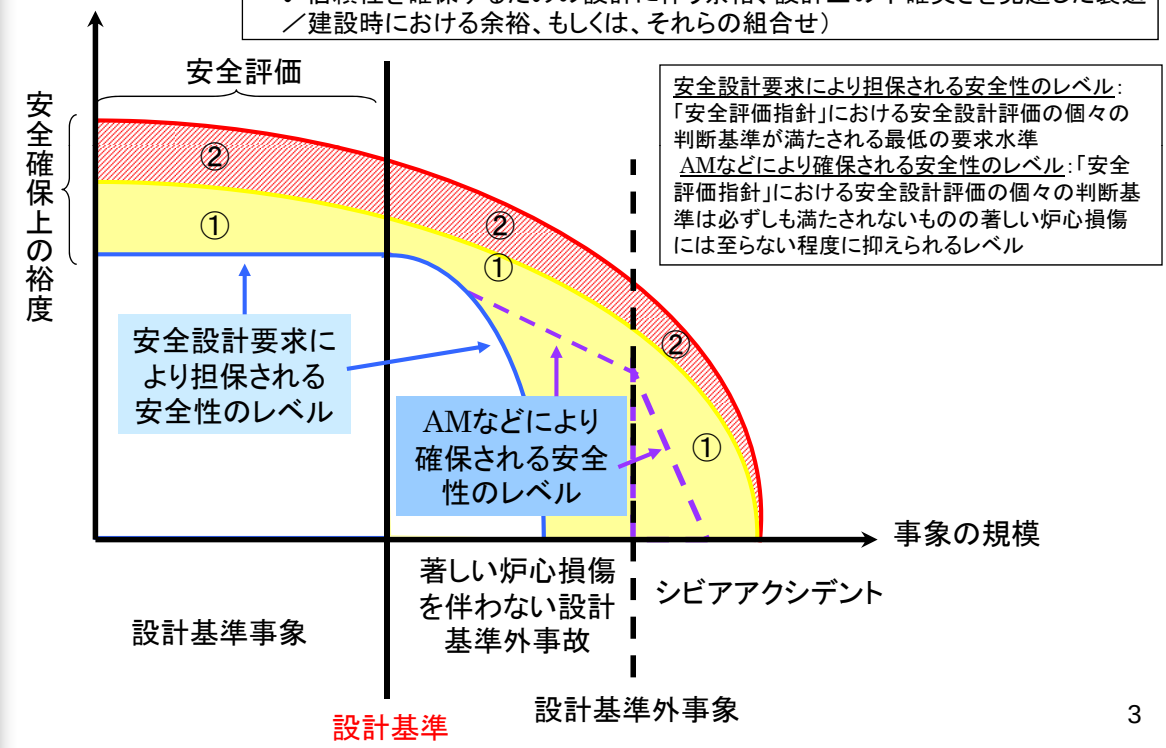
1. 背景及び検討の目的
2. 検討の進め方
3. 基準地震動に着目した検討
   ・*耐震設計における基準地震動の位置付け*
   ・基準地震動設定における不確実さの取扱い
4. 深層防護の視点からの検討
   ・耐震設計と深層防護の関係
5. 地震時の安全評価体系に関する検討
   ・地震時の安全評価の考え方
6. 地震安全の論理の構築
7. まとめ

解説

2

内的事象の安全設計における安全確保の概念

①：設計要求を満足するにあたって必然的にもたらされる余裕（例えば、解析／評価における判断基準の持つ余裕（保守性）、評価モデル等の保守性に伴う余裕、もしくは、その組合せ）
②：自主的に確保する要求を上回る余裕（例えば、 多重性・多様性の強化等より高い信頼性を確保するための設計に伴う余裕、設計上の不確実さを見越した製造／建設時における余裕、もしくは、それらの組合せ）

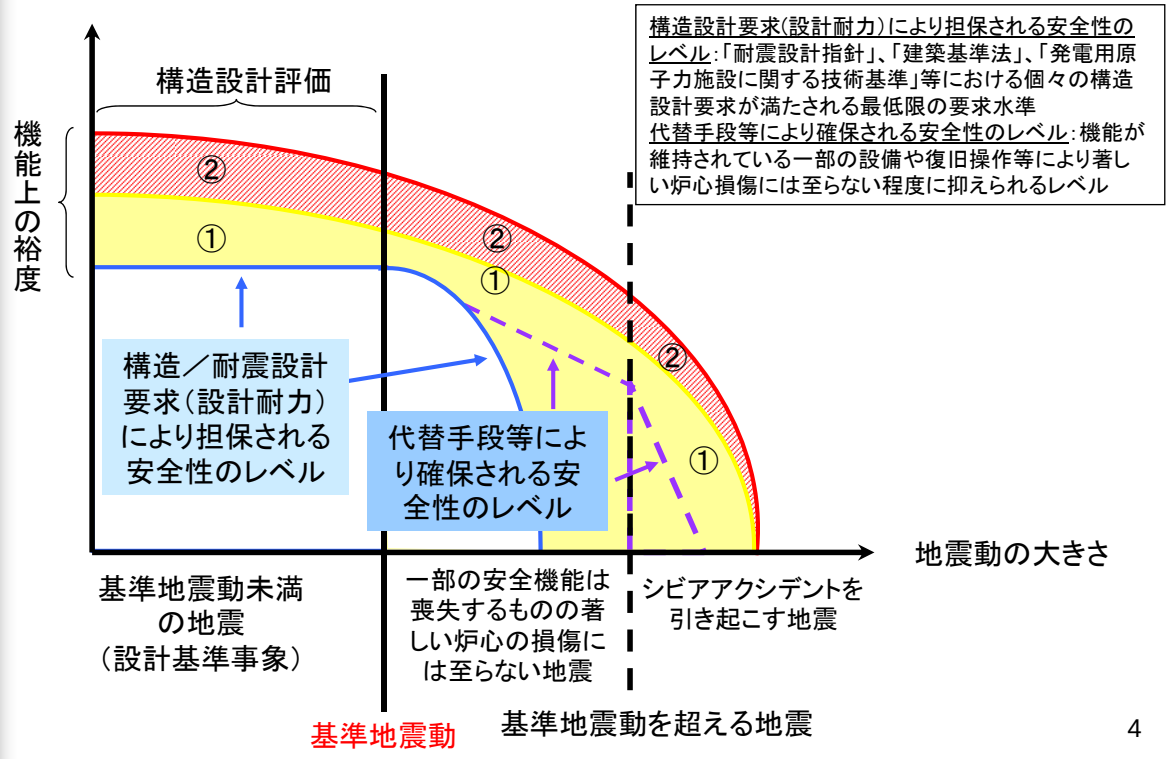


安全設計要求により担保される安全性のレベル：「安全評価指針」における安全設計評価の個々の判断基準が満たされる最低の要求水準
AMなどにより確保される安全性のレベル：「安全評価指針」における安全設計評価の個々の判断基準は必ずしも満たされないものの著しい炉心損傷には至らない程度に抑えられるレベル

3

耐震設計における安全確保の概念

①：設計要求を満足するにあたって必然的にもたらされる余裕（例えば、基準や規格の持つ余裕、解析／評価モデル等の保守性に伴う余裕、もしくは、その組合せ）
②：自主的に確保する要求を上回る余裕（例えば、設計上の不確実さを見越した製造／建設時における余裕）



構造設計要求(設計耐力)により担保される安全性のレベル：「耐震設計指針」、「建築基準法」、「発電用原子力施設に関する技術基準」等における個々の構造設計要求が満たされる最低限の要求水準
代替手段等により確保される安全性のレベル：機能が維持されている一部の設備や復旧操作等により著しい炉心損傷には至らない程度に抑えられるレベル

4

内的事象の安全設計と耐震設計における安全確保の概念の関係

- 耐震設計における基準地震動を、内的事象の安全設計における設計基準事象と同様に位置づけることにより、事象の規模に応じた安全性のレベルを、設計要求により担保されるレベルと、設計要求を満足することにより必然的にもたらされる余裕及び不確実さを見越して自主的に確保する余裕により説明できる。

しかし、

✓ 耐震設計においては、設計基準事象に対する安全評価に対応する評価が行われていない

➔ 内的事象の安全評価で包絡できる？

✓ 耐震設計上、LOCAなどの事故は基準地震動内では起こらない

➔ 地震時の設計基準事象は、過渡事象相当と言えるか？

➔ 内的事象の設計基準事象と対応が取れていないが安全の論理上の矛盾はないか？

✓ 耐震設計上、LOCAが起こるような地震動では、ECCS等の安全機能も期待できない

➔ 耐震設計において深層防護の概念は適用されていないのか、あるいは、適用できないのか？

➔ 耐震設計においてあらゆる大きさのLOCAが起こらないよう求めることの必要性はあるのか？

5

原子力学会　2009年秋の大会　特別報告会　一般公開　パネルディスカッション　資料

原子力安全を確保する規制と民間基準・規格の役割

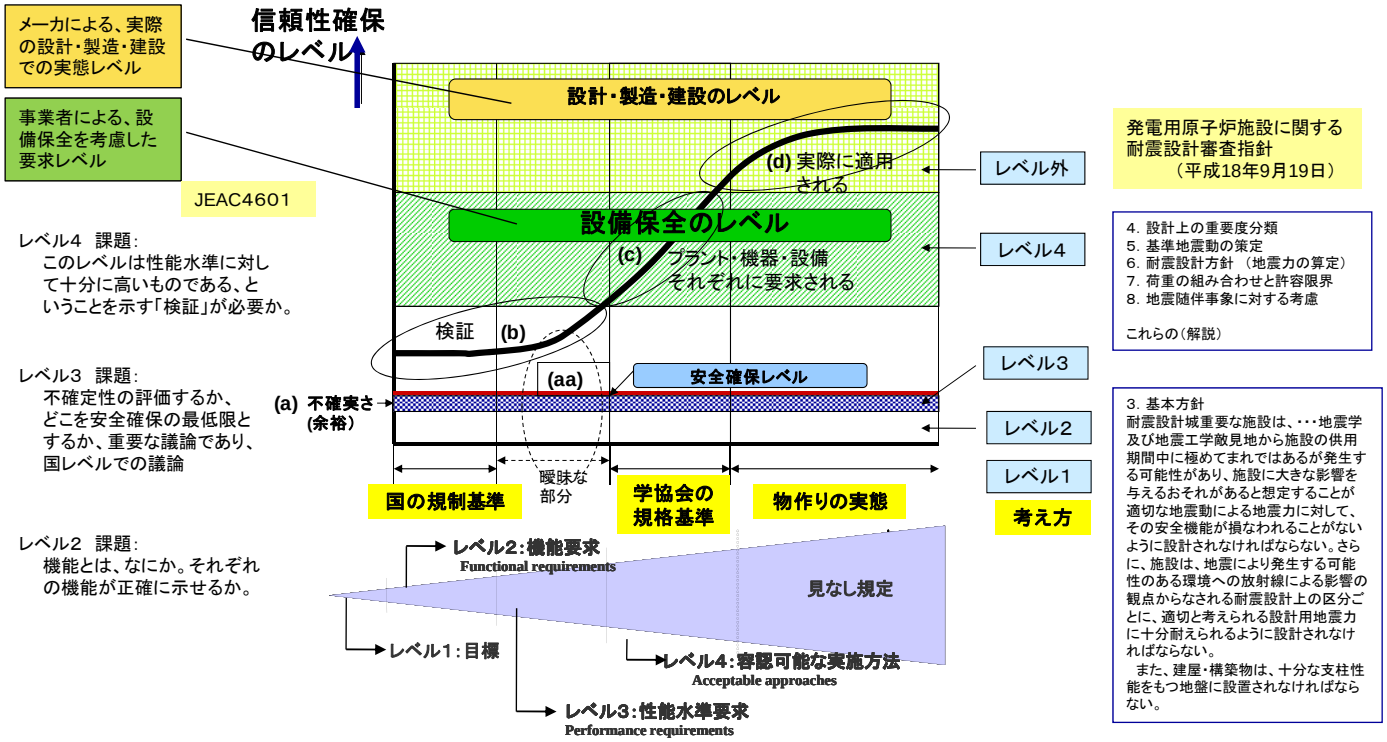
2009－9－17

社会からのニーズとして、「原子力安全の確保」を確実に達成するための、規制における基準と学協会規格などの民間基準との関係、役割分担、位置づけをどのように構築すればいいのか。

今回の地震時の対応の分析においても、同じ課題が見えてくる。

日本原子力学会　標準委員会　委員長　　宮野　廣

規制基準・学協会規格の観点から
安全確保のための役割と定量的レベル比較



課題:　(1)設置許可段階での基準と実態(a)と　(2)工事認可段階での基準と実態(b)、(3)使用前検査の基準と実態(c)、(d)で　何が異なるのか、同じ基準で評価すべきか、本来はどのように評価すべきか、の議論が必要であり、明確にしなければならない。

原子力発電所・原子力施設の規制と規格基準の課題

(a)国が実施する原子力安全規制
「原子力安全の確保」における安全規制とその実施に対する
国民からの負託としての国の監督責任 ← 国と自治体との役割分担
事業者の一義的な原子力発電所の安全確保の責任 ← 安心まで責任か
メーカの製造物責任 ← 現状は役割分担が見えない
の関係の明確化
(b)世界の基準との適合性 ← 現状日本は世界で最も厳しい規制基準
・原子力安全の確保は基本的に世界共通である
・仕様規格の確立を世界共通化と企業戦略とどのように連携させるか
(c)運用の柔軟性 ← 基準上は体系化されていない
・レベル1，2，3，4，他と階層化された規制・基準を
・立地審査、工事認可、使用前検査などとどのように連携させるか
(d)産官学の役割と学協会の位置づけ
・産官の役割の明確化 ← 監督監視、自主自立
・学の役割をどこに求めるか ← お墨付きを与えることでいいのか
・学協会の仕様規格策定の役割と義務・責任・権限 ← 組織の実体化が必要
などの社会からの認知が必要

3

まとめ

「原子力安全の確保」の観点で規格・基準の体系をレビューすると以下の今後取り組むべき課題が見えてくる。

1)指針、法令、技術基準、民間規格基準などの一元化への取り組み （分かり易い基準）
2)明確な機能性化－性能規定化と要求水準の定量化 （地震安全を考える）
3)国の責任、事業者の責任、メーカの責任の明確化 （もう一度考えてみよう）
4)わが国の規制・規格戦略の構築 （世界標準への貢献）
5)学協会規格の位置づけ （新技術の迅速取り込みへの期待）

4

地震安全確保における PSAとリスク情報活用の意義

大阪大学
山口　彰

1

リスク情報活用の意義

- リスク情報を活用した原子力安全規制の導入の基本方針について（原子力安全委員会、2003年11月）
  - 安全規制の合理性・整合性・透明性の向上
  - 安全規制活動のための資源の適正配分
- リスク情報活用の本格導入に向けた関連規格の体系化に関する今後の課題と提言（原子力学会標準委員会、リスク情報関連規格体系化WG、2009年6月)
  - 原子力施設の安全確保活動の科学的合理性・客観性・透明性の向上
  - 効果的・効率的な安全規制
  - 原子力施設の効率的な運営

リスク評価標準体系化戦略タスク（標準委員会）

2

PSAとリスク情報の効用

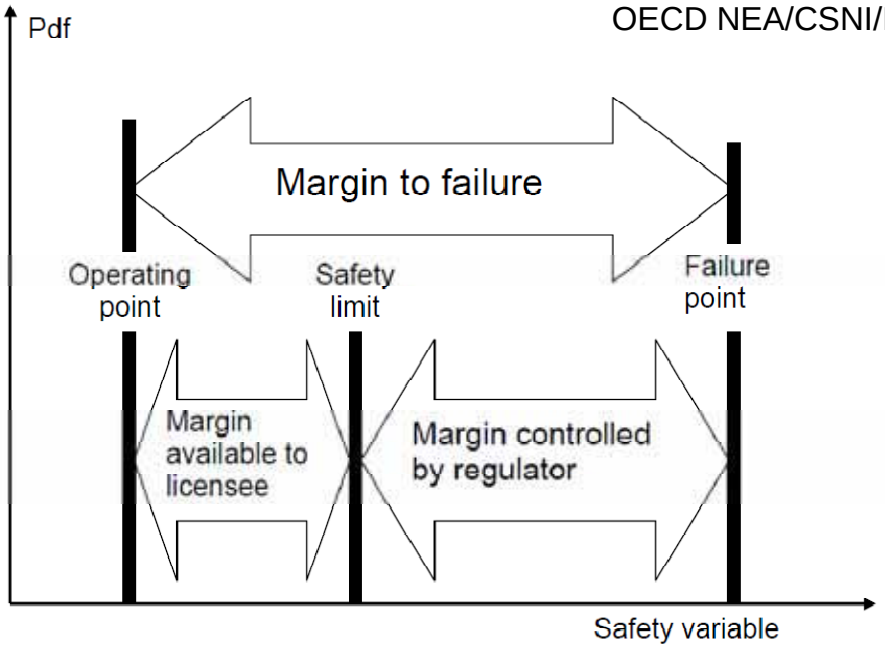
- 見える「地震安全の論理」
  - 安全裕度の測度は？
    - 変形、応力、エネルギー、温度、頻度、・・・・・
- 地震安全の全体最適
  - 適正な安全裕度とは？
    - 地震動、耐震補強、深層防護
- 国民と社会の信頼と理解
  - 専門家間の共通認識
  - 説明性と社会発信
- 地震安全の測度はリスク
  - リスク情報がスケール
  - 汎用性、単純・明快
- 全体最適とは裕度再配分
  - Margin（裕度）
    - 時間・経費の余裕、活動などの余地
  - 不確かさの翻訳が裕度
- 安全性の共通言語
  - 意思決定のトリプレット
    - シナリオ・・・・決定論
    - 影響・・・・・・・SA、AM
    - 頻度・・・・・・・CDF、LERF

（S. Kaplan, B.J. Garrick, 1981）

PSAはシナリオ、頻度、影響の包括的な表現である
リスク情報はPSAの一断面である

安全規制のための適正な裕度考え方の例

OECD NEA/CSNI/R(2007)9



リスクスケール

総合討論

- 地震時の原子力発電所の安全確保はどこまで考えておくべきか
- 原子力施設の地震安全の論理構築にさらに努めるべきではないか
- 地震後の再起動までの手続きなどの明確化が必要ではないか

総合討論

- 地震時の原子力発電所の安全確保はどこまで考えておくべきか

  絶対安全ではなく十分な安全を追求し、その十分性について国民の理解を得ることが大切

- 原子力施設の地震安全の論理構築にさらに努めるべきではないか

  安全論理も継続的に見直すべきものであり、それを国民に示すことが大切

総合討論の記録

班目：このパネルの題は，「地震時の原子力安全について」でございます。今回プレゼンテーションいただいた皆さんから，原子力発電所の持っている余裕の話をしていただきました。中越沖地震のときには，想定を大きく上回った地震が来たけれども余裕があったから大丈夫でしたが，このままの状態で何もしなくては，国民の納得は得られません。それでは，今後どうしていくかということでいろんなご発言があったわけです。その余裕について議論する場合に何をおいても一番重要なのが，「地震時の原子力発電所の安全確保はどこまで考えるべきか」ということです。ようするに，とんでもない大地震が来てその辺り一帯，ほとんど人が住めるような状態じゃなくなっても，やっぱり原子力発電所だけは完全に安全でなくてはいけないのかという話です。原子力発電所が実際にはほとんど被害が無くて，建物もヘアクラックくらいなのに，かなり壁も崩れたが機器は何とかぎりぎり保ったと考えている一般の人も現実にいるわけです。そんなことですから，最初のテーマとして，地震時の原子力発電所の安全確保はどこまで考えるべきなのかということについて，是非皆さんから一言ご発言いただきたいと思っております。

もうひとつのテーマが，これは渡邉さんの言われているのに近いのですが，「地震安全の論理の構築」ということについてお話いただきたいと思います。その他にもいろいろと問題があるのですが，なるべく上の二つに絞ってご発言をお願いしたいと思います。

それでは，まず亀田先生から順番にご発言いただいてよろしいですか。

亀田：私の 1 枚目のスライドでお見せしたような体系が頭の中にあるわけですが，最終的には安全性に関するコンセンサスが必要で，そのひとつが安全目標，性能目標として語られています。これは必ずしも地震だけを対象にしているわけではありませんけれども，しかし地震のことも念頭に置いて討議された結果であることもまた確かですから，そういう指標に依拠してコンセンサスを形成することが必要と考えます。地震工学者としては，それを実現していくための地震工学的手段を，ブラックボックス化させずに説明力を持たせていくべきと考えています。

岡本：いくつか複雑な問題が絡まっている気がするのですけれども，基本的には私は放射線を出さないという現状の耐震指針であるとか，場合によっては立地指針まで戻るかもしれませんが，そういう考え方で考えるべきであり，今のやり方はおかしくないと思っています。どこまで考えるかということについては，これはもう残余のリスクでどうするかという定量的な議論に持っていくしかない。一方で先ほどのヘアクラックがあったが安全かどうかという話につきましては，これは技術者

が安全だといくら言っても一般の人はそうは思わないということになってきているので，そこら辺はまた別の視点なのかなと思っています。いろいろ話を聞くところによると，未だに柏崎は非常に危ないのだと思っている人が 2 割か 3 割かもっといるようなことを聞くこともありますし，マスコミとの関係などもあると思いますが，そっちはまた別の対応がいるのかなと思います。私は今の耐震設計はある意味でやり過ぎだと思います。今の考え方で十分であり，その先どこまでということになるとリスクかなという気はします。

山口：基本的に重要なことは，分からないことがあるということを前提に考えることだと思います。地震動の場合にもそのとおりでして，想定していた地震動を超えるということがありえるわけです。深層防護の考え方というのは，まさにそのような実態を踏まえた上で安全性を確保するものだと思います。先ほど,シナリオ，影響，頻度が意思決定では重要であるというお話をしました。原子力安全を確保するために，考慮すべき外的事象のひとつとして地震を考えるわけですが，先ほど岡本先生がおっしゃったように，放射性物質の放出を防ぐということが間違いなく基本にあります。しかし，それを，想定するシナリオや，発生頻度だけ，あるいは事故影響のみに着目して防ぐわけではありません。それぞれに分からないことがあるということを前提に，総合的に安全を確保するということが重要であると思います。そのような意味から，現状は，シナリオ，頻度，影響にバランス良く配慮し厚みを付与するという状態にはなっておらず，ひとつのポイントのみを見てそこに過大な要求，あるいは期待を寄せすぎるという，憂うべき状況になっているのではないかと思います。

渡邉：原子力の場合，地震に限らず昔から“How safe is safe enough”という言葉があって，「どの程度安全ならば，十分に安全か」という疑問に対して未だにクリアにされていないと思います。ただ，その疑問に応えるためのひとつのパラメータとして，PSA，リスクというものが存在しているのではないか。最近，そういう意味では安全目標，性能目標というものができてきて，それがある意味“How safe is safe enough”のひとつの指標になりつつあるのではないかという気がします。そういうことを考えると，私ももともとPSAをやってきた人間の一人ですから，それに肩入れするわけではないんですけれども，やっぱりリスク，PSAという評価手法そのものは，総合的にものを見るという大きな利点を持っていて，不確実さをきちっと評価できる，きちっとは言い過ぎかもしれませんが，ある意味では不確実さを評価できる。そういう意味では，総合的に，大局的にものを見るひとつの方法として非常に良い方法であると考えていますので，地震安全に関しても，私は残余のリスクだけではなく，全ての地震動レベルに対して地震リスクを把握していくのが重要ではないかなと，それである程度どこまでやればいいかが決まってくるのではないかと考えています。

宮野：2 点申し上げたいと思います。ひとつは，リスクとは，今まで皆さんがおっしゃったとおりかと思います。日頃，私たちは目に見えないリスクというものを許容しながら生きている。そのリスクはやはり目に見える形で許容するものを出していく，そこがひとつ大きなポイントだと思います。それからもう一点は，「もの」ということを考えると，今まで壊さないように，壊れないように，そういう設計をしてきました。じゃあ，そろそろ見方を変えて，「どこを壊してもいいのか」，「壊すところをどこまで許すか」，“壊す”ということを少し考えてみる時期ではないか，と思います。そういう風に考えて，この地震のレベルではここまで壊そうではないか，壊れてもいいではないか。そういう設計，見方も必要ではないか，と思います。今，B，Cクラスの設備は壊れても良いといいますが，なかなか壊す設計というのはできません。どこを壊していいのかという視点で，安全設計をする，という見方はリスクを明確にするという意味でも，あっても良いのではないかなと思います。

班目：耐震指針が改定される前の今までの考え方というのは，内的事象については深層防護の考え方を持ち込んできて，これがダメになっても先があるよという説明をしてきたところ，耐震設計については，耐震設計で持ちますよとはっきり言っちゃってきた。その想定を超えたのが来たら，これはえらいことになると国民が思うのは，これは当たり前です。ようやく新指針で，残余のリスクというのが持ち込まれたわけなんですが，やはりこの辺の国民への説明の仕方が大切です。渡邉さんからは残余のリスクだけでなく，とおっしゃられましたけれど，まさにそうかもしれません。リスクとしてきちんとした説明というのをしっかりしていかなければいけないのですし，そのためには新指針の残余のリスクは何かというのについても真摯に答えていかなければならないと思う次第です。

亀田：先ほど話したどこまで安全という議論の中身ですが，安全に対する説明は分かりやすくなければならないこと，そのために，地震PSAは非常に役に立つツールであるということに触れておきたいと思います。ひとつはリスク情報が持つ意味で，リスク情報は，他の原因によるリスクと相対比較できますので，社会的な広がりをもっており分かりやすいということ，もうひとつは，プラントというシステムの中で，どういうサブシステムやどういう機器が地震時に厳しい問題を抱えているかという相対評価を明らかにすることができ，そういうところを狙い撃ちで強化することによって，システム全体の安全の向上に役立てることができる，ということです。最後に，地震工学の人間から，先ほどのCクラスの機器は壊してもいいのではないかというお話に触れておきます。Cクラスの機器は確かに安全には直接的な関わりは無いのですが，目につきやすいところにある分，社会の安心という点では非常に大きな影響を与えますね。1 号機，2 号機の周辺の設備の設置の仕方を見ると，地震工学的にも未発達の時代もあったのですが，最新の地震工学，特に地盤工学の視点からみて，大きなコストをかけずにもう少しましな設計とす

ることができるのではないかということがたくさんあります。そういう，地震工学の最近の成果を十分取り入れてシステム全体を作っていけば，もっと社会的にも安心感を与えるようなシステムとなるだろうと思います。

班目：時間の関係もありますが，もうひとつ議論させていただきたいのですけれども，ちょっと先ほど私が申し上げたように，旧来の指針ではというか今の安全設計の指針はそうなっていると思いますが，深層防護の考え方というのは内的事象に限っており，地震については基本的には耐震設計でがんばって下さいよという風にちょっと切り離されているわけですね。で，こういう地震時の原子力の安全に関する論理構築が，本当にこのままでいいのでしょうかという点について是非一言ご意見をいただきたい。

亀田：この議論は，日本地震工学会の委員会でも重要なテーマにしようとしており，その論理構造をついてきちんと議論すべきと考えています。論点は，深層防護のメカニズムと，それにふさわしい耐震設計ということになりますが，深層防護のシーケンスに基づいて，順繰りに重要度が増していくという概念が，システム全体が一斉に外力を受ける（コモンコーズ）耐震設計で可能かどうかという問題です。この検討にも地震PSAの方法が必要になると思いますが，そのためには，設計手法のどの部分を現在より強化すべきか，というような論理を構築できれば，両者は両立して，全体の安全性に対する信頼性が向上する。そういうような検討をしたいと思っているところです。

岡本：構造分科会では，構造に着目しているのですが，最後の私の絵ではシステムというところがまさに深層防護に当たるところになっていて，そこのところについては今は期待しない，明らかに期待しないことになっています。そこが普通のものと一番違うのは，先ほども話があったかと思いますが，おそらくコモンコーズフェイリアがどういう風に起きてくるかが必ずしも予測できないということで，その辺りが地震PSAでちゃんと予測できるようになってくれば，その辺りの話ができるのではないかという気はしていますが，もう少し地震PSAの進展を待たないといけないのかなという気がしています。先ほどの“How safe is safe enough”と近いような話になってくるのですが，深層防護をどこまで期待するか，今は期待していないわけですが，それが期待できたとして，じゃあ本当にそれが説明しやすく，一般の人に説明できるのかという問題があるのかなあという気がしているところです。私としては，まだもう少し地震PSAの進展をみたいなというところです。

山口：安全の論理構築ということでは，まず地震と地震以外というのは同じ考え方をするということに基づいて，統一的な防護の考え方とすべきということが基本であると思います。実際に，例えば事故のシナリオを考えたときに，いわゆる内部事象と地震などの外部事象，それらの中間的な事象と，いろいろな場合がありえるわけです。それぞれによって，安全の論理に関する考え方を変えるというのは

非常によろしくないと考えます。その意味では共通的に評価ができるPSAは，安全論理構築に役立つ具体的な方策として有力な候補であるということは確かです。もちろん，深層防護の達成の仕方が，内部事象と地震起因の事象で異なる方法であるということは十分ありえます。それは独立性や多重性に対する影響の仕方が地震と内部事象では異なっているからです。ここで，もうひとつ，PSAを活用すべきということとは逆説的になるのですが，PSAを過信しすぎてはいけないと思います。先ほど，分からないことがありえるということを前提に安全確保を考えるべきと申しましたが，PSAも間違えることはありえるわけです。例えば，地震などは，大体，希な事象を扱うわけです。すると希な事象が起きることによって，統計論に基づくPSAのデータベースは影響され，それによって評価が見直されるということは当然，ありえます。そういう点から，PSAに全幅の信頼を置くというよりも，それに加えて実際の状態を監視するといいますか，いろいろなものを観察し，注意深く見ながら，常にフィードバックをかけるという姿勢が重要であると思います。もう一点，安全論理構築ということでは，例えば今般の中越沖地震の場合，原子力安全が脅かされる事態に至るまで，どれくらいの“距離”があったのかということをPSAという考え方で実際に調べてみるということは意味があると思います。といいますのは，PSAを検証するというのは非常に難しいことであるわけです。そうすると，今回の地震で，例えば炉心損傷までにはどれくらいの“距離”があったかを推定することによって，安全評価に対する確信度が増すと思いますし，安全論理という観点でも間接的な検証ができるという意味があるのではないかと考えております。

渡邉：安全の論理の構築は，安全分科会のメインのテーマで，いろいろな議論を今やっている最中です。これといって決まり手は当然まだ見つかっていないが，地震リスクというか地震PSAを使うということはひとつの手であるというのは我々の分科会の中での共通した認識となっています。これは私個人の意見ですが，先ほど，岡本先生が地震のときのコモンコーズあるいはコモンモードフェイルアみたいなものはその評価が難しいという話が出ていますが，それはまったくおっしゃるとおりだと思います。ただ，現在は，耐震設計ということで見ているから，多分そういう疑問というか問題点が浮かび上がってくると思うのですが，地震に対する技術はいろいろと進歩しており，免震もあれば制震もある。そうすると，例えば，原子炉に要求される多重性とか多様性とかいう概念を構造設計や配置構成などに当てはめるとどういう風になるか，構造多重性，構造多様性というようなものができてくれば，ある地震が起こっても，ある耐震設計で作られているものは壊れるかもしれないけれども別な設計になっているものは壊れない，そういうものを組み合わせていくと，深層防護そのものがある意味成り立つ可能性はあるではないかと考えられるわけです。こうしたものについて少し検討して，研究を進め

ていくという手もあるのはないかと思いますし，いろいろ技術も進歩していくので，今のままではいない，ということを前提にすれば，何かしら深層防護を地震の安全の中で取り入れていくことも可能ではないかと思います。あるいは，逆に内的事象の深層防護の考え方を少し変化させていく手もあると思います。先ほどの私のプレゼンテーションの中で一番後に，全部の事故を考えなくてはいけないのかと申し上げましたが，これは内的事象もまさに一緒で，どこまで本当に事故として考えなくてはいけないのかを整理することによって，内的事象と地震時の事象との関係において，少し距離が縮まる可能性が出てくることもあると思います。多分そういう総合的な見方で，山口先生がおっしゃったような統一したコンシステントな枠組みの中で，安全の論理が構築できるというような方向に持っていくことができるのではないかという気がしています。

宮野：今，山口先生，そして渡邉さんがおっしゃったように，統一したロジックを考えるのが必要だなと思います。今，様々な人がそれぞれに向かっているのは，どうもばらばらに，地震は地震だけで考える，安全は内的な安全だけを考えるという方向で議論していたような気がします。地震時の安全評価という観点で，私も地震PSAは万能ではないと感じています。地震PSAを標準の策定においてずっと見て来ましたけれども，定性的な評価するにはいいのですが，絶対値，「絶対こうですよ，安全ですよ」とはなかなか言えないのだろうと思ってます。そういう意味では，うまくロジックというか，安全ロジックを考えるというのも必要だと思います。地震PSAをうまく使いながら，それをカバーしていくのだという，そういううまい方法を見つけていかないと，この問題は解決できないのではないかと私も思います。

班目：この話は，安全論理側から詰めていきたいと思うのです。渡邉さんのおっしゃったことと関連しますが，山口先生の話にあったように安全の尺度は本来リスクなのですね。もうこれははっきりしています。安全というのは，本当は確率論的なものであって，リスクで測るべきものです。決定論的な方法というのが原子力のところで持ち込まれたのは，設計段階かなんかでリスクをちゃんと評価しなさいと言われると面倒くさくてしょうがないからで，それを補うものとして深層防護の思想が持ち込まれたということだと思います。そう考えてくると，決定論で今いろいろ安全評価の指針なんかが出ているのですが，これを未来永劫絶対的なものだと考えている方は怠け者だということですね。むしろリスクというのをちゃんと考えて，それに適合した形での決定論的安全評価というものをもっと考えなくてはいけない。そうすると，単一故障基準なんかも見直すことができるかもしれない。例えば，大きな配管がボーンと切れることを考えているから，それに全部包絡されているから安全だといって思考停止状態に陥っているのが原子力屋さんの問題点で，それならば，小さな配管が10本壊れたって平気ですよと示す方がより現

実的な解かもしれない。だから，安全論理の構築というのは，今，地震で急に注目を浴びたけれども，ひょっとしたらそれはそうではなくて，内的事象についての安全論理についてもう 50 年前から思考停止状態になっていたということについて警鐘を鳴らされたのではないかなというのが私の個人的に思うところです。

次のスライドにして

是非，次回はもう 1 時間くらいとってもらって，フロアともディスカッションをさせてもらいたいと思っています。私なりに締めくくらせていただきますと，やっぱりどこまで地震時に安全を要求されるかということについて，今までの国民への説明の仕方というのは耐震設計をしているから絶対安全ですという言い方をし過ぎていたと思います。やっぱりこれは「リスクですから，絶対安全は無い。だけれども，リスクをここまで小さくしています。ですから十分安全なのです。」という説明の方が多分国民には納得がいくのだろうと思います。原子力屋なりの妙な安全論理かなんかで迫っていたのが，今回の混乱の原因なのかなということで，是非この問題についても，ここにいらっしゃる皆さん一人一人が答えを見つけるべく努力していただきたいと思います。

2 番目のテーマですが，安全論理と言ってしまうと，もう安全論理イコール深層防護で云々，これはもう今更議論に及ぶまでもない。評価指針がずっと見直されていないというのに文句を言うと怒られるかもしれませんが，あれも便宜的に持ち込まれたものであって，安全評価指針だって，より現実的に見直すべきところをやってないというのが過去の実状だと思います。地震PSAといわゆる内的事象PSAとの統合なんかも含めて，一所懸命に研究する，そういうのに是非，若い方たちも参加して下さればと思います。

フロアからひとつかふたつ何かご意見はございますか。

会場参加者：私が非常に心配するのは，一般国民と我々との間の理解というか意識レベルの断絶があるのではないかということを非常に感じるわけでして，中越沖地震が起こったすぐ後に，新聞社が書いた，いいルポルタージュ記事が出ている。これを見ますとですね，大地震が起こると，地震災害が起こって，風がたまたま東京の方に吹くと，いずれ176万人の人が死ぬと，中部地方の方に吹くと，70万人が死ぬと書いている。新聞社というのはやっぱり日本を代表するメディアなのですね。だから周りの人が非常に心配するのは，いずれ来ると言われているマグニチュード8の地震がチェルノブイリ事故になるようなことが無いのかどうか，やっぱり答えとして欲しいのだと思います。もっとそれを言いますと，「地震が起こったときに防災対策がいるんですかどうですか」ということが地元からずっと長年訊かれているのですよ。それについて明確に答えてないのですよ。ところがそ

の答えもはっきりしているのです。我々，原子力ではINS，国際事象スケールというのを持っていますね。それでは，例えばレベル5のCDFを見ますと，オフサイトのカウンターメジャーに期待しているのですよ。レベル5に入ったら，人を遮蔽の効く部屋の中に閉じ込めたり，人を退避させたりそういうことが要求されています。ということはCDFの評価だけでは足りないということです。だから大地震が起こったときも，サイトの中はとにかくとして，サイトの外側の人は，とにかく自分たちの地震の減災だけを一所懸命やって下さいと，放射線のことは心配しなくていいですと言い切るにはどうしたらいいかということをはっきりさせて欲しいのだと思います。そういうことで，求めている答えもはっきりしているのです。

班目：ただ，今まではある想定地震動を考えていて，それを2．5倍も超えてしまったのは確かですよね。そうしたときに，誤解を生むのは当然ですよね。それに対して，どういう風にちゃんと説明していくのか，私はもう十分安全だと思っていますけど，十分安全だというのを余裕があったからですというのでは，それはちょっとあんまりで通じないでしょう。

会場参加者：私は，（新聞社の説明）これではエセ科学だと思います。ですがそれをはっきり言えないといけないと思います。

班目：それではもう一人。

会場参加者：先ほどパネルの方が言われました地震PSA手法の成熟度の向上を期待するに関して、地震PSA手法の成熟度と、これまでの地震PSA評価結果の中から，何が言えるかという2つの観点からの意見です。

まずひとつは，中越沖地震がおいて，設計地震動を超えたが、このようなレベルで，私たちがやってきた地震PSAのフラジリティ評価が本当に合っていたかどうかを検証する必要がある。従来，仮定が多いとか機能限界データが少ないとかフラジリティ評価手法の問題点が言われてきましたが，今回の地震動レベルでのフラジリティ評価の機能喪失確率の私どもの試算では 10^{-3} とか 10^{-4} とかのレベルでした。確率論的評価の観点からすると 10^{-4} は機能喪失しないレベルだと思っていましたので，今回の地震で設備が機能喪失しなかったことと整合することから，私たちが 25 年やってきたフラジリティの信頼度はここまで来ているな，ということをひとつ確認できました。このようにフラジリティ評価の信頼度があることを前提にもうひとつ述べます。渡邉さんの資料の 5 ページ目のシナリオ，内的事象と地震事象にどのような相関，連関のシナリオがあるかということに関連して，今までいろいろ評価してきた結果の例として、格納容器のフラジリティに関するシナリオを紹介します。まず格納容器の耐力が大きいのでフラジリティが非常小さいということです。これに対して，冷却系関連機器の耐力が格納容器より小さいので、これらのフラジリティが大きい。そこで地震動下では格納容器は機能喪失しないものの、地震の何時間後かに，冷却系の機能を失っておりますから，内圧上昇で

格納容器が機能喪失する。まさしくこれが地震PSAから得られた重要な地震シナリオです。その後の格納容器の機能喪失後のシナリオは、内的事象のものと同じとなる。このように、内的事象と外的事象とが結びつく，シナリオも分かりつつあります。このように、地震PSA結果は、内的事象と地震事象とのシナリオをどのように構築するかについて非常に大きな示唆を与えているのではないかなと思います。フラジリティ評価手法の成熟を図るとともに，得られたシナリオからどのようなカウンターメジャーが得られるかも考えていき，さらにどのように説明性を高めていくかというのが非常に重要ではないかなと思います。

班目：ありがとうございました。これはコメントとして承らせていただきたいと思います。駆け足でしたが，パネリストの方々の熱心なご議論ありがとうございました。

資料５

中部電力

駿河湾の地震における
浜岡原子力発電所の状況について

平成２１年９月１７日

中部電力株式会社

鈴木　純也

地震概要

発生日時：平成21年8月11日（火）午前5時07分

地震諸元（気象庁暫定値）

地震規模：マグニチュード6．5

震央位置：北緯34度47．1分、東経138度29．9分

震源深さ：23km

発震機構：横ずれ成分をもつ
逆断層型
（圧力軸は北北東－南南西）

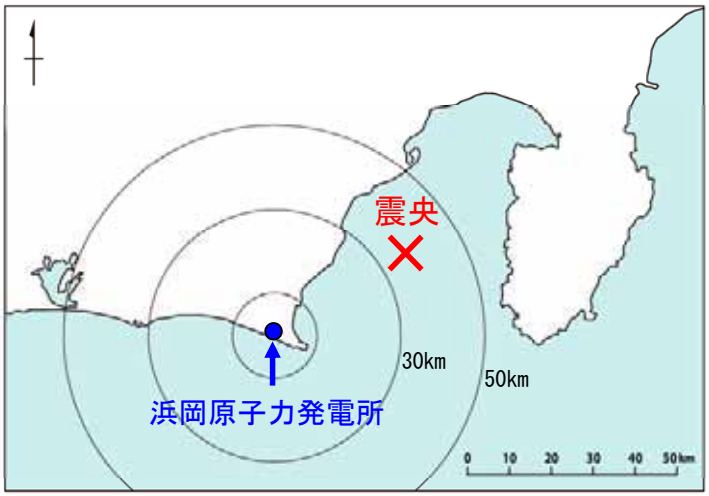
浜岡原子力発電所との距離

震央距離：37．0km

震源距離：43．5km

4市の震度：

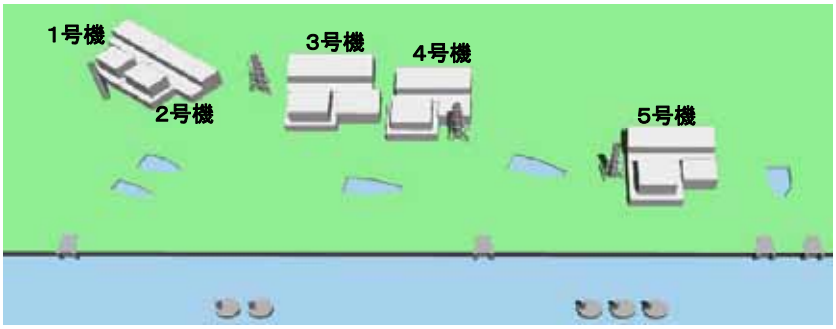
御前崎市、牧之原市・・・震度6弱
菊川市　・・・震度5強
掛川市　・・・震度5弱



© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

浜岡原子力発電所の状況について

地震発生にともない、定格熱出力一定運転中の4，5号機は地震の揺れを感知し自動停止しました。また、外部への放射能の影響もありませんでした。



号機	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機
運転状況	停止中（運転終了）		停止中 （定期検査中）	調整運転中 ↓ 自動停止	営業運転中 ↓ 自動停止
観測した加速度※ （水平方向）	109ガル		147ガル	163ガル	426ガル
地震動における 自動停止設定値 （地下2階水平方向）	―――		120ガル		

※中央制御室で運転員が地震の揺れを確認するための地震計により観測した、原子炉建屋地下2階の加速度

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

地震後の点検結果について

今回の地震により66件（9月14日現在）の損傷などを確認しております。いずれも安全上重要な施設に損傷はなく、外部への放射能の影響もありませんでした。

分類	件数	事象例
1. 安全機能安全機能（止める・冷やす・閉じ込める）に影響を与えた事象	0件	なし
2. 安定運転（発電）に必要な機能に影響を与えた事象	1件	・5号機主タービンスラスト軸受摩耗トリップ警報点灯
3. 前項1、2以外の事象のうち地震による軽微な事象	47件	・5号機補助変圧器過電流トリップ ・5号機タービン建屋3階タービンスラスト装置まわりのデッキプレート取り付け用ボルト折損 ・5号機原子炉建屋5階燃料交換エリア換気放射線モニタ指示の一時的な上昇 ・5号機タービン建屋の東側屋外エリアの地盤沈下 ・1号機取水槽まわりの地盤沈下　等
4. 地震による影響ではない事象	18件	・5号機起動領域モニタ（F）の動作不能 ・5号機排気筒における放射性ヨウ素131の検出　等

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

安定運転（発電）に必要な機能に影響を与えた事象

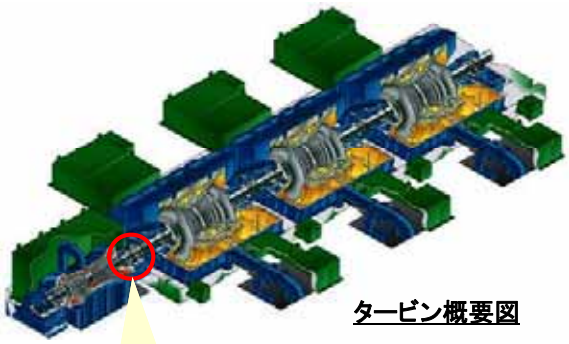
●5号機主タービンスラスト軸受摩耗トリップ警報点灯

◆事象内容

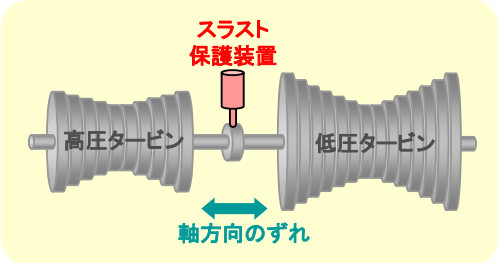
地震発生後、「主タービンスラスト軸受摩耗トリップ」警報が点灯しました。

主タービンを停止していく過程で、タービンの振動、軸受温度、軸受油温度、潤滑油圧力などを確認し、著しい温度上昇などが認められていないことを確認しました。

現在、スラスト保護装置などの点検を実施中です。



タービン概要図



タービンスラスト軸受摩耗トリップ警報とは

タービンの静止部と回転部の接触を防ぐため、タービンの軸方向のずれをスラスト保護装置で常に監視しています。タービン軸方向のずれが基準値を超えた場合に、タービンが自動停止し、同警報が点灯します。

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

地震による軽微な事象

●5号機補助変圧器過電流トリップ

◆事象内容

電流が通常よりも多く流れた際に動作する保護継電器が、地震の揺れで誤動作したため変圧器が停止しました。

絶縁抵抗測定、油中ガス分析、変圧器本体および電路の外観確認、異臭確認、保護継電器の特性確認を行い、異状がないことを確認し、補助変圧器を復旧しました。

5号機　補助変圧器

補助変圧器は、プラントの運転などに必要な機器に電源を供給するための変圧器です。
非常時にはディーゼル発電機により電源供給される設計となっており、安全機能（非常用電源の供給機能）に影響を与えるものではありませんでした。

保護継電器は、通常とは異なった運転状態となったときに機器の運転をトリップ（停止）させるための安全装置です。

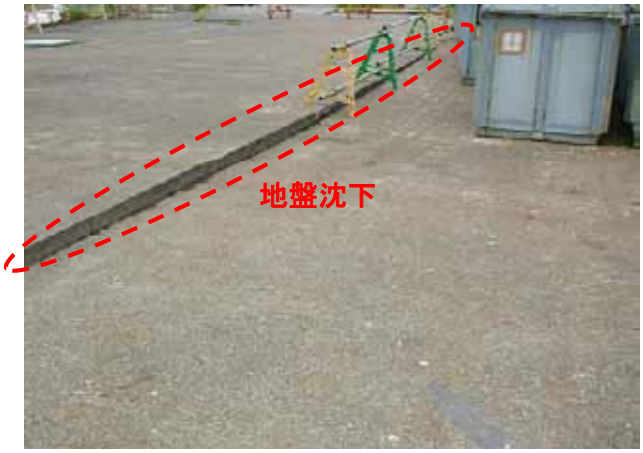
© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

地震による軽微な事象

●1号機取水槽まわりの地盤沈下等

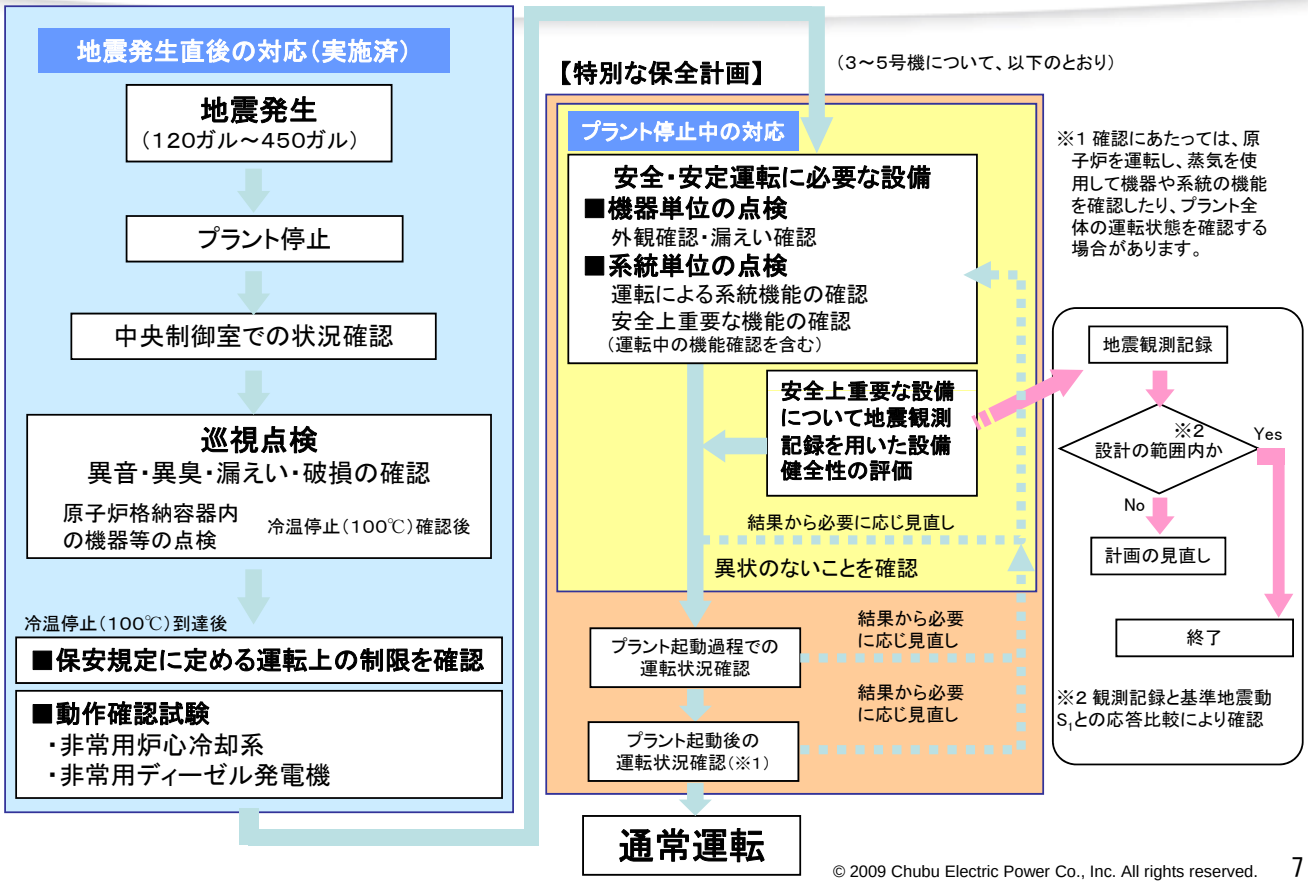
◆事象内容

取水槽まわりに地盤沈下（30m×20m、最大15cm程度）、隆起（35m×15m、最大20cm程度）および法面波打ち（30m×5m、最大10cm程度）を確認しました。取水槽本体に被害はなく、取水機能に影響はありません。



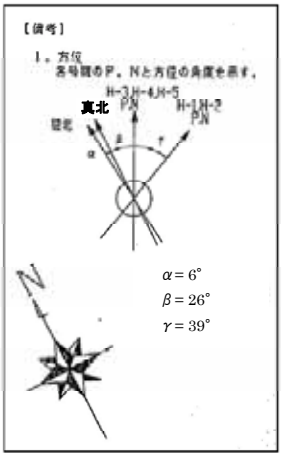
© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

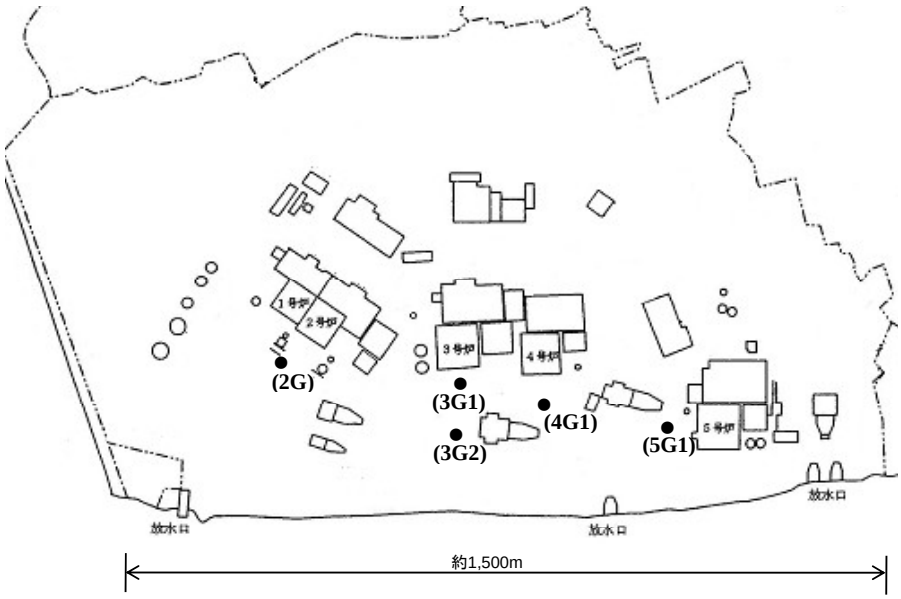
地震発生後の安全確認手順



© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

地盤の地震観測位置図（配置図）





○地盤の地震観測位置

2号地盤：2G

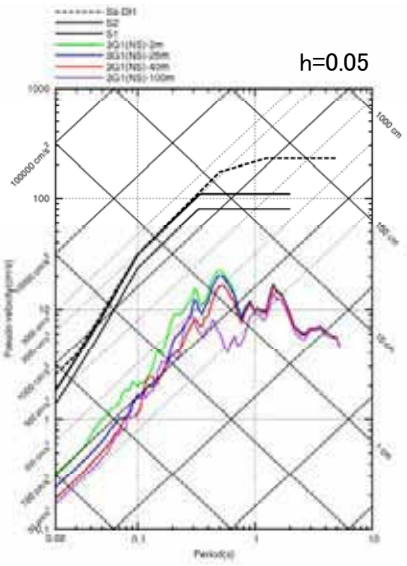
3号地盤：3G1、3G2

4号地盤：4G1

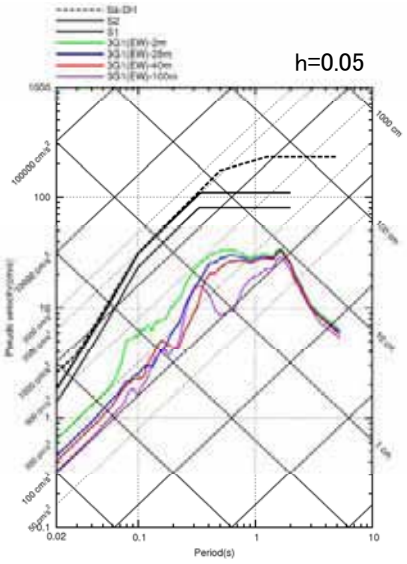
5号地盤：5G1

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

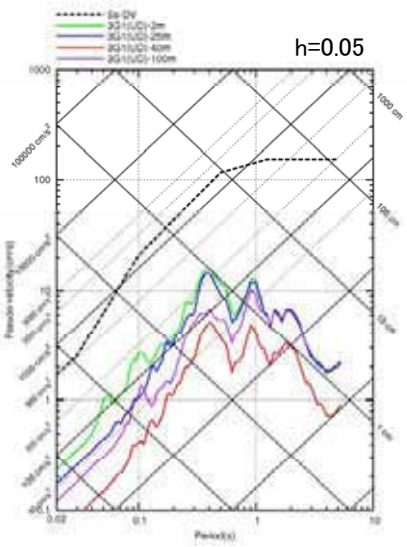
3号地盤（3G1）の応答スペクトル図



＜NS＞



＜EW＞



＜UD＞

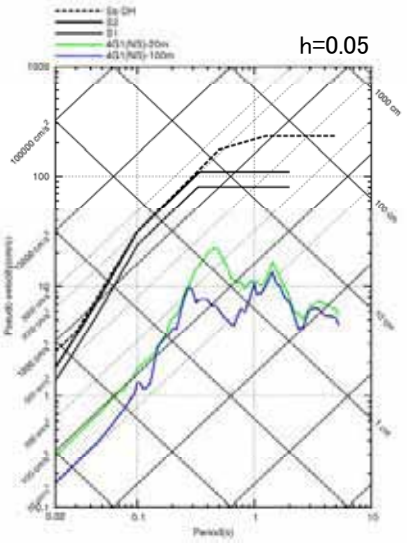
応答スペクトル図

（3G1：−2m、−25m、−40m、−100m）【3、4、5号PN基準】

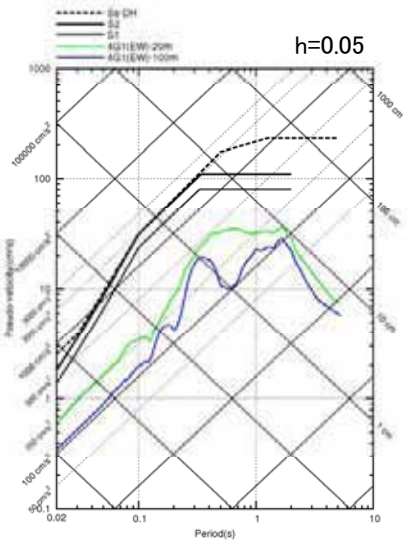
※S_1、S_2、Ss−D_H、Ss−D_Vについては解放基盤表面上で定義された地震動であるのに対し、観測記録については地中での記録である。

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

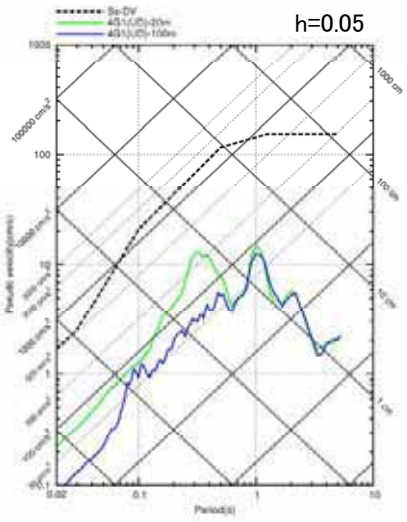
4号地盤（4G1）の応答スペクトル図



＜NS＞



＜EW＞



＜UD＞

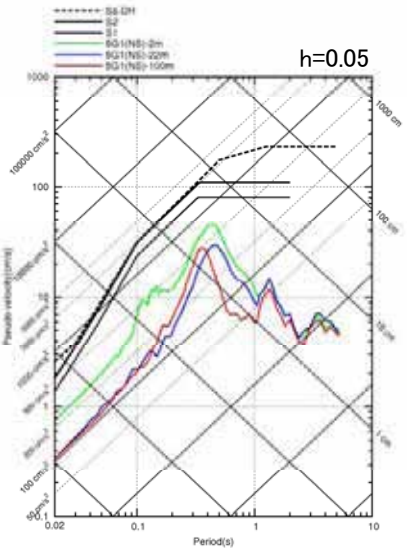
応答スペクトル図

（4G1：−20m、−100m）【3、4、5号PN基準】

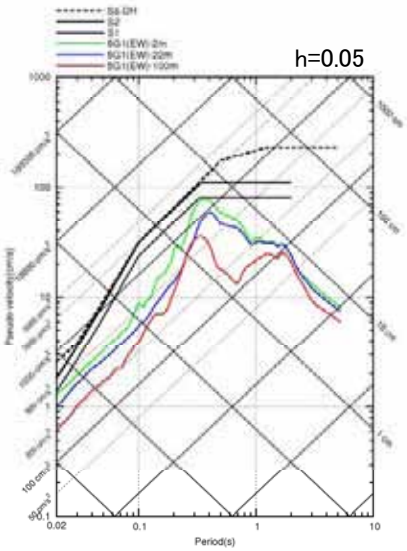
※S_1、S_2、Ss−D_H、Ss−D_Vについては解放基盤表面上で定義された地震動であるのに対し、観測記録については地中での記録である。

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

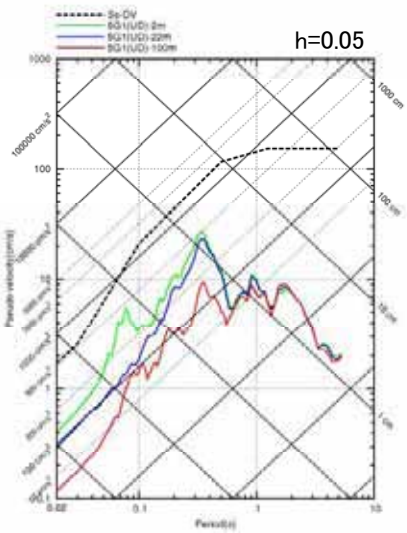
5号地盤（5G1）の応答スペクトル図



＜NS＞



＜EW＞



＜UD＞

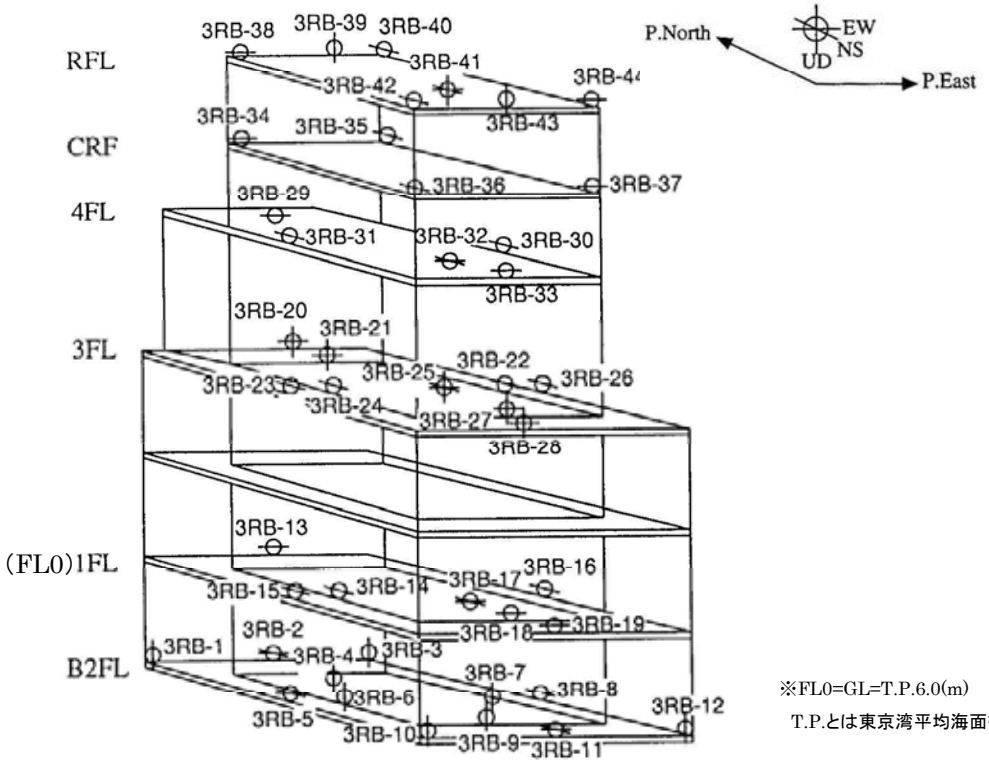
応答スペクトル図

（5G1：−2m、−22m、−100m）【3、4、5号PN基準】

※S_1、S_2、Ss−D_H、Ss−D_Vについては解放基盤表面上で定義された地震動であるのに対し、観測記録については地中での記録である。

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

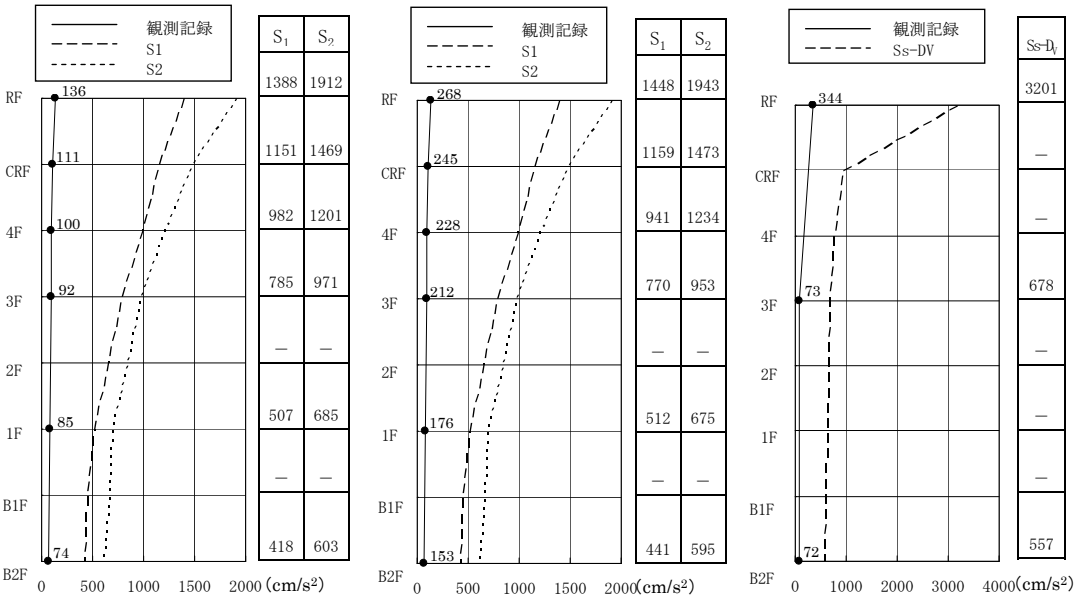
3号機原子炉建屋の地震計設置位置（例）



※FL0=GL=T.P.6.0(m)
T.P.とは東京湾平均海面を示す。

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

3号機原子炉建屋の最大加速度

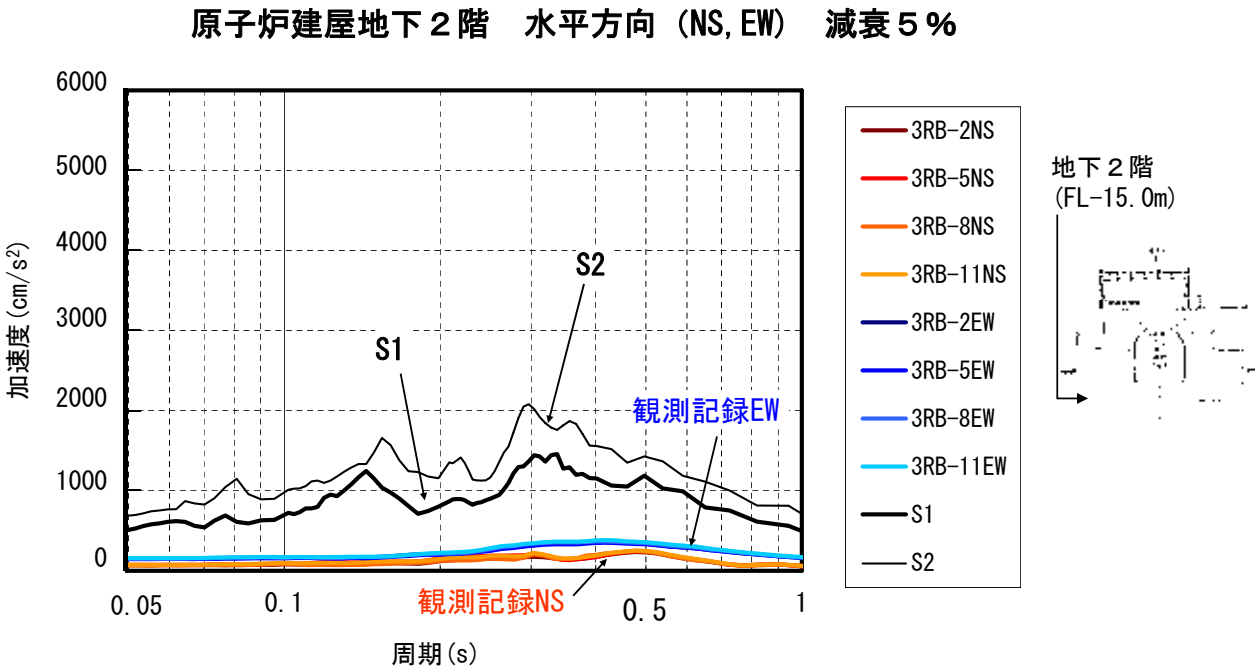


NS方向　　EW方向　　UD方向

●観測記録は各レベルに設置した地震計で観測された最大加速度のうちの最大値を示す

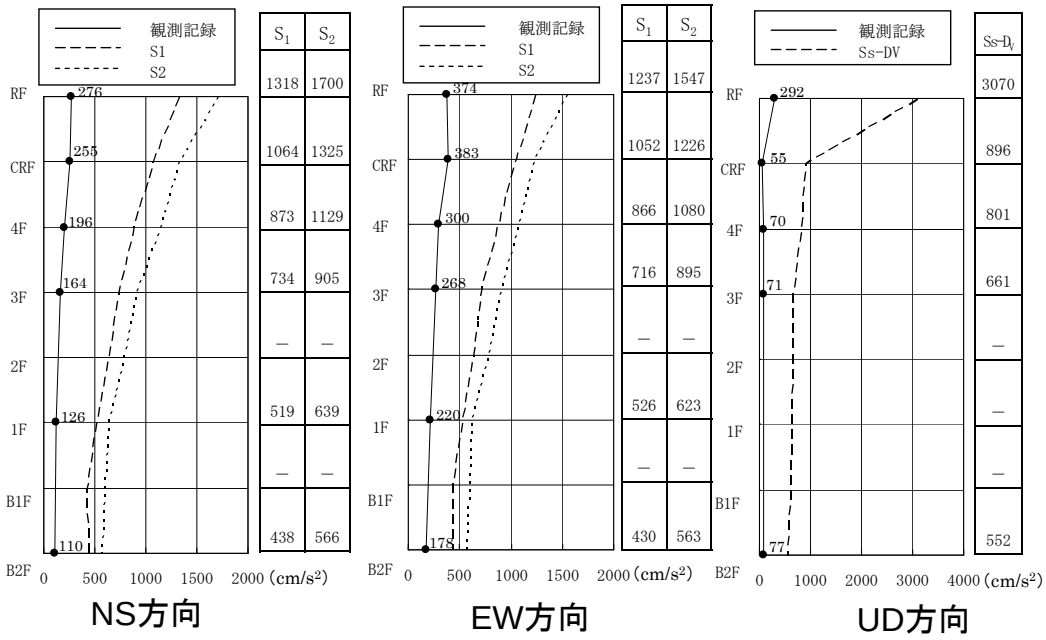
© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

3号機原子炉建屋　床応答スペクトル



© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

4号機原子炉建屋の最大加速度

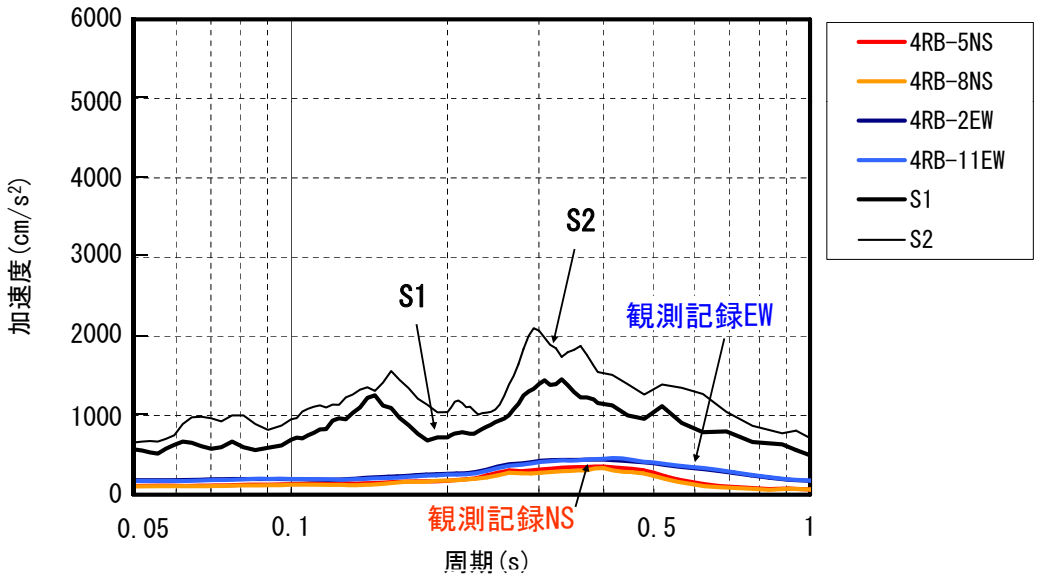


●観測記録は各レベルに設置した地震計で観測された最大加速度のうちの最大値を示す

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

4号機原子炉建屋　床応答スペクトル

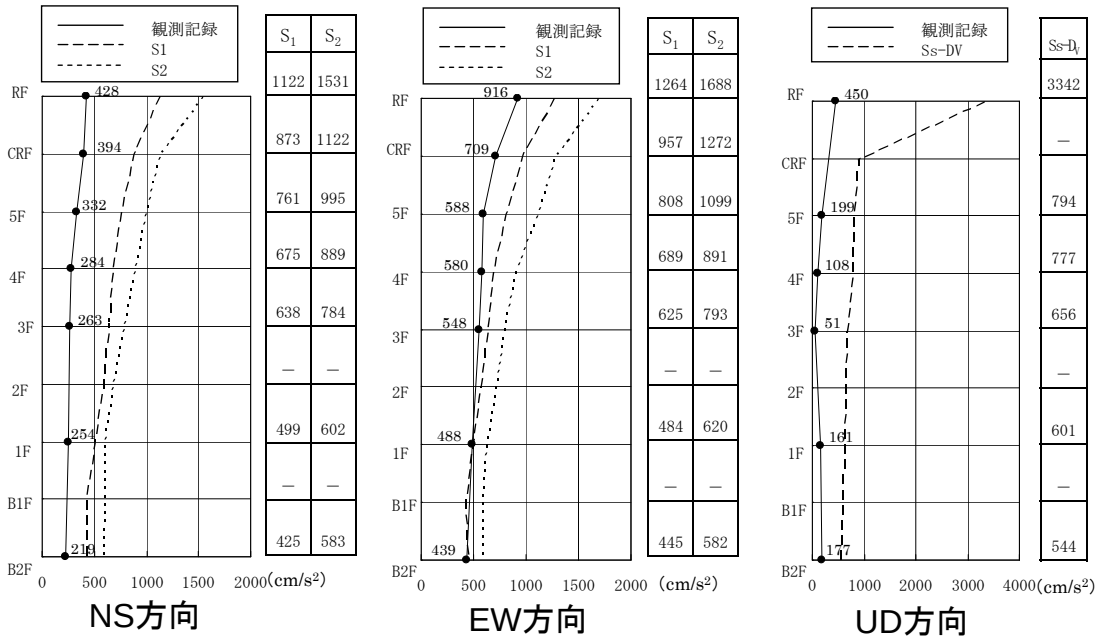
原子炉建屋地下２階　水平方向（NS, EW）　減衰５％



地下２階
(FL-15.0m)

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

5号機原子炉建屋の最大加速度

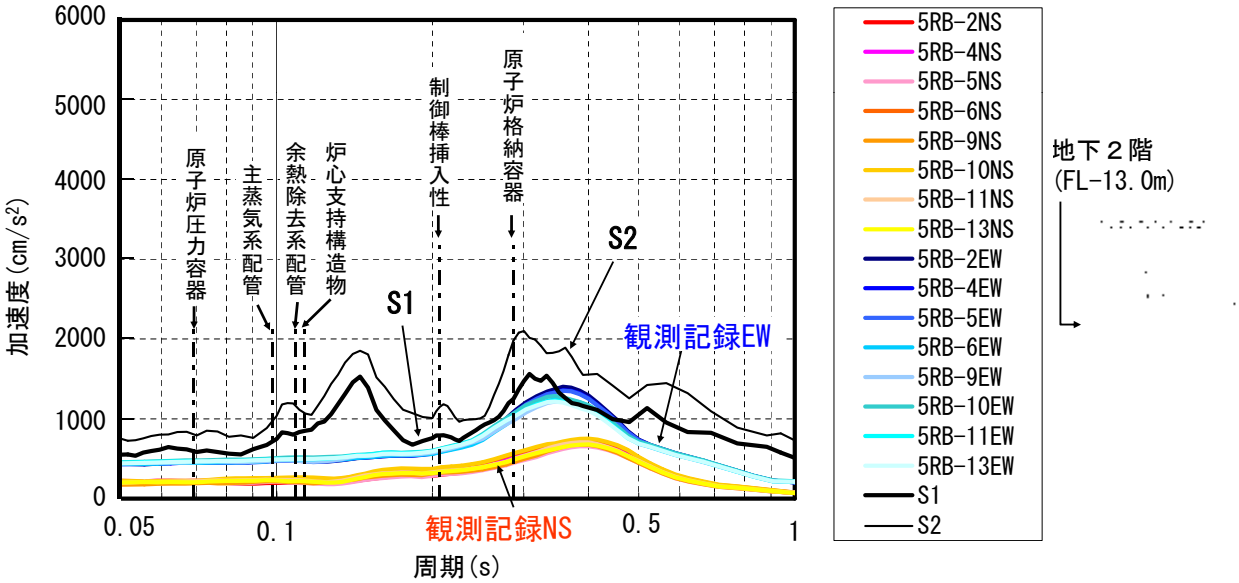


●観測記録は各レベルに設置した地震計で観測された最大加速度のうちの最大値を示す

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

5号機原子炉建屋　床応答スペクトル

原子炉建屋地下２階　水平方向（NS, EW）　減衰５％



© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

設備健全性評価結果

３号機、４号機

◆地震観測記録は基準地震動S1による応答を十分下回っており，地震時に耐震設計上重要な設備が弾性状態にあったことから，設備の健全性が確保されていることを確認した。

５号機

◆ 一部の観測記録で基準地震動S1による応答を超えたものの，主な設備は弾性状態にあったことから，これらの設備の健全性が確保されていることを確認した。

◆ 原子炉建屋において一部の地震観測記録が基準地震動S1の応答を上回っているとともに，近接している周期帯も一部あることから，今後，地震観測装置を設置していない階や建物・構築物についても，地震観測記録を用いた解析により応答を算出し，基準地震動S1の応答と比較することを含めて，耐震設計上重要な設備について評価を行うこととする。

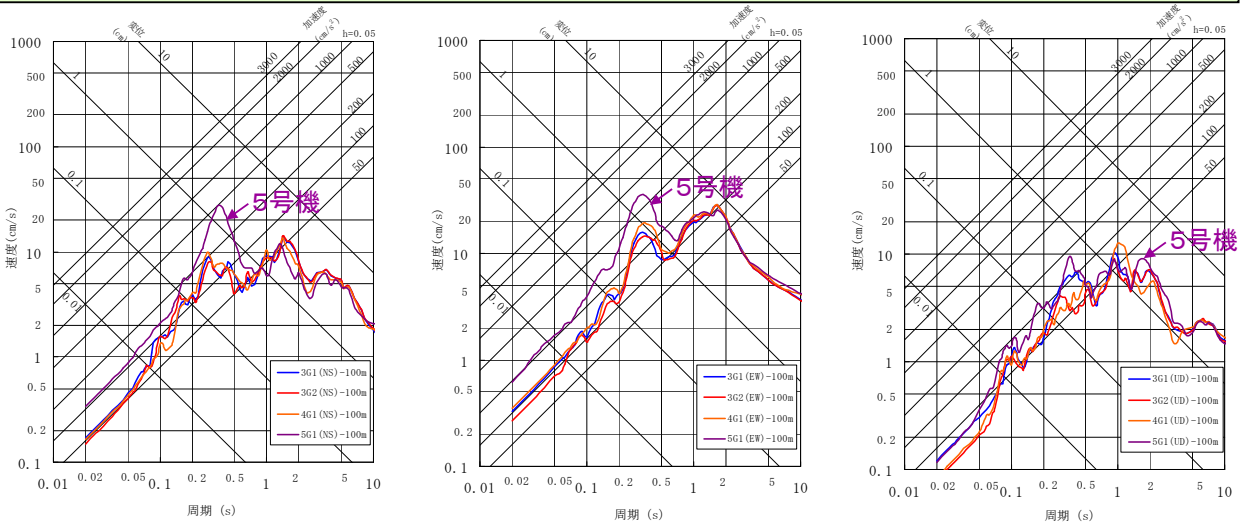
© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

駿河湾の地震における各号機の揺れの特徴

○2009年8月11日駿河湾の地震における各号機の揺れの特徴

・5号機の観測記録が他号機に比べ大きかった。

・この傾向はG.L.-100m地点の観測記録においても見られ、深さ-100m以深の地下構造がその要因の一つと考えられる。



＜NS＞　＜EW＞　＜UD＞

地盤の観測点（-100m）の応答スペクトル

＜減衰定数：5%、3、4、5号PN基準＞

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

地震観測記録に対する今後の検討方針

＜観測記録に基づく検討＞

・2009年8月11日駿河湾の地震（本震）の他、余震や既往地震の観測記録を分析し、5号機をはじめ、各号機の揺れの特徴を把握

・敷地内観測点の他、臨時地震観測点および他機関（K-net、KiK-net等）の観測記録を分析し、敷地内外の揺れの特徴を把握

＜地下構造調査結果に基づく検討＞

・既往の調査結果や現在実施中の調査結果から、5号機をはじめ、各号機の揺れに影響を及ぼす地下構造の特性を把握

⇒5号機の揺れが他号機に比べ大きかった要因（震源特性、伝播特性、敷地直下の地下構造特性）を把握し、影響検討を実施

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

END

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

地震による影響ではない事象

●5号機起動領域モニタ（F）の動作不能

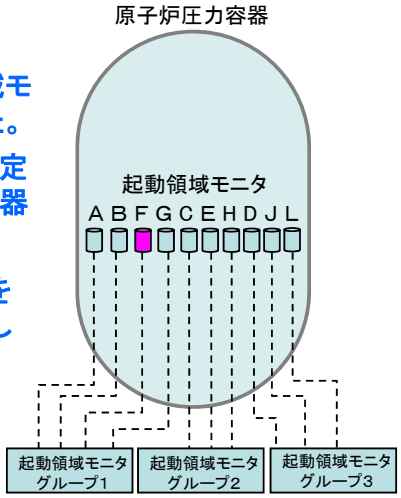
◆事象内容

原子炉停止後（地震発生の翌日）、10個ある起動領域モニタのうち1個（起動領域モニタF）の指示が上昇しました。

その他の9個の起動領域モニタに指示の変動はなく安定していることから、当該モニタの異状と判断し、当該検出器の信号を除外しました。

なお、本事象の発生に伴い運転上の制限からの逸脱を宣言し、検出器の信号除外措置により同制限内へ復帰しました。

地震との関連についても調査していきます。



起動領域モニタとは、原子炉起動・停止時の低出力時に用いる中性子の計測装置で、10個の検出器を3～4個ずつの3つのグループに分けて構成されています。原子炉施設保安規定では、各グループについて、検出器1個分の信号まで除外可能としています。

当該事象は停止時の未臨界状態の確認に影響を与えるものではありませんでした。

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

地震による軽微な事象

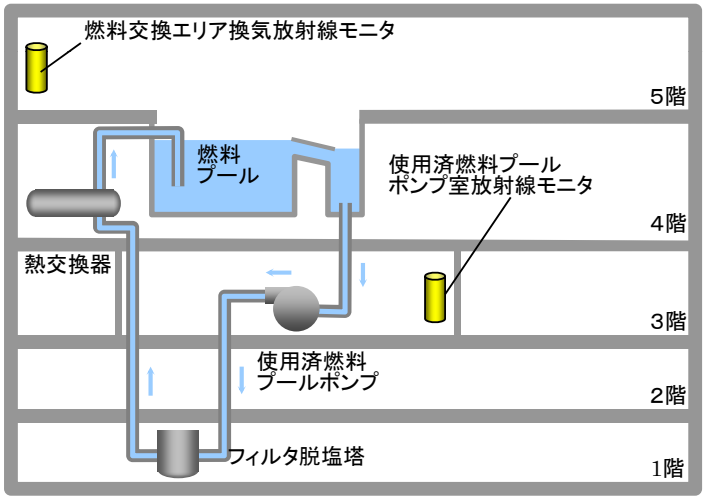
●5号機原子炉建屋5階燃料交換エリア換気放射線モニタ指示の一時的な上昇

◆事象内容

地震発生後、原子炉建屋5階燃料交換エリア換気放射線モニタの警報が点灯しました。
2.4×10^{-3}mSv/h(上昇前)
→1.9×10^{-2}mSv/h(上昇後)
【警報設定値:1.5×10^{-2}mSv/h 】

地震による揺れで、燃料集合体表面の放射性物質を含んだ鉄錆びなどが、プール水に遊離したためプール表面からの放射線線量率が上昇したものと推定しました。

その後、系統のフィルタ脱塩塔による除去、プール内への沈降により、通常値に復旧したことを確認しました。



5号機　原子炉建屋概略図

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

地震による影響ではない事象

●5号機タービン建屋3階南側壁面の軽微なひび割れ

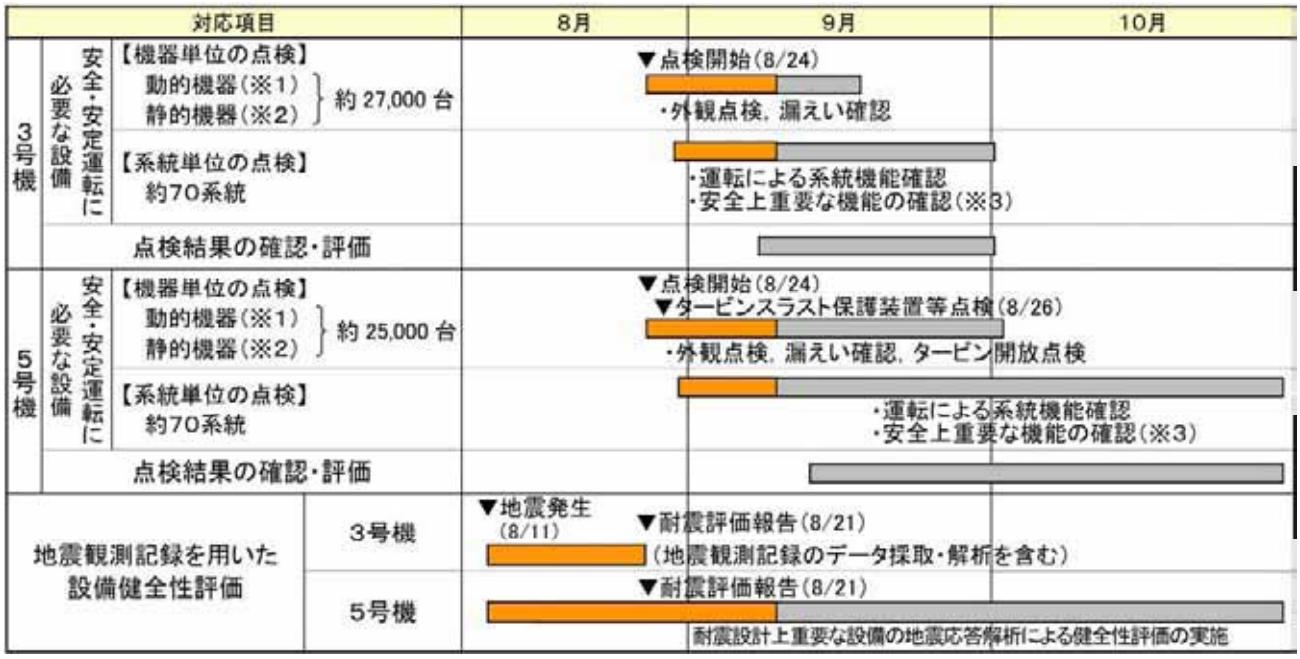
◆事象内容　5号機タービン建屋3階南側壁面に確認された軽微なひび割れについて、構造強度上問題ないひび割れであることを確認。

H17年度に実施したひび割れ調査の記録で当該ひび割れ(幅0.4mm未満)が記録されており、地震前から存在するひび割れであることを確認。また、一部の塗膜を剥がし、コンクリートのひび割れ幅を計測したところ最大0.3mmであり、地震前から大きく変化していないことを確認。(8/25)

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

3，5号機　特別な保全計画のスケジュール（停止中の対応）

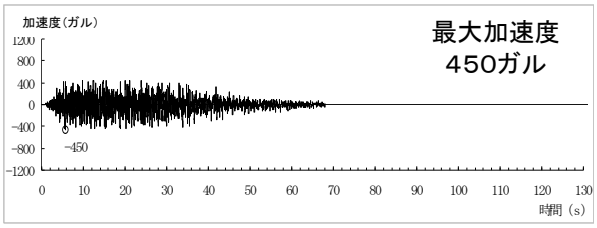
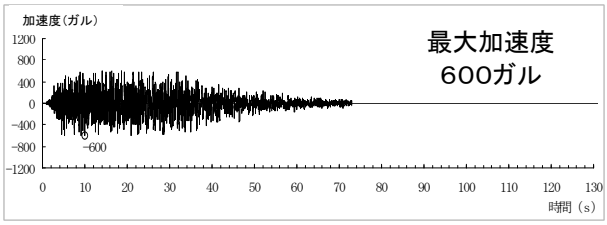
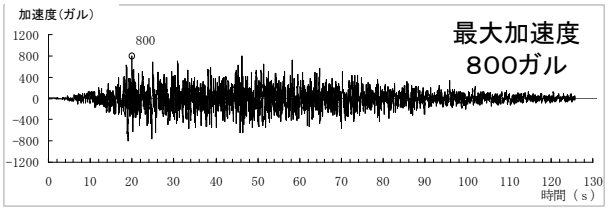
3，5号機についても、引き続き点検、健全性確認をすすめていきます。



※1　動的機器とは、ポンプ、モータ、圧縮機、弁などです。
※2　静的機器とは、容器、熱交換器、支持構造物、配管、変圧器などです。
※3　安全上重要な機能の確認では、「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」（制御棒駆動機構、非常用炉心冷却系、原子炉圧力容器など）について機能の確認を行います。

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

基準地震動について

適用指針	基準地震動	基準地震動の加速度波形
旧耐震指針（昭和56年決定）	S1	
	S2	
新耐震指針（平成18年改訂）	Ss	応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 

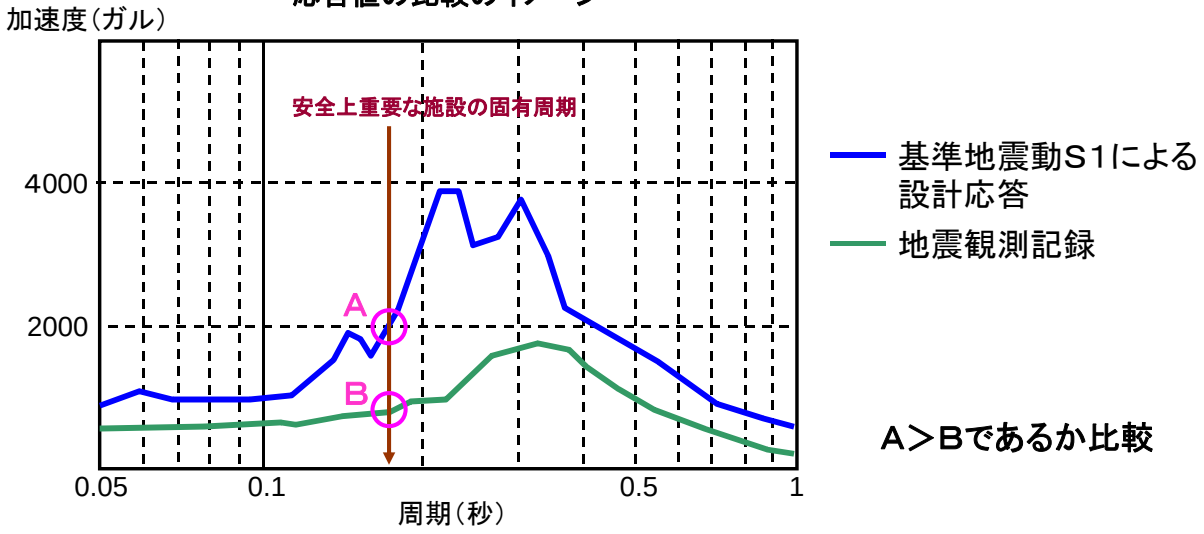
耐震指針：発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

地震観測記録を用いた健全性評価について

今回採取した地震観測記録と、基準地震動S1による設計応答との比較により、施設の応答が設計の範囲内に収まっていることを確認します。
設計を超える場合には、詳細評価や点検などにより施設の健全性を確認します。

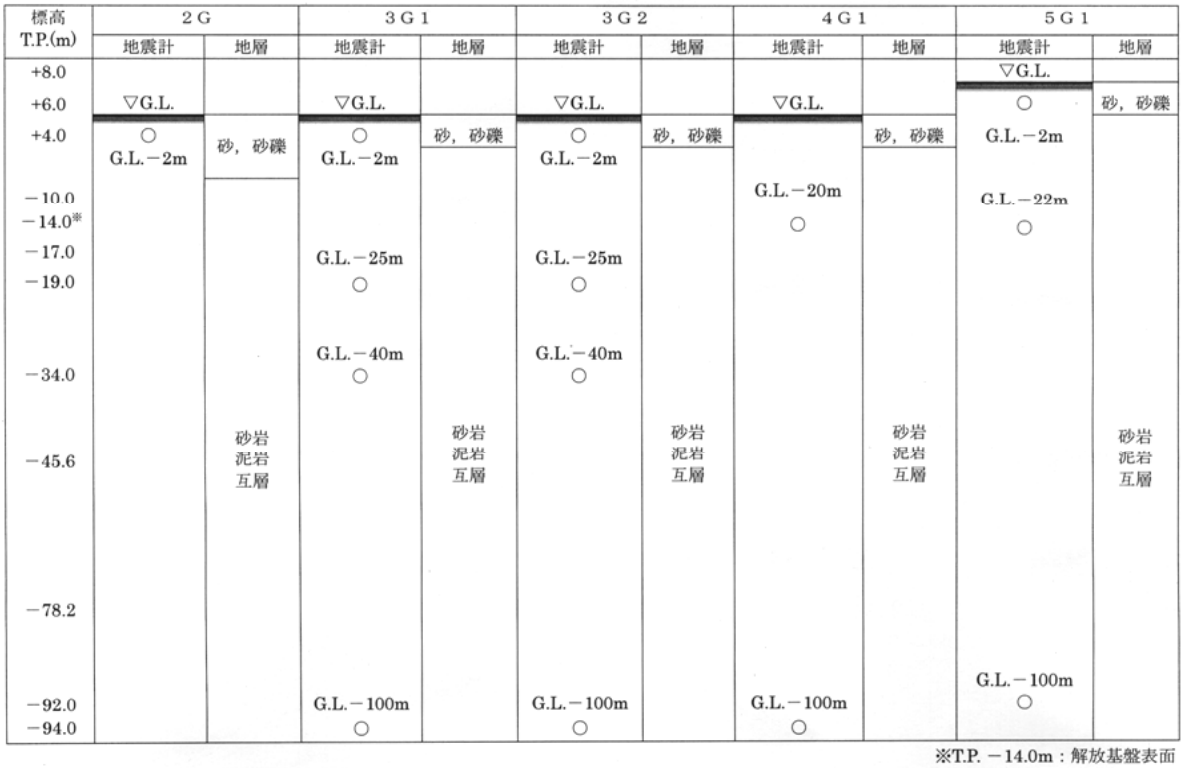
応答値の比較のイメージ



A＞Bであるか比較

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

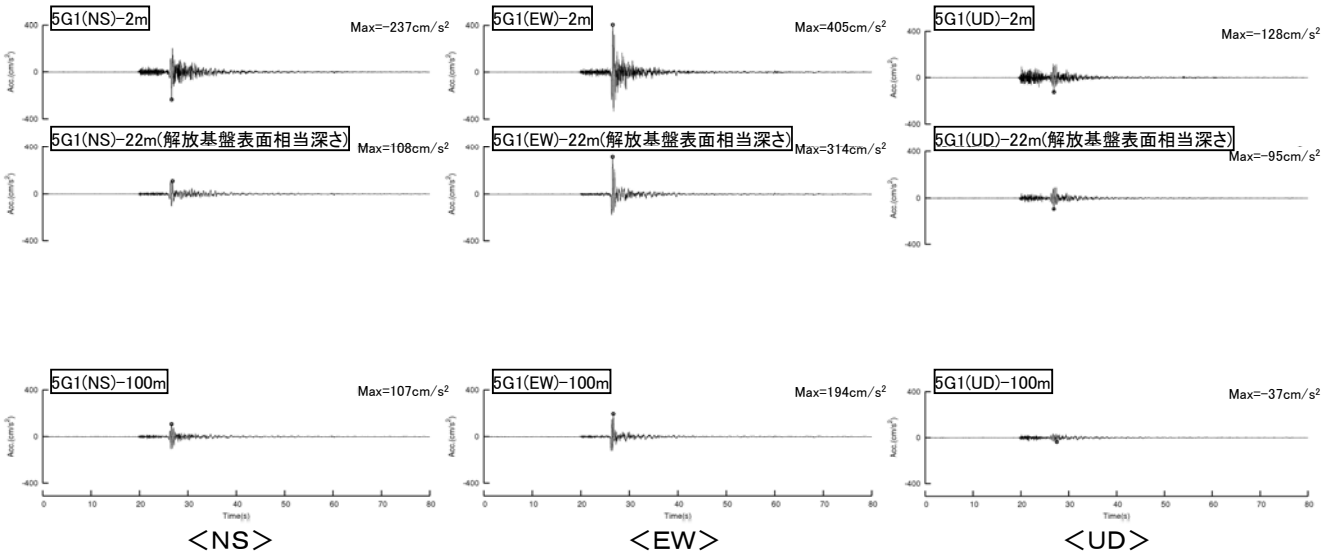
地盤の地震観測位置図（柱状図）



※T.P. −14.0m：解放基盤表面

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

5号地盤（5G1）の加速度時刻歴波形

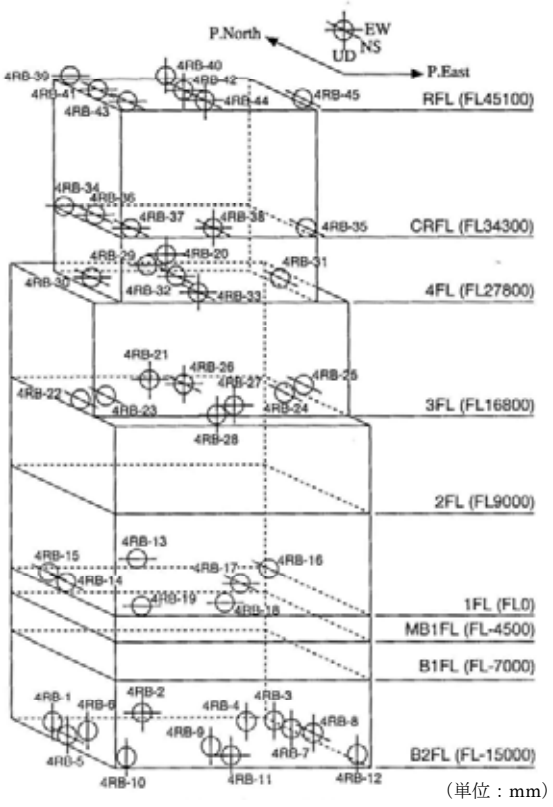


加速度時刻歴波形

（5G1：上から順に-2m、-22m、-100m）【3、4、5号PN基準】

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

4号機原子炉建屋の地震計設置位置

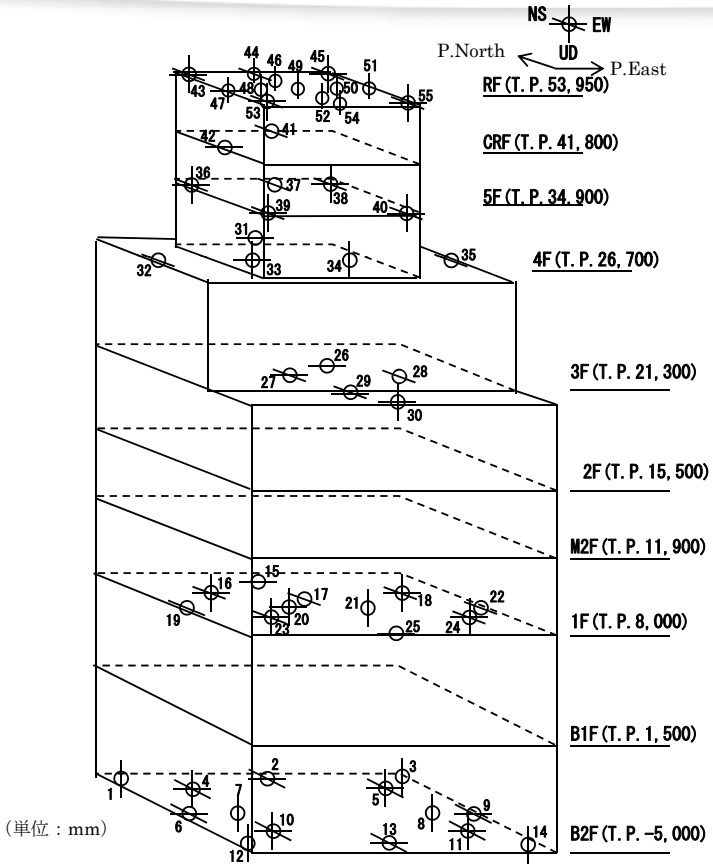


※FL0=GL=T.P.6.0(m)

T.P.とは東京湾平均海面を示す。

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

5号機原子炉建屋の地震計設置位置

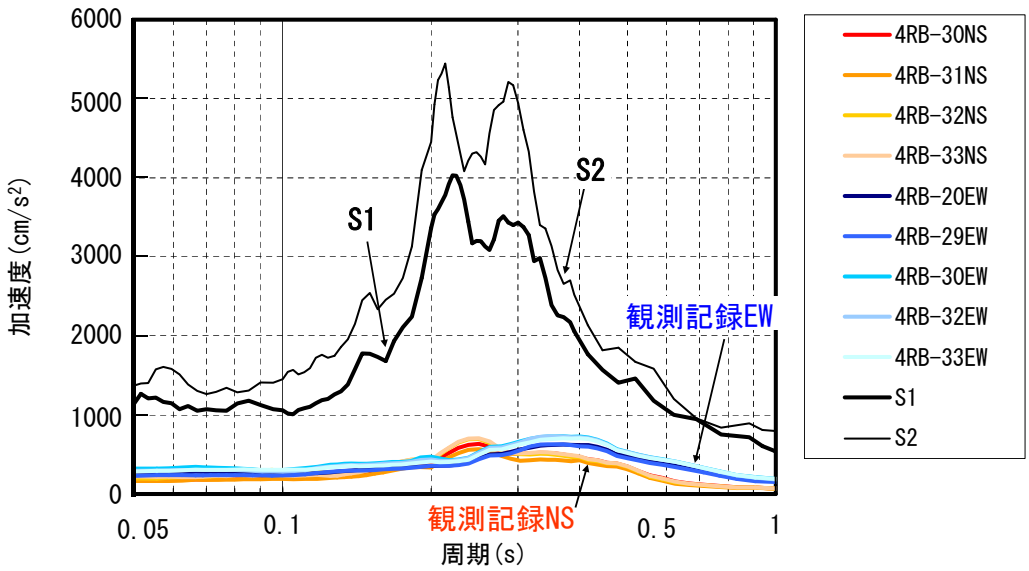


※FL0=GL=T.P.6.0(m)
T.P.とは東京湾平均海面を示す。

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

4号機原子炉建屋　床応答スペクトル

原子炉建屋４階　水平方向（NS, EW）　減衰５％

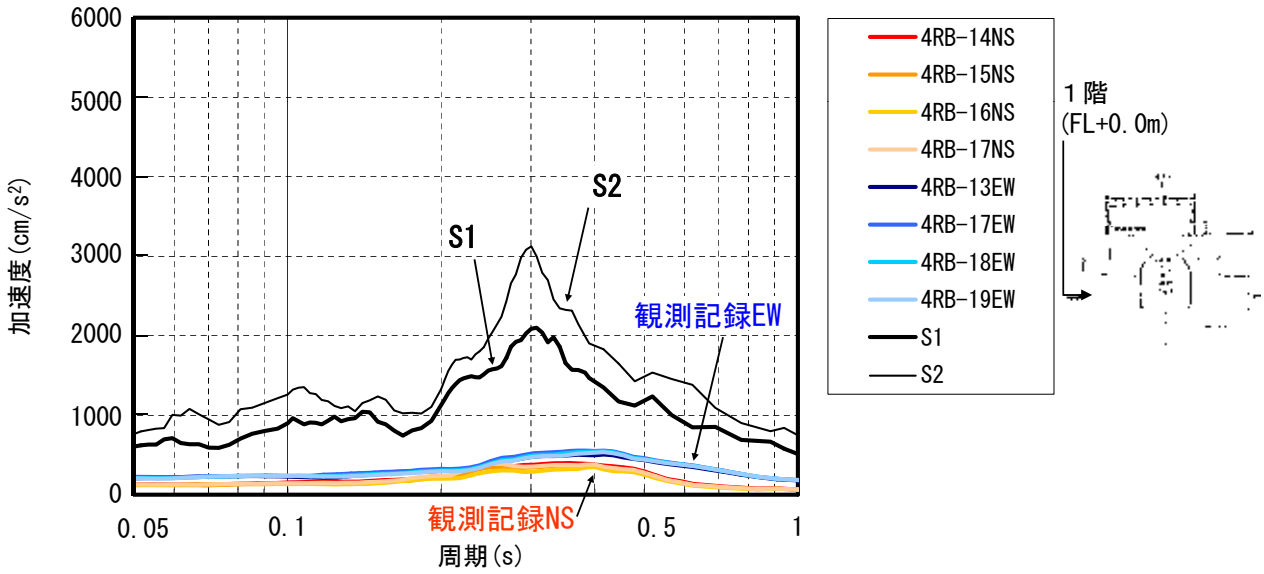


４階
(FL+27.8m)

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

4号機原子炉建屋　床応答スペクトル

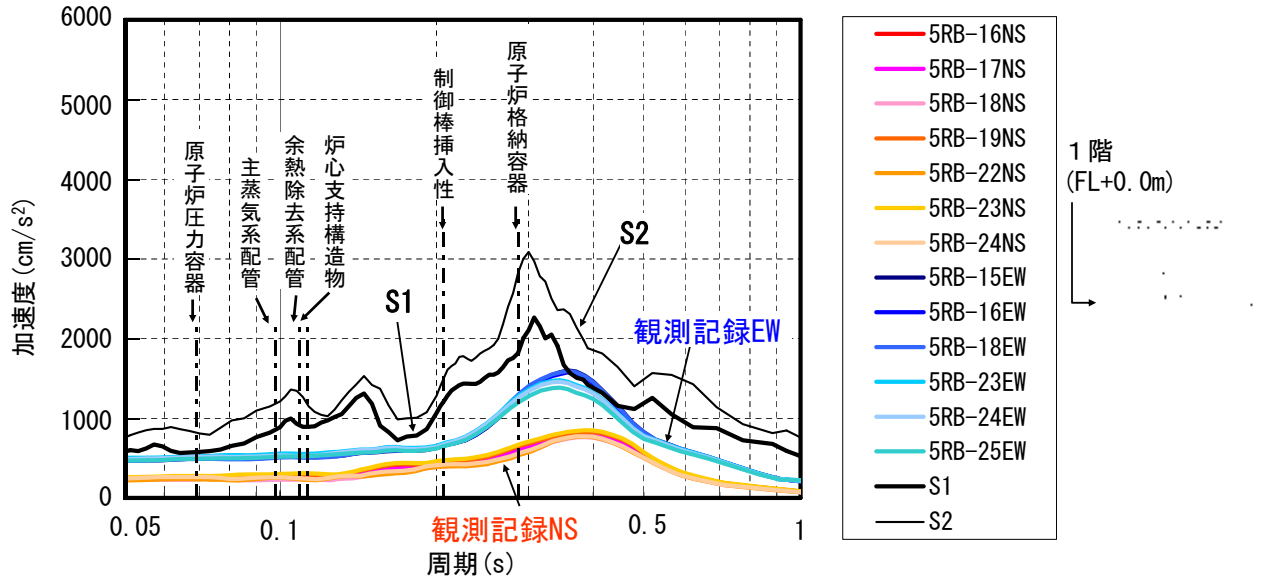
原子炉建屋１階　水平方向（NS, EW）　減衰５％



© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

5号機原子炉建屋　床応答スペクトル

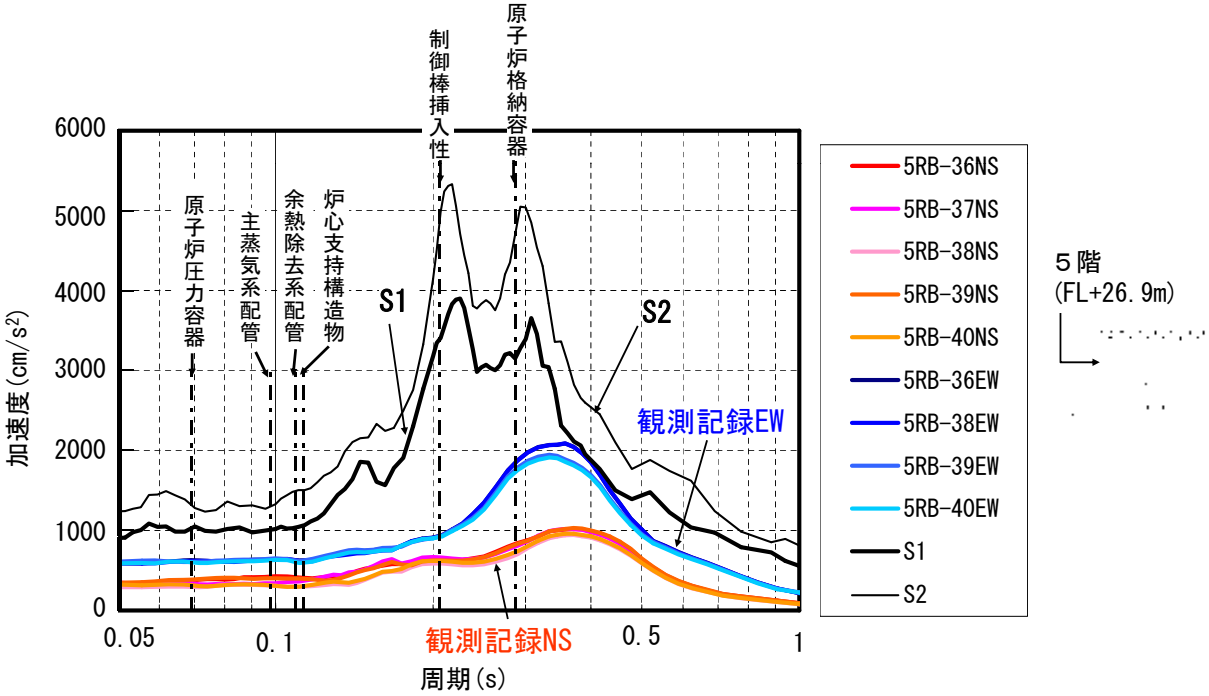
原子炉建屋１階　水平方向（NS, EW）　減衰５％



© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

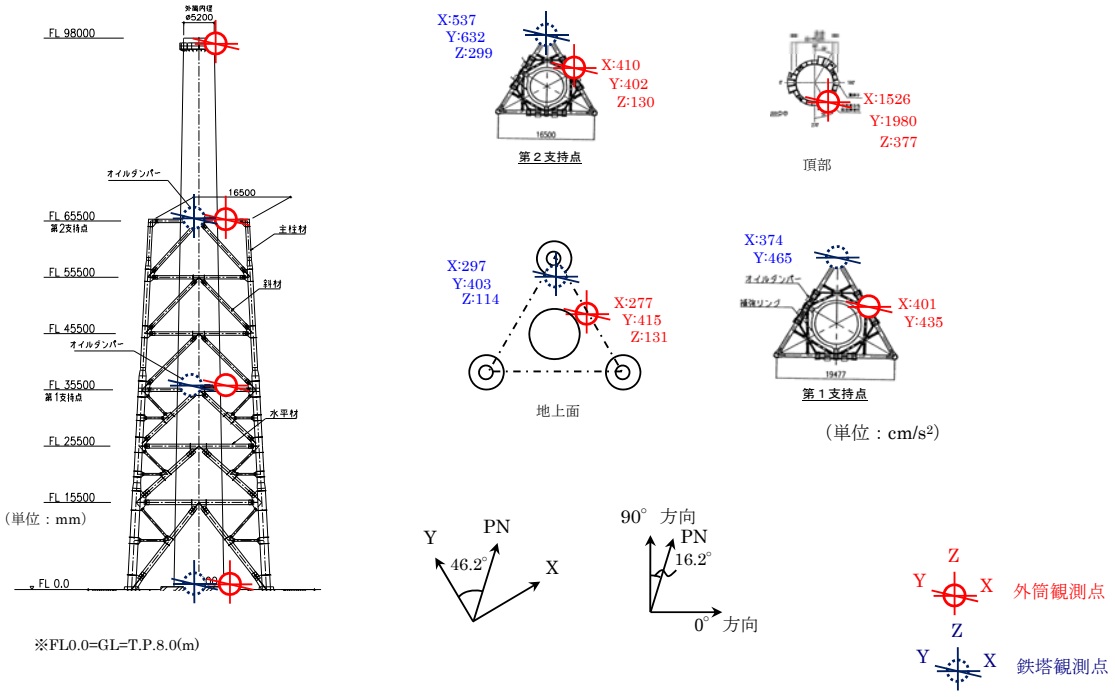
5号機原子炉建屋　床応答スペクトル

原子炉建屋５階　水平方向（NS, EW）　減衰５％



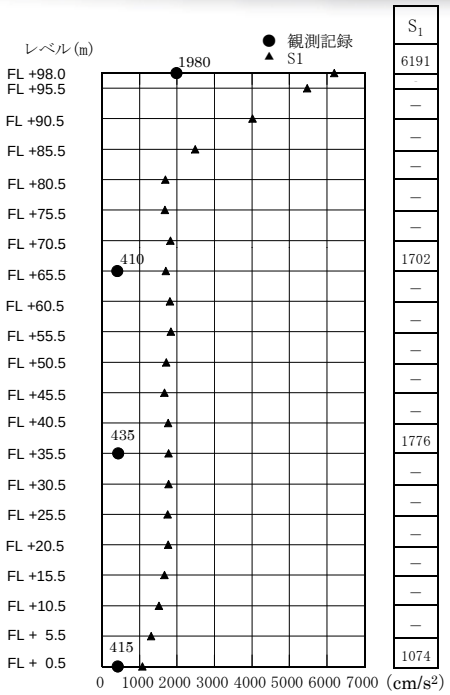
© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

5号機排気筒の地震計設置位置及び最大加速度

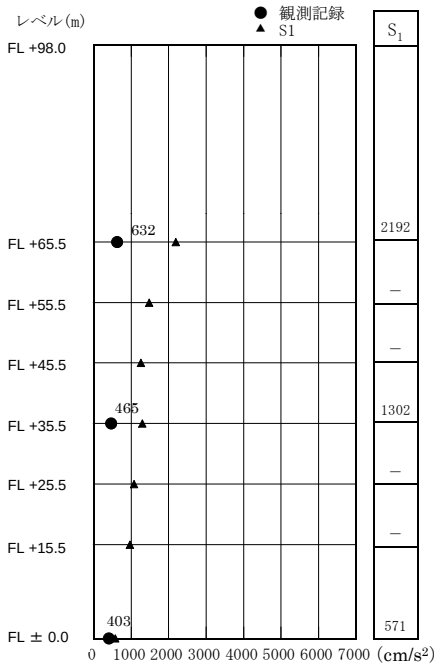


© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

5号機排気筒の最大加速度（水平）



外筒（水平）



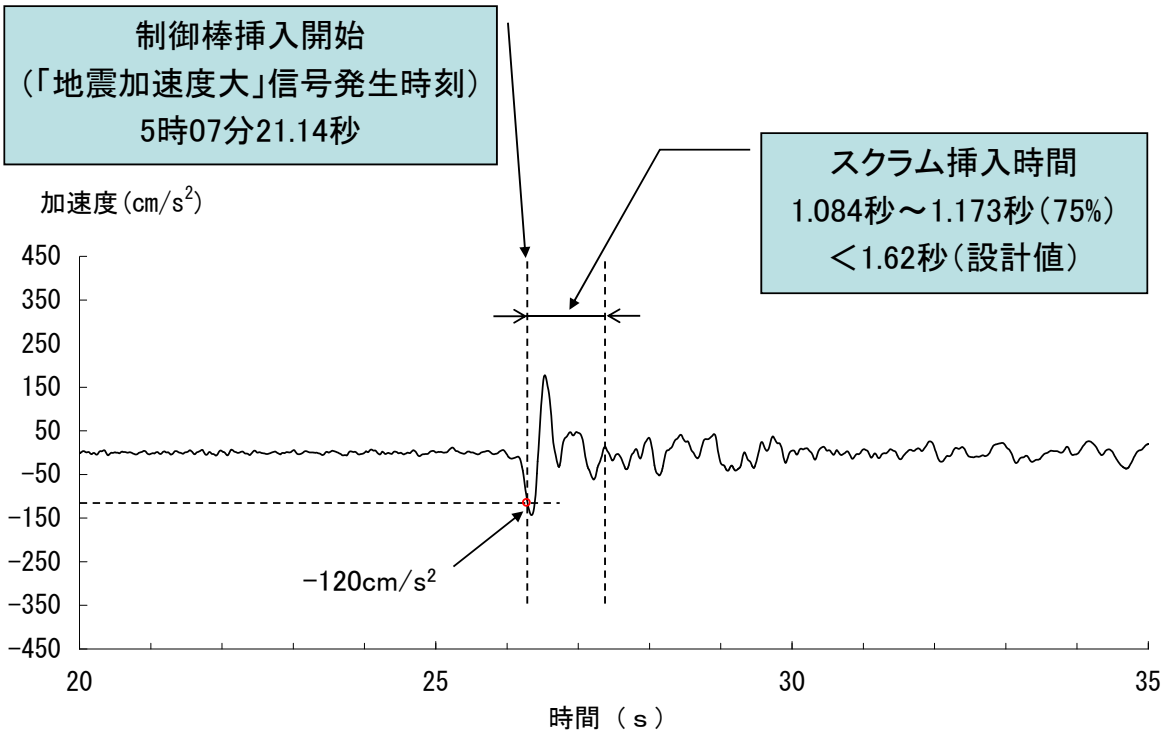
鉄塔（水平）

●観測記録は各レベルに設置した地震計で観測されたX,Y方向の最大加速度のうちの最大値を示す

▲S1は0°,90°方向の最大応答加速度の内小さい値を示す

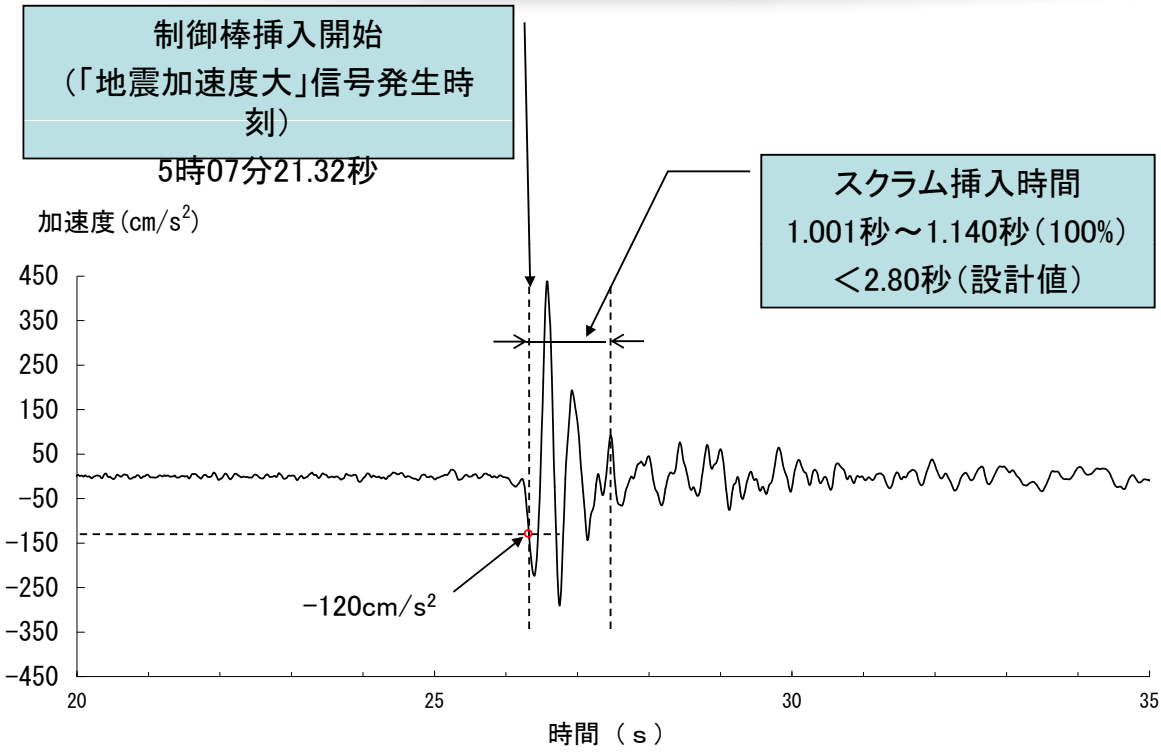
© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

4号機スクラム状況について



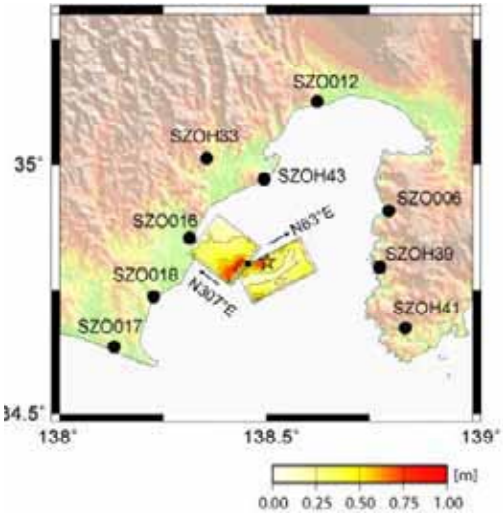
© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

5号機スクラム状況について



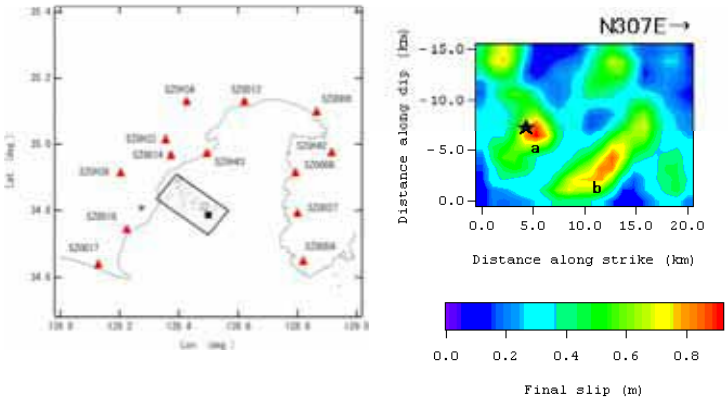
© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

他機関の震源インバージョン結果



防災科研による検討

※防災科研HPより引用



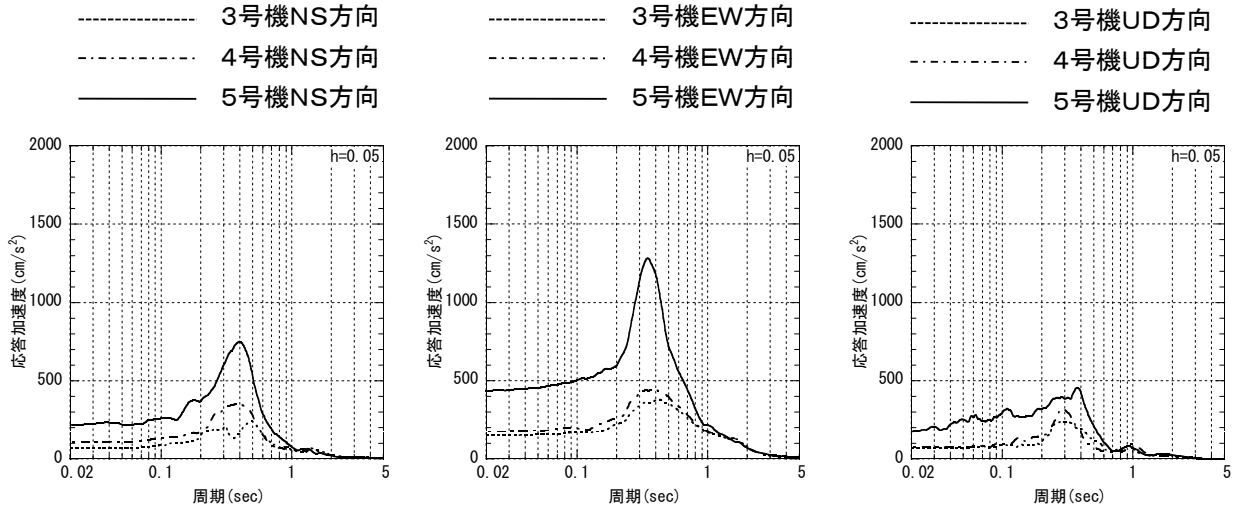
港湾技研による検討

※港湾技研HPより引用

© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

駿河湾の地震における各号機の揺れの特徴(2)

○2009年8月11日駿河湾の地震における各号機の揺れの特徴
（3～5号機原子炉建屋地下2階の床応答スペクトルの比較）

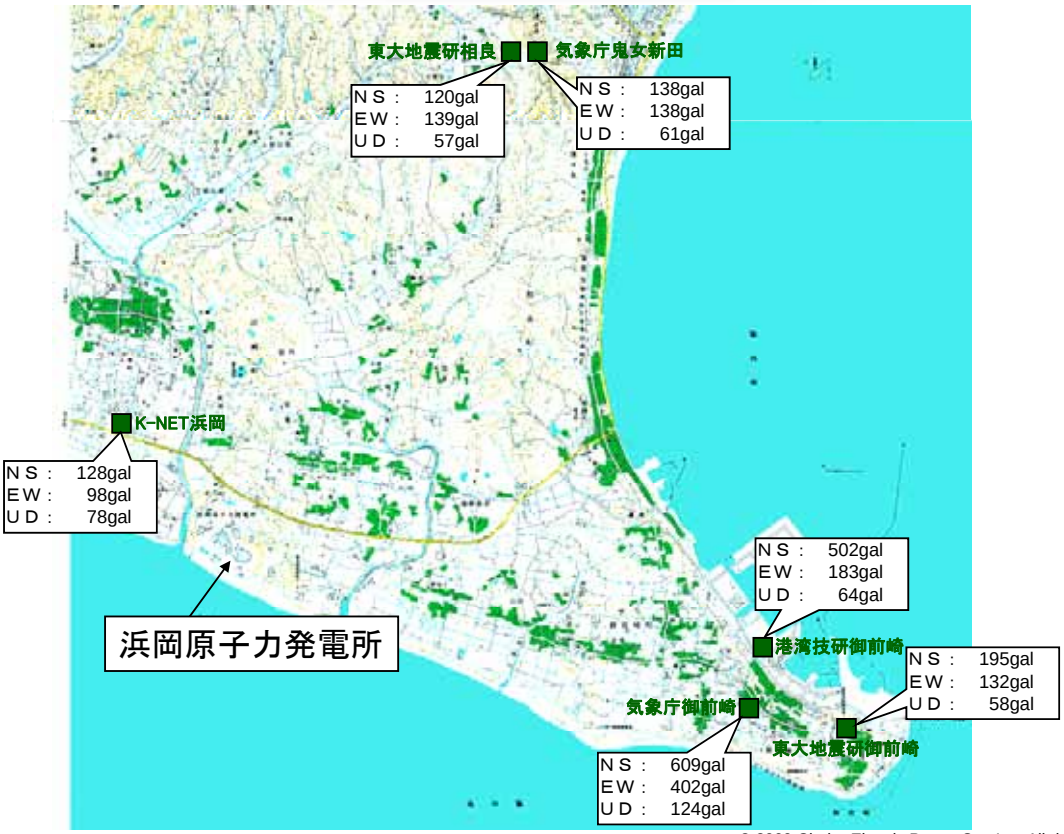


＜NS＞　＜EW＞　＜UD＞

※原子炉建屋地下2階の地震計で観測された加速度のうち、最大値を示した地震計の床応答スペクトル

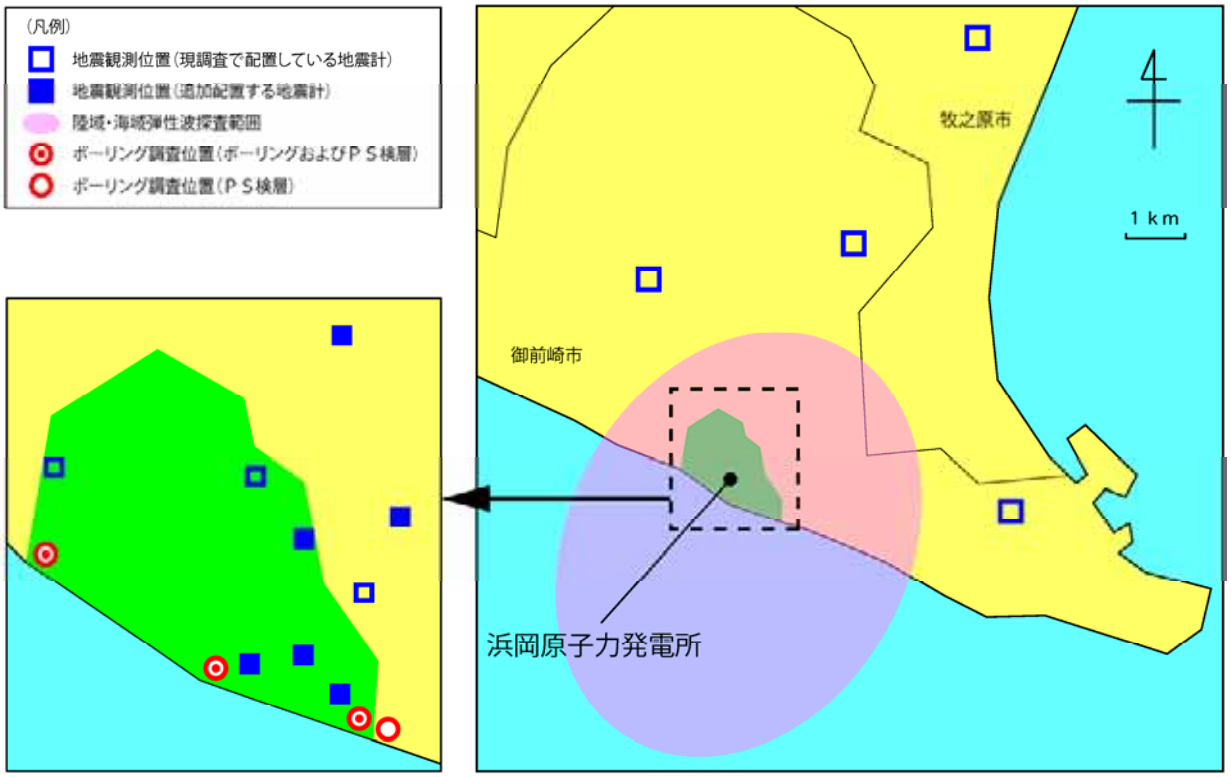
© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved. 42

浜岡サイト周辺観測点の最大加速度



© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved. 43

追加調査における調査位置



© 2009 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

資料６

2009年9月17日
日本原子力学会
2009年秋の大会
地震特別報告会

柏崎刈羽原子力発電所の状況について

山下　和彦

東京電力株式会社
原子力設備管理部
新潟県中越沖地震対策センター所長

東京電力
TEPCO

本日の報告内容

- ■新潟県中越沖地震の発電所への影響
- ■中越沖地震に対する健全性評価の現況
- ■基準地震動Ssの策定と耐震強化

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

新潟県中越沖地震の発電所への影響

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

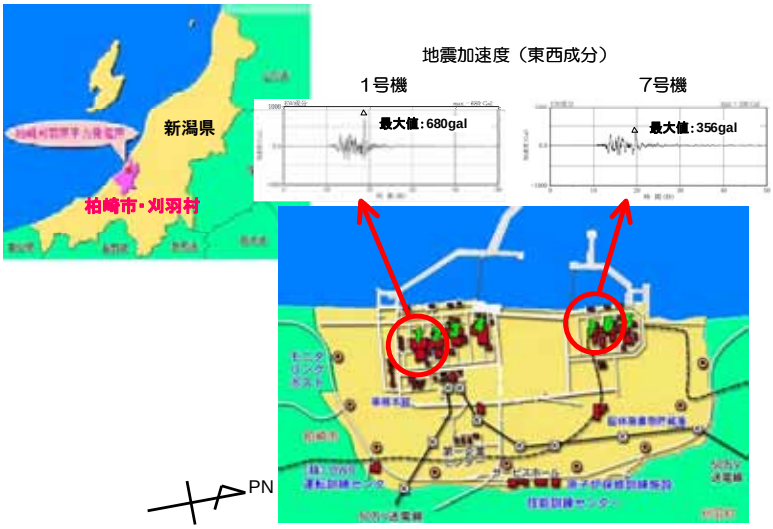
柏崎刈羽原子力発電所の概要

- 新潟県柏崎市と刈羽村に位置
- 5基のBWR５（1100MWe）,2基のABWR（Advanced BWR，1356MWe）の7基で構成

  ⇒　世界最大規模の発電容量：8,212 MWe

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

新潟県中越沖地震の概要



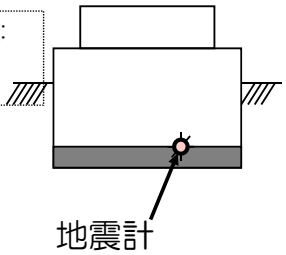
単位:ガル (cm/s^2), ( )内は設計値

号機	水平-南北方向	水平-東西方向	垂直
1	311(274)	680(273)	408(235)
2	304(167)	606(167)	282(235)
3	308(192)	384(193)	311(235)
4	310(193)	492(194)	337(235)
5	277(249)	442(254)	205(235)
6	271(263)	322(263)	488(235)
7	267(263)	356(263)	355(235)

静的水平地震力は　3 Ci ＝ 0.48 G（470Gal）

- 発震日時；2007年7月16日10時13分頃
- 震源位置；上中越沖　北緯37度33.4分，東経138度36.5分
- 深さ；17㎞
- 気象庁マグニチュード；M=6.8
- 柏崎刈羽原子力発電所まで；震央距離：16㎞，震源距離：23㎞
- 震度；震度6強：柏崎市，刈羽村，長岡市，
  震度6弱：上越市，小千谷市，出雲崎町

スクラム(自動停止)設定値:
水平：120 ガル
垂直: 100 ガル

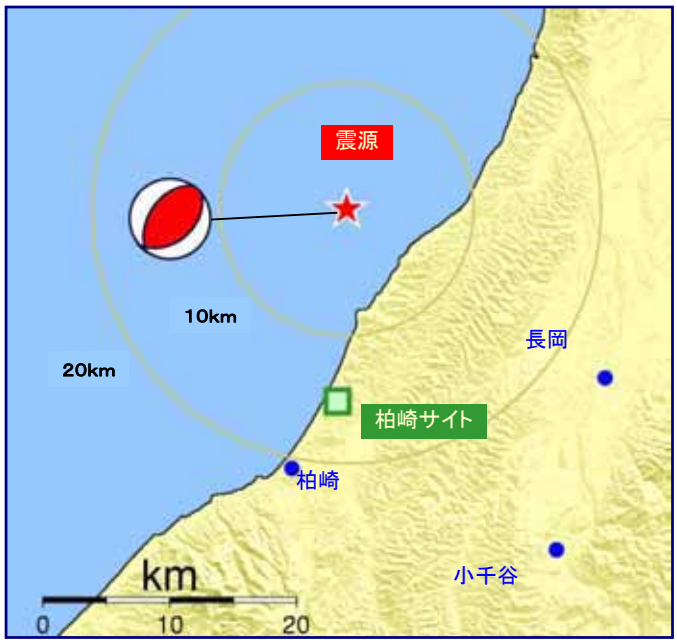


東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

地震諸元および震源と発電所との位置関係

【地震諸元（気象庁）】

- ●発生日時：平成19年7月16日
- ●規模：マグニチュード　6.8
- ●震央：北緯　37°33.4′
  東経　138°36.5′
- ●震源深さ　17 km

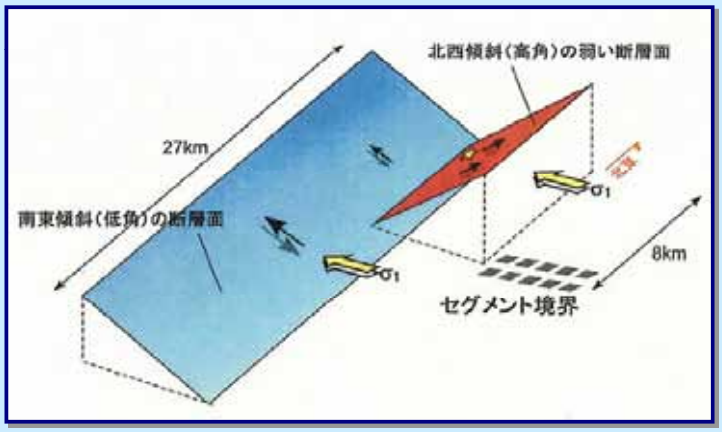


震源と発電所の位置関係

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

中越沖地震の震源断層に関する見解

内陸地殻内地震で，南東傾斜の逆断層と評価されている



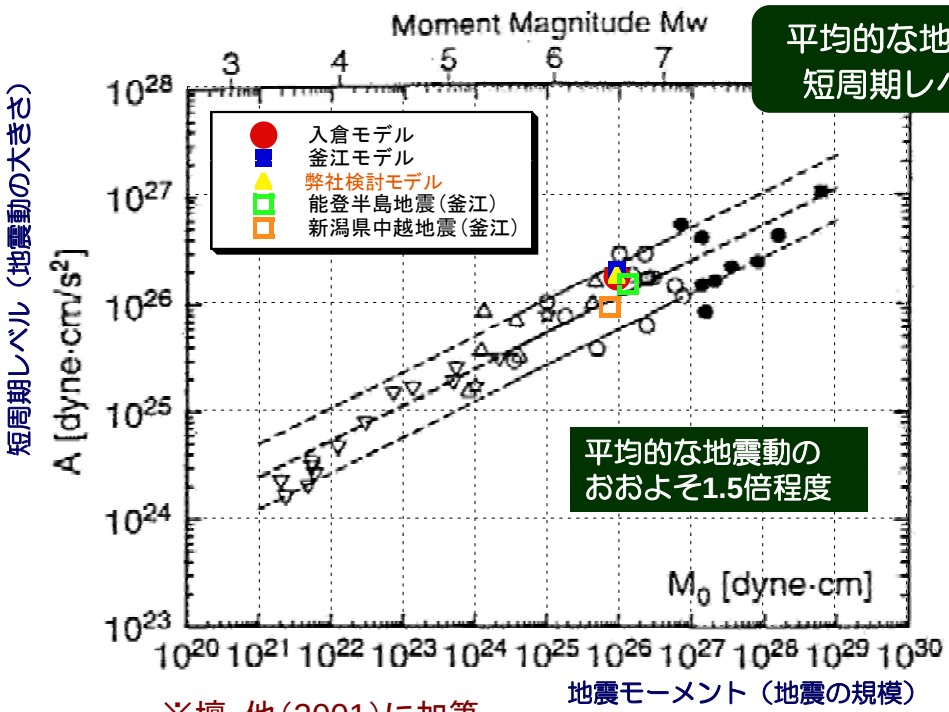
出典：地震調査研究推進本部

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

震源インバージョンに基づく検討

断層モデルに基づく中越沖地震の短周期レベル

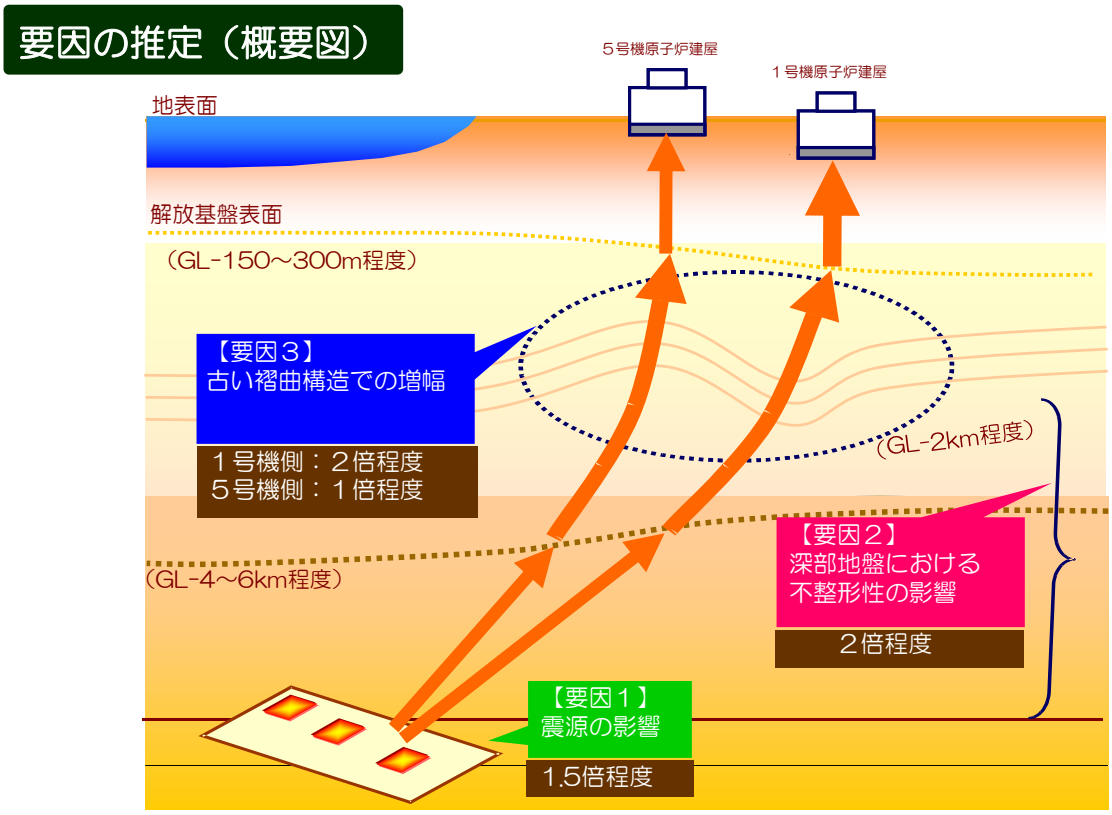
平均的な地震と比較して
短周期レベルが大きい



※壇・他（2001）に加筆

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

中越沖地震で地震動が大きかった要因の概念図



東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

新潟県中越沖地震の発電所への影響

- 発電設備の挙動
- 地震直後のアクション

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

地震時及び地震後のプラントの状況

			1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	7号機
地震発生時の状況	運転状況		定検中（定検中期）	定検中（起動中）	運転中	運転中	定検中	定検中	運転中
	自動停止		－	○	○	○	－	－	○
	原子炉の状況	燃料の所在	全燃料取出中（燃料プール）	炉内	炉内	炉内	炉内	炉内	炉内
		圧力容器上蓋	開	閉	閉	閉	閉	閉	閉
		格納容器上蓋	開						
		ウェルカバー	開					開	
地震発生後の状況	運転状況		冷温停止中	冷温停止中	冷温停止中	冷温停止中	冷温停止中	冷温停止中	冷温停止中
	燃料プール水の溢れ		有	有	有	有	有	有	有
	放射性物質の放出		－	－	－	－	－	ケーブル貫通部経由で燃料プール水が系外へ放出（7/16）	タービン軸封部から排気筒へ放出（7/17）
	火災と主な漏れ		原子炉建屋外周部に消化水流入 2,000m^3（7/16）	－	所内変圧器火災（7/16）	タービン建屋海水漏えい 24m^3（7/16）	－	－	－

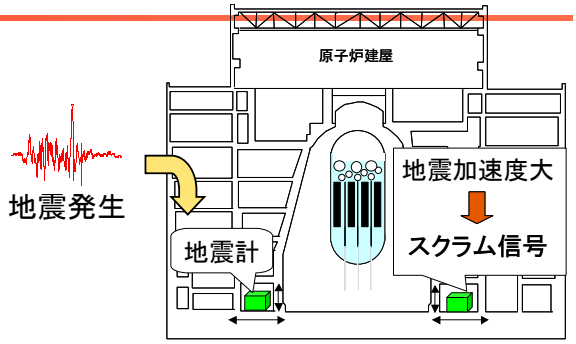
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

原子力安全は確保

■ 原子力安全にとって最も重要な機能

● 「止める」

⇒　スクラム　⇒　全制御棒全挿入

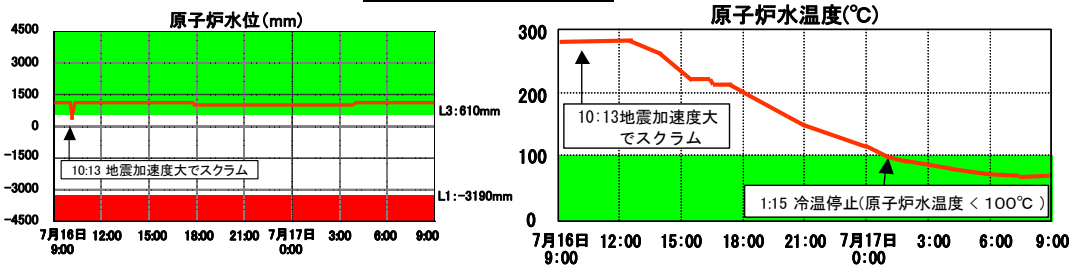


● 「冷やす」

⇒　原子炉水位を確保

⇒　原子炉水：100℃未満，原子炉圧力：大気圧　⇒　冷温停止

7号機のプラント挙動



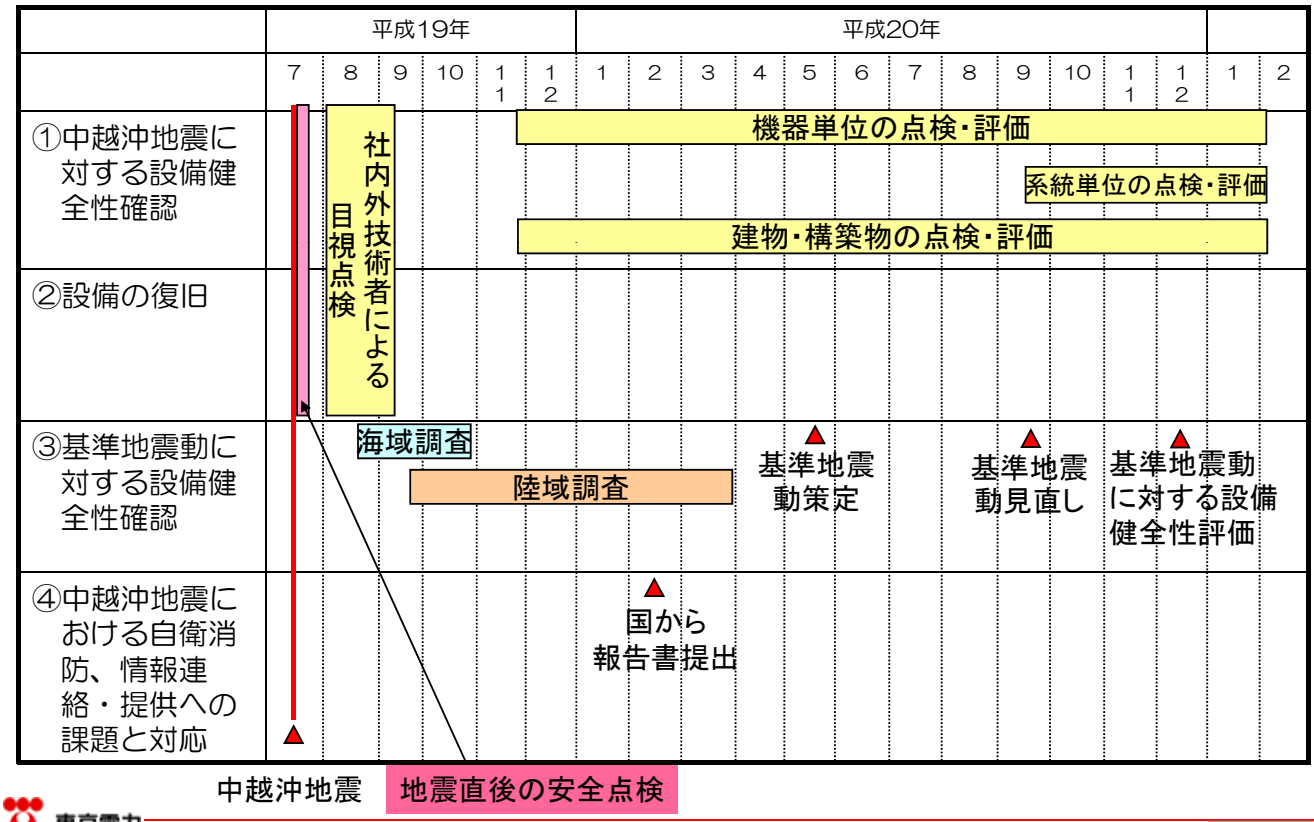
● 「閉じ込める」

⇒　燃料及び被覆管，圧力容器は健全　⇒　環境への影響無し

設計通りのプラント挙動と運転員の冷静・的確な操作により安全を確保

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

地震直後からのアクション（７号機の実績）



東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

地震後の点検、技術者による目視点検

全ての号機の「止める」「冷やす」「閉じこめる」に関わる耐震安全上重要な建物・構築物、設備に対し、社内外技術者による目視点検を実施しました

1号機 原子炉建屋内

1号機　原子炉内の点検

3号機　ディーゼル発電機

機能を損なう損傷は確認されませんでした。また、ディーゼル発電機、非常用炉心冷却ポンプは動作確認を実施しています

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

新潟県中越沖地震による不適合

■新潟県中越沖地震による3,706件の不適合を確認

（平成21年9月4日現在）

区分※	定義	地震による主な不適合	発生件数
Ⅰ	法令、安全協定に基づく報告事象 性能に重大な影響を与える事象 等	3号機所内変圧器の火災 オペレーティングフロアの水漏れ 等	10
Ⅱ	品質保証の要求事項に対する重大な不具合事象 等	主排気ダクトのずれ ドラム缶の転倒 等	34
Ⅲ	品質保証の要求事項に対する不具合事象 等	展望台斜面の土砂崩れ 変圧器周辺防油堤の沈下 等	36
Ⅳ	品質保証の要求事項に対する軽微な不具合事象 等	重要度の低い配管の変形 コンクリートの軽微なひび 等	963
Ⅴ	通常のメンテナンス範囲の事象 等	扉の取っ手やなどの固定ネジの外れや変形 一般照明の不具合 等	2,654
対象外	消耗品の交換等の事象　等	発電所管轄外の設備の不具合　等	9

※不適合管理グレードＡｓ～Ｄを、耐震グレードとの混同を避けるため、区分Ⅰ～Ⅴに読み替え

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

確認した不適合の状況

- 耐震設計は指針による安全上の重要度に基づきなされる。
- 安全上重要なＡｓ／Ａクラスの設備に損傷は確認されていない。
- しかしながら，Ｂ／Ｃクラスの設備については損傷が確認されている。

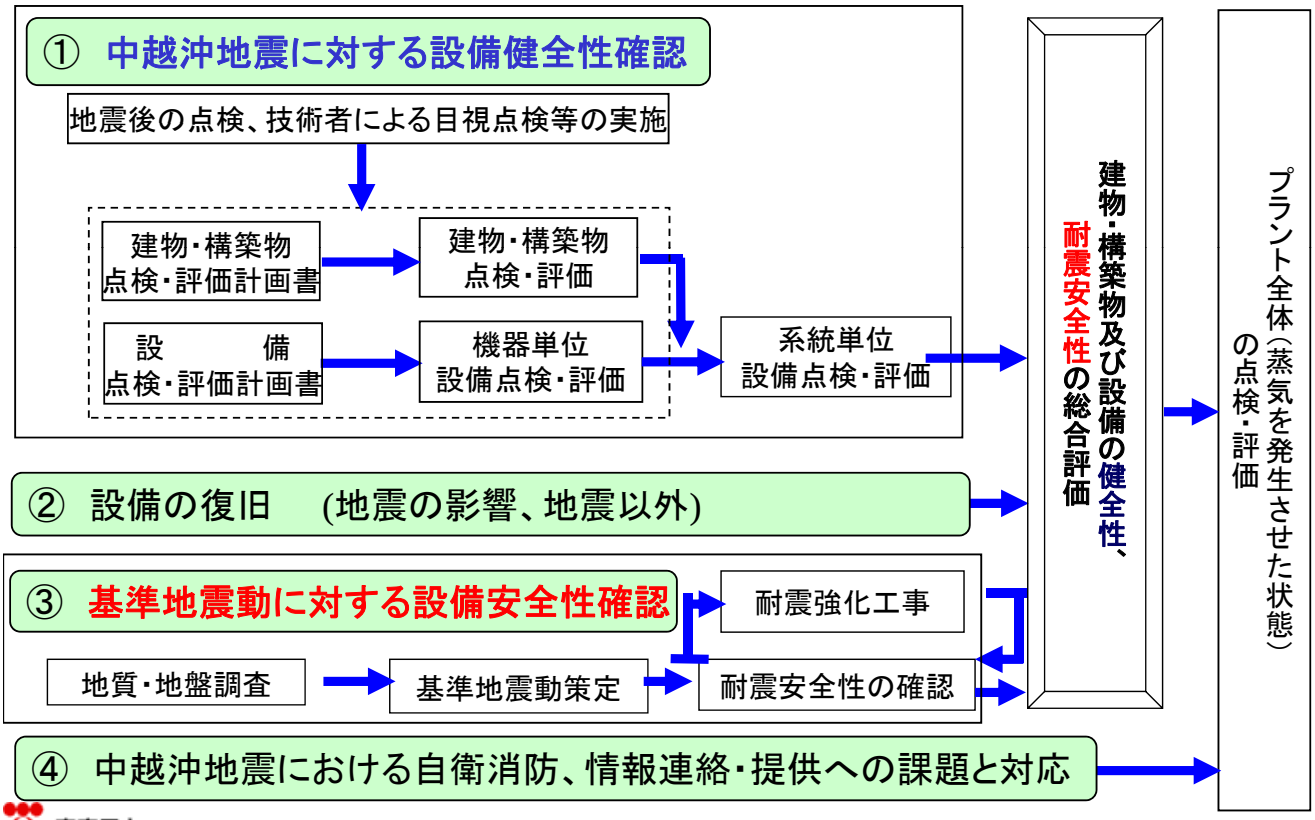
耐震クラス	設備の例	損傷
As*1	■原子炉圧力容器 ■原子炉格納容器 ■制御棒	無
A *1	■非常用炉心冷却系 ■原子炉建屋	無
B	■タービン設備 ■放射性廃棄物処理系	原子炉建屋天井クレーンジョイント部
C	■主発電機 ■変圧器 ■所内ボイラー	所内変圧器，主排気筒ダクト，消火系配管など

*1: 2006年に策定された新指針では，
ＡｓとＡクラスはＳクラスに統一されている。

建屋内設備
殆ど損傷無し

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

発電所の健全性確認・課題への取り組みの流れ

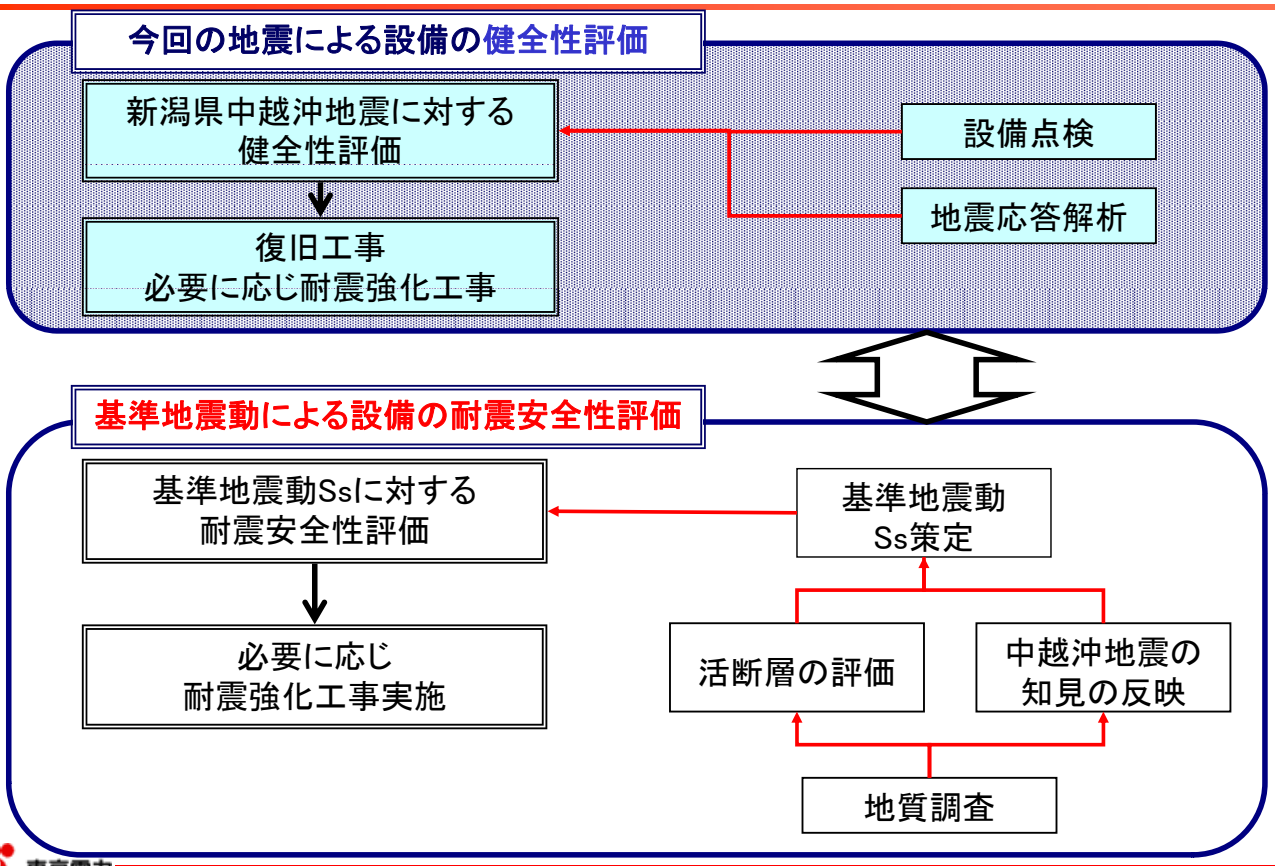


東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

中越沖地震に対する健全性評価の現況

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

地震後の柏崎刈羽原子力発電所のアクションプラン



東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

７号機 の点検・評価について

- 機器単位（完了）
  ↓
- 系統単位（完了）
  ↓
- プラント全体（完了）

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

点検・評価計画書

- 地震後の保全活動全般については，保安規定に定める「特別な保全計画」を策定し実施

（主要対象機器：熱交換器140基，ポンプ350台，弁15,000個等）
（110万kWクラスの例）

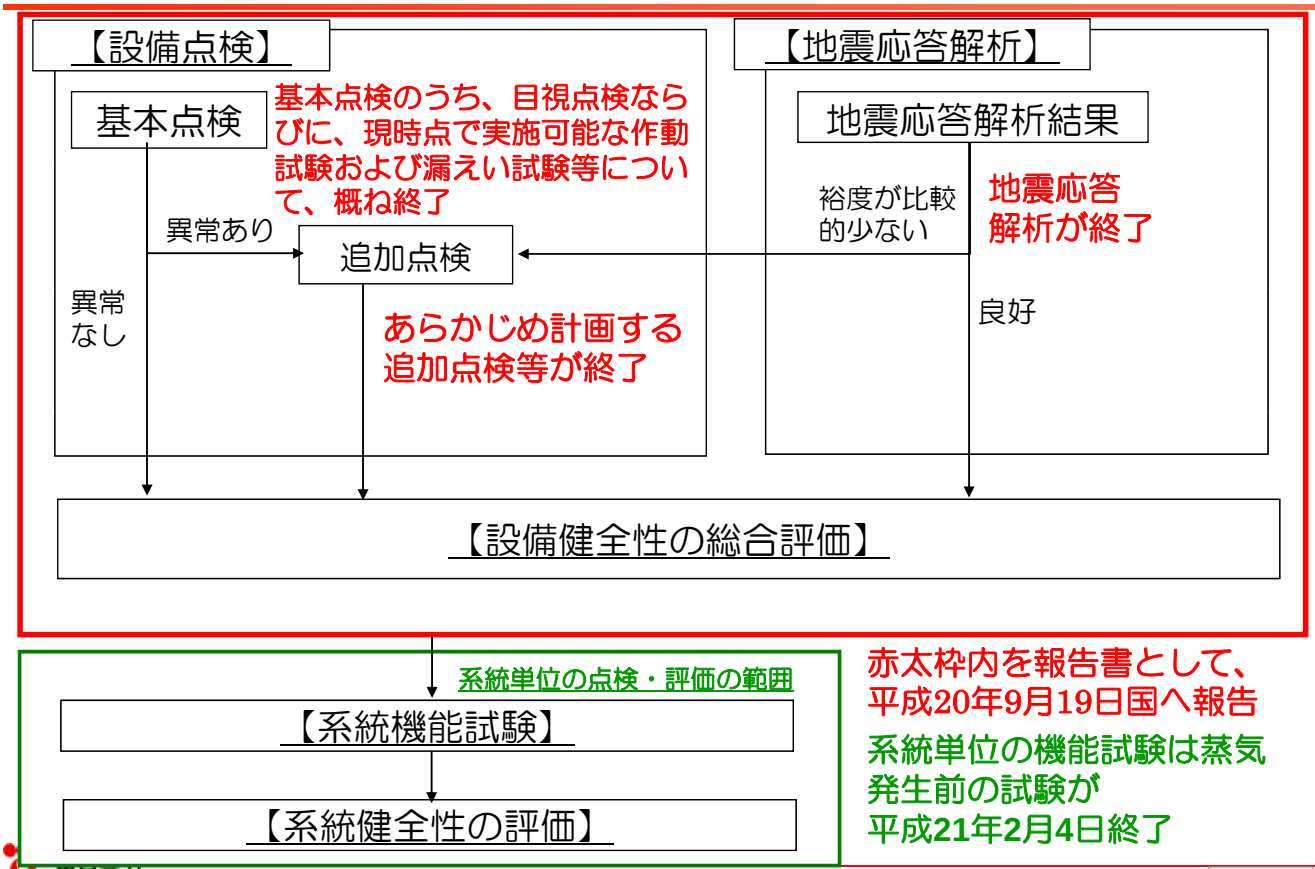
- このうち，工事計画書対象設備については，原子力安全・保安院からの指示*に基づき，「点検・評価計画書」を策定

*原子力安全・保安院指示文書：「新潟県中越沖地震を受けた柏崎刈羽原子力発電所の設備の健全性に係る点検・評価計画について 」（平成19年11月9日付）

- この計画に基づき，現在点検および地震応答解析を実施中
  - 点検及び地震応答解析については，非破壊検査手法，詳細評価手法等に最新の技術、知見を取り入れ，様々な手法で実施していく

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

各号機における点検・評価の手法



東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

中越沖地震に対する健全性評価の現況

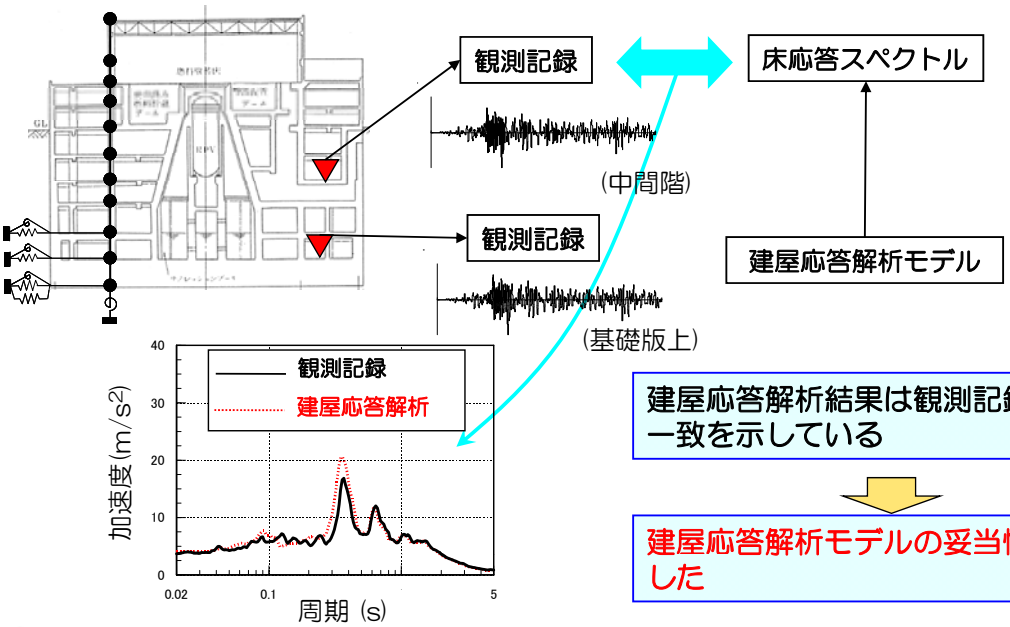
● 各施設の地震応答解析について

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

解析の状況(1)：観測記録の評価

■原子炉建屋では，1～7号機全てにおいて，基礎版上と中間階の２点で観測記録が得られている

⇒これを基にシミュレーション解析を実施

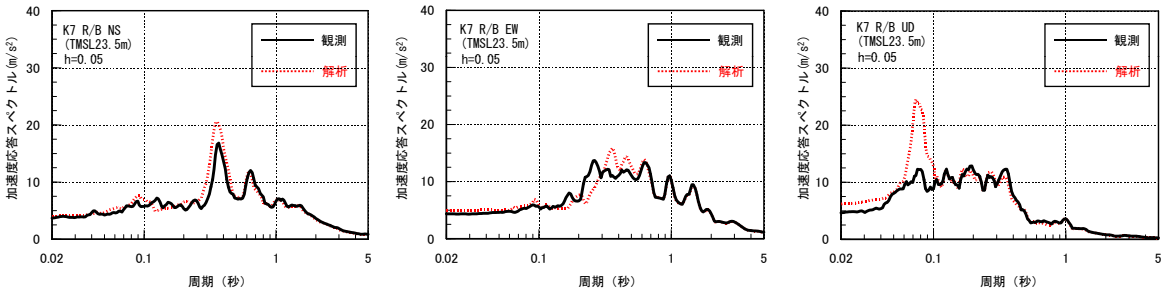


建屋応答解析結果は観測記録と良い一致を示している

建屋応答解析モデルの妥当性を確認した

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

建屋の地震応答解析結果 ～床応答スペクトル（中間階）の比較～



NS方向　　EW方向　　UD方向

７号機　原子炉建屋

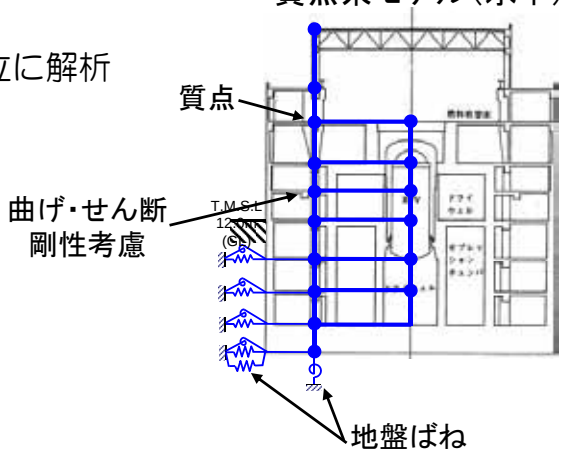
東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

シミュレーション解析の考え方

（１）１～７号機原子炉建屋に共通の条件を設定

①建屋及び地盤ばねともに線形
②水平及び鉛直３成分（NS,EW,UD）を独立に解析
③基礎上における観測記録を入力

質点系モデル（水平）



（２）解析モデル

①建屋質点系モデル
・重量 ： 各床位置の質点に重量を集中
・剛性 ： 曲げ・せん断剛性（水平），
軸剛性（鉛直）を考慮

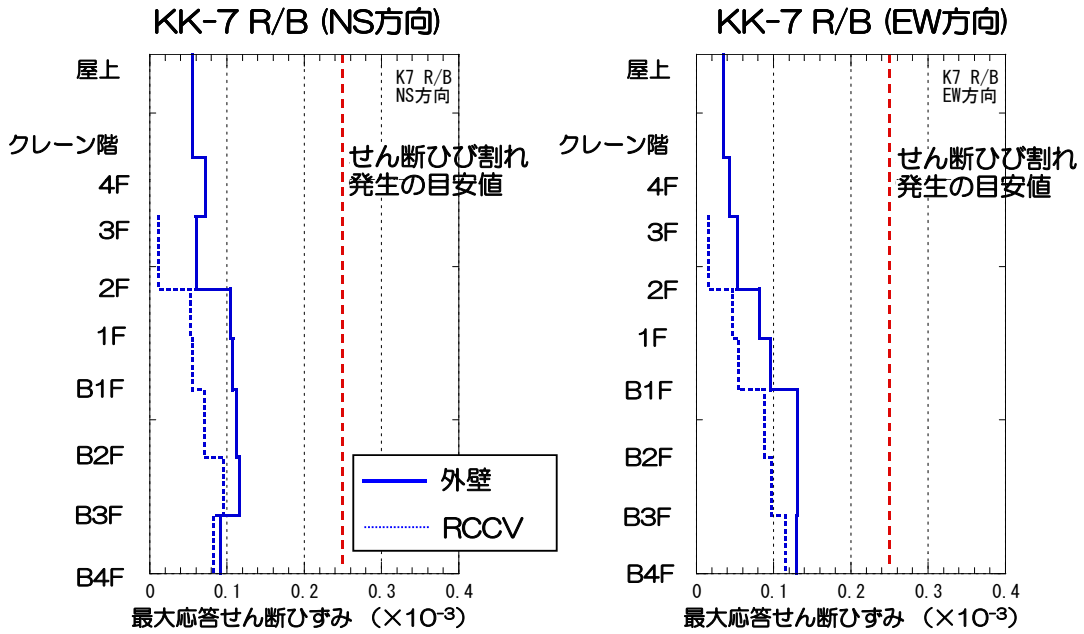
②地盤ばね
・水平：底面及び側面地盤ばね（水平，回転）を考慮
・鉛直：底面ばねを考慮

③地盤物性
・地震動レベルに応じて，号機毎に物性を設定し，地盤ばねの評価に反映

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

解析の状況(2)：建屋応答解析

■原子炉建屋地震応答解析結果(7号機最大応答せん断ひずみ)

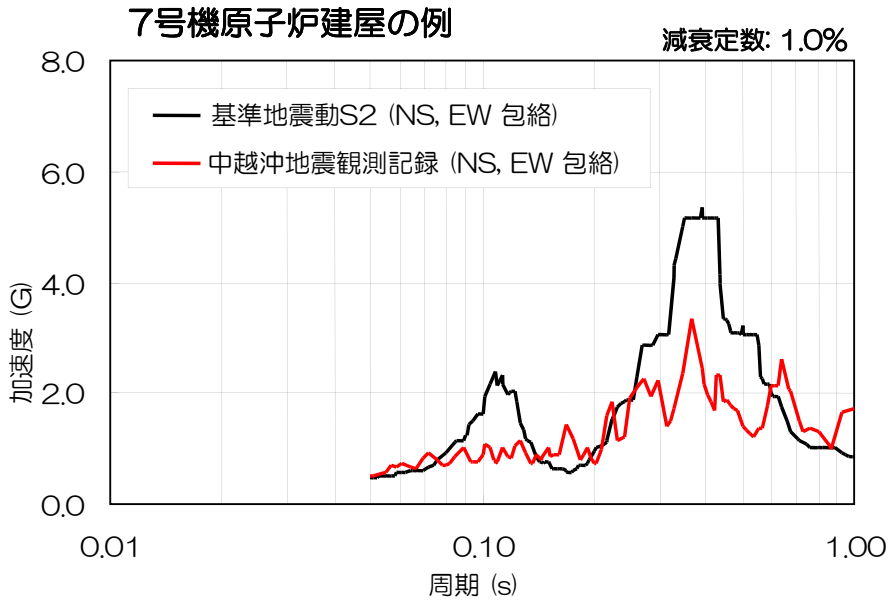


原子炉建屋のせん断ひずみは評価基準値を下回ることを確認した

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

解析の状況(3)：建屋応答解析(床応答スペクトル算出)

■設備の地震応答解析に用いる床応答スペクトルを算出



７号機基準地震動S2の床応答スペクトルは新潟県中越沖地震を概ね内包していることを確認した

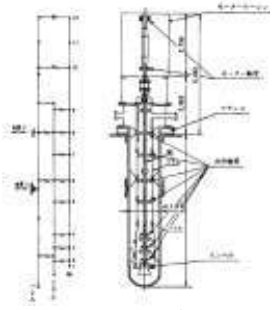
東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

解析の状況(4)：機器・配管系評価

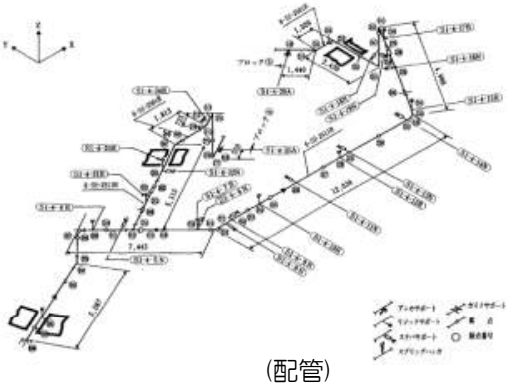
■設備の地震応答解析の概要

- ●構造強度評価
  - ◆ 評価基準値 ：許容応力状態Ⅲ$_A$S における許容値(総体的に弾性範囲)
  - ◆ 評価部位
    - 許容値に対して比較的余裕の少ない部位
    - 地震の影響を受けやすい支持部（基礎ボルト，脚等）
- ●動的機能維持
  - ◆ 新潟県中越沖地震による設備応答加速度が，予め試験等で定められた機能確認済加速度より小さいことを確認

■設備の地震応答解析モデル(例)



(立形ポンプ)



(配管)

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

解析の状況(5)：７号機代表設備評価結果

■構造強度評価(抜粋)

要求機能	設備	項目	算出値[MPa]	評価基準値[MPa]
冷やす	主蒸気系配管	応力	136	281
	残留熱除去系配管	応力	239	274
	残留熱除去系ポンプ (基礎ボルト)	応力	5	350
閉じ込める	原子炉圧力容器 (基礎ボルト)	応力	115	499
	炉心支持構造物 (シュラウドサポートレグ)	応力	32	243
	原子炉格納容器 (ドライウェル上鏡)	応力	27	264

■動的機能維持(抜粋)

要求機能	設備	項目	算出値	評価基準値
止める	制御棒挿入性	変位	7.1 (mm)	40.0 (mm)
冷やす	残留熱除去系ポンプ	加速度	0.37 G (H) 0.37 G (V)	10.0 G (H) 1.0 G (V)

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

解析の状況(6)：７号機評価結果と他号機の状況

■7号機地震応答解析結果(まとめ)

- 構造強度の評価結果より，機器・配管系の算出値はいずれも評価基準値以下であることを確認
- 動的機器の応答加速度は，いずれも機能確認済加速度以下であることを確認
- 地震による建屋間相対変位を含む1次+2次応力が厳しくなる設備を選出し疲労評価を実施した結果，本地震による疲れ累積係数と通常運転（40年）による疲れ累積係数の和は，評価基準値を十分下回っていることを確認

■他号機の状況

- 1号機：機器単位解析ほぼ完了
- 6号機：機器単位評価完了、系統機能試験完了
- 2～5号機：順次実施予定

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

中越沖地震に対する健全性評価の現況

- ７号機 機器単位、系統単位の評価

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

７号機　設備点検結果のポイント

●「異常あり（不適合）」と判定された機器は71機器

原子炉安全上重要な機器については，構造強度や機能を阻害するような重大な損傷は確認されていない。

●回転機器の振動診断評価について

地震前後の振動診断において，また，定期的に振動測定をしている結果からも，本地震後において振動値が上昇傾向を示す等の異常兆候はみられていない。

※１ポンプ，ファン等の回転機器については，作動試験時の振動データ（ポンプ，ファンの軸受等の温度がほぼ安定した状態で採取した振動値）の状態変化を確実に検出するため，地震前過去5回程度の測定値の履歴を確認し，バラツキを考慮しつつ異常の有無の確認を行った結果，異常は見られていない。

●塑性ひずみ測定について

配管の追加点検において，硬さ測定による塑性ひずみの有無を確認した結果，材料強度に影響を与えるような塑性ひずみは発生していないことを確認。

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

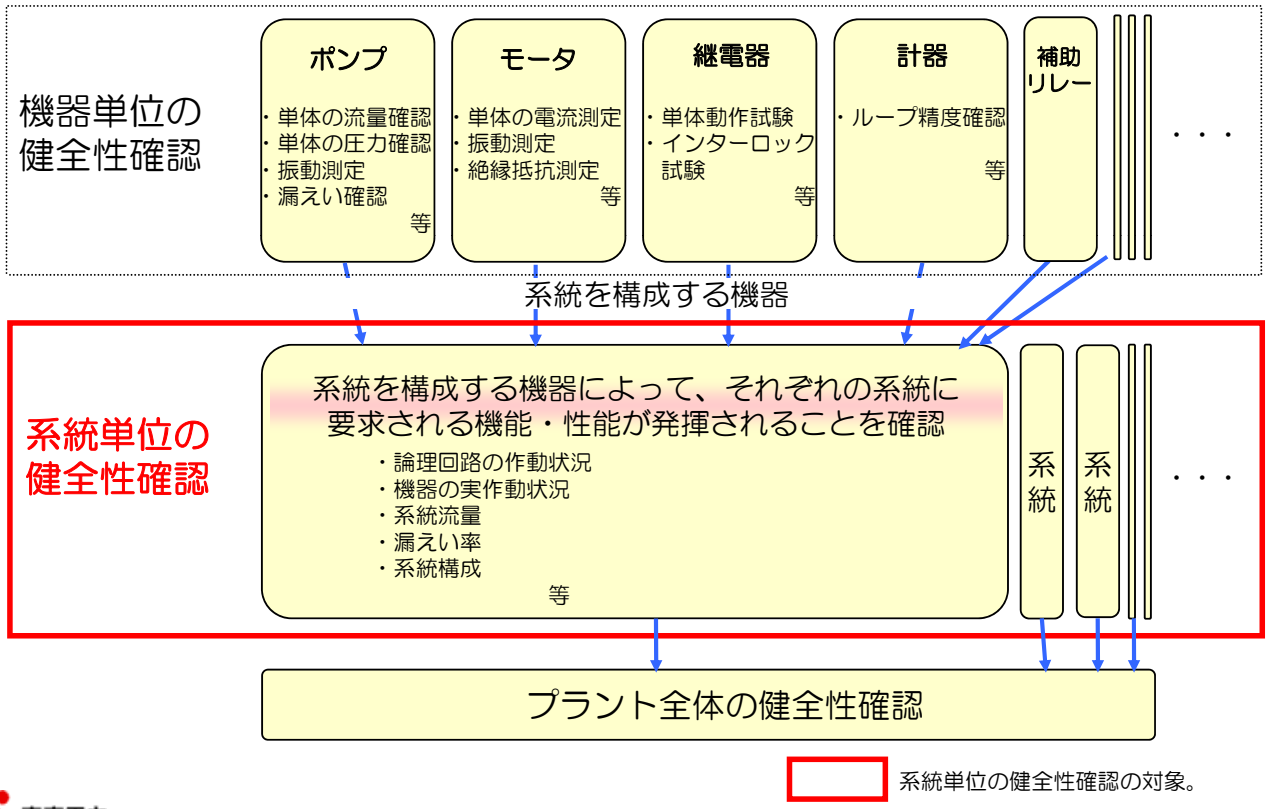
７号機　機器単位の総合評価の結論

■ 点検・評価を通じて，原子炉安全上重要な設備に地震による影響と考えられる重大な異常は確認されなかった
- 本地震後において，機器レベルの安全機能（「止める」「冷やす」「閉じこめる」）が維持されたことを示すもの

■ モックアップ試験や追加評価，取替・補修・手入れ等の実施等の対応を伴わず設備の健全性が確認できた

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

系統単位の健全性確認の位置づけ



東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

1号機　系統単位の試験一覧（蒸気を起こす前の試験）

機能	系統機能試験に関連する定期事業者検査
止める	原子炉停止余裕検査
	制御棒駆動系機能検査
	制御棒駆動機構機能検査
	選択制御棒挿入機能検査
	ほう酸水注入系機能検査
	原子炉保護系インターロック機能検査＊1
冷やす	タービンバイパス弁機能検査
	給水ポンプ機能検査
	非常用ディーゼル発電機定格容量確認検査
	自動減圧系機能検査
	非常用ディーゼル発電機，高圧炉心注水系，低圧注水系，原子炉補機冷却系機能検査

＊1）一部、蒸気タービンの復旧後に実施する検査あり

機能	系統機能試験に関連する定期事業者検査
閉じこめる	主蒸気隔離弁機能検査
	原子炉格納容器隔離弁機能検査
	原子炉格納容器スプレイ系機能検査
	非常用ガス処理系機能検査
	原子炉建屋気密性能検査
	原子炉格納容器漏えい率検査
	可燃ガス濃度制御系機能検査
その他	原子炉建屋天井クレーン機能検査
	中央制御室非常用循環系機能検査
	液体廃棄物貯蔵設備・処理設備のインターロック機能検査
	計装用圧縮空気系機能検査
	直流電源系機能検査

実施した検査　（平成21年2月4日終了）

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

７号機　系統単位の機能試験のまとめ

- 系統単位の機能試験23試験はすべて終了。
- 系統の性能は地震後の補修を行った系統も含み技術基準の要求事項を満足した。
- 得られた知見等については，必要に応じて通常の保全プログラムへの反映等の措置をとっていく
- 原子力安全・保安院、原子力安全委員会、地元、自治体に詳細に報告。

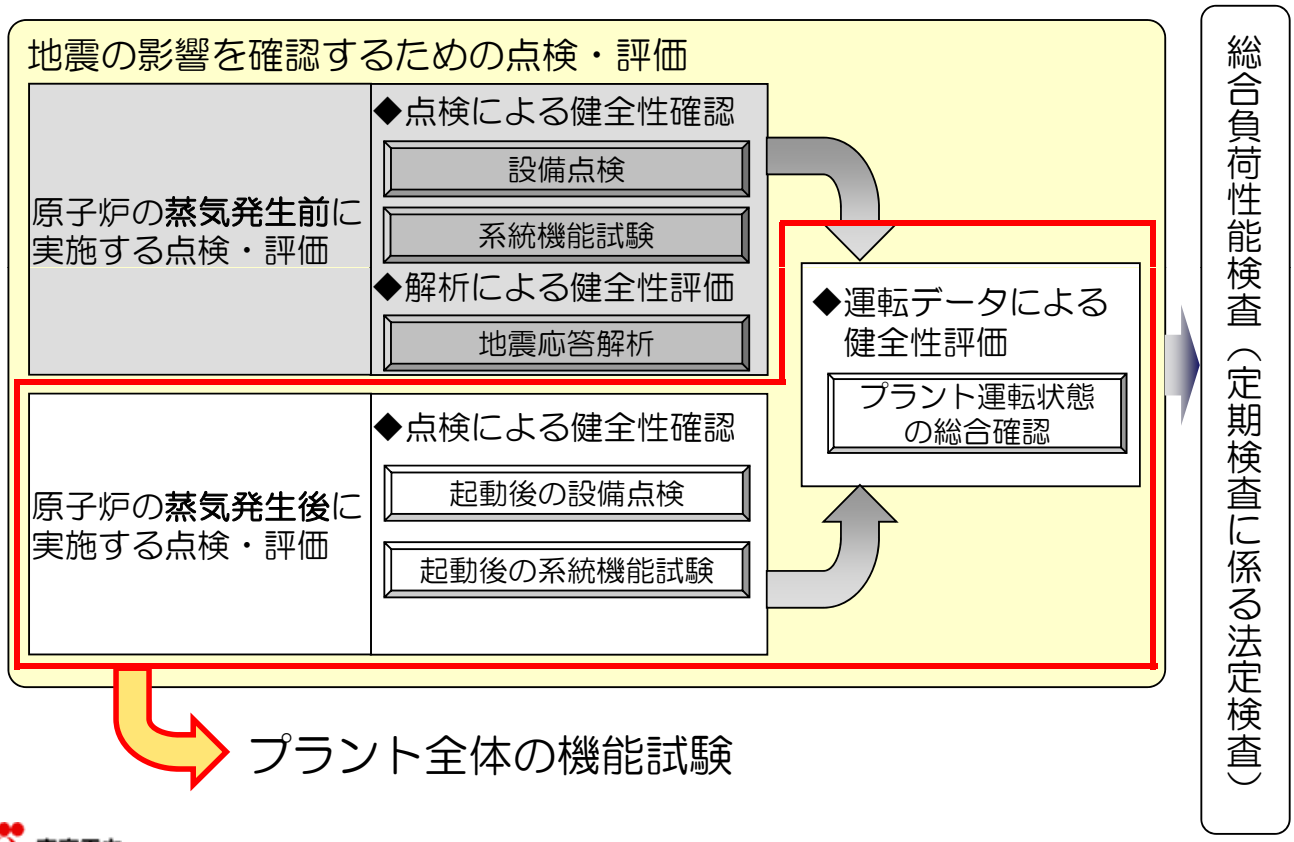
東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

中越沖地震に対する健全性評価の現況

- ７号機 プラント全体の機能試験・評価

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

プラント全体の機能試験の位置付け



東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

プラント全体の機能試験・評価の概要（１／２）

■「プラント起動時の設備点検」

プラント起動時に初めて確認可能となる作動確認、漏えい確認等を実施し、機器レベルの健全性を確認する。

■「プラント起動時の系統機能試験」

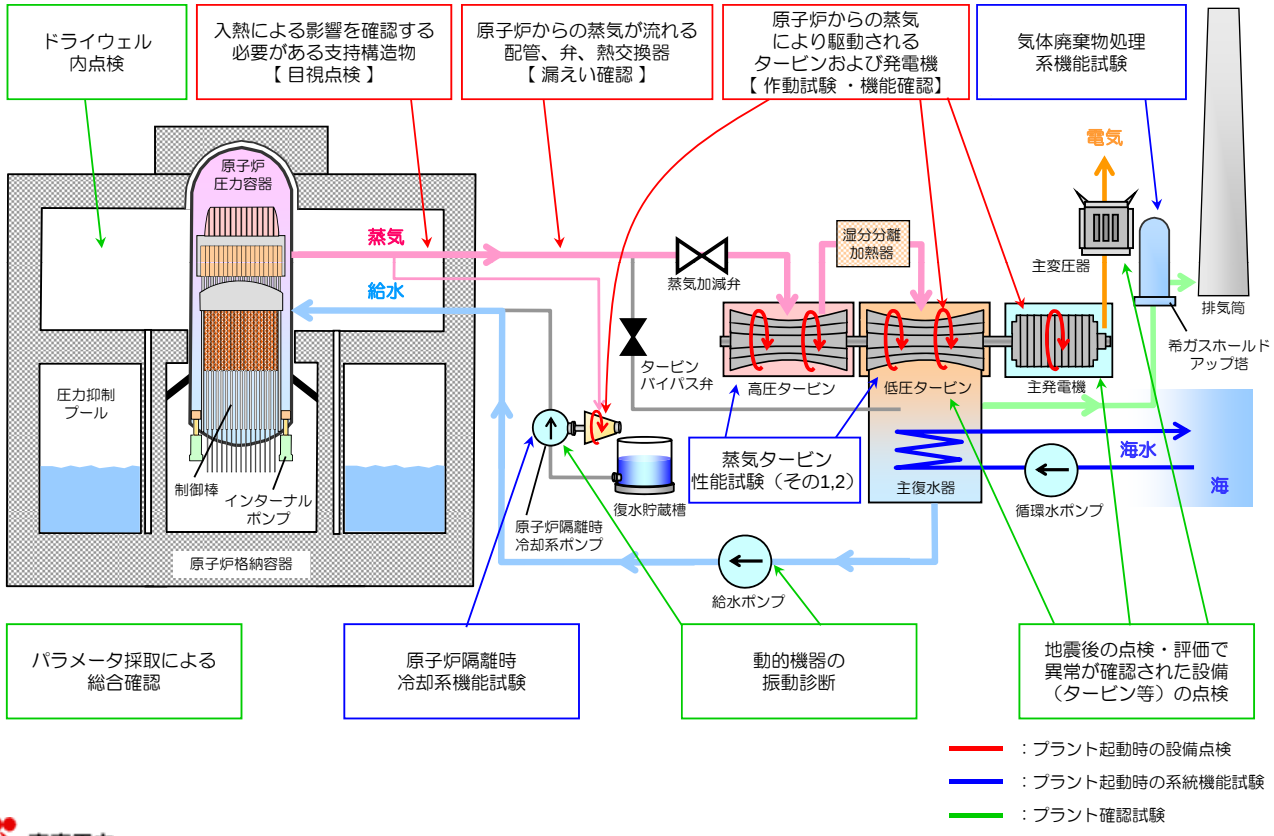
プラント起動時に初めて実施可能となる系統機能試験を実施し、系統レベルの健全性を確認する。

■「プラント確認試験」

プラント運転状態でのパラメータ採取、運転に関連する設備の状態監視等を実施し、プラント全体の総合性能を確認する。

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

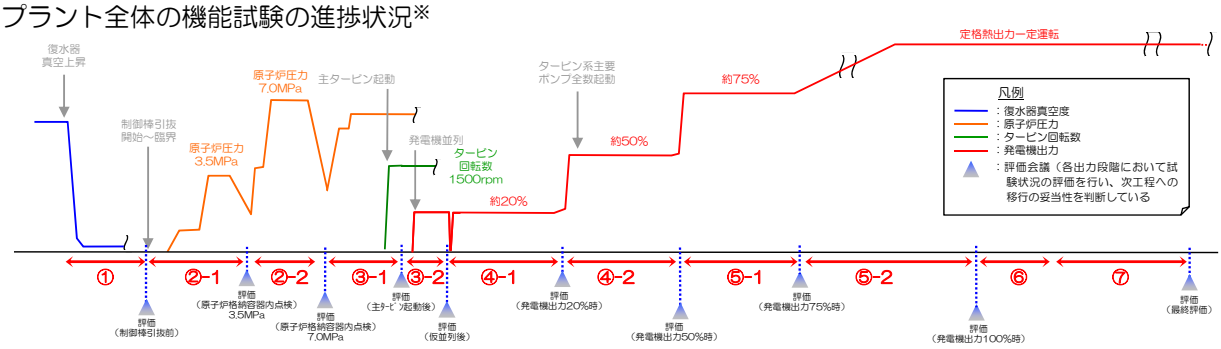
プラント全体の機能試験・評価の概要（2／2）



東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

プラント全体の機能試験・評価の進捗状況（1／2）

■プラント全体の機能試験の進捗状況※



※　プラント起動からの実績工程を参考資料-1に示す

		① 真空上昇時の点検	② 原子炉昇圧時の点検	③ タービン、発電機の起動時の点検・試験	④ 発電機出力20、50%時の点検・試験	⑤ 発電機出力75%、定格熱出力時の点検・試験	⑥ 定格熱出力一定運転時の点検・試験	⑦ 最終の健全性評価
主な点検項目	プラント起動時の設備点検	◆復水器点検 ◆復水ろ過脱塩装置点検	◆原子炉隔離時冷却系設備点検 ◆給水ポンプ等の起動時の点検 ◆給水系配管点検 ◆支持構造物点検	◆タービン点検 ◆発電機並列時点検 ◆発電機並列時の変圧器類点検	◆蒸気系配管点検 ◆支持構造物点検	◆定格熱出力時の発電機点検 ◆定格熱出力時の変圧器点検	－	－
	プラント起動時の系統機能試験	◆蒸気タービン性能試験（その2）	－	◆蒸気タービン性能試験（その2）	－	－	◆気体廃棄物処理系機能試験 ◆原子炉隔離時冷却系機能試験 ◆蒸気タービン性能試験（その1）	－
	プラント確認試験	◆一定時間毎の主要パラメータ採取 ◆異常が確認された設備の確認 ・復水器の状態監視開始	◆炉圧約3.5MPa、約7.0MPa時のドライウェル内点検 ◆一定時間毎の主要パラメータ採取 ◆異常が確認された設備の確認 ・原子炉冷却材再循環ポンプMGセットの状態監視開始	◆一定時間毎の主要パラメータ採取 ◆異常が確認された設備の確認 ・タービンの状態監視開始 ・変圧器の状態監視開始 ・発電機の状態監視開始	◆20、50%出力の主要パラメータ採取	◆巡視による状態監視 ◆ 75、100%、定格熱出力時の主要パラメータ採取	◆巡視による状態監視 ◆定格熱出力における主要パラメータ採取	◆巡視による状態監視 ◆プラント安定後の主要パラメータ採取
	その他	－	◆配管の熱変位量確認	－	◆配管振動確認	◆配管振動確認	－	－

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

プラント全体の機能試験・評価の進捗状況（２／２）

■ プラント全体の機能試験として実施する点検・試験が完了した。設備点検、系統機能試験、プラント確認試験のそれぞれの点検項目において実施した点検、試験結果は以下のとおり。

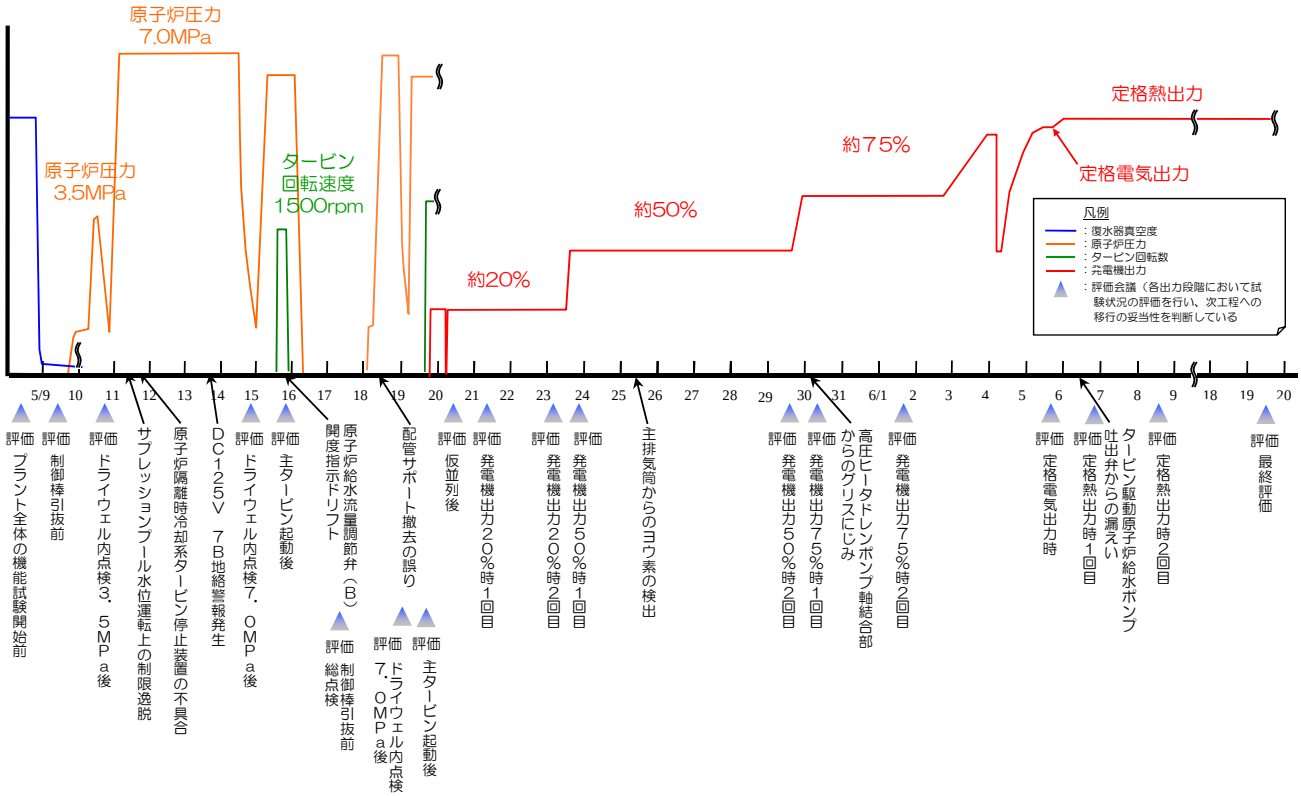
		点検、試験の実施時期							結果	地震影響の有無	評価
		① 真空上昇時の点検	② 原子炉昇圧時の点検	③ タービン、発電機の起動時の点検・試験	④ 発電機出力20%、50%時の点検・試験	⑤ 発電機出力75、定格熱出力時の点検・試験	⑥ 定格熱出力一定運転時の点検・試験	⑦ 最終の健全性評価			
主な点検項目	プラント起動時の設備点検	◆復水器点検 ◆復水系ろ過脱塩装置点検	◆原子炉隔離時冷却系設備点検 ◆給水ポンプ等の起動時の点検 ◆給水系配管点検 ◆支持構造物点検	◆タービン点検 ◆発電機並列時点検 ◆発電機並列時の変圧器類点検	◆蒸気系配管点検 ◆支持構造物点検	◆定格熱出力時の発電機点検 ◆定格熱出力時の変圧器点検	－	－	異常なし※	無	良
	プラント起動時の系統機能試験	◆蒸気タービン性能試験（その２）	－	◆蒸気タービン性能試験（その２）	－	－	◆気体廃棄物処理系機能試験 ◆原子炉隔離時冷却系機能試験 ◆蒸気タービン性能試験（その１）	－	異常なし※	無	良
	プラント確認試験	◆一定時間毎の主要パラメータ採取 ◆異常が確認された設備の確認 ・復水器の状態監視開始	◆炉圧約3.5MPa、7.0MPa時のドライウェル内点検 ◆一定時間毎の主要パラメータ採取 ◆異常が確認された設備の確認 ・原子炉冷却材再循環ポンプMGセットの状態監視開始	◆一定時間毎の主要パラメータ採取 ◆異常が確認された設備の確認 ・タービンの状態監視開始 ・変圧器の状態監視開始 ・発電機の状態監視開始	◆20、50%出力の主要パラメータ採取	◆巡視による状態監視 ◆75、100%出力、定格熱出力の主要パラメータ採取	◆巡視による状態監視 ◆定格熱出力における主要パラメータ採取	◆巡視による状態監視 ◆プラント安定後の主要パラメータ採取	異常なし※	無	良
	その他	－	◆配管の熱変位量確認	－	◆配管振動確認	◆配管振動確認	－	－	異常なし※	－	良

※：軽微な不適合事象あり

■ これまでの点検では、軽微な不適合事象（添付資料-1参照）が確認されているが、地震の影響が直接原因となるものは確認されておらず、これらについては、調整、修復等により復旧を実施した。

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

プラント起動からの実績工程



©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

「プラント起動時の設備点検」の内容（1／2）

動的機器※	静的機器※
2)横形ポンプ 4)ポンプ駆動用タービン 9)弁 14)主タービン 15)発電機	21)配管 23)熱交換器 24)復水器、給水加熱器、湿分分離加熱器 26)変圧器 29)計器、継電器、調整器、検出器、変換器 32)ろ過脱塩器 34)空気抽出器 36)タンク

※片括弧内の符番はプラント全体の機能試験・評価計画書の3.による

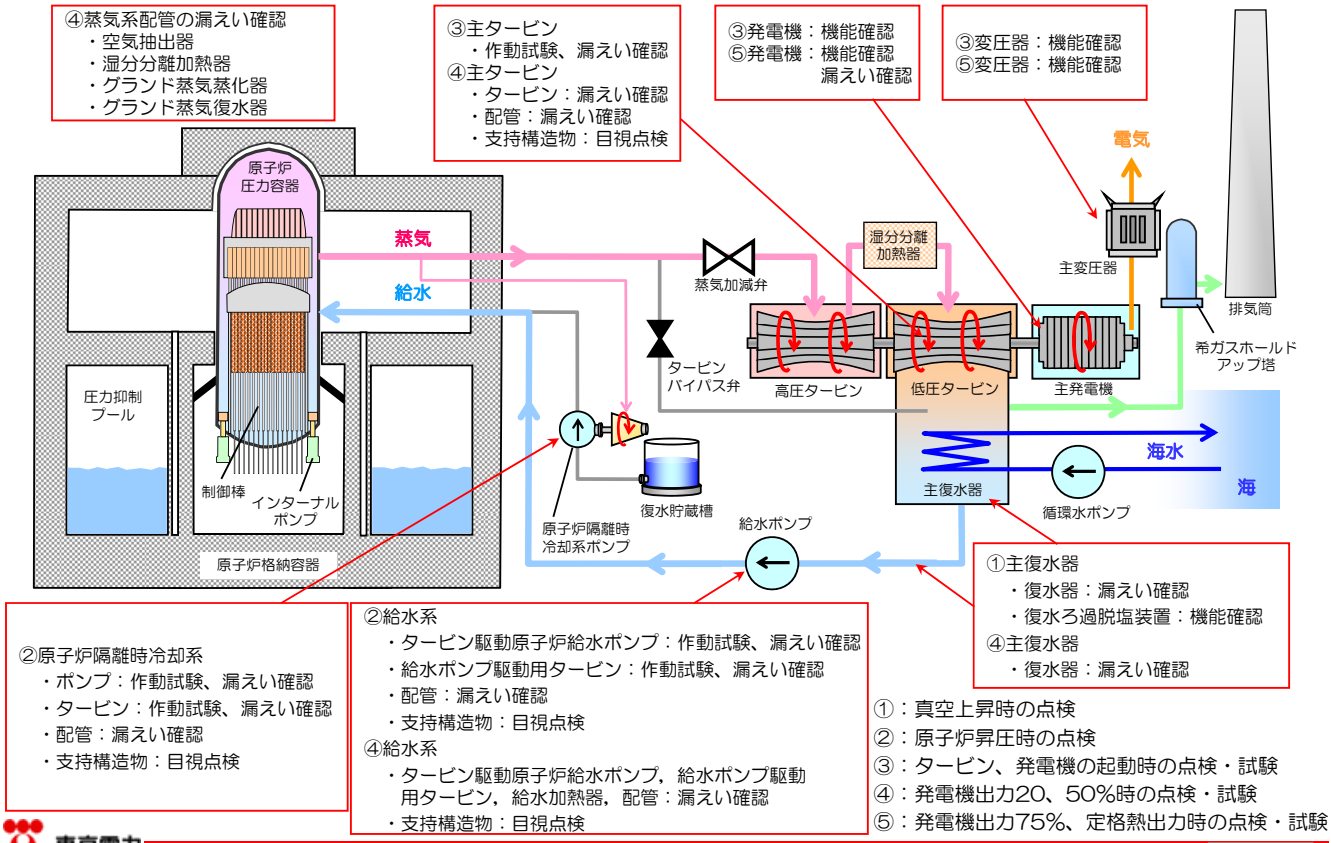
点検内容（全106機器）

- ■動的機器（全32機器）
  作動試験を主体として実施
- ■静的機器（全74機器）
  漏えい確認を主体として実施
- ■支持構造物（上記に係わるもの）
  目視点検を主体として実施

① 真空上昇時の点検	② 原子炉昇圧時の点検	③ タービン、発電機の起動時の点検・試験	④ 20、50%出力時の点検・試験	⑤ 75%、定格熱出力時の点検・試験
◆主復水器 ・復水器 ：漏えい確認 ・復水ろ過脱塩装置：機能確認	◆原子炉隔離時冷却系 ・ポンプ ：作動試験、漏えい確認 ・タービン ：作動試験、漏えい確認 ・配管 ：漏えい確認 ・支持構造物：目視点検 ◆給水系 ・タービン駆動原子炉給水ポンプ ：作動試験、漏えい確認 ・給水ポンプ駆動用タービン ：作動試験、漏えい確認 ・配管 ：漏えい確認 ・支持構造物：目視点検	◆主タービン ：作動試験、漏えい確認 ◆発電機：機能確認 ◆変圧器：機能確認	◆蒸気系配管点検：漏えい確認 ◆支持構造物点検：目視点検	◆定格出力時の発電機点検 ：機能確認、漏えい確認 ◆定格出力時の変圧器点検 ：機能確認

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

「プラント起動時の設備点検」の内容（2／2）



①：真空上昇時の点検
②：原子炉昇圧時の点検
③：タービン、発電機の起動時の点検・試験
④：発電機出力20、50%時の点検・試験
⑤：発電機出力75%、定格熱出力時の点検・試験

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

「プラント起動時の設備点検」の結果

- 動的機器の作動試験、蒸気系配管の漏えい確認および支持構造物の目視点検を実施し、
  - 2機器について不適合事象が確認（「原子炉隔離時冷却系の通常操作での停止不可」および「抽気系配管オイルスナッバからの油の滴下」）されたが、いずれも地震の影響によるものではないと評価した
  - また、その他の機器については異常は確認されなかった

  ことから、地震による設備健全性への影響がないことを確認した。

- なお、耐震強化を実施した支持構造物について、プラント起動に伴う機器の熱移動により、
  - 支持構造物の干渉がないこと
  - 静的レストレイントについては、変形等の異常がないこと
  - 動的レストレイントについては、インジケータ指示値が全ストローク内にあること

  を確認し、入熱による機器等への悪影響がないことを確認した。

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

（例）「ドライウェル内点検」結果

■点検結果

定格圧力の約半分（約3.5MPa）の圧力および原子炉定格圧力近傍（約7.0MPa）にて、格納容器内設備に対し目視点検を実施し、

- 加圧、加温状態において、配管や弁グランド部からの漏えいがないこと
- 熱移動による配管や支持構造物の干渉等の異常がないこと

を確認した。

残留熱除去系配管

主蒸気隔離弁

支持構造物
（残留熱除去系配管）

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

「プラント起動時の系統機能試験」の内容（１／２）

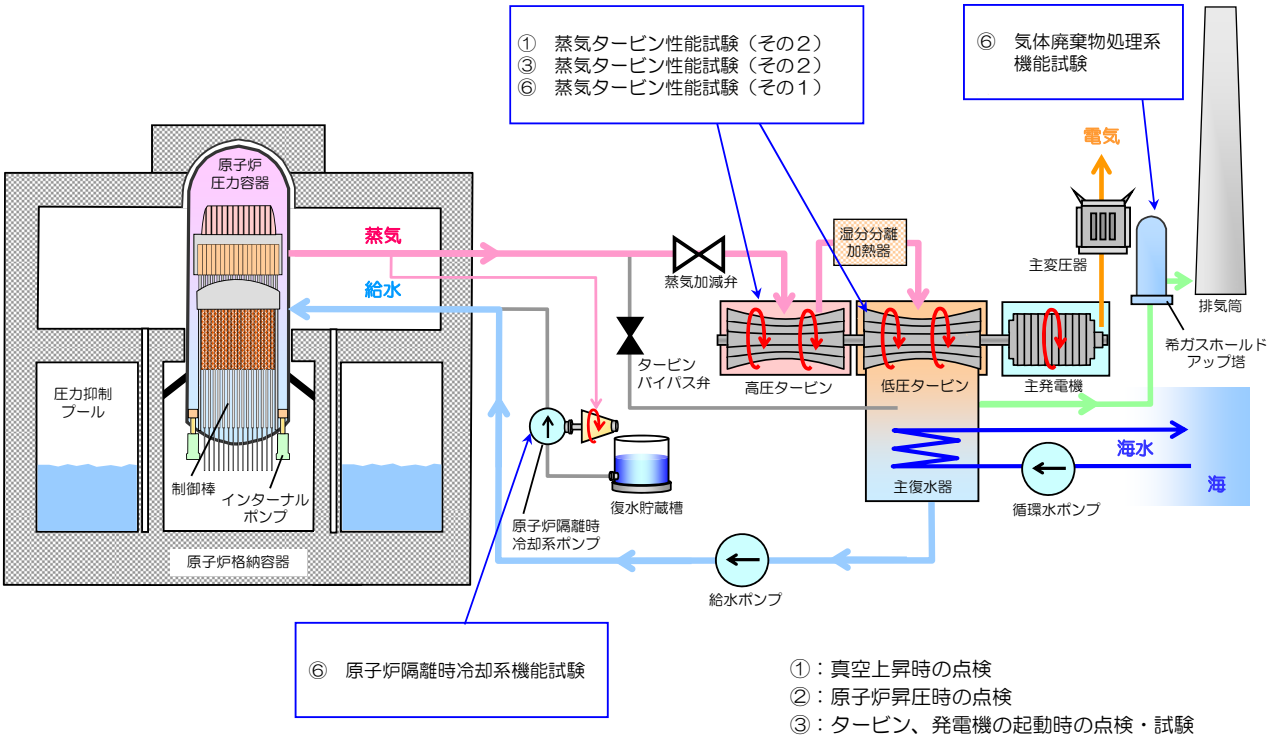
■ プラント起動時に初めて系統機能試験の実施が可能となる下記４試験を実施した。

● プラント起動時に実施する系統機能試験（４試験）

- 原子炉隔離時冷却系機能試験　：
- 気体廃棄物処理系機能試験　：　} 定格熱出力運転時に試験完了
- 蒸気タービン性能試験（その１）　：
- 蒸気タービン性能試験（その２）　：タービン、発電機の起動時に試験完了

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

「プラント起動時の系統機能試験」の内容（２／２）



①：真空上昇時の点検
②：原子炉昇圧時の点検
③：タービン、発電機の起動時の点検・試験
④：発電機出力20、50%時の点検・試験
⑤：発電機出力75%、定格熱出力時の点検・試験
⑥：定格熱出力一定運転時の点検・試験

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

「プラント起動時の系統機能試験」の結果

■以下の試験を実施し、いずれの試験においても判定基準を満足しており、系統機能が正常に発揮され、技術基準に適合しているものと評価した。

- 原子炉隔離時冷却系機能試験
- 気体廃棄物処理系機能試験
- 蒸気タービン性能試験（その１）
- 蒸気タービン性能試験（その２）

■また、重点的に確認する項目（地震前データとの比較など）についても、異常は確認されなかった。

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

プラント確認試験の内容（１／２）

■各系統機能を総合したプラント全体の総合性能を確認するため、「パラメータ採取による総合確認」を実施した。

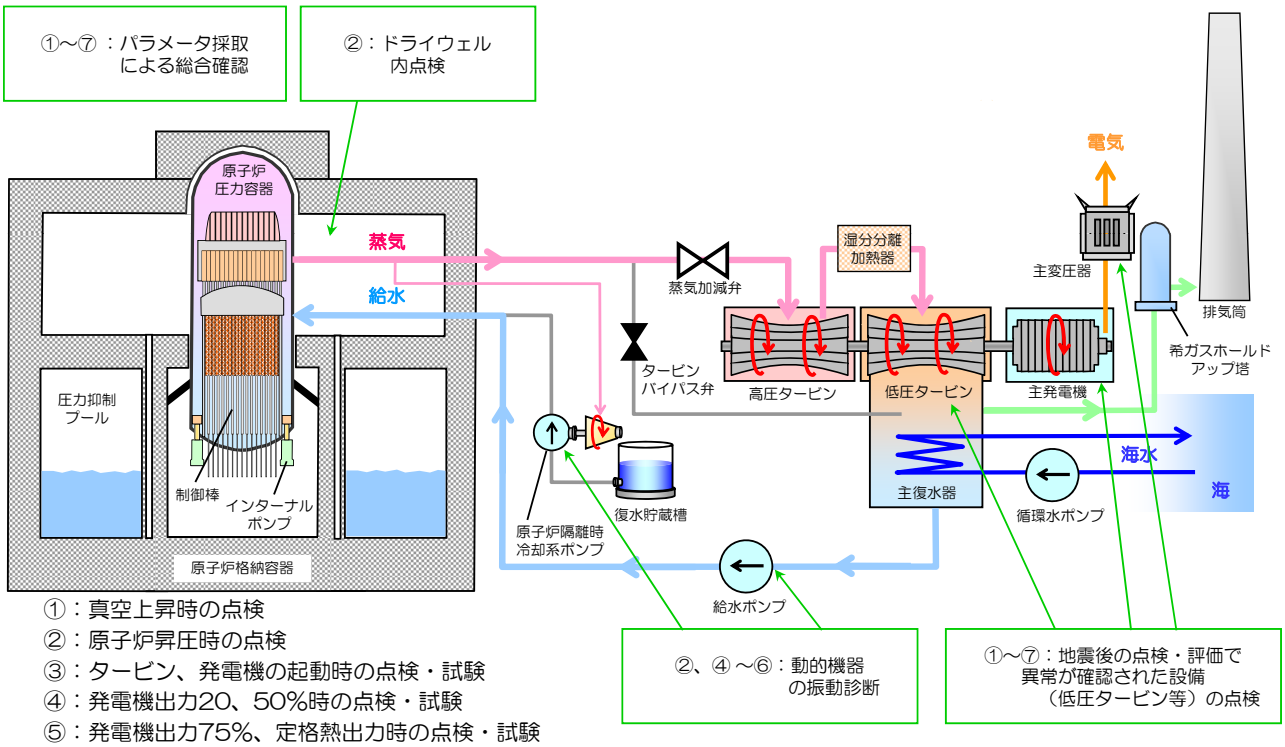
■プラント起動に伴い運転するポンプ類に対し、今後、安定して運転が可能であることの確認を目的とし、JEAG4221（原子力発電所の設備診断に関する技術指針 -回転機械振動診断技術）に基づく「振動診断」を実施した。

■昇圧過程における変化をより慎重に確認するため、通常実施している定格圧力近傍（約7.0MPa）に加え、定格圧力の約半分（約3.5MPa）において、原子炉格納容器内設備に対する目視点検（以下、「ドライウェル内点検」という）を実施した。

■地震の影響を考慮した総合確認として、「地震後の点検・評価で異常が確認された設備に対する点検」（低圧タービン等）を実施した。

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

プラント確認試験の内容（2／2）



①：真空上昇時の点検
②：原子炉昇圧時の点検
③：タービン、発電機の起動時の点検・試験
④：発電機出力20、50%時の点検・試験
⑤：発電機出力75%、定格熱出力時の点検・試験
⑥：定格熱出力一定運転時の点検・試験
⑦：最終の健全性評価

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

プラント確認試験の結果

- 「パラメータ採取による総合確認」では、各出力段階でデータ採取を実施した結果（約800項目）、判定基準を逸脱したものは確認されず、それぞれのパラメータが異常のないことを確認した。

- また、「振動診断」、「ドライウェル内点検」、「起動前の点検・評価で異常が確認された設備に対する点検」では、加圧、加温、運転状態での状態監視を行ったが、それぞれの項目について、地震の影響による異常のないことを確認した。

- なお、「パラメータ採取による総合確認」では、過去のデータ採取時と運転状態が異なる等の理由により、地震前の運転実績データの最小値から最大値の範囲に含まれないパラメータもあったが、地震の影響によるものではないと評価した。

- 採取したパラメータから、プラントの熱平衡（ヒートバランス）、熱効率を算出し、過去の運転データとの比較を行い、異常のないことを確認した。

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

その他の確認事項

■その他の確認事項の概要

地震の影響確認として実施する点検、試験に加え、プラント起動に併せ、以下の項目についても確認した。

●プラント起動前確認事項

プラント起動にあたり、以下に示す要件が満たされていることを確認した。

- 起動前の点検・評価が終了し、異常のないこと
- プラント起動および定格運転状態に関する設備の不適合に対し、適切な処置が実施されていること　等

●プラント長期停止後の特別な保全計画

長期停止に起因する発錆、固着等によって設備の故障等が懸念されることから、これらによる不適合を防止するよう特別な保全計画を策定した。その計画に基づき、保管管理等の保全活動を実施し、異常のないことを確認した。

●耐震強化工事を実施した設備（前述）

耐震強化工事を実施した設備について、以下を確認した。

- 配管および支持構造物に熱移動の影響による異常がないこと
- 振動測定により、異常な振動がないこと

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

評価のまとめ

1．プラント起動時の設備点検の評価結果

プラント起動時の設備点検の結果、いずれの設備にも地震の影響と考えられる異常は確認されず、地震による設備健全性への影響がないと評価した。

2．プラント起動時の系統機能試験の評価結果

プラント起動時の系統機能試験の結果、いずれの試験においても判定基準を満足しており、また、重点的に確認する項目についても異常は確認されず、系統機能が正常に発揮され、技術基準に適合しているものと評価した。

3．プラント確認試験の評価結果

プラント確認試験の結果、地震の影響を示す兆候は確認されず、地震によるプラント全体の運転状態への影響はないものと評価した。また、プラントパラメータが安定していることを確認し、今後の継続運転の観点からも問題のないものと評価した。

4．その他の確認項目の結果

プラント起動前の確認、プラント長期停止の影響の確認および、耐震強化工事を実施した設備の確認を行った結果、いずれにおいても異常は確認されなかった。

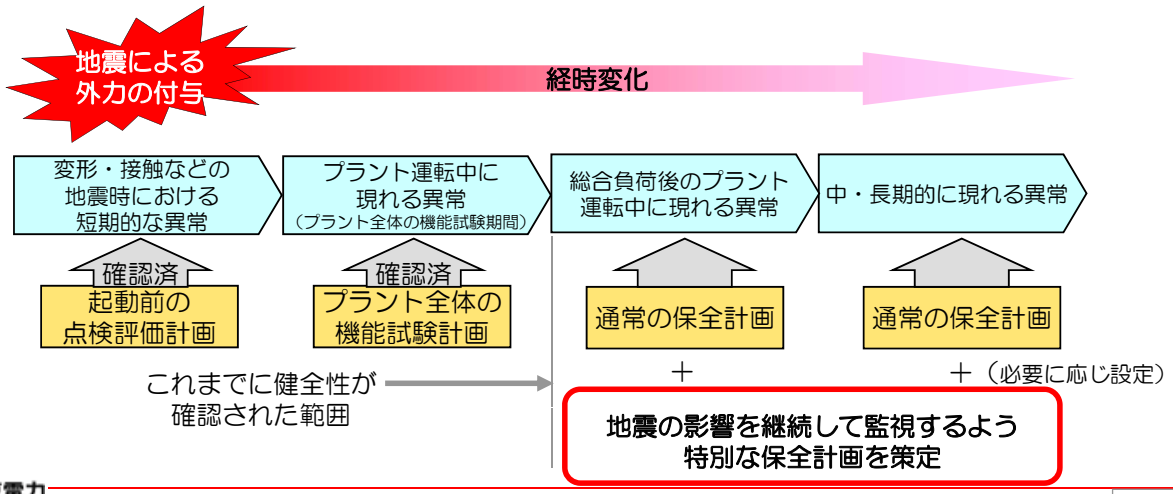
起動前に実施した点検・評価の結果も踏まえ、プラント全体の健全性評価を行った結果、今後継続的にプラントが運転可能であると評価した。

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

今後の保全計画

■運転開始後の特別な保全計画の考え方

- プラント全体の機能試験の完了後、地震を受けた影響を継続的に監視する観点から、通常時の保全活動に加えて実施する項目を「特別な保全計画」として計画する。
- これまでの点検で、地震影響による短期的異常は確認されているため、地震影響にその後の経時的変化が加わることによる設備への影響を監視するよう保全計画を立案する。
- これら策定にあたっては、地震前と状態が異なる設備に特に注意するよう考慮し、保全方式等を検討する。
- また、策定された保全計画で今後ルーチン化されるものは通常の保全計画の反映も検討していくが、地震の影響を継続監視する観点から、中・長期的な評価も検討する。



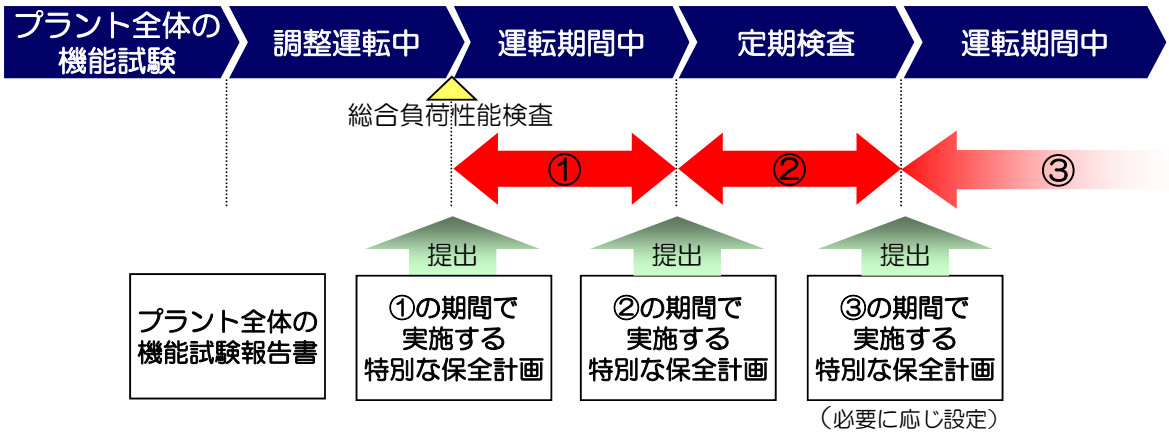
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

保全プログラムへの反映

■地震の影響の有無に関わらず、状態監視、時間基準保全などの現状の保全活動で、設備の状態についての確認がなされているが、地震の影響を特に注意する観点から、特別な保全計画として実施する項目を以下の期間毎に策定する。

①プラント全体の機能試験終了後の運転期間中
②次回定期検査期間中
③それ以降（必要に応じて設定）

次回定期検査までの流れと特別な保全計画の提出時期



©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

保全プログラムへの反映

①プラント全体の機能試験終了後の運転期間中

- プラントの主要パラメータ※1については、プラント全体の機能試験終了後も継続して監視を行う観点から、通常の状態監視※2に加え、一定期間ごとのデータ採取および傾向の確認を行い、運転後の影響について評価を行う。
- また、今回のプラント確認試験では、全てのパラメータで異常がないと評価されているが、過去の最大、最小値の範囲に含まれないパラメータ（最終評価時）のうち、振動など、地震を起因とした影響が及ぶと想定されるものは、一定期間ごとのデータ採取および傾向の確認を行い、運転後の影響について評価を行う。

※１：総合負荷性能検査および蒸気タービン性能検査（その１）の確認項目
※２：回転機器における振動診断
　　巡視点検　　など

②次回定期検査期間中

- 設備点検の結果、地震による軽微な影響が確認されたものの、機能に影響を及ぼさないとの理由により、補修等※3を行わず復旧した設備の点検を計画し、運転後の影響について評価を行う。
- 起動前の点検・評価において地震による劣化事象の助長が考えられる事象として「疲労」を抽出して解析評価を実施した。評価を実施した設備（残留熱除去系配管　等）は、疲労による影響はないものと判断されているが、念のため、非破壊試験を計画し、運転後の影響について評価を行う。
- 上記の他に運転期間中の特別な保全計画（上記①）の有効性評価の結果に応じて設定

※３：補修等とは、補修、交換、補強を示す。

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

保全プログラムへの反映

③その後（次回定期検査終了後）

- ①および②によって保全を実施した設備について点検、状態監視の結果から、継続監視の必要性の有無を評価するとともに、保全周期、保全方式を策定する。なお、これらを策定した後は、通常の保全計画として取り扱うことも検討する。
- また、通常の保全計画も含め、今後の保全活動において異常が確認された設備については、その異常の原因が、地震の影響によるものかについて評価を行う。
- その後においても、地震の影響を継続的に監視する観点から、定期安全レビューや高経年技術評価においても、評価を実施することを検討する。

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

１～６号機の状況

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

各号機の健全性確認進捗状況

H21.9.7現在

【設備点検】点検完了機器数／点検対象機器数　［点検対象機器数は概数］
【系統機能試験】系統機能試験完了数/系統機能試験数
（進捗率%）

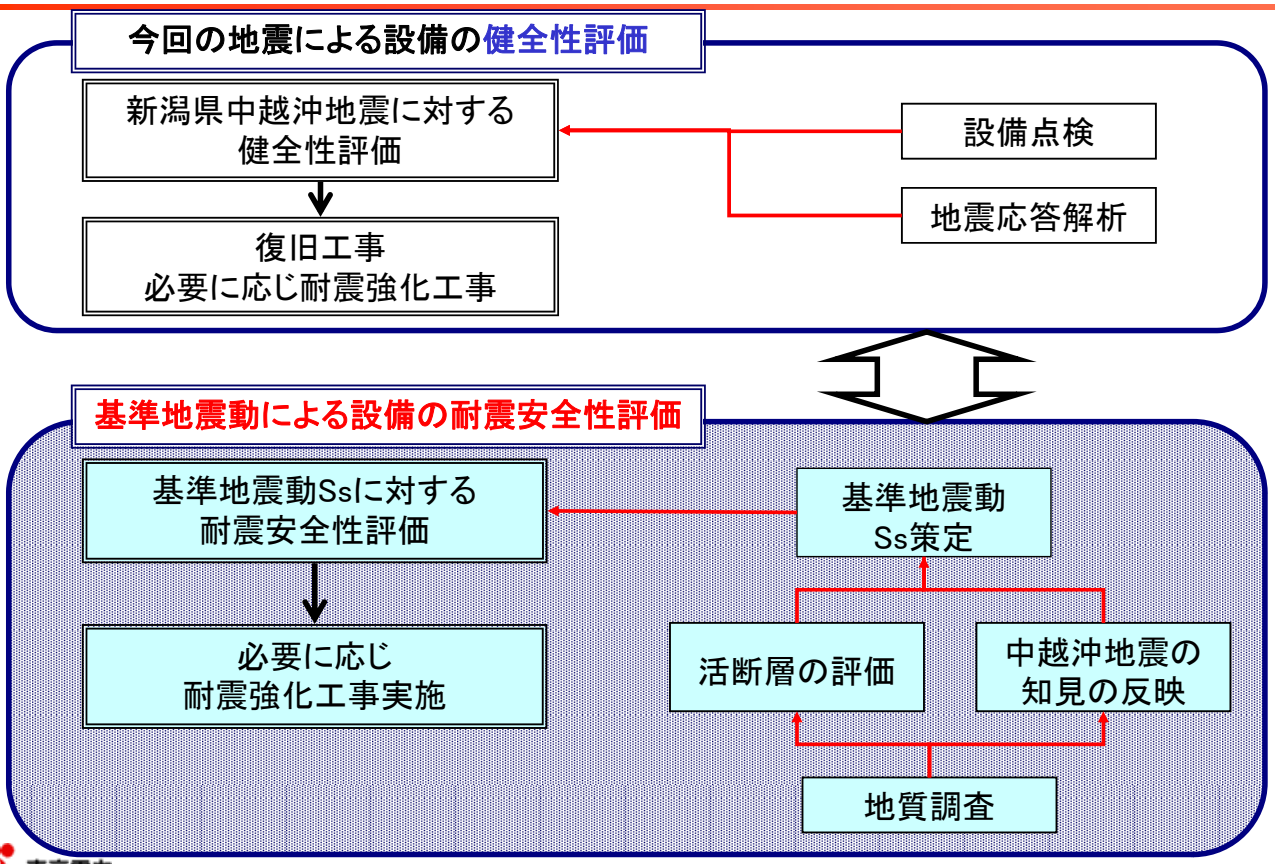
			１号機	２号機	３号機	４号機	５号機	６号機	７号機
蒸気発生前	機器レベル（設備点検）	目視点検	1,970/2,000 (98%)	200/1,590 （12%）	1,370/1,540 （89%）	440/1,680 （26%）	1,900/1,950 （98%）	1,538/1,538 （完了）	1,362/1,362 （完了）
		作動機能確認	1,290/1,470 （88%）	80/1,170 （7%）	980/1,100 （89%）	270/1,300 （21%）	1,360/1,490 （91%）	1,144/1,144 （完了）	1,001/1,001 （完了）
		漏えい試験	620/1,020 （60%）	50/730 （7%）	260/700 （37%）	30/650 （5%）	680/820 （83%）	719/719 （完了）	616/616 （完了）
	系統レベル（系統機能試験）		—	—	—	—	—	26/26 （完了）	23/23 （完了）
蒸気発生後	設備点検		—	—	—	—	—	実施中 (H21.8.26～)	106/106 （完了）
	系統機能試験		—	—	—	—	—	実施中 (H21.8.26～)	4/4 （完了）
プラントの状況			停止中	停止中	停止中	停止中	停止中	調整運転中	調整運転中

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

基準地震動Ssの策定と耐震強化

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

基準地震動Ｓｓの策定へ向けたアクションプラン



東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

耐震安全性の評価と耐震強化

耐震強化工事

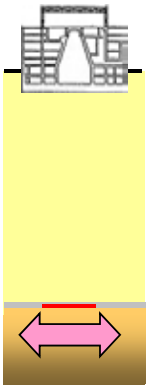
排気筒への制震装置の設置、等

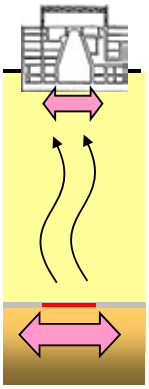
地質・地盤調査

- 活断層の調査

基準地震動策定

耐震安全性の評価



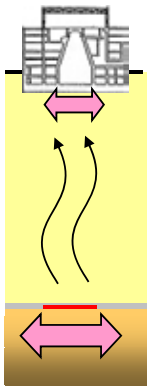


基準地震動による揺れに対する耐震設計上重要な設備・機器の安全性を評価

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

基準地震動の策定

活断層の活動による発電所地下の揺れの最大値を基準地震動として策定しました



	１号機	２号機	３号機	４号機	５号機	６号機	７号機
中越沖地震	680	606	384	492	442	322	356
基準地震動による建屋の揺れ	845	809	761	704	606	724	738
耐震強化に向けた建屋の揺れ	1,000						

中越沖地震で推定された地震動	1,699	1,011	1,113	1,478	766	539	613
基準地震動	2,300				1,209		

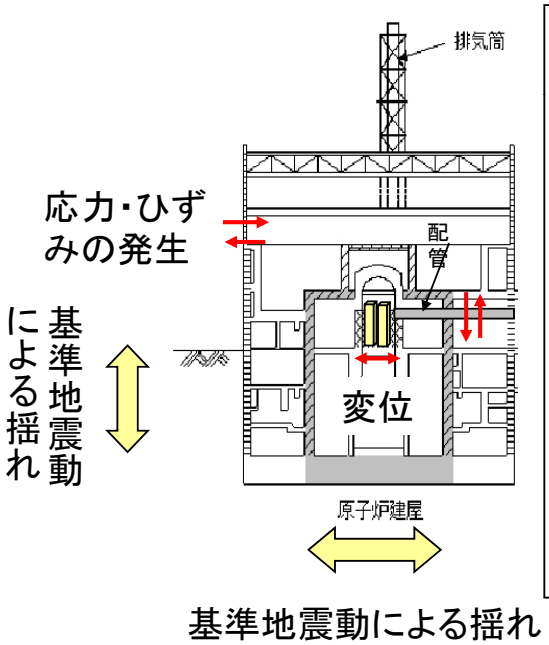
数値は東西方向の値

単位：Gal

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

耐震安全性評価

基準地震動Ssに対する耐震設計上重要な施設の安全機能を保持する観点から実施



- ●建物・構築物の評価
  基準地震動による揺れにより、建物・構築物に発生する応力またはひずみが基準値以下であるかどうかを確認
- ●機器・配管系の評価
  - ➢構造強度評価
    基準地震動による揺れにより、機器・配管に発生する応力等が基準値以下であるかどうかを確認
  - ➢動的機能維持評価
    基準地震動による揺れによる機器の変位量が試験であらかじめ正常に作動することが確認された値以下であるかどうかを確認

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

７号機　構造強度評価結果

■設計時と同様な解析手法を用いた応答解析結果

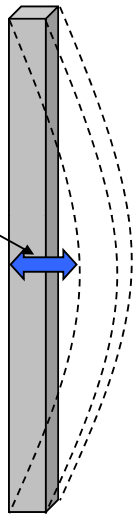
評価対象設備	評価部位	算出値（MPa）	評価基準値（MPa）
		Ss	
原子炉圧力容器	基礎ボルト	215	499
原子炉格納容器	ｻﾌﾟﾚｯｼｮﾝﾁｪﾝﾊﾞ出入口	30	164
炉心支持構造物	シュラウドサポート	51	260
残留熱除去系ポンプ	基礎ボルト	14	350
残留熱除去系配管	配管	206	364
主蒸気系配管	配管	217	374

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

７号機　制御棒の挿入性の評価

評価対象設備	地震時の相対変位（mm）			評価基準値（相対変位）（mm）
	新潟県中越沖地震	基準地震動Ss	耐震強化用地震動※	
制御棒（地震時の挿入性）	7.1	15.9	32.9	40.0

※　原子炉建屋基礎版上で1,000ガルの揺れとなるように定めた地震動



燃料集合体

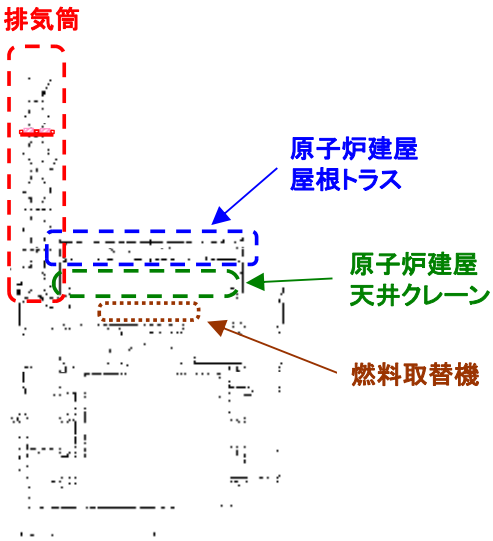
基準地震動による揺れに対しても、制御棒の挿入に影響はありません

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

耐震強化工事

７号機の耐震強化工事は全て完了し、耐震安全性評価を行った結果、基準地震動に対して安全であることを確認。工事対象は以下のとおり。

- 配管等サポート
- 原子炉建屋 屋根トラス
- 排気筒
- 原子炉建屋天井クレーン
- 燃料取替機



７号機　原子炉建屋　断面図

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

耐震強化工事実績（配管等サポート）

（工事期間：H20.6.16～11.3）
耐震重要度分類Sクラスの設備について、解析を行い、発生応力の影響が大きい配管等（電線管・ケーブルトレイ・空調ダクト含む）について、サポートの追加または強化を実施。

サポート強化工事：約3,100箇所
【内訳】
●配管・空調ダクト（Sクラス）
　ｽﾅﾊﾞ・ﾚｽﾄﾚｲﾝﾄの追加：約1,520箇所
　ｽﾅﾊﾞ・ﾚｽﾄﾚｲﾝﾄの補強：約700箇所
●電線管・ケーブルトレイ（Sクラス）
　Uﾎﾞﾙﾄ/部材の追加：約680箇所
●その他（※）：約200箇所
※ 配管（Sクラス以外）及び計装配管

スナバ追加により、配管の揺れを低減

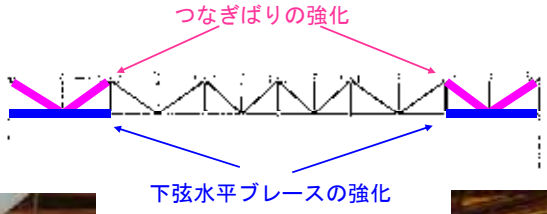
サポート強化により、強固な構造へ変更

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

耐震強化工事実績（原子炉建屋 屋根トラス）

（工事期間：H20.7.14～9.30）
原子炉建屋屋根トラスについて、部材（つなぎばり・下弦水平ブレース）の強化を実施。

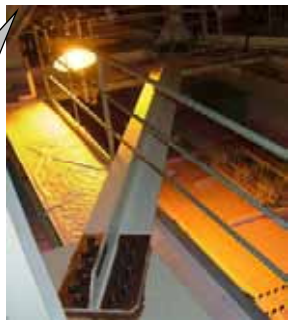
鉄骨使用量：約24トン
【内訳】
●つなぎばりの強化
　斜材の取替：10箇所
　座屈防止材取付：10箇所
●下弦水平ブレースの強化
　部材の取替：36箇所
　座屈防止材追加：44箇所



つなぎばり：強化前

つなぎばり：強化後

下弦水平ブレース：強化前



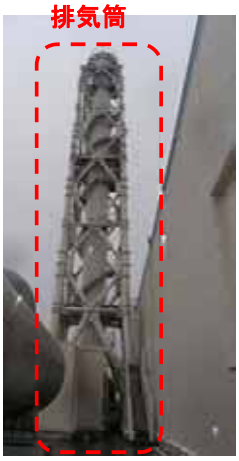
下弦水平ブレース：強化後

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

耐震強化工事実績（排気筒）

（工事期間：H20.9.5～10.16）
排気筒について、制震装置を設置することで強化を実施。

7号機　原子炉建屋　断面図

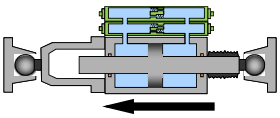


排気筒

排気筒の補強例

制震装置
●取付台数：8台
●重量：約600kg/台

制震装置（イメージ）



収縮して揺れを吸収

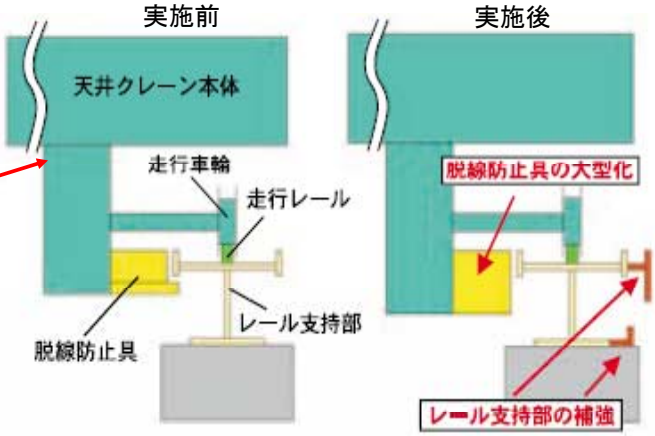
排気筒が揺れる際の振動エネルギーを油の流体抵抗によって吸収し、排気筒の揺れを抑える。

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

耐震強化工事実績（原子炉建屋天井クレーン）

（工事期間：H20.9.16～10.27）
原子炉建屋天井クレーンは、レール上を走行する構造のため、地震により天井クレーン本体が脱線し、落下することがないように脱線防止具の大型化と走行レール支持部の補強を実施。

レール支持部の補強
●鉄骨使用量：約35トン
●総溶接長さ：約3．6km



東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

まとめ

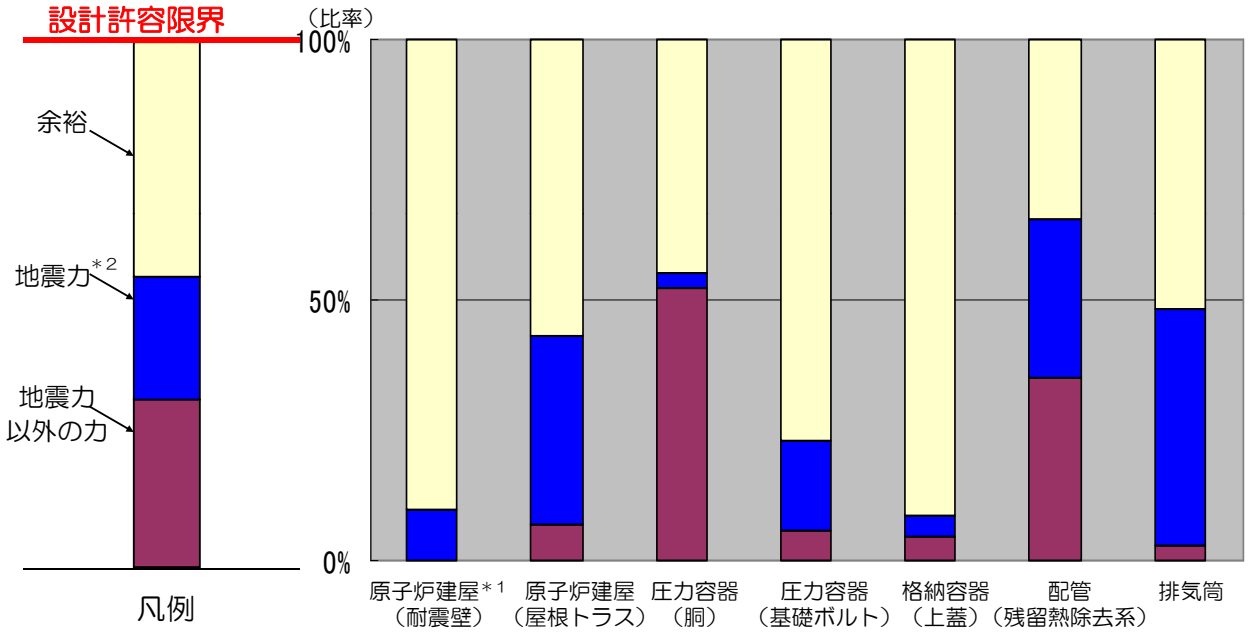
- 全号機とも原子炉は安全に停止
- ７号機は機器単位の健全性評価からプラント全体の機能試験が終了
- ６号機はプラント全体の機能試験を実施中
- １号機他も　順次進捗
- 基準地震動Ssに対する耐震安全性向上
  全号機で耐震強化に向けた地震動を1,000ガルに設定し、順次強化工事を開始。

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

計算機による解析の保守性について

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

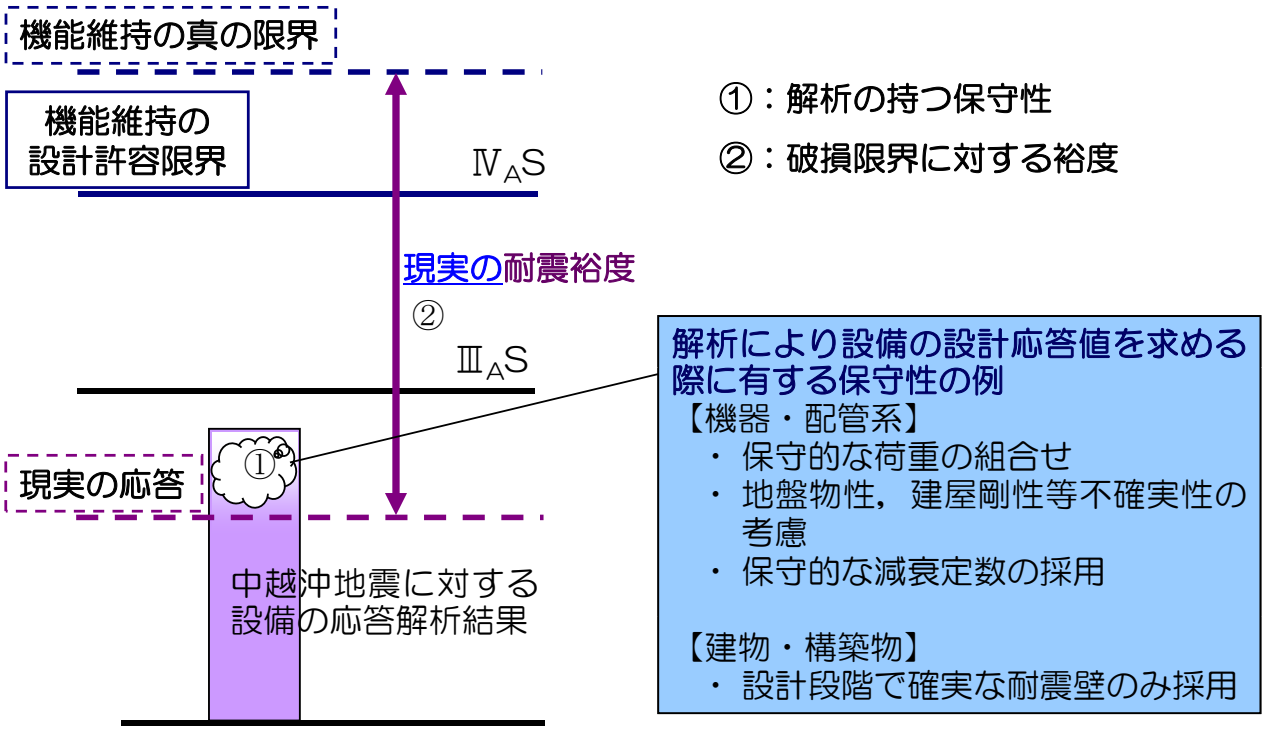
中越沖地震時の地震力に対する裕度【７号機の例】



＊１：建屋は、設計上のせん断ひずみ限界値。なお、建屋以外は、許容応力値。
＊２：格納容器を除き、中越沖地震の評価は、設計上保守的に見込んでいた要素のうち補助壁，コンクリート強度，床応答スペクトルの拡幅、水平上下の応力の組合せ等を現実ベースに置き換え実施。（時刻歴ではなく最大加速度での評価等の保守性は含まれている）

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

現実の破損限界に対する許容値の保守性



設備の応答値と設計許容限界等との関係（イメージ）

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

静的解析の保守性について

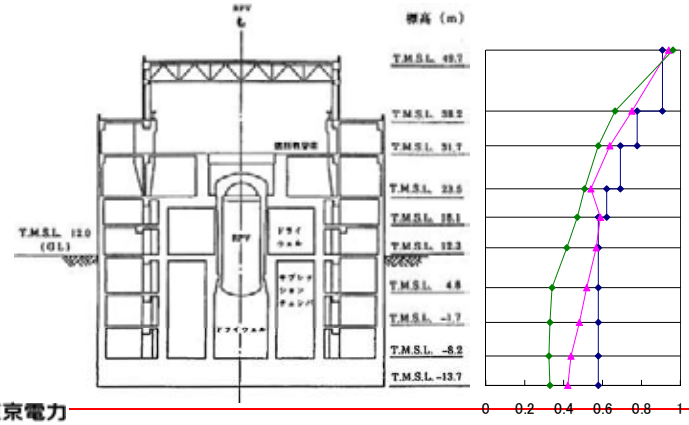
- 耐震クラスAs，Aは，S1より算定される設計用最強地震による地震力または静的地震力のいずれか大きい方の地震力に耐える設計
- 静的地震力は，建築基準法で定める震度の3倍で建屋の評価。さらにその1.2倍で機器・配管系の評価

ex.例えば静的水平地震力は下記水平震度より求める。

水平震度　＝3.0CI（層せん断力係数）×1.2　・・・式(1)

CI(せん断力係数)　＝Rt・Ai・CO　・・・式(2)

Rt：建物・構築物の振動特性係数（＝0.8），Ai：せん断力係数の高さ方向の分布係数，
CO：標準せん断力係数（＝0.2）



◆：S2による最大応答加速度×1.2
▲：中越沖地震による床の最大応答加速度×1.2
●：機器・配管系評価に用いる静的水平震度

S2・中越沖地震による床加速度および静的水平震度（7号機原子炉建屋）

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

配管系解析の裕度に関する検討（1）

- 配管系解析の裕度の評価
  - 解析のフロー（スペクトルモーダル解析の例）

①床応答スペクトル算出
↓
床応答スペクトル
↓
汎用解析コード（SAP）による解析
②配管のモデル化と固有値解析
③各振動モードでのモーメント算出，重ね合わせ
（水平地震動，上下地震動について実施）
④水平・上下地震動によるモーメントの組合せ
↓
各評価点におけるモーメント
↓
応力評価プログラム
⑤応力の計算
↓
計算結果（応力値）
⑥許容値との比較

（各ステップに含まれる保守性）

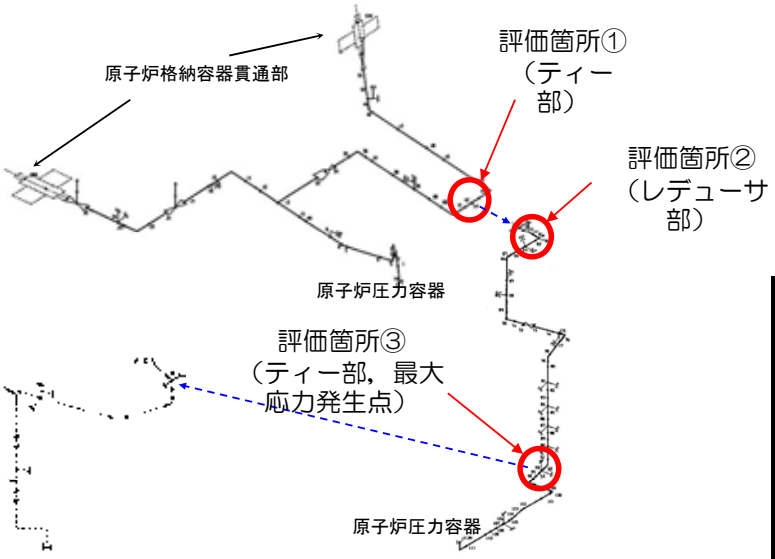
- ✓床応答スペクトルの拡幅による保守性
- ✓規格で定める減衰定数がもつ保守性
- ✓各振動モード重ね合わせの保守性
- ✓水平・上下組合せの保守性（二乗和平方根に対する絶対値和の保守性）
- ✓応力係数がもつ保守性
- ✓規格で定める許容値が持つ保守性

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

配管系解析の裕度に関する検討（2）

■ 配管系解析の裕度の評価

● 残留熱除去系配管の例



ﾓｰﾄﾞ	固有周期(s)	
	東電	JNES
1	0.209	0.209
2	0.167	0.167
3	0.157	0.157
4	0.154	0.154
5	0.123	0.123

※ 東電とJNESの解析による固有周期は同じ結果

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

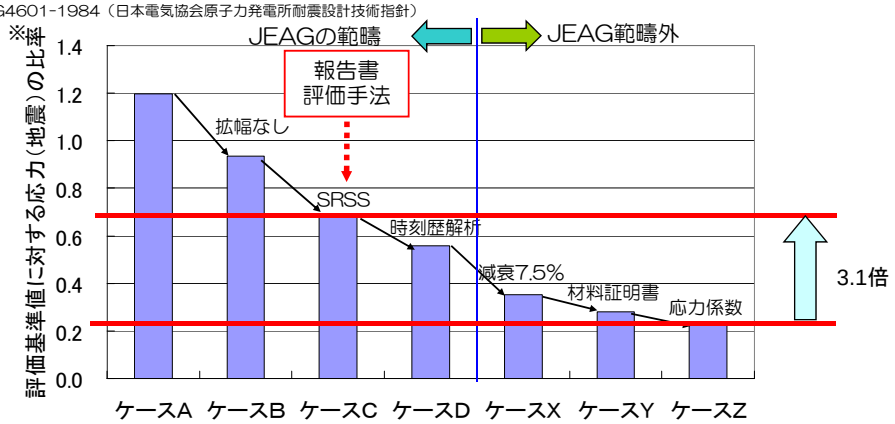
配管系解析の裕度に関する検討（3）

評価箇所①（ティー部）

報告書評価手法

	ケース	解析方法	FRS*4 拡幅	水平・上下組合せ	減衰定数	1次応力 合計	地震以外による	地震による	許容値（III_AS）（MPa）
JEAG*5の範疇	A	スペクトルモーダル	±10%	絶対値和	2.0%	317		262	274（規格基準値）
	B		なし	絶対値和	2.0%	260		205	274（規格基準値）
	C		なし	SRSS*1	2.0%	205		150	274（規格基準値）
	D	時刻歴解析	－	代数和	2.0%	177	55	122	274（規格基準値）
	X	時刻歴解析	－	代数和	7.5%*2	132		77	274（規格基準値）
JEAG範疇外	Y	時刻歴解析	－	代数和	7.5%*2	132		77	約330（材料証明書）*3
	Z	主蒸気系配管管台FEMによる応力係数の保守性をケースYに乗じて余裕度を算出							

*1：SRSS＝二乗和平方根
*2：減衰定数の現実的な値として，過去の試験等から想定される平均値7.5%を適用
*3：材料証明書より求めたSm=167MPaと20℃でのJSME規格値137MPaの比を規格基準による許容値（274MPa）に乗じた 値
*4：FRS＝Floor Response Spectrum
*5：JEAG＝JEAG4601-1984（日本電気協会原子力発電所耐震設計技術指針）



※：比率＝ 地震による応力／（許容値－地震以外の応力）

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

配管系解析の裕度に関する検討（4）

■健全性評価報告書の手法（ケースC）では評価基準値に対する発生応力の比率が0.6～0.7程度。

■より現実的な物性値と現実的な許容値で評価（ケースZ）すれば，評価基準値に対する発生応力の比率が0.2から0.3程度で評価基準値に対して十分小さい。

■報告書評価手法（ケースC）は現実的な評価方法と考えられるケースZと比較し3倍程度保守的な評価と言える。

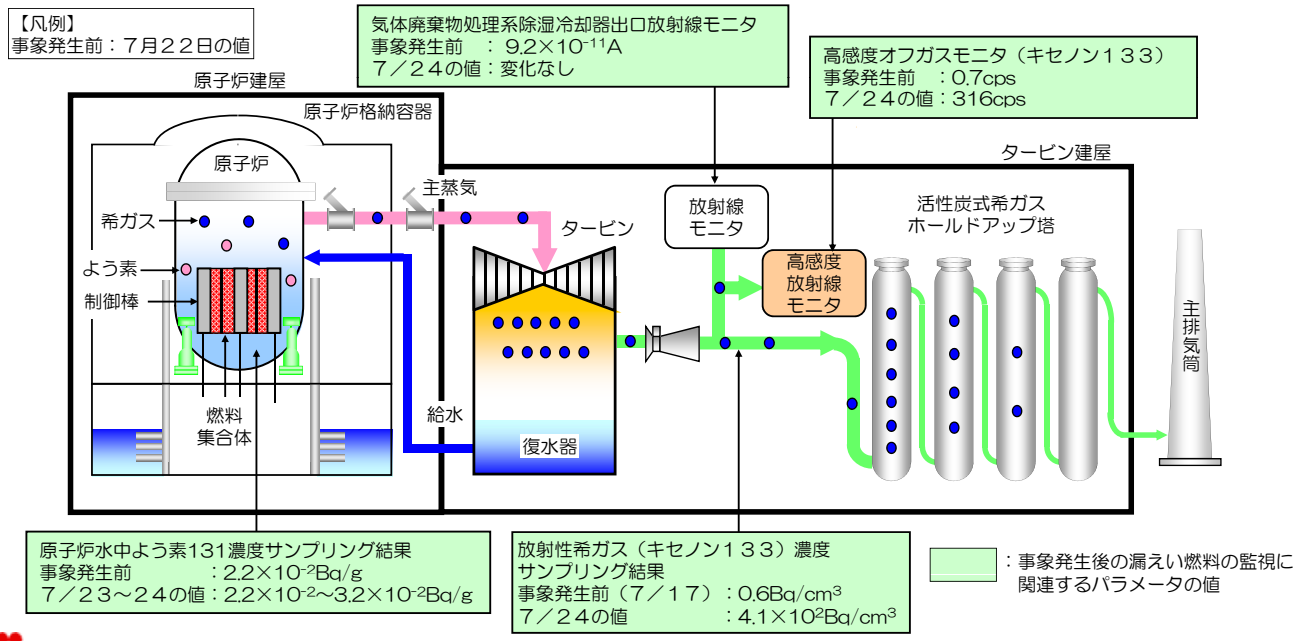
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

7号機
燃料からの放射性物質漏えい事象について

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

１．事象概要（１／２）

・平成21年７月23日昼頃、気体廃棄物処理系の高感度オフガスモニタの値にわずかな上昇傾向（4.1cps）を確認。このため、燃料棒からのガス状の放射性物質の漏えいの可能性も考えられるため、監視を強化。
・その後、監視強化しながら運転を継続していたが、７月２４日高感度オフガスモニタの値が更に上昇したことから、燃料棒の被覆管に微小な孔が発生し、ガス状の放射性物質が原子炉水中に漏れ出たものと判断。
・このため、７月24日夕刻からプラント出力を約60%に降下させ、安定した状態で制御棒を操作し、放射性物質が漏れ出た可能性のある燃料集合体（以下、漏えい燃料）の位置の調査を実施。



©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

１．事象概要（２／２）

【時系列】

７月２３日
高感度オフガスモニタ（キセノン１３３）の値の上昇を確認し、監視強化を開始。
（約０．７ｃｐｓ→４．１ｃｐｓ）

７月２４日
高感度オフガスモニタの値の更なる上昇（３１６ｃｐｓ）が確認され、漏えい燃料の発生が原因と判断し、出力抑制法の実施を決定。
同日夕刻よりプラント出力を低下させ、出力抑制法を開始。

７月２９日
出力抑制法により漏えい燃料の装荷範囲を特定し、漏えい燃料近傍の制御棒５本の全挿入を実施。

７月３１日
放射性物質の漏えい量を抑制した状態を維持してプラントを運転できるか評価するため、高感度オフガスモニタ等による監視を強化した上で出力上昇操作開始。

８月５日
定格熱出力に到達。

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

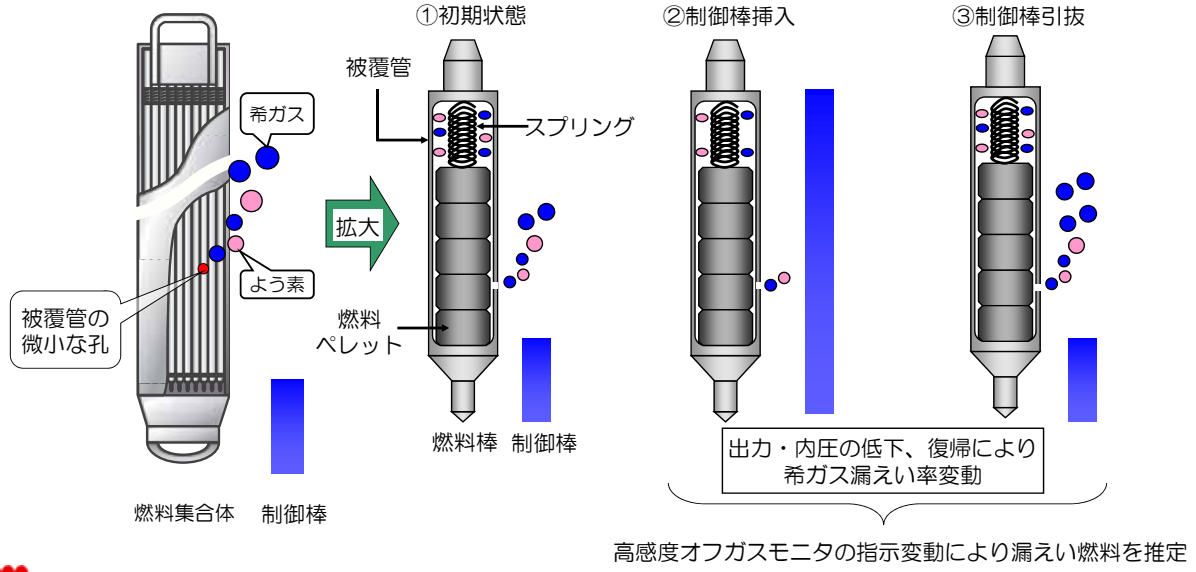
2．漏えい燃料の特定方法

【出力抑制法（Power Suppression Test）、以下「PST」 】

・BWRにおいて漏えい燃料が発生した場合、制御棒の挿入・引抜による希ガス濃度の変化を測定することで、漏えい燃料の出力に大きな変動を与える範囲を特定し、その位置に制御棒を挿入して漏えい燃料の出力を抑制する手法。

・海外でも一般的に行われている手法であり、国内でも12例の実績あり。

・漏えい燃料の出力を抑制することで放射性物質の漏えいの拡大が抑制され、その後の漏えいの進展も抑えられることで、漏えい燃料の徴候が確認された初期段階以降数ヶ月程度の運転継続が可能。



高感度オフガスモニタの指示変動により漏えい燃料を推定

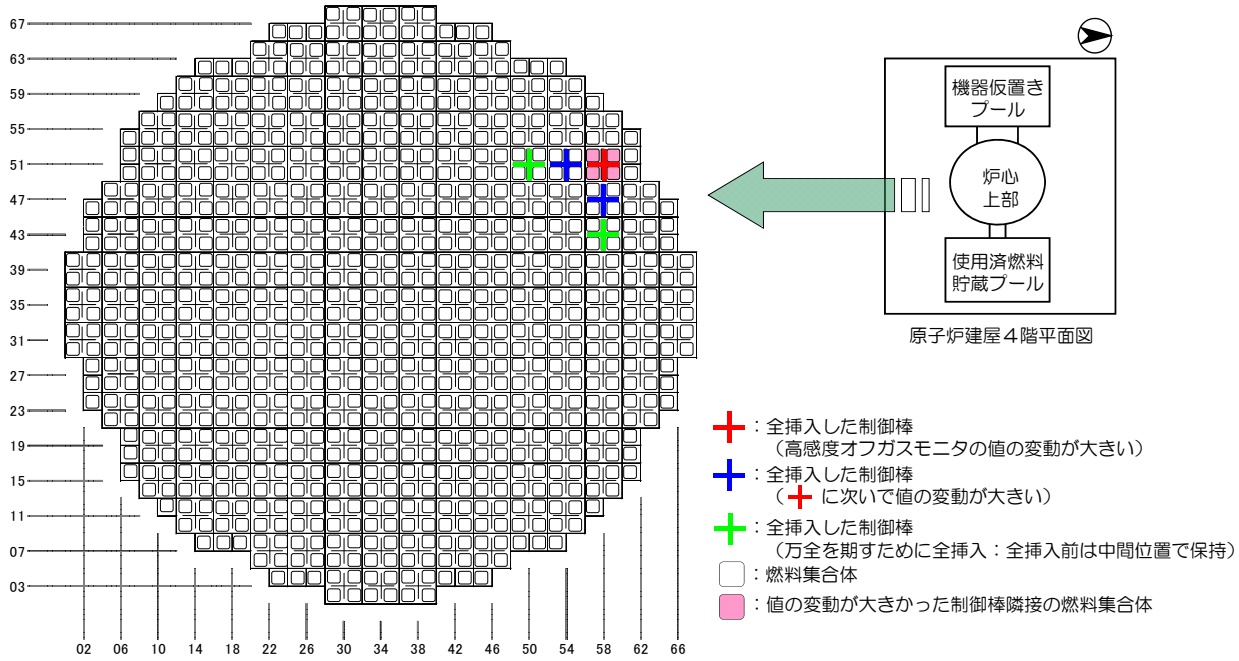
東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

3．漏えい燃料の特定結果

・ＰＳＴにより漏えい燃料を特定するための調査を実施した結果、制御棒(58-51)及びその近傍の制御棒操作時に、高感度オフガスモニタの値が顕著に変動。

・他の位置の制御棒操作において同モニタの値に顕著な変化はなく、漏えい燃料は制御棒(58-51)近傍に存在すると特定。

・漏えい燃料近傍の制御棒５本について全挿入して出力を抑制することにより、漏えい燃料の出力を抑制。



東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

4．ＰＳＴによる制御棒挿入後の関連パラメータ

・漏えい燃料近傍の制御棒５本の挿入により、漏えい燃料の出力抑制時に典型的に見られるキセノン133の一時的な放出量の増加・減少が確認され、その後の挙動は安定もしくは下降傾向にあることを確認。

・制御棒５本を全挿入したことにより、漏えい燃料からの放射性物質の漏えい量が抑制され、原子炉水中のよう素濃度やオフガス中の放射性希ガスの濃度も十分低く抑えられていることを確認。

・放射性物質の漏えい量を抑制した状態を維持してプラントを運転できるか評価するため、高感度オフガスモニタ等による監視を強化した上で、７月３１日より出力上昇操作を開始し、８月５日に定格熱出力に到達。

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

5．事象の調査・推定原因

漏えい燃料発生			
	1．設計不良	燃料設計不良	×
	2．製造不良	ペレット・被覆管等の製造不良、部品の組み立て不良	×
	3．異常な運転	熱的制限値逸脱	×
	4．燃料集合体の取扱不良	取扱時のぶつけ等の不具合	×
	5．炉内環境不良	導電率管理基準値逸脱	×
	6．外的要因	地震による影響	×
	7．異物混入	異物による影響	△

【凡例】
△：要因である可能性が否定できない
×：要因である可能性が低い

中越沖地震後の燃料集合体の健全性については、評価、点検等により異常のないことを確認している。（地震発生時炉内装荷燃料のうち、最高燃焼度および最低燃焼度の燃料を含む計２０体について外観点検を実施）

ワイヤブラシ等の使用制限や、物品持込の管理強化等を実施しているが、**対策以前の異物で残留したものが、燃料内部に捕捉された可能性は否定できない。**

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

６．まとめ

・高感度オフガスモニタを導入したことにより漏えい燃料発生の早期検知が可能となり、多くの実績があるＰＳＴを実施することによって漏えい燃料の範囲を特定、制御棒挿入操作を実施。

・ＰＳＴ実施以降、漏えいが拡大していないことを監視するための各種測定値について、本事象発生に伴い測定値が上昇したものが認められるが、過去の出力抑制による運転実績との比較や、原子炉の熱的制限値を遵守する観点においても、特に問題は認められない。

・また、各種測定値の安定した推移、炉心流量・原子炉熱出力パラメータより原子炉の状態も安定しており、漏えい燃料近傍の制御棒を挿入した状態で運転継続することは可能と判断。

・しばらくの間、更に慎重に関連データを採取することにより、漏えい燃料の出力抑制が適切に行われていることを最終的に確認するとともに、知見の拡充を行う。

・地震後に初めて起動したプラントであることを勘案し、9月末より原子炉を停止し、漏えい燃料の調査を行う予定。

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

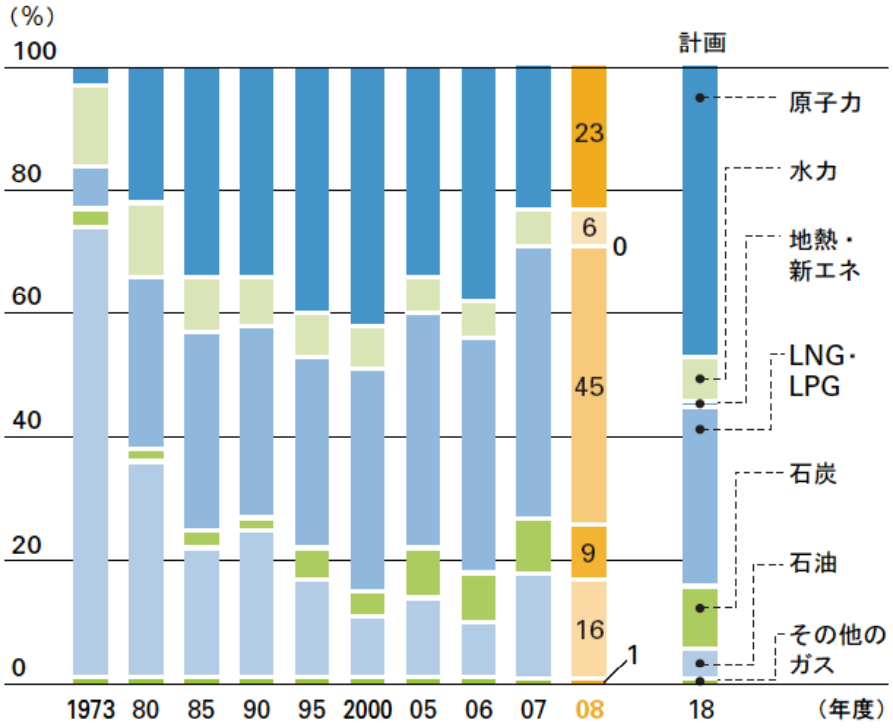
（参考）

電源構成とCO2排出量について

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

電源構成

東京電力のエネルギー別発電電力量構成比（他社受電含む）

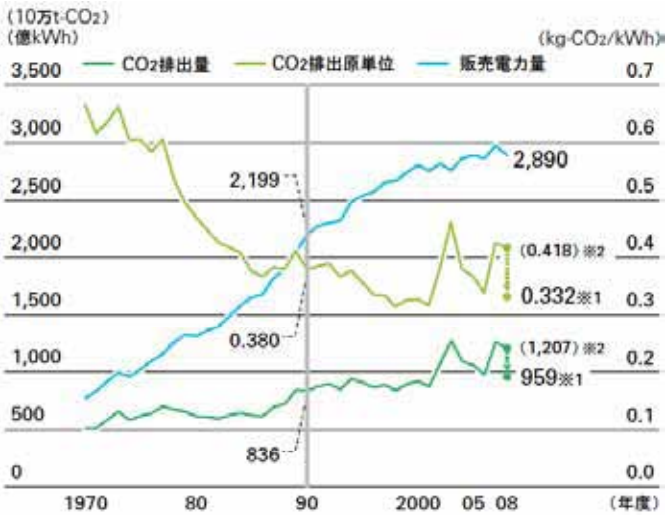


東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

CO2排出量・排出原単位

2007年度は販売電力量が前年度に比べ3.4%増加する中、新潟県中越沖地震の影響により柏崎刈羽原子力発電所が停止し、これによる発電量の不足を火力発電でまかなったため、当社のCO2排出量は前年度に比べ約2890万t増加し、1億2650万tとなりました。この結果、販売電力量1kWhあたりのCO2排出量（＝CO2排出原単位）は 0.425kg-CO2/kWhとなり、前年度に比べ約25%増加しました。

CO2排出量・排出原単位の推移



※1　炭素クレジットを反映した調整後の値。

※2　炭素クレジットを反映する前の値。

東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

原子力発電などの利用によるCO2排出抑制量

原子力発電は、発電の過程でCO2を排出しません。また建設や運用などの各段階を総合的に評価しても、化石燃料を利用している火力発電に比べCO2の排出が極めて少ないという特長があります。当社では、地球温暖化防止やエネルギーセキュリティの観点から重要な役割を担っている原子力発電を、安全を最優先に、基幹電源として活用していきます。

原子力発電の利用により、仮に平均的な石油火力で発電した場合に比べ、年間4,790万tのCO2排出を抑制した試算になります。また、LNG火力、水力、自然エネルギー発電も合わせたCO2排出抑制効果は年間9,250万t(2008年度)となり、これはCO2排出量が約6割に抑制された計算になります。

電源の組み合わせによるCO2排出抑制量（2008年度）

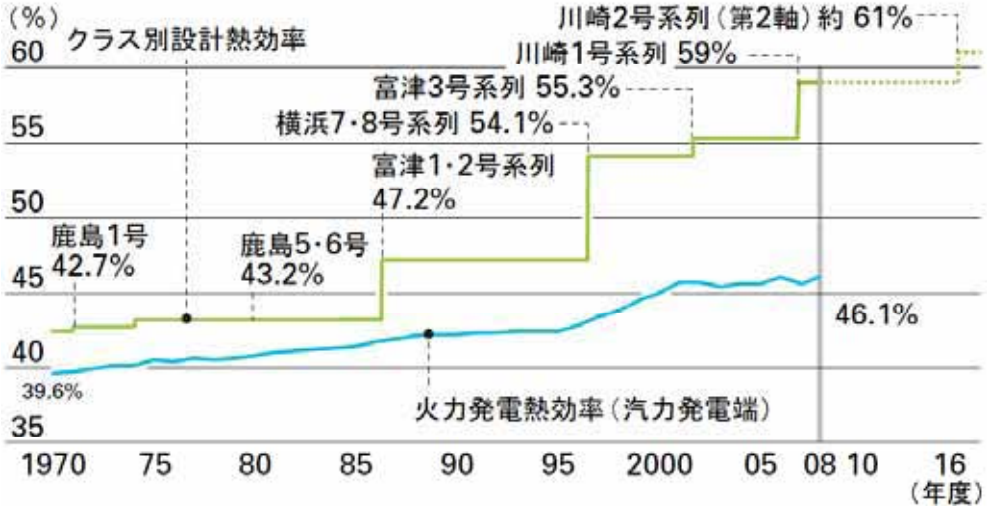
東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

火力発電熱効率の向上

世界最高水準の熱効率59%を達成する1,500℃級コンバインドサイクル発電（MACC発電）が2007年6月に川崎火力発電所で、2008年7月には富津火力発電所で運転を開始しました。また、2016年度には、熱効率約61%を実現する1,600℃級コンバインドサイクル発電（MACCⅡ発電）を川崎火力発電所に導入する予定です。

このような取り組みにより、東京電力の火力発電全体の熱効率が1%向上すると、CO2排出量は年間約180万t削減されることになります。

今後も、設備の効率的運用の継続や新技術の導入により、発電熱効率のさらなる向上を目指していきます。



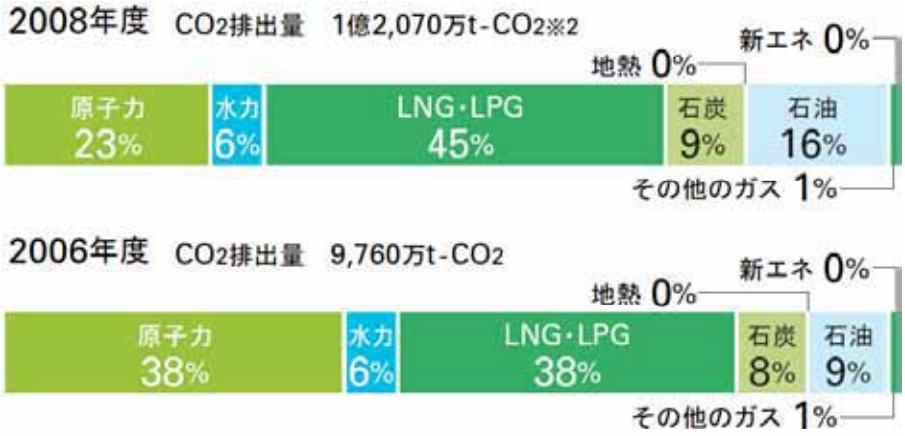
東京電力
©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

原子力設備利用率とCO2排出量

2007年度の原子力設備利用率は前年度の74.2%から44.9%へと低下し、2008年度も43.8%にとどまりました。2008年度の実CO2排出量は、2006年度に比べて約24%多い1億2,070万tとなっています。

発電時にCO2を排出しない原子力発電の稼動状況はCO2排出量を大きく左右します。仮に東京電力の原子力設備利用率が1%向上すると、CO2排出量は年間約100万t削減されます。

2006年度※1と2008年度のエネルギー別発電電力量構成比とCO2排出量の比較



※1 柏崎刈羽原子力発電所が年間を通じて安定的に稼働していた年度。
※2 炭素クレジットを反映する前の値。

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

ご清聴ありがとうございました

©2008 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

「2009年秋の大会　柏崎刈羽の復旧と地震安全特別専門委員会の活動状況」

第2部　柏崎刈羽の復旧と国の対応状況

（2）NISA/JNESの活動現状とIAEAへの対応状況

平成21年9月17日
東北大学　青葉記念館4階大研修室

原子力安全基盤機構
蛯沢　勝三

発表内容

Ⅰ．耐震安全最新知見の耐震審査への反映の仕組み

Ⅱ．原子力耐震・構造研究拠点プロジェクト
　　ー JNES柏崎耐震安全センターの活動 ー

Ⅲ．IAEA国際耐震安全センター（ISSC）の活動

Ⅳ．NISA/JNESのIAEA(ISSC）への対応

Ⅰ．耐震安全最新知見の耐震審査への反映の仕組

■背　景

・保安院は、今後の原子力発電所の耐震安全性に係る信頼性の一層の向上を図る観点から、最新の科学的・技術的知見に照らして、耐震安全性向上を図る仕組みを認識した。

・保安部会耐震・構造設計小委員会にて審議し、「原子力施設の耐震安全性に係る新たな科学的・技術的知見の継続的な収集及び評価への反映等について（内規）（平成21年5月8日）」を制定した。

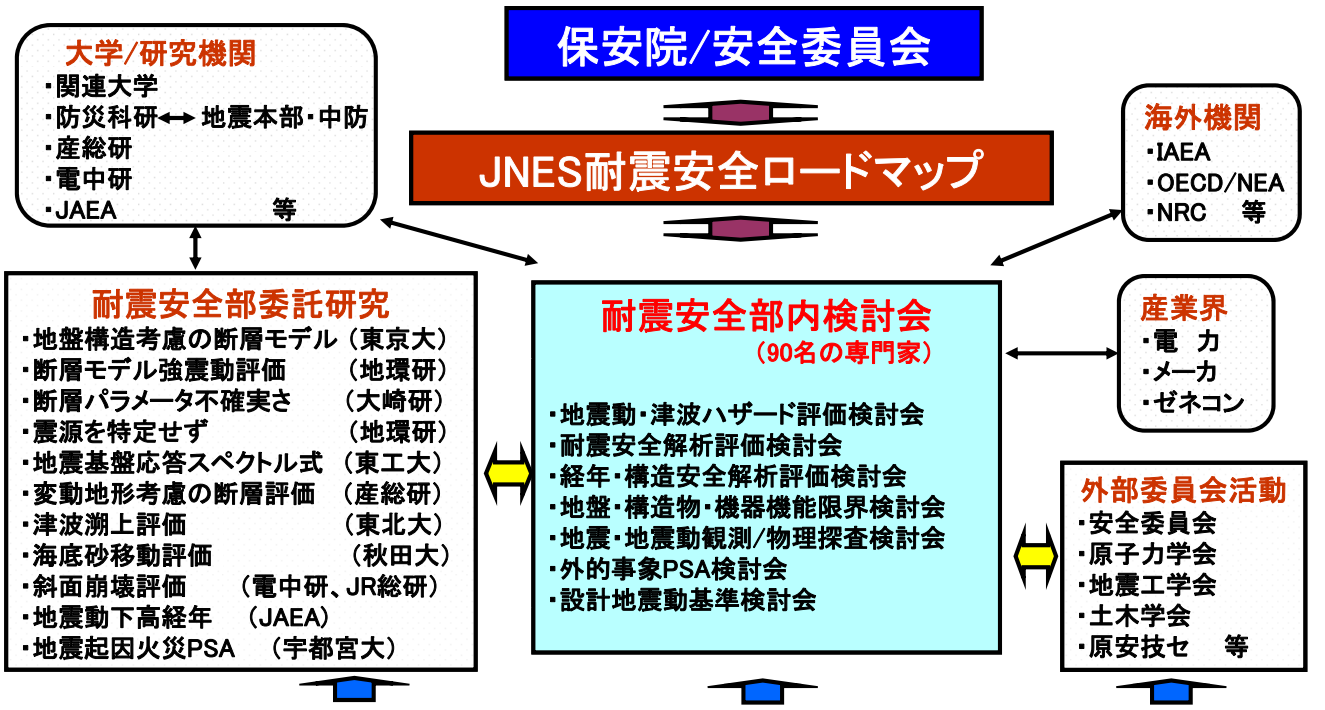
■関係者の役割

○原子力事業者等：　自らの品質保証計画に基づく保安活動の一環として、中長期的方針の下で、継続的、計画的に新たな科学的・技術的知見を収集し、耐震安全性向上の取り組みに反映する。

○原子力安全基盤機構：　中長期的方針の下で、今後調査・研究を行うべき事項等を明らかにすると共に、継続的、計画的に新たな科学的技術的知見を収集する。

○保安院：　原子力事業者やJNESから得た新たな科学的・技術的知見について規制当局として評価し、必要に応じて事業者等に対して耐震安全性の評価等について対応を求める。事業者等の取り組みの実施状況を確認していく。

JNES耐震安全関連の最新知見の情報収集の仕組み



JNES職員の学協会活動

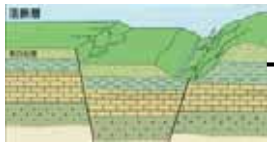
地震学会/地震工学会/地盤工学会/土木学会/建築学会/機械学会/電気学会/原子力学会等

プラント生涯に着目した耐震ロードマップ（1/2）

4

1. 立地・耐震設計段階

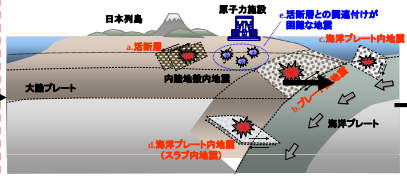
Ⅰ. 地質・地形調査



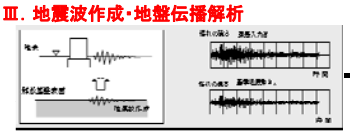
（技術分類）
- 多目的ボーリング技術の高度化
- 物理探査による海底断層、震源断層の探知技術高度化
- 変動地形学による断層探査手法高度化
- サイト近傍の短い断層の震源モデル評価

（規格基準化）
- 地質，地盤調査に係る基準作成

Ⅱ. 地震・地震動の策定（超過確率の算定）



Ⅲ. 地震波作成・地盤伝播解析

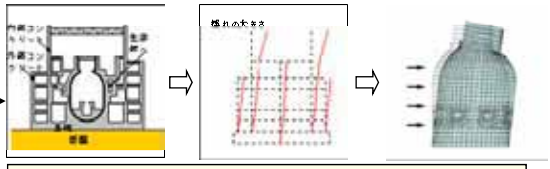


（技術分類）
- ○ 地震・地震動
  - 断層モデルの高度化
    - －プレート境界地震のレシピの高度化
    - －鉛直動のレシピ高度化
    - －不確実さを考慮した地震動評価手法
    - －断層モデルと距離減衰式の比較
    - －地域性を考慮したレシピの開発
    - －断層モデルにおける種地震動の位相考慮
    - －断層モデルにおける上下限の合理的評価方法
  - スラブ内地震の地震動特性の検討
  - 地震基盤における地震動評価技術の高度化
- ○ 超過確率
  - ロジックツリーの高度化
- ○ 地盤伝播解析
  - 地盤はぎ取り解析手法の高度化
  - 地下構造、サイト増幅特性評価手法高度化
- ○ 模擬地震動作成
  - 群遅延位相を考慮した模擬地震動作成手法高度化
- ○ その他
  - 余震評価方法の高度化

（国内外機関との協力）
- ロジックツリーの活用に関する国際会議
- 他機関と情報の共有
  東アジアにおける関連情報の共有プロジェクト

（規格基準化）
- 地震，地震動策定に係る基準作成

Ⅳ. 建屋・機器系の地震応答解析，応力解析



（技術分類）
- ○ 経年化に対する構造物の健全性評価手法の高度化
  - 経年化を考慮した設備等の耐震性安全性評価技術の高度化
    （地震応答への影響： き裂進展解析等）
    －中性子脆化、応力腐食割れ、減肉、磨耗、疲労、コンクリート劣化
- ○ 立地拡大
  - 建屋免震，機器，床免震，制振技術の適用
  - 基礎地盤条件による地震応答解析手法（杭　等）
- ○ 建屋・機器系の非線形解析
  - 建屋、屋根トラス、機器系、屋外構築物の非線形解析手法の高度化
- ○ 鉛直地震動対応
  - 機器系の鉛直地震動に対する解析手法の高度化
  - 地盤安定性解析手法の高度化
- ○ その他
  - 建屋床柔性の地震応答解析への考慮と設計への反映
  - 金属キャスク，コンクリートキャスクの地震時内部収納物衝突挙動評価方法確立
  - 地震動特性を考慮した構造物、設備の機能喪失評価法の高度化　（パルス入力　等）
  - 建屋接地率評価方法の高度化
  - 建屋の3次元地震応答解析手法の高度化
  - 耐震クロスチェック信頼性向上を目指したコード整備

Ⅴ. 地盤安定性解析

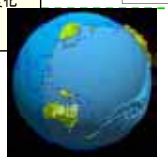
（国内外機関との協力）
- SMART2008（仏国）への参画

（規格基準化）
- 機器免震，床免震設計に係る基準作成
- JEAG4601への反映

Ⅵ. 地震随伴事象等

○ 地震起因による斜面の崩壊

（技術分類）
- 斜面解析機能（個別要素法，大変形法）高度化
- 斜面崩壊メカニズムの高度化
- 地盤，斜面安定性評価における判断基準高度化



（技術分類）
- 津波評価手法の高度化
- 漂流物，海底砂移動，遡上解析技術高度化

（国内外機関との協力）
- IAEA津波プロジェクトへの参画

○ 火山活動

○ 竜　巻

Ⅶ. その他（耐震クロスチェック対応）

（技術分類）
- 既設プラントの耐震クロスチェック技術の構築と実施

⇨ 現実的な応答、耐力の考慮
（決定論的手法と確率論的手法の融合）

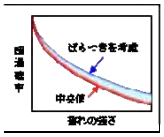
（規格基準化）
- JEAG4601への反映

プラント生涯に着目した耐震ロードマップ（2/2）

5

2. 耐震安全性評価段階（残余のリスク）

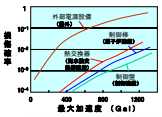
Ⅰ. 地震ハザード評価



（技術分類）
- ○ 地震ハザード評価
  - ロジックツリー作成手法の高度化
  - 余震ハザード評価手法の高度化

（国内外機関との協力）
- ロジックツリーの活用に関する国際会議の開催

Ⅱ. フラジリティ評価



試験による実耐力評価（例）

（技術分類）
- ○ 経年劣化を考慮した地震PSA手法確立
  - 地震応答、耐力への影響
    －中性子脆化、応力腐食割れ、減肉、磨耗、疲労、コンクリート劣化
- ○ 初通過理論によらない損傷評価方法確立
  - 疲労等に着目した損傷確立評価方法
- ○ 機器配管系の耐震裕度の把握
  - 主要設備の限界試験及び耐力把握
    －設備単体、複合構造物－
  - 既往の試験結果等から耐震裕度の精緻化
  - 廃炉の機器を用いた限界試験と耐力把握
    （ハイブリッド試験の実施）
  - 地震PSA結果を用いた耐震裕度把握
  - 耐震裕度の指標に係わる検討
- ○ その他
  - 原子炉格納容器損傷部位評価方法高度化
  - 耐震クロスチェックのためのコード整備

（規格基準化）
- 残余のリスクの明文化　（耐震設計審査指針改定　フェーズ2）
- 津波PSAに係る実施基準作成
- 地震PSA実施基準に対し停止時地震PSAの追加
- 地震PSA実施基準に対し経年変化を考慮した地震PSA手法の追加

Ⅲ. 炉心損傷頻度解析、被ばく解析

レベル1 地震PSA → レベル2 地震PSA → レベル3 地震PSA

（技術分類）
- 多数基立地におけるリスク評価手法高度化
- 建屋応答、機器損傷の相関性評価

⇨ 安全目標、性能目標の高度化への利用

Ⅳ. 地震PSA技術の精緻化

（技術分野）
- 地震PSA手法の精緻化
- 地震リスク低減策の検討
  （機器・床免震、制振技術の適用）
- 地震起因火災、溢水の発生頻度評価手法の整備・余震を考慮した地震PSA評価技術の高度化
- 津波PSA評価技術の高度化、リスクの概略把握
- 地震時のヒューマンエラーを起因とする損傷確率評価方法確立
- 停止時地震PSA評価技術の高度化

Ⅴ. その他（耐震クロスチェック対応）

（技術分類）
- 既設プラントの耐震クロスチェック技術の構築と実施

3. 建設段階

（技術分類）
- ○ 経年劣化評価のためのデータベース構築
  - 重要な部材等のモニタリングの考え方
- ○ その他
  - ふげん問題を踏まえ、コンクリート暴露試験の妥当性等の検討

（規格基準化）
- JEAG4601への反映

4. 運転段階

（技術分類）
- ○ 地震観測体制の見直し
  - 起振試験と地震動観測システムとの連携を考慮したシステム整備
  - 免震，制振構造等のモニタリングシステム整備
- ○ 大地震後のプラント健全性評価
  - 地震後のプラント健全性評価方法の確立、地震防災、プラントの再立ち上げ手順の整備
    （地震後の即時評価等）
  - 地震後の点検対象設備の選定方針作成
- ○ 外電喪失対応
  - 地震，雪，雷，台風，火山　等の要因による外電喪失（送電網の損傷により、発電所から送電不可となる事態）時対応
- ○ その他
  - 建設段階に引き続き、経年劣化を考慮した重要な部材等のモニタリング
  - スクラム設定値の考え方
  - 多目的ボーリングを用いた地震早期スクラム

（規格基準化）
- 地震観測装置配置ガイドライン
- 地震後のプラント点検に係る基準作成
- 地震後のプラント再立上げに係る基準作成

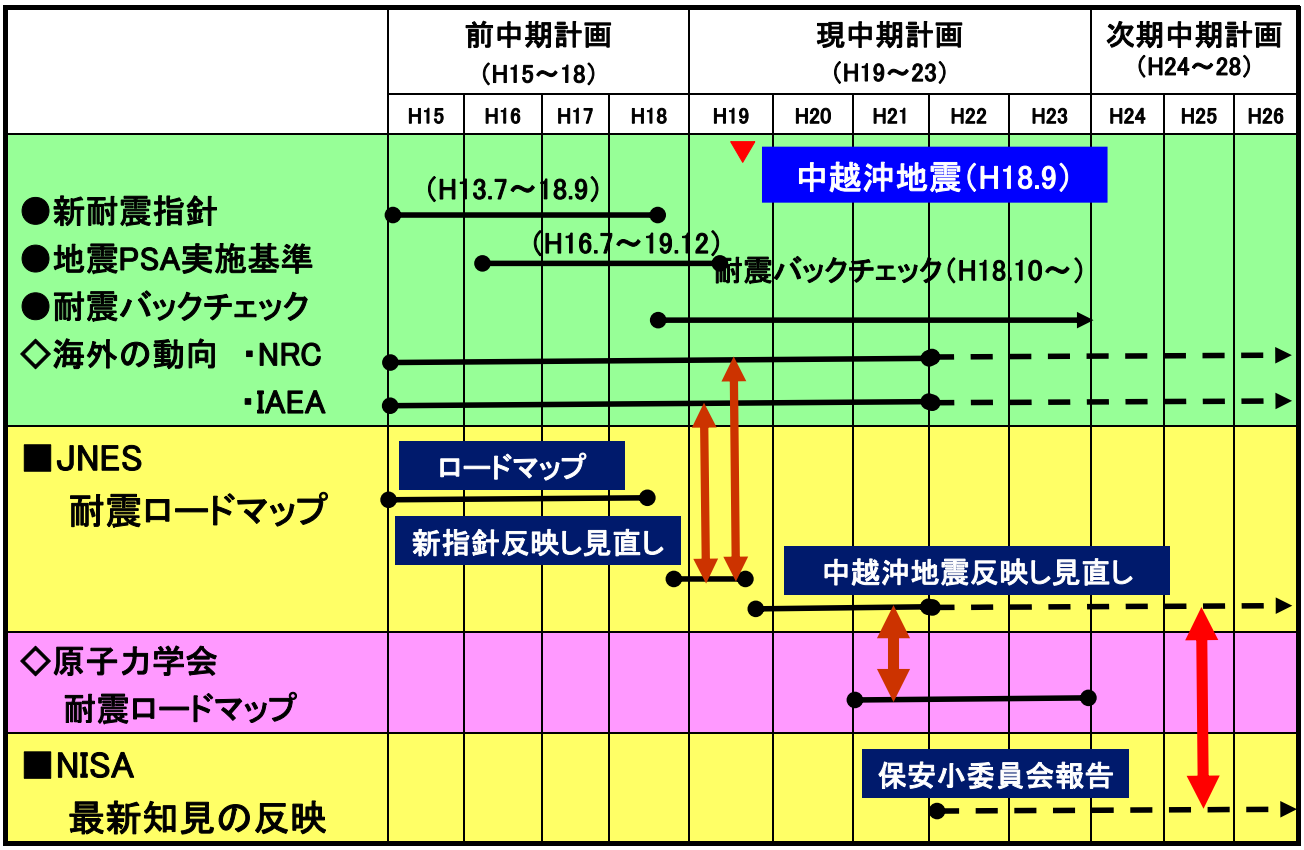
5. 廃炉段階

（技術分類）
- ○ 長期保管に関する課題
  - 地下処分後の地震動，造山運動への対応

6. コミュニケーション等

- 国民への透明性、説明性、分かりやすさ、双方向コミュニケーションに係る検討
- 耐震設計審査指針のあり方（性能指針）の検討

JNES耐震安全ロードマプスケジュール



Ⅱ．原子力耐震・構造研究拠点プロジュクト
―JNES柏崎耐震安全センタの活動―

■ 研究拠点の目的　新潟工科大学、東京電力、JNESが共同で柏崎・刈羽地域周辺で、国際的最先端の地震観測ネットワーク、観測データ解析システム等を構築し、耐震設計の信頼性を向上させる研究拠点を新潟工大に整備する。

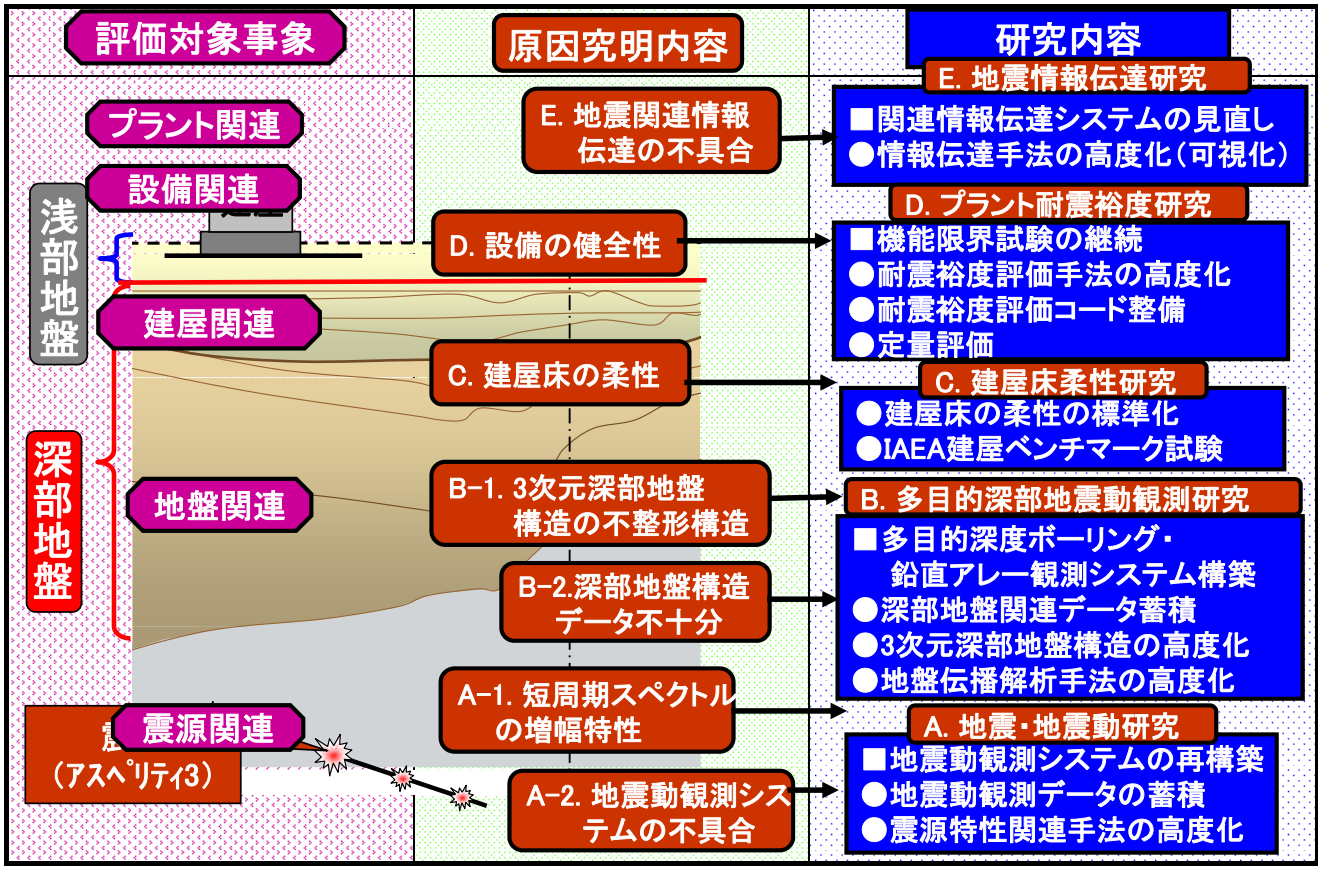
拠点において、IAEA等との研究協力や人材育成プログラムを実施する。

●申請者：新潟工大　●関係者：東電、JNES
●場　所：新潟工大構内　●補助金申請額：約4.5億
●補助内容：拠点施設・研究設備（研究事業費：各参加者が独自調達）

■ 実施内容：　耐震安全研究
国際耐震安全研修／シンポジウム

原子力耐震・構造研究拠点の構成

JNES柏崎耐震安全センター耐震安全研究計画



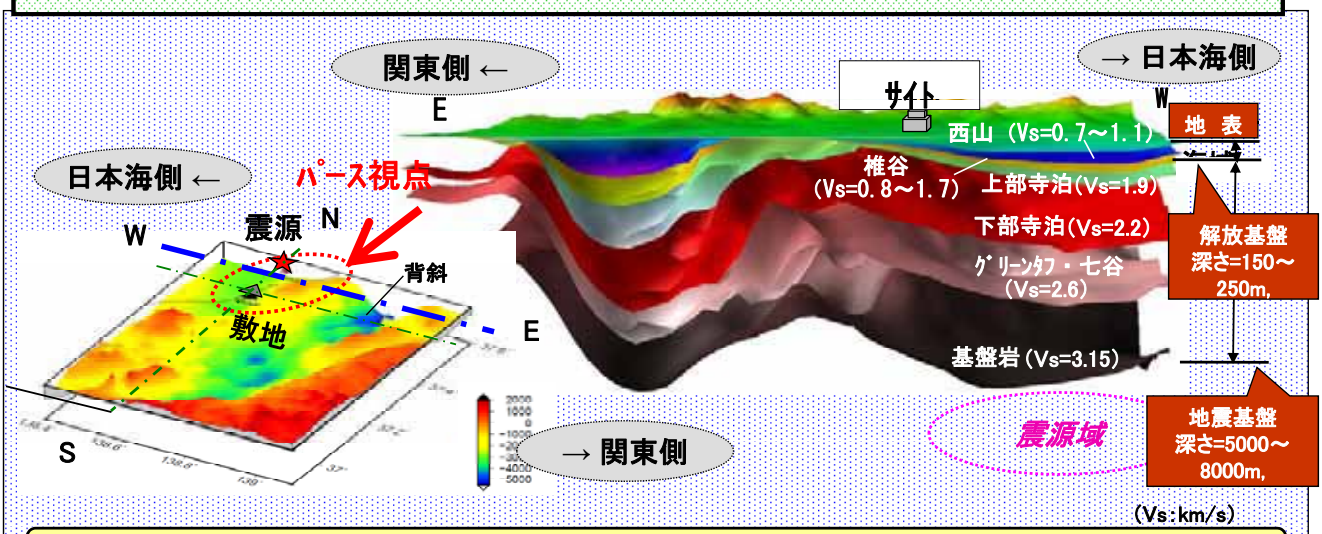
JNES柏崎耐震安全センター事業スケジュール

	現行中期計画(H19～23)			次期中期計画(H24～28)	
	H21	H22	H23	H24	H25
■耐震安全研究		▼H22.12 拠点建屋完成			
Ⅰ. 地震・地震動(別添Ⅰ)					
Ⅱ. 多目的深部地震動観測		H22.4 ボーリング	地震動観測システム運用		
Ⅲ. 建屋床柔性(別添Ⅱ)					
Ⅳ. プラント耐震裕度					
Ⅴ. 地震情報伝達システム	H21.10 試運用		伝達システム運用		
■国際シンポ/研修	H21.11(IAEA/NISA:柏崎)	H22.6頃(JNES/IAEA:柏崎)			
・国際シンポジウム					
・国際研修		H22.1(JNESアジア研修:東京・柏崎)			
◇IAEA					
・国際シンポ					
・国際研修					

B. 多目的深部地震動観測研究

中越沖地震における地震動増幅特性の原因究明用3次元深部地盤構造モデル

① 使用データ　:旧石油公団の基礎試錐、反射法探査、ボーリング調査、地質図等
② 作成方法　:地質構造ー上記データ使用。速度構造ー中越沖地震の余震記録を用いて同定。



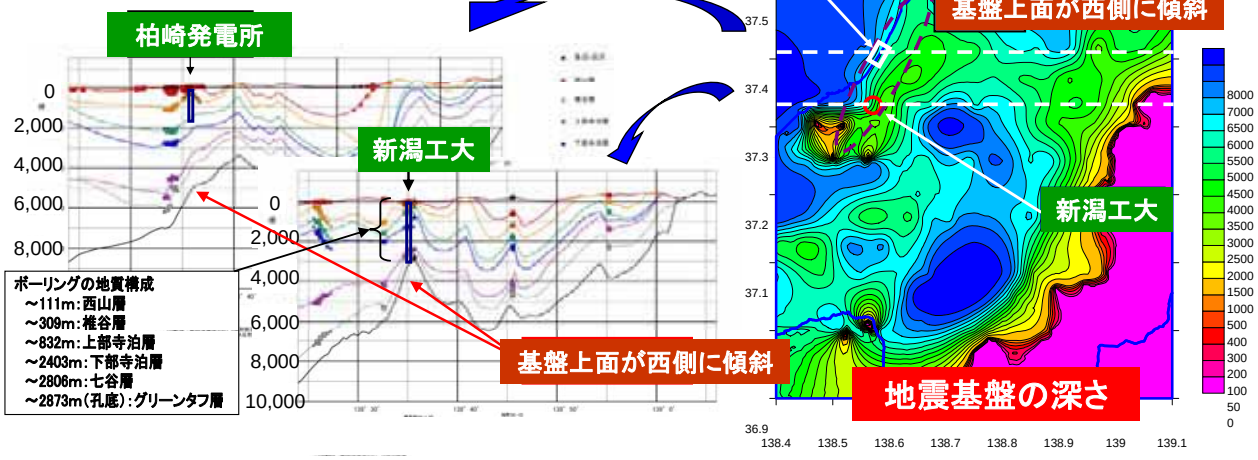
地震動増幅の原因は、深部地盤の不整形構造とせん断波速度の大きな低下層の存在

⇒ 深部地盤構造モデル高度化のために、深部での地盤や観測地震動データが必須であるが、これらのデータが極めて少ないので、整備・蓄積が必要。

ボーリング掘削・観測システム設置（於：新潟工大）

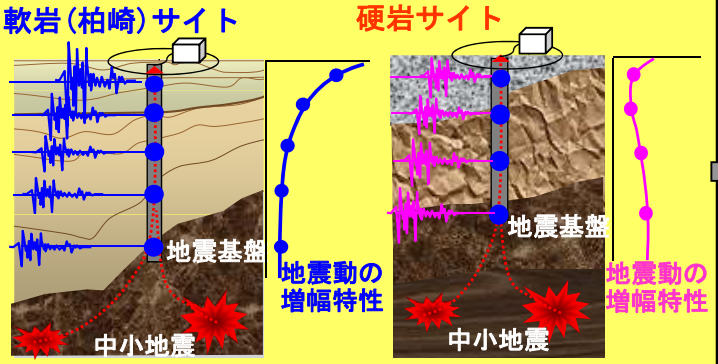
新潟工大敷地での実施メリット

(1) 深部地盤の大局的構造が発電所サイトに類似
　⇒ 柏崎・刈羽発電所サイトと同様の伝播特性の検証が可能
(2) 3,000m程度のボーリングで地震基盤付近に到達する見通し
　⇒ 柏崎地域の厚い全堆積層に関する詳細情報が得られる可能性
(3) 世界最深レベルの地震動観測施設の設置
　⇒ 世界的に注目を集める可能性



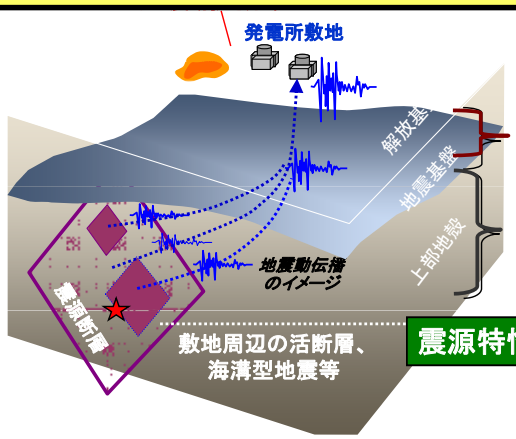
深部地震動観測データの研究成果への活用

深部地盤の地震動観測記録



■耐震安全性評価の高度化
◇軟岩/硬岩立地プラントの
　地震動増幅特性の把握
◇深部地盤増幅特性評価手法高度化
◇大深度ボーリング調査・地震動
　観測システムの技術基準の作成

深部ボーリングの普及促進
・200度対応地震計開発
・多段地震計設置技術開発



敷地で発生する地震動
（＝S＊P＊G）

深部地盤
増幅特性　G

伝播経路
特性　P

震源特性 S

地震動評価の考え方

D.プラント耐震裕度に係わる研究

	設計地震時	設計地震を超えた地震時
システムレベル耐震裕度	「どのような安全系システムが踏ん張ったか？」 ・絶対評価：性能目標との離隔 ・相対評価：性能目標への寄与の大きな事故シーケンス、安全系システム、構造物・機器 (5)強震動下での複数機器の同時損傷	
構造物・機器レベル耐震裕度	「どのような構造物・機器が踏ん張ったか？」 ・絶対評価：機能限界耐力と現実的応答との離隔 ・相対評価：現実的応答評価における、地震動策定、地盤応答、建屋応答、機器応答のうちの寄与の大きな要因 (1)構造物・機器の機能限界試験 (2)地震動特性を考慮した機能喪失メカニズム （地震動特性に模擬と自然の地震動の違いを含む）	(3)高経年化/(4)耐震補強

不確実さ

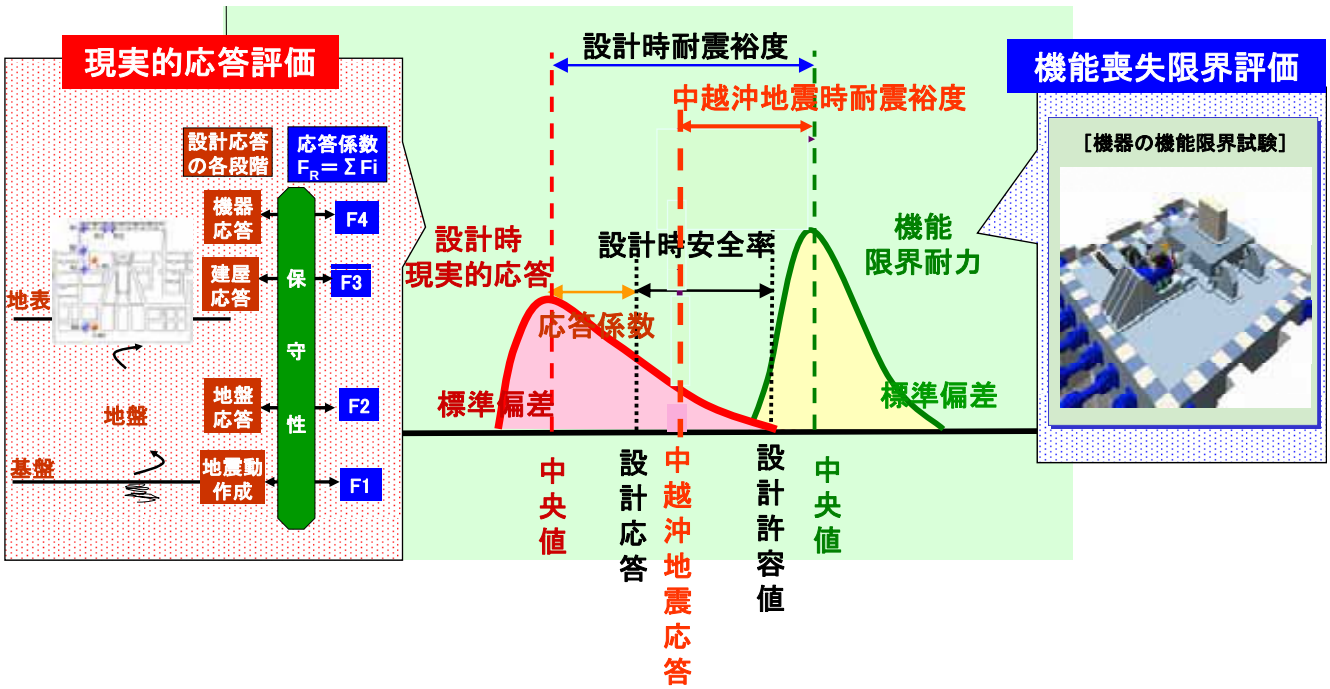
保守性要因

深層防護の考え

■ 安全関連
「システム設計」
・安全系システム：
「多重防護」
・システム内機器：
「冗長性」

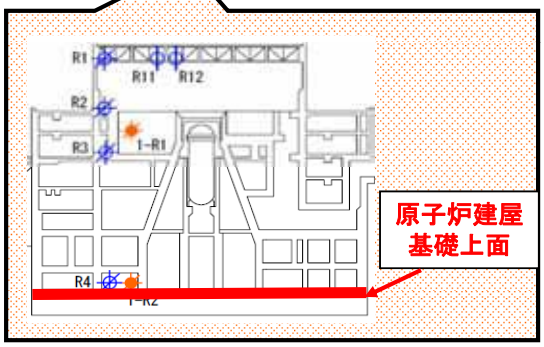
■ 耐震関連
「耐震設計」
・耐　力：
「設計許容値」
・地震荷重：
「設計応答」

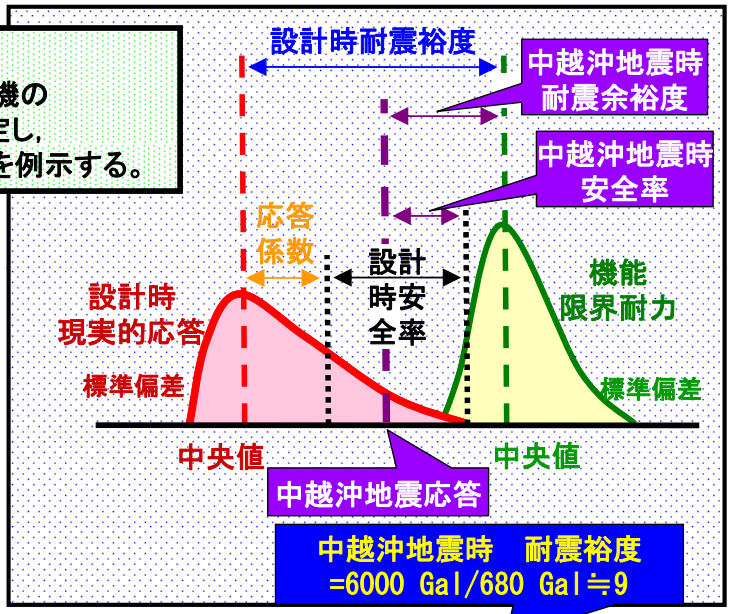
機器レベルの耐震裕度（1/2）



耐震裕度の定量的評価例 （2/2）

■ 評価の前提条件例
よこ形ポンプ、制御棒設備が柏崎刈羽1号機の原子炉建屋基礎上に設置されていたと想定し，公開文献に基づき水平動に対する平均像を例示する。





	設計応答*1	中越沖地震応答*1	設計許容値*2	機能限界値の中央値
よこ形ポンプ（建屋基礎版上設置の場合）	273 Gal	680 Gal	1,400 Gal（軸方向） 1000 Gal（鉛直方向）	6000 Gal*3
BWR制御棒（挿入性）	—	7.1 mm	40 mm	83 mm*4

*1：TEPCO資料　*2：JEAG4601-1991追補版　*3：JNES05基構報-0002　*4：JNES06基構報-0014

E. 地震情報伝達研究

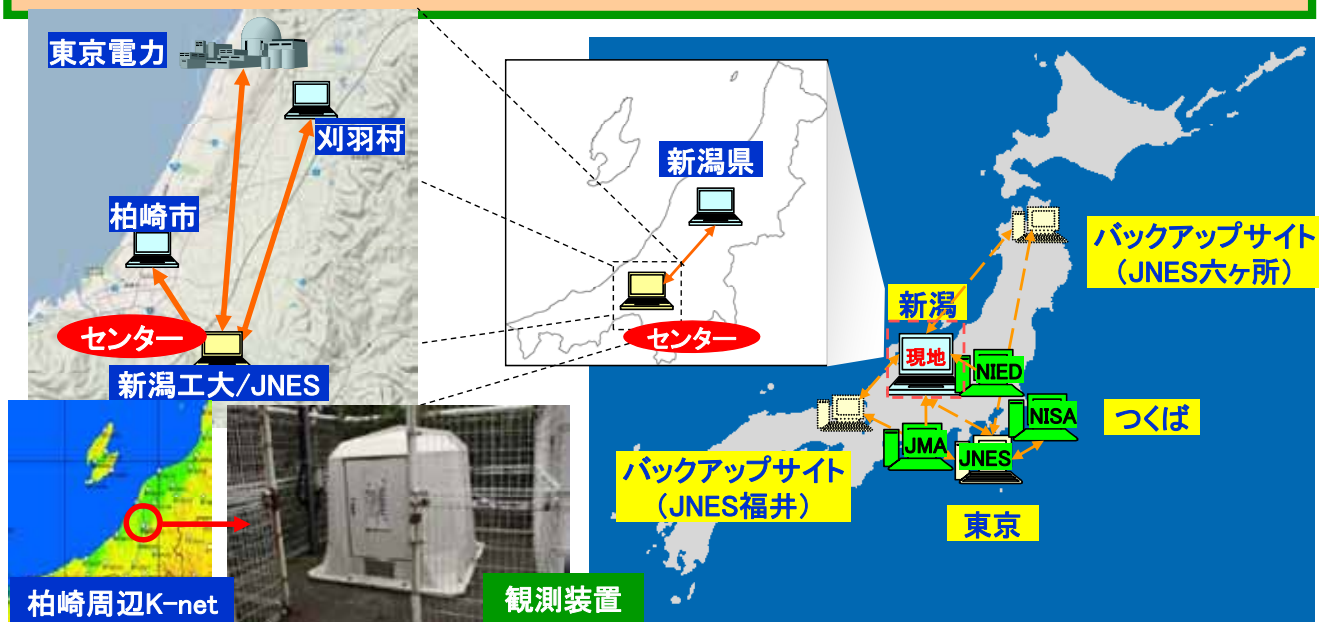
情報の提供元
- 東京電力
- 気象庁
- 防災科研
- 大学　等

信 送受

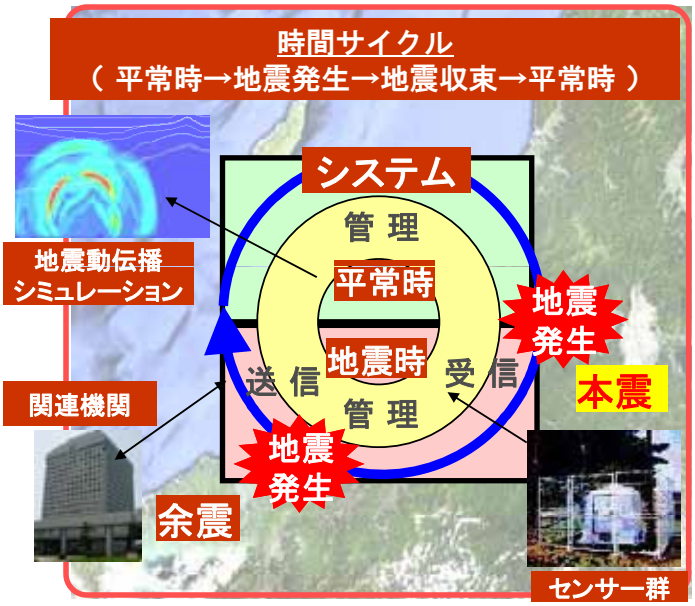
JNES地震情報伝達システム
- 緊急時/平常時両用で情報時間更新
- 自立分散で双方向伝達
- フォーマット公開で可搬型PC
- ソフトウエア無償提供

送受信

情報の提供先
- 新潟県
- 柏崎市/ 刈羽村
- NISA/JNES本部
- 協定締結機関　等

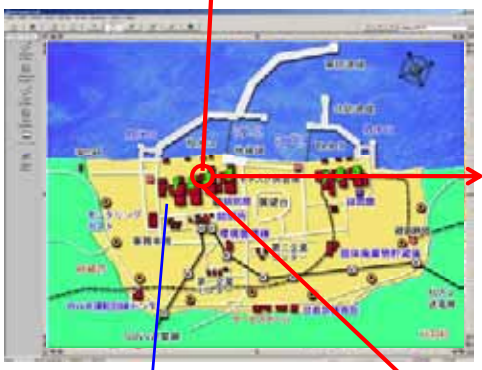


■地震情報の時空間管理

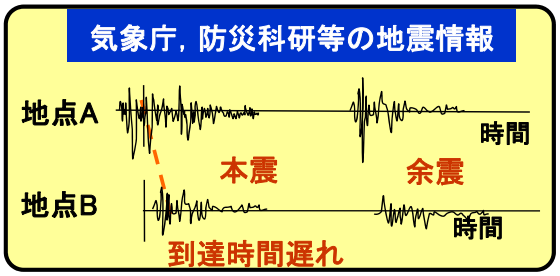


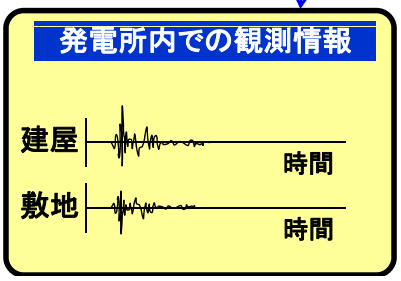
■原子力発電所情報の時空間管理

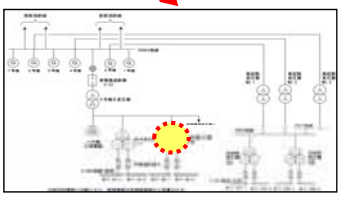
調査



調査情報の時空間管理







系統図

Ⅲ. IAEA国際耐震安全センター（ISSC）の活動

■設立：2009.7

■目　的

1. 新設・既存炉の耐震安全性の促進
2. 耐震安全基準の開発・改良の支援
3. 主な地震後の運転・規制の支援
4. 耐震専門知識の普及

■組織構成

- 原子力安全局
  - 原子力施設安全部
    - 国際耐震安全センタ
    - 規制活動課
    - 安全評価課
    - 運転安全課
    - 研究炉安全課

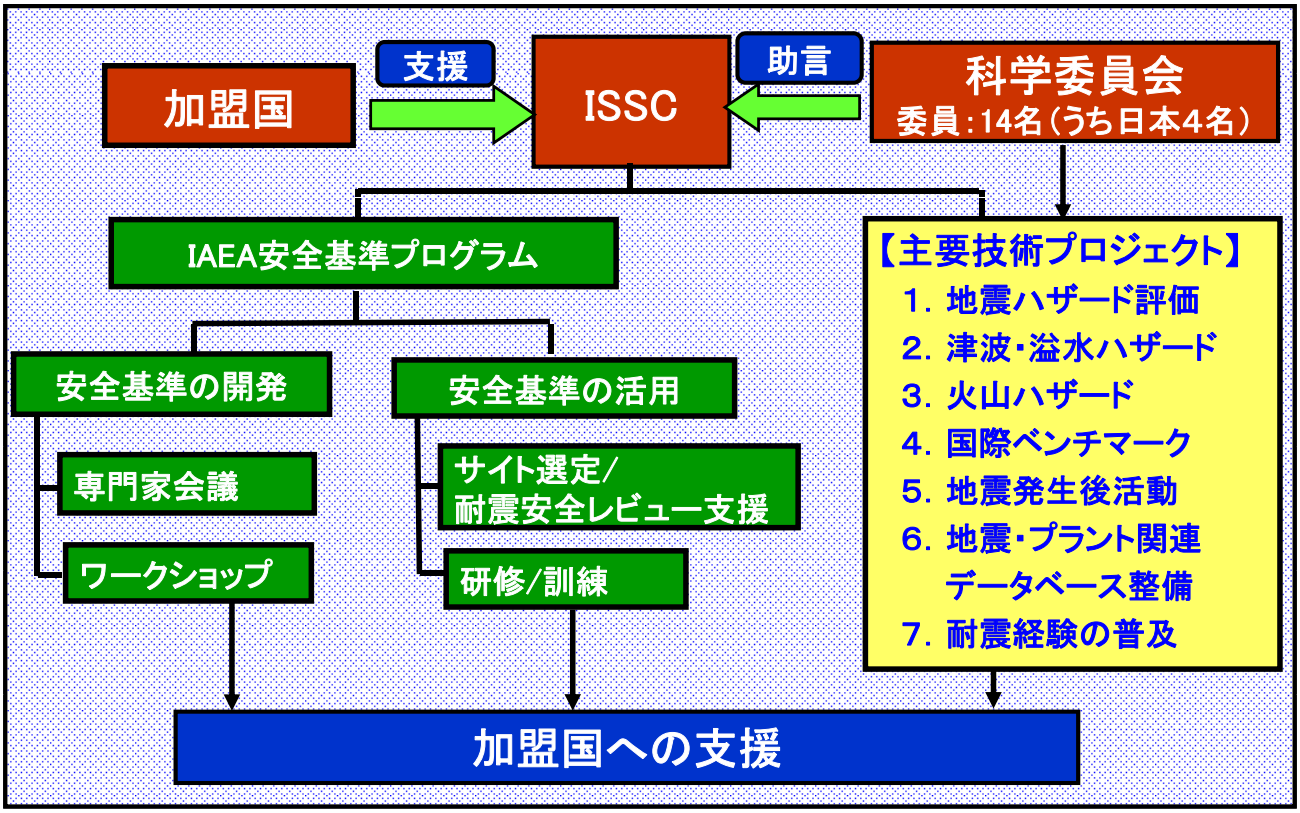
・センター長
・センタ長代理
・専門家5名
（日本3名：NISA,JNES,電力）

■成果の反映

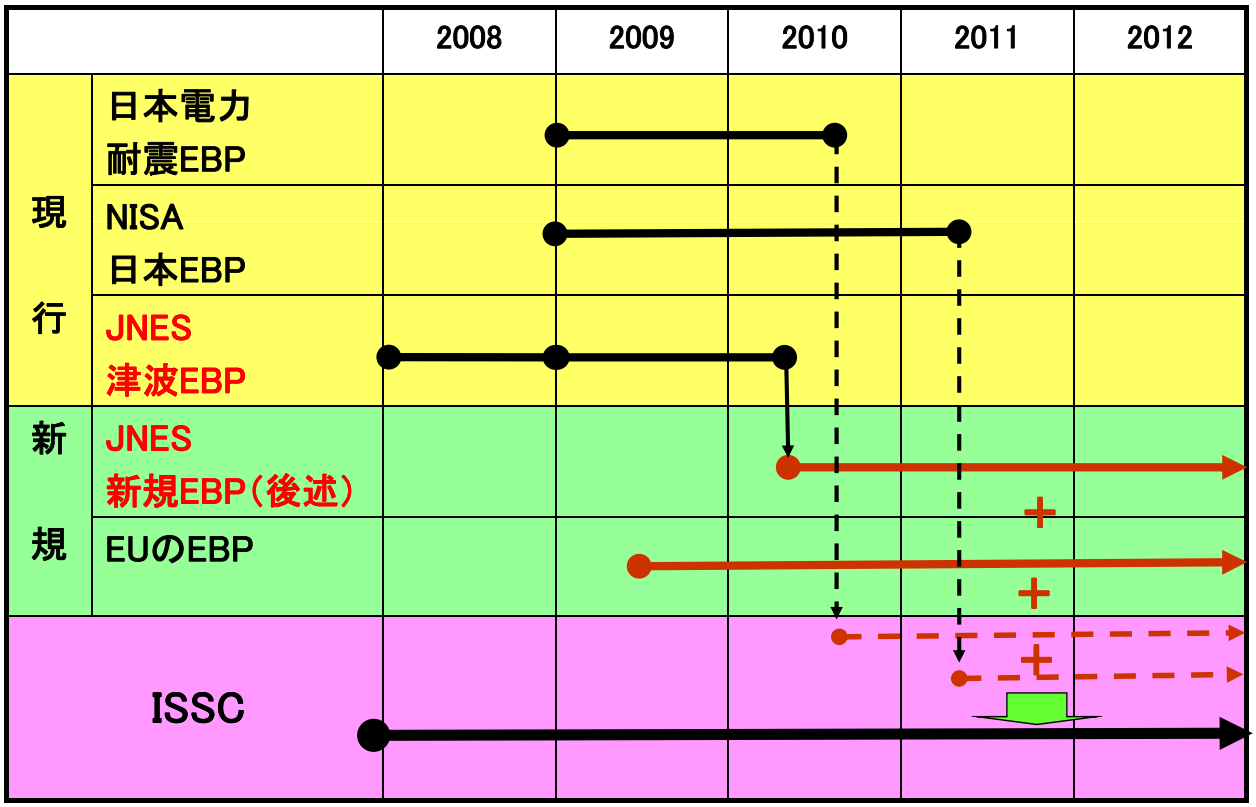
Act. 1	Act. 2	Act. 3	Act. 4
安全基準作成	安全レビュー支援	トピカル・プロジェクトと研究開発	研修支援

Act. 5
知識データベースの整備

ISSCの活動



ISSCのスケジュール



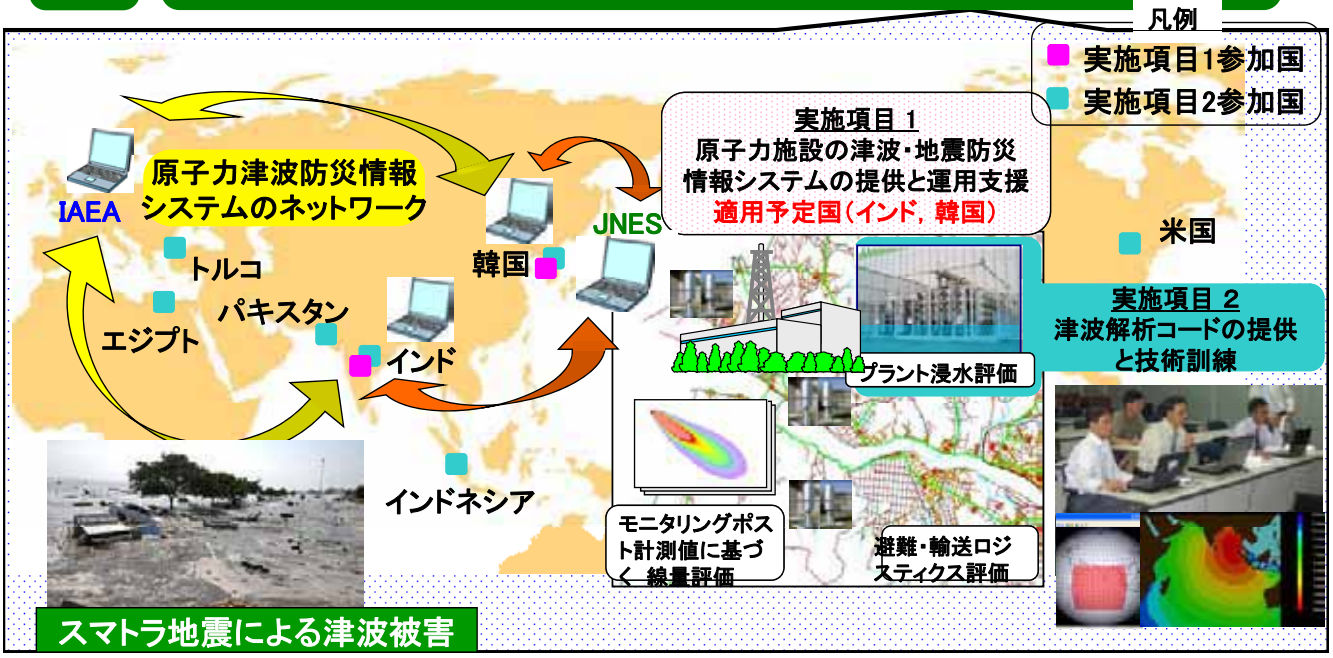
IAEA津波EBP（Extra Budgetary Programme）

IAEA

実施項目：① 津波・地震防災情報システムによる原子力施設と周辺地域の減災
② 原子力施設の津波ハザード評価手法の普及
対象国 ：IAEA加盟国、特にアジア諸国
実施期間：2007.4～2010.3

JNES

JNES開発の津波・地震防災情報システムと津波解析コードの提供および運用支援



Ⅳ. NISA/JNESのISSCへの対応

ISSCの活動

各種EBP
- NISA EBP
- JNES津波EBP
- 日本電力耐震EBP

ACT. Ⅰ：安全基準整備
ACT. Ⅱ：安全レビュー支援
ACT. Ⅲ：研究開発
ACT. Ⅳ：国際研修
ACT. Ⅴ：データベース整備

NISA

■IAEA既存EBP （派遣：1名）

JNES

■IAEA EBP
- ●津波EBP （派遣：1名）
- ●新EBP （派遣：1名継続）
  - ・地震情報伝達 ・多数基立地
  - ・耐震裕度 ・免震技術
  - ・震源を特定せず地震動 等

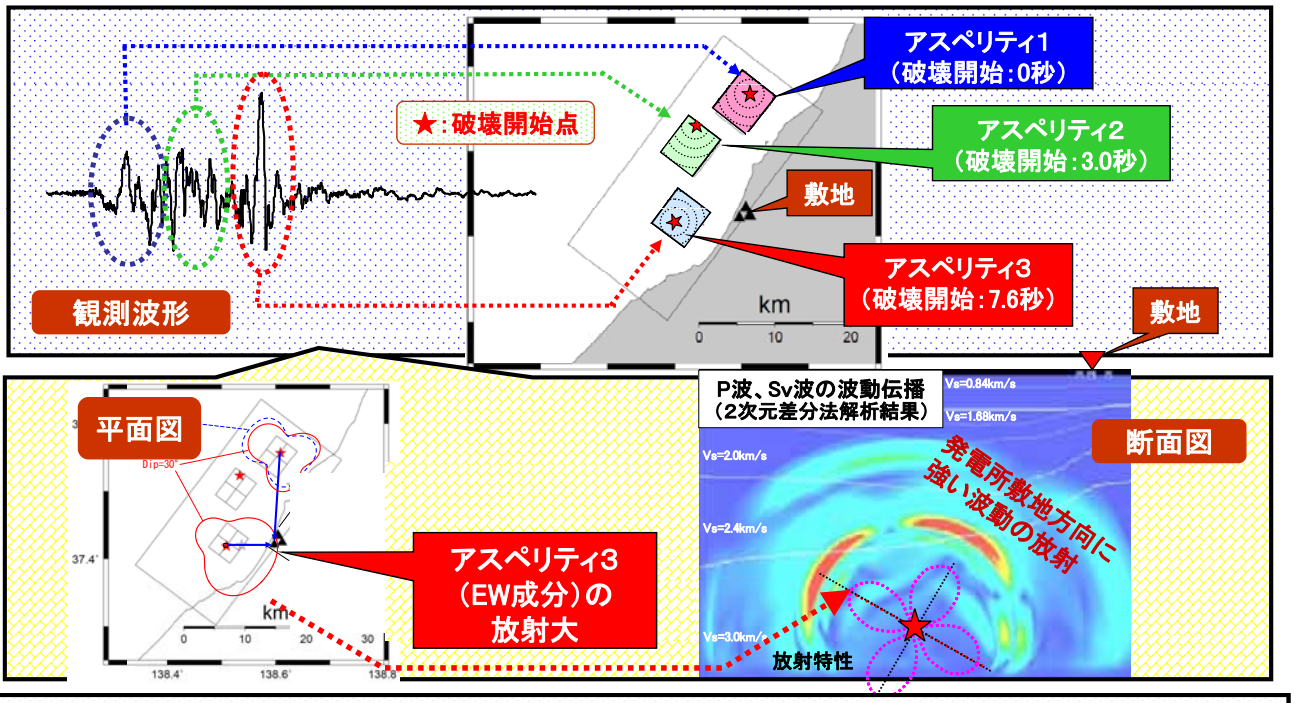
■柏崎耐震安全センタ
- ●耐震安全研究
- ●国際耐震研修/国際シンポジウム

原子カルネサンス：「アジア新規プラントの耐震安全性向上支援」

・日本耐震安全基準のIAEA安全基準への反映 ・我が国の規制/産業界の協働

別添Ⅰ　A. 地震・地震動に係わる研究

3つのパルス波発生の分析結果（1/2）



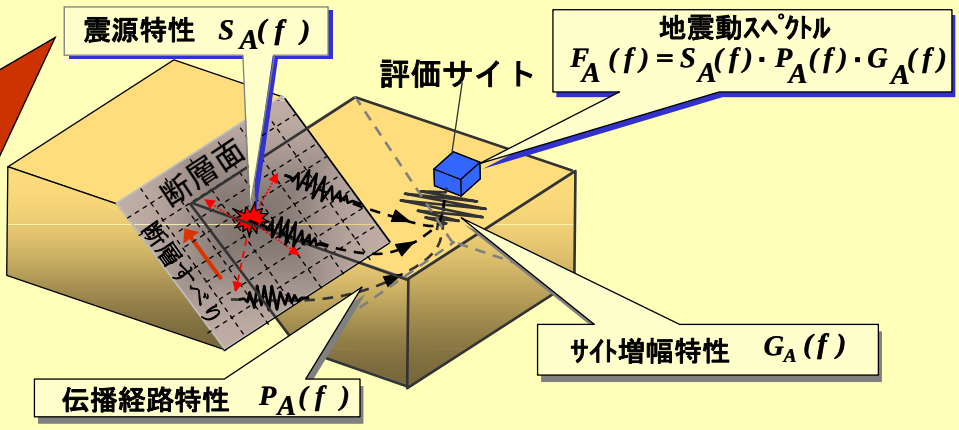
① 3パルス波の発生・大きさは、3アスペリティとその破壊形式（破壊の開始点・時間や伝播方向）が要因
②アスペリティ3は、敷地に極近く、強い地震動を敷地方向に放射
③ 震源断層モデルから推定される短周期レベルは、同規模の地震（Mj6.8）の平均より1.5倍程度高い

断層モデルを活用した基準地震動作成の高度化（1/2）

■断層モデル

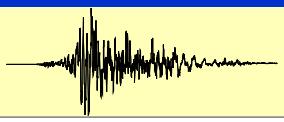
・震源特性、伝播特性、サイト増幅特性に係わる16の断層パラメータで構成

○巨視的パラメータ
・地震発生上限深さ
・断層長さ
（連動の考慮）
・傾き・方向　　等
○微視的パラメータ
・アスペリティの
・個数
・破壊開始点
・応力効果量　等



■断層モデルによる時刻歴波形の評価手法

・断層パラメータの設定：入倉レシピ等で設定

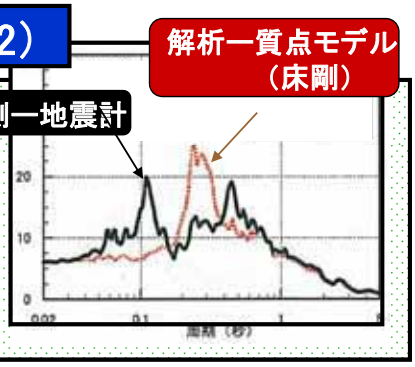


水平応答スペクトル挙動の原因究明方針 (1/2)

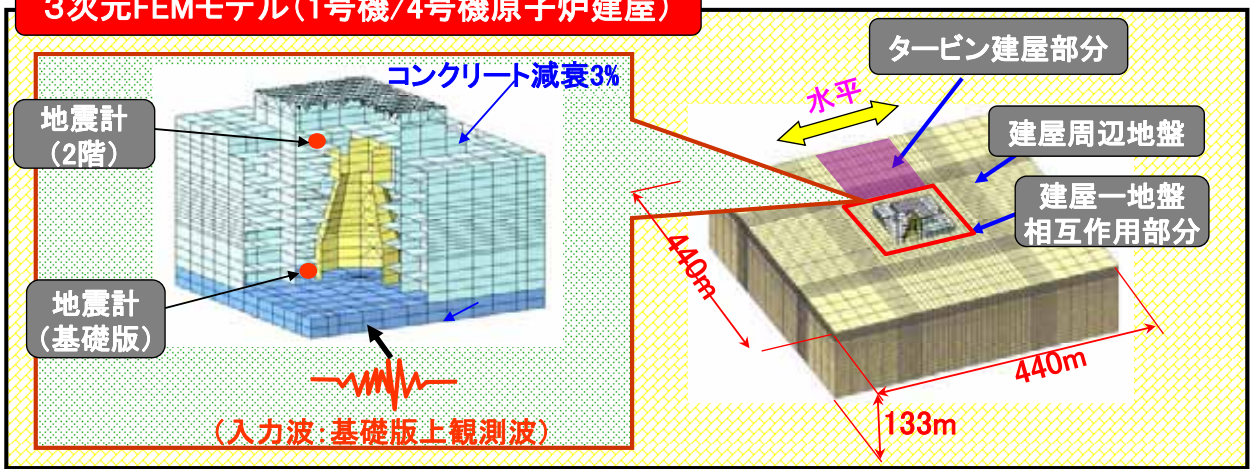
●解析応答スペクトルの形状が大きく異なる。
⇒ 床剛としていたが、実際は柔で、床変形の可能性あり。

●モデル検討の方針
- 床の変形を考慮する。
- 建屋周り局所地盤の非線形化反映の相互作用を考慮する。
- タービン建屋との相互作用を考慮する。

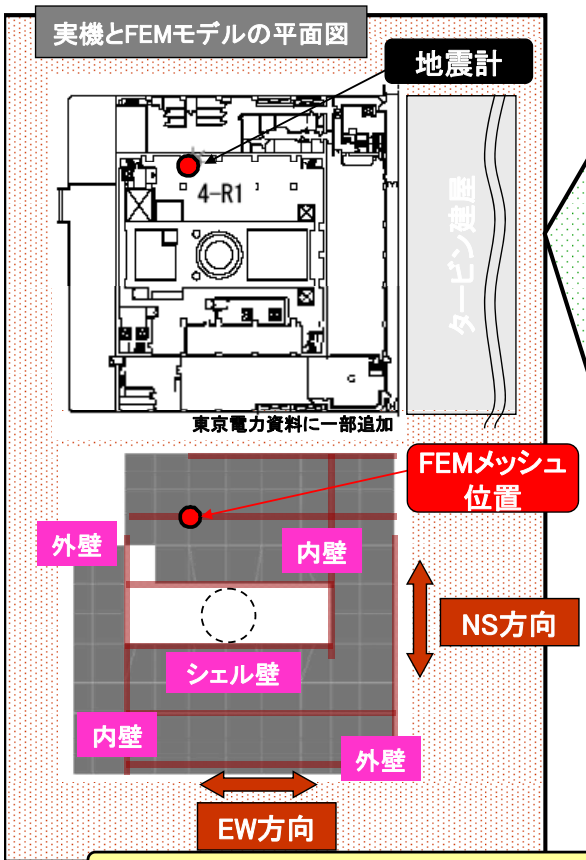
⇒ 3次元FEMモデルで検討

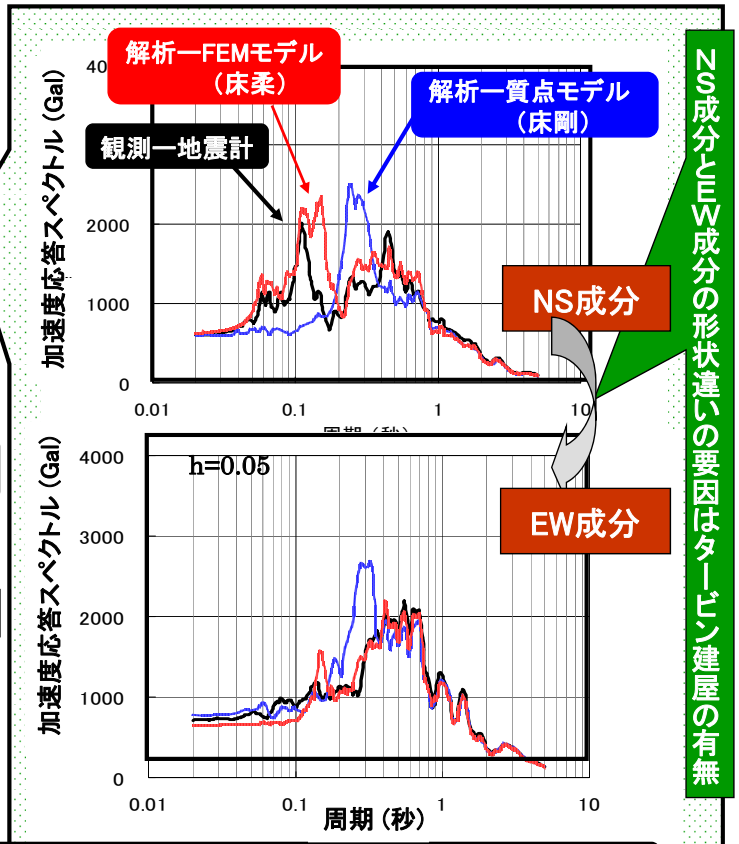


3次元FEMモデル(1号機/4号機原子炉建屋)



4号機の水平応答スペクトルの分析結果(2/2)





FEMモデル解析結果は、観測記録をよくシミュレートしている。床の柔性の考慮が必須。

資料８

日本原子力学会　２００９年秋の大会
特別報告会「柏崎刈羽の復旧と地震安全特別専門委員会の活動状況」
第３部「柏崎刈羽の復旧と国の対応状況」

原子力安全委員会の取り組み

～ 新耐震指針に基づく既設原子力施設の耐震安全性 ～

平成２１年９月１７日

原子力安全委員会
小山田　修

原子力安全委員会の役割（１）

設置・変更許可段階

原子力安全委員会

審査指針類の作成
報告徴収、総理大臣を通じた勧告

「規制行政庁による安全審査」を審査

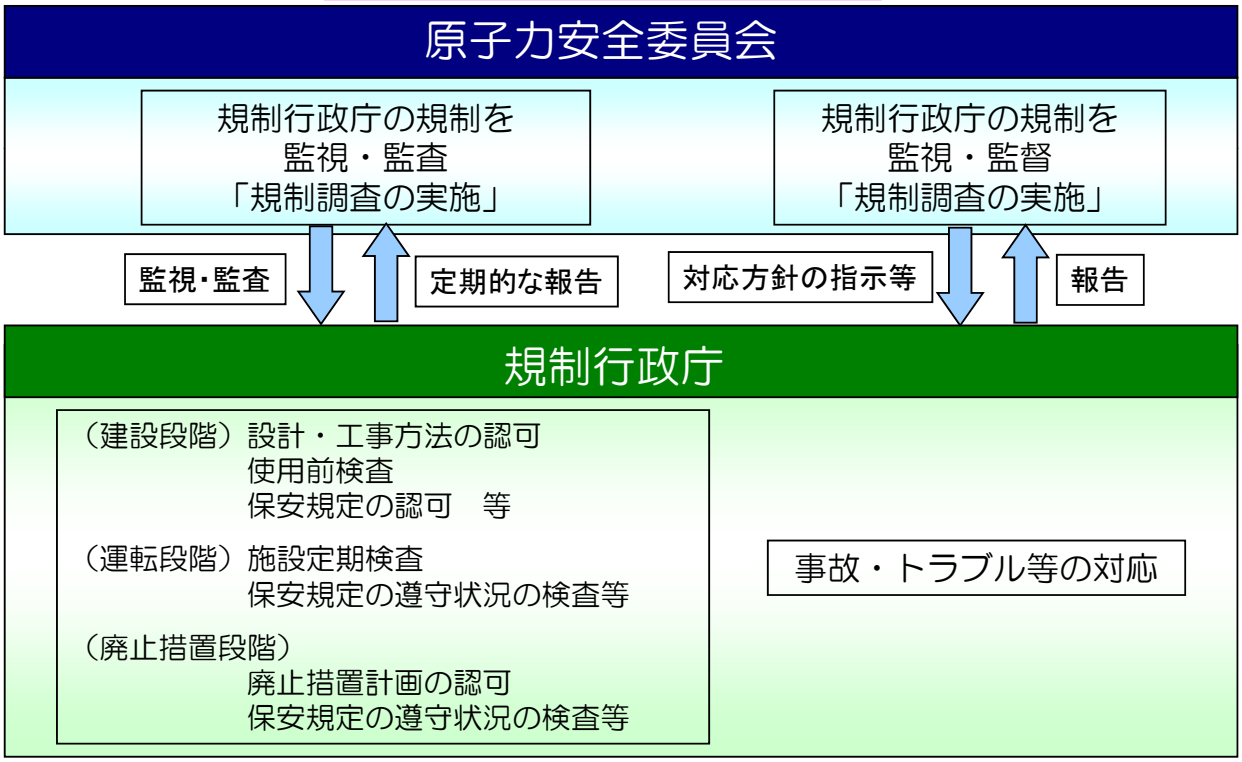
ダブルチェック

規制行政庁
経済産業省
文部科学省

設置許可等のための安全審査

原子力安全委員会の役割（２）

設置許可等の後の安全規制



耐震安全性の確認に関する原子力安全委員会の役割（１）

- 安全に係る科学的判断をより確実に行うため、保安院などの規制行政庁とは独立に原子力安全委員会が**関連分野の専門家から成る委員会を設置し、専門的・中立的な立場から議論を尽くし、自ら判断**する。

- 規制行政庁に対し、あらかじめ検討に当たって考慮すべき点を提示し、検討に**不足がないようにする**。
また、**検討・報告内容をチェック**し、意見を表明し、必要あれば勧告や報告聴取を行う。

- 検討の過程は公開し、判断の**透明性を確保**する。

- **耐震安全性、新潟県中越沖地震に関する検討**については、特に当委員会の**チェック機能の意義が問われている**と判断。
耐震安全性に関連する分野の多数の専門家からなる「耐震安全性評価特別委員会」を平成１９年１２月に設置し、これまで検討を重ねてきた。

耐震安全性の確認に関する原子力安全委員会の役割（2）（柏崎刈羽原子力発電所の確認例）

原子力安全委員会

- 新耐震指針に基づく耐震安全性の確認（バックチェック）を要請
- 「活断層等に関する安全審査の手引き」を策定
- 保安院が検討をする上での重要事項を指摘
  （変動地形学的検討の重視、地域特性・地盤特性の把握、断層モデルの重視、不確かさの考慮等）
- 新潟県中越沖地震の知見（震源特性、地下構造特性）の反映について要請
- 基準地震動策定に関する意見（確認用地震動等）を要請

新耐震指針及び上記の要請事項等に基づき、保安院の評価が適切に行われていることを確認

要請 ↓　↑ 報告

原子力安全・保安院

敷地・敷地周辺の地質・地質構造及び基準地震動の評価に係る報告書（中間報告）

指示 ↓　↑ 報告

東京電力(株)

敷地周辺の地質・地質構造に係る報告書
地震観測データの分析及び基準地震動に係る報告書

説明 ↑

原子力安全委員会の視点

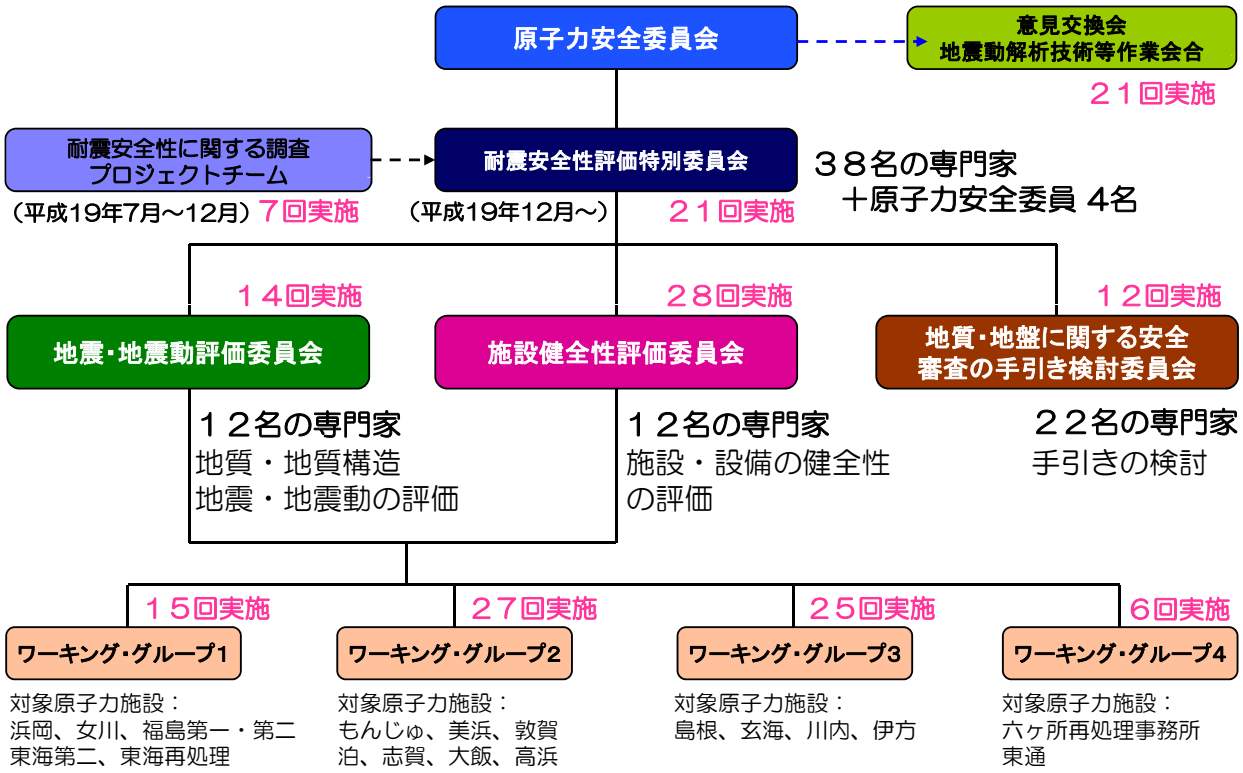
- 新潟県中越沖地震の影響評価
  1. 原子炉建屋の応答評価方法・結果の確認
  2. 安全点検結果の確認
  3. 「止める」「冷やす」「閉じ込める」機能の確認
- 新耐震指針への適合性
  1. 活断層等調査
  2. 基準地震動Ssの評価
  3. 基準地震動Ssに対する施設健全性評価
  4. 弾性設計用地震動Sdによる評価
  5. 旧耐震指針との関連性

審議に当たっての基本方針

1．想定を超える地震動が観測された事実に真摯に向き合い、それを**深刻に受け止め反省**
2．地震という自然現象に**謙虚に学ぶ**科学的姿勢を重視
3．新耐震指針による耐震安全性再評価（バックチェック）に当たって**最新の知見を反映**
4．科学的不確かさが評価に与える影響を考慮し、それでも安全が確保されるように、**不確かさを適切に考慮**
5．国民への説明性を高めるため審議過程の**透明性を徹底**
6．保安院及び事業者にも**情報開示の徹底を要請**
7．基本的**安全機能の維持確認**を最優先
8．**原資料・データにもとづく審議**を適時に行うため、事業者から直接、説明を受ける
9．**保安院と同時並行的に審議**

調査審議の体制

平成２１年９月1日現在



耐震安全性評価特別委員会等の構成員（1/2）

耐震安全性評価特別委員会

以下38名　＋　原子力安全委員 4名

委員長　：　入倉孝次郎　（愛知工業大学）

副委員長：　秋山　宏　（東京大学）
　　佃　栄吉　（産業技術総合研究所）

委員　：
池田　安隆　（東京大学）
伊藤　智博　（大阪府立大学）
岡本　孝司　（東京大学）
鹿島　光一　（電力中央研究所）
釜江　克宏　（京都大学）
京谷　孝史　（東北大学）
桑原　文夫　（日本工業大学）
古関　潤一　（東京大学）
笹谷　努　（北海道大学）
住田　裕子　（ふじ合同法律事務所）
高橋　滋　（一橋大学）
塚田　隆　（日本原子力研究開発機構）
中西　友子　（東京大学）
中村友紀子　（新潟大学）
東原　紘道　（防災科学技術研究所）
宮下由香里　（産業技術総合研究所）
山岡　耕春　（名古屋大学）
米山　望　（京都大学）
石田　瑞穂　（海洋研究開発機構）
大谷　圭一　（防災科学技術研究所）
奥村　晃史　（広島大学）
加瀬　祐子　（産業技術総合研究所）
川瀬　博　（京都大学）
隈元　崇　（岡山大学）
越村　俊一　（東北大学）
小長井一男　（東京大学）
白鳥　正樹　（横浜国立大学）
高倉　吉久　（東北放射線科学センター）
谷　和夫　（横浜国立大学）
徳山　英一　（東京大学）
中埜　良昭　（東京大学）
西村　昭　（産業技術総合研究所）
松岡　裕美　（高知大学）
持尾　隆士　（近畿大学）
山崎　晴雄　（首都大学東京）

耐震安全性評価特別委員会等の構成員（2/2）

地震・地震動評価委員会

12名

主査：
佃　栄吉（産業技術総合研究所）

副主査：
釜江　克宏（京都大学）
山岡　耕春（名古屋大学）

委員：
石田　瑞穂（海洋研究開発機構）
大谷　圭一（防災科学技術研究所）
奥村　晃史（広島大学）
隈元　崇（岡山大学）
笹谷　努（北海道大学）
東原　紘道（防災科学技術研究所）
松岡　裕美（高知大学）
宮下由香里（産業技術総合研究所）
山崎　晴雄（首都大学東京）

施設健全性評価委員会

12名

主査：
秋山　宏（東京大学）

副主査：
伊藤　智博（大阪府立大学）
白鳥　正樹（横浜国立大学）

委員：
大谷　圭一（防災科学技術研究所）
岡本　孝司（東京大学）
鹿島　光一（電力中央研究所）
桑原　文夫（日本工業大学）
小長井一男（東京大学）
塚田　隆（日本原子力研究開発機構）
中埜　良昭（東京大学）
中村友紀子（新潟大学）
持尾　隆士（近畿大学）

地質・地盤に関する安全審査の手引き検討委員会

22名

主査：
入倉孝次郎（愛知工業大学）

副主査：
杉山　雄一（産業技術総合研究所）
中田　高（広島工業大学）

委員：
伊藤　洋（電力中央研究所）
上田　圭一（電力中央研究所）
岡村　行信（産業技術総合研究所）
奥村　晃史（広島大学）
釜江　克宏（京都大学）
川瀬　博（京都大学）
隈元　崇（岡山大学）
笹谷　努（北海道大学）
鈴木　康弘（名古屋大学）
高橋　滋（一橋大学）
高橋　智幸（秋田大学）
谷　和夫（横浜国立大学）
佃　栄吉（産業技術総合研究所）
徳山　英一（東京大学）
翠川　三郎（東京工業大学）
宮下由香里（産業技術総合研究所）
山岡　耕春（名古屋大学）
山崎　晴雄（首都大学東京）
山中　佳子（名古屋大学）

柏崎刈羽原子力発電所６号機・7号機の新耐震指針によるバックチェックについて

柏崎刈羽原子力発電所7号機の新耐震指針によるバックチェックについて ～　基本的考え方　～

原子力安全委員会の基本的考え方

◆　原子力発電所の耐震安全性は、①適切な基準地震動の策定、②同地震動に基づいて決められる建物・構築物基礎下の入力地震動の設定、③それに対する施設健全性の３要素が相俟ってはじめて、総合的かつ確実に確保される。

原子力安全委員会から保安院への指摘

◆　7号機に関し、旧耐震指針による入力地震動と新耐震指針に基づく今回の基礎版上入力地震動との違いについて、当初設計において工学的判断から見込まれていた安全余裕との関連も含めて、わかりやすく明示すること

◆　耐震強化工事の考え方や強化箇所の選定の考え方を示すこと

◆　主要かつ代表的な施設について、新耐震指針に即した弾性設計用地震動Ｓｄ及び静的地震力による評価を示すこと

柏崎刈羽原子力発電所7号機の新耐震指針によるバックチェックについて ～　検討の視点　～

1.　新潟県中越沖地震の知見の反映
- 震源を特定せず策定する地震動(震源断層の想定)
- 基礎版上の入力地震動

2.　活断層評価
- 新手引きを踏まえた調査・評価
- Ｆ－Ｂ断層の長さ
- 佐渡海盆東縁断層

3.　基準地震動
- 確認用地震動の策定(Ｆ－Ｂ断層の断層モデル)
- 震源を特定せず策定する地震動(最大規模の地震)

4.　地盤の安定性
- 敷地近傍の活断層の変位に伴う基礎地盤の変形

5.　７号機の耐震安全性評価
- 新旧耐震指針の対応
- 弾性設計用地震動Sd及び静的地震力による評価
- 当初設計時のモデル修正
- 耐震安全性評価に係る品質保証
- 耐震強化工事

柏崎刈羽原子力発電所７号機の新耐震指針によるバックチェックについて ～　原子力安全委員会の見解　～

評価のまとめ

◆　柏崎刈羽原子力発電所7 号機を対象に報告された、基準地震動Ss、弾性設計用地震動Sd、旧耐震指針における基準地震動S2 の大きさを、それぞれの地震動がもたらす建物、機器の弾性応答等の解析結果について詳細に確認。

◆　新潟県中越沖地震発生以降、耐震裕度が低いと予想される物については耐震強化工事が行われた。それらのうち、耐震設計上重要な施設の大部分は、補強以前のデータから強化以前においても基準地震動Ss、弾性設計用地震動Sd の評価基準値を満している。

◆ ７号機に関する限り、基準地震動S2と弾性設計用地震動Sd及び新潟県中越沖地震動はほぼ同程度の大きさを持っていると推察される。

◆　このように大きな基準地震動Ss に対して施設の耐震安全性が保たれている理由は、旧耐震指針に示された静的地震力、基準地震動S1、基準地震動S2による耐震安全性評価の多重性並びに各施設の地震応答評価結果が持つ保守性により、施設自身の設計段階の耐震裕度が十分にあったことにあることも明らとなった。

柏崎刈羽原子力発電所７号機の新耐震指針によるバックチェックについて ～　原子力安全委員会の見解　～

当初設計時のモデル修正

東京電力㈱は、7号機の原子炉建屋、タービン建屋、コントロール建屋について、以下の解析を行っている。

◆　コンクリート剛性を実際の平均的な強度をもとに見直した剛性を用いて設計時のモデルを修正した地震応答解析結果と、設計時のコンクリートの設計基準強度から求めた剛性を用いた地震応答解析結果を比較

◆　耐震要素として補助壁を考慮して設計時のモデルを修正した地震応答解析結果と補助壁を考慮しない場合の地震応答解析結果を比較

◆　新潟県中越沖地震の知見を踏まえ、表層地盤の回転ばねを考慮しないように解析モデルを修正した地震応答解析結果と、表層の回転ばねを考慮した地震応答解析結果を比較

◆　これらの解析結果を確認し、保安院が、いずれの場合においても顕著な差異はみられず、基準地震動Ssに対する施設の耐震安全性に関する評価結果に支障を与えるような影響を認められなかったと評価していることは、適切であると判断。

柏崎刈羽原子力発電所７号機の新耐震指針によるバックチェックについて ～　原子力安全委員会の見解　～

基準地震動Ssによる耐震安全上重要な施設の機能確認（機器・配管系）

◆　今般の保安院の評価結果については、構造ＷＧにおける検討を踏まえつつ、バックチェックルールに沿って行っており、耐震安全上重要な施設の機能確認を適切に行ったものであり、保安院の判断は妥当。

柏崎刈羽原子力発電所６号機の新耐震指針によるバックチェックについて ～　検討の視点　～

検討の視点

保安院によるバックチェックルールの観点からの評価に加え、

- ➢　当初モデルの変更
- ➢　弾性設計用地震動Sdに関する検討
- ➢　耐震強化工事の考え方等

等の視点から、6号機の耐震安全性評価を概括し、7号機との相違点等に重点をおき検討

柏崎刈羽原子力発電所６号機の新耐震指針によるバックチェックについて ～　原子力安全委員会の見解　～

以下について確認

- ◆　当初設計時からの主な解析モデルの修正については試験結果等との整合があること
- ◆　6号機の施設及び機器の耐震安全性評価の手法や荷重の組合せの基本的な方針は7号機と同様であり、評価基準値を満足していること
- ◆　弾性設計用地震動Sdによる地震力等により評価を行った結果、弾性範囲にあること
- ◆　耐震強化工事について、耐震強化の考え方及び耐震強化工事の選定について整理して示されていること

◆　今般の東京電力による6号機の耐震安全性評価について保安院の確認は適切に行われており、保安院の判断は妥当なものと考える。

新耐震指針によるバックチェックについて

（柏崎刈羽原子力発電所を含む全てのプラント）

新耐震指針のポイント

1. 最新の調査手法を総合した徹底的な活断層調査
（調査対象範囲拡大、変動地形学等の重視、連動性の考慮等）

2. 基準地震動の評価方法の高度化
① 「震源を特定して策定する基準地震動」の評価方法の最新化
（敷地近くは断層モデル重視、3次元的地域特性・地盤特性等の考慮、不確かさの考慮、等々）
② 「震源を特定せず策定する地震動」の敷地ごとの評価
（詳細な調査によっても活断層が発見できない場合を想定した地震動も評価）
③ 「残余のリスク」の最小化（基準地震動を超える地震動が発生した場合であっても、事故につながるリスクを小さくするよう、詳細設計・施工等において考慮）
④ 基準地震動（Ss)による安全設計の余裕・信頼度について、弾性設計用地震動（Sd）による確認要求

活断層等に関する安全審査の手引きのポイント

1．リニアメント重視から地形発達過程（地形の成因を含む）重視への移行
（成因を重視した変動地形学的調査、地表地質調査及び地球物理学的調査を総合、活断層に加え、活撓曲や活褶曲等についても十分に調査）

2．各手法による調査結果の総合的な検討の重要性
（各手法で調査結果が異なる場合はそれらの結果を相互比較して妥当性を検証し、総合的に判断）

3．断層の三次元的形状の把握の重要性
（三次元弾性波探査等を使用し、活断層の三次元構造を可能な限り把握）

4．一貫した考え方にもとづく活断層の認定
（活断層の認定については、一貫した認定の考え方により判断）

5．必要に応じ調査原資料に立ち返った審査
（安全審査に当たっては、できる限り原資料を確認）

なお、本手引きは、基準地震動に係る事項等の追加及び今後の新しい知見・技術と経験の蓄積に応じて、適宜、見直す。

21

どのようにして耐震安全性を再確認するか？

1．現時点の最新の科学的知見を反映して安全性を確認する。

2．*科学的不確かさが評価に与える影響を考慮し、それでも安全が確保されるようにする。*

3．専門家が徹底的に議論を尽くし、論点を可能な限り俎上に載せて検討する。

22

科学的不確かさの考慮

1. 評価に当たっての不確かさの考慮
（地質調査結果、地震記録、地震学的知見を踏まえ、影響が大きなパラメータを考慮した評価）
① 活断層等評価に当たっての不確かさの考慮
各種調査手法を駆使して総合的に評価、短くて孤立した断層を考慮、連動性を考慮、等々
② 地震動評価に当たっての不確かさの考慮
断層モデル重視（とくに、震源が近い場合）、地震動を過小評価しないように条件を設定、等々

2. 建屋基礎下の入力地震動と設備健全性の安全余裕の確保
土木・建築、機械設計における安全余裕の確保、等々

耐震バックチェックの検討のポイント

バックチェックの検討に際し、各ワーキング・グループで認識の共有化を図り、各WG間で整合性のある検討を実施するため、検討の範囲や内容等を検討のポイントとして以下を踏まえて策定。

○活断層等に関する安全審査の手引き
○新潟県中越沖地震で得られた知見
○柏崎刈羽原子力発電所のバックチェック等で得られた知見等

なお、WGにおけるバックチェック結果の検討過程において、この検討のポイントに追加すべき事項等が見出された場合には、必要に応じて見直す。

検討のポイント（活断層関係）

特に考慮すべき事項

○変動地形学的調査、地表地質調査及び地球物理学的調査等の各手法を適切に組合せた十分な調査

調査手法、調査精度、調査結果の信頼性を確認
調査の原資料の確認　等

○各手法による調査結果の総合的な検討

○活断層の三次元的構造の把握

長大な活断層帯等の三次元構造の把握に努め、近接する活断層、プレート間地震の複数の震源領域の連動等、活動区間を設定するために必要なデータの精度や信頼度が確認

検討のポイント（基準地震動関係）

特に考慮すべき事項

○検討用地震の選定
- 活動区間の設定
- 長さの短い孤立した活断層や長大な起震断層の震源断層のモデル化

○地震発生層の評価

○基準地震動の策定
- 震源を特定せず策定する地震動
- 不確かさ（ばらつき）
- 断層モデルを重視した評価

○震源が敷地に近い場合の応答スペクトルに基づく地震動評価

○入力地震動

検討のポイント
（地盤の安定性及び地震随伴事象関係）

○周辺地盤の地質・地盤の調査・試験及び解析の結果等に基づいて、敷地近傍の震源断層の活動に伴う基礎地盤の変形が数値計算等により評価されていること。

○地盤の安定性評価

○施設の周辺斜面の安定性評価

○津波に対する安全性

検討のポイント
（施設の耐震安全性関係）

特に考慮すべき事項

○耐震裕度に係る基礎データ

○経年劣化事象の考慮

○評価手法及び結果の信頼性の確認（品質保証）

○耐震強化工事

○弾性設計用地震動の評価の位置づけ等

共通的課題等の検討

重要事項や各ワーキング･グループで共通する課題について、整合的かつ効果的な検討を実施するため、専門家による詳細な検討を原子力安全委員会主催で実施（地震動解析技術等作業会合等）

○活断層の連動性
○横ずれ断層の検討
○震源を特定せず策定する地震動の考え方
○地震随伴事象の検討
　（柏崎刈羽６，７号機、志賀２号機）
○制御棒の挿入性　等

○活断層評価に関する専門家との意見交換会
○「応答スペクトルに基づく地震動評価」に関する専門家との意見交換会

今後の予定

柏崎刈羽原子力発電所の耐震安全性の確認については、個々の号機に関する施設の耐震性安全性評価、特に、原子炉建屋の基礎版の地震動及びそれに対する安全上重要な建物・構築物及び設備・機器類の健全性評価が必要。
これらについては、引き続き、原子力安全・保安院から報告を受けつつ、耐震安全性評価特別委員会において検討を進めていく。

また、柏崎刈羽原子力発電所以外の原子力施設の耐震安全性の確認についても、引き続き、原子力安全・保安院や事業者から説明を受けつつ、耐震安全性評価特別委員会等において検討を進めていく。