

第2回 原子力耐震安全研究委員会

資料3-1

原子力安全基盤機構の 研究実施状況

平成22年7月2日

新潟工科大学 会議室

独立行政法人 原子力安全基盤機構

原子力耐震・構造研究拠点

目的：新潟工大、東京電力、JNESは共同で、耐震設計・安全評価の信頼性向上のための研究拠点を新工大に整備する。IAEA等との研究協力や人材育成プログラムを実施する

研究拠点の枠組み

新潟工科大学

・研究拠点の場所提供/施設の整備・管理 ・関係機関との研究協力 ・人材育成講座設置

共同研究(経年・情報伝達)

研究協議会・原子力耐震安全研究委員会

JNES 柏崎耐震安全センター

事業内容

I. 耐震安全研究

- A. 地震・地震動研究
- B. 深部地盤での地震動観測研究
- C. 建屋床柔性研究
- D. プラント耐震裕度研究
- E. 地震情報伝達システム研究

II. 国際研修

/国際シンポジウム
(IAEAとの連携)

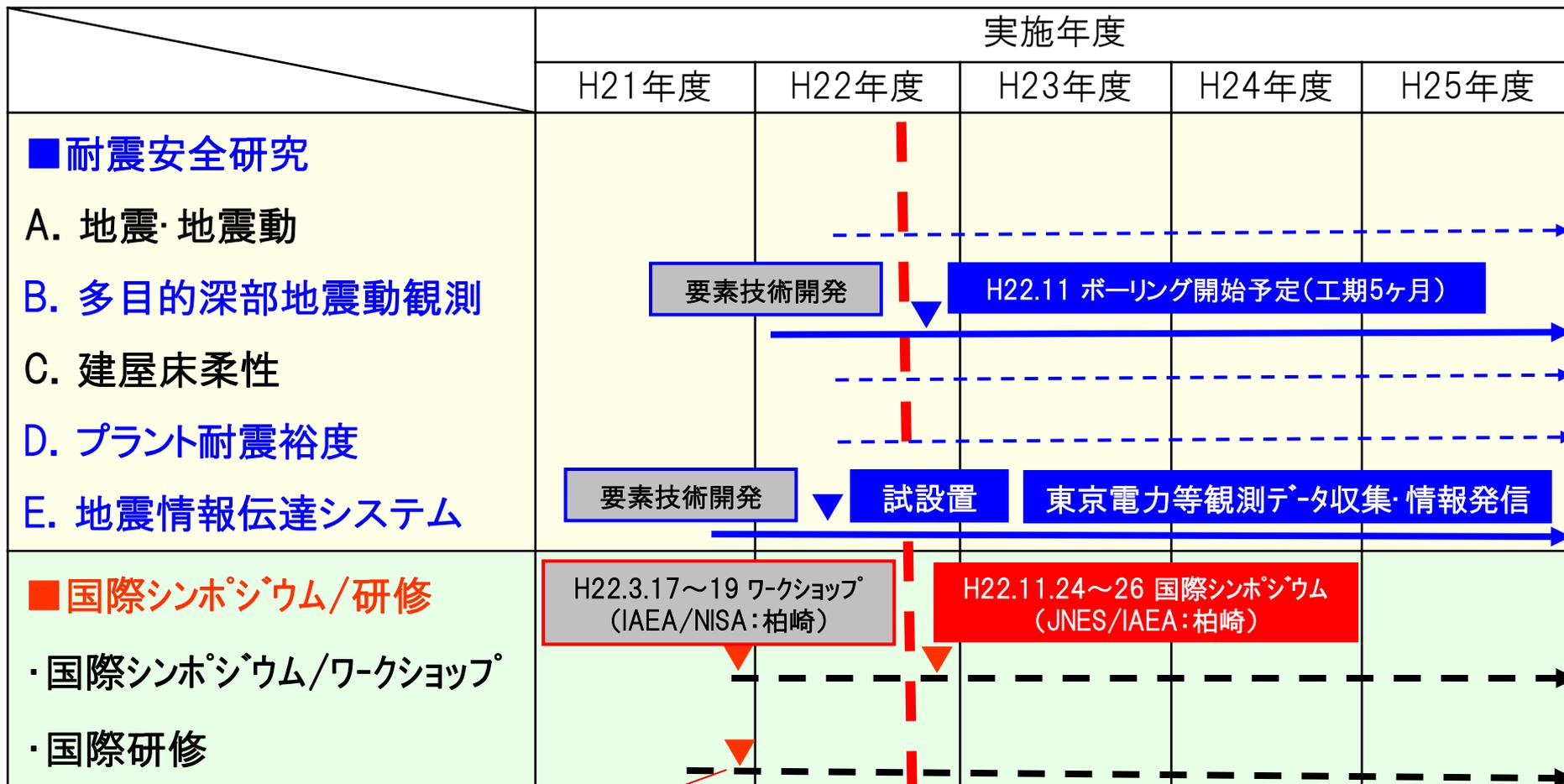
連携

東京電力

事業内容

- ・中越沖地震関連データ整備
- ・地震計設置・データ
- ・施設のシミュレーション

JNES柏崎耐震安全センター事業スケジュール



H22.2.14~26 (JNESアジア研修(東京<14~24>・柏崎NPP・新潟工大<25~26>))

H22.11 拠点建屋完成予定

B. 多目的深部地震動観測

ボーリング調査・観測システム設置場所

■ ボーリング調査・観測システム設置サイト：新潟工科大学

新潟工科大学内で掘削・観測の特徴

- (1) 深部地盤の大局的構造(基盤上面が西側に傾斜)が発電所サイトに類似
⇒ 柏崎・刈羽原子力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
⇒ 柏崎地域に存在する厚い堆積層全てについての情報が得られる見通し
- (3) 世界最深レベルの地震動観測施設の設置
⇒ 原子力耐震・構造研究拠点の設置計画と組み合わせることで、世界的にも注目を集める可能性

〔学内建物等配置図〕

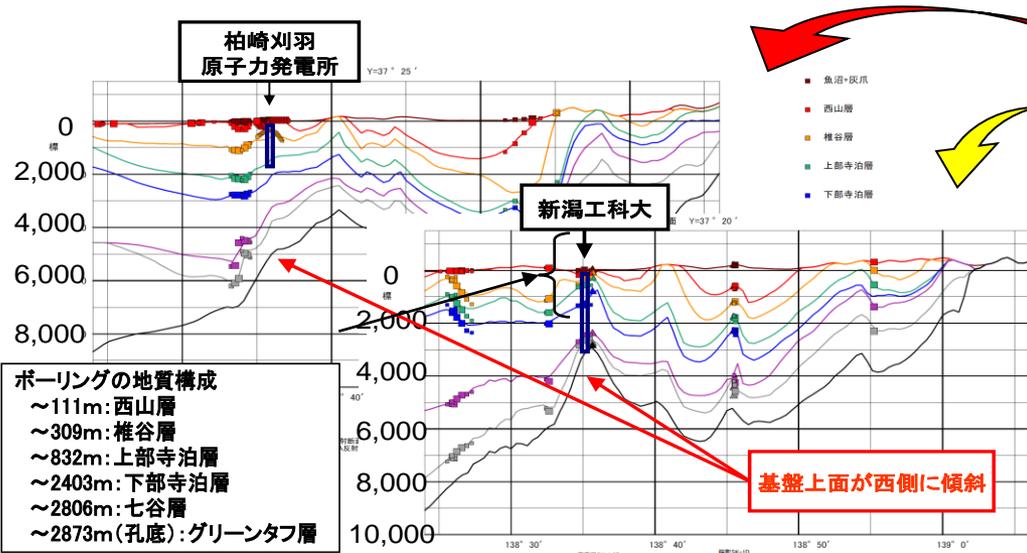
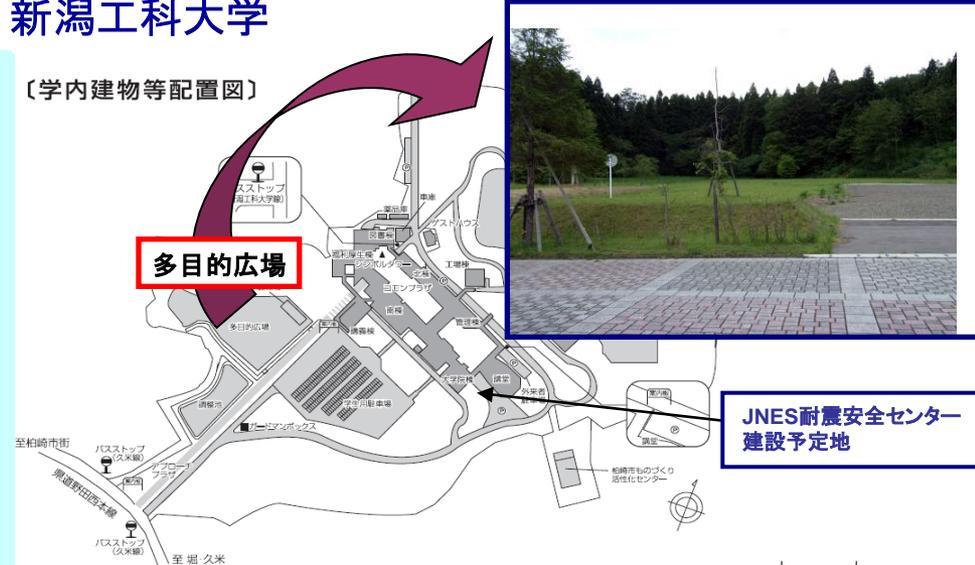


図 東西断面図

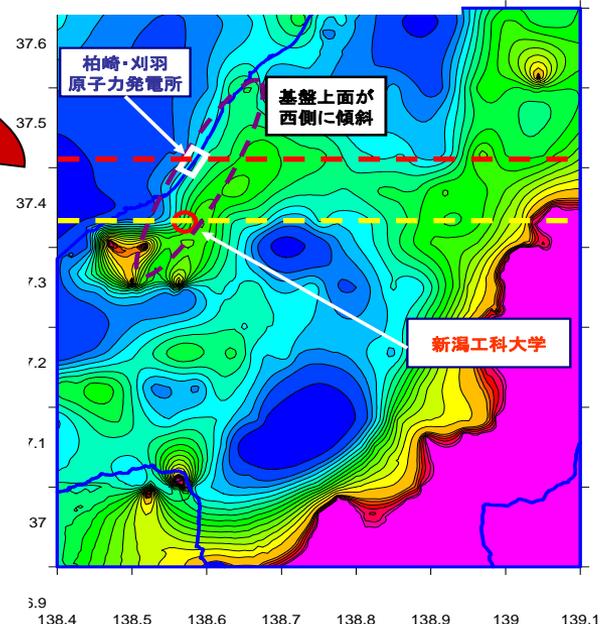


図 上越地域の地震基盤の深さ

深部地盤地震動観測システムについて

主な観測・解析対象: 強震動、常時微動、近地微小地震～

周辺中小地震、高周波低減特性(f_{max})等

■ 孔中型地震計ユニットの仕様

- ・観測成分: 上下・水平動3成分
- ・周波数特性: 0.1Hz～50Hzでフラット
- ・測定レンジ: $\pm 2,000\text{gal}$
- ・分解能: 10^{-5}gal (1Hz)
- ・SN比: 全帯域で100dB以上
- ・高温耐性: 150°C 以上、4～5年程度(孔底用)
- ・高圧耐性: 40MPa以上、4～5年程度(孔底用)

■ ケーブルの仕様

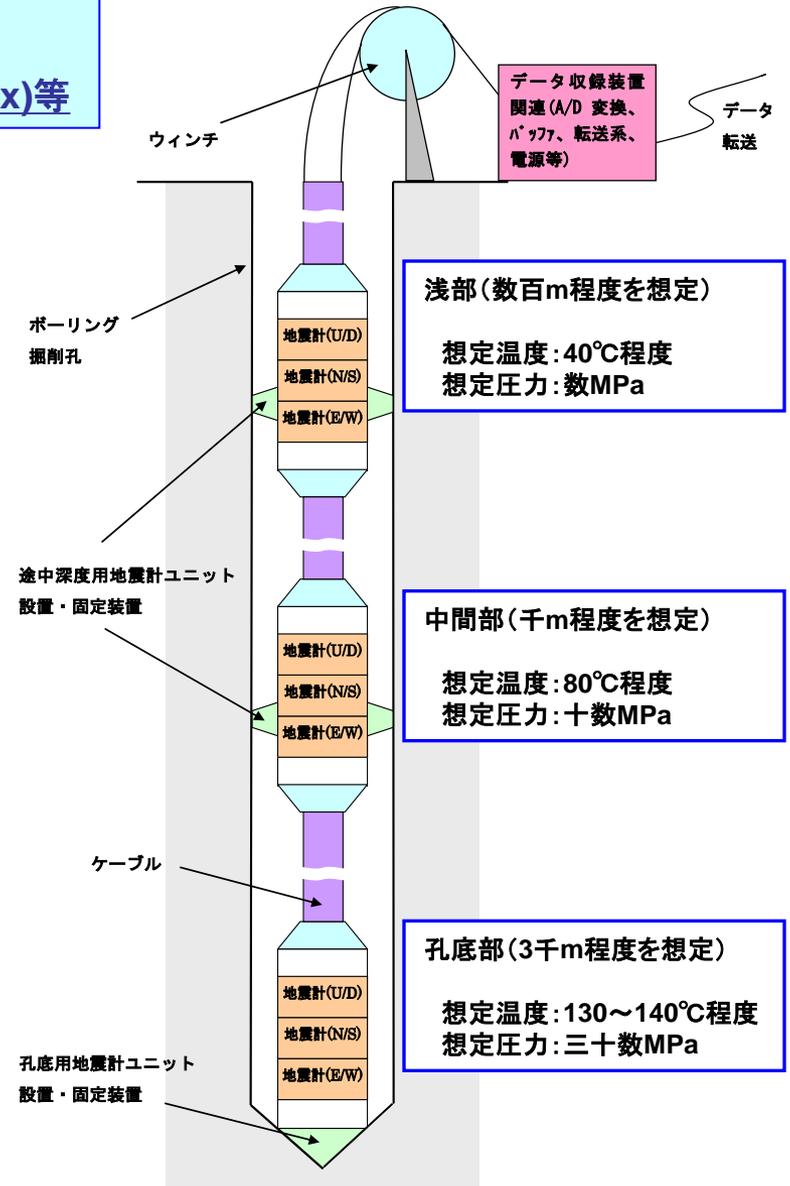
- ・高温耐性: 150°C 以上(孔底～中深度用)
- ・高圧耐性: 40MPa以上(孔底～中深度用)
- ・地震計ユニット3深度分を設置可能な芯線を確保

■ 収録装置の仕様

- ・サンプリングレート: 200Hz以上
- ・データ記録方式: 連続記録方式
- ・データ転送能力: 常時接続回線によるリアルタイムデータ伝送
- ・データ保持能力: 停電時でも半日分程度のデータを保持

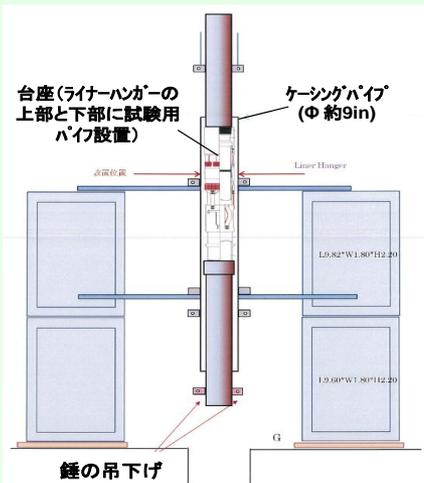
■ 設置・固定装置の仕様

- ・孔中の任意の深度に設置可能
- ・安定した固着能力(強震時のケーブルの振動影響等を確認)
- ・メンテナンス時の確実な回収可能性の確保



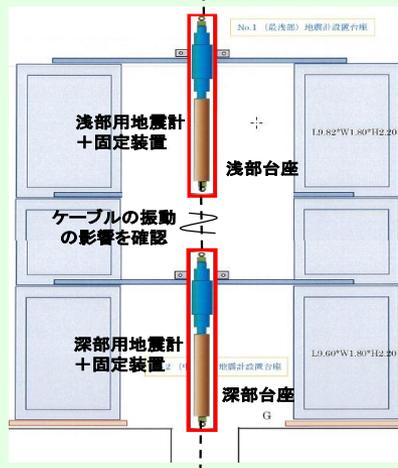
複数深度での地震計設置・固定技術の開発

■地上試験による地震計設置固定装置の動作確認



〔台座の動作確認試験概要〕

- ①クレーンで台座を吊り下げ、ケーシングパイプ内にライナーハンガーで固定
- ②下部に荷重を加え、固定強度を確認
- ③着脱機能を確認



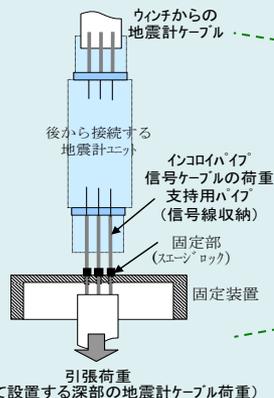
〔地震計固定装置の試験概要〕

- ・深部と浅部の地震計を順番に順次所定の位置に設置可能か検証
- ・地震計の固定度の確認

■地震計ユニット設置におけるケーブル接続方法の強度確認試験

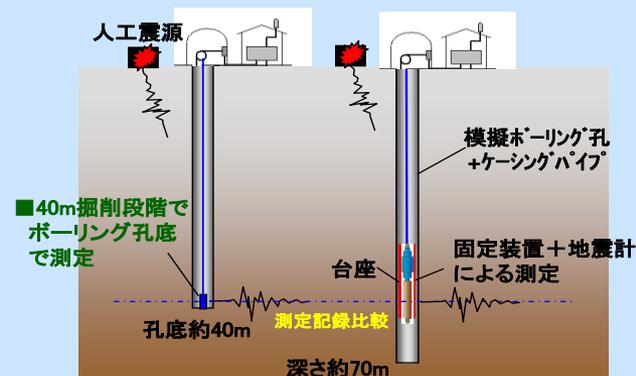
・複数深度に地震計を設置する際の手順、地震計とケーブル接続時に、検討した接続方法が実施可能か否かを判断する試験を実施。

- ①地震計接続時に、先行して設置するより深部の地震計のケーブル荷重を受ける固定装置の保持力の確認
- ②地震計接続後に、ケーブル荷重を固定装置からウインチへの受け換え



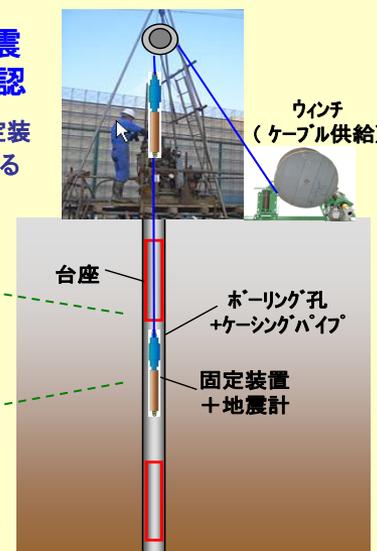
■模擬ボーリング孔による振動特性確認試験

- ・人工震源を与えて地動を計測し、通常ボーリング孔の地動計測結果と比較して観測記録を確認する。



■既設ボーリング孔による地震計設置固定装置の動作確認

- ・既存ボーリング孔で、地震計設置固定装置で地中に地震計が確実に固定できること、回収できることを確認。



深部地盤地震動観測 実施スケジュール

平成21-22年度の実施計画

2009年度				2010年度									2011年度									
11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
■関連する動き <div style="text-align: right; margin-top: 10px;">▼JNES柏崎耐震安全センター完成予定</div>																						
★H21年度 ボーリング掘削実施のための地盤調査・騒音調査及び地震動伝播特性の検討																						
観測候補地選定のための調査 ・掘削地の決定				敷地調査・騒音シミュレーション・報告、 地下構造モデル解析 ・掘削工事計画の策定																		
★H22年度 3,000m級地震観測井のボーリング掘削・調査																						
発注準備									敷地造成			リグ仮設	ボーリング掘削・コアサンプリング						リグ撤去	敷地修復		
★H21年度 深部地震動観測システム(地震計、ケーブル、設置・固定装置等)の試作・試験																						
地震計、ケーブル試作				耐久性試験、設置・固定装置試作・試験 ・高温・高圧加速試験の実施 ・長期孔中試験 ・地震計の決定																		
★H22年度 3,000m級地震観測井設置用の深部地震動観測システムの製作・設置																						
発注準備									地震観測システム(ケーブル、設置・固定装置等を含む)の製作													
																		観測システム設置		(試験)観測開始		本観測開始

D. プラント耐震裕度

I . 耐震裕度研究の背景

柏崎刈羽発電所では、中越沖地震において「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」の機能が確保され、安全が維持された。

その理由は、「耐震裕度」が十分であったためであるとのこと。
耐震裕度がどれ程であったかが求められている。

耐震裕度について、原子力関係のいろいろな分野の専門家の考え方が微妙に違っている。

- 耐震設計関連の専門家は、地震動策定、地盤・建屋・機器の健全性に係わる保守性を挙げ、更に、設計地震荷重の保守性や、設計許容値の保守性だけに言及する方もいる。
- 安全関連の専門家は、上記耐震関連の内容を踏まえた上で、プラント全体の保守性を挙げる方もいる。
更に、耐震、安全関連いずれに対しても、不確実さをどのように見込んで保守性を考えるのかとの専門家もいる。
- 一般の市民の方々は、これらのいずれも含んでいるように見受けられる。

Ⅱ. 耐震裕度の定義、保守性の要因、考慮する項目

	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	<p>「どのような安全系システムが踏ん張ったか？」</p> <ul style="list-style-type: none"> 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 <p>(5) 強震動下での複数機器の同時損傷</p>	
不確実さ		
構造物・ 機器 レベル 耐震裕度	<p>「どのような構造物・機器が踏ん張ったか？」</p> <ul style="list-style-type: none"> 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 <p>(3) 高経年化/(4) 耐震補強</p> <p>(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)</p>	

保守性要因

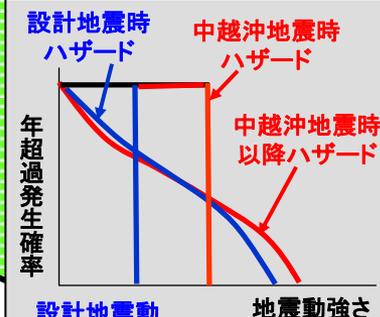
深層防護の考え

■ 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」



システムレベルの耐震裕度

■ 絶対評価：性能目標との離隔

【性能目標】

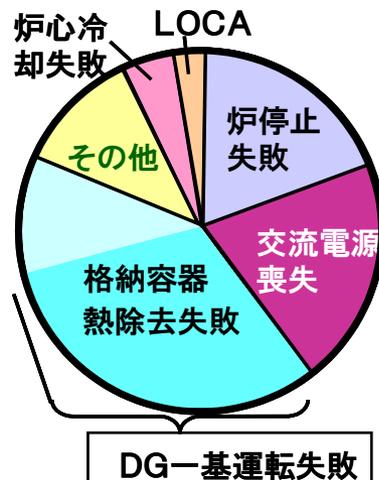
炉心損傷頻度(CDF) 10^{-4} (回/年)、
且つ格納容器損傷頻度 10^{-5} (回/年)

■ 相対評価：性能目標への寄与要因

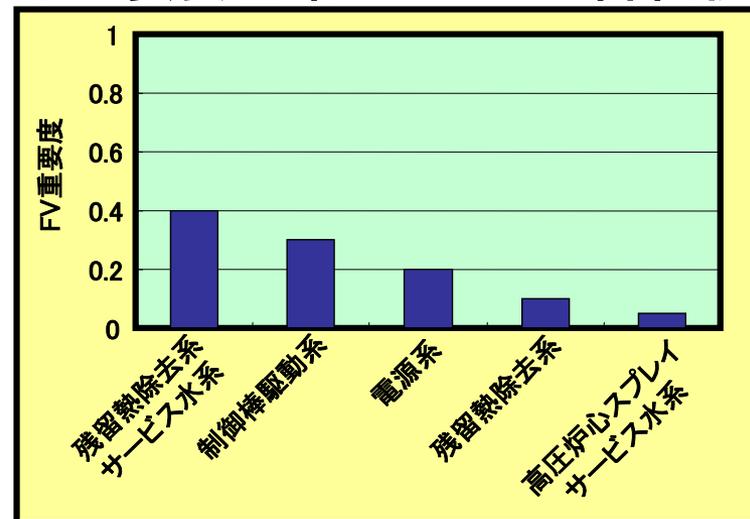
【評価手法】：地震PSAでの重要度解析

構造物・機器の損傷確率を1又は0などの値に変更し、変更がCDFや安全系システム、機器の機能喪失確率に及ぼす影響度合いを求める。Fussell-Vesely指標(対象構造物・機器が100%損傷すると仮定した場合に、CDFがどのように変わるかを%で表す)等がある。

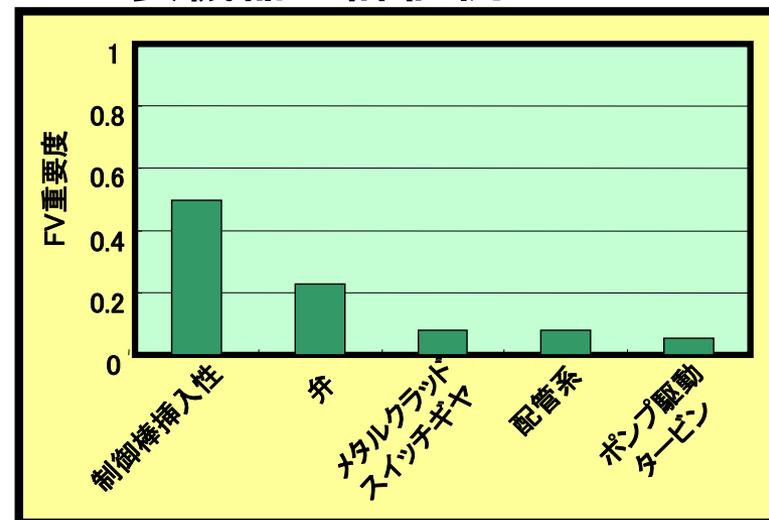
● 起回事象別評価例



● 重要安全系システムの評価例



● 重要機器の評価例

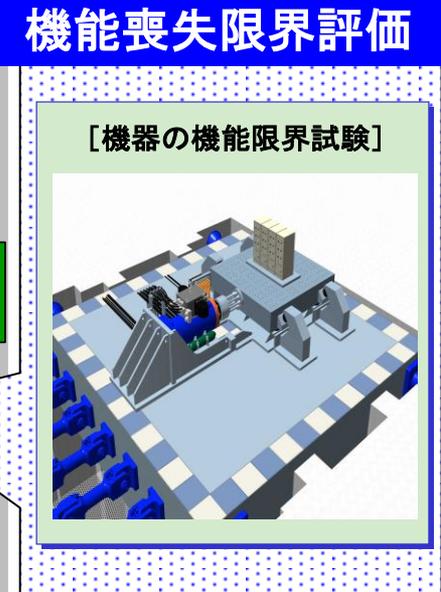
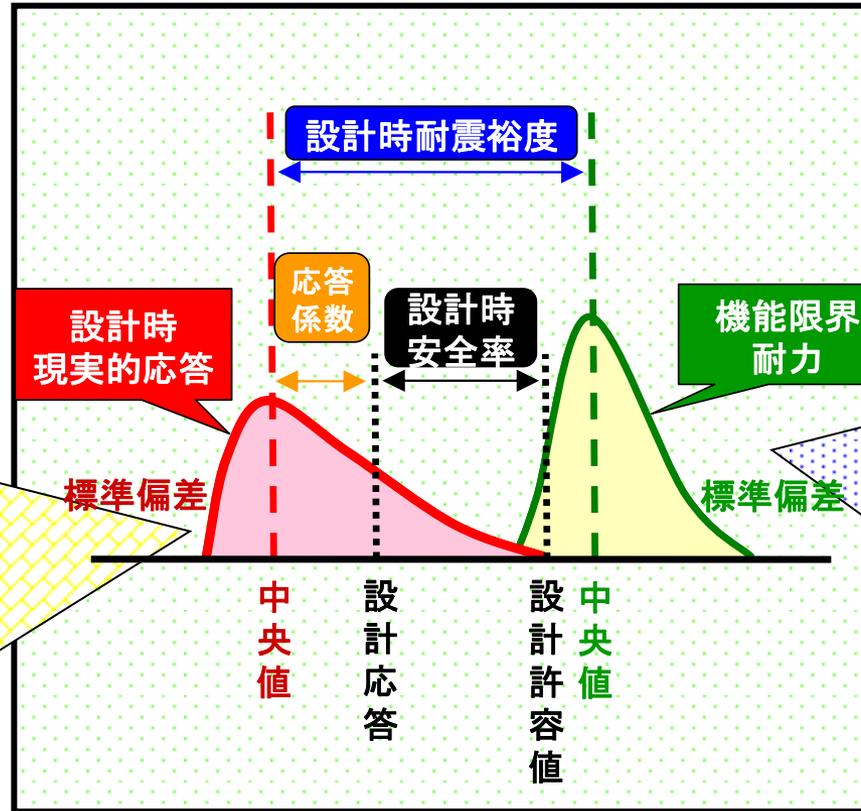
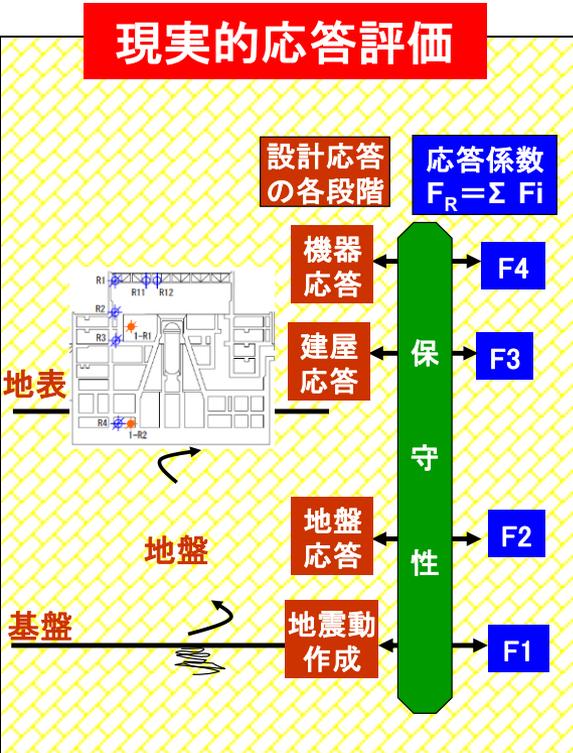


構造物・機器レベルの耐震裕度

- ・ 「機能限界耐力」と「現実的応答」それぞれ分布の中央値を比較することで、耐震裕度の平均像を把握できる。
- ・ それぞれの「標準偏差」を考慮することで、ばらつきも含めた耐震裕度を定量的に把握できる。

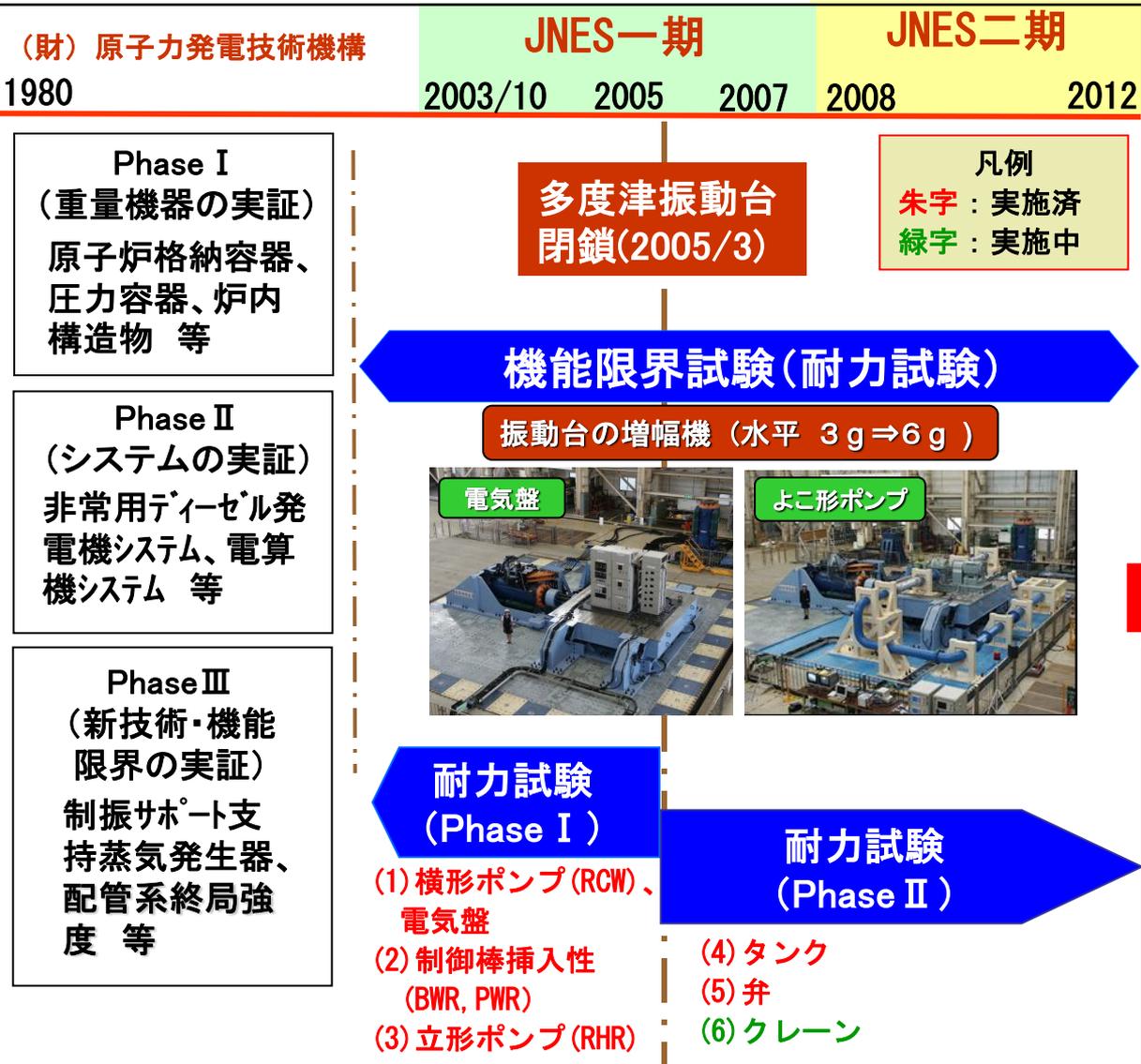
■ 相対評価: 現実的応答での寄与要因

■ 絶対評価: 機能限界耐力と現実的応答との離隔



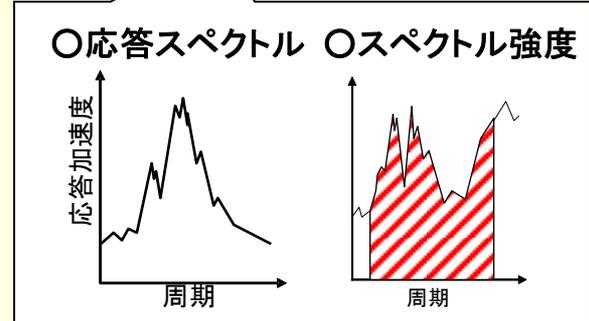
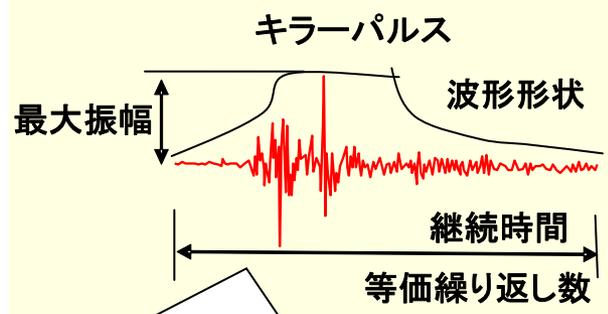
プラント耐震裕度研究

機器機能限界試験の工程



プラント裕度評価用いる 機能限界耐力指標の調 査・検討

■地震動(加速度、速度、変位)



- 地震エネルギー
- 力積
- CAV(累積絶対速度)

経年変化事象を考慮した機能喪失限界耐力の評価手法の高度化

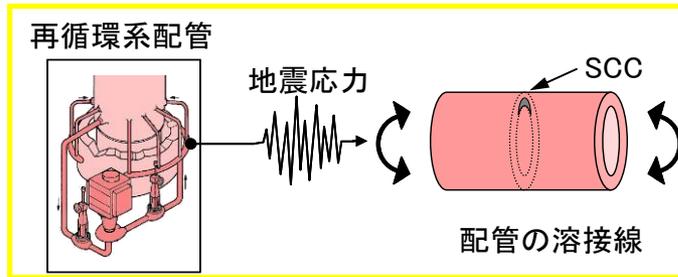
背景

- ・ 30年を超える高経年化プラントの増加（高経年化によるき裂の発生）
- ・ 改訂された耐震設計審査指針では残余のリスク評価が求められている
- ・ 新潟県中越沖地震を契機に既設プラントの耐震裕度が注目されている

目的

- ・ プラントの高経年化を考慮した一般荷重を対象とした高経年化解析評価技術の確立
- ・ 地震荷重を対象とした（確率論的）耐震安全評価技術の構築

- ・ 経年事象の進行に伴う配管の耐力低減解析手法の整備



高経年配管の耐震安全性評価

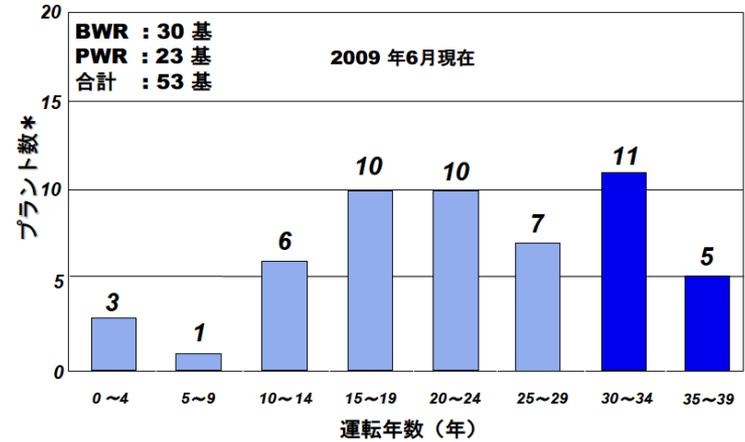
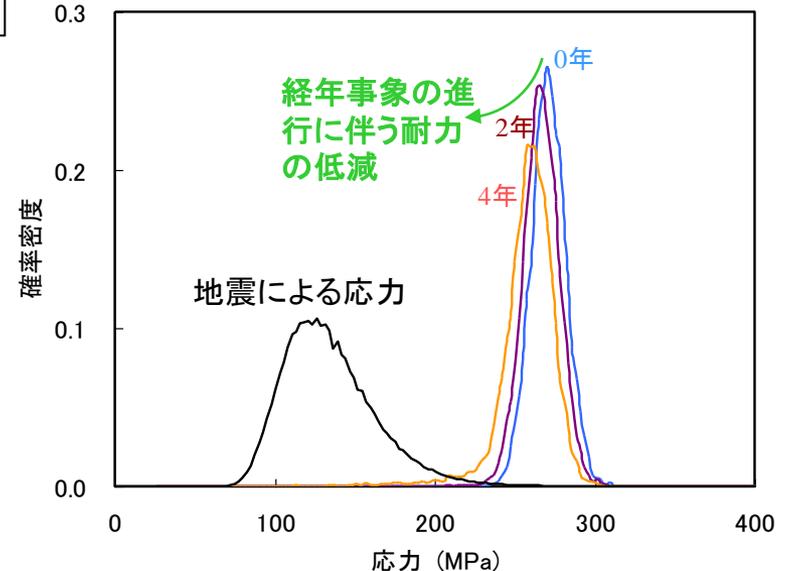


図 国内軽水炉の運転年数



経年事象の進行に伴う配管の耐力低減に関する解析事例

E. 地震情報伝達システム

地震情報伝達研究

■ 背景・目的

- ・新潟県中越沖地震における国の委員会等の提言に基づく情報課題の解決
- ・技術説明学に基づく原子力耐震安全に係る技術分野を第三者に適切に説明する基幹的情報処理技術体系『柏崎モデル』の構築と原子力耐震安全規制上求められる標準化情報技術基盤の確立

■ 研究の枠組み

原子力耐震・構造拠点研究（地震情報伝達研究）

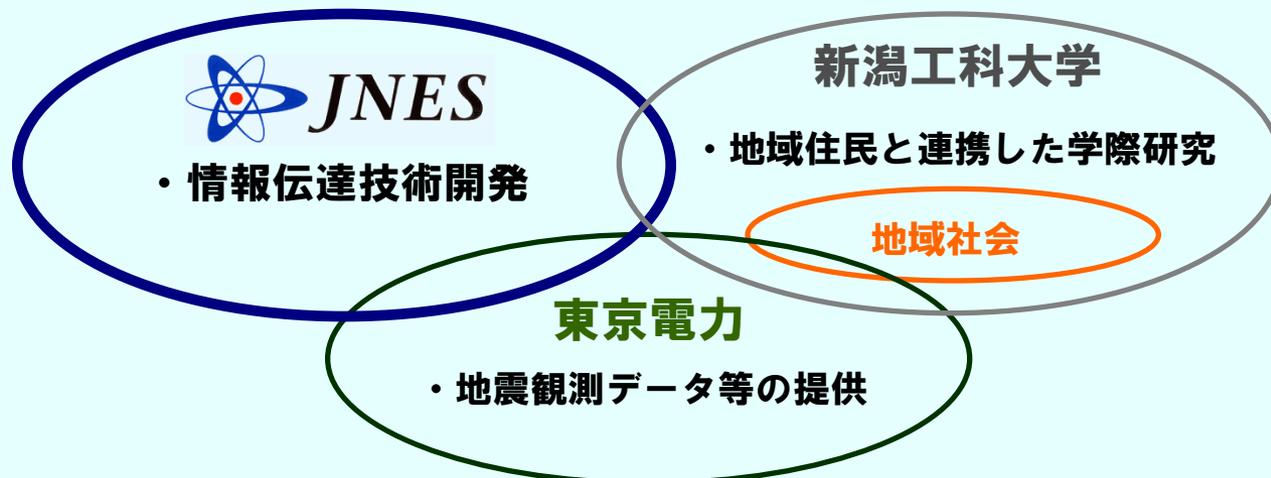
国際貢献



IAEAとの連携



国際的情報発信



研究課題

保安院の「中越沖地震における原子力施設に関する自衛消防及び情報連絡・提供に関するWG」報告書は、次のような提言を挙げている。

- (1) 現地を中心とした国の情報提供体制の強化
- (2) 地元市民等に対する多様な手段を駆使した迅速な情報提供
- (3) 実践的な訓練・研修等の実施
- (4) 大規模な地震に備えた原子力事業者における情報提供設備や体制の整備
- (5) 表現方法の工夫等による分かり易い情報提供等

< 研究課題の整理 >

- ① 上記(5)の提言を実現する情報伝達モデル(手法)の構築
- ② 上記(1)～(4)の提言に対し実効性を有する検討のため、国、企業、個人までの広範で複数の互いに独立・自立したユーザをも対象とした多機能を有する地震情報伝達システムの構築

地震情報伝達の枠組み（空間的連携関係）

情報の提供元

- 東京電力
- 気象庁
- 防災科研
- 大学 等

送受信

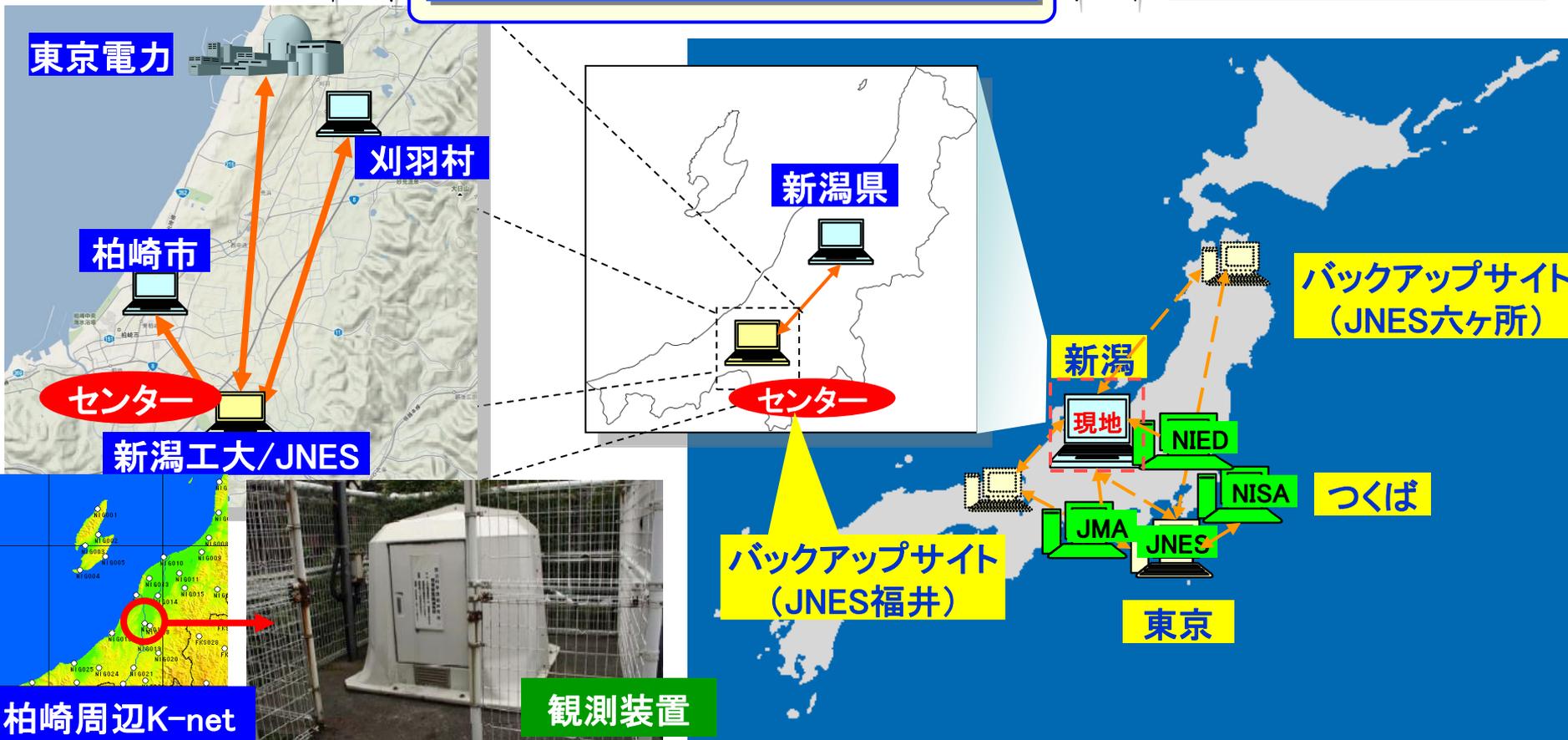
多機能地震情報伝達システム

- ・緊急時/平常時両方で情報時間更新
- ・フォーマット公開で可搬型PC
- ・自律分散で双方向伝達
- ・ソフトウェア無償提供

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

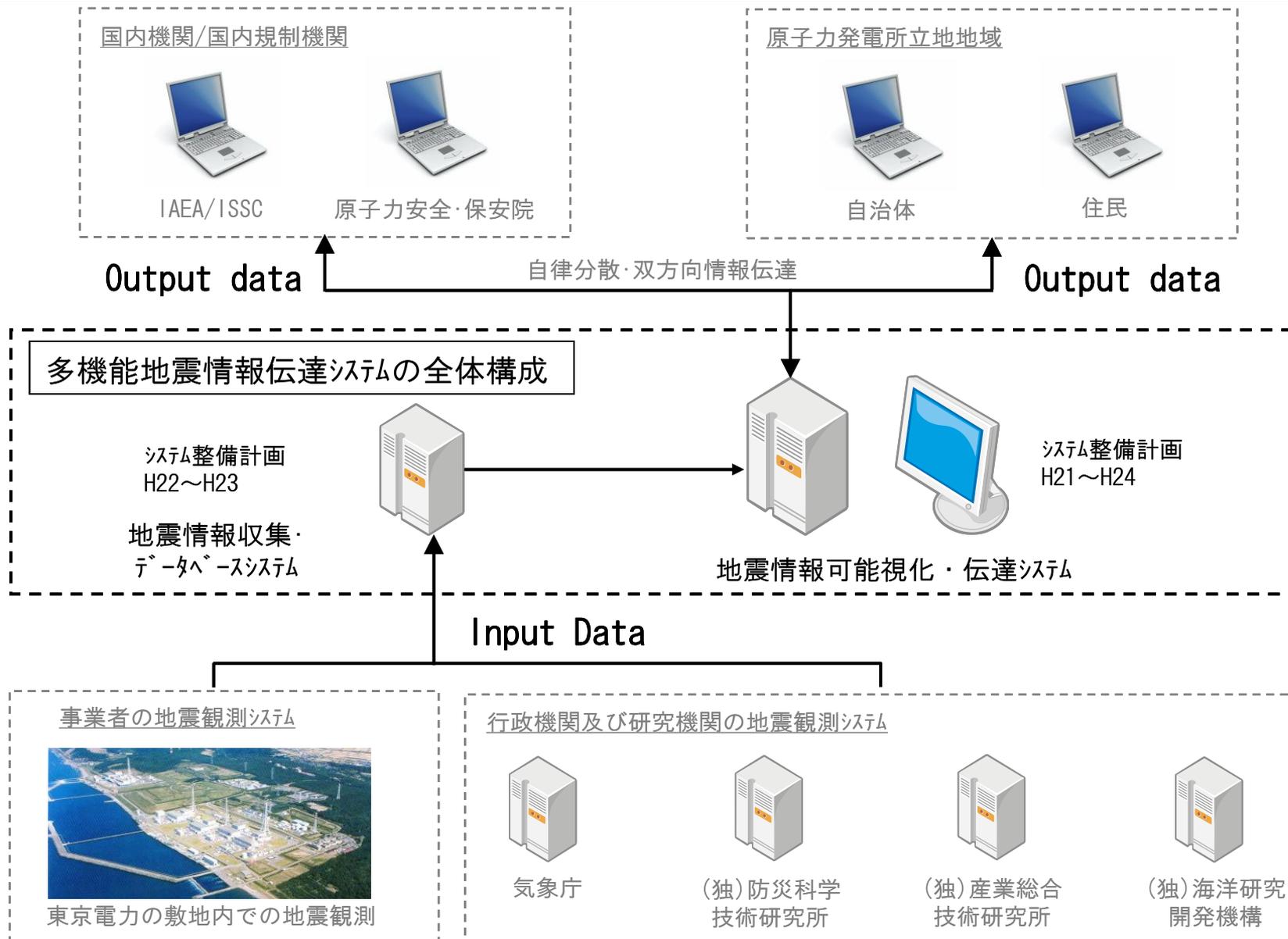


地震情報伝達の枠組み（連携機関）



原子力発電所における地震観測と地震情報伝達

システム構成



プロトタイプシステムの構築

基本機能

- ・情報伝達の簡便性・双方向性、設備・ソフトウェアの廉価性
- ・既存設備との容易な連携を可能とするフォーマットの公開性等

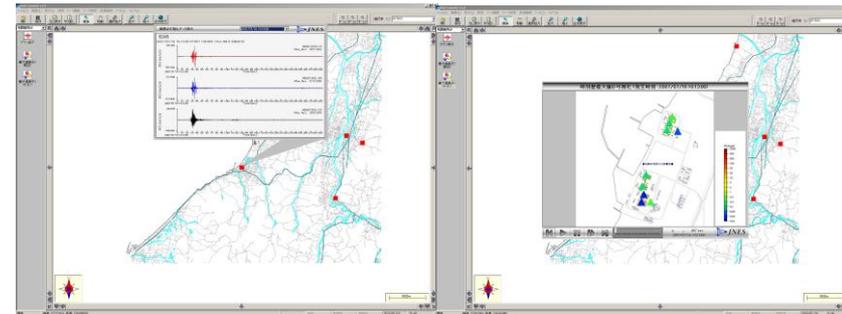
行政に係る機能

- ・広域被災を考慮した他地域からの支援を可能とする相互連携可能な自立分散性及び設備の可搬性
- ・緊急時に円滑な稼動を可能とする平常時との連続・併用性
(日常業務における情報の連携性及び時間的更新性、訓練・研修での活用性等)

- 地震情報の可視化(見える化)
- 耐震性の高い自律分散情報協調により
双方向情報伝達を実現

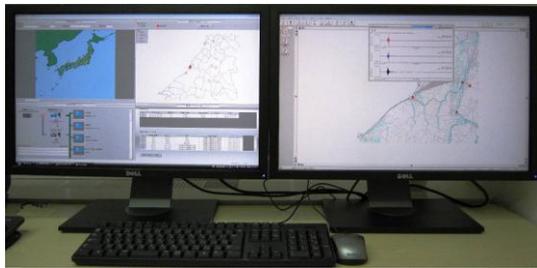
特徴

- ・ソフトウェアの無償提供
- ・公開型データ構造

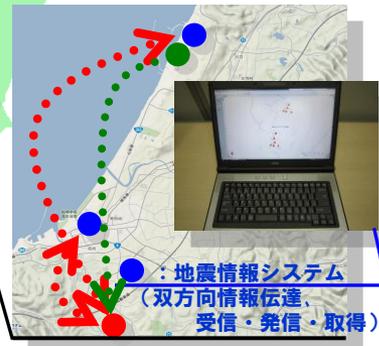


時刻歴波形の表示

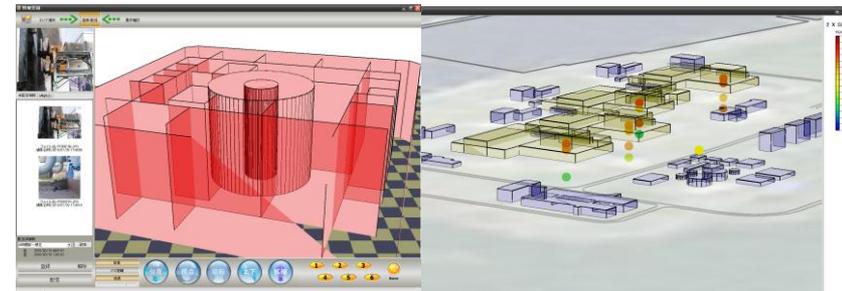
時刻歴最大値の可視化



● : センターシステム
(情報収集・発信)



● : 地震情報システム
(双方向情報伝達、受信・発信・取得)



プラント情報の3次元管理

時刻歴最大値の3次元可視化

● : 情報提供機関

● : バックアップシステム

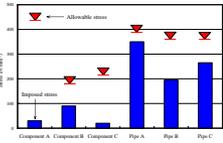
凡例

機能ブロック図

インプット

プラント情報

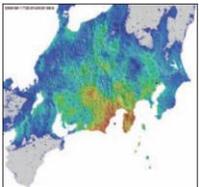
- ・画像情報
- ・耐震安全性評価情報



地震観測データ

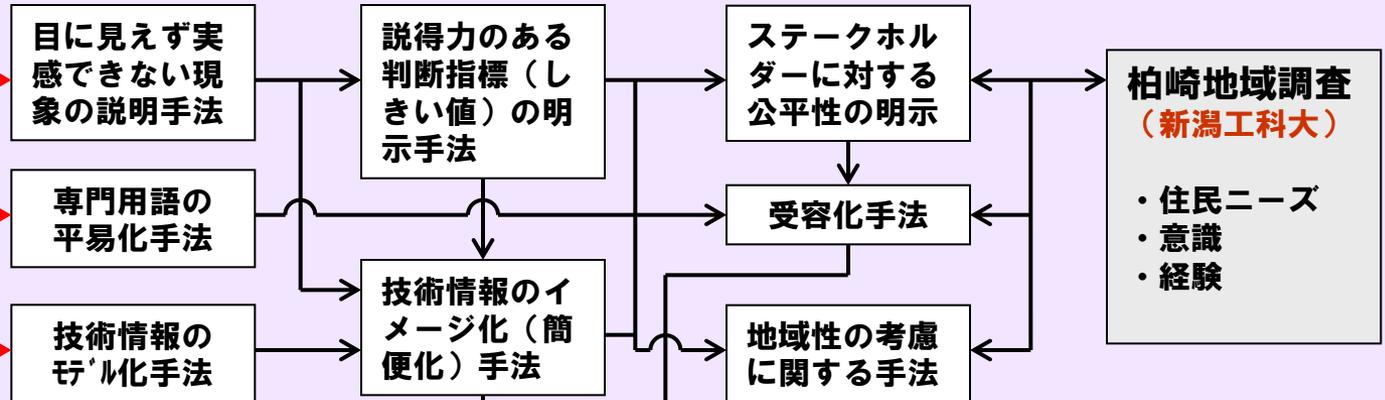
- ・発電所サイト及び近傍の深部アレー観測データ
- ・発電所内地震計・変位計データ
- ・発電所周辺観測データ（気象庁、防災科研等）

地震動分布評価情報



現象/観測値

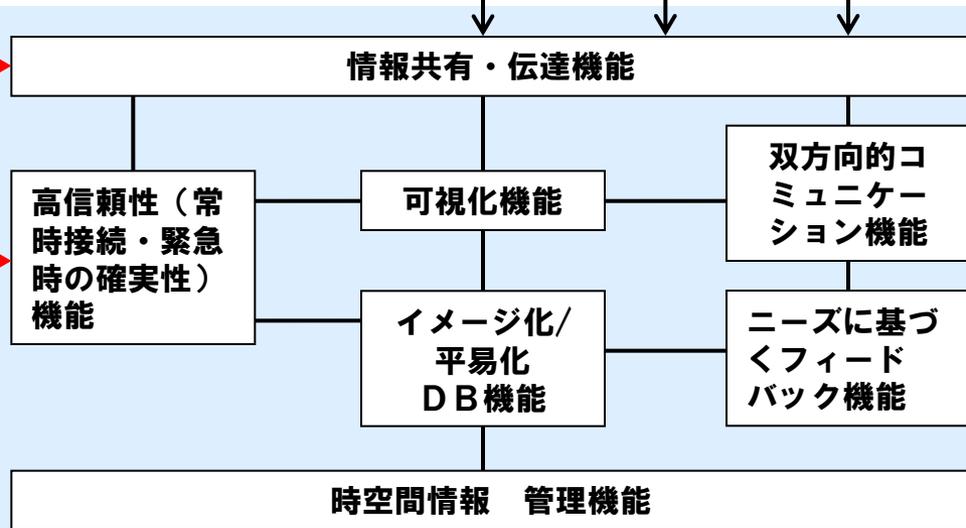
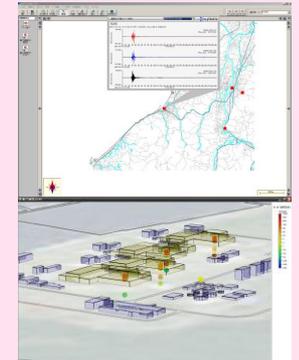
地域との連携による学際的研究（「柏崎モデル」研究成果の導入）



アウトプット

関係機関・地域市民

平易化情報



E-②：柏崎モデルを具現化する情報処理技術開発（システム開発）

成果の適用（国際研修への適用）

アジア耐震安全研修(地震情報伝達実習)

JNES職員と新潟工大佐藤准教授によるシステムのデモンストレーションを実施

- ・参加者から高い関心が寄せられた
- ・主な質問

「システムの提供が受けられるのか？」

「導入後すぐに使えるのか？」

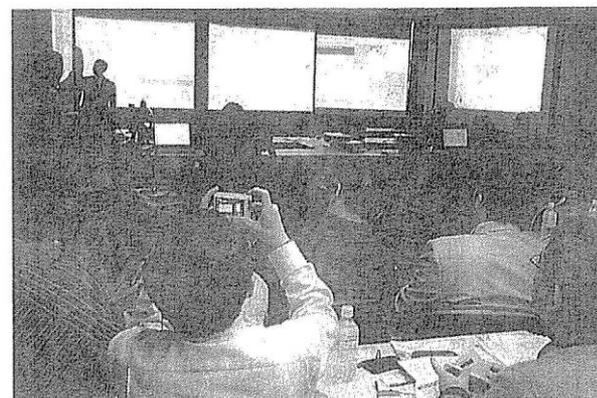
「導入のコストは？」



多機能地震情報伝達システム実習の様子

原子力発電所導入の動きが進むアジア各国の政府担当者を招き、地震対策で日本が持つノウハウを伝授する「アジア耐震安全研修」が2月、東京都内などで開かれた。独立行政法人「原子力安全基盤機構」の主催による初の試みで、東南アジア5カ国と中国の検査官

原発導入進むアジア 中国の検査官ら 耐震研修に参加



原発の被災状況を国などへ素早く情報伝達するシステムの実習を受ける中国の原発検査官（手前）ら—東京都港区の原子力安全基盤機構で

ら25人が参加。07年の新潟県中越沖地震で被災した東京電力柏崎刈羽原発などで実習を行った。

研修は2週間。柏崎原発では運転員に被災当時の生々しい体験や復旧作業の経過を聞いて、たほか、95年の阪神大震災で動いた淡路島の野島断層では活断層の評価方法を習得。国内地震観測網の拠点施設なども見学した。

「中国では原発建設が急ピッチで進む。規制行政も遅滞なく進める必要がある。耐震評価などの研修はとても役に立つ」と話した。

【山田大輔、写真も】

や、放射能漏れと地震や津波が重なった最悪の事態下で住民が避難可能な経路を瞬時に割り出す予測システムも実習した。費用を心配する国もあったが、日本側は「システムの中身はすべて無償提供する。十分なマンパワーさえあれば、われわれと同じシステムがつくれる」と励ました。

中国政府も最近、安全規制を強化しつつあるという。参加した中国環境保護省核安全センターの潘蓉研究員は「中国では原発建設が必要がある。耐震評価などの研修はとても役に立つ」と話した。

新聞報道(2010年3月16日毎日新聞朝刊25面)

今後の予定

- 新潟工科大学に多機能地震情報伝達システムのうち地震情報可視化・伝達サブシステムを導入する
- 新潟工科大学佐藤准教授の研究グループと連携し、「柏崎モデル」に基づく、可視化及び平易化アルゴリズムを構築する
- 可視化、平易化結果について、情報伝達実験を行い、新潟工科大学のフィールド調査に基づき、「分かりやすさ」を定量評価する
- 関係機関への情報伝達実験を行い、エンドユーザが平常時から地震時において、何時でも情報を共有し、時間軸のパラメータに基づき“情報の復元”ができることを実証する実験を行う

国際研修(国際原子力耐震安全研究)

国際研修実施の背景と目的

背景

平成19年の新潟県中越沖地震では、柏崎刈羽原子力発電所の設備に損傷が発生したことから、柏崎市の現地において耐震安全性の研究を行うことの強いニーズが生じ、地元の新潟工科大学に原子力発電所に関する耐震安全性の研究を行う原子力耐震・構造研究拠点が設置された。

目的

この拠点では、新潟工大、東京電力、JNESが中心となり、産学官が連携して耐震安全に係る最新知見や情報を集積する。最先端の研究成果を国際的に広めるために、国際研修を実施する。



朝日新聞記事 (2010年1月20日)

国際耐震安全研修カリキュラム

I. 講義

1. 日本の原子力発電所の概要

2. 震害事例

- 1) 兵庫県南部地震
- 2) 地震動観測—防災科研の地震動ネットワーク概要を含む
- 3) 津波のメカニズム—津波DB、シミュレーション、スマトラ沖地震被害を含む

3. 中越沖地震の経緯

- 1) 地震・地震動のメカニズム—根尾谷、野島断層の概要含む
- 2) 中越沖地震(1)地震動増幅原因究明、建屋、設備健全性
- 3) 中越沖地震(2)被害状況
- 4) 中越沖地震における運転員の対応
- 5) IAEAとの連携

4. 耐震設計

- 1) 新耐震設計審査指針の概要
- 2) 調査(地質、活断層等)
- 3) 設計地震動
- 4) 土木構造物、斜面、津波
- 5) 建屋
- 6) 建屋機器・配管
- 7) 経年

5. 耐震評価

- 1) 地震PSA、津波PSAの概要
- 2) 地震ハザード
- 3) フラジリティ
- 4) 機能限界試験
- 5) 事故シーケンス

6. 地震情報伝達

- 1) 発電所の地震観測
- 2) 地震情報伝達

II. 実習

1. 地震情報伝達デモンストレーション
2. 津波解析演習

III. 施設見学等

1. 根尾谷断層
2. 兵庫耐震工学研究センター
3. 阪神・淡路大震災記念 人と防災未来センター
4. 野島断層(淡路島)北淡震災記念公園
5. 防災科学技術研究所
6. 東京電力(株)柏崎刈羽原子力発電所

アジア耐震安全研修の実施状況(2010年2月)



JNESでの講義



実習(地震情報伝達、津波)



見学(野島断層、防災科研)



柏崎刈羽原子力発電所の見学



新潟工科大学での講義



新潟工科大学でのさよなら会

原子力耐震安全研修システムの整備(1/2)

- 3次元VR(バーチャルリアリティ)技術に基づく, 技術経験の仮想的習得

①VR研修システムの目的

専門的視点から、柏崎刈羽原子力発電所の仕組みや中越沖地震における発電所のふるまいを理解するための人材育成用研修教材

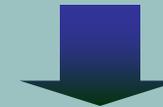


＜研修対象者＞
 新人プラント検査員
 プラント技術者
 海外の規制関係者, 等

講師は拠点や発電所の専門家

②教材テーマ

地震対策を施した現在の
 原子力発電所の再現
 +
 主要箇所の時間軸を自由に変更
 地震前・地震直後の状態を
 VR映像で再現



中越沖地震の『記録』、『分析』、
 『評価』、『判断』について
 講師と受講者で議論

原子力耐震安全研修システムの整備(2/2)

③ 研修スタイル

仮想現実の発電所内をウォークダウン

現在および地震時の原子力発電所を
体感的に理解

1. 講師がVR映像を操作、受講者と対話しながら研修
2. 必要に応じてナレーション付自動再生映像を利用
3. 講義に必要な情報をデータベースから検索・表示



VRの特徴を活かし、深く多様性のある
研修が可能

④ 研修のイメージ



研修システムを用いた講義
(イメージ)

国際シンポジウム

柏崎耐震安全シンポジウム

原子力耐震・構造研究拠点の研究成果を国際的に発信するため、第1回柏崎国際原子力耐震安全シンポジウム(2010.11.24～26 於;新潟工科大学)の関連セッションにて発表を行う。

第1回柏崎国際原子力耐震安全シンポジウム(2010.11.24～26)

<開催概要>

- ・柏崎耐震・構造研究拠点建屋完成記念式典とリンクさせ開催
- ・原子力耐震分野の共通課題を抽出・議論し、国際的な耐震安全性向上に貢献する
- ・本シンポジウムが次世代の人材育成の機会を与え、安全で信頼性の高い新規炉建設に資する

・全体セッション:

- A:地震・地震動
- B:地震随件事象
- C:耐震裕度
- D:地震情報伝達システム

・共催ワークショップ

- ①大深部地震観測WS(OECD/NEAと共催)
- ②免震WS:(EDFと共催)