

外的ハザード事象のリスク評価と PRA基準の開発計画

— 外的事象PRA実施基準の整備 —

標準委員会リスク専門部会 幹事
成宮 祥介（関西電力）

目次

- リスク専門部会の目的と体制
- リスク専門部会の活動実績
- PRA実施基準の課題
- 外的事象PRAの種類
- 地震PRAの概要
- 津波PRAの概要
- 外的事象PRAの特徴を踏まえた構想
- PRA実施基準の策定状況と計画概要

リスク専門部会の目的と体制

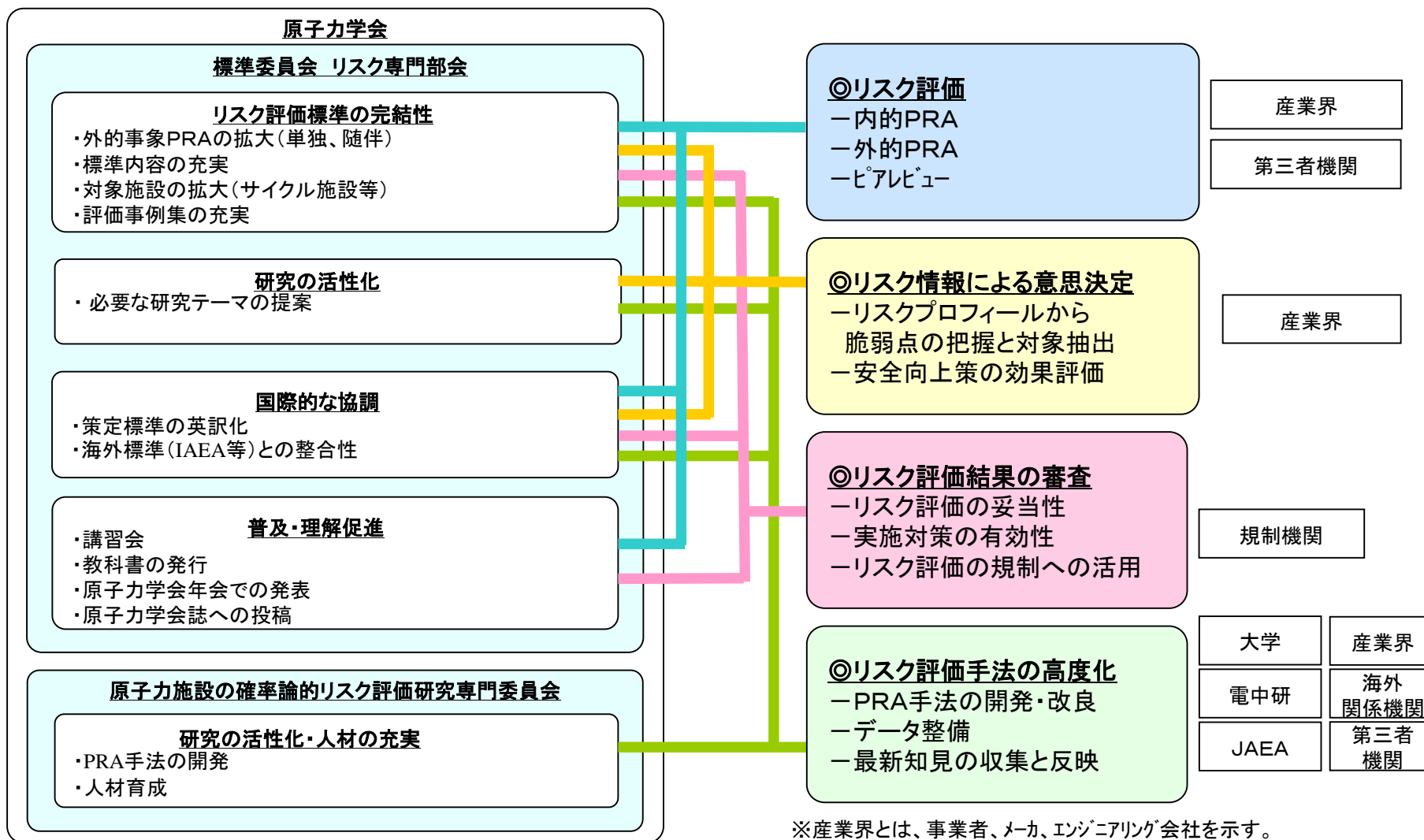
目的

- 確率論的リスク評価 (Probabilistic Risk Assessment: PRA) の手法及びそれから得られるリスク情報を活用するための方法に関する標準を策定する。
- PRA 標準の理解促進及び、標準の考え方の普及を目的として、講習会開催やPRA教科書作成に取り組む。

体制

- 部会長: 山口彰 (阪大)、副部会長: 山下正弘 (JNES)、幹事: 成宮 (関電)
- 委員: 学識経験者、学術研究機関、エンジニアリング会社、製造業、電力事業者等、関係官庁、非営利団体から総勢**28**名 (三役含み)
- リスク評価基準体系化戦略タスク: 部会傘下に設置。将来の**PRA**標準策定計画を構築する。
- 「原子力施設の確率論的リスク評価」研究専門委員会: 標準委員会外の研究専門委員会。**PRA**手法の開発・研究を行い部会への材料提示を担う。

リスク専門部会の活動実績(その1)



※産業界とは、事業者、メカ、エンジニアリング会社を示す。

リスク専門部会の活動実績(その2)

分科会	策定標準	状況(2012. 9. 21)
レベル1PRA分科会	レベル1PSA標準:2008	改定作業中
レベル2PSA分科会	レベル2PSA標準:2008	発行済み
レベル3PSA分科会	レベル3PSA標準:2008	発行済み
停止時PSA分科会	停止時PSA標準:2010	発行済み
PSA用パラメータ分科会	PSA用パラメータ推定標準:2010	発行済み
地震PRA分科会	地震PSA標準:2007	改定作業中
リスク情報活用ガイドライン分科会	リスク情報活用標準:2010	発行済み
津波PRA分科会	津波PRA標準:2011	評価事例集作成中、改定(地震随伴への拡張)中
内部溢水PRA分科会	内部溢水PRA標準2012	制定済み
火災PRA分科会	火災PRA標準(案)	策定作業中
PRA品質確保分科会	PRA品質確保標準(案)	策定開始
リスク専門部会	PRA共通用語集:2011	発行済み

※2011年以降に制定する標準は、PRAと称することとした。改定時に見直していく。

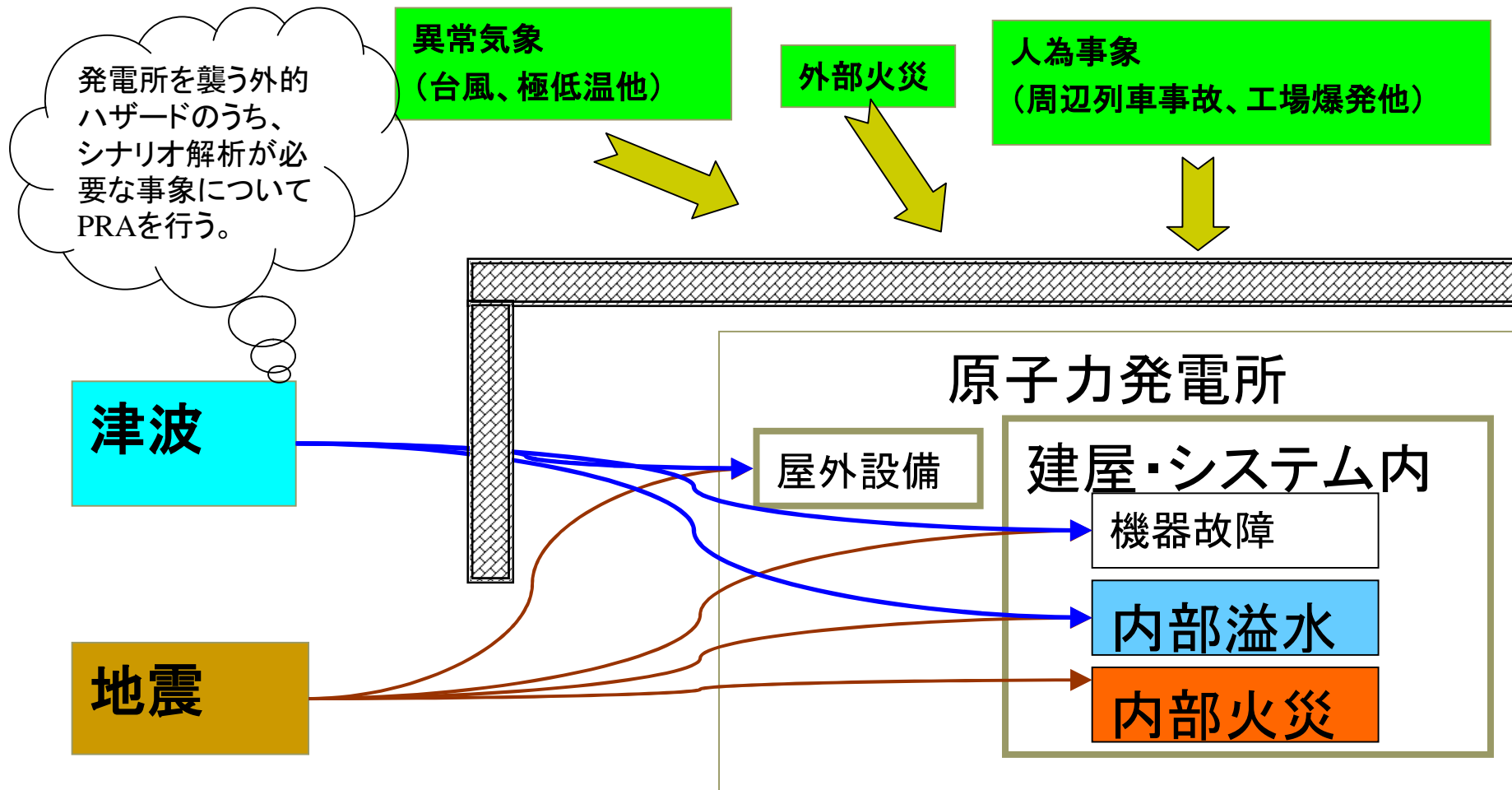
PRA実施基準の課題(その1)

- 福島第一原子力発電所事故を鑑みると、津波のような自然災害のハザード解析、**外的事象PRAによるリスクプロファイルの把握**、**外的事象PRA結果からのアクシデントマネジメント整備**、といったPRAの寄与が可能な局面が含まれている。
- 「東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会(畑村委員長、H24.7.23)」の最終報告書には、“外的事象を対象としたアクシデントマネジメント導入に至らなかった経緯”において『**地震PSAによる評価や津波に対する安全評価**を始めとして、事故の起因となる可能性がある**火災、火山、斜面崩落等の外部事象を含めた総合的なリスク評価**は行われていなかった。』と記載されている。
- 更に続けて、『施設の置かれた自然環境は様々であり、**発生頻度は高くない場合ではあっても、地震・地震随伴事象以外の溢水・火山・火災等の外的事象及び従前から評価の対象としてきた内的事象をも考慮に入れて**、施設の置かれた自然環境特性に応じて**総合的なリスク評価**を事業者が行い、規制当局等が確認を行うことが必要である。その際には、**必ずしもPSAの標準化が完了していない外的事象**についても、事業者は現段階で可能な手法を積極的に用いるとともに、国においてもその研究が促進されるよう支援することが必要である。』と提言している。

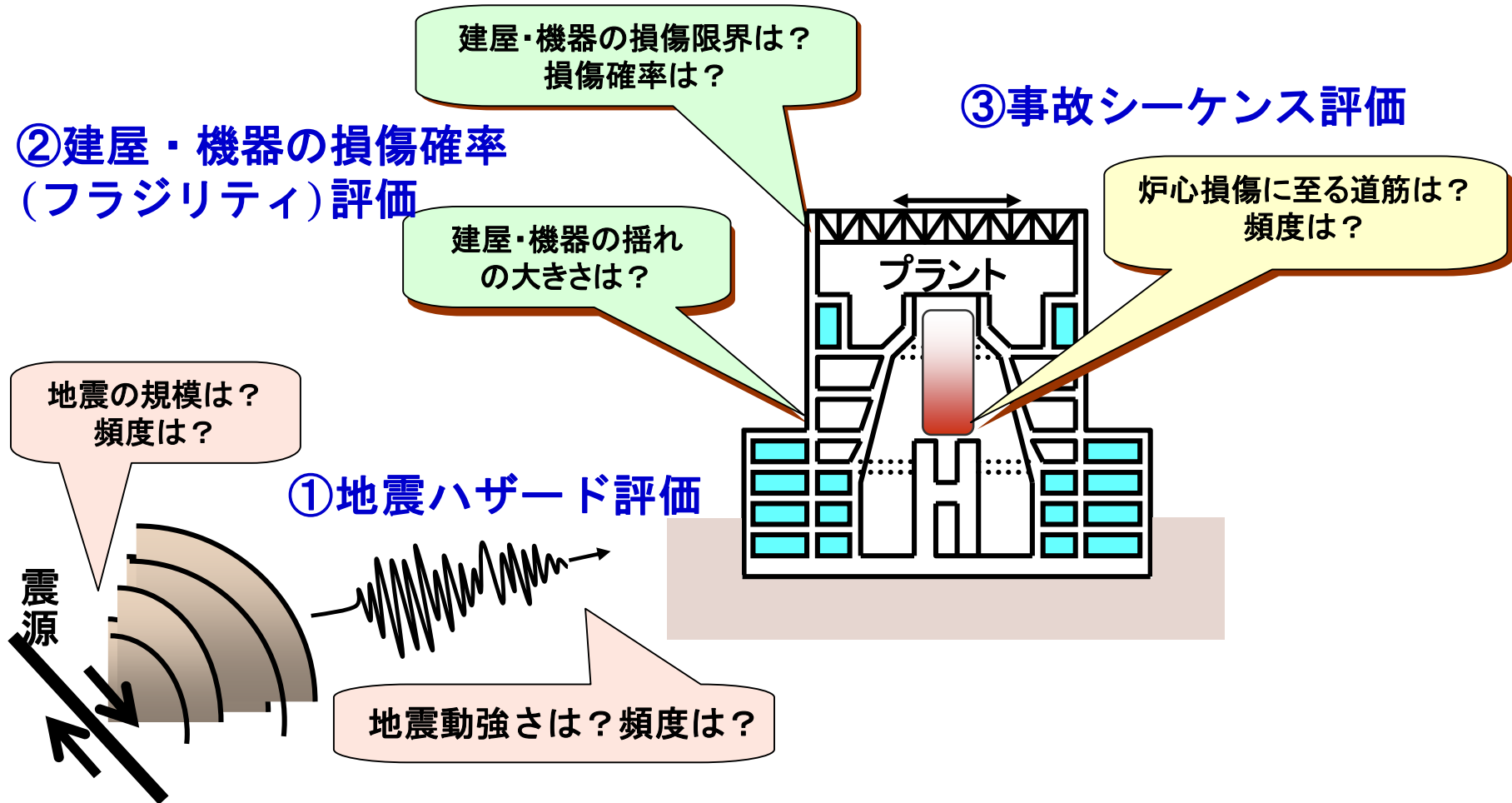
PRA実施基準の課題(その2)

- 内的事象のみならず、広く外的ハザードを考慮して原子力発電所の安全性を向上するために、外的事象PRA標準の整備に取り組む。
- 地震、津波、内部溢水PRA以外の実施基準の整備が必要。単独の外的事象としては、**火災**。
- 次に**地震随件事象のPRA実施基準**に着手する。津波は既に地震との重畳状態のPRAを議論中。
- 地震、津波、火災、内部溢水以外の**異常気象などの外的ハザード事象**についてもそれらの特性に適切なリスク評価方法を選択する方法論を検討中(倉本氏の発表)。
- **停止時**状態に外的事象が発生したPRA、あるいは**外的事象によるL2PRA**についても、複数PRA実施基準の参照で評価可能か、あるいはそれぞれのPRA実施基準が必要かを検討。
- 外的事象PRA実施基準だけではないが、**PRS品質の確保**にかかる要件をまとめて実施基準とする。

外的事象PRAの種類



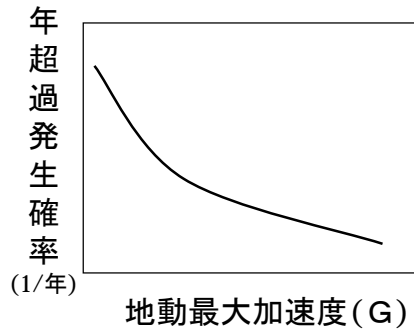
地震PRA手法の概要(特徴)



地震PRA手法の概要(手順)

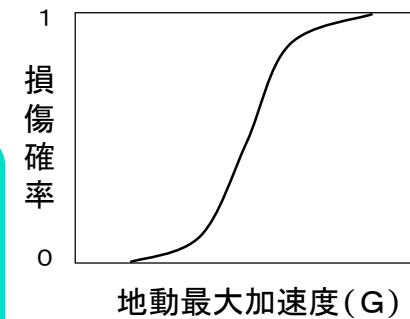
地震ハザード評価

サイトにおける地動最大加速度がある値Aを越えるような地震の発生確率



地震フラジリティ評価

地動最大加速度Aにおける機器・設備の損傷確率



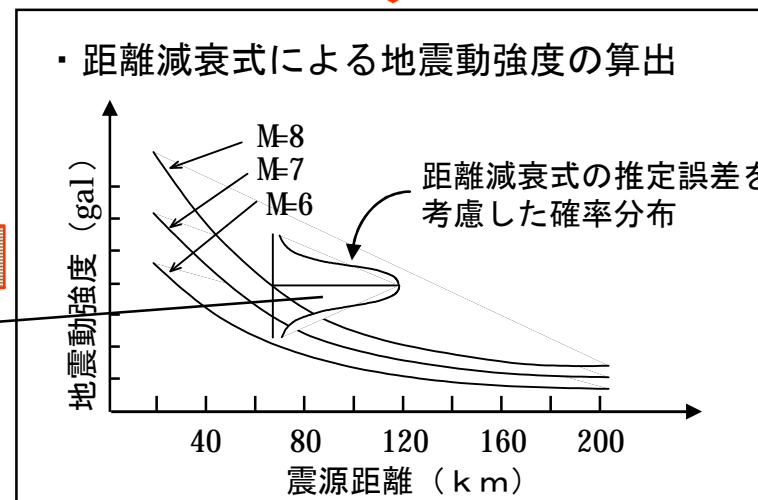
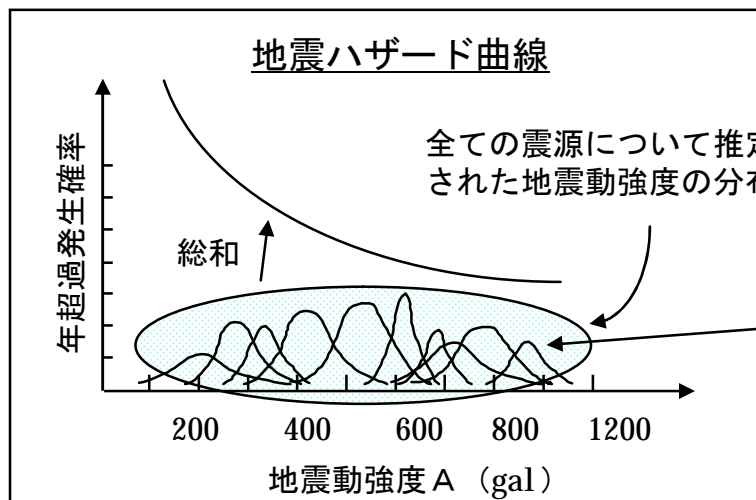
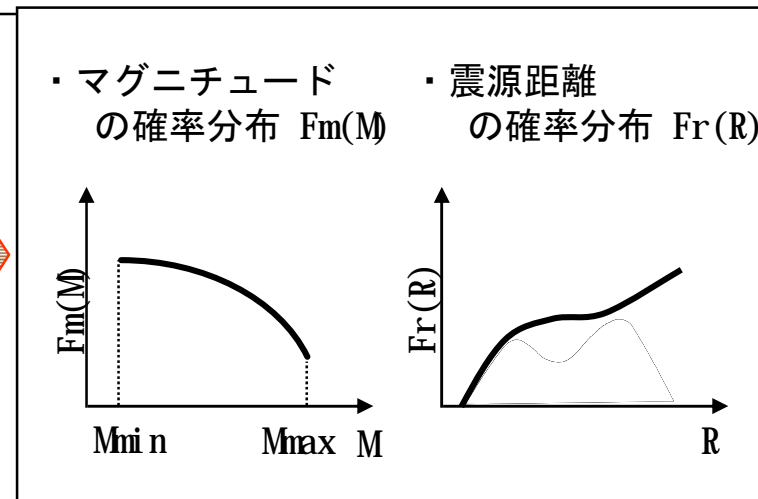
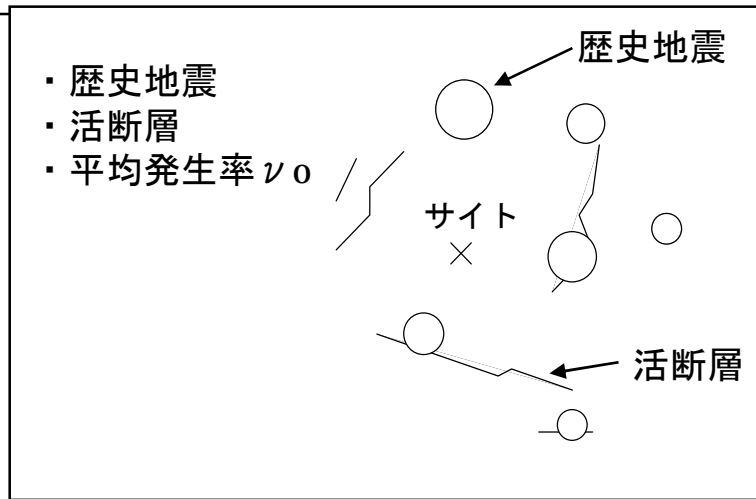
地震システム評価

安全上重要なシステムのフォールトツリー解析
炉心損傷に至るイベントツリー解析

地震PRA評価結果

炉心損傷頻度 (CDF)
ドミナントシーケンス
炉心損傷への寄与の高い機器・設備

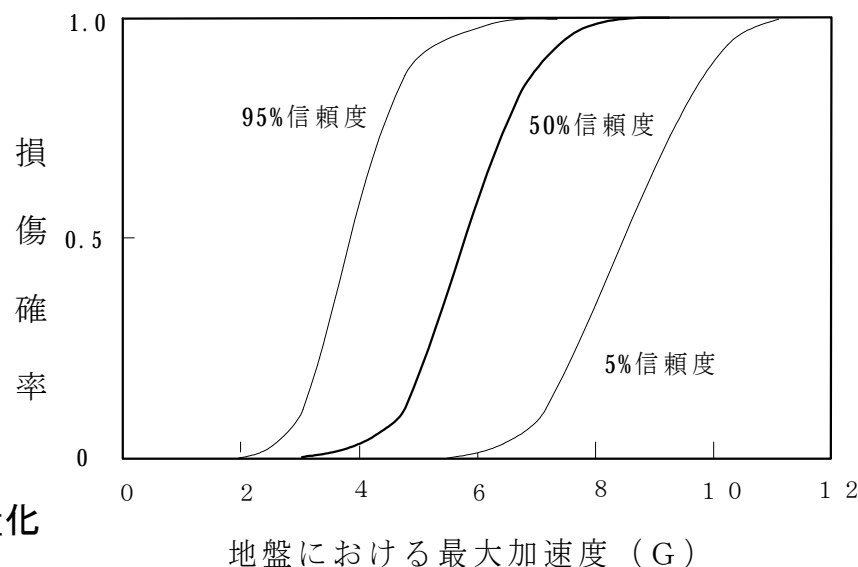
地震PRA手法の概要(ハザード解析)



地震PRA手法の概要(フラジリティ評価)

設備の耐震設計に内在する様々な裕度(例えば、統計値の95%信頼値を用いているなど)をそれぞれ安全係数(中央値及び不確定性)として定量化し、それをもとに設備の損傷確率曲線(フラジリティカーブ)を算定。

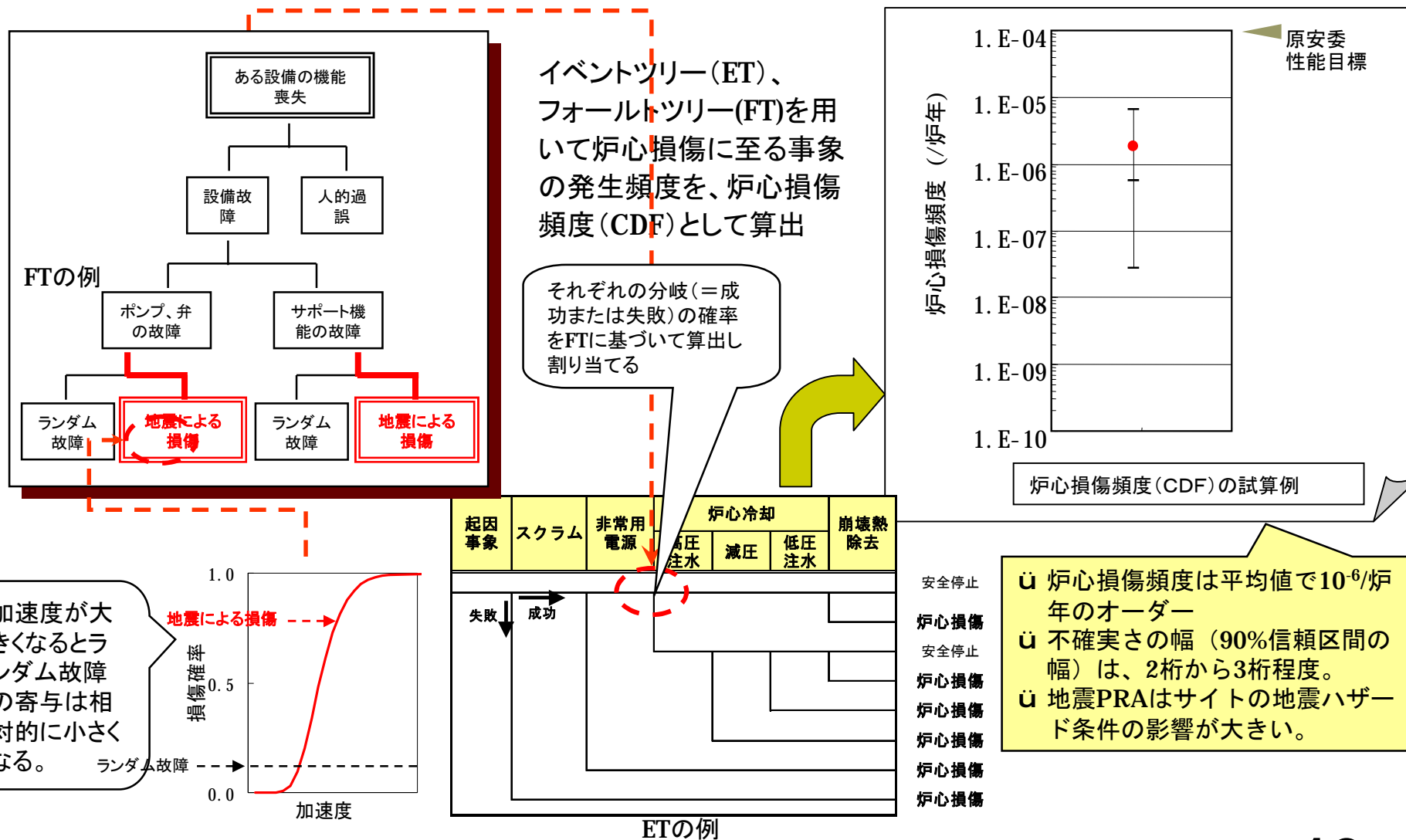
- 設計建屋応答に内在する裕度
- 設計機器応答に内在する裕度
- 設計機器耐力に内在する裕度



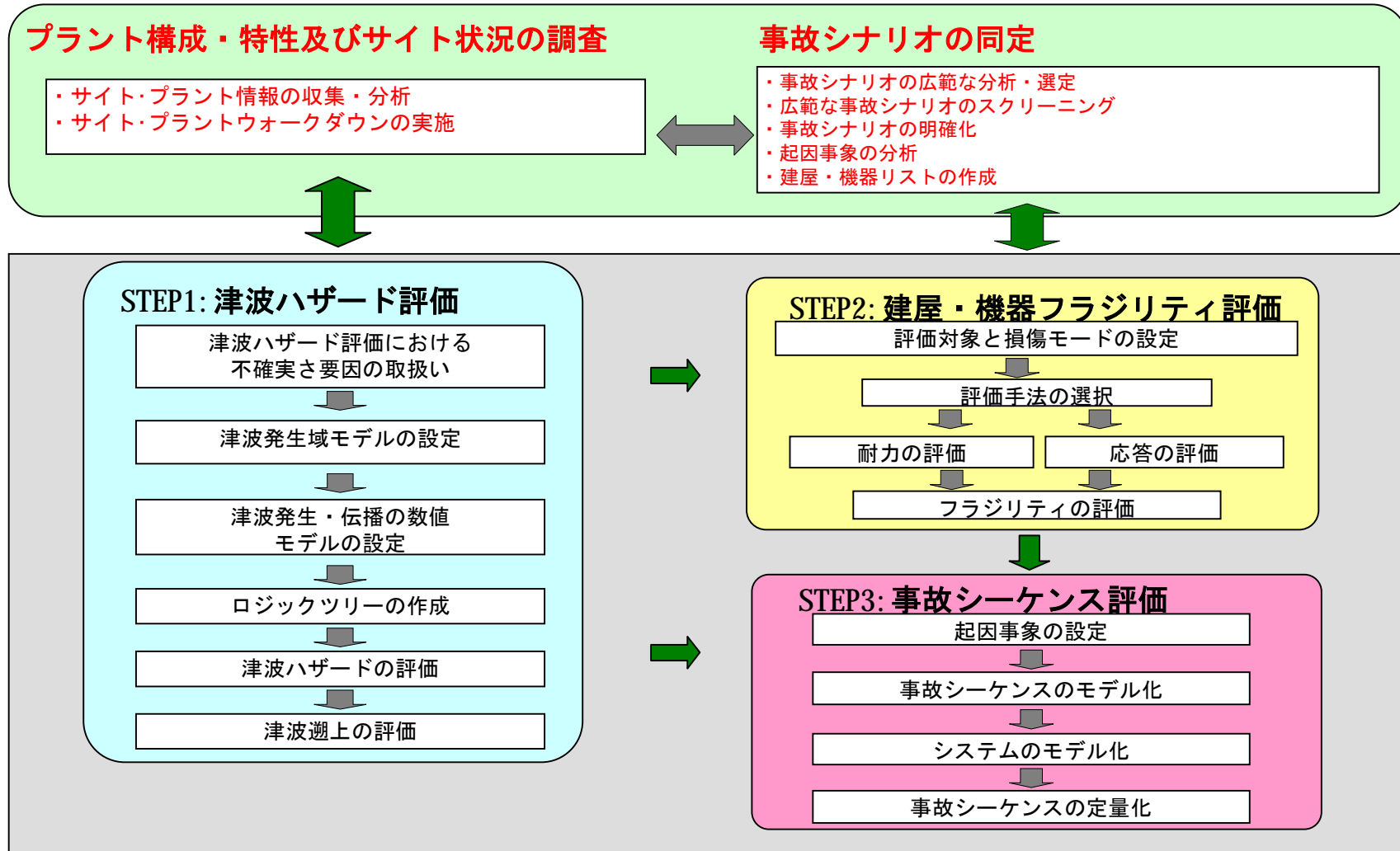
※ これらの裕度をさらに詳細な要素に分けて定量化

設備の損傷確率曲線(フラジリティカーブ)の例

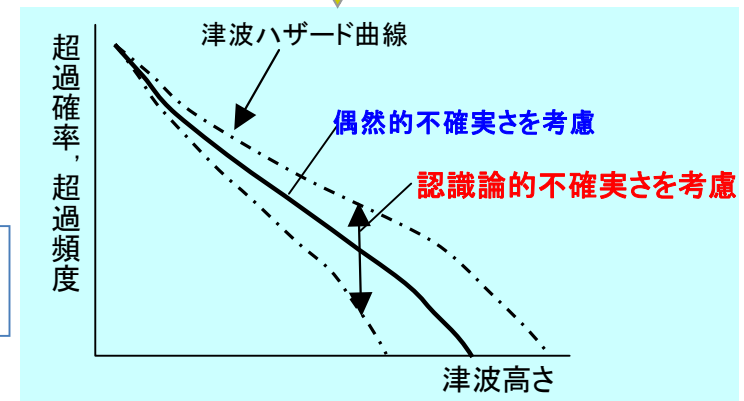
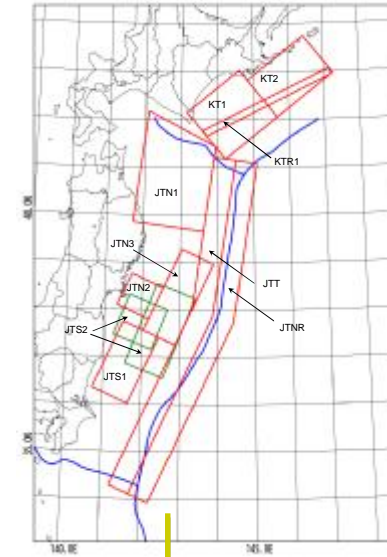
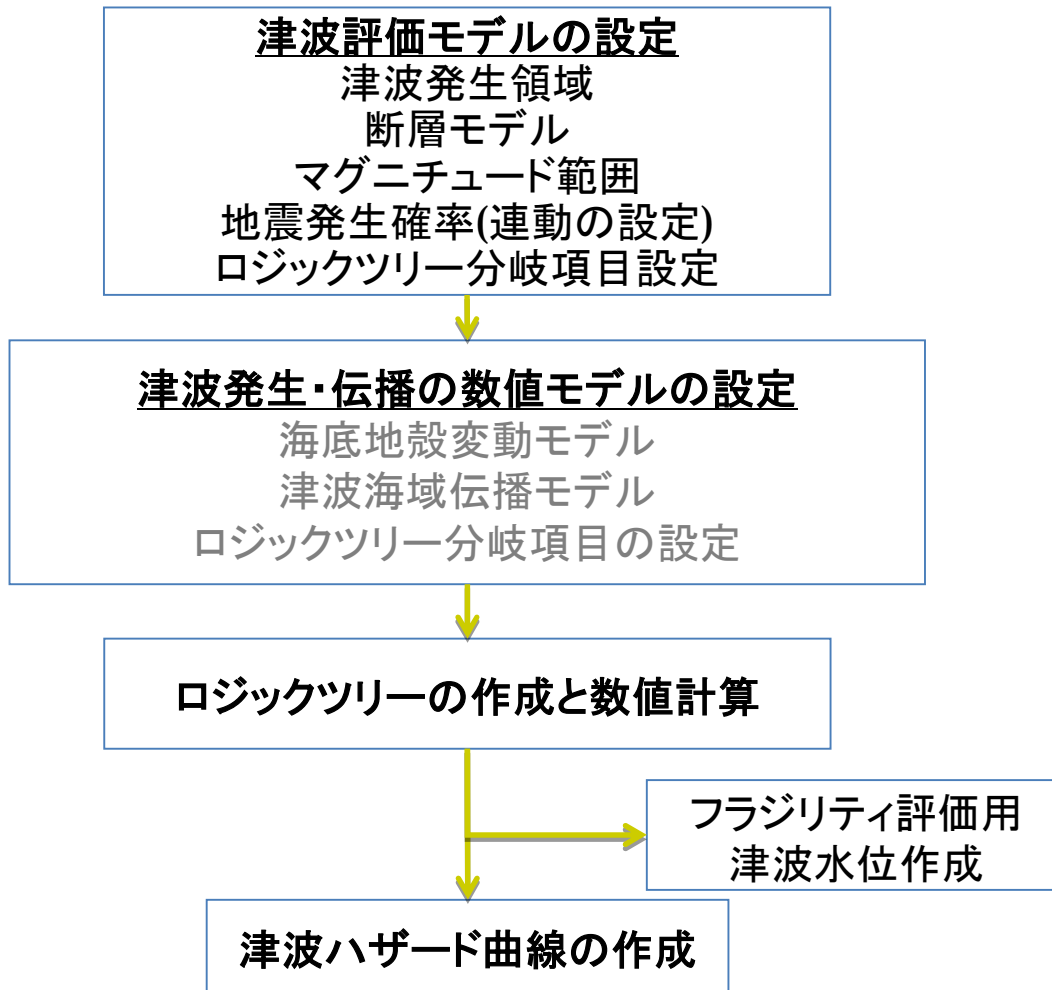
地震PRA手法の概要(システム評価)



津波PRA手法の概要(手順)

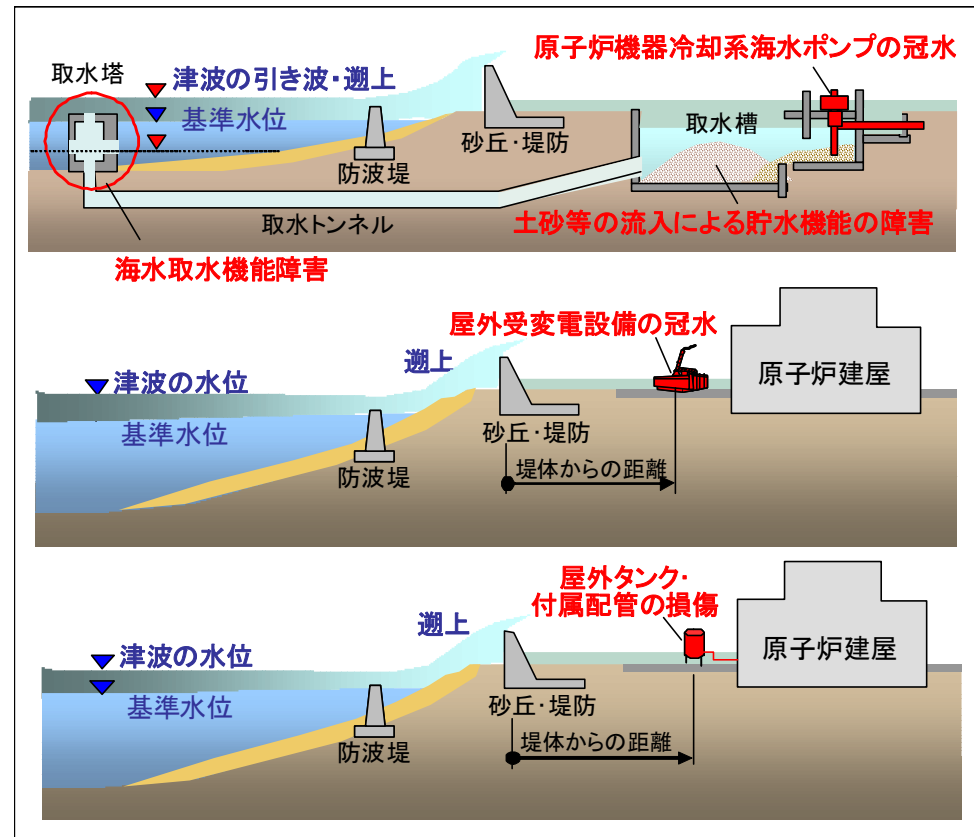
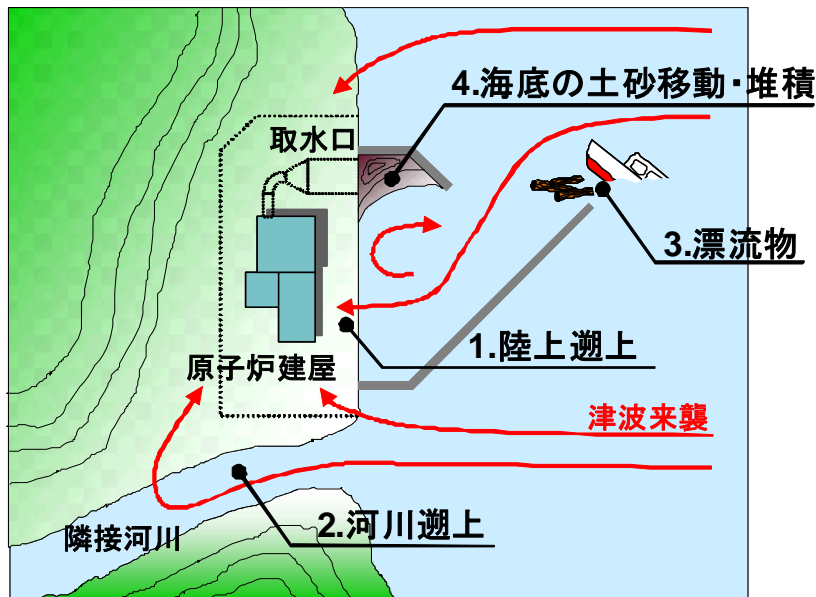


津波PRA手法の概要(津波ハザード評価)

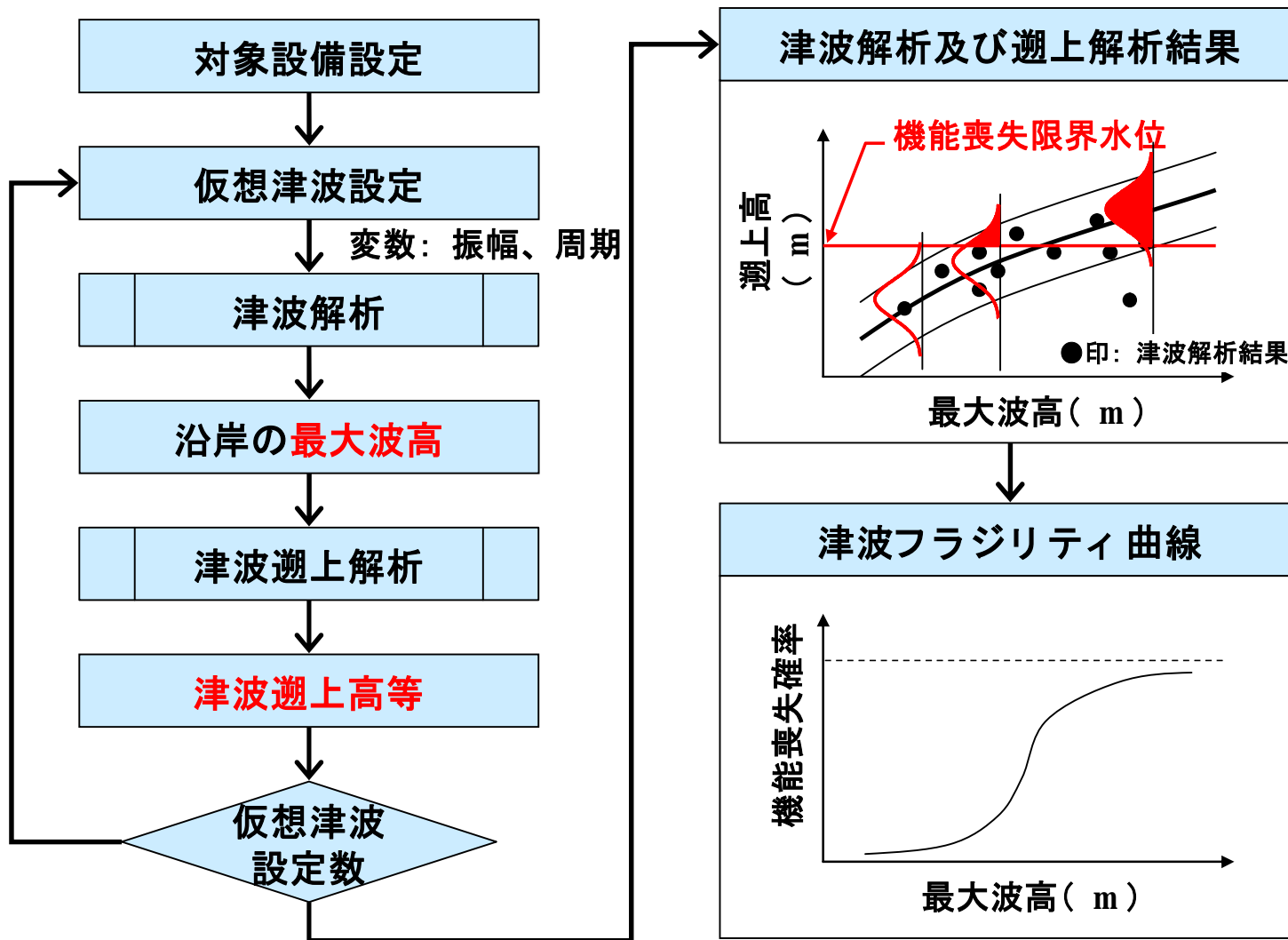


津波PRA手法の概要(事故シナリオ)

津波による発電所への「脅威」は、①波力、②洗掘、③漂流物衝突、④海底砂移動、⑤没水、⑥被水 が考えられる。津波PSAは、津波が発電所を襲った際に、海水がどこまで到達するか、建屋・機器がどのような影響で破損・機能喪失するかという確率を使って、炉心損傷に至る事故シナリオを描く。



津波PRA手法の概要(フラジリティ評価)



津波PRA手法の概要(システム評価)

起因事象の設定

- 津波によって誘発される起因事象:
 - ① 津波による**原子炉停止**
 - ② 津波による**施設の損傷**
- 起因事象となり得る津波による施設の損傷:
 - ・ 建屋などの建物・構築物の**大型静的機器の損傷**
 - ・ 非常用海水系などの**サポート系の機能喪失**

事故シーケンスのモデル化

基本的には、内的事象PSAのモデルを利用できる。

システムのモデル化

- 基本的には、内的事象PSAのモデルを利用できる。
- 津波以外の機能喪失要因であるランダム故障などとして、次を考慮する。
 - ・ 機器故障, 試験, 又は保守による待機除外
 - ・ 人的過誤
 - ・ 従属故障である共通原因故障
- 特に、人的過誤のモデル化については、津波時特有の高ストレス状態を考慮して適切に設定する。

事故シーケンスの定量化

- 炉心損傷に至る事故シーケンス i の発生頻度(CDF $_i$)の算出:

$$CDF_i = \int_{a_{\min}}^{a_{\max}} h(a) \cdot Q_i(a) da$$

外的事象PRAの特徴を踏まえた構想

- ハザード解析の結果における**不確実さが大きい**。
- プラントへの影響(フラジリティ解析)においても**データが少ない**などの理由で機能喪失の評価上の判断が難しい。
- 複合事象の組み合わせを考えると**事故シナリオが際限が無く多岐にわたるので**、出来るだけ広くかつ具体性のある事故シナリオを挙げる必要がある。その**科学的想像力**が求められる。

外的事象PRAは複数の技術分野に渡るので、

PRAはその結果(CDF)のような数値結果だけではなく、支配的な機器や操作などの情報もから**意思決定(@規制活動or事業者安全確保活動)**を行えることが最大の佳処。

- 外的事象PRA実施基準の整備展開にあたり、単純な事象拡張では策定効率が悪い。**時宜を得て必要なPRA実施基準を提示**していくべき。
- 事故調査報告のようにPRAにかかる期待と要求は以前に比べると高まっているが、その分、**関係者が正確な理解**をすべき。

PRA実施基準の策定状況

【内的事象PRA】

- L1PSA、L2PSA、L3PSA、停止時PSA、PSA用パラメータ推定の実施基準が発行済みであり、リスク評価に必要な標準は網羅されている。
- L1PSA実施基準は、改定作業が開始され、H25年中に改定版策定予定。

【外的事象PRA】

- 地震PRA実施基準及び津波PRA実施基準が発行済みである。内部溢水PRA実施基準は制定済みで、まもなく発行予定。
- 火災PRA実施基準はH24年6月に分科会が設置され、H26年中に策定予定。
- 地震PRA実施基準については、改定検討を開始した。
- 随件事象に関しては、各外的事象について地震随件事象を評価できるよう順次改定予定である。まず、津波PRA実施基準改定の形で地震随伴津波PRAを検討中である。
- 異常気象などの他の外的事象をそれらの特性に適した評価と対策を行える分類の考え方を検討中。

【品質確保など】

- リスク情報活用実施基準及びPRA共通用語集が発行済みである。
- PRA品質確保実施基準についても策定予定であり、分科会をH24年9月に設置。

PRA実施基準策定計画(概要)

