

**リスク概念と、それを活用した原子力施設
の安全問題の合理的解決**

ジョージ・アポストラキス
原子力リスク研究センター所長
apostola@criepi.denken.or.jp

NRRC シンポジウム
2015年9月2日

社会の中にあるリスク

- **ハザード: 危険の発生源**
 - 産業施設
 - 種々の活動（例:車の運転）
- **リスク: (怪我や損害といった)悪いことや望ましくない事態が発生する確率**
- **不確かさはリスクを考える上で不可欠な要素である**
- **リスク: 確率及び負の影響**

安全性 vs. 残留リスク

- 安全性は、途切れなく続いている概念である
 - 詳細な説明を抜きにして、単にあるものが安全である、もしくは安全でないと呼ぶことは無意味である
 - 主張: 規制を満たしていれば、プラントは「安全」である
- 残留リスクについて語る、それが正しい方法
 - 例: 日本では毎年100,000人に5人が、交通事故で死亡している
 - それゆえ、残留リスク(年間発生頻度)は
$$\frac{5}{100,000} = 0.00005$$
 と非常に小さな頻度になる
- この残留リスクは日本社会において「受け入れられ」あるいは「容認され」ている

なぜ私たちは残留リスクを容認するのか？

- その理由は、各施設や活動が便益を生み出すため
- 個人の自発的な活動においては、人は自分でコントロールできていると感じるため、残留リスクは相対的に高くなる場合がある（個人で航空機を操縦する場合のリスクは商用航空機の1,000倍である）
- 産業施設においては、議員や政府、規制組織を通して社会が決定をする
- リスクと便益のトレードオフはなかなか定量的に行うことができない。便益を定量化することは、リスクを定量化すること比べて、はるかに難しい

原子力安全において、不確かさに対処する (1)

- 伝統的な“保守的な”アプローチ
 - ボトムアップ式のアプローチ
 - 限られた数の潜在的事故が考慮される
 - 不確かさは定量化されない
 - 定量化されていない不確かさは、深層防護や安全マージンを介して保守性を確保することで対処される
- **深層防護**は原子力施設にて異常や事故、自然災害が発生した際に、事故防止や影響緩和を目的として、一連の相補的な対策を用意するという安全確保の考え方である
- **安全マージン**： 機器や構造物に実際にかかる負荷の大きさが、損傷が始まるような負荷の大きさを十分下回るように維持されていること

深層防護の主要要素

事故防止



安全系統



封じ込め



アクシデント・マネジメント



緊急時計画

原子力安全において不確かさに対処する (2)

- **確率論的リスク評価**
 - トップダウン式のアプローチ
 - 数千の潜在的な事故シーケンスが検討される
 - 不確かさは定量化され把握される
 - 何が起こり得るのかについて、より現実的に記述

- **確率論的リスク評価(PRA)は以下の疑問に回答することでリスクマネジメントに活用される**
 - 何が起こり得るか (数千の事故シーケンス又はシナリオ)
 - シナリオの発生頻度は?
 - それらの結果はどの様なものか?

古典的アプローチの問題点

- どれだけの深層防護を行えば十分なのかを示す指針がない（規制に対する信頼度が低い）
- システムの信頼性を保証するために、より先進的な定量的アプローチが存在するにもかかわらず定性的なアプローチ（単一故障基準）を採用していた。
- ヒューマンパフォーマンスを定型化している（例：事故発生から30分間は、運転員はいかなる行動もとらないと仮定する）
- 運転経験や最近になって理解されるようになってきた事実を反映することが難しい
- 業界が自ら実施した確率論的リスク評価（PRA）では、同じ規制の下で認可されたプラントであってもリスク評価結果にばらつきがみられた。

原子炉の安全性の研究による知見

(WASH-1400; 1975年)

従来 of 想定:

1. 大規模な冷却材喪失事故 (LOCA) に対する防護
2. 炉心損傷頻度 (CDF) は低い (約1億年に1回、 10^{-8} /炉年)
3. 事故の結果、大惨事が予想される

研究によって得られた主な知見

1. 主要な寄与因子: 小規模 LOCA、過渡変化
2. CDF は従来 of 想定より高い (最良推定値: 5×10^{-5} /炉年、2万年に1回、最大推定値: 3×10^{-4} /炉年、3,333年に1回)
3. 事故による影響は従来 of 想定より、かなり小さい
4. サポートシステムと運転員の行動が非常に重要である

第2世代プラントにおける確率論的リスク評価 (PRA)の結果

炉心損傷頻度(CDF)： 運転時間10万年あたり約5回

各起因事象が全CDFに占める割合：

- 内部事象(冷却喪失、過渡変化)：56%
- 外部事象 44%
 - 地震 24%
 - 火災 18%
 - その他 2%

更なる結果

• 内的事象シーケンスごとの寄与度

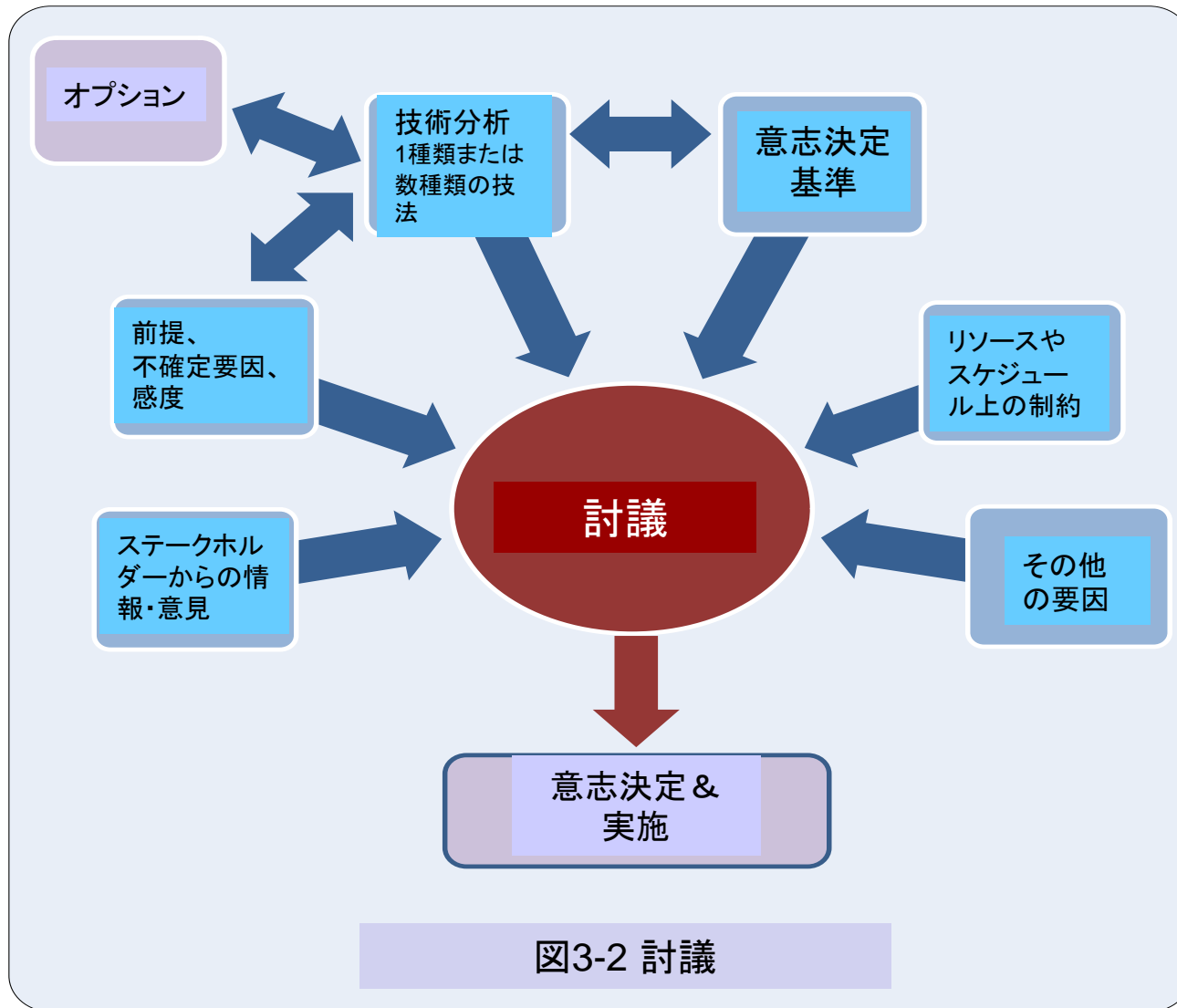
CDFへの寄与

- | | |
|-------------------------------|-----|
| ➤ 過渡事象 - 全交流電源喪失/シールLOCA | 45% |
| ➤ 過渡事象 - サポート系喪失/シール LOCA | 29% |
| ➤ 過渡事象 - 給水系喪失/フィード&ブリード失敗 | 12% |
| ➤ LOCA - 注水不能/再循環不能 | 7% |
| ➤ スクラム失敗事象(ATWS) - 長期の反応度制御不能 | 6% |
| ➤ スクラム失敗事象(ATWS) - 原子力容器の過加圧 | 2% |

規制の意思決定

- (他の意思決定と同様に) 規制に関する意思決定は、現時点で持っている知識をもとに行い、文書化するべきである。(透明性・信頼性のある規制)
 - 設計、運転、規制に関する現状の知識が重要である。
 - PRAは将来を「予測」するものではない。意思決定者の現時点の知識に情報を追加するために、将来の可能性を評価するものである。
 - PRAによって得られた結果や知見を無視すると、現時点で持っている知識を有効に活用した意思決定を行うことができない。

討議(NUREG-2150)



米国の健康に関する定量的目標(1986) (残留リスク目標)

- 発電所近隣住民の急性死亡リスクおよび潜在的がん死亡リスクは、通常の生活に伴う事故またはがんによる死亡リスクの0.1%を超えてはならない。
その数字はおおよそ以下のようなになる。

急性死亡リスク: 5×10^{-7} /年

がんによる死亡リスク: 2×10^{-6} /年

- ❖ 急性死亡リスク目標は、発電所の敷地境界から1マイル以内に住む平均的な人々に適用される。
- ❖ 潜在的がん死亡リスクは、発電所の敷地境界から10マイル以内に住む平均的な人々に適用される。

リスク情報を活用した枠組み



古典的な 「決定論的」 アプローチ

- 確率が定量化されていない
 - 設計基準事故
 - 深層防護
- 不要な規制を押し付けてしまう可能性がある
 - 不完全である

リスク情報を 活用した アプローチ

- 討議プロセスを通じて、古典的なアプローチとリスクベースのアプローチを融合

リスクベースの アプローチ

- 定量化された確率
 - 数千通りもの事故シーケンス
 - 現実的である
 - 不完全である

リスク情報を活用した規制

「規制に関する意思決定にリスク情報を活用するアプローチは、リスクに関する知見を他の要因と併せて考慮し、**許認可取得者や規制当局が公衆の健康と安全に対する重要度に応じて設計・運転上の問題に注意を向けることのできるような要件を策定すべきである、という理念を反映したものである**」

[原子力規制委員会白書、USNRC、1999年]

信頼感の醸成

- ザイオン原子力発電所、インディアンポイント原子力発電所において、産業界が自主的に確率論的リスク評価(PRA)を実施
 - 米原子力規制委員会による詳細なレビューが行われた
 - 地震および火災の影響の重大性が特定された
 - 簡単に修復が可能な故障モードが特定された
- リスク情報を活用した意思決定の初期の適用例
 - サウステキサスプロジェクト原子力発電所での経験
 - 許容停止時間を非常用交流電源に関しては3日を14日に延長、非常用冷却水および非常用冷水系統に関しては3日を7日に延長する
 - 実際の停止時間: 5日未滿
- PRA の標準

主要な成功例

• 保守規則

- 目標 – 原子力発電所の安全確保のために、重要な構築物・系統・機器 (SSCs)は必要な時に求められる機能を発揮できるように保守されるべきである
- PRAは、安全上重要な構築物・系統・機器 (SSCs)がどれであるかを選定する

• 原子炉監視プロセス

- 「違反」に対して規制側と産業界がどのように対応するかは、リスク重要度に比例して決められる。

• リスク情報を活用した供用期間中検査

- リスク上重要となる配管箇所絞り込んで実施
- 検査費用の削減及び作業員の被ばく線量の低減

• 火災防護規則

- 火災リスクの現実的評価

結論

- 受け入れられ、容認できるリスクは何かという問いは避けて通れない
- 原子炉の安全問題に関する意思決定は、あらゆる利用可能な情報に基づいて行われる
- あまりに多くの人々がPRAのP(確率論的)という部分に注目している。しかし、PRAにおいては、事故シナリオこそが最も重要な情報をもたらしてくれる
- リスク評価から得られた知見は、安全確保にとって何が重要かという点に(規制当局と産業界の)注意を向けるために、上手く用いられてきた