



日本原子力学会シンポジウム  
「東電福島第一原子力発電所廃炉への取り組み～過去・現在・未来～」  
2016年3月6日@フクラシア東京ステーション

(第2部 講演6)

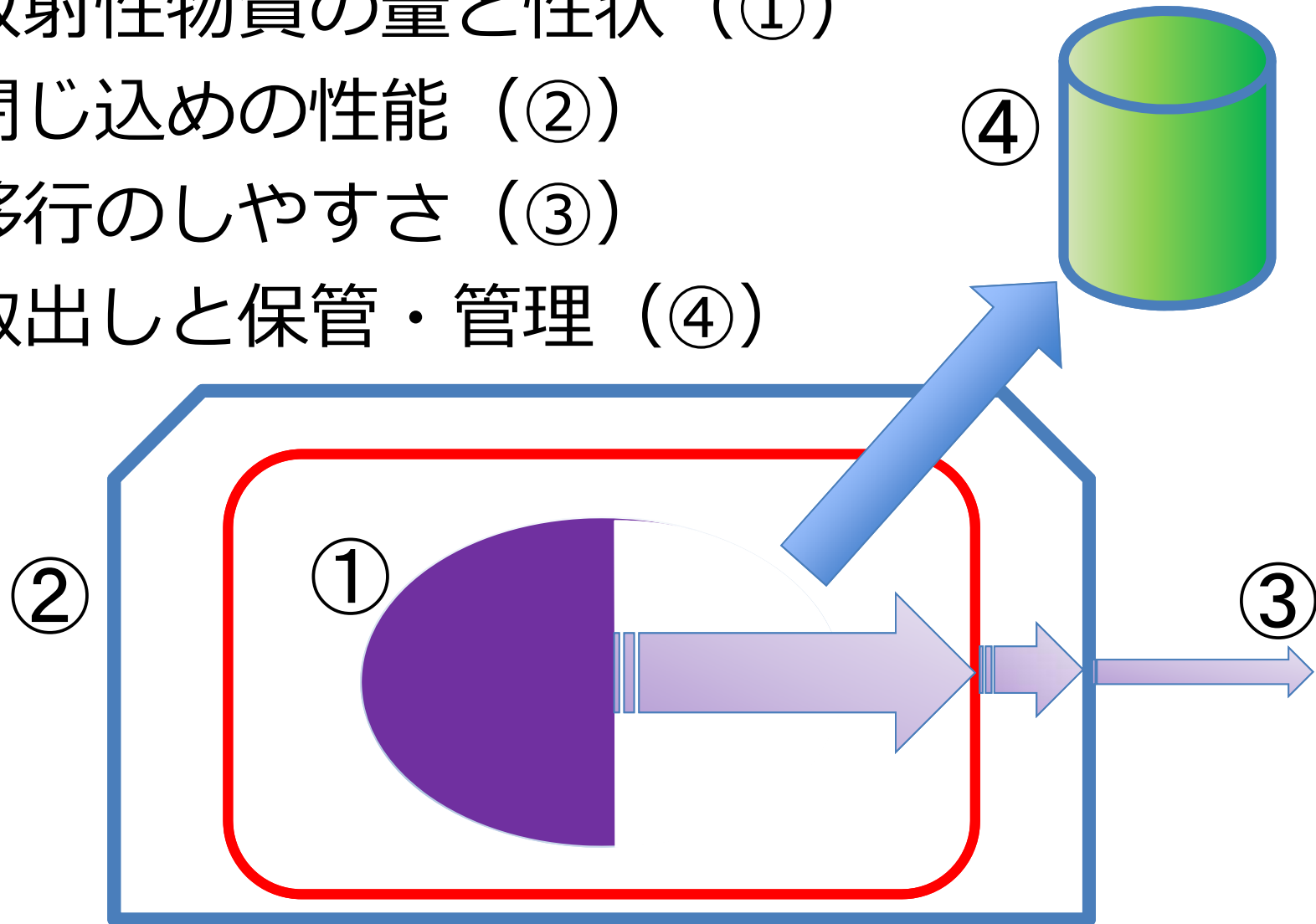
# 廃炉を着実に実施するための リスク管理を考える

日本原子力学会 廃炉検討委員会  
リスク評価分科会主査  
東京大学

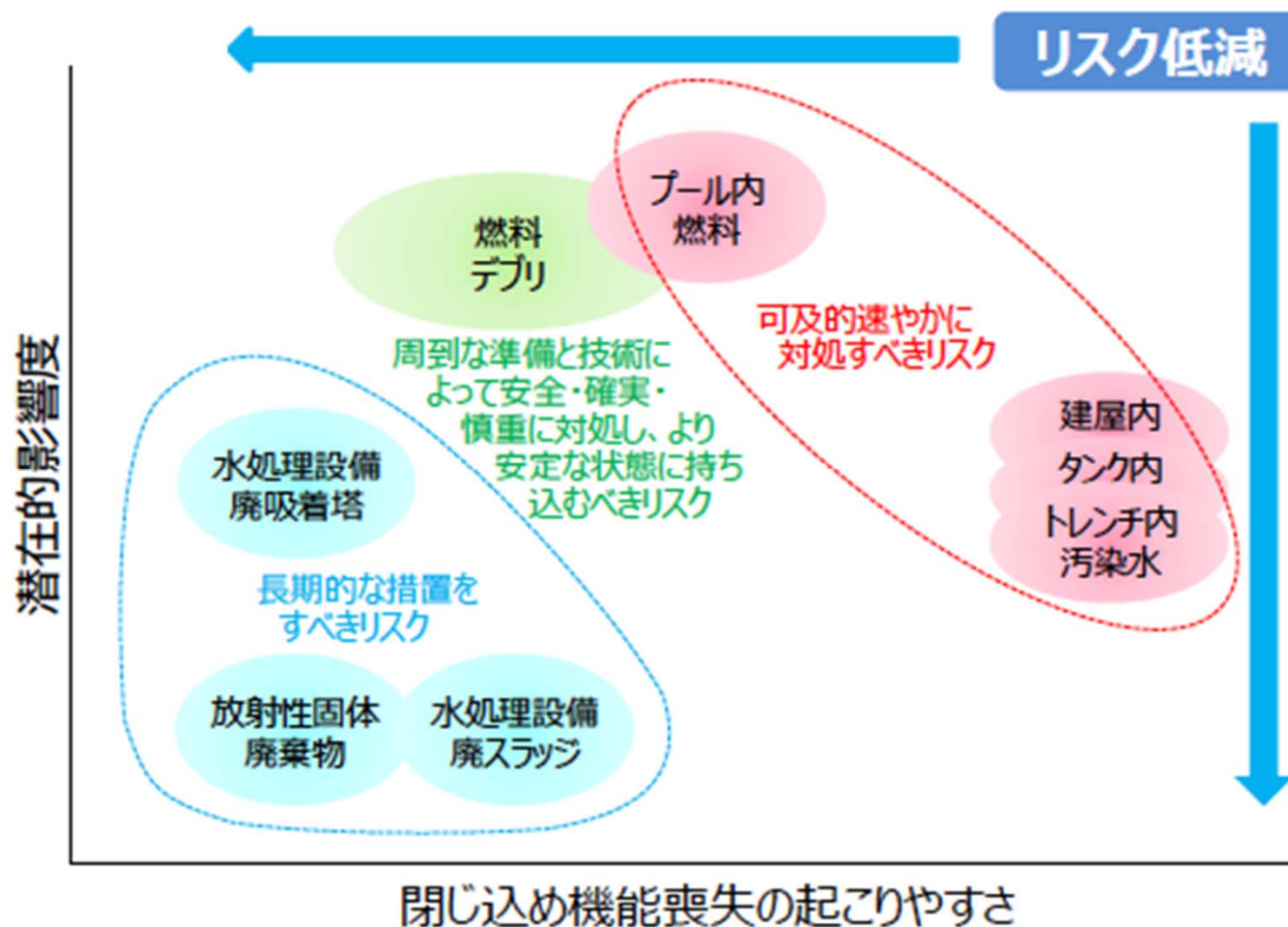
山口 彰

# 何がリスクを決めるのか

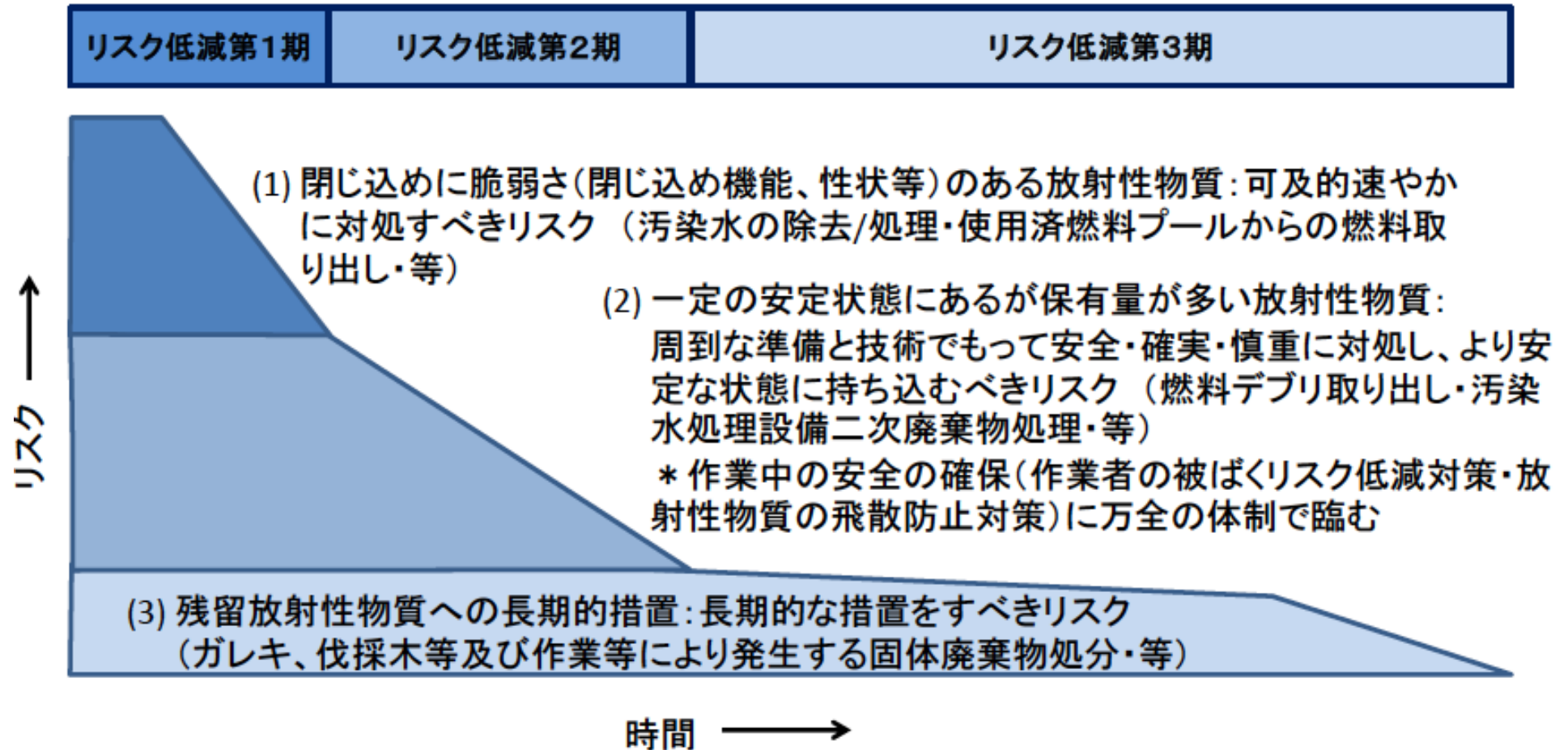
- 放射性物質の量と性状 (①)
- 閉じ込めの性能 (②)
- 移行のしやすさ (③)
- 取出しと保管・管理 (④)



# 現存リスクの分析（戦略プラン2015）



# リスク低減戦略（戦略プラン2015）



# 廃炉のリスク管理の考え方

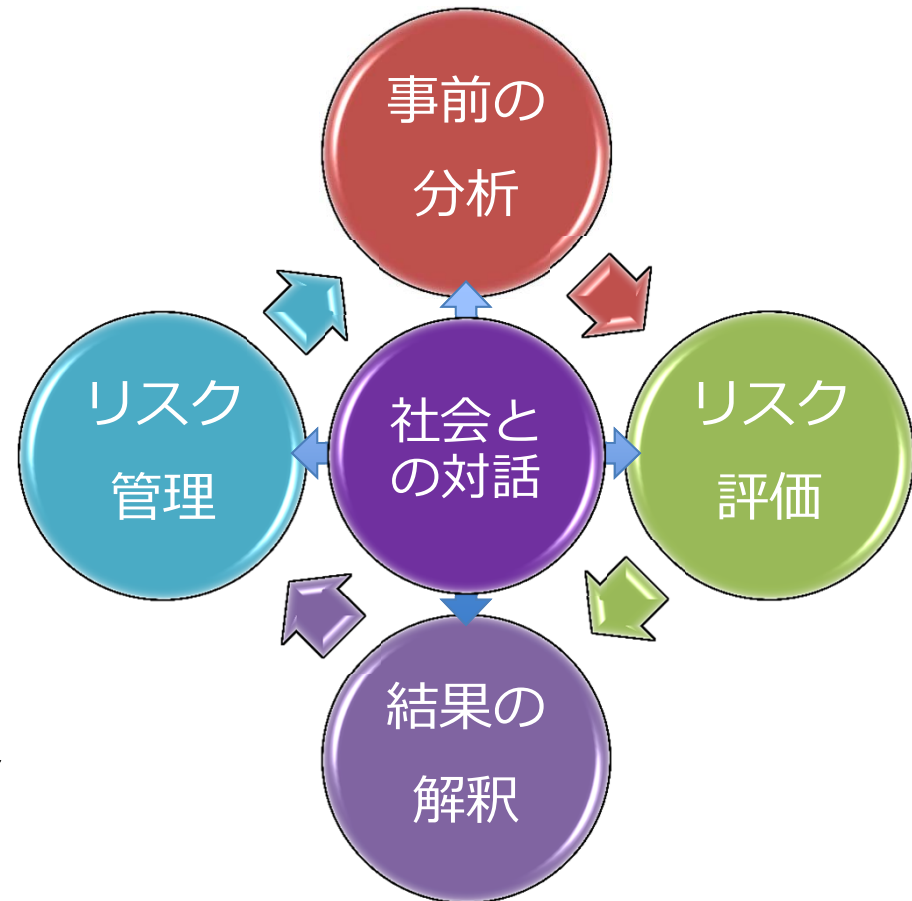
- 放射性物質を取出し・管理
- 閉じ込め能力を強化
  - 信頼性の高いバリア
  - 放射性物質を移動しにくい性状
- 状況把握（監視）と状況予測（異常時の対応能力）
- 上記を実施するに伴うリスクを適切に管理

# 福島第一原子力発電所の廃炉の特徴

- プラントの状況把握が不十分
  - 多くのリスク要因がある（分散リスク）
  - 多様な作業がある
  - 長期間にわたる
  - 初めての経験である
- 
- 原子力発電所のリスク評価プロセスとは異質な方法を構築する必要がある

# リスクを管理し、制御する

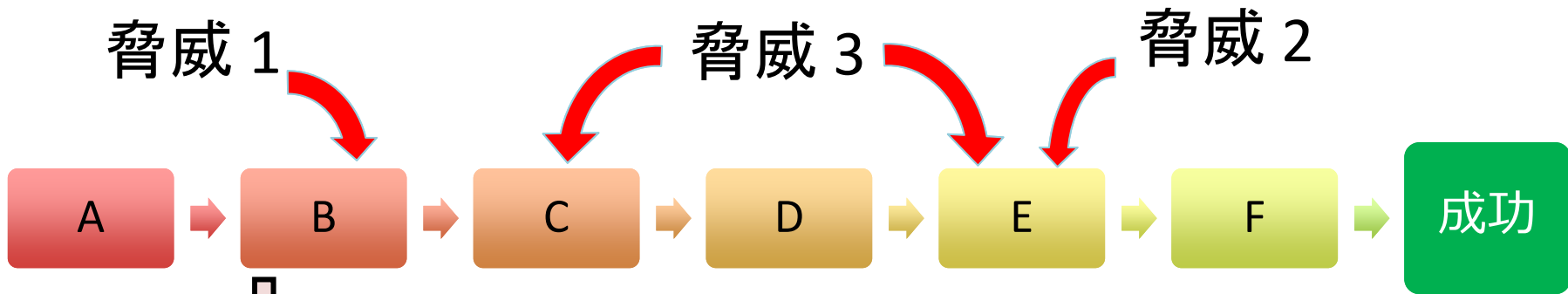
- 廃炉プロセスの事前分析
  - 成功とは何か
  - 何が脅威となるか
- リスク評価の実施
  - 成功とリスクの定量化
- 評価結果の分析と解釈
  - リスク管理方策の提言
- リスク管理の実施
  - 様々な意思決定（変更を含む）
- リスク管理プロセスに関するコミュニケーション



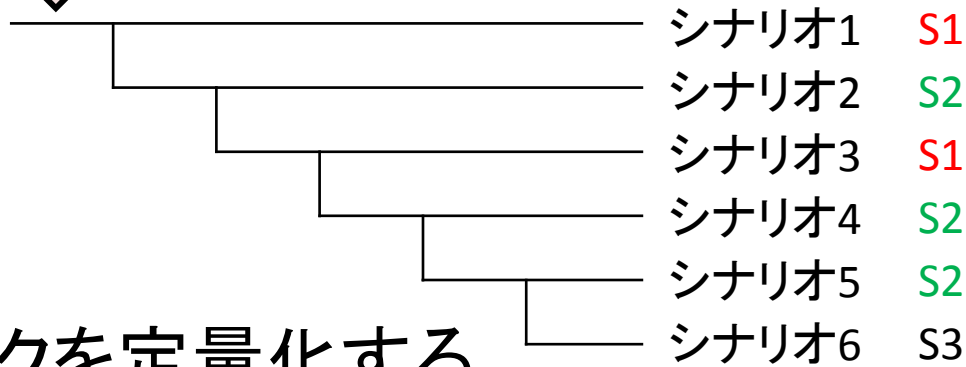
# リスク評価の6つのステップ

①成功するパスを明確にする

②各要素に対する脅威を洗い出す



③事象を決める



④リスクを定量化する

⑥リスクの解釈と  
リスク管理の提言

⑤シナリオの分類とリスク曲線



# リスク評価の対象

- 廃炉にともなうリスク源は、汚染水、燃料デブリ、燃料プール、固体廃棄物など、多様である。それぞれ異なる特性を持っている
- 3号機燃料プールの燃料取出しにともなう公衆の健康影響、環境への影響、従事者の被曝、プロジェクト進捗への影響を対象とする
- 燃料取出しのリスク評価の経験を踏まえ、他のリスク源については今後の検討対象とする

## 考慮すべきリスク要因（使用済燃料プール）

- 放射線にかかるリスク管理目標
  - － 公衆へのリスクを抑制すること
  - － 従業員の被ばくを管理すること
  - － 環境への影響を抑制すること
- 放射線リスクの要因
  - － 燃料からの放射性物質放出
  - － 燃料の破損・変形
  - － 臨界管理の失敗などの人的事象
  - － 燃料取り出し作業中の地震、台風による影響などの外的事象

# 成功パスの記述



- 燃料プール健全性
  - 構造強度
  - ライナー機能
  - 冷却機能
- 取出し計画作成
- 人員確保
- 安全規制への対応
- 社会の理解
- 必要な研究開発
- 準備作業
  - 瓦礫の撤去
  - 取出し装置
- 燃料撤去
  - 取出し
  - 燃料健全性
  - 燃料移送
- 燃料破損対応
- 取出し不能対応
- キャスク移動
  - キャスク移送
  - 移送事故対応
- 社会の理解
- 取出し装置解体
- キャスク移送
- 供用プール冷却機能
- 取出し燃料保管・管理
- 悪意の行動への対策
- 社会の理解

# 成功パスに対する脅威の記述

- 自然現象
  - 地震
  - 津波
  - 竜巻、強風
- 作業に伴う事故
  - クレーン倒壊
  - 火災
- 腐食による影響
  - ライナー
  - 配管
- 長期電源喪失
- 規制からの懸念表明
- 地元からの反対
- 研究開発の遅延
- 廃炉ロードマップ信頼失墜
- リソース不足
  - 作業員の不足
  - 予算の不足
- 建設工事のトラブル
- 燃料落下（誤操作、故障）
- 燃料の破損検出
- キャスクの落下、損傷
- キャスクの衝突
- 取出し不能
- 広報対応不十分
- 作業員の被曝
- セキュリティ（テロ等）

# 燃料取り出しフェーズのリスク分析

ステップ 1	ステップ 2	ステップ 3	ステップ 4	ステップ 5	ステップ 6
成功パス	脅威	失敗シナリオ (重要シナリオの絞り込み)	起こりやすさ	影響度	リスク 指標
燃料移送	地震	燃料移送時の燃料落下			
		作業員の負傷や被曝			
		地震対策の問題点の発覚			
	故障や 事故	維持・管理、復旧コスト増加			
		作業員の人身災害や被曝			
		取出し作業の大幅遅延			
		危険な状態（SFP保管）の継続			
	長期電源 喪失	燃料の冷却阻害			
		安全要求強化による作業遅延			
		放射性物質の漏えい			
	広報対応	社会から不安視、大幅遅延			
		長期化によるコストの増加			

# リスク指標について

- 放射性物質のリスク（公衆、従事者の安全と健康、環境の保全）に加え、作業リスク（作業安全、労働安全）とプロジェクトリスクも考慮する
- リスク指標の案      主リスク      副リスク
  - 災害発生頻度
  - 作業員被ばく量（従事者の安全）
  - 公衆被ばく量（公衆の安全）
  - 敷地境界の累積実効線量（環境への影響）
  - 将来リスク期待値（プロジェクトリスク）
  - コスト（プロジェクトリスク）
  - 廃炉ロードマップの信頼度（社会的影響）

# 英国の事例

## (安全と環境に関する損害指標)

- 英国はSED\*を提案した

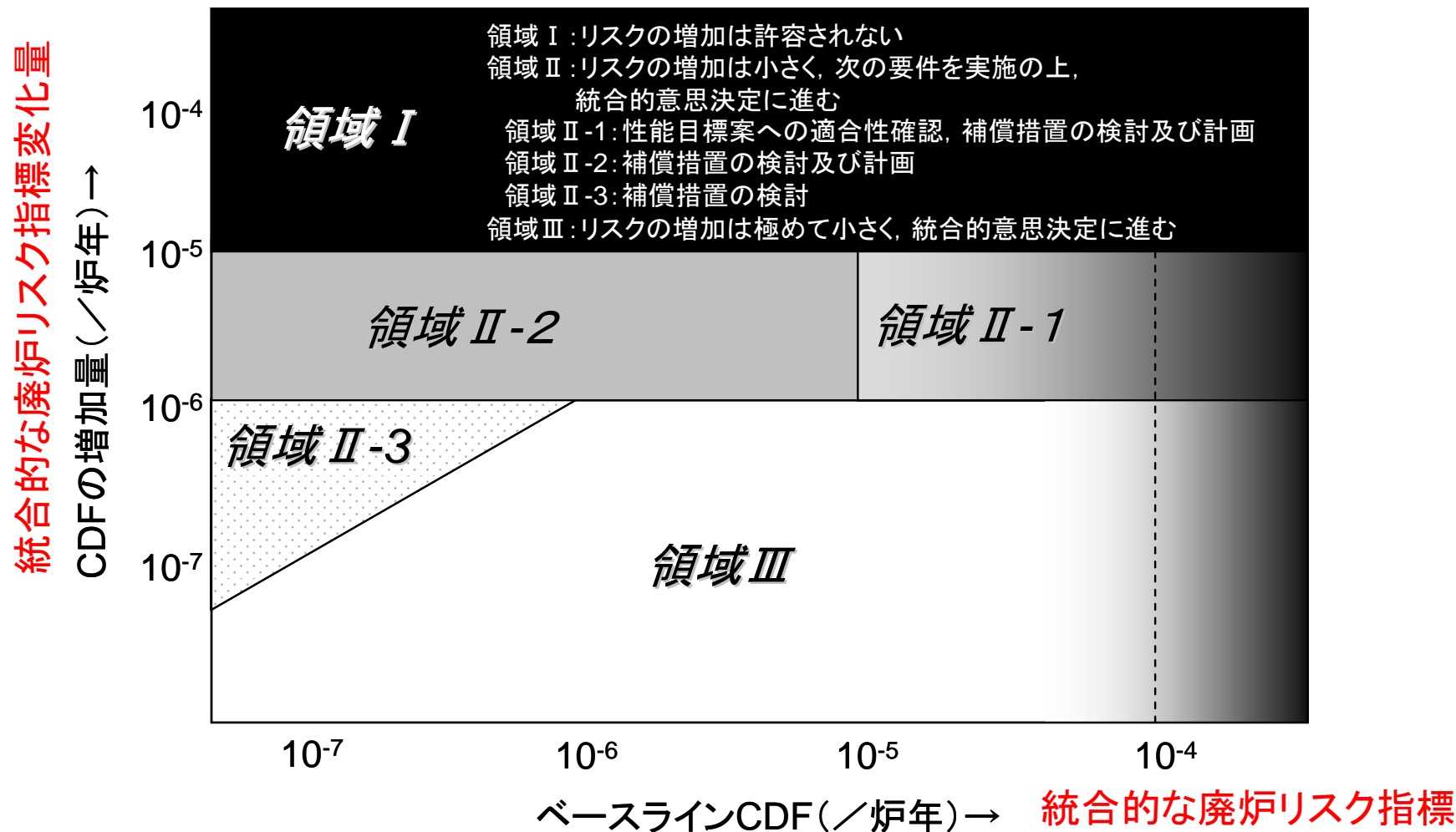
$$SED = (RHP + CHP) \times (FD \times WUD)^4$$

$$RHP = Inventory \times \frac{Form Factor}{Control Factor}$$

- 危険のポテンシャル：RHP（放射線）、CHP（化学物質）
- 危険の安定度:FD
- 監視・移動のしやすさWUD
- 危険のポテンシャル
  - インベントリ、危険物質の相、監視の頻度で表される
- 福島第一の廃炉に合わせ、改訂した上でSEDの考え方を活用する（経年劣化、閉じ込め性能、移行度）

# 廃炉のための意思決定・判断マップ

- リスク指標とリスク変化量の二軸で判断する





# 意思決定にあたっての留意事項

- 現状を維持していても時間の経過とともにリスクが変化することを考慮する（動的なリスク管理）
  - 構造・材料の腐食、高経年化
  - 放射能の減衰
  - リスク源の状態
- リスク低減のための意思決定の適切さを評価するため、許容状態基準（成功基準）を考える必要がある
- リスク指標と成功基準を比較するとき、不確かさを考慮する必要がある

# 今後の進め方

- 戦略プラン2015（最新情報の反映、リスク管理へのフィードバック）
  - － 主要リスク源、潜在的影響度、閉じ込め機能喪失の起こりやすさが具体的なデータにもと付いて評価されている。この整理は重要な情報であり、最新のデータを活用する（現場との整合性）
- リスク源ごとのシナリオ（成功パス検討チーム）
  - － リスク分析では検討するシナリオがきわめて大切である。廃炉のプロセスは前例がないことから、シナリオ抽出においては多くの関係者の意見を参考とする（網羅性）
- リスク指標の考え方（リスク指標検討チーム）
  - － リスク指標はリスク管理の説明性を与えるものと位置付けられる。必要十分性、すなわち、廃炉の評価に必要なリスク特性要素は含まれているか、現実の状況を表現できているかを検討する。
- 成功基準（成功基準検討チーム）
  - － 次年度から検討に着手予定