

個々の外的事象に対する 安全確保の原則(となる考え方)

東京大学 糸井達哉

東北地方太平洋沖地震（2011/3/11）

- マグニチュード 9.0 (M_W)
- 死者19,335人 + 行方不明者2,600人 (2015年9月現在)
- 福島第一原子力発電所事故に関連して亡くなられた方
 - ✓ 津波による溺死（発電所所員）
 - ✓ バスで避難中の入院患者の衰弱死
 - ✓ 避難先での震災関連死など
- ✓ 他にも、環境や社会、経済への影響など他の影響の重要性に関する指摘

外的事象と原子力安全

- 地震や津波をはじめとする外的事象は、我が国の既設の原子力発電所において、リスクが顕在化する主要な要因のひとつ
 - ✓ 外的事象に対する安全確保の考え方
 - ✓ 規制基準、事業者の安全性向上対策としての実装のあり方

事故の誘因となる事象の分類

外的事象*1)		内的事象*1)
自然現象	人為現象	
地震（地震動・地盤変状） 津波 洪水（高潮） 火山 強風（台風・竜巻） 高温／低温 積雪 など	事故的航空機落下 意図的航空機落下 外的火災 （航空機落下、森林*2）、工場） サイバーテロ など	施設内溢水（浸水） 施設内火災 タービンミサイル など

*1) 慣用的には、本稿の分類と異なり、プラント内部で発生する事故の発端となる「ランダム故障」を「内的事象」と呼んできた経緯がある。

*2) 森林火災は自然現象の場合もある。

外的事象に対する原子力安全の枠組み

- 参画するステークホルダー
 - 事業者／国・自治体／地域住民
- 安全性向上（リスク低減）策
 - 事前対策／緊急時対応／復旧・復興
- 外的事象の特徴
 - 複数の系統・機器が、広範囲にわたり故障することで以下の事象を同時に引き起こす可能性
 - 重大事故の発端になる事象（冷却材喪失事故や過渡事象）
 - 安全設備の故障（そうした事象の拡大を防止するために用意されている）

各々の「外的事象」を個別に検討し

- リスク（影響 and/or 頻度）の大きさ
- 制御可能性

に見合った具体的な対策を用意することが重要

外的事象に対する深層防護（1）

- 福島第一原子力発電所事故を受けて
 - ✓ 「深層防護」の考え方自体の重要性が再認識
 - ✓ 一方で、以下が課題として認識
 - どの程度の深層防護が適切か？
 - 個々の外的事象に対する深層防護の適用・実装のあり方はどうあるべきか？
- 外的事象は将来予測に関する不確かさが大きい
 - ✓ 設計基準事象を適切に設定したとしてもそれを超える事象の発生を否定できない
- 被災が空間的に同時に発生する（狭くは共通原因でSSC [構築物、系統、機器] が同時に機能喪失する）可能性
- 地震と津波、火災、斜面崩壊などの重畳・複合

外的事象に対する深層防護（2）

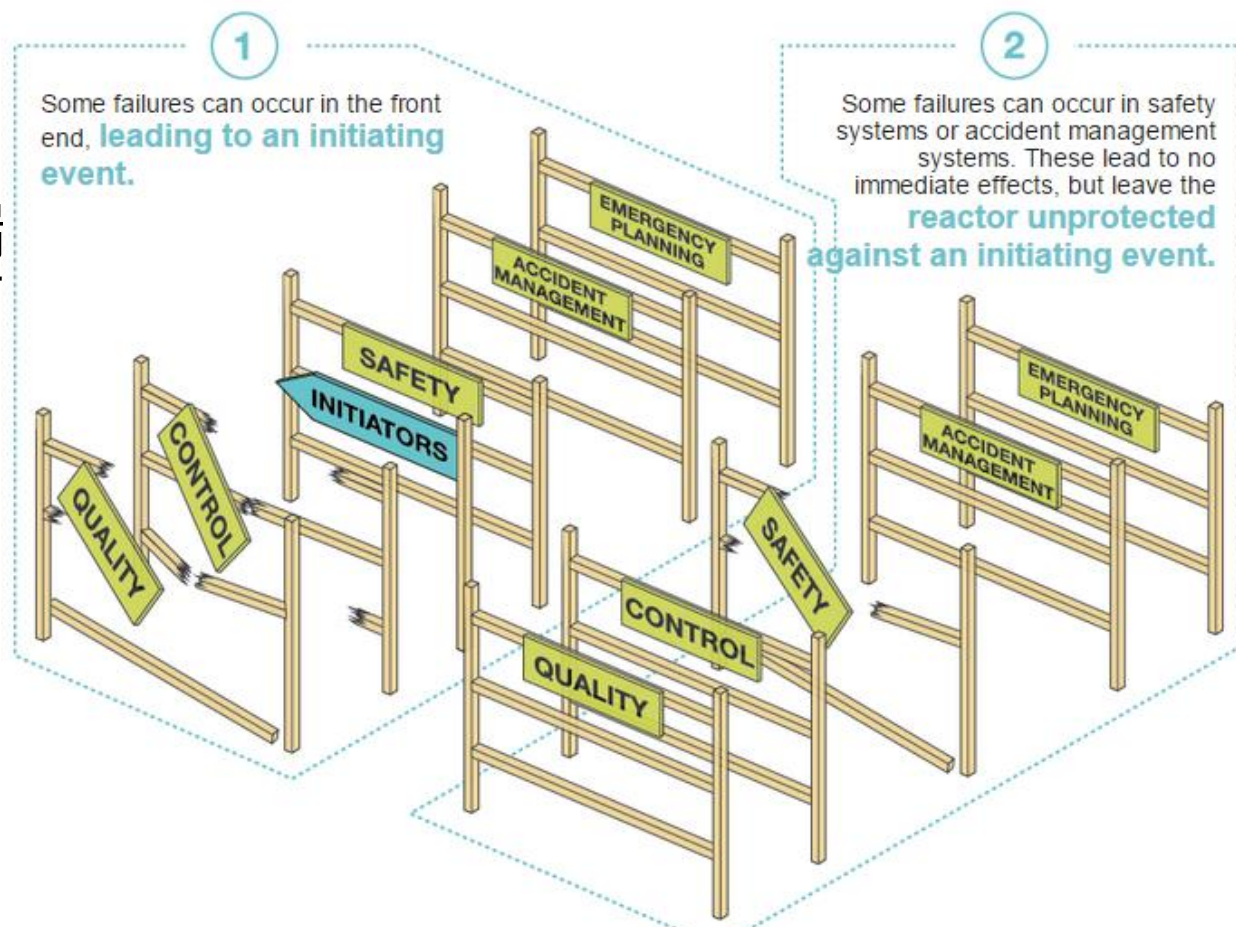
- 個々の外的事象に対する設計に関する課題
 - ✓ 異常の発生防止（深層防護のレベル1）に設計の重点が置かれてしまいがち（例：津波に対しては防潮堤等の設計に重点）
 - 外的事象に対する深層防護の観点からは、異常の拡大防止、事故の制御（さらには影響緩和や緊急時対応）に関わるSSCの設計の考え方の整理が必要
- 設計基準を超える事象への対応に関する課題
 - ✓ 設計基準を超える事象については、アクシデントマネジメント策、緊急時対応（原子力防災・減災）による柔軟な対応策の用意が必要
 - ✓ レベル2、3 PRA等の知見に基づき施設内および施設周辺の現実的な状況を想定し実効性を確保し、さらに網羅できないシナリオがあることも前提にする

外的事象に対する深層防護の「設計」

- 地震・津波などの外的事象では、以下の2つの機能喪失が同時に起こりうる

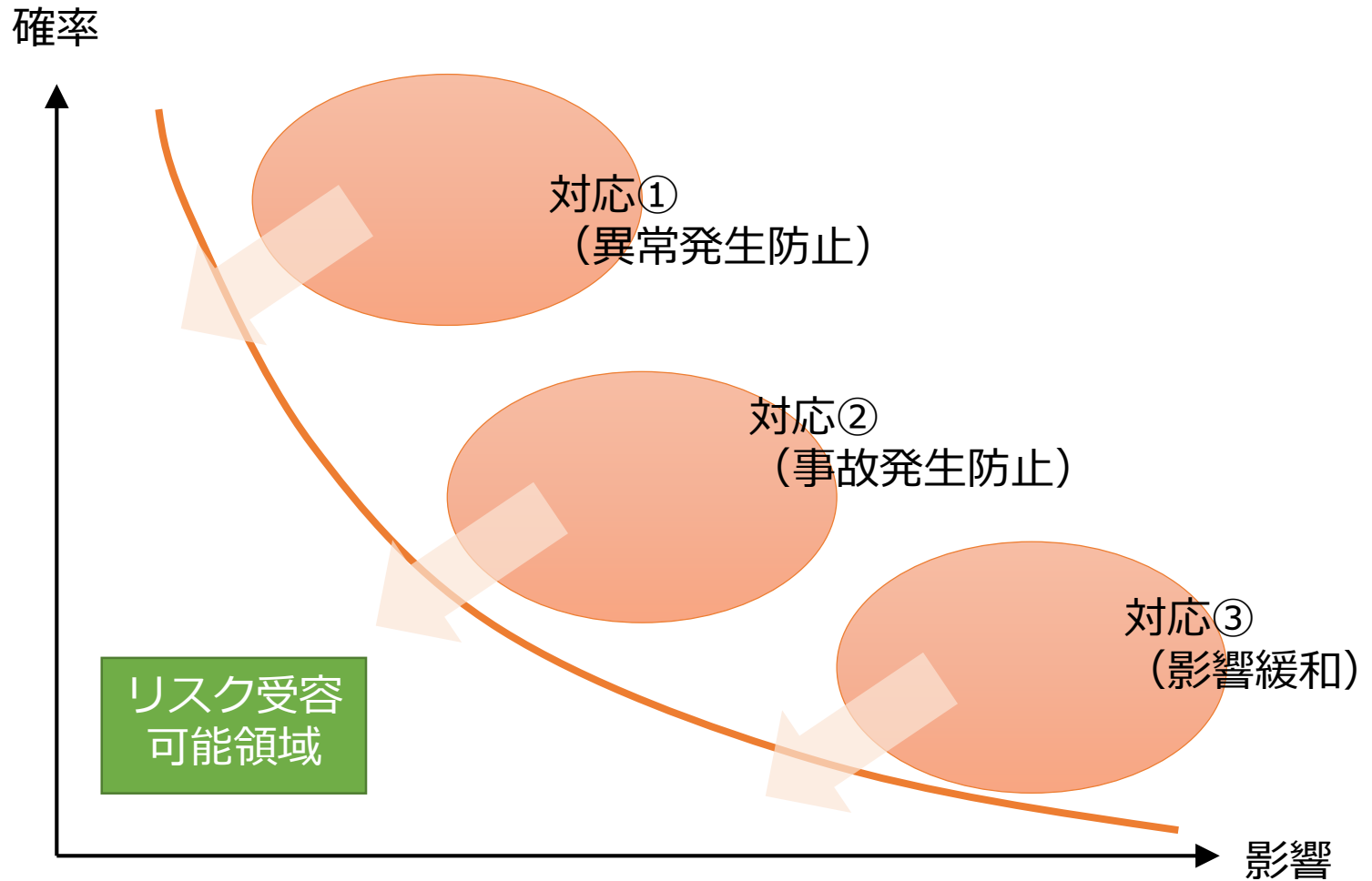
- ① 起因事象（発端事象）を発生させるようなSSCの機能喪失
- ② 深層防護の層自体の機能喪失

- 深層防護各レベルに対して、外的事象に対する「要求性能水準」をどう設定するか？



<https://iec.iaea.org/inesrilt/initiator>

多段階のリスク低減スキーム



多様性のあり方

- 外的事象は、典型的な共通原因

➤ SSCの性能を多様化（同一の機能を有する異なる性質を有するシステムを用意）させるなど、設計およびアクシデントマネジメント等による共通原因への対応が必要

- 多様性を考える上で考慮が必要な項目

- ✓ 物理的隔離と機能分離

- ✓ 可搬式の安全設備

- ✓ 安全系だけでなく電源等のサポート系も含めたシステムの多様性

- ✓ 様々な外的事象（地震・津波・航空機落下等）に対する多様性の実現

- ✓ オンサイト・オフサイトでの緊急時対応の多様性

➤ 個々のSSCが機能するかではなく、プラントとして機能するかどうかという観点が重要

外的事象に対する設計基準の設定

- 個々の外的事象が誘因となるリスク（影響 and/or 発生頻度）が、あるレベルを超えると判断される場合には、設計上の配慮が求められる
 - わが国の主要なリスク要因であり設計上の配慮が求められる地震や津波、強風などの外的事象
 - ✓ 概ね超過頻度 10^{-3} /年 $\sim 10^{-5}$ /年（50年間での超過確率5% $\sim 0.05\%$ に相当）を目安に設計基準事象を設定
 - 一般構造物や一般防災よりも低頻度の事象を扱うことも
 - ✓ 設計基準事象に対して、各SSCの安全余裕を十分確保
- 安全目標やそれと対応する性能目標を満足しうる程度のリスクレベルをシステムとして概ね実現できるか？（設計体系の妥当性）

継続的な安全性向上に関する意思決定

- 歴史記録の根拠や経験などが限られる、不確実さのもとで、どのように発電所の安全を運用し、継続的なリスクマネジメントの成功に資するか？
 - ✓ 専門家の意見の相違を含めた知識の不確実さをどのように取り扱うか？
 - ✓ 研究開発や国内外の最新知見の取り込みの継続的实施をどのように行い、設計思想の陳腐化を防ぐか？
などについて、具体的な方法論の検討が必要である
- ステークホルダー間のコミュニケーション
 - ✓ 意思決定に対して、高い説明性や透明性を確保するためには必須
 - ✓ 発電所を含めた広域で被害が同時に発生する外的事象では、被害や緊急時対応が相互に依存
これらの具体的な方法論についても議論の深化が必要

まとめ

- 外的事象は、原子力発電所単体ではなく、発電所敷地を含めた地域全体で同時に被害が発生する
- 原子力安全の実現には
 - ✓事業者、協力企業、規制機関など原子力発電所に直接かかわる利害関係者のみでは困難
 - ✓地域住民、地方自治体、一般防災を扱う国の諸機関などの個々の取組みとそれらの統合が不可欠
- これらをトータルに考える枠組みが必要
 - ✓ランダム故障を中心に考えてきた「深層防護」の概念を、プラント設計から広域被害に対する緊急時対応まで考慮できる枠組みへ展開することが必要
 - 設計法等、安全確保策の再構築にもつながる