

# 事業者におけるリスク評価研究の活用

一般財団法人 電力中央研究所  
原子力リスク研究センター

山中 康慎

日本原子力学会原子力安全部会

第5回夏期セミナー

平成29年8月22日

# 目次

1. NRRCの主な活動
  1. 1 研究開発活動
  1. 2 リスク評価分野
  1. 3 自然外部事象分野
  1. 4 PRAパイロットプロジェクト
2. リスク情報活用に向けた取り組み
3. まとめ

## 1.1 NRRCの研究開発活動

# NRRCの研究開発活動

### R&D項目

#### 1 事象評価技術

- 1) シビアアクシデント
- 2) 断層活動性
- 3) 地震動
- 4) 地盤・構造物耐震性
- 5) 建屋・機器耐震性
- 6) 津波
- 7) 竜巻等極端気象
- 8) 火山

#### 2 リスク評価技術

- 1) PRA手法
- 2) 人間信頼性
- 3) 環境放出時影響

#### 3 安全目標・リスクコミュニケーション

成果の実務適用支援／フィードバック

### 継続的安全性向上の取り組み

③リスク低減・深層防護、④リスク情報活用  
(安全性確保策の強化) (リスクマネジメント)

②リスク評価  
(PRA実施)

①新規制基準への適合  
(対策追加・改良工事等)

⑤リスクコミュニケーション

1.1 NRRCの研究開発活動

# 主な研究開発計画

	短期	中長期
リスク評価分野	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 地震、津波PRA</li> <li>- 火災、溢水PRA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 様々なハザードに対するPRA</li> <li>- マルチユニットPRA</li> <li>- レベル3 PRA</li> <li>- 安全目標、リスクコミュニケーション</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 人間信頼性分析(HRA)の手法開発</li> <li>- PRAのためのデータ分析・信頼性評価基盤技術</li> <li>- SA時の事故進展挙動、格納容器健全性、FP移行挙動</li> </ul>	
自然外部事象分野	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 地震: 断層活動性、断層変位</li> <li>- 津波:</li> <li>- 竜巻: ハザード評価、地形影響</li> <li>- 火山: 降灰の評価、機器対策</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 地震と津波の重畳による影響の評価</li> <li>- 自然事象の様々な重畳に対する影響評価</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- SSHAC手法の適用</li> </ul>	
PRA高度化	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 伊方3号機プロジェクト(PWR)</li> <li>- 柏崎刈羽6/7号機プロジェクト(BWR)</li> </ul>	

# 目 次

## 1. NRRCの主な活動

### 1. 1 研究開発活動

### 1. 2 **リスク評価分野**

### 1. 3 自然外部事象分野

### 1. 4 PRAパイロットプロジェクト

## 2. リスク情報活用に向けた取り組み

## 3. まとめ

# 火災PRA(1)

## (1) 目的

- ・ 火災PRA評価ガイドの策定。
- ・ 火災防護規制強化に対する合理的な火災影響軽減対策の提案。

## (2) 成果

### (a) 火災PRA評価ガイド

- ・ 米国の既存評価手法の改良を行い、国内プラントの設計・運転経験を反映したガイドを策定中。
- ・ NUREG/CR-6850をベースに冗長的な実施項目を整理、全体フローを再構築（[図1](#)）。

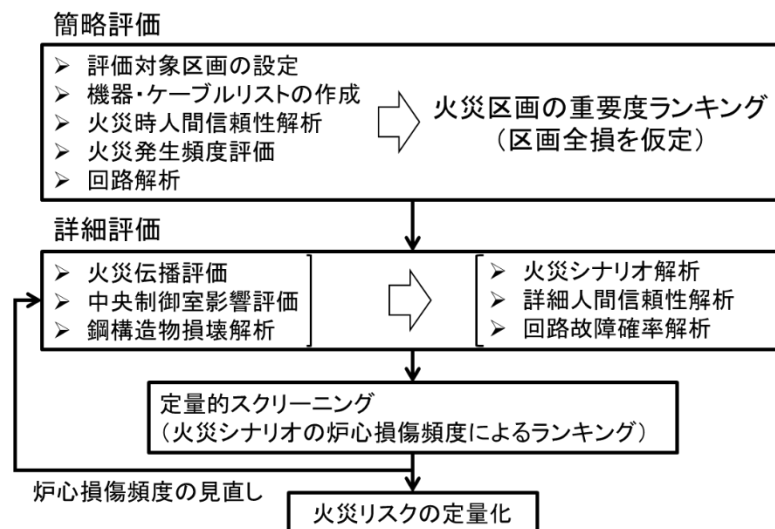


図1 作成中の火災PRA評価ガイドの全体フロー

# 火災PRA(2)

## (2) 成果 (つづき)

### (b) 火災影響軽減対策

- 電源盤の内部アーク試験により、HEAF火災発生限界を評価 (図2)。
- OECD国際共同研究HEAFに参加し、最新知見を収集し、公刊報告書 (電中研報告O16001) に取りまとめ。
- 実規模大の火災防護機器を対象とした発熱速度を取得するため、1MW級燃焼試験装置を導入 (図3)。

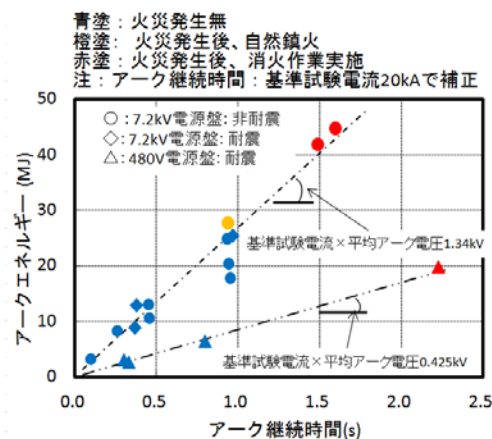


図2 HEAF火災の発生限界

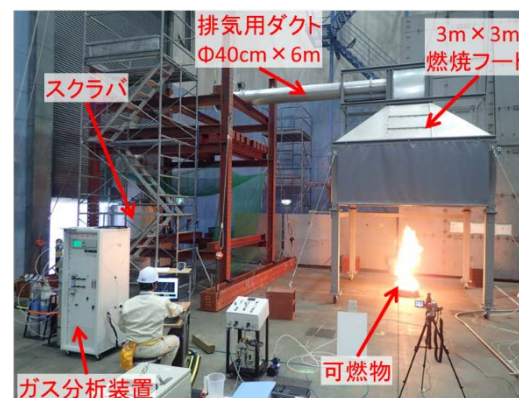


図3 発熱速度測定システムの導入

## (3) 成果の活用先

- 火災PRA評価ガイドは、引き続き詳細評価及びその解説を整備し、実務的なガイドとして活用。
- HEAF火災発生限界に関する技術情報を規制強化に伴う設置変更許可申請のバックデータとして活用。
- 火災試験設備の導入完了により、規制側から要求される実証データをタイムリーに取得し、活用。

# 人間信頼性評価(HRA) 手法(1)

## (1) 目的

- ・ HRAガイドの策定。
- ・ 過酷状況下HRA手法の開発。

## (2) 成果

### (a) HRAガイド

- ・ 定性分析手法の概念である叙事知(Narrative)を用いて体系的な分析を行うHRAガイドを開発 (図1)。
- ・ ガイドを適用した評価事例、具体的なインタビュー項目の質問リスト、HRA Calculator (定量化ツール) の入力データへの変換手順のガイドを提供。

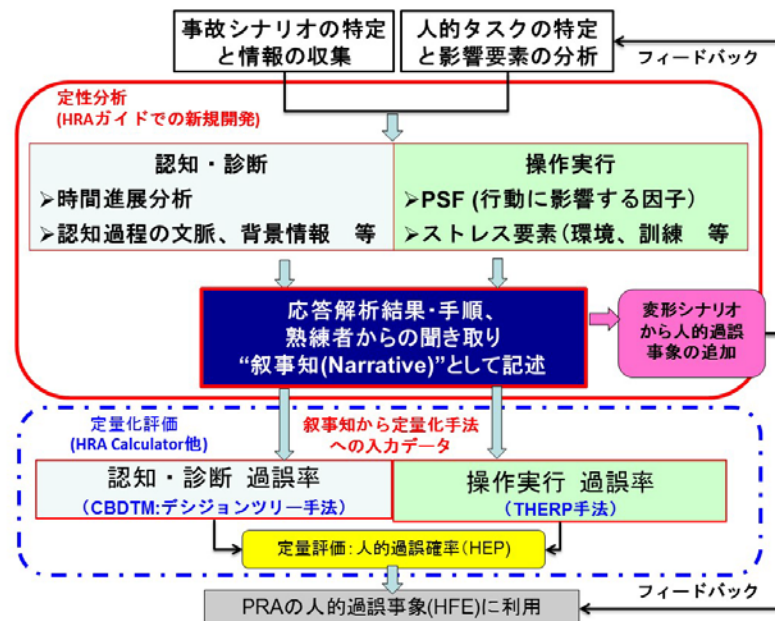


図1 叙事知分析を用いたHRAガイドの構成



# 人間信頼性評価(HRA) 手法(2)

## (2) 成果 (つづき)

### (b) 過酷状況下HRA検討

- 可搬型機器の準備・操作・給油にHRAガイドを適用し、定量化手法における課題、追加すべき項目等を抽出。
- 可搬型機器の人間タスクを、新分析手法のクルー応答ツリー (CRT : Crew Response Tree) (図2) と聞き取りから分析。

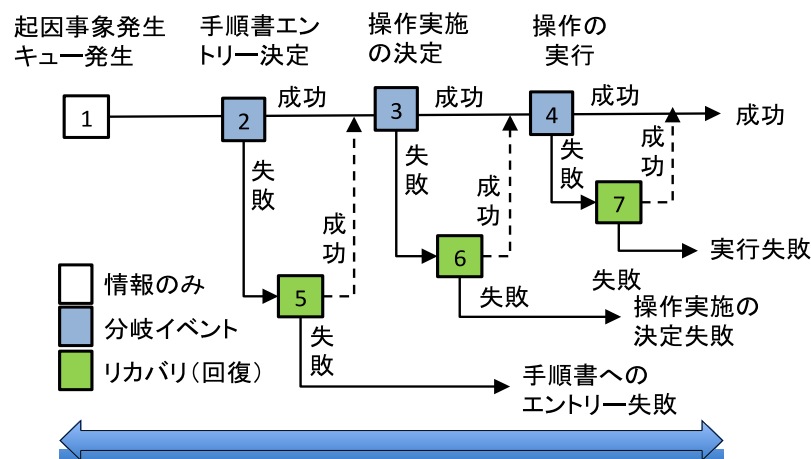


図2 クルー応答ツリー (CRT) の例

## (3) 成果の活用先

- 内的レベル1 PRAでのHRA定量化の根拠となる体系的な定性分析手法として適用し、訓練等に反映可能。
- 叙事知(Narrative) の活用により、過酷状況下HRA の新定量化手法にも対応可能。

# レベル3PRA(1)

## (1) 目的

- 電力で安全性向上等に使用可能なレベル3 P R A 評価手法の提供。

## (2) 成果

### (a) WinMACCSコードの不確かさ解析

- 仮想モデル地点の気象データを用いた被ばく線量評価、入力値における不確かさ解析により被ばく線量評価結果への寄与が大きいパラメータ（大気拡散の係数：SigY、SigZ）を明らかにした（[図1](#)）。

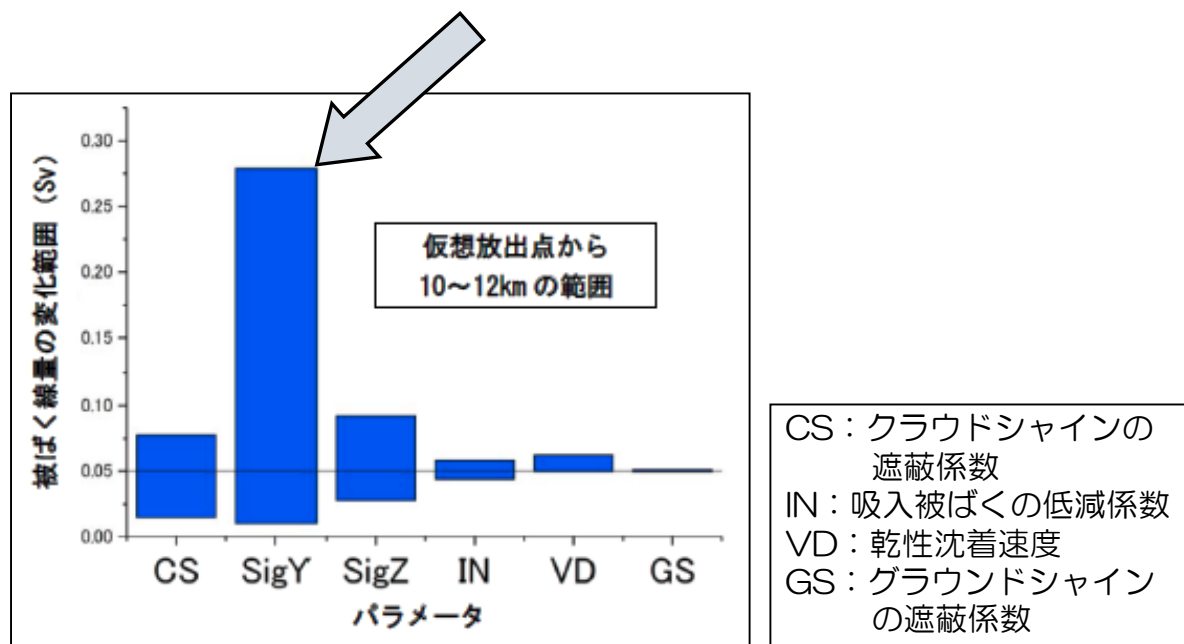


図1 入力パラメータによる線量の変化

# レベル3PRA(2)

## (2) 成果 (つづき)

### (b) 地形影響の把握

- 気象/拡散モデルを用いた詳細計算結果とWinMACCSの計算結果（地表濃度）の比較を通して、仮想モデル地点（平坦地形、複雑地形）における地形影響を把握・評価（図2）。

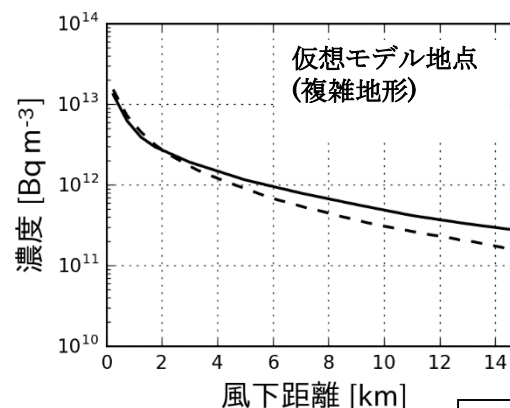
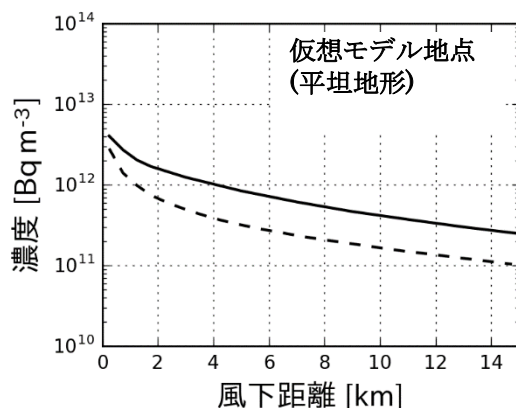


図2 大気中セシウム濃度（7日間積算値）

実線：WinMACCS  
点線：気象/拡散モデル

## (3) 成果の活用先

- 他の仮想モデル地点での不確かさ解析、地形影響の把握・評価を継続し、WinMACCSコードのわが国への適用性を確認し、その後電力での安全性向上等のための環境面における評価実施へつなげる。

## 安全目標、リスクコミュニケーション(1)

### (1) 目的

- ・ 電気事業者/公衆/規制当局間での幅広い関係性構築と信頼醸成に係るリスクコミュニケーション(RC)の実践に寄与する知見や支援ツール等の開発。

### (2) 成果

#### (a) 安全目標の活用方策の検討

- ・ 産業界としての安全目標（リスク情報活用推進チームで今後検討）

#### (b) 電気事業としてのRC方策の検討

- ・ 事業者の司法への対応のあり方を分析。
- ・ 組織内外のRCの国外調査（フィンランド、ベルギー）を実施。

## 安全目標、リスクコミュニケーション(2)

### (2) 成果 (つづき)

#### (c) 立地地域とのRCの進め方の検討

- ・ グループインタビューにより、公衆の理解プロセスやRCを通じた態度変容等のデータを取得。
- ・ インターネット調査により、原子力発電に対する賛否態度と頻度表現された原子力事故に関するリスク評価結果の受け止め方との関係等を分析 (図1)。

### (3) 成果の活用先

- ・ 事業者の訴訟戦略策定、住民説明会や個別訪問等の双方向対話の実践、居住地や原子力に対する賛否態度等の差を踏まえたRCにおける情報ニーズ収集において活用可能。

Q: 「原子力発電所の事故のリスクを評価した結果、原子炉が損傷するような大事故が発生する頻度は、 $10^{-5}$ /年であった。」に対する考え。



図1 原子力発電に対する賛否態度とリスク評価結果(頻度)の受け止め方との関係

# SA時の事故進展に関する知見の拡充 (温度誘因SGTR)(1)

## (1) 目的

- ・ 温度誘因蒸気発生器伝熱管破断 (TI-SGTR) の国内PRAモデルへの反映。

## (2) 成果

### (a) 米国の誘因SGTRへの取り組みの調査

- ・ 米国NRCがSGTRに関して検討した報告書を調査・整理。  
NUREG-1570, SGAP, NUREG/CR-6995, NUREG-1992, NUREG/CR-7110, NUREG-2195等。
- ・ 以下の3分野について、米国の検討内容と課題を整理。
  - ① 熱水力解析及びCFD解析
  - ② 有限要素法を用いた構造解析
  - ③ SA時及びDBA時のTI-SGTRの定量的リスク評価手法

# SA時の事故進展に関する知見の拡充 (温度誘因SGTR)(2)

## (2) 成果 (つづき)

### (b) 国内プラント評価に向けた着眼点の整理

項目	米国の検討	日本のプラントの確認に向けた着眼点, 実施すべき解析
熱水力解析	WH社4ループPWRとCE社プラントの解析を実施。 ・自然循環のパターンによるSG伝熱管破損の発生の有無を解明している。 ・応力乗数応じたSG伝熱管破損と格納容器バイパス発生の可能性を分類している。 ・SBO派生シーケンスでのオペレーション介入の有無でSG伝熱管破損, 格納容器バイパスの可能性を検討している。 ・SG入口プレナムのガス混合について, WHの場合, 高温伝熱管側41%/定温伝熱管側49%を解明。 ・ループシール解消のメカニズムを検討している。	・RCS主要コンポーネントについて入力データを整備しシステムコードによる熱流動解析やCFD解析を実施する必要がある。 これらの解析の入力データについては, RCS主要コンポーネントの構造材の物性値, 詳細な幾何学的配置(ベント厚み, 内容積, 形状等の詳細仕様及びSGプレナム部の配置等の詳細仕様について整備する必要がある。 ・解析結果をもとに, プラントにおけるC-SGTRの発生係わる項目について検討すべきである。
構造解析	上記熱水力解析結果, 境界条件を入力データとして, SG伝熱管以外の下記機器について構造解析を実施。SG伝熱管との破損タイミングの前後について予測している。 ・蒸気発生器一次側マンウェイ ・RTD溶接部分 ・計装配管 ・HL及び加圧器サージライン	上記熱水力解析の結果, 境界条件をもとに, RCS主要コンポーネント ・蒸気発生器一次側マンウェイ ・ホットレグ, コールドレグ ・加圧器サージライン ・PORV, RTD溶接部分, 計装配管等 について有限要素法による詳細熱応力解析を実施すべきである。
P R A	・WH社4ループPWRにおけるインコネル600及び690製SG伝熱管の欠陥のサイズと数を用いて, 統計的推定を行っている。 ・WH社4ループPWRにおける熱水力解析結果の代表シナリオをもとにC-SGTR確率とLERFの推定を実施している。	・実機データをもとにしたSG伝熱管の欠陥サイズ, 数を用いて, 経験式・経験分布の作成が必要。 ・熱水力解析結果から代表シナリオを特定し, 実機データの経験式・経験分布からC-SGTR確率とLERFの推定を行うべきである。

## (3) 成果の活用先

- ・今年度の成果は、来年度継続する本研究の実施内容に反映。
- ・今後得られる予定の成果や知見は、安全設計委員会等を通じて各電力に展開。
- ・プラント固有条件での評価を行う場合は、産業界での実施を支援。

# SA時の格納施設健全性(1)

## (1) 目的

- 格納容器健全性のより現実的な評価のための知見拡充。

## (2) 成果

### (a) スプレイ挙動のベンチマーク評価

- 既往のスプレイ試験を対象にスプレイ冷却挙動のベンチマーク解析を行い、CFDコード(STAR-CCM+)の基本的性能を確認。
- 適切な入力条件を設定することで、実態に即した評価が可能 (図1、図2)。

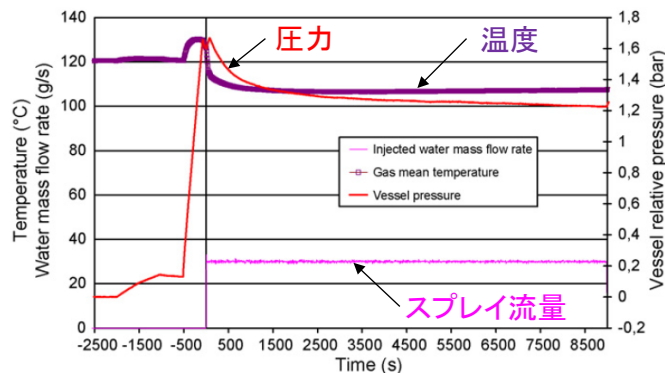


図1 ベンチマークデータ<sup>[1]</sup>

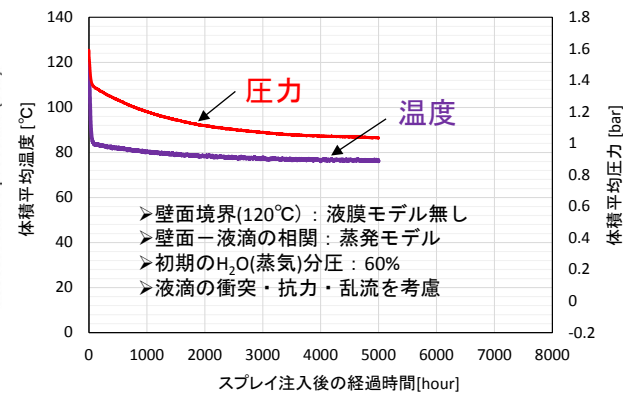


図2 STAR-CCM+による再現解析結果

[1] Emmanuel Porcheron, *et al.*, Nuclear Engineering and Design 240 (2010) 336-343



## SA時の格納施設健全性(2)

### (2) 成果 (つづき)

#### (b) スプレイ挙動に対するモデルの感度

- 液膜、液滴、雰囲気ガス、壁面の各相関モデルを対象にCFDとMAAPで感度解析を実施し、格納容器内の温度、圧力の挙動に及ぼす個別モデルの感度を評価。感度に関して概ねCFDとMAAPで同様の傾向を確認 (図3)。



図3 調査対象とした凝縮・蒸発に関わるモデルと感度の比較結果

### (3) 成果の活用先

- より現実的な格納容器温度を得るための格納容器温度評価手法の構築。
- AMGへの知見の反映と、より有効なAM策の立案。

# SA時のFP移行挙動(1)

## (1) 目的

- SA時のFP放出量のより現実的な評価の為の知見拡充。

## (2) 成果

### (a) FP挙動の調査・解析に基づくDB更新

- 複雑で不確実性が大きいFP挙動について、国内外の最新知見をまとめたFP挙動DBを欧州の最新研究知見等を加えて更新 (図1)。
- MAAPコードの炉内FP挙動に関する感度解析を実施し、得られた知見をDBに反映。

- 燃料・デブリからのFP放出挙動
  - 溶融炉心からのFP放出挙動
  - 粒子状デブリからのFP放出モデル
  - 溶融デブリからのFP放出モデル
  - コアコンクリート反応時のFP放出モデル
- 一次系内FP挙動
  - ヨウ素挙動
  - セシウム挙動
  - FPエアロゾル挙動
  - FP蒸気
- 格納容器内FP挙動
  - FPエアロゾル挙動
  - ヨウ素挙動
- 影響緩和設備によるFP除去
  - スプレーによるFPエアロゾル除去
  - エアロゾル除去に対する水素再結合の影響
  - プールスクラビングによるFPエアロゾル除去
  - 格納容器クーラへの沈着効果

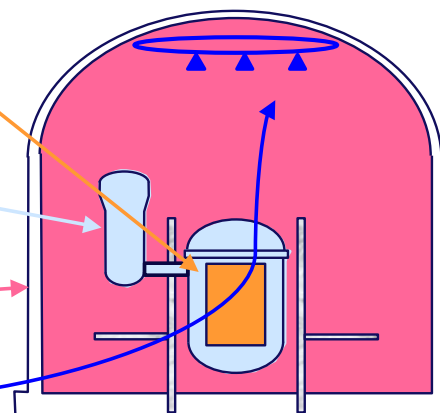


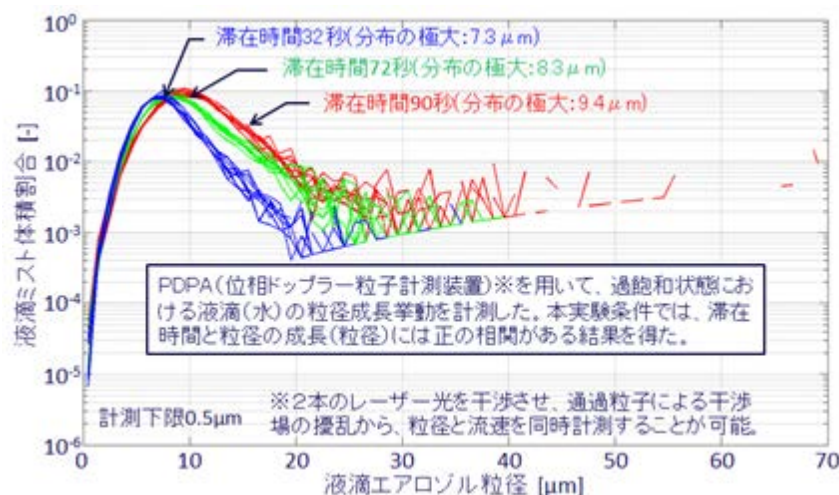
図1 DB化対象の格納容器内FP挙動

## SA時のFP移行挙動(2)

### (2) 成果 (つづき)

#### (b) エアロゾル粒径分布取得のための試験計画の立案

- エアロゾル粒径変化に寄与が大きいとされる吸湿成長過程を計測するため、湿潤雰囲気下でのサブミクロン領域の計測技術の確立に向け、予備検討を実施し試験計画を策定。



### (3) 成果の活用先

- FP挙動DBは、複雑なFP挙動の不確実さ要因や影響度、現状の評価技術の理解に活用可能。
- エアロゾル粒径分布の試験の分析・評価結果は、今後のFP挙動の評価技術の高度化につながる。
- 本研究で得られたFP挙動に関する知見は、各社の事故対策の検討やPRAに活用可能。

# 目 次

## 1. NRRCの主な活動

### 1. 1 研究開発活動

### 1. 2 リスク評価分野

### 1. 3 自然外部事象分野

### 1. 4 PRAパイロットプロジェクト

## 2. リスク情報活用に向けた取り組み

## 3. まとめ

# 断層活動性(1)

## (1) 目的

- 設計基準の合理化、継続的安全性向上に資する断層活動性評価手法の確立。

## (2) 成果

### (a) 敷地内破碎帯の活動性評価

- 現地調査、最新鋭装置による分析を実施し、活断層でないことを示した (図1)。

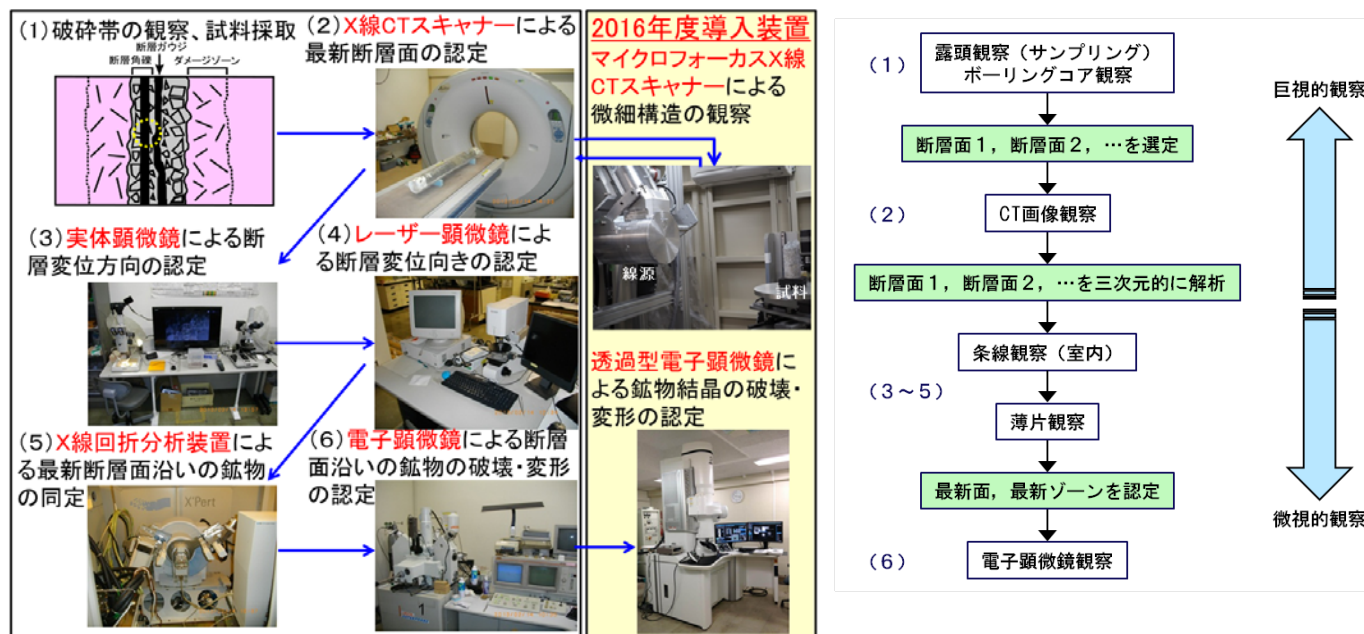


図1. (左) 当所の装置を組み合わせた断層活動性分析フロー  
 (右) 美浜美浜原子力発電所への適用例 (NRA有識者会合資料 (番号は左図に対応))

## 断層活動性(2)

### (2) 成果 (つづき)

#### (b) 近年の地震で生じた断層の緊急調査

- ・ 近年の地震時に出現した地表地震断層群の分布調査を実施し、断層群の出現形態を明らかにした。
- ・ トレンチ調査、破碎帯の分析を実施し、第四紀後期における断層変位の累積性を確認 (図2)。  
また、破碎帯には活断層に特徴的な断層ガウジの層状構造が認められることから、事前に活断層として評価できることを示した。

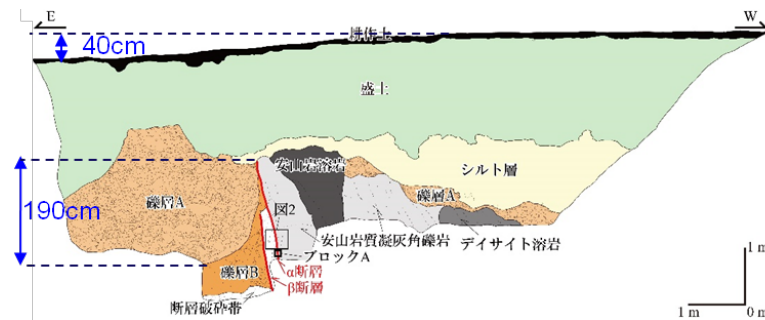


図2 長野県北部の地震のトレンチ法面スケッチ  
今回の地表変位40cmに対して、基盤には過去複数回分の累積変位190cmが認められる。

### (3) 成果の活用先

- ・ 当所の分析装置群を用いた断層活動性評価手法は敷地内断層評価の中で多数用いられ、その成果である分析結果は原子力規制委員会の審査資料に使用。
- ・ 今後も断層活動性評価手法を高度化し、用途が立った手法から原子力地点や水力地点に適用。
- ・ 学術論文に成果を取りまとめ、評価手法を公知化。

# 地震動(1)

## (1) 目的

- ・ 基準地震動Ssの策定に関する課題解決、設計基準合理化 (Ss策定) 及び地震PRAに係る確率論的地震ハザード評価法の確立。

## (2) 成果

### (a) 震源を特定した地震の地震動評価

- ・ 内陸活断層地震 (2016年熊本地震、鳥取県中部地震) の震源モデルを推定 (図1、図2)。
- ・ 地下構造モデルの高度化のため、13サイトの合計66箇所です時微動の連続観測を実施。適用サイトでは、地震波干渉法によるグリーン関数から群速度の分散曲線に基づき、地下構造モデルの妥当性検討を実施。

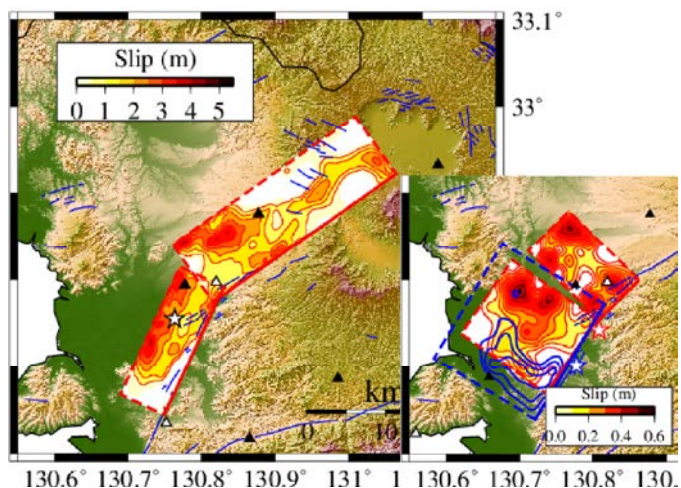


図1 熊本地震の震源モデル (左: 本震、右下: 2つの前震(高角断層面を水平投影) 断層上端を赤い太線で示す。

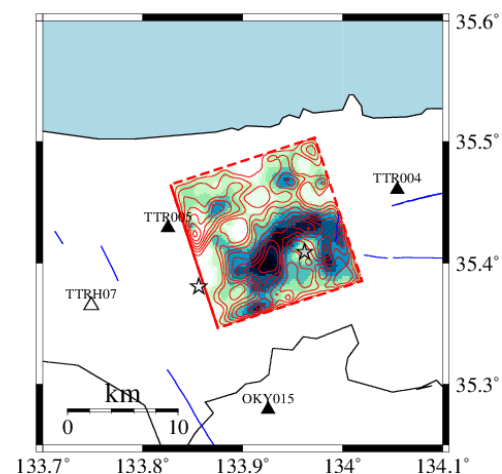


図2 鳥取県中部の地震のすべり分布 (赤) と実効応力分布 (青) 暫定解(高角断層面を水平投影)。断層上端を赤い太線で示す。

## 地震動(2)

### (2) 成果 (つづき)

#### (b) 「震源を特定せず策定する地震動」に係る大加速度要因解明と基盤地震動評価

- ・ 2008年岩手・宮城内陸地震で大加速度を記録したKiK-net – 関西周辺での反射法探査を実施 (図3)。
- ・ 2016年鳥取県中部地震で大速度を記録したK-NET倉吉で解放基盤相当深さまでのS波速度構造を推定 (図4)。
- ・ 審査ガイドの検討対象地震である2011年、2012年茨城県北部地震で大速度を記録したKiK-net高萩の基盤地震動を評価。

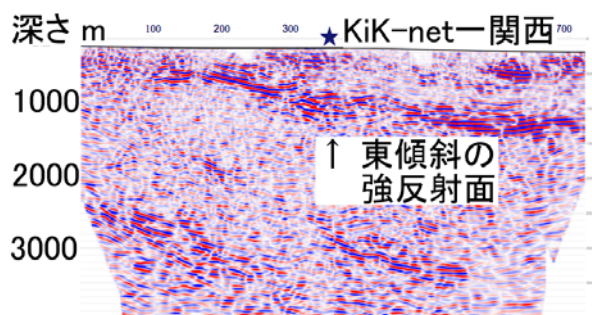


図3 KiK-net-関西周辺の反射法探査結果

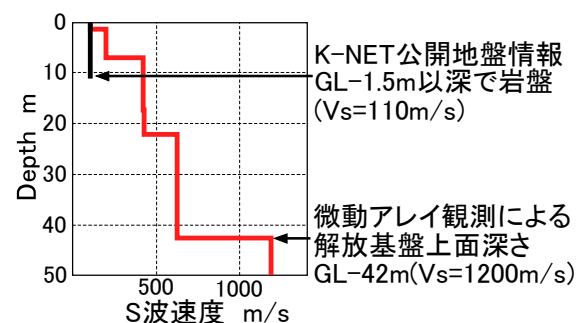


図4 K-NET倉吉における微動アレイ観測結果

#### (c) 確率論的地震ハザード評価手法の高度化

- ・ 伊方3号SSHACプロジェクトプランを作成。
- ・ 米国のSSHACプロジェクトで開発された、複数の地震動予測式候補の選択方法及び認識論的不確実さの評価方法について、専門家へのインタビュー等を通じて最新情報を取得、分析。

### (3) 成果の活用先

- ・ 新規制基準適合性審査及びその後の安全性向上評価に活用。



# 地盤・構造物耐震性(1)

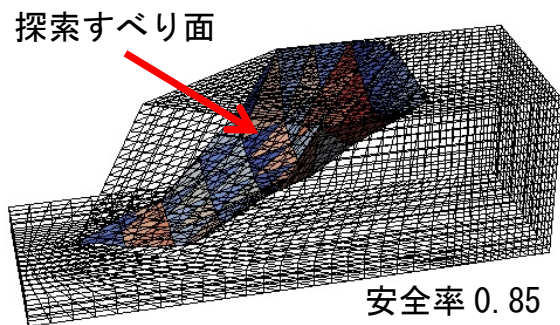
## (1) 目的

- ・断層変位影響も含めた原子力発電所の敷地内地盤・構造物の高度な耐震安全性評価手法を構築。

## (2) 成果

### (a) 基礎地盤・斜面の安定性評価

- ・開発した二次元時刻歴非線形解析を原子力サイトの実斜面に適用し、従来の等価線形解析よりも現実的評価が可能であることを確認。
- ・三次元時刻歴非線形解析の開発を目指して、任意の三次元すべり面の探索手法を開発し、簡易な斜面モデルを用いて最小すべり安全率が評価できることを確認 (図1)。
- ・斜面崩落した岩塊の衝突力を合理的に評価するため、衝突破壊実験を実施し、実験データを取得。
- ・開発した断層サンプリング装置を用いて原子力サイトの断層試料の採取に成功。



地震応答解析の応力状態から、遺伝的アルゴリズムを用いて、のり尻を通る最小安全率のすべり面が探索できるようになった。

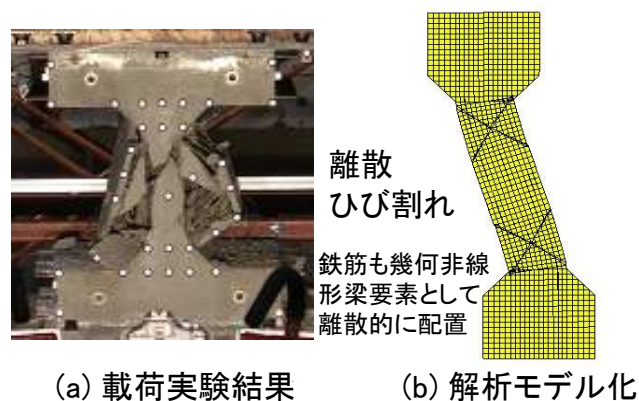
図1 三次元モデルのすべり安全率評価

## 地盤・構造物耐震性(2)

### (2) 成果 (つづき)

#### (b) 屋外重要土木構造物の健全性評価

- 鉄筋コンクリート地中構造物の終局耐震性能評価のため、崩壊挙動を表現できるモデル化を検討 (図2)。
- 鉄筋コンクリートの遮塩性能に及ぼす補修の影響評価のため、原子力サイトの断面補修部のコア試験片を採取。



地中に埋設された鉄筋コンクリート試験体の崩壊に至るまでの载荷実験結果に基づいて崩壊挙動を表現できるモデル化の検討を行った。今後、当所で開発している三次元FEM解析コードに組み込む予定である。

図2 RC構造物の崩壊挙動解析のモデル化

### (3) 成果の活用先

- 断層変位評価については、IAEAのTECDOC化を目指す。
- 基礎地盤・斜面の安定性評価及び屋外重要土木構造物の健全性評価については、学会での体系化、論文化を進め、JEAC4601及びJEAG4601の次期改訂に成果を反映。
- 上記基準化に基づき、新規制基準適合性審査及び安全性向上評価書の審査の円滑化に貢献。

# 建屋耐震性(1)

## (1) 目的

- ・ 高加速度入力に対する建屋挙動評価の高度化（再稼働対応/設計基準の合理化）
- ・ 地震PRAに用いる現実的フジリティ評価法の構築

## (2) 成果

### (a) 実建屋の3次元振動特性評価

- ・ 多点観測装置及び非接触センサで構成される建物内多点振動観測システムの仕様を選定し、観測機器の一部を試験導入。
- ・ 当所及び原子力発電所の建屋において、振動特性の長期変動評価のための中小地震データや常時微動データを取得。

### (b) 地震経験を考慮した地震荷重評価

- ・ 短周期地震動や衝撃荷重等による高加速度応答を経験した建屋の地震荷重評価及び健全性評価に資する振動特性データを取得するための高加速度実験システムを開発（[図1](#)）。
- ・ コンクリート壁の高加速度経験後の剛性データを取得。

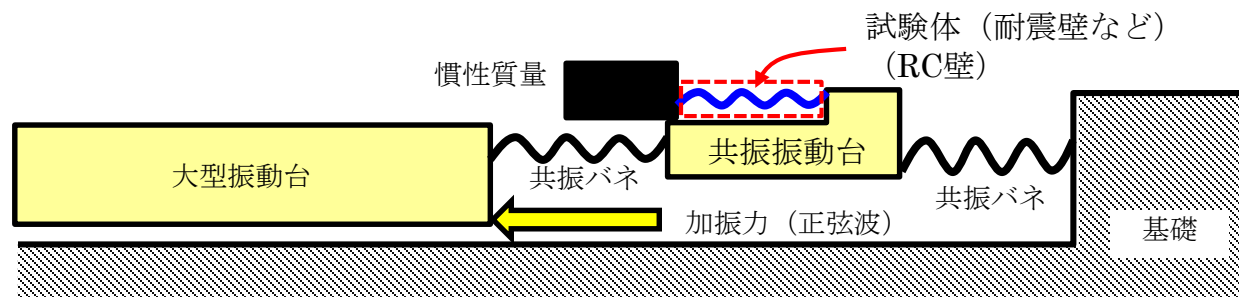


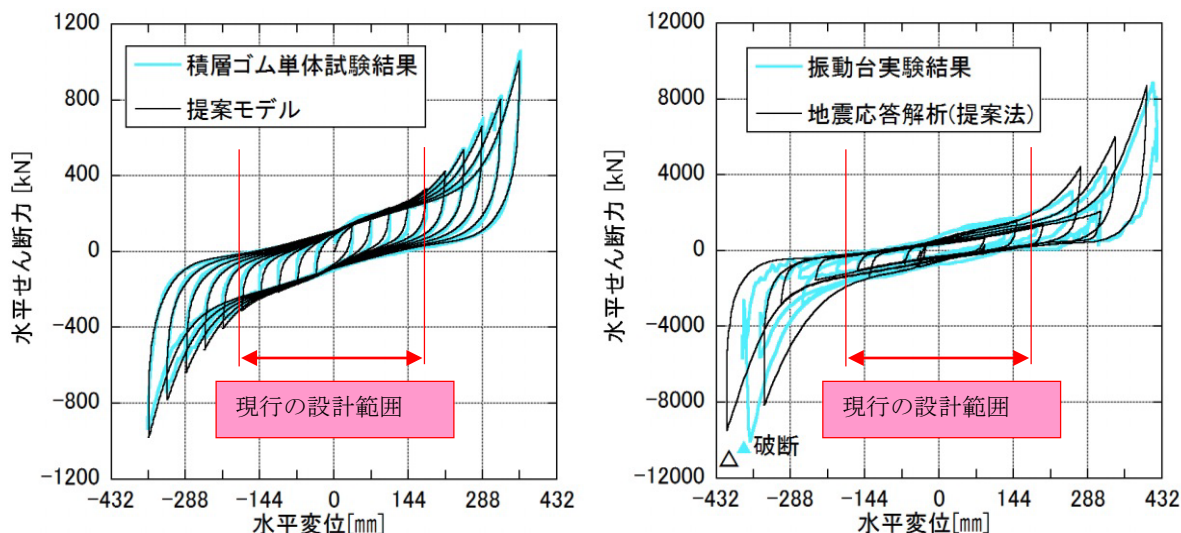
図1 鉄筋コンクリート耐震壁の高加速度実験システムの構成

# 建屋耐震性(2)

## (2) 成果 (つづき)

### (c) 免震建屋のフラジリティ評価

- ・ 現行の免震構造設計の対象範囲外の強非線形領域及び破断事象を設計範囲に取り込むための試みとして、鉛プラグ入り積層ゴムによる水平免震構造を対象とした復元力モデルを構築。
- ・ E-ディフェンスでの大規模実験データに提案モデルを適用し、水平特性の応答予測手法として成立することを確認(図2)。



(a) 鉛プラグ入り積層ゴム単体試験結果と提案モデル (b) 振動台実験の地震応答解析結果

図2 大型免震構造物模型の振動台実験データへの提案モデルの適用

## (3) 成果の活用先

- ・ 建屋の三次元応答を正確に把握し、建屋の耐震性能評価の合理化を図る。
- ・ 地震経験を受けた建屋の速やかな安全性評価の遂行に役立つ。
- ・ 免震構造の要求性能と地震荷重の関係を再構築し、免震構造の原子力発電への普及・拡大を図る。

# 機器耐震性(1)

## (1) 目的

- 機器の動作機能確認済加速度の向上（設計基準合理化）
- 機器の現実的フラジリティ評価法の構築

## (2) 成果

### (a) 共振振動台による各種弁の加振試験

- 空気作動弁について、最大加速度20Gでの加振試験が可能であることを確認。
- 主蒸気隔離弁について、10t負荷20Gでの運転に向け、周辺への振動影響を抑えるため、共振振動台と振動対策装置のセミアクティブマスダンパー（SAMD）の制御系に、より精度の高い適応制御を導入（[図1](#)）。
- 電動弁駆動部について、一部耐震補強により全型式について、最大加速度20Gでの動作機能を確認（[図2](#)）。

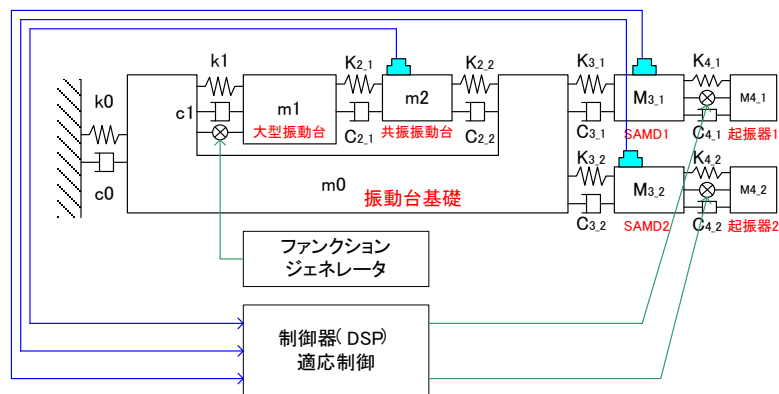


図1 SAMDの制御系改良

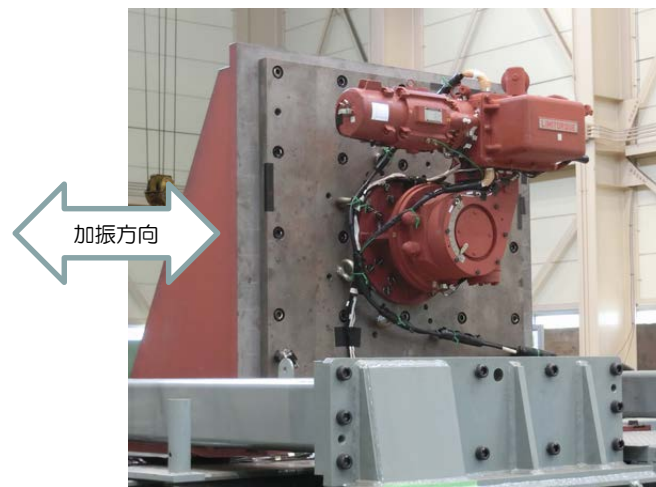


図2 電動弁加振試験

## 機器耐震性(2)

### (2) 成果 (つづき)

#### (b) 機器・配管系の耐震信頼性評価

- 地震被害データベースについて、損傷事例データの追加、分析により拡充。
- フラジリティ評価等での損傷事例の判別に必要な損傷レベル分類について、既実施の静的機器に加えて、動的機器の動的機能の分類を実施し、損傷事例データの利用可能範囲を拡大 (図3)。
- 欧米の先行事例から今後の地震被害データベース整備にあたっての課題を抽出。
- 累積疲労損傷について、米国機械学会の運転/保守基準にある配管の振動速度から疲労を評価する方法を応用した簡便な評価法を提案し、実用上重要な領域で厳密な累積疲労損傷値と良く一致することを確認。
- 累積疲労評価に使われる等価繰返し数について、従来一方向地震動に限られていた適用範囲を、多方向地震動同時入力時へ拡大できる見通しを得た。
- 弾塑性設計において、現行の応力基準ではなく、破損モードに応じた塑性率の合理的な設定のための基礎的な検討を実施。

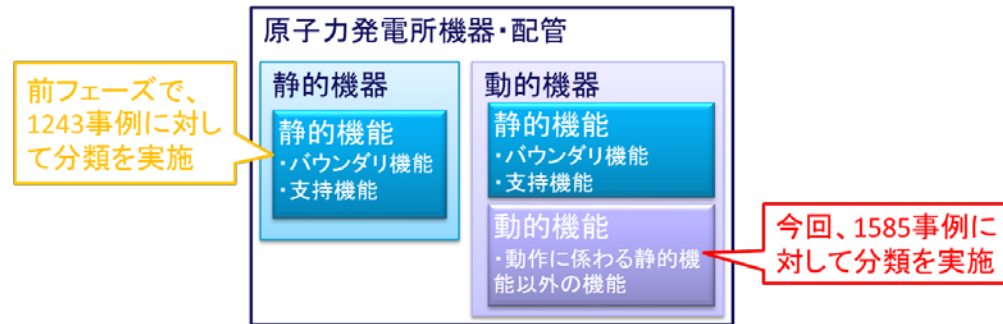


図3 静的・動的機器の機能分類の考え方

# 機器耐震性(3)

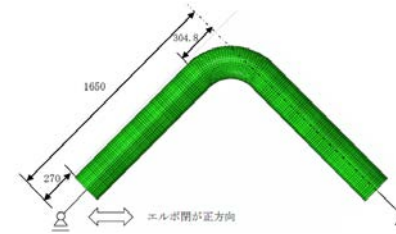
## (2) 成果 (つづき)

### (c) 配管系の弾塑性解析高度化

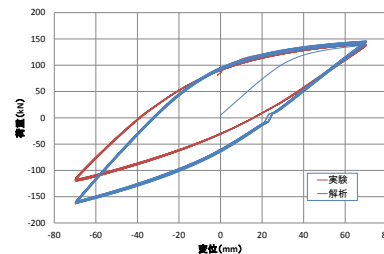
- 日本機械学会「耐震許容応力検討タスクフォースフェーズ2」で設定された配管系ベンチマーク問題について汎用有限要素解析プログラムABAQUSを使用して解析を実施。
- ベンチマーク問題の一つである、エルボ配管の面内方向静的繰返し試験では、荷重変位関係とひずみ振幅を十分な精度で再現 (図4)。



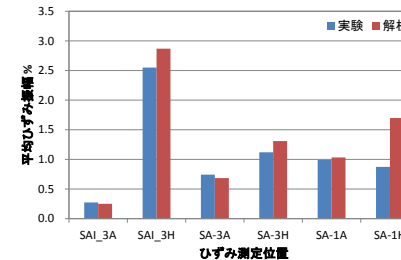
a) ベンチマーク対象の試験



b) 有限要素解析モデル



c) 荷重変位関係



d) ひずみ振幅の比較

図4 エルボ配管の面内方向静的繰返し試験の解析結果

## (3) 成果の活用先

- 電動弁駆動部の加振試験で得られた成果は、JEAC4601の動作機能確認済加速度に反映されるとともに、一部のプラントで再稼動審査資料に活用。
- 弾塑性解析ガイドラインの成果は、日本機械学会・設計建設規格・事例規格に反映される見込み。
- 大規模地震時における機器・配管系の現実的な応答や破損モードに基づく合理的な耐震評価への寄与と社会的説明性の向上。

# 津波(1)

## (1) 目的

- ・ 津波ハザード評価/フラジリティ評価技術構築による実用的な津波PRA手法の確立

## (2) 成果

### (a) ハザード評価のための津波堆積物調査

- ・ 太平洋沿岸 19 地点での津波堆積物の調査・分析を実施。
- ・ 実際の砂を模擬した混合粒径砂を用いた津波堆積物生成過程に関する大型水理模型実験を実施。形成された津波堆積物は、現地調査で指摘されているような陸方薄層化、細粒化を示すことを確認 (図 1)。

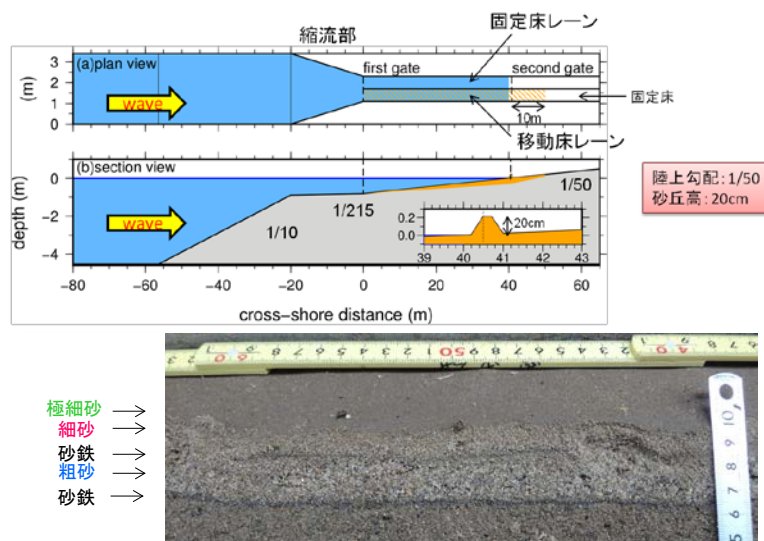


図1 津波堆積物生成過程実験の水理模型概要  
と得られた堆積物の剥ぎ取り試料



## 津波(2)

### (2) 成果 (つづき)

#### (b) フラジリティ評価技術の高度化

- 津波漂流物の挙動及び衝突力の評価技術に関する既往研究のレビューを踏まえ、漂流物影響評価技術の活用法を例示。
- ハザード評価結果と整合したフラジリティ評価用津波の設定方法を提案 (図2)。
- 文献調査や事業者ヒアリングを通じ、2011年津波による被害情報及び設計情報を収集し、それらを一元的に管理する津波フラジリティデータベースをサーバー上で作成し運用を開始。

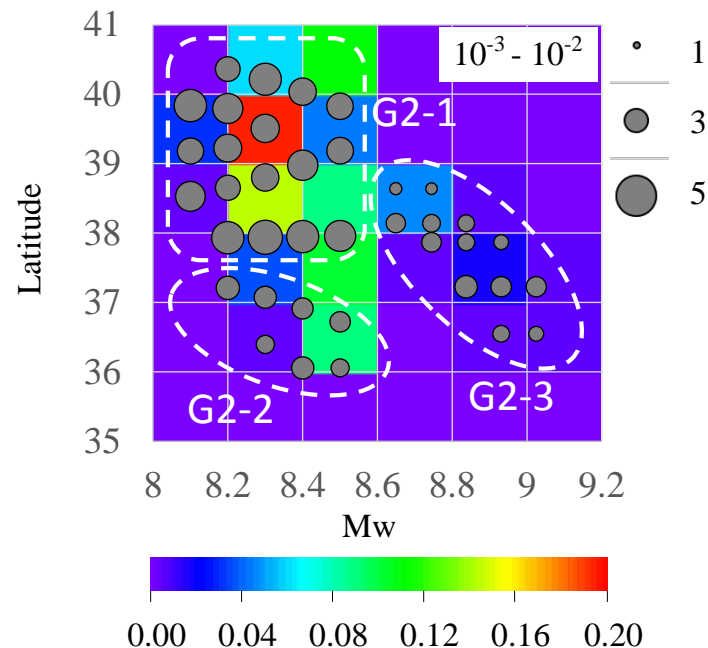


図2 年超過頻度が $10^{-3}$ ~ $10^{-2}$ の津波によるMwおよび緯度別の寄与度(コンター)および沖・沿岸間での津波高増幅率(円の径)。破線は類似する津波のグループを表す。

### (3) 成果の活用先

- 津波堆積物の調査及び水理実験の結果は、津波堆積物調査方法の基礎資料となる。また、水理実験結果は、津波の浸食・堆積現象の数値解析モデルの検証に活用可能。
- 漂流物影響評価技術及び新たに提案したフラジリティ評価用津波の設定方法は、防潮堤を越流する規模の津波に対する施設のフラジリティ評価に活用可能。

# 竜巻(1)

## (1) 目的

- ・ 設計基準合理化及び竜巻リスク評価に関するハザード評価法の確立。

## (2) 成果

### (a) 竜巻ハザード評価法の高度化・利用環境整備

- ・ ハザード評価モデル(TOWLA)の改良。
- ・ 飛来物速度評価モデル (TONBOS)の改良。
- ・ サイト近傍の地形影響の評価手法の開発に着手 (図1)。

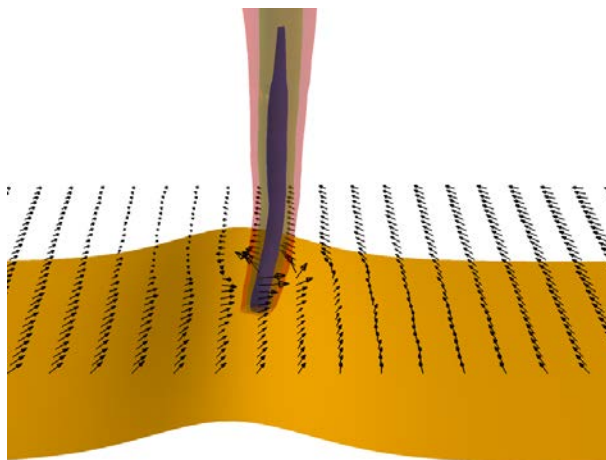


図1 丘状地形を移動する竜巻状渦の数値解析例

## 竜巻(2)

### (2) 成果 (つづき)

#### (b) 飛来物対策法、構造健全性評価法の開発

- 鋼板貫通試験を実施し、鋼板の貫通防止に必要な限界厚さの算定に一般的に用いられるBRL(Ballistic Research Laboratory)式の保守性を確認 (図2)。
- 数値解析による破断評価を実施し、試験結果と比較し解析手法の妥当性を確認。

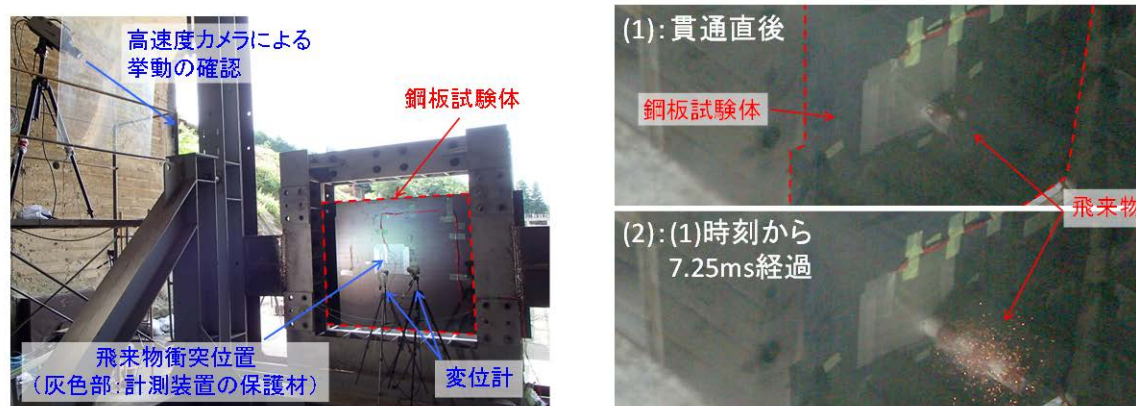


図2 鋼板貫通試験の実施状況 (左) と高速カメラによる貫通時画像の一例 (右)

### (3) 成果の活用先

- 新規制基準適合性審査対応の一部に本研究の成果を適用。
- 再稼動後の安全性向上評価において本研究の成果が適用できるよう協力。
- 今後予想される原子力規制委員会のガイドライン改訂や学協会規格の策定等に成果を反映。

# 火山(1)

## (1) 目的

- 火山に関するリスク評価手法の確立

## (2) 成果

### (a) 降灰ハザード評価

- 既公刊文献による過去33万年間の降下火山灰実績を再デジタル化し、全551事例中の512事例について、降灰ハザード曲線の基礎データ(降灰DB)を整備(図1)。
- 当所の高解像度・長期気象・気候データベースCRIEPI-RCM-Era2を用い、富士山宝永噴火に基づく降灰の再現計算を、気象条件を変化させて実施。風向だけでなく時間に対して降灰分布範囲が変化することが明らかになった。

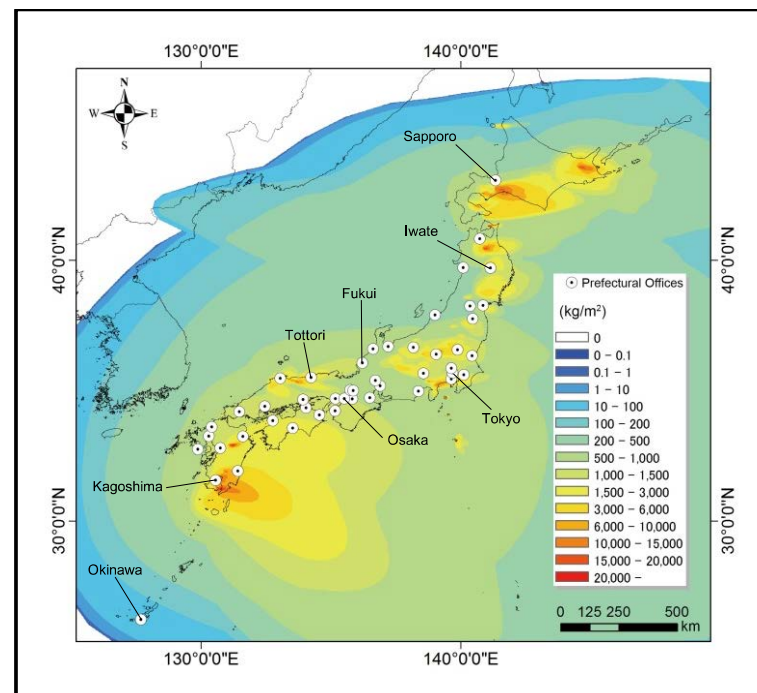


図1 過去33万年間の積算降灰量(kg/m<sup>2</sup>)

# 火山(2)

## (2) 成果 (つづき)

### (b) 機器の脆弱性評価

- ・ 電力機電部門と土木部門と連携し、降灰時の機器の脆弱性評価に関わる知見収集を実施。
- ・ 火山灰吸気口流入試験装置 (図2) を製作し、除灰効果を確認する実験計画を立案。

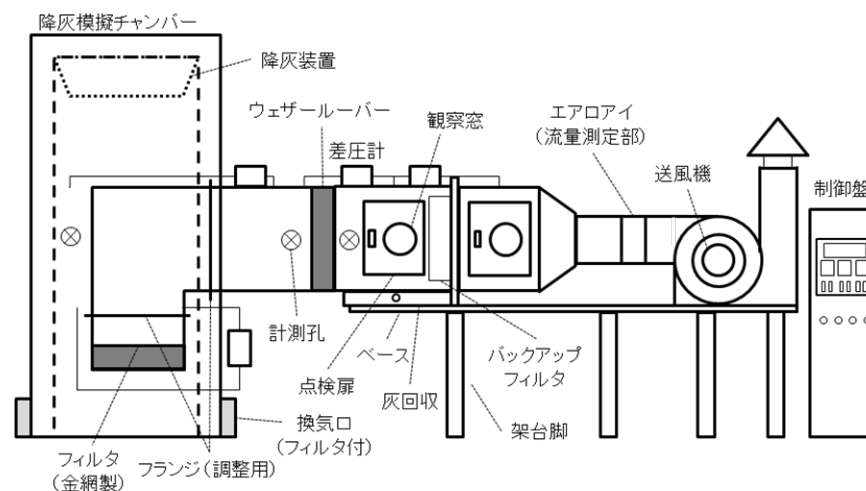


図2 火山灰吸気口流入試験装置の概要

## (3) 成果の活用先

- ・ 屋外設置の非常用設備に関する脆弱性評価により、具体的な降灰対策を図ることが可能。
- ・ 新規制基準適合性審査、安全性向上評価、及び安全基準・設計指針 (JEAG等) の改訂に貢献。

# 目次

## 1. NRRCの主な活動

### 1. 1 研究開発活動

### 1. 2 リスク評価分野

### 1. 3 自然外部事象分野

### 1. 4 PRAパイロットプロジェクト

## 2. リスク情報活用に向けた取り組み

## 3. まとめ

## 伊方3号プロジェクトの現状

伊方3号プロジェクトは、以下の5つの技術タスクについて、NRRCにおける研究開発と協調しつつ、PWR電力各社とも連携を図りながら、PRA手法等の検討を進めている。

- (1) イベントツリー等の高度化
  - ・ 起因事象やイベントツリーの現実に即した詳細化（FMEA；故障モード影響解析等）
- (2) PRAパラメータの高度化
  - ・ 伊方3号プラント固有パラメータ（機器故障率データ等）の整備
- (3) 人間信頼性評価の高度化
  - ・ 海外で活用されている最新手法（HRA Calculator）の導入検討
- (4) 地震ハザード評価の高度化
  - ・ SSHACプロセス（レベル3）の適用研究の実施
- (5) 地震フラジリティ評価の高度化
  - ・ NRRCで研究中の評価手法の適用の検討

また、事象毎のモデル化方針について外部エキスパートのレビューを受けている。

- ・ 第1回（地震レベル1&2）：H29.1.30～2/3
- ・ 第2回（運転時内部事象レベル2）：H29.8.21～25（予定）

# 柏崎刈羽6/7号プロジェクトの現状

運転時内の事象レベル 1 PRAモデルの高度化作業を外部エキスパートのレビューを受けながらPHASE分割して実施中。

- PHASE- I (～2017.03)
  - ・ 現状把握しているGAPに対し、モデル化への課題抽出・対応検討 (パイロット評価)
  - ・ エキスパートレビュー (第1回 : 2017.02.13～17)
    - 起因事象の同定、起因事象のグルーピング、事故シーケンス (非隔離事象ET)
  
- PHASE- II (2017.04～)
  - ・ 詳細モデル化、PHASE- I では対応できない課題への対応 (詳細評価)
  - ・ 今後実施するレビューでのコメント対応
  - ・ エキスパートレビュー (第2回 : 2017.06.19～23)
    - 事故シーケンス、成功基準、システム信頼性解析
  - ・ エキスパートレビュー (第3回 : 2017.12.11～15) (予定)
    - システム信頼性解析、HRA



# 目 次

## 1. NRRCの主な活動

### 1. 1 研究開発活動

### 1. 2 リスク評価分野

### 1. 3 自然外部事象分野

### 1. 4 PRAパイロットプロジェクト

## 2. リスク情報活用に向けた取り組み

## 3. まとめ

# リスク情報活用に向けた戦略的プランの策定と 安全目標の検討(1)

## (1) リスク情報活用に向けた目標設定と戦略的プランの策定

- a. 既往のPRA、リスク情報活用に係る海外調査結果の再整理  
RIDM導入に必要な事業者組織の機能を抽出。国内外のギャップを分析し、戦略プランに取り込んだ。
- b. リスク情報活用推進会議の設置と活用に向けた課題に係る議論  
データ収集体制の高度化について、発電所で実施可能なようにアクションを具体化した。
- c. 検査制度見直しに伴う対応  
事業者によるリスク情報活用が前提となるROPへの対応に向けて、必要な事業者組織の機能の整備に向けた役割分担、ロードマップを電事連検査チームと策定し、戦略プランに取り込んだ。

## (2) 国内外のPRA関連知見の収集

国際会議、実務研修、ベンチマークに参加し、知見を収集し、戦略プラン、Good PRAに向けたデータ収集体制の検討に役立てた。

- ✓ Nuclear Operational Risk Management Course 2016 於米国MIT
- ✓ リスクマネジメントに関する米国事業者ベンチマーク 於Exelon、PG&E

## リスク情報活用に向けた戦略的プランの策定と 安全目標の検討(2)

### (3) 安全目標に関する検討

- 既往の安全目標に係る研究、議論の状況を調査。
- IAEAで検討中の安全目標の概念について、国内での適用可能性について検討中。
- 資源エネルギー庁主催の「原子力の安全性向上の目標に関する勉強会」における議論を傍聴し、内容と方向性を確認。
- 産業界としての安全目標の在り方を提示していくにあたっての考え方等を検討中。

### (4) 外部事象に係る海外情報収集

外部事象PRAの活用状況について米国のコンサルタントを通じて調査を実施。

## Good PRA構築に向けた基盤整備

- パイロットプロジェクト支援
  - PWR：伊方3号機、BWR：KK6/7号機を対象に、国際的な先行事例に比肩するレベルのPRAを国内で実現するための、海外エキスパートによるレビューを開始。
  - 伊方3号機は地震レベル1・内的事象レベル2、KK-7号機は内的レベル1を対象とし、高度化検討に資する有益な助言・最新情報を得た。
- P R Aピアレビュー実施方法の確立
  - ピアレビューの実施方法を確立するため、関連文献等の調査を実施。
  - 2017年度に米国で実施されるピアレビュー観察に向けて、事務局であるオーナーズグループ及び受入れサイトとの折衝を進めた。
- 信頼性データベース構築、PRA用パラメータ整備
  - JANSIから「信頼性データシステム」を移管し、運用を開始。また、国内一般アンアベイラビリティに用いるデータを整理して試評価を実施するとともに、過去に遡って再調査すべきデータを特定。

## PRA学会標準・人材育成

【PRA学会標準】 将来的な整備支援のあり方について関係機関と議論を行い、NRRCにおけるPRA標準整備にかかるスタンス案にまとめ、以下の支援活動を実施。

- PRA標準にかかる電気事業者のニーズ把握と学会の動向把握・策定参加
- 標準・ガイドライン類整備の支援
  - ・ 内の事象に関するPRA標準の改定検討
  - ・ 外的事象に関するPRA標準の改定検討
  - ・ 関連する技術検討業務
- NRRC内R&Dと標準活動との連携調整
  - ・ パイロットプロジェクトやNRRCの個別R&D活動とPRA標準・ガイドライン類整備との連携調整。

【PRA人材育成】 JANSIからの業務引継を受け次第、すみやかに本格的に活動を進められるよう、準備としての以下の活動を実施。

- PRA技術導入研修（その1）コース参加
  - ・ 国内教育実施状況の把握、ニーズ等情報収集。
- 国外PRA教育実施状況に関する文献調査
- 国内PRA教育実施についての検討
  - ・ 2018年度からJANSIよりNRRCに業務移管すること、EPRIとリスク情報を活用する要員を対象とした教育を開発していくことで合意。

# 目 次

## 1. NRRCの主な活動

### 1. 1 研究開発活動

### 1. 2 リスク評価分野

### 1. 3 自然外部事象分野

### 1. 4 PRAパイロットプロジェクト

## 2. リスク情報活用に向けた取り組み

## 3. まとめ

## まとめ

- NRRCは、PRA手法およびリスクマネジメント手法のセンター・オブ・エクセレンスを目指し、研究開発活動を実施。
- NRRCの機能を研究開発のみでなく、開発した手法の活用にも拡張。