

レジリエンス工学

残留リスクにどう向き合えばいいのか

古田 一雄

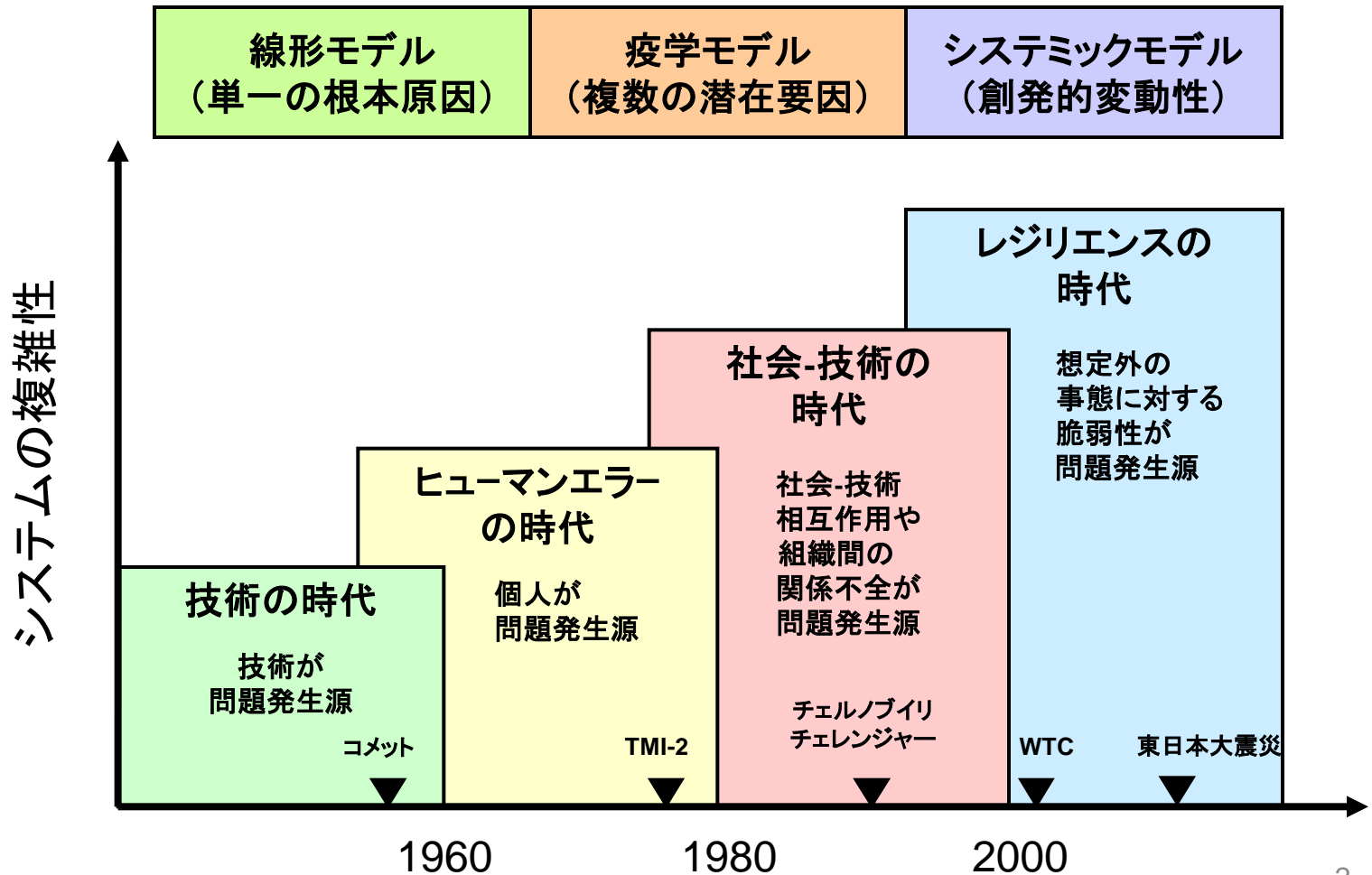


東京大学工学系研究科
レジリエンス工学研究センター
RESILIENCE ENGINEERING RESEARCH CENTER
THE UNIVERSITY OF TOKYO



安全問題の変遷

事故モデル





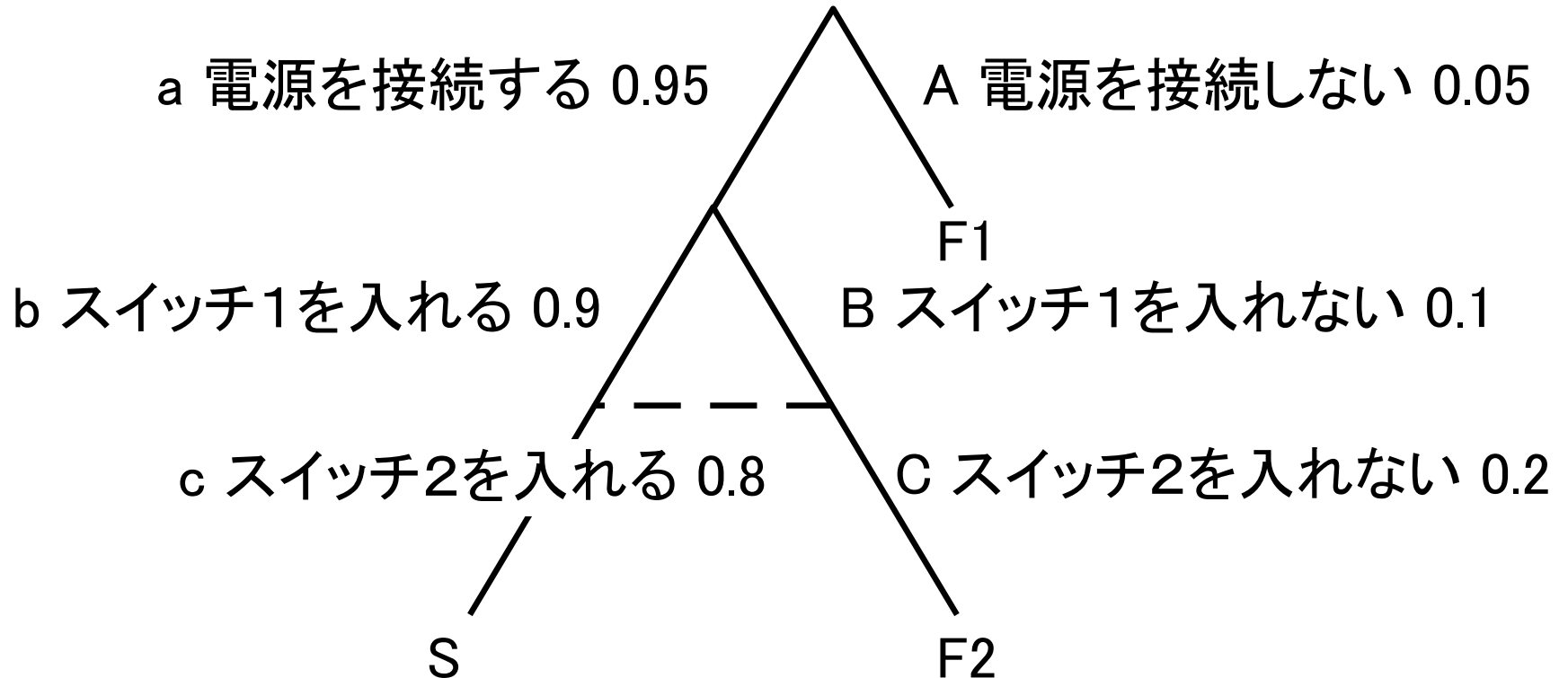
人間信頼性解析 (HRA)

- 不安全行為の可能性・頻度とその影響を定性的・定量的に評価するための手法
- 第1世代HRA (-1990)
 - 機械装置に対する信頼性解析の応用
 - 人間行動の決定はブラックボックスで扱う
- 第2世代HRA (1990-)
 - 第1世代HRAの欠点克服 (ミステイクへの対応)
 - 人間行動の決定メカニズム (認知心理) を考慮



THERPイベントツリー

- 基本操作の線形結合として人間行動を記述





エラーの疫学モデル的な捉え方

個人的要因
環境的要因
社会的要因



$$\text{エラー率} = P(\text{不安全行為} \mid \text{EFC}) \times P(\text{EFC})$$

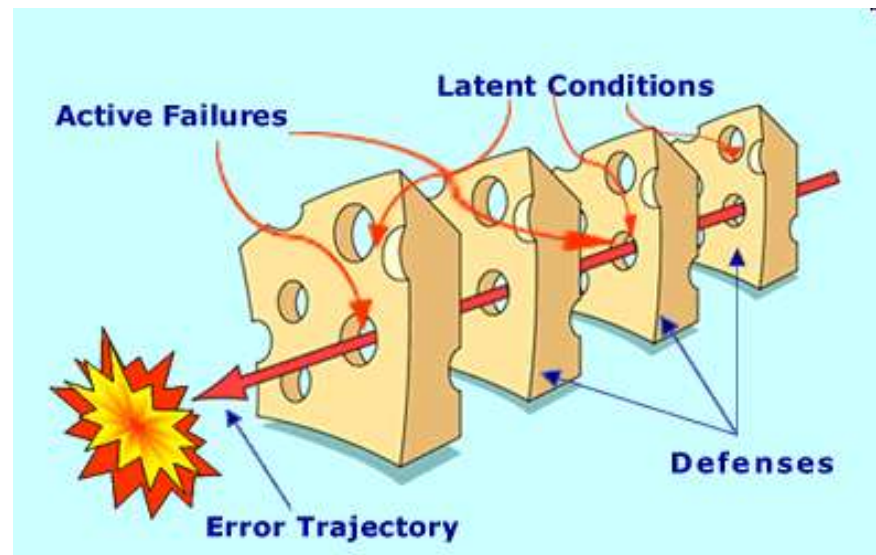
- 過誤強制情況 (EFC)

人にエラーを犯すことを不可避とさせるような情況



組織事故

- 組織内部に潜む欠陥が、知らず知らずのうちに拡大して発生し、その影響が個人レベルに留まらず組織全体あるいは社会に及ぶ事故
 - チェルノブイリ
 - チャレンジャー
 - JCO
 - エンロン



スイスチーズモデル



高信頼性組織(HRO)

- 過酷な条件下にもかかわらず、事故発生件数を標準以下に抑えている組織
 - 航空母艦、航空管制システム、送電所、原子力発電所、救急医療センター
- HROに共通に見られる特徴：高い「マインド」
 - 失敗に対する予見的関心
 - 安易な単純化を許さない思考
 - 現場業務に対する鋭敏な感覚
 - 高い回復力(レジリエンス)の実現
 - 専門性に対する敬意



3つの事象カテゴリ(1)

	カテゴリ1	カテゴリ2	カテゴリ3
発生形態	労働災害 単発的故障	システム事故 組織事故	設計基準事象 想定事故
生起確率	比較的高い	極めて低い	低い
潜在的損害	局所的・限定的	中規模～甚大	甚大
主な被害者	当事者	当事者・第三者	当事者・第三者
シナリオの複雑さ	単純・単一事象	複雑・非線形	比較的単純・線形
シナリオの多様性	多様・限定可能	極めて多様	限定的・少数

(古田, 2001)



3つの事象カテゴリ(2)

	カテゴリ1	カテゴリ2	カテゴリ3
定量的リスク評価	統計的に可能	現状では困難	準理論的に可能
安全目標	ALARA	ALARA	絶対的目標
有効な安全対策	人間工学 作業管理	レジリエンス?	工学的安全設備 ハードの安全設計
経済性との競合	両立する	両立する	競合する
原子力の現状	対応済	体系化が不十分	対応済

(古田, 2001)



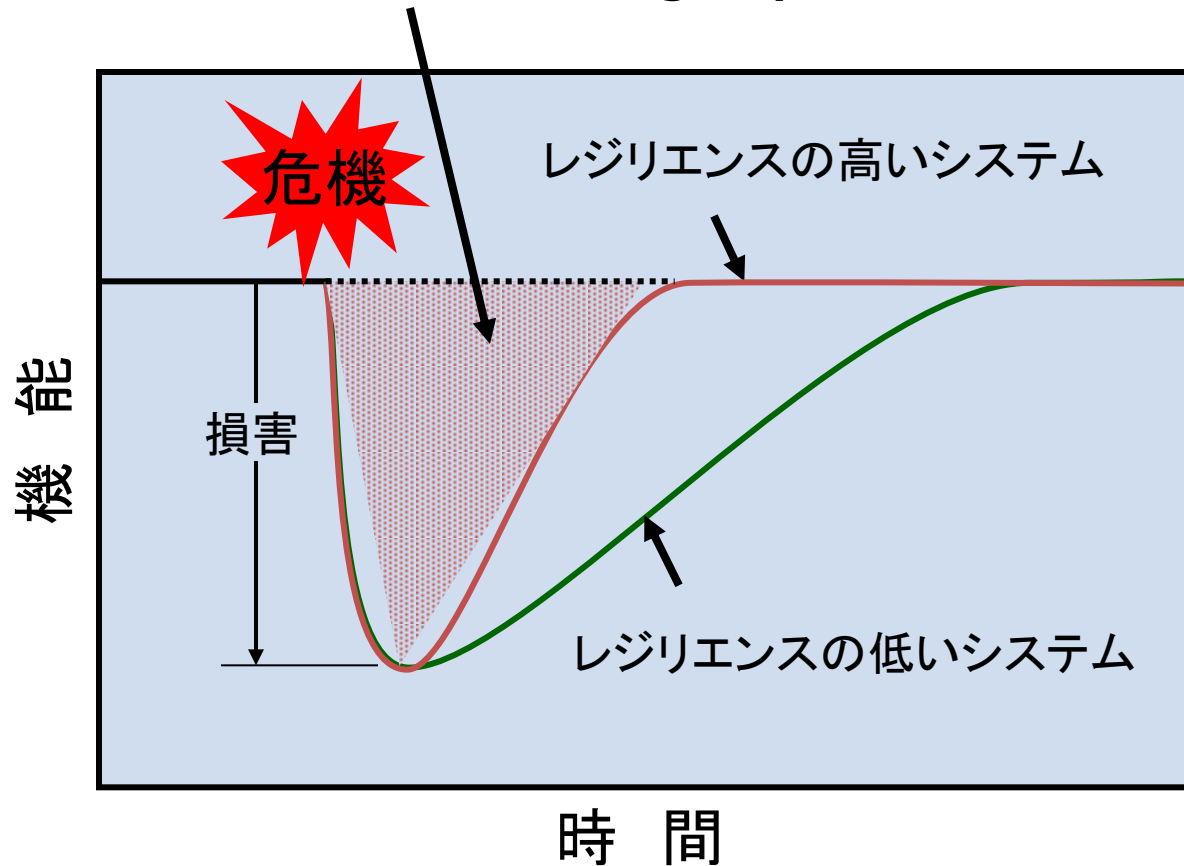
レジリエンス概念の誕生

- 生態系のレジリエンス
 - システムの持続性の程度の指標であり、変化や擾乱を吸収し、状態変数間の関係を維持するシステムの能力を表す (Holling, 1973)
- 防災工学におけるレジリエンス
 - 外乱に対して機能を維持しながら効率的に回復できるシステムの弾力的な性質 (弾力性、回復力、しなやかさ)
 - ✓ 損害を避ける・損害を軽減する (robust)
 - ✓ 想定外の外乱に対応する (responsive)
 - ✓ 回復する (recovery)



レジリエンス三角形

Resilience Triangle (Bruneau, 2003)



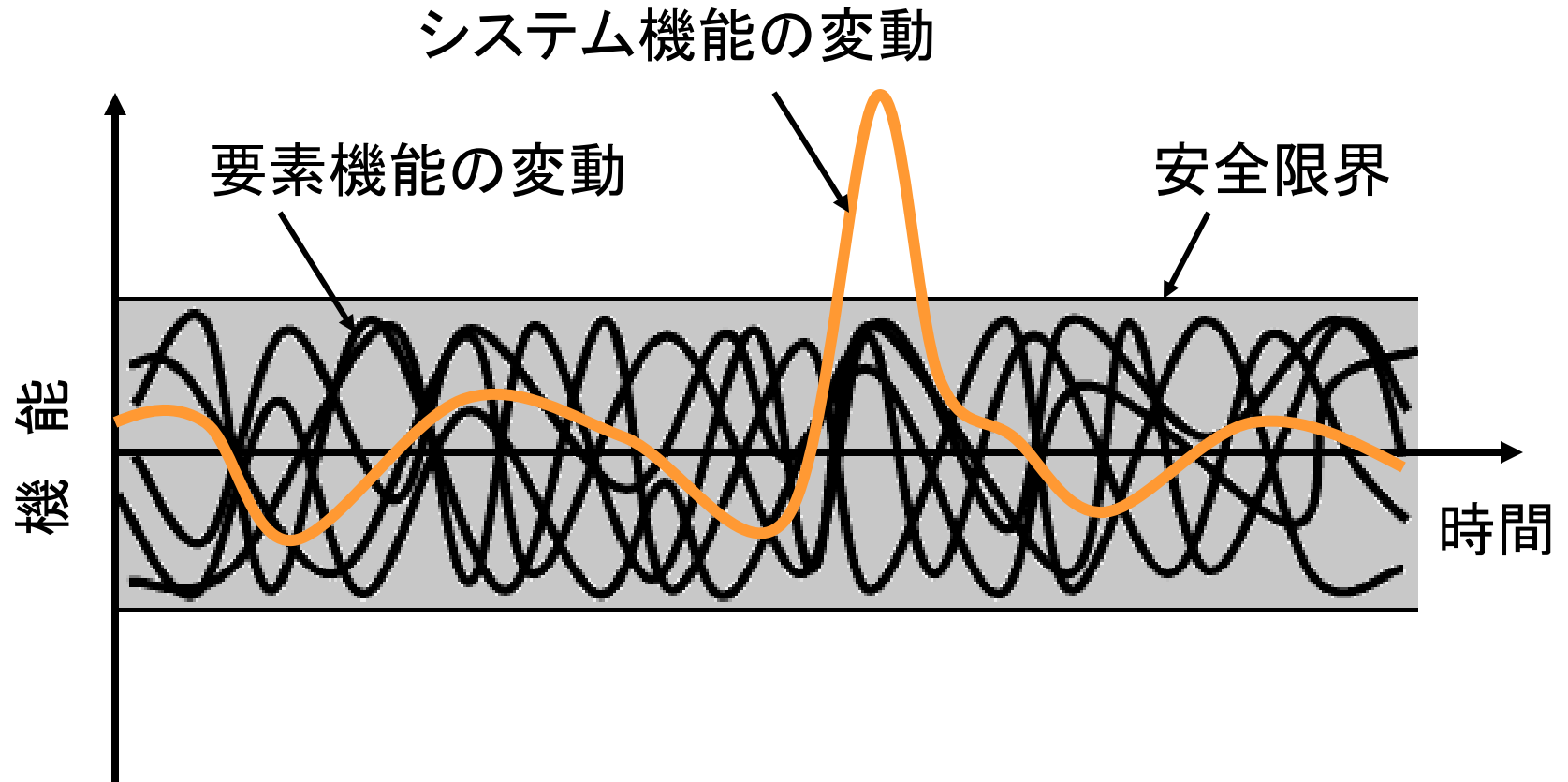


技術社会的文脈でのレジリエンス

- システム安全を考える枠組みの変化
 - HRA手法開発における行き詰まり感
 - 複雑系研究の進展
 - 技術社会システムの非線形性
- システム論的観点からのレジリエンス
 - 変化や擾乱に対してシステムの機能を調整することにより、状況が予見可能か否かにかかわらず必要な機能を継続するシステム固有の能力

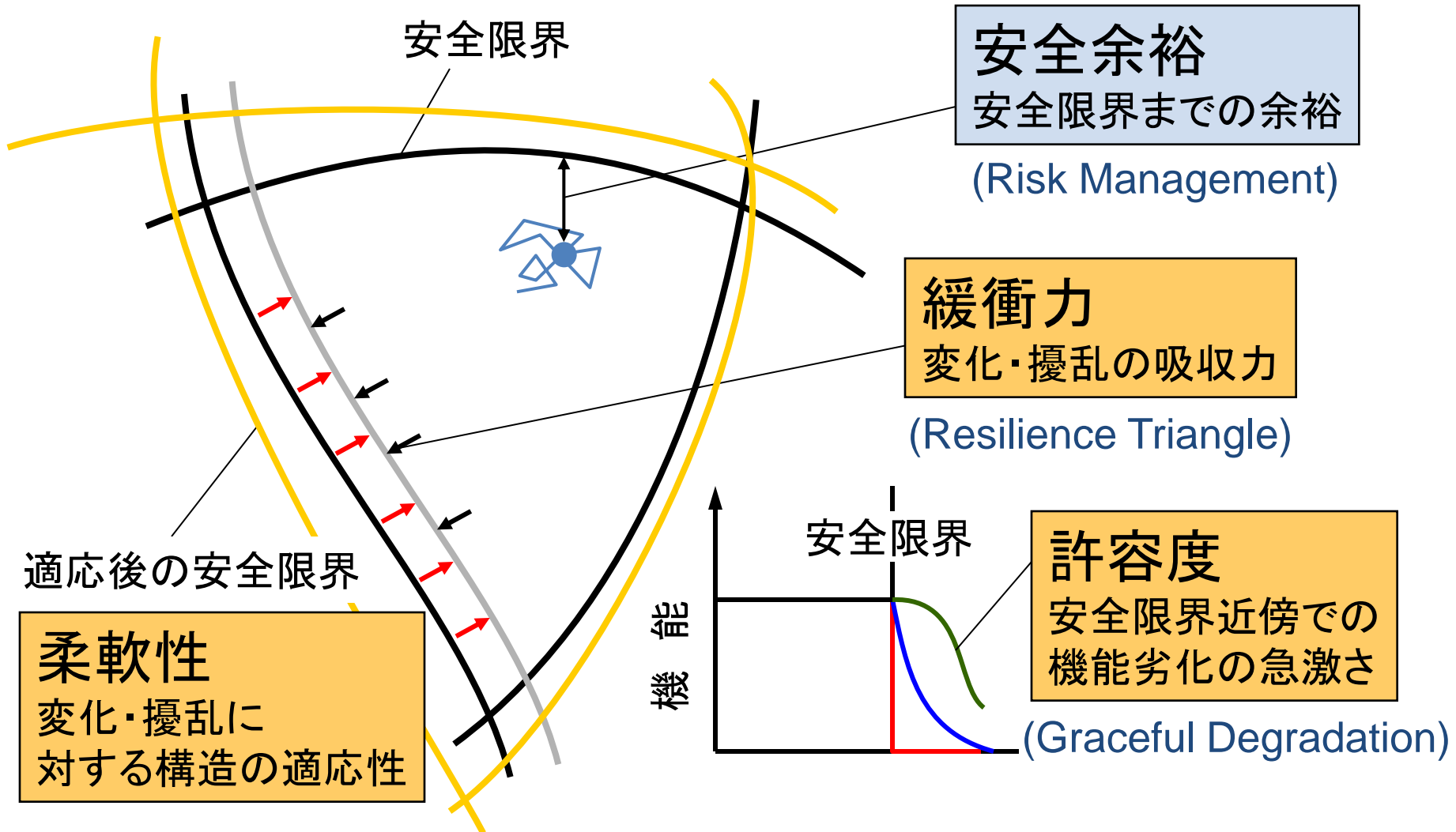


事故の機能共鳴モデル(FRAM)





レジリエンスの特徴要因





原子力における例

安全余裕

- ・ 伝統的原子力安全設計
- ・ 深層防護
- ・ 冗長性
- ・ Fail safe & fool proof
- ・ リスク情報を活用した管理

許容度

- ・ 設計基準を超える安全余裕
- ・ アクシデントマネジメント
- ・ 原子力防災

緩衝力

- ・ 原子力防災
- ・ 復旧工事
- ・ 除染、賠償

柔軟性

- ・ インシデントマネジメント
- ・ リビングPSA
- ・ 技術的バックフィット
- ・ 組織・制度改変





従来の工学設計の前提

- 特定の**設計基準**を事前に設け、それを満足するようにシステムを設計する。
- 設計基準を超える状況は**想定しない**こととし、そこでのシステムの機能は**保証しない**。
- 設計基準を超える状況が起る確率の推定は、**経験的**に可能である。
- どこに設計基準を設けるかは、本来、工学の問題ではなく、**政治と経済**で決る。



まとめ

- 従来のリスクマネジメントの考え方では現実に対処できなくなりつつあり、システムックモデルに基づく新しいアプローチが求められる。
- 複雑系における事故のシステムックモデルやレジリエンス工学の発想は、これを解決するための有力な手がかりになり得る。