

外的事象に関する 原子力安全マネジメント学

高田 毅士

東京大学名誉教授、上席研究員

日本原子力研究開発機構 安全研究・防災支援部門

リスク情報活用推進室 室長



1) 国研講座のねらい

2) 外的事象に関する原子力安全マネジメント学

- ① 外的事象とは？
- ② 地震リスクの特徴について
- ③ 福島1F事故の教訓
- ④ リスク論の重要性
- ⑤ 分野横断型統合的安全確保
- ⑥ 全体安全と部分安全
- ⑦ 安全学と安全マネジメント学
- ⑧ 注力する実践対象課題例

3) コロナリスクと外的事象リスクの比較

4) まとめ



- ① 原子力施設は特別な施設ではない
- ② 大半が原子力分野以外で培われた技術により成立している
- ③ 原子力分野で培われた技術は非原子力分野にも利用可能
- ④ 原子力安全確保は関連する個別工学分野の安全確保に依拠
- ⑤ 原子力分野の安全確保が他分野の模範となるべき
- ⑥ 最新知見を反映した技術は水平展開(スピンオフ)できる
- ⑦ 社会と工学の対話の要素をすべて含んでいる

安全マネジメント学に必要な基本分野

JAEA安全研究センター報告会
資料(2020.11)を参考

内的/外的事象

地震・津波・火災・洪水等

構築物、機器・配管
等の脆弱性評価

パラメータ評価、CCF, PFM

人間信頼性解析

可搬型機器、高ストレス
下の挙動

原子力安全
マネジメント学

事故シーケンス
評価

原子力施設の事故、過酷事象
評価、等

事故影響の
定量的評価

大気中の放射性物質の移流・拡散
健康・経済的損失評価

実践的活動

- ✓ 原子力安全性の向上
- ✓ 原子力防災の実効性向上
- ✓ 社会との有効なリスクコミュニケーション(成果の発信、共考の場の創生)



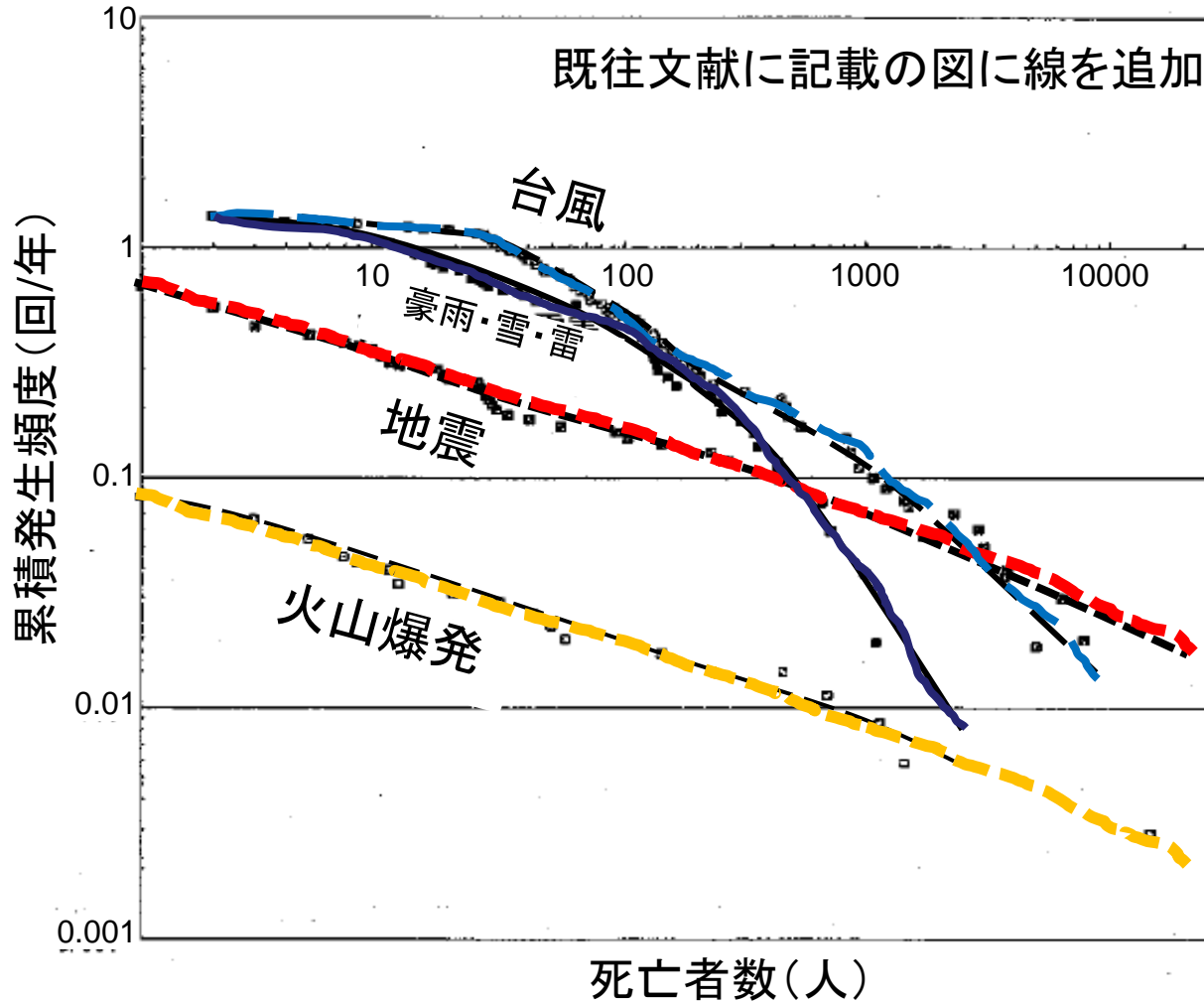
外的事象と内的事象



分類		例
外的事象	自然事象	地震(地震動、地盤変状等)、津波、洪水(高潮、河川氾濫等)、火山(火山灰、火砕流等)、強風・飛来物(台風、竜巻)、高温／低温、積雪など
	人為事象	事故的航空機落下／意図的航空機衝突、外的火災(航空機落下、森林、工場)、サイバーテロなど
内的事象		施設内溢水(浸水)、施設内火災、タービンミサイルなど



過去の被害統計（国内）

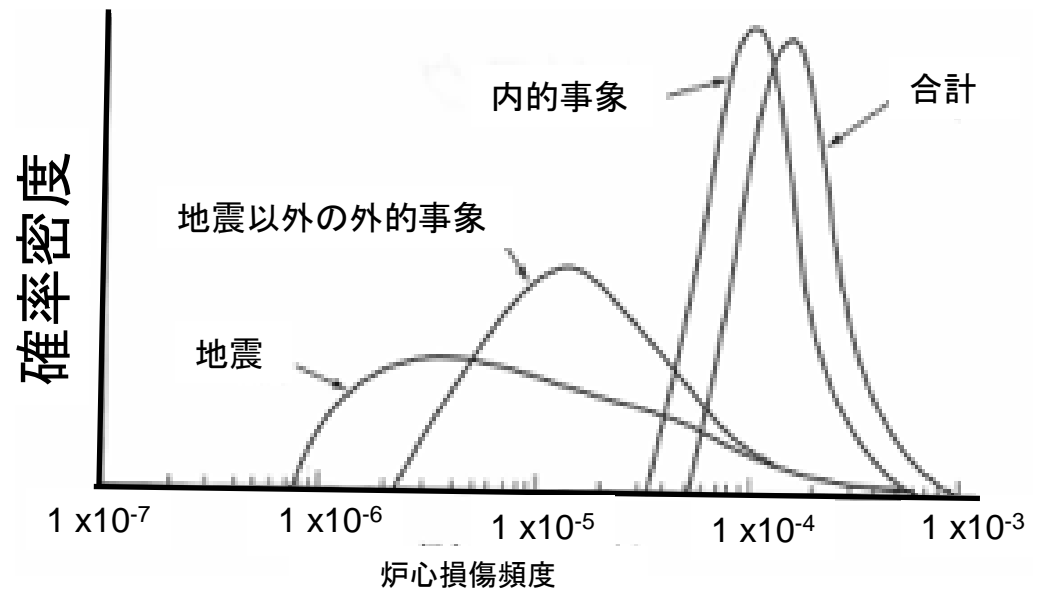


東日本大震災などを経験し、自然災害は防ぐものではなく、軽減するもの

- 福島1F事故の教訓としてPRA(リスク評価)の重要性が再認識された。[1]
- PRAを内容とする総合的安全評価の実施が規制行政庁の要請 [2] 地震PRAはその最重要の要素の一つ。
- 我が国で地震PRAの適用が進んでいない要因の一つとして、不確かさの評価やその取り扱いに合意形成が十分でないことが考えられる。
- 日本は最大の地震国であり、地震PRA研究も世界をリードすべき。

文献

- [1] 国際原子力機関に対する日本国政府報告書- 東京電力福島原子力発電所の事故について - 平成23年6月原子力災害対策本部
- [2] 原子力安全・保安院「シビアアクシデント対策規制の 基本的考え方に関する検討」平成24年3月2日など



炉心損傷頻度の不確かさ評価の例



PD「福島発電所事故の教訓と展望」のまとめ

日本地震工学会の年次大会(2016.9)でのPDで指摘された事項

1. 想定外事象への対応、想定外(シナリオ)の想定をどのように？
2. 不確実性の評価と低減
3. リスク概念の有効性と、その活用の必要性
4. プラント全体(周辺も含めて)を、トータルシステムとして取り扱う
5. 揺れ、変位、地震起因・随件事象(斜面、津波、火災・・・)の考慮
6. 深層防護概念の実装の方法は？
7. BDBE(Beyond Design Basis Events, 設計基準外事象)への対応
8. トータルプロセス、分野横断、異分野連携の必要性
9. 緊急時対応(情報の不確実さの時間依存性)



地震現象特有の課題と対応



地震事象の評価には極めて大きな不確かさが内在すること(不確かさ大)

⇒ リスク概念の徹底導入

地震による影響は極めて広範囲となること(広域性)

⇒ 深層防護思想の導入、包括的・俯瞰的アプローチの採用

多くの設備、構築物などに共通して作用し被害を与える(共通原因)

⇒ システム概念と性能論の導入

多様な外乱(揺れに加えて、余震、津波、斜面崩壊や地盤変容等)が随伴して生じる(随伴性)

⇒ 包括的・俯瞰的アプローチの採用

新規制基準の基本的な考え方

- 新規制基準では、「深層防護」を基本とし、共通要因による安全機能の喪失を防止する観点から、自然現象の想定と対策を大幅に引き上げ。
- また、自然現象以外でも、共通要因による安全機能の喪失を引き起こす可能性のある事象(火災など)について対策を強化。

① 「深層防護」の徹底

目的達成に有効な複数の(多層の)対策を用意し、かつ、それぞれの層の対策を考
えるとき、他の層での対策に期待しない。

② 共通要因故障をもたらす自然現象等に係る想定的大幅な引き上げとそれに対する防 護対策を強化

地震・津波の評価の厳格化、津波浸水対策の導入、多様性・独立性を十分に配慮、
火山・竜巻・森林火災の評価も厳格化

③ 自然現象以外の共通要因故障を引き起こす事象への対策を強化

火災防護対策の強化・徹底、内部溢水対策の導入、停電対策の強化(電源強化)

④ 基準では必要な「性能」を規定(性能要求)

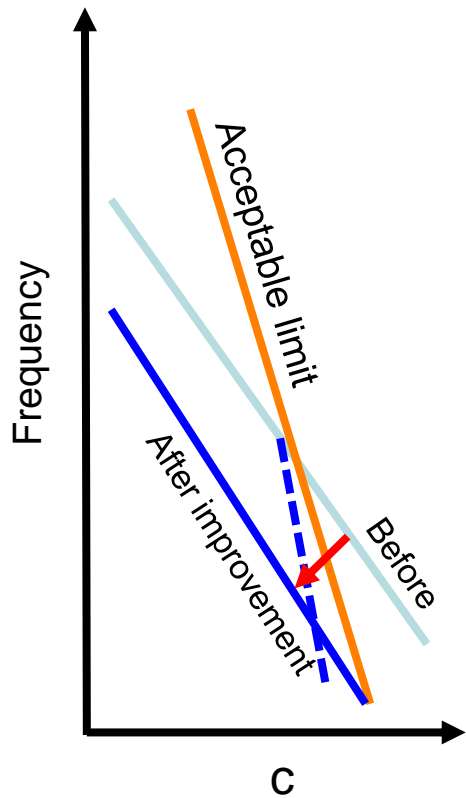
基準を満たすための具体策は事業者が施設の特性に応じて選択



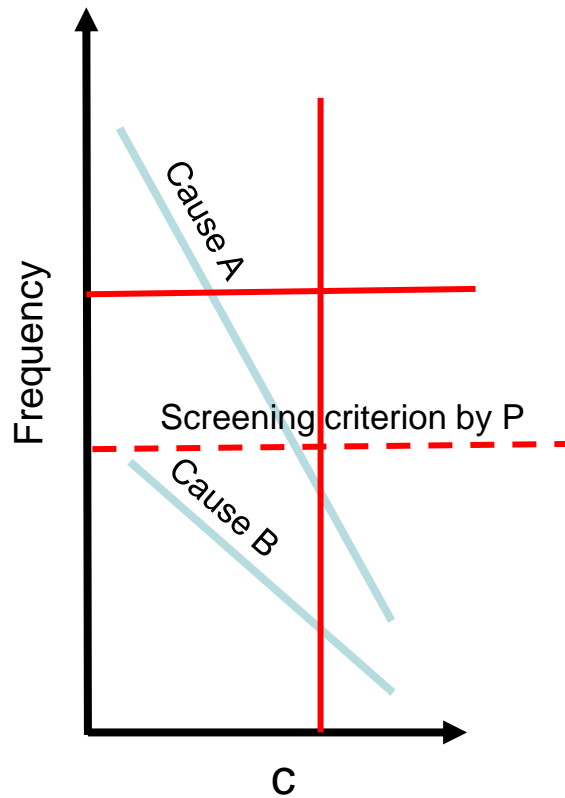
確率的リスク評価 (PRA) の目的



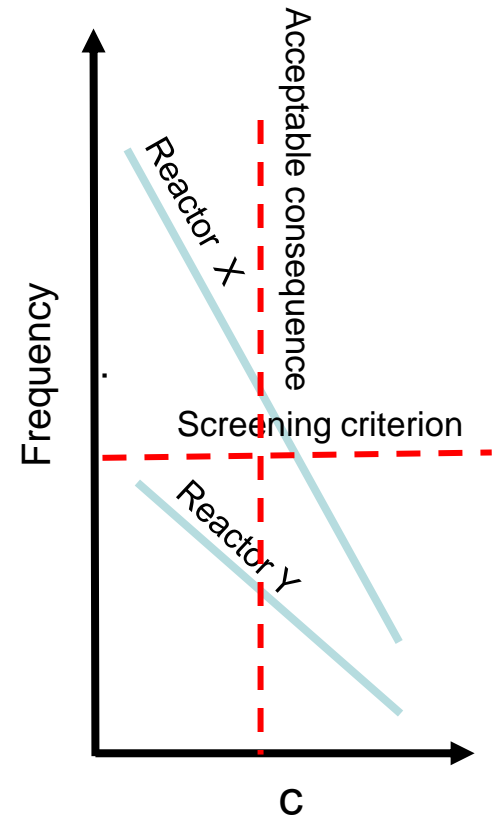
- ① 既存プラントの保有する安全性の定量化と結果の判断
- ② 低頻度の事象を見逃さない網羅的なリスク評価の実施
- ③ 深層防護の充実を通じた残余のリスクの低減
- ④ 決定論的な安全確保手法の補完的役割
- ⑤ わが国特有の立地条件に伴う地震・津波等の外的事象に着目したプラント毎の事故シーケンス及びクリフエッジの特定と、既存のシステムでは想定されていない事態への備え及び回復を含む総合的な被害の低減策であるレジリエンスの向上
- ⑥ わが国で商業運転されている軽水炉の更なる安全性の向上のための研究の再構築と国内外関係機関とのコーディネーションの強化
- ⑦ 新型炉や原子力関連施設の安全審査のクライテリア設定の根拠づけ (GA)
- ⑧ 社会との対話のツールとして



安全性向上の確認
(リスク低減)



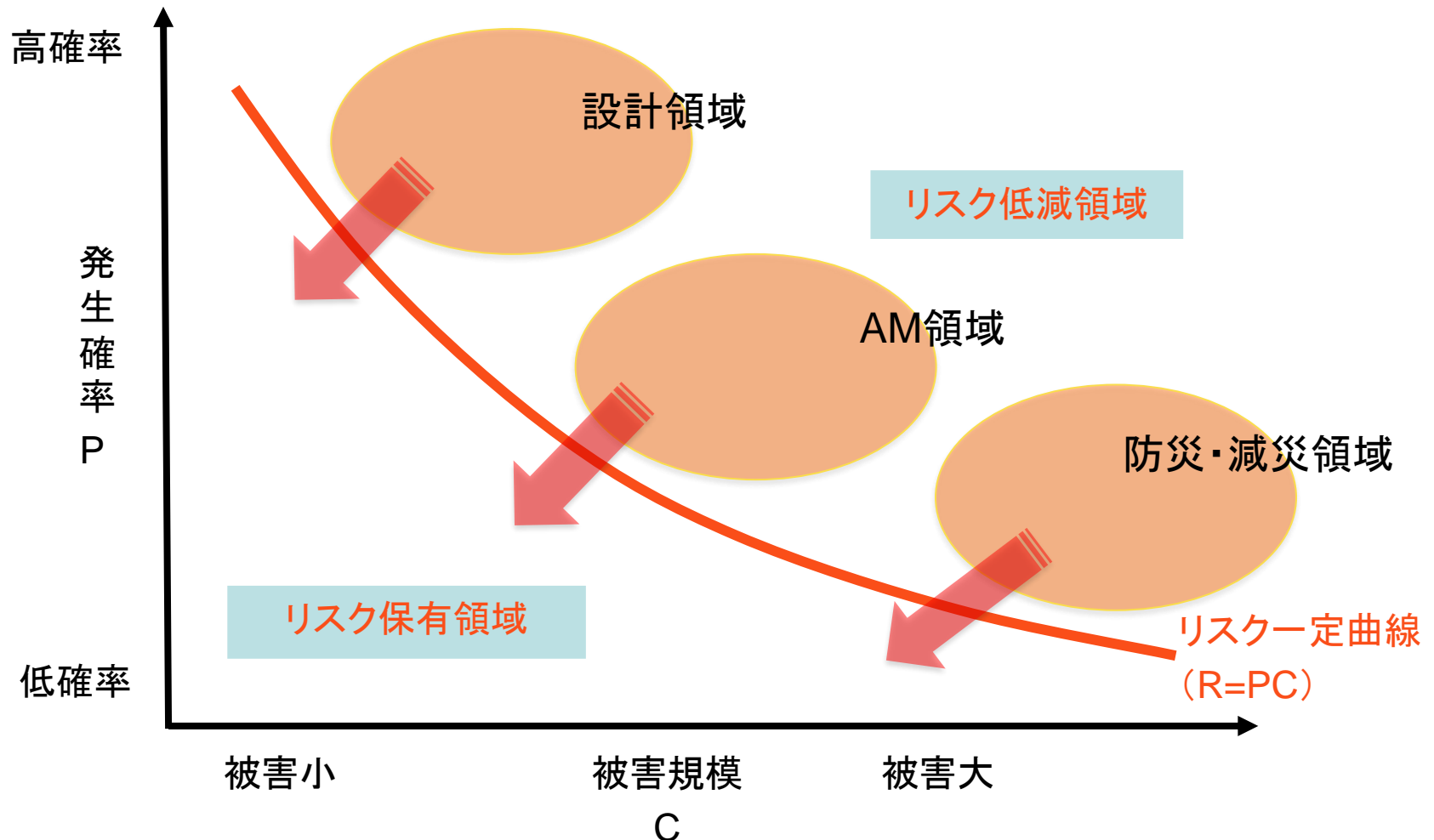
リスク比較
(リスク順位付け
リスク選考)



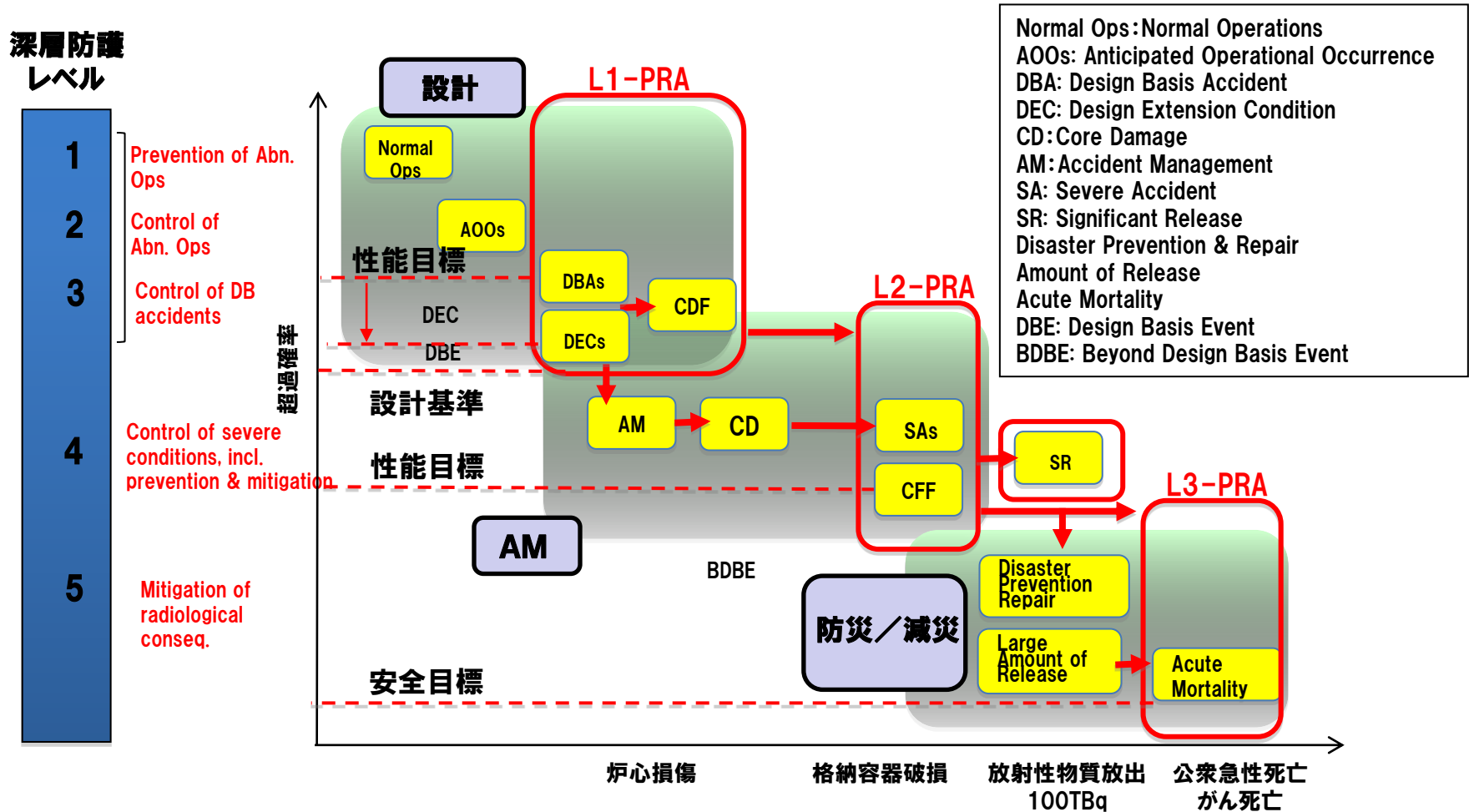
グレーデッドアプローチ
(不必要な保守性の排除)



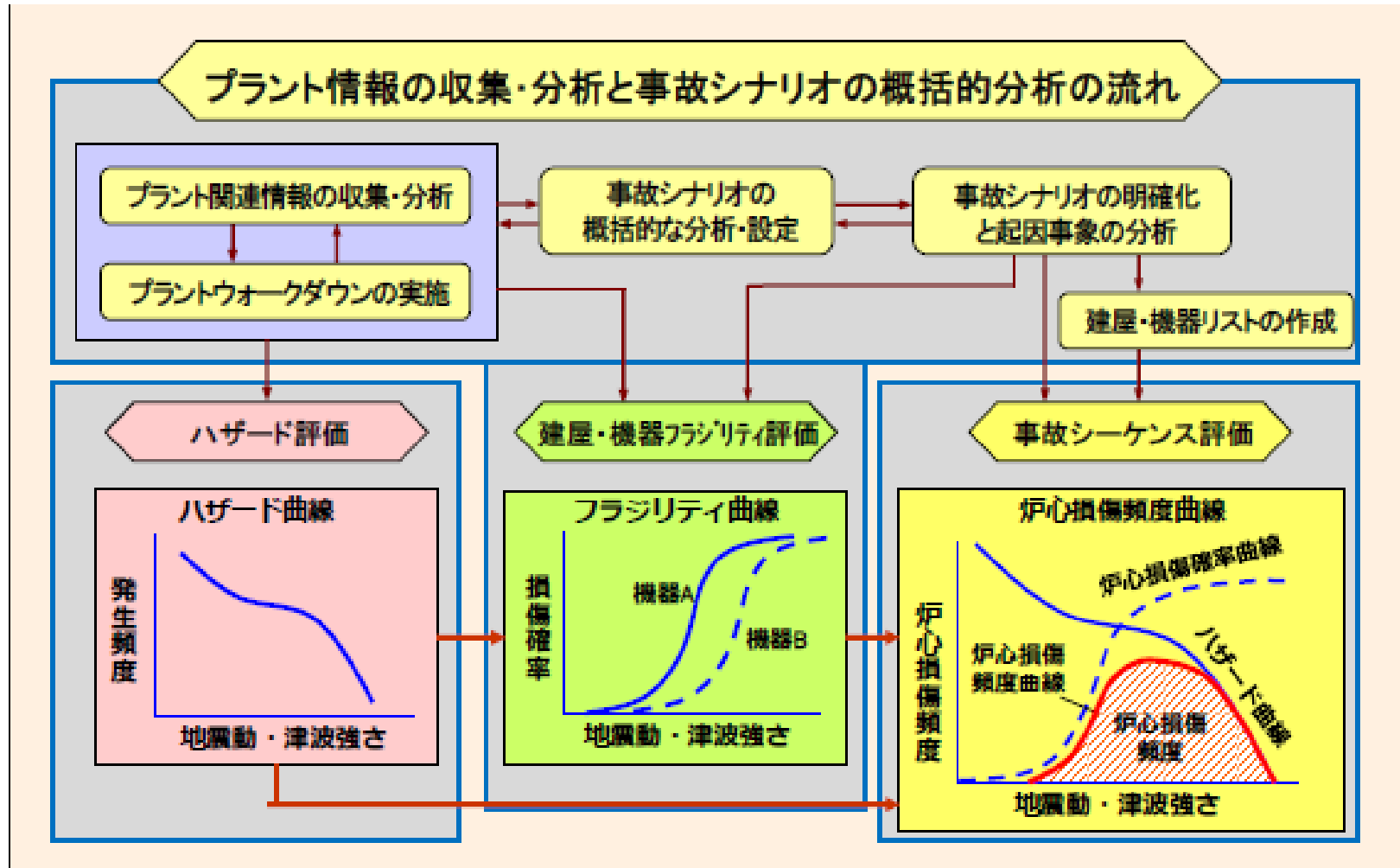
多段階の安全性確保のスキーム



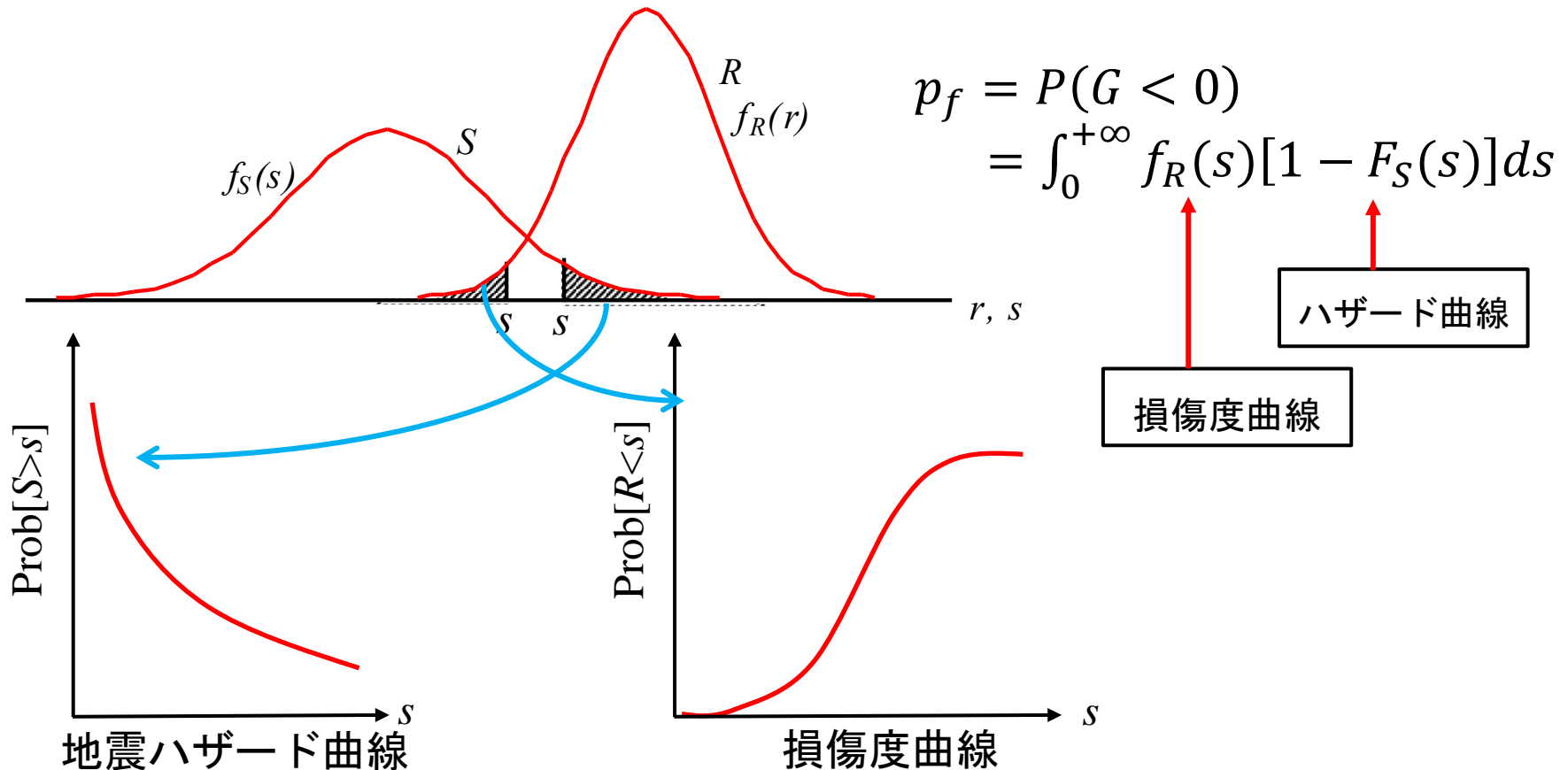
日本地震工学会(2019)、「原子力安全のための耐津波工学」報告書より



日本地震工学会(2015)、「原子力安全のための耐津波工学」報告書より



発電所の安全余裕(G) = 発電所の強さ(R) - 作用する地震力(S)
保守性を表す指標は、 $G < 0$ となる確率で議論



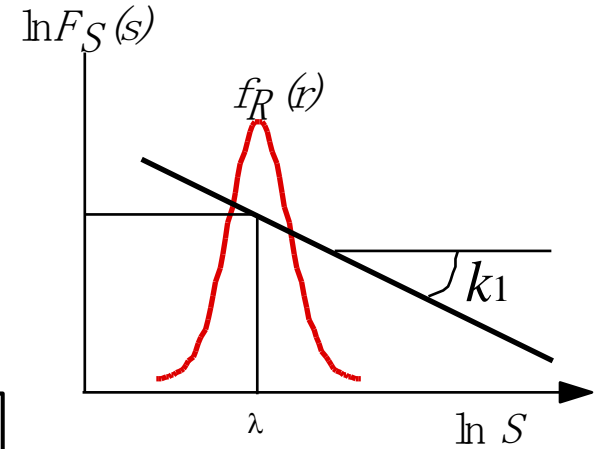
■ 炉心損傷確率は以下の式で求められる。

$$P_{CD} = \tilde{F}_S(r_m) \exp\left[-\frac{1}{2}(k_1\zeta_R)^2\right]$$

炉心損傷確率

損傷確率の中央値を与える
地震動超過確率

損傷度曲線のばらつきによる補正項



$$P_{CD} = \tilde{F}_S(r_d) \left(\frac{r_d}{r_m}\right)^{k_1} \exp\left[-\frac{1}{2}(k_1\zeta_R)^2\right]$$

基準地震動の年超過確率
(設計外力側に付与した余裕)

発電所の耐力側に付与した余裕

$$k_1 = 3 \sim 5$$

$$\zeta_R \approx 0.6$$

$$\exp\left[\frac{1}{2}(k_1\zeta_R)^2\right] \approx 0.2 \sim 0.01$$

全体安全 = 部分安全 × 部分安全

$$10^{-6} = 10^{-4} \times 10^{-2}$$



「安全学」

社会的・人間的な側面も含めて、安全問題とその対処法を分析・探求する学問。

[1] 日本学術会議、安全に関する緊急特別委員会「安全学の構築に向けて」(平成12年2月28日) 他に、村上陽一郎先生、向殿政男先生らの「安全学」の定義がある

「安全マネジメント学」?

「安全」を「マネジメント」するための学問であり、「安全」を如何に実現するか、実装するかに重きを置く学問。リスクマネジメントとも似た概念。ただし、マネジメントには、その考え方、実現可能な方法の開発と選択、その有効性の提示、効果的説明などが必要。



注力する実践対象課題例



- ✓ 外的事象に対する統合化した安全性確保のための実践
⇒(分野統合化して目標性能実現)
- ✓ 複合事象の取り扱い(揺れ＋津波、本震＋余震、揺れ＋火災、等々) ⇒(事象の網羅性に向けて)
- ✓ 外的事象に対する性能に基づく安全確保(Performance-based approach)の実践⇒(目標性能に基づく)
- ✓ 原子力防災計画のためのリスク情報活用⇒(賢く改良する)
- ✓ 技術説明のための実践研究(RCを超えて)
⇒(工学的意思決定過程のわかりやすい説明方法)

(木下富雄先生からの情報:信頼されている組織に関する興味ある調査結果

国民から信頼されている組織: 議員<官僚<マスコミ... 法曹関係<医療組織<自衛隊)



コロナと外的事象リスク（原子力）の比較

	コロナリスク（個人、社会）	外的事象リスク（原子力）
緊急性	緊急時対応／長期対応	緊急時対応／長期対応
原因	自然物(ウィルス)	自然現象(地震、台風)
被害の特徴	時空間的に拡大 連鎖反応(爆発的感染) 同時多発(クラスター発生)	時空間的に拡大 連鎖反応(限定的) 同時多発(共通原因損傷、随伴性)
被害過程	感染→救命行為→健康被害→直接・関連死（感染→発症を繰り返す）	地震発生→施設損傷(人工物)→被ばく→健康被害・環境被害→直接・関連死、汚染
社会的影響	人命への影響、行動制約、経済損失、医療崩壊	放射線による健康被害、環境被害、住民避難、電力の安定的供給不能、経済損失
評価手法	PCR検査、統計	適合性審査、PRA
因果関係既知性	未知、感染メカニズムは解明中 発症は個人差有	地震作用下の人工物の挙動は既知、自然現象の不確かさ大
実行可能対策 予防／緩和	感染防止策(マスク、手洗、三密回避)、基礎体力の向上 ／医療行為、ワクチン接種(免疫効果に期待)	より安全な施設／AM・防災対策(1F事故の免疫効果として) 安全審査、十分な余裕の確保、深層防護



まとめ



1. 原子力安全マネジメント学とは、「安全」を如何に実現するか、実装するかに重きを置く学問
2. 分野横断統合的安全確保と実践
3. 特に外的事象に関しては、不確実さ大のため、リスク論が基本
4. コロナリスクと外的事象リスクの比較を通して
5. 外的事象の原子力安全マネジメント学の実践を通して、東京大学、原子力機構、原子力規制庁の人材の確保、育成、交流を促進する
6. 本国研講座が活動の拠点として機能
7. 原子力分野のみならず他分野でも活躍できる人材の育成
(原子力安全マネジメント学は安全マネジメントの汎用的実践学)



ご清聴ありがとうございました。

ご意見等いただければ幸いです