

# 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

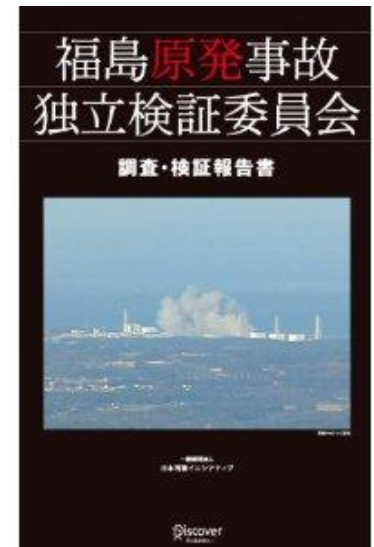
1. リスク概念の重要性
2. リスクに基づく設計の概念
3. 安全目標・性能目標
4. リスク論に基づく津波防御の枠組
5. 津波リスク評価
6. まとめ

# 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

$$R=P \times C$$

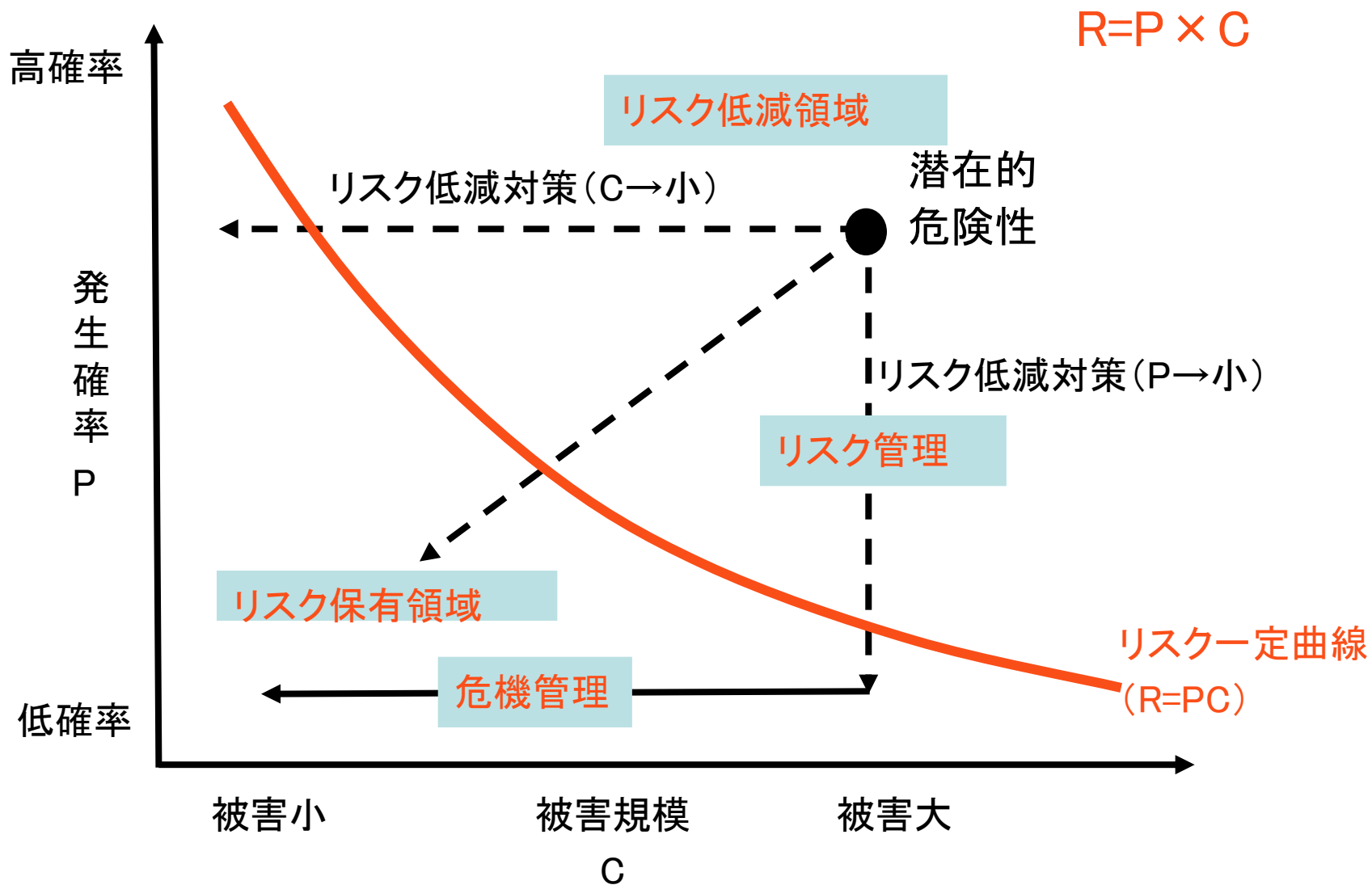
R: リスク

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実さの幅とで評価
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
不確実さの扱い	「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実さの論議を回避	不確実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実さが大きくなる)
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 $\beta$ を直接用いる方法

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

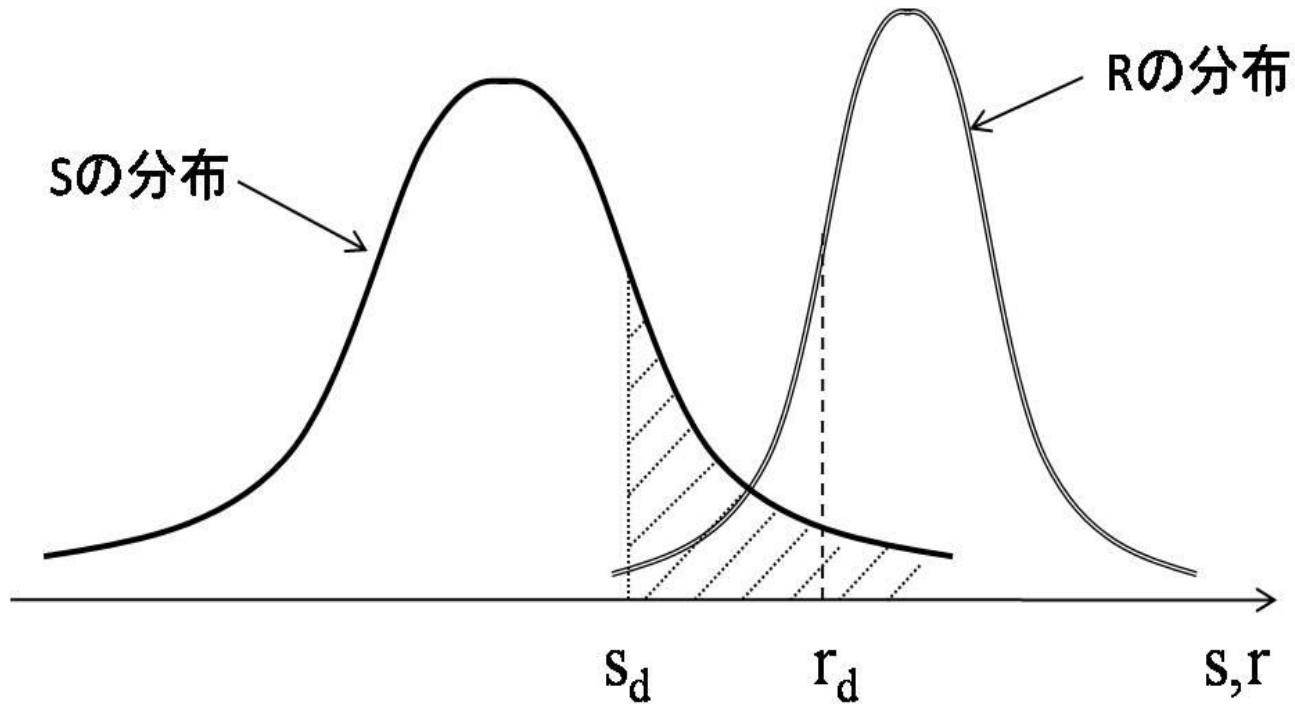
## ◆ 従来形式に類似した方法（荷重・耐力係数方式）

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

## ◆ 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

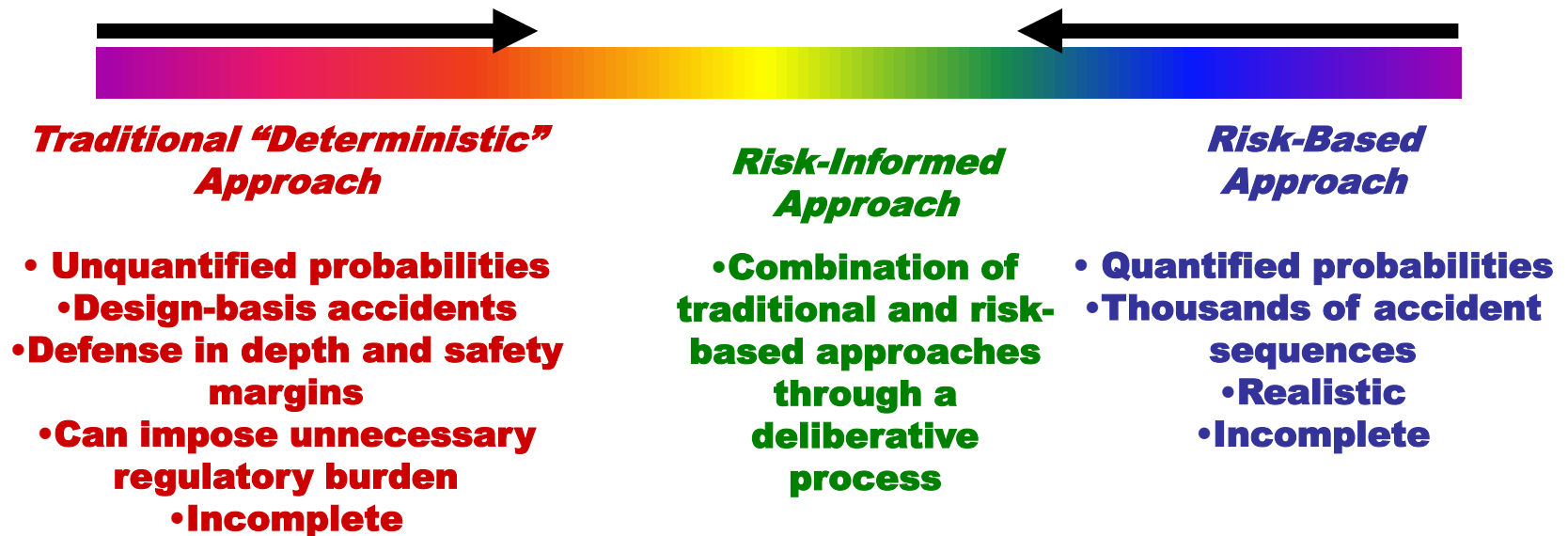
設計クライテリア（設計で考慮する断層、基準地震動、等）

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

# 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

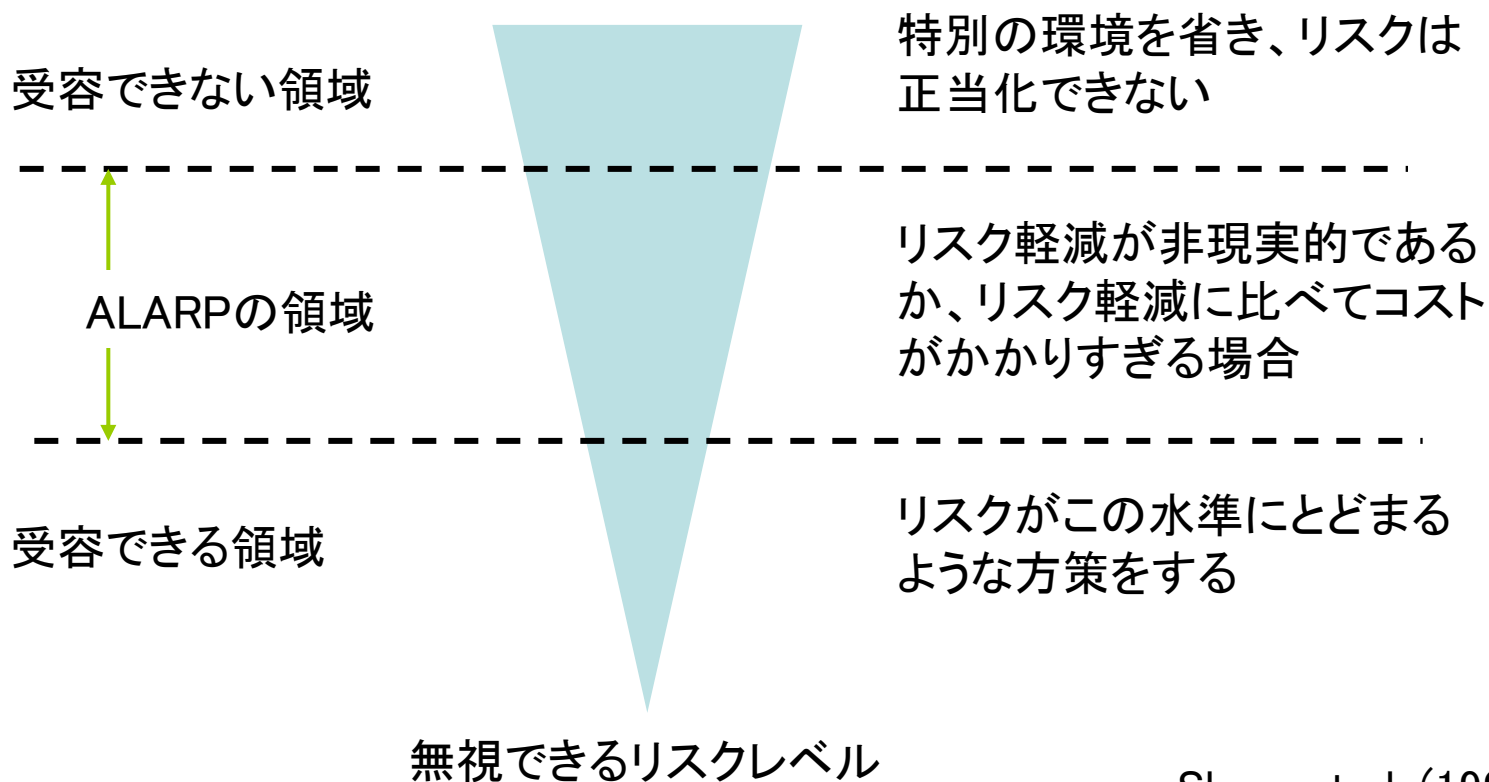
### 安全目標の意義

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



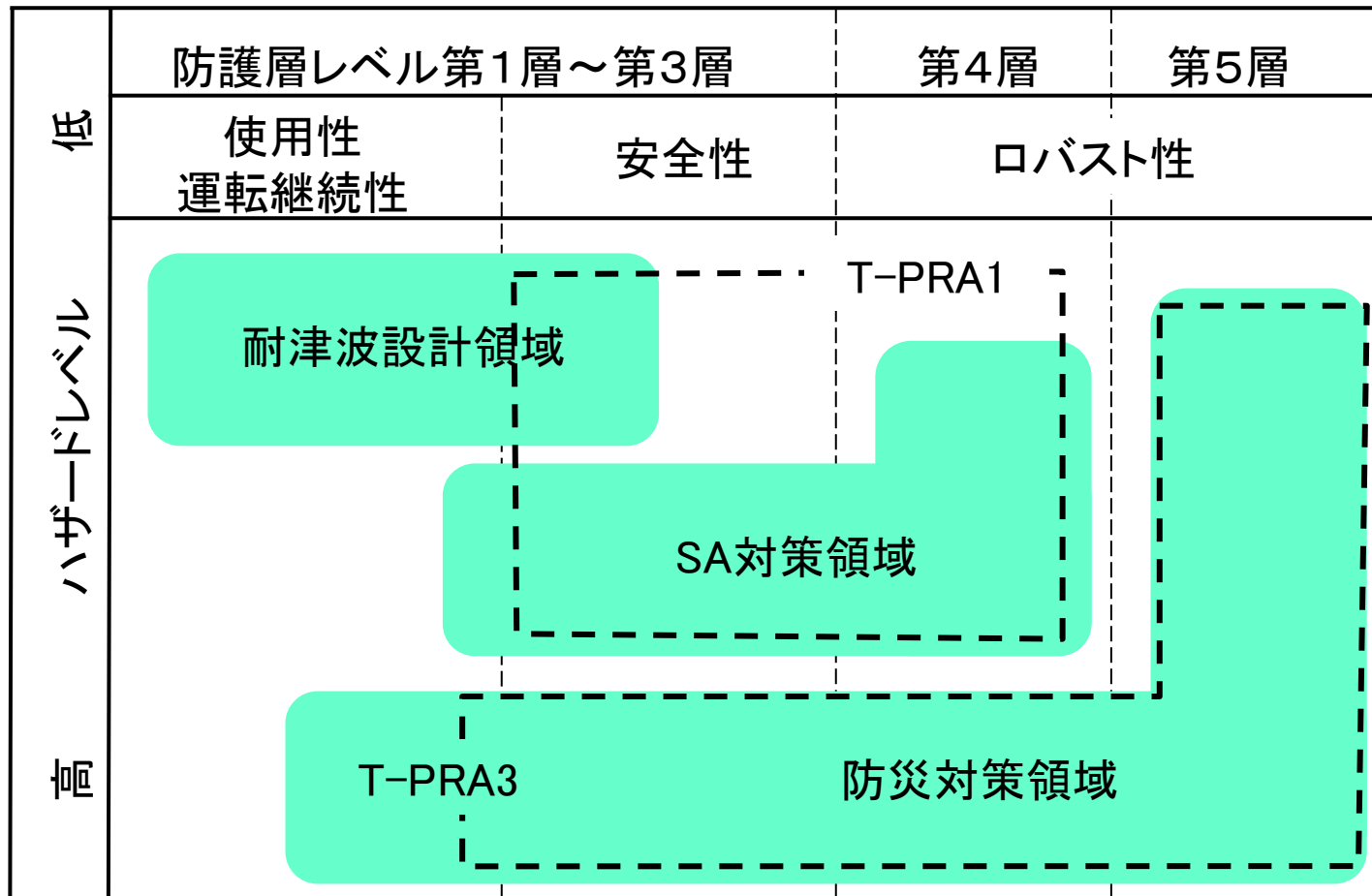
Sharp et al. (1993)

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)

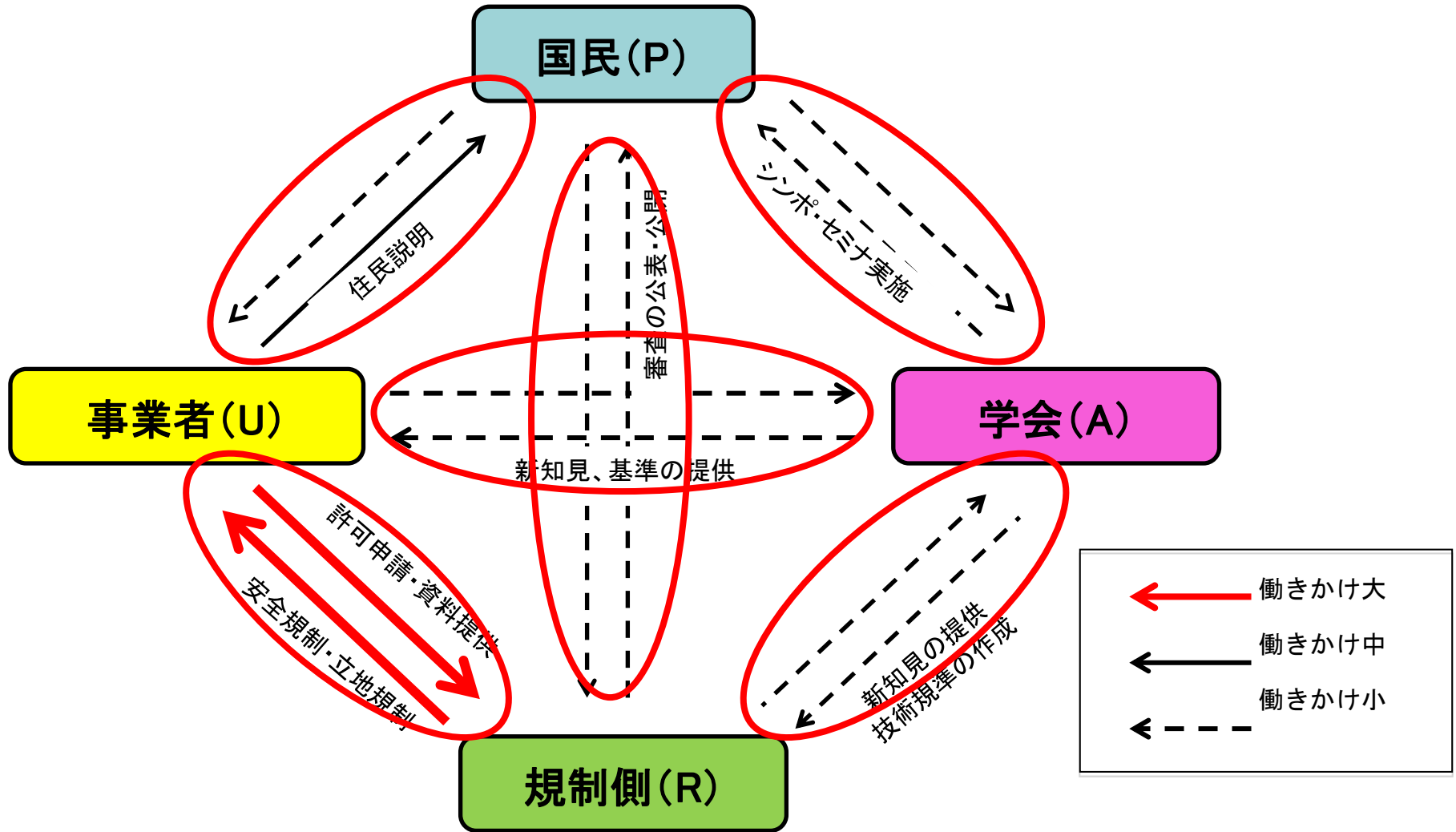
# リスク論に基づく津波防御の枠組 (設計—評価—防災)



# 設計、評価、SA、防災の領域



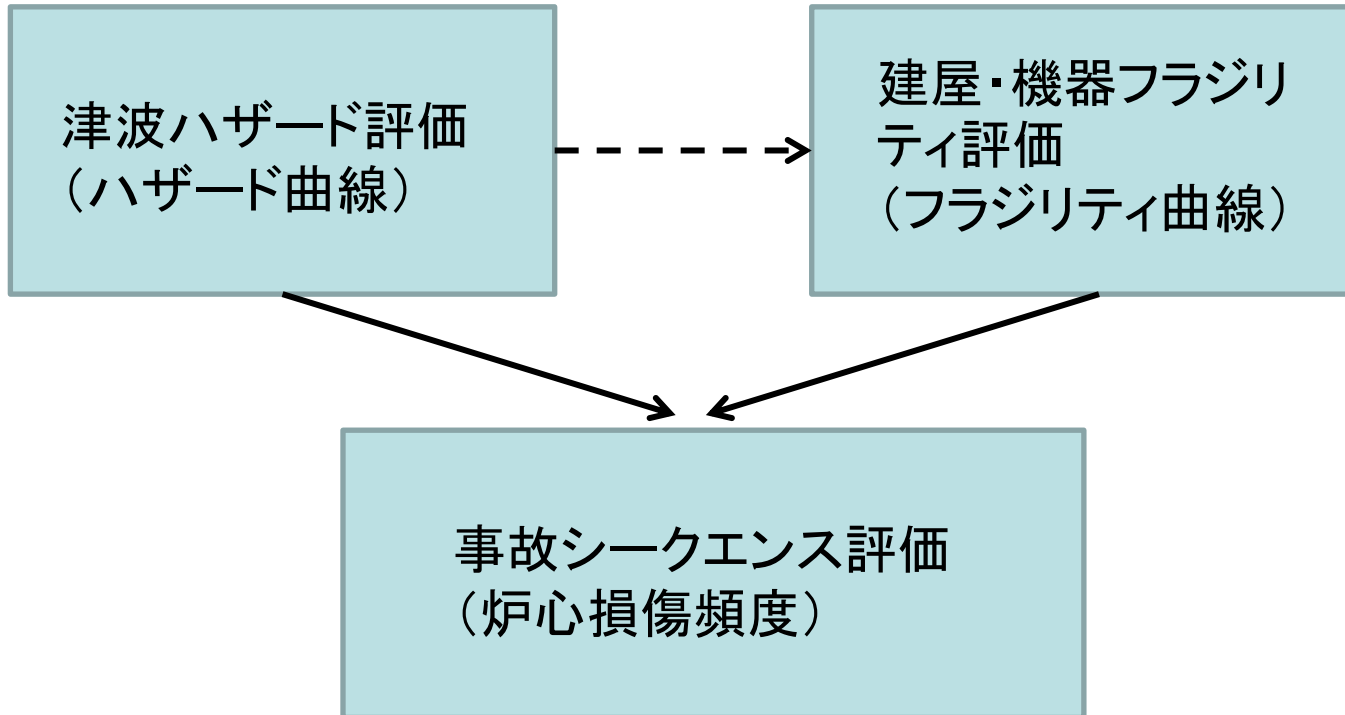
# リスクコミュニケーションの重要性



# 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

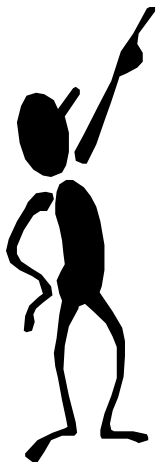
- 1) 津波強度指標の定義
- 2) 評価手法と不確かさ評価
- 3) 設計基準津波

## ■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