

リスク論に基づく津波防御の体系

東京大学大学院工学系研究科建築学専攻

高田毅士

発表概要

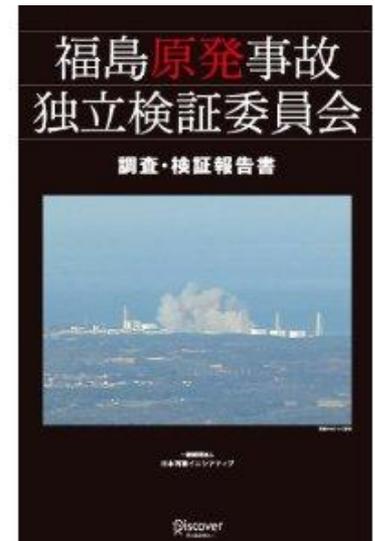
1. リスク概念の重要性
2. リスクに基づく設計の概念
3. 安全目標・性能目標
4. リスク論に基づく津波防御の枠組
5. 津波リスク評価
6. まとめ

リスク概念の重要性



事故調査報告

- (1) IAEA閣僚会議(2011.5)
- (2) 保安院
- (3) 原子力技術協会
- (4) 政府事故調(畑村報告、2011.12, 2012.7)
- (5) 東京電力(2011.5)
- (6) 民間事故調(2012.3)
- (7) 国会事故調(黒川委報告、2012.7)
- (8) 原子力学会(2014. 3)



工学におけるリスクとは？

恐れるものの(対象物)の **発生頻度** と **被害規模** の両方を同時に表現する良い方法は？

リスク=損失の大きさとそれが生じる確率との積あるいは組み合わせ

$$R=P \times C$$

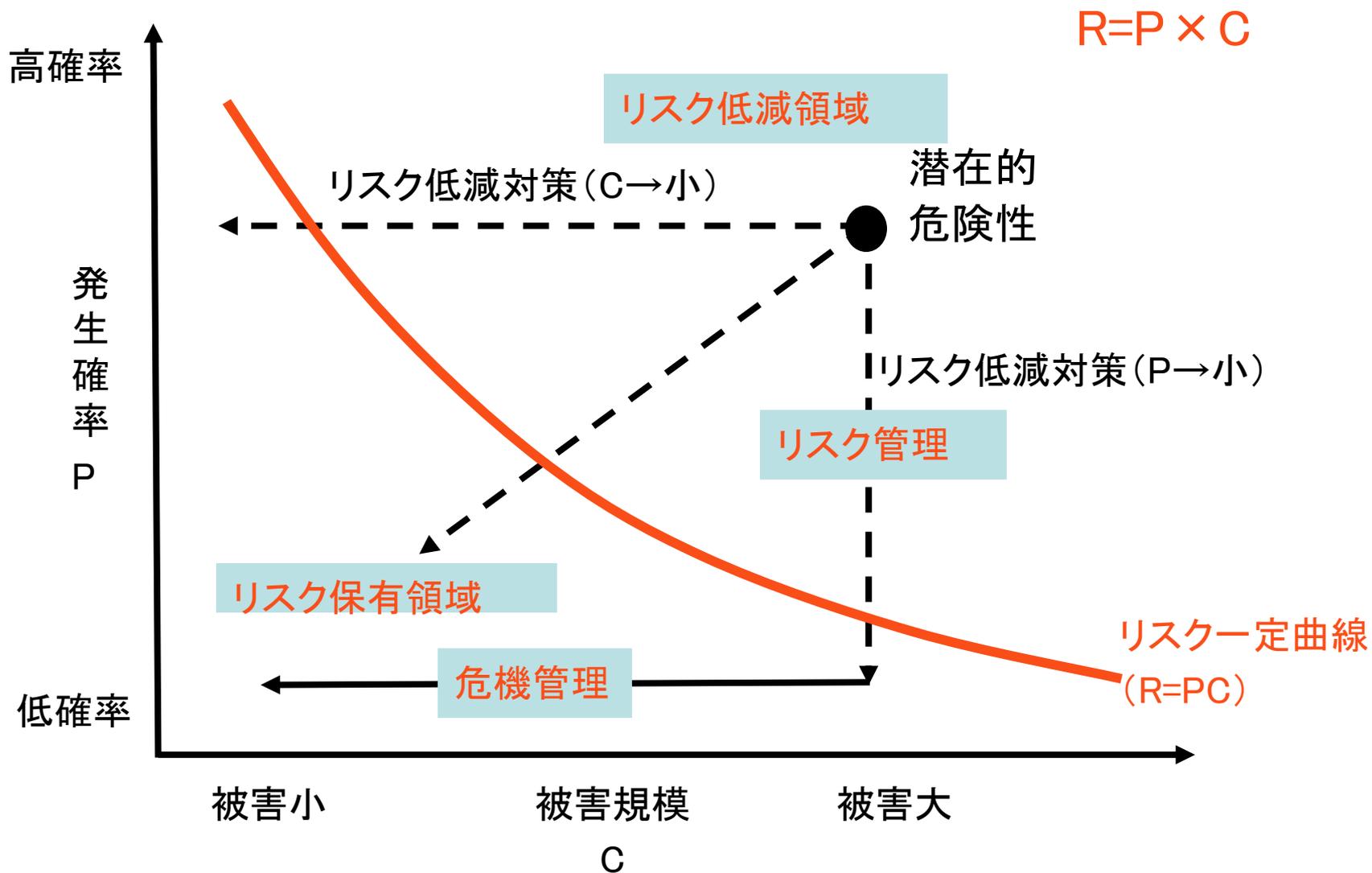
R: リスク

P: 想定する事象の発生確率

C: 想定する事象が発生したことによる影響

(損失額(¥)、死者数(人)、遅延時間(日)など)

リスク管理のスキーム



リスク管理の概要

(Guide 73, 2002)の定義

リスクマネジメント				
	リスク評価			
		リスク解析		
			ハザード特定	
			リスク算定	
	リスク評価			
	リスク対応			
		リスク回避		
		リスク最適化		
		リスク移転		
		リスク保有		
	リスク受容			
リスクコミュニケーション				



G.Apostolakis (NRC)の資料より

確率的リスク評価(PRA)はリスク管理実施のために以下の質問に答える。

(1) どのような事故が起こりうるか？

限定された設計事故事象とは違って、数千の事故シナリオを調べる。

(2) これらのシナリオはどれぐらいの発生頻度か？

(3) それらの事故後の結果は？

(4) どのシステムや機器が最もリスクに影響を与えるか？

決定論的安全評価とPRAの比較

	決定論的安全評価	PRA(確率論的リスク評価)
対象とする事象	発生すると想定される事象のうち、最も厳しいと考えられる少数の代表事象	有意と考えられる全ての事象
事故発生頻度	一義的に生ずると仮定(発生頻度の論議はしない)	発生頻度は確率分布するので、中央値または平均値と不確かさの幅とで評価
事故解析の方法	安全評価指針などで定められたシナリオに沿って、保守的な仮定のもとに解析(例えば、最も効果のある事故緩和系に単一の故障を仮定)	考え得る様々な事故の推移を考慮して、有意な全ての事故(事故シーケンス)に対して現実的な仮定のもとに解析(緩和系の多重故障を想定)
リスク評価	なし、または定性的に評価	定量的に評価
不確かさの扱い	「保守的に設定した事故解析の方法」に従うことにより不確かさの論議を回避	不確かさの伝播を含めて定量評価(現実的評価を試みるため、知見の乏しい分野を扱う際には不確かさが大きくなる)
評価結果の解釈	各事故ごとに個別に解釈	全ての事故シーケンスをもとにして総合的に解釈
適用例	原子炉設置許可申請 添付書類10	原子炉安全研究(WASH-1400) シビアアクシデントリスク(NUREG-1150) シビアアクシデント対策(AM)の摘出と有効性評価 定期安全レビュー(PSR)のPSA

桐山資料より抜粋

リスク論に基づく設計



残余のリスク評価のための地震PRAの導入

(残余のリスクの考慮)

① 耐震設計特有事情の反映

- ・ 設計用地震動を超える地震動の可能性
- ・ 複数の機器及び系統の同時損傷の可能性

② 耐震安全性の分かり易さ，説明性の向上

- ・ 設計を越える領域におけるプラント全体の耐震安全性の定量評価
- ・ 耐震安全性評価プロセスの透明性，説明性

(地震PSAの特性)

① 残余のリスクを合理的に評価する手段

② 使用データ・判断根拠等プロセスを陽に公開する手段

③ 安全目標/性能目標との対応を定量的に評価する手段

改訂ISO2394(2014)の概要

ISO2394: 構造物の信頼性に関する一般原則
一般構造物の設計・評価のバイブル

- 構造物の要求条件の拡張
 - 社会的機能を支え**社会の持続的発展**を高めるよう**設計**され、**維持管理**され、そして**解体**されなければならない
 - ✓ 使用期間全体を意識
 - ✓ 社会との関わりや地球環境を強く意識
- リスク, ロバスト性の概念の導入
 - **使用性, 安全性, ロバスト性**を適切な水準の**リスク**あるいは**信頼性**でもって満たさなければならない

多様な設計の枠組み

◆ リスクに基づく方法

$$R < R_a \quad R_a: \text{許容リスク}$$

◆ 破壊確率 P_f 、信頼性指標 β を直接用いる方法

$$P_f < P_{fa} \quad \text{or} \quad \beta > \beta_T \quad P_{fa}: \text{許容破壊確率}, \beta_T: \text{目標信頼性指標}$$

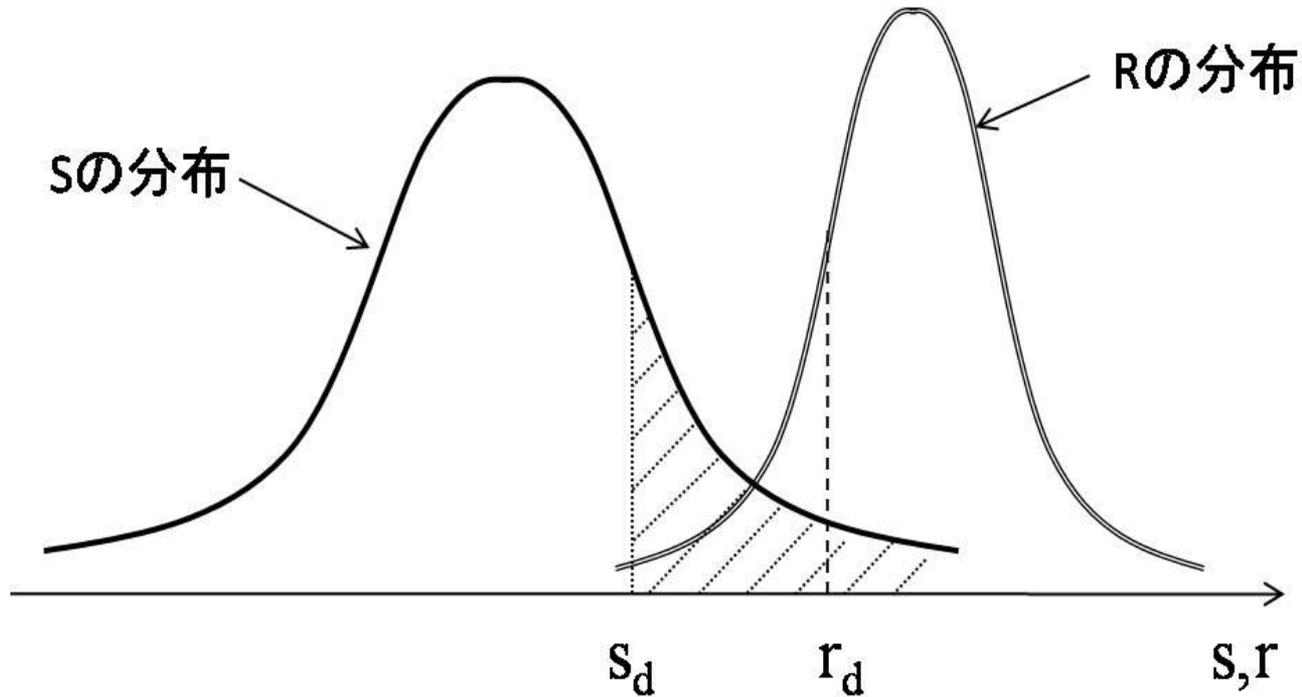
◆ 従来形式に類似した方法（荷重・耐力係数方式）

$$\phi R_n > \sum \gamma_i S_{ni} \quad \phi: \text{耐力係数}, \gamma_i: \text{荷重係数}$$

◆ 従来方法（許容応力度設計等）

$$R_n / \nu > \sum S_i \quad \nu: \text{安全率}$$

地震PRAと設計クライテリア



$\text{Prob}(s_d < S)$: 地震外力 S が設計値 s_d を超える確率

$\text{Prob}(R < r_d)$: 保有耐力 R が設計値 r_d 以下となる確率

設計クライテリアの構成

設計クライテリア設定の合理的な根拠付け

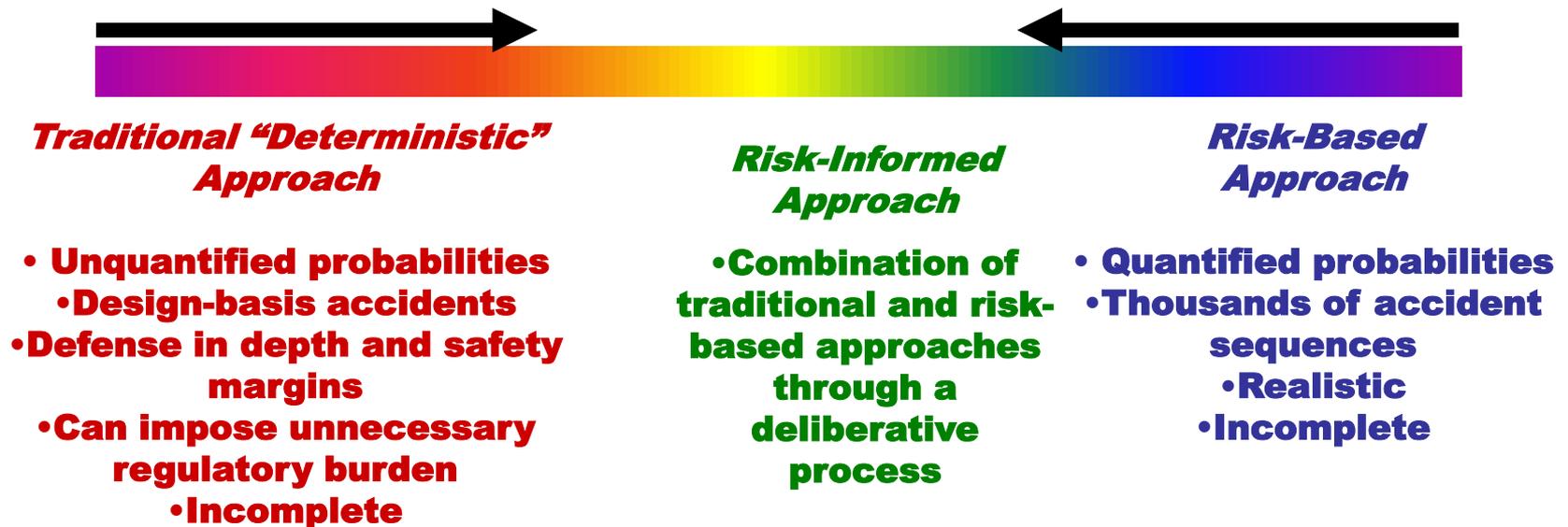
設計クライテリア（設計で考慮する断層、基準地震動、等）

$$\begin{aligned} &= \text{工学的判断} \quad \times \quad \text{科学的事実} \\ &= (\text{余裕を与える部分}) \times (\text{プラント挙動を表す部分}) \\ &= (\text{目標性能水準}) \quad \times \quad (\text{物理法則・データ}) \\ &= (\text{工学意思決定}) \quad \times \quad (\text{科学としての普遍的部分}) \end{aligned}$$

リスクベーストか、リスクインフォームドか？

- リスクに基づく安全設計と評価 (risk-based safety assessment and design)
- リスク情報活用した安全設計と評価 (risk-informed safety assessment and design)

G. Apostolakis の発表資料(2014. 2)より抜粋



安全目標・性能目標





旧原子力安全委員会安全目標専門部会における検討結果

炉心損傷頻度 10^{-4} ／炉年程度

格納容器機能喪失頻度 10^{-5} ／炉年程度

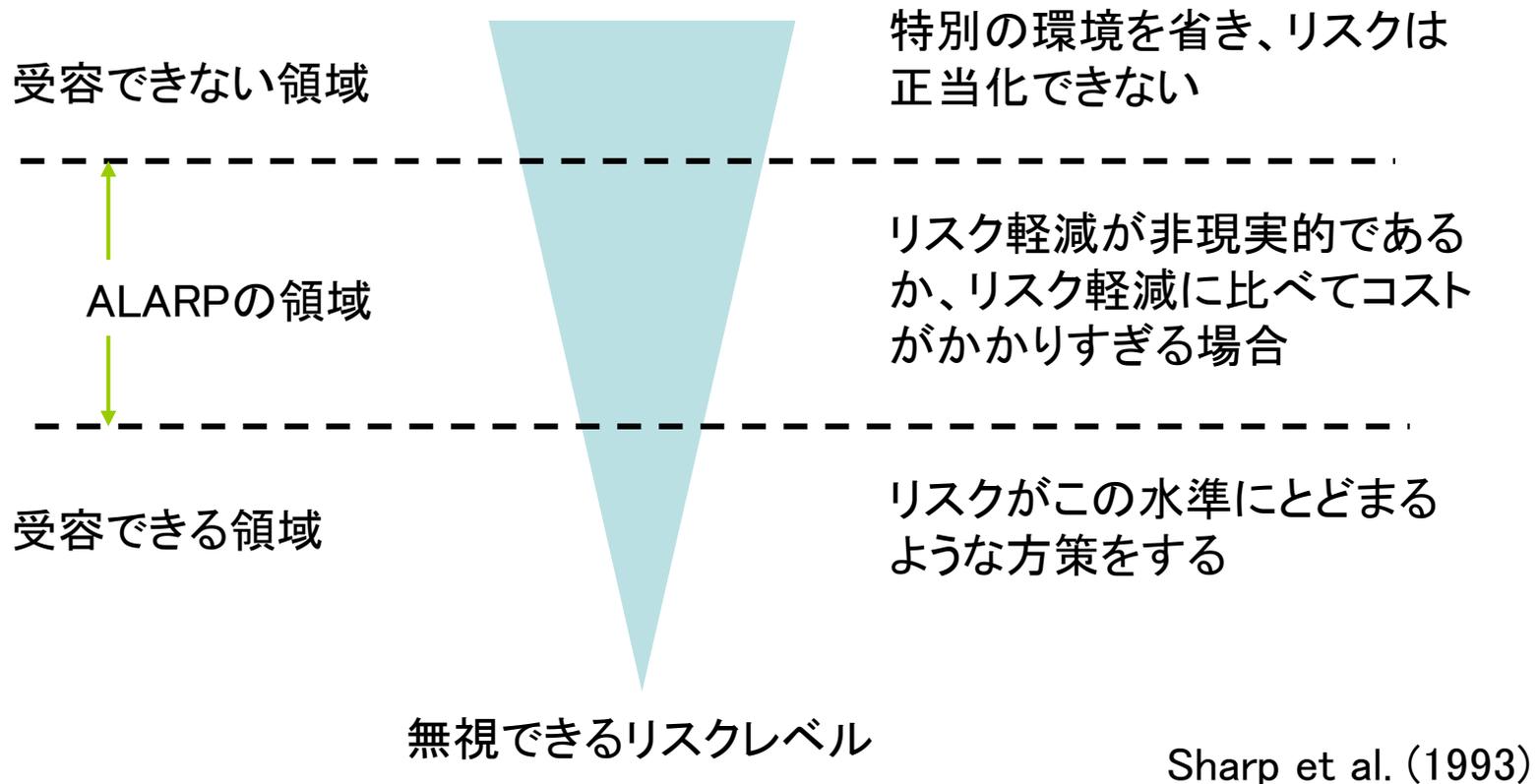
安全目標の意義

安全性を議論する最も基本

原子力発電所を外的事象に対して安全にしたいか？

How safe is safe enough?

リスクレベルとALARA, ALARPの概念

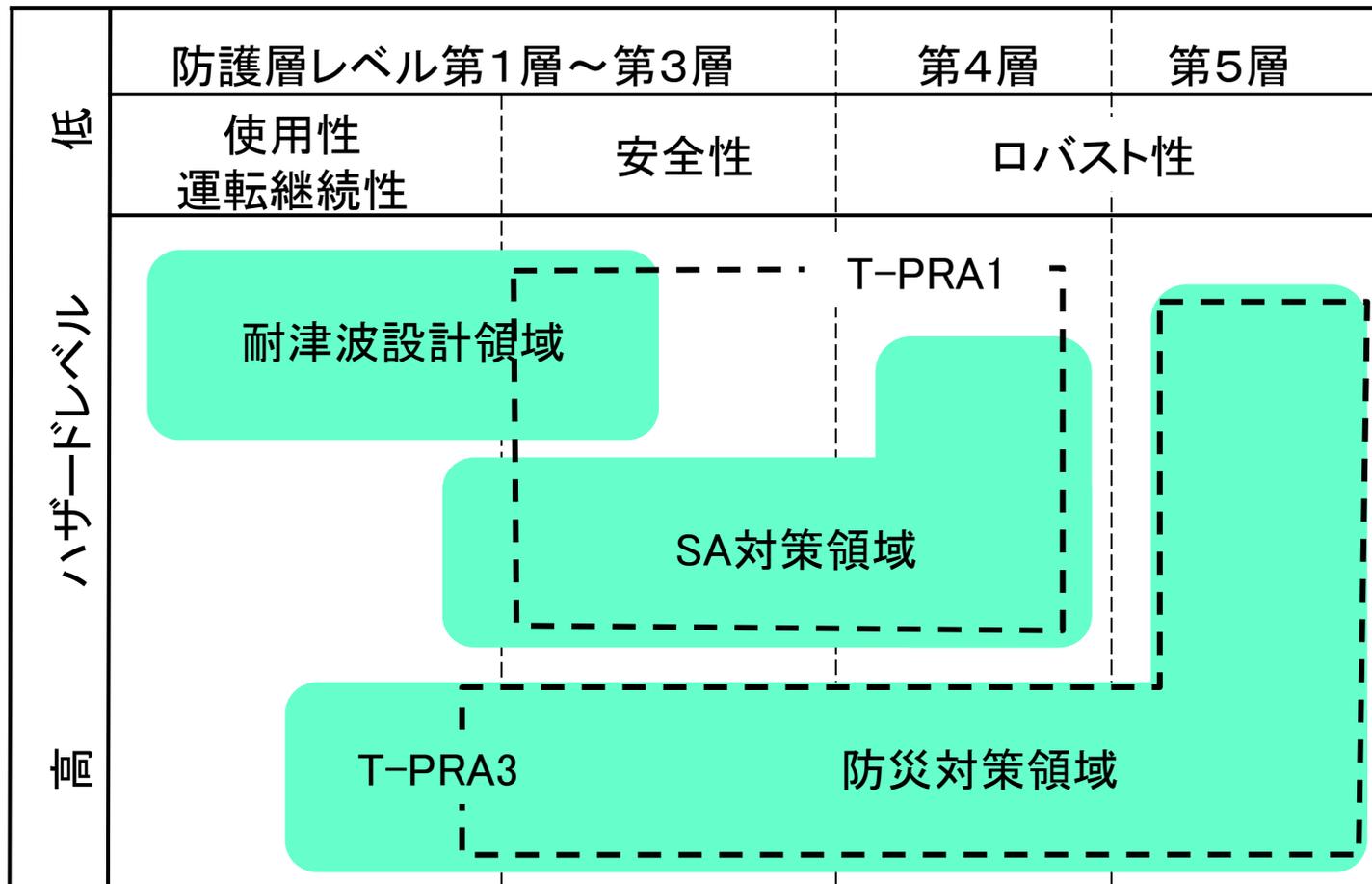


ALARA (As Low As Reasonably Attainable) 合理的に達成可能な限り低く
ALARP (As Low As Reasonably Possible)

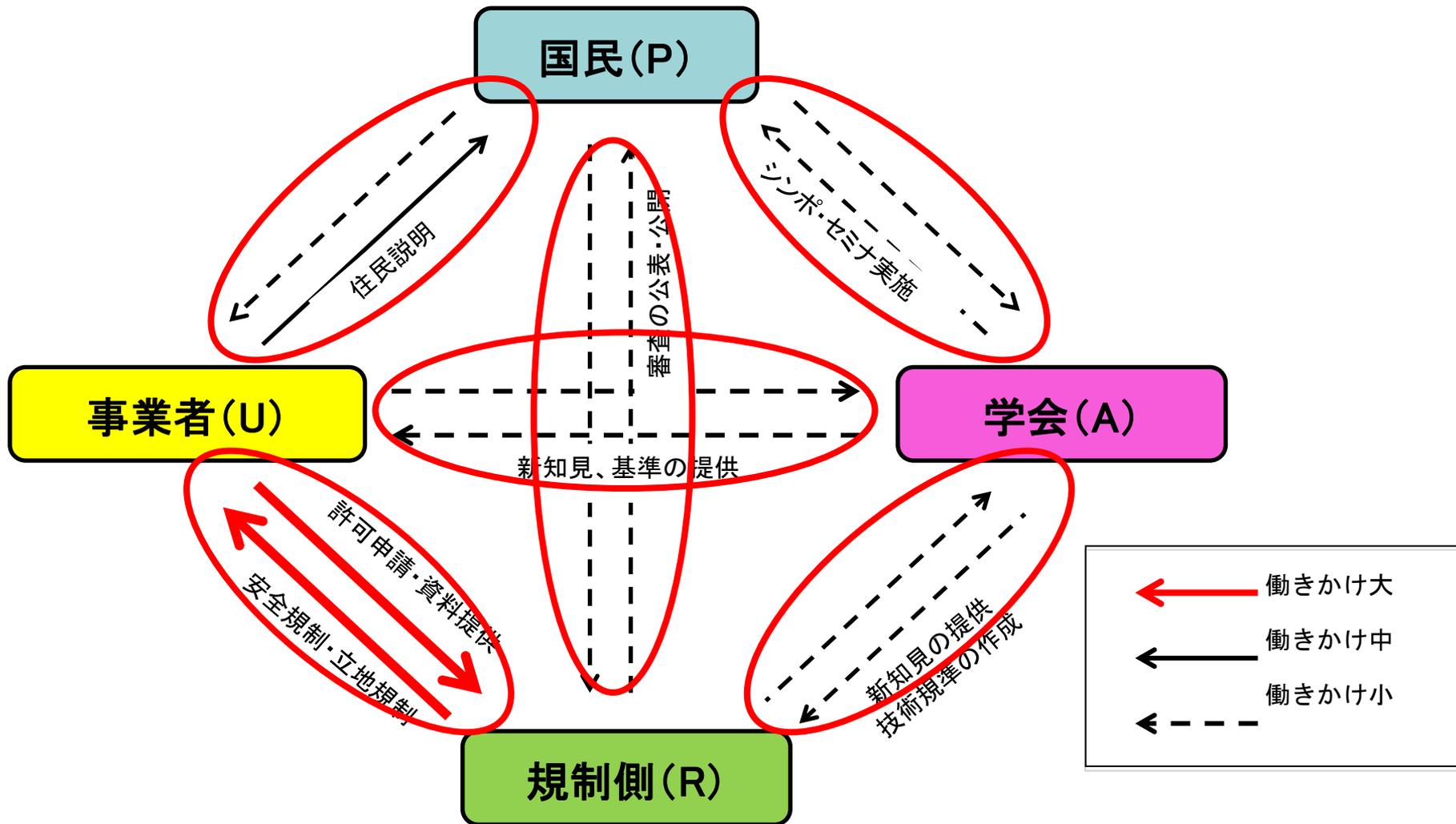
リスク論に基づく津波防御の枠組 (設計—評価—防災)



設計、評価、SA、防災の領域



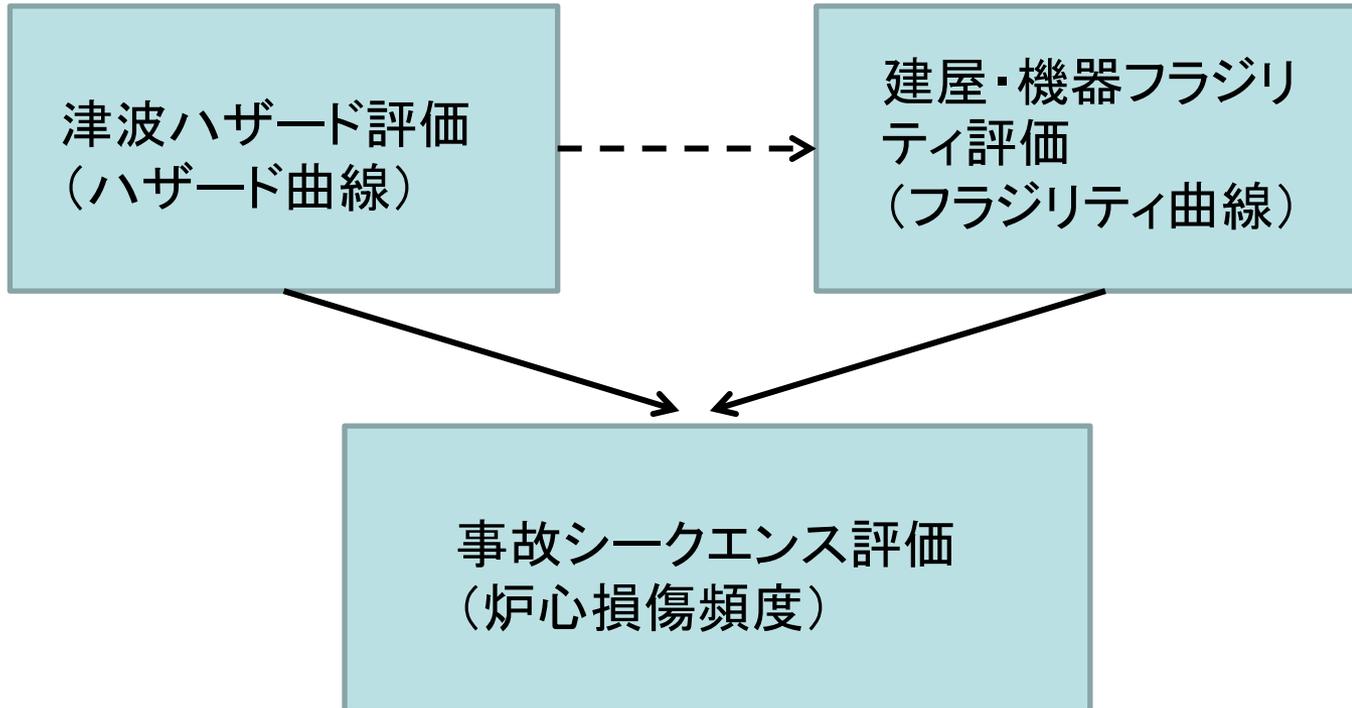
リスクコミュニケーションの重要性



津波リスク評価



津波リスク評価の構成



津波リスク評価におけるポイント

■津波ハザード評価関連

- 1) 津波強度指標の定義
- 2) 評価手法と不確かさ評価
- 3) 設計基準津波

■津波フラジリティ評価関連

- 1) 機器・設備の損傷モードの定義
- 2) 浸水解析、遡上解析手法の確立と不確かさ評価
- 3) 耐津波設計クライテリアの設定

■トータルプロセス・トータルシステムの視点

まとめ



まとめ

1. リスクの概念の重要性
リスク論の意義、決定論と同じ点、異なる点
2. 耐津波設計の概念
「残余のリスク」評価から リスクの基づく設計クライテリア
3. 安全目標・性能目標
4. 津波防御の枠組み
設計－SA－防災－評価の領域、
リスクコミュニケーション
5. 津波PRAの実施
津波ハザード、津波脆弱リティ、事故シーケンス評価