

自然現象に対する 事故炉の安全性評価

糸井達哉

東京大学 大学院工学系研究科
レジリエンス工学研究センター 准教授

はじめに

福島第一事故を受けて（1 / 3）

- 資源エネルギー庁 原子力の自主的安全性向上に関するWG（2014）
 - 各原子力事業者内、事業者とステークホルダーの間、研究者間、あるいは、事業者や専門家と一般公衆との間等あらゆるレベルにおいて、原子力のリスクを提示した上でのコミュニケーションが不十分
 - 多様な外部ステークホルダーとのコミュニケーションを密にしていくことが必要である。
 - ✓ 例えば、プレアセスメントを含め、初期の段階から幅広いステークホルダーとコミュニケーションを実施

原子力安全に関わる問題は、「技術的な課題」と「社会的な課題」が複雑に絡み合っている

福島第一事故を受けて（２／３）

- 資源エネルギー庁 原子力の自主的安全性向上に関するWG（2014）

□手法と知見の不確かさ等の理由から国内における PRA の本格的実施が遅れた経緯を踏まえれば、あらゆる知見を予断なく検討し、継続的な改善によって技術等の進歩を促していく姿勢が重要である。

PRAのみに関する指摘ではなく、不確かさが避けられない問題に対して、合理的な意思決定ができていたかが問われている指摘と捉えるべきと考えられる

福島第一事故を受けて（3 / 3）

- IAEA 事務局長報告書（2015）

- 極端な自然ハザードの予測は、不確実性が存在するために依然難しく、論争を招く

- 利害関係者の大多数が(中略)疑問を唱えないという傾向が、(中略)十分であるという想定を強めた

- これは、必要な安全性向上が積極的かつ迅速に行われな
いことにつながった

不確かさが論争を招く（妥当と考えられる判断はひとつにまとまらない）こと、そのような問題に対する、合理的かつ迅速な意思決定の枠組みが用意されていなかったことを示唆していると考えられる

「リスク」とは？

- 「目的に対する不確かさの影響」
 - 「目的」を達成しようとして努力しても、常に期待した結果が得られるわけではない。
 - なぜなら、全ての段階において「不確かさ」があるからであり、私たちはそれをマネジメントする必要がある。

(ISO31000 序文より)

リスクを議論するためには、「目的」を明確にする必要がある。さらに、その特徴を記述するには「不確かさ」と「影響」の把握が重要となる。

「不確かさ」とは？

- 不確かさは以下の 2 種類に分類される
 - 偶然の不確かさ（偶然的な不確かさ）：
 - 現象に固有の不確かさ（ランダム性）
 - 原理的にはデータや情報の量を増やしても低減不可
 - 知識の不確かさ（認識論的な不確かさ）
 - 現象に関する不完全な知識に起因する不確かさ
 - 知識の不確かさは以下の形で表現される
 - パラメータ値の幅
 - 実行可能なモデルの幅
 - 複数専門家の異なる判断 など
 - リソースを投入し追加情報を蓄積することで低減可

事故炉の廃炉検討の前提と関係者に求められる姿勢

- 事故炉の廃炉の問題は、「技術的な課題」と「社会的な課題」が複雑に絡み合っている。
- 問題にかかわる関係者に求められる姿勢
 - 福島第一原子力発電所の教訓を受けた形で、廃炉に関わる活動が行われること
 - 不確かさに関する認識
 - 社会的意思決定 など
 - 事故の未解決の原因・教訓の解明にも資すること

自然現象に対する事故炉の安全性評価を行う上での前提

事故炉における自然現象に対する対策を実施することにより変化する要素

- 被ばくの影響に関するもの（廃炉が進むにつれ小さくなる）
 1. 自然現象が誘因で発生する公衆の被ばくリスク
 2. 自然現象が誘因で発生する従事者の被ばくリスク
 3. 対策工事を実施することによる従事者の被ばくの影響（確定量）
- 環境汚染の影響（廃炉が進むにつれ小さくなる）
 - i. 自然現象による施設の被害が原因となる、海洋汚染のリスク
 - ii. 自然現象による施設の被害が原因となる、放射性物質の拡散による環境汚染のリスク
- 廃炉作業の遅延
 - a. 対策工事を実施することによる期間増大の影響（確定量）
 - b. 自然現象が誘因で発生する期間増大のリスク
 - 例：津波流入による汚染水の増加、重要設備*被害発生による作業遅延
- 費用等の増加
 - I. 対策費用（≒社会負担）（確定量）
 - 放射性廃棄物の増加も含む

* 被ばくや環境汚染の観点から重要なものと廃炉作業を進める上で重要なものがある

事故炉における自然現象に対する対策実施*が適切かを判断する要素

- リスク低減
 - 対策実施による被ばくリスク (1+2) の低減
 - 対策実施による環境汚染のリスク (i+ii) の低減
 - 廃炉作業遅延のリスク(b)の低減
- 費用
 - 対策実施による被ばくの影響 (3) の増加
 - 廃炉作業の遅延の影響(a)の増加
 - 対策費用 (≡社会負担) (I) の増加

* 対策には「何もしない」ことを選択する場合も含む

人命と環境に対する安全性が妥当であるかの判断における基準

- 合理的に実行可能な限り低く（ALARP）
 - 他のリスクと比較しても最低限必要な水準を満たしている
 - 最新の優れた実務における考え方に沿っている
 - 必要な労力（費用を含む）と比較して、更なる人の健康や安全性の向上が微々たるものである
 - 以上について、安全に責任をもつ組織（および人）が抗弁性がある形で説明している
- 運転中軽水炉の違い
 - 人命と環境に対するリスクの基準は変わらない
 - それ以外のリスクについては、事故炉廃炉の特徴を踏まえて考えることが有効
 - 安全性を向上させるのに必要な労力とそれにより低減するリスクの大きさが異なる

設備の損傷が把握されない中での備え
(施設全体としての備え)

事故炉の廃炉における深層防護

- 防護の目的

- 人（作業員と公衆）及び環境を放射性物質（ガレキ、建屋内等汚染水、燃料デブリ、プール内燃料）の有害な影響から護る

- 通常状態における深層防護

- 物理的な防護（飛散抑制や漏洩防止）
- 防護レベルの品質のマネジメント
- モニタリング

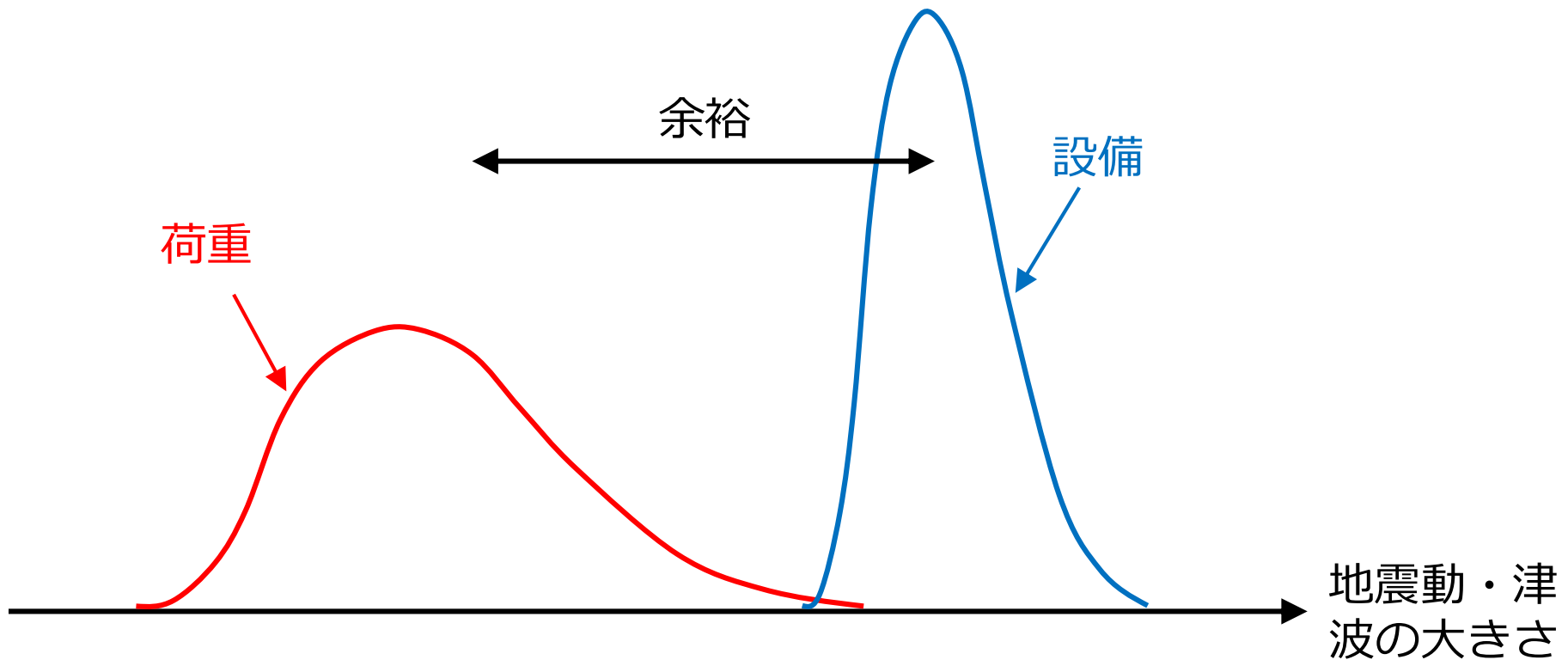
- 異常状態における深層防護

- 高い品質の廃炉作業と保全
- 新施設／設備に対する保守的な設計と高品質の施工
- 異常発生時の臨界管理
- 作業員・公衆・環境に影響しうるような異常や事故が起こった際の影響緩和策
- 緊急時に対する備え

設備の損傷が明確に把握されない中で
の備えにおいて前提となる、各構造
物・設備の評価

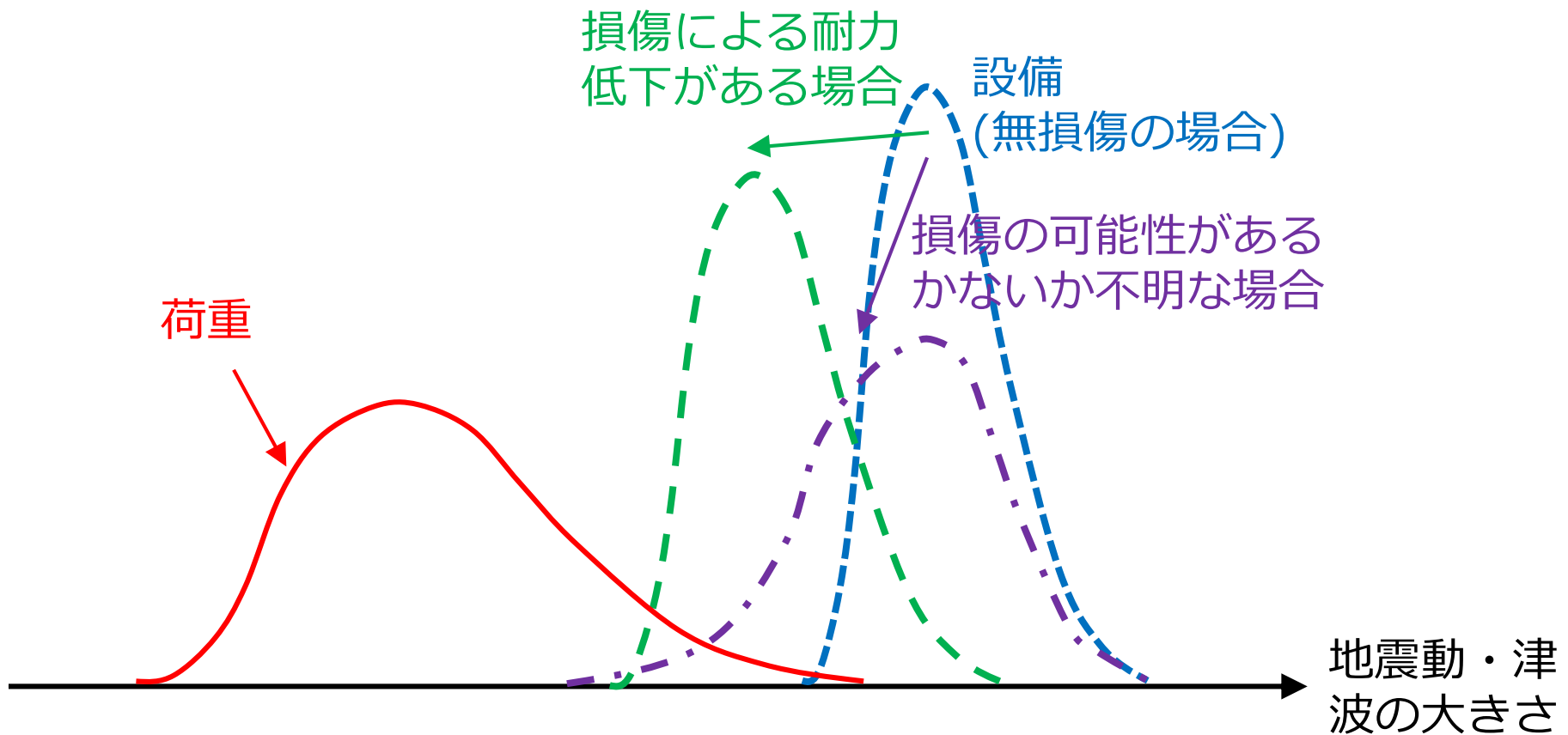
地震動・津波等の自然ハザードに対する設計・評価

- 設備の損傷を受けていない場合の評価



地震動・津波等の自然ハザードに対する設計・評価（事故炉の場合）

- 耐力の現状についての様々な可能性
 - 想定される荷重の大きさと比較して有意な変化があるのか？



事故炉における構造物・設備の評価の不確かさ

- 現状把握が難しい部分が残る
- 事故の進展に不明確な部分が残る



- 事故炉の構造物・設備の評価は不確かさが大きい
 - 地震・津波など自然現象に対する安全性の評価では、運転中の原子炉でも問題となる「ハザードの評価」に加えて、「構造物・設備の評価」においても、不確かさの取扱いが論点
 - このような問題では、得られるデータには限りがあることから、専門家の判断が不可欠

事故炉における構築物・設備の評価における論点

- 構築物・設備の評価の考え方は、事故時に受けた損傷や劣化の度合によって異なる。
 - 事故時に損傷を受けたかどうかの問題の場合
 - 事故時に損傷を受けたことは明らかであるが、それがどの程度であったのかが問題となる場合
 - 事故の進展がどのようなものであったか？
- 特に事故の影響が懸念される構築物・設備の評価には、比較的大きな不確かさがある
 - 例えば、専門家間の判断の違いといった形で顕在化

検証可能なプロセスに基づく構築物・設備の評価

- 構造物や設備の耐力の評価において、「同意できる一つの結果は得られない」ことを前提とし、評価プロセスを構築
 - 「不確かさ（一つの見解に統一されないこと）」があることが真実である
 - 何が原因で、そのような「不確かさ」が生じているのか？を明らかにする
 - 技術的に妥当な判断について、最も確からしい解釈、妥当と考えられる範囲などを評価する
- SSHAC*プロセス等、地震ハザード評価における認識論的不確かさの取扱いの考え方が参考になる。

*SSHAC: 米国の地震ハザード評価における専門家判断の活用プロセス（詳細はNUREG-2213などを参照）

検証可能なプロセスに基づく構築物・設備の評価

• 鍵となると考えられる要素

- 専門家を含め、参加者の役割(責任)が明確に定義されている
- 入手可能なデータ（事故進展に関する解析結果も含む）、モデル、手法について客観的で批判的な分析・評価を行う（新たなデータ収集、現状のデータの限界や欠落、入手可能なデータの精度や不確かさの把握も含む）
- 短期的な時間制約下での評価と長期的な精度向上の両面を踏まえた評価プロセスとする
 - モニタリングや検査、実験等による情報更新の方策の立案
- 評価過程の結果をモデルへと統合する（最適評価と不確かさの両方を反映）
- 十分な詳細さで、これらの分析・評価の結果の文書化がなされる
- 適切な形の外部のピアレビューにより結果の妥当性が評価される

まとめ

まとめ

- 福島第一原子力発電所事故の教訓を受けた形で、廃炉に関わる活動が行われること
- 事故の未解決の原因・教訓の解明にも資すること
- 検証可能なプロセスに基づく構築物・設備の評価
 - 不確かさがある場合、技術的見解をひとつにまとめることを前提としないような評価のプロセスを構築することが現実的
 - ハザード評価における専門家判断の活用の考え方が参考に